

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“BIOFILTRO DINÁMICO AEROBIO EN EL TRATAMIENTO
DE EFLUENTE DEL PROCESO DE REMOJO DE UNA
CURTIEMBRE”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental



Autores:

Alexandra Ximena Valdivia Gamarra

Luis Alfonso Castro Bejarano

Asesor:

Ing. Wilberto Effio Quezada

Trujillo - Perú

2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, el forjador de mi camino, a mis padres por su apoyo incondicional y a mis abuelos quienes han sido mis protectores y fuente de inspiración para lograr mis metas. Todo lo que logro es gracias a su infaltable presencia en mi vida y todo lo que soy es resultado de sus innumerables enseñanzas y todo el amor que me brindan.

ALEXANDRA VALDIVIA GAMARRA

Dedico con todo mi corazón este trabajo a mis padres, quienes son la principal influencia para el desarrollo de mi vida personal y profesional, sembrando en mi la base de la responsabilidad y deseos de superación. Muchos de mis logros se los debo a ustedes, y este es uno de ellos, ya que siempre me motivaron constantemente para poder alcanzar mis anhelos.

LUIS CASTRO BEJARANO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la protección que me brinda y todas las oportunidades que coloca en mi camino. Gracias a mis padres por siempre brindarme su amor y darme las herramientas para enfrentar mi futuro. Gracias a mis abuelos por siempre respaldarme y proteger mis sueños, y a todas las personas que me brindaron su amistad y apoyo en mi vida universitaria.

ALEXANDRA VALDIVIA GAMARRA

En primero lugar quiero agradecer a mi familia, por su apoyo incondicional aun cuando mis ánimos decaían. En especial, quiero hacer mención de mis padres, que siempre estuvieron ahí para darme fortaleza y motivación para seguir adelante.

También quiero agradecer a mi tutor Wilberto Effio, quien con su conocimiento y apoyo me guio a través de cada una de las etapas de este proyecto para poder alcanzar los resultados que buscaba.

LUIS CASTRO BEJARANO

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	39
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	55
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Porcentaje de la Eficiencia de Remoción del Sistema de Biofiltros Dinámicos Aeróbicos</i>	26
Tabla 2: <i>Clasificación Taxonómica de Eisenia foetida</i>	27
Tabla 3: <i>Parámetros del Alimento de la lombriz a considerar</i>	30
Tabla 4: <i>Características que deben cumplir los filtros según las cargas</i>	35
Tabla 5: <i>Valores de Porosidad expresado en %</i>	35
Tabla 6: <i>Material Utilizado en la Prueba de Adaptabilidad de Eisenia foetida</i>	39
Tabla 7: <i>Material Utilizado para la Construcción y Control de Biofiltros Dinámicos Aerobios</i>	40
Tabla 8: <i>Materiales utilizados para la Evaluación de los Parámetros de Laboratorio</i>	40
Tabla 9: <i>Prueba de Adaptabilidad de Eisenia foetida</i>	42
Tabla 10: <i>Distribución de Estratos para Biofiltros Dinámicos Aerobios (BF)</i>	44
Tabla 11: <i>Distribución de Estratos para Biofiltro Control (CTR)</i>	45
Tabla 12: <i>Muestréos realizados en el Sistema de Biofiltros Dinámicos Aerobios</i>	51
Tabla 13: <i>Resultados de los parámetros evaluados en función del Tiempo</i>	55
Tabla 14: <i>Estadísticos descriptivos de los parámetros de control y evaluación</i>	56
Tabla 15: <i>Prueba de normalidad aplicado a los parámetros de control y evaluación</i>	61
Tabla 16: <i>Prueba de rangos con signo de Wilcoxon antes y después del tratamiento</i>	62

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Tasa de Riego	34
Ecuación 2: Tasa de Riego	35
Ecuación 3: Velocidad Superficial	36
Ecuación 4: Velocidad Intersticial.....	36
Ecuación 5: Caudal de Diseño.....	36
Ecuación 6: Tiempo de Residencia Hidráulica	37
Ecuación 7: Ley de Darcy	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Etapas del Procedimiento de Investigación</i>	41
Figura 2: <i>Diseño del Sistema de Biofiltros Dinámicos Aerobios</i>	46
Figura 3: <i>Parámetros de Evaluación del Efecto del Biofiltro Dinámico Aerobio</i>	50
Figura 4: <i>Método Electrométrico para determinación de pH, Conductividad y OD</i>	52
Figura 5: <i>Método Respirométrico para determinación de DBO5</i>	52
Figura 6: <i>Método Fotométrico para Determinación de DQO</i>	53
Figura 7: <i>Método Gravimétrico para Determinación de Sólidos Suspendidos Totales</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 8: <i>Método de Partición Gravimétrica para determinación de Aceites y Grasas</i> ..	54
Figura 9: <i>Resultados del parámetro de evaluación y control de pH</i>	57
Figura 10: <i>Resultados de parámetros de evaluación y control de la Conductividad</i>	57
Figura 11: <i>Resultados de los parámetros de evaluación y control del Oxígeno Disuelto</i> .	57
Figura 12: <i>Resultados de los parámetros de evaluación y control de (DBO)</i>	58
Figura 13: <i>Resultados de los parámetros de evaluación y control de (DQO)</i>	58
Figura 14: <i>Resultados de los parámetros de evaluación y control de (SST)</i>	59
Figura 15: <i>Resultados de los parámetros de evaluación y control de Aceites y grasas</i>	59
Figura 16: <i>Porcentaje de Remoción para los parámetros de DBO, DQO, AYG y SST</i>	60

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo, determinar el efecto que tiene el Biofiltro Aerobio para el tratamiento de efluentes que se dan durante el proceso de remojo de una curtiembre. El sistema de biofiltros tiene un volumen útil de 0.0042m^3 , el cual maneja una retención hidráulica (RH) de 1.02 días, el sistema del biofiltro está conformado por un estrato de empaque que contiene: arena gruesa, grava fina, grava media y grava gruesa; un estrato de aserrín de madera blanca y un último estrato conformado por lombrices californianas de la especie *Eisenia foetida* en sustrato. La distribución del agua residual se realizó mediante el uso de aspersores, para poder generar un riego homogéneo en todos los sistemas. Para la obtención de los datos del biofiltro, se tomaron en cuenta parámetros de control como pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto y parámetros de evaluación que fueron: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas. Durante el desarrollo del trabajo, los resultados que se obtuvieron sobre la remoción fueron de un 78% para DBO_5 , una eficiencia de remoción de hasta 21% en la concentración de DQO, una remoción del 81% para SST y una remoción del 75% para Aceites y Grasas. Así mismo según la prueba estadística de Wilcoxon se determinó que hay diferencias significativas entre los métodos de aplicación de cada biofiltro con un nivel de significancia del 5%.

Palabras clave: Biofiltros, remoción, *Eisenia foetida*

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En este mundo globalizado, el desarrollo industrial ha generado una activación en el ámbito social y económico, y a su vez, ha mejorado la calidad de vida de la población. La industria del cuero es clave en el desarrollo de la economía mundial, pero con él, se enfrentan serios desafíos ambientales debido a que está considerada como una de las ramas industriales de mayor poder contaminante. En Pakistán existen cerca de 600 curtiembres, la ciudad de Kasur es el peor ejemplo de desastre por contaminación ambiental debida a curtiembres. En esta ciudad existen cerca de 200 curtiembres, la mayor concentración en número del país. Se acumula 9000 metros cúbicos de efluentes líquidos y 100-150 ton/ día de desperdicios sólidos procedentes de las curtiembres. (Esparza et al., 2001, pág.59).

El Centro de Comercio Internacional (2012) ha pronosticado un incremento de esta industria en consonancia con el crecimiento poblacional y progreso de países emergentes como son Colombia, Ecuador, Perú y Argentina, los cuales enfrentan problemas socioambientales debido a la descarga de aguas residuales provenientes del proceso de curtido. Por su propia naturaleza, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación afirma que: “La elaboración del cuero requiere enormes cantidades de agua y supone la utilización de algunos productos químicos en cantidades variables. A su vez los residuos eliminados en cada proceso de curtido se han convertido en una fuente importante de contaminación ambiental” (FAO, 2012).

Debido a la alta demanda de cuero en Trujillo por la industria zapatera, se ha agudizado la problemática ambiental ya que muchas de las curtiembres están ubicadas en zonas

residenciales y asentamientos populares que no cuentan con infraestructura para este tipo de procesos industriales. En nuestra ciudad se han presentado protestas debido a la descarga de aguas residuales potencialmente tóxicas, tanto a cuerpos de agua naturales, como al alcantarillado público, que si bien está regulada por la entidad prestadora del servicio mediante los Valores Máximos Admisibles (VMA) para descargas de aguas residuales no domésticas, muchas veces se resuelven en incumplimiento por industrias y microempresas irresponsables con el medio ambiente.

Los efluentes del proceso de curtido poseen diferentes componentes, siendo clave el proceso en el cual se generen. Cabe destacar que los procesos de ribera y remojo son responsables del 80% de la carga contaminante total expresada en términos de DBO, debido esencialmente a la presencia de proteínas y sus productos de degradación, y del 60%, de los sólidos suspendidos. La presencia de sulfuro en el pelambre y de cromo en la curtición da una especial toxicidad a las descargas, por lo que deben ser atendidos con especial cuidado (Esparza et al., 2001, pág.43).

El remojo es la primera operación de la fabricación de cuero, dentro de ella se encuentra el proceso de ribera. Su función es la de restablecer el nivel de hidratación de la piel y empezar su limpieza y preparación para el curtido. (Instituto Tecnológico de la Producción, ITP, 2018). El efluente generado se caracteriza por un color marrón oscuro, olor desagradable, alta demanda biológica y química del oxígeno, sólidos disueltos totales y una mezcla de contaminantes orgánicos e inorgánicos. El olor generado es producido por la carga de materia orgánica en descomposición y compuestos no biodegradables presentes en el efluente. Mientras que los sólidos suspendidos totales como contaminantes pueden formar depósitos de lodos, y a su vez, los aceites y grasas presentes ocasionan problemas estéticos y deficiencia en el proceso de oxigenación en el agua, la materia orgánica

biodegradable genera el consumo de oxígeno, mortalidad de especies y condiciones sépticas en el agua. (Lezcano, 2016, p. 244).

Un estudio de impacto ambiental atribuyó la contaminación del agua subterránea a los efluentes de curtiembre, aguas de desechos y aguas estancadas. Se registró desórdenes respiratorios, infecciones a la piel y enfermedades relacionadas, diarrea, disentería, cólera y tifoidea. Actualmente existe un programa de las Naciones Unidas para salvar ciudades contaminadas por la industria de curtiembres. Este programa comprende la evacuación de efluentes de curtiembres, implementar mejor las fábricas, disponer de un sistema adecuado de colección y drenado de efluentes, reconstrucción de los drenajes dañados por los restos sólidos, plantas piloto para tratamiento de desechos y monitoreo constante de la salud. (Esparza et al., 2001, pág.68).

En la industria, el proceso de remojo necesita la mayor cantidad de agua para la limpieza de cuero, por lo tanto, es imperativo generar un tratamiento adecuado para el efluente, respaldando la seguridad ambiental y cumplimiento normativo. La introducción de tecnologías limpias e implementación de sistemas de tratamiento de los efluentes resulta siendo una opción viable basada en la sostenibilidad, que no produce efectos secundarios o transformaciones al equilibrio ambiental o a los sistemas naturales. Uno de ellos son los Biofiltros Dinámicos Aerobios que se definen como un filtro percolador compuesto de diferentes estratos filtrantes y lombrices. (Fundación para la Transferencia Tecnológica, UNTEC). El agua residual percola a través de los diferentes lechos filtrantes, quedando retenida la materia orgánica para que posteriormente sea consumida por las lombrices. Los sistemas basados en el uso de lombrices sobresalen como una opción viable con bajos costos de operación y simplicidad en el manejo tecnológico. (Ramón et al. 2015)

En tal sentido, con la presente investigación se busca tener conocimiento respecto al uso de los biofiltros en el tratamiento de efluentes generados por el proceso de remojo de las curtiembres, con la finalidad de poder demostrar el problema de contaminación generados por este tipo de procesos y de esta manera incentivar a las empresas en el tratamiento de la misma.

Sobre la base de esto, mediante esta investigación se podría contribuir en la aplicación de los enfoques teóricos que podrá ser tratados en términos de Tratamiento con relación al manejo de efluentes generados de los procesos de las curtiembres.

Cabe señalar que, en la concepción moderna de Tratamientos, el manejo de efluentes, es considerado uno de los principales ejes que garantizan la mejora de la gestión del ambiente, ya que a partir de los instrumentos o herramientas y/o métodos que proporciona dicho manejo se alcanza facilitar la aplicación futura de estos procesos con el objetivo de prevenir las dificultades y gastos innecesarios. Por consiguiente, se puede afirmar que el uso de biofiltros es una buena alternativa para optimar el manejo de los efluentes generados de los procesos de las curtiembres.

Metodológicamente, se planean una serie de conocimientos u orientaciones que instruyan el desarrollo del proceso destinado a la concientización de los ciudadanos y su alcance en el manejo de los residuos generados, así como el planteamiento de técnicas y estrategias de control y registro a partir de la naturaleza y propuesta de la estructura de la investigación, los procedimientos de recopilación de datos y la evaluación de los resultados.

Asimismo, de manera práctica, este trabajo de investigación representa una alternativa de solución ante el mal manejo de efluentes y por lo tanto la contaminación generada a partir de estos, la misma que afecta a las personas y seres vivos ubicados en la zona, pues afronta precisamente a la problemática ambiental que en la actualidad se dan en el control de

efluentes y la intervención de las empresas en temas relacionados a la misma. A través de la realización de este trabajo, se podrán generar oportunidades de mejora respecto a los métodos sobre la base del tratamiento de efluentes provenientes de las curtiembres a través de biofiltros.

De acuerdo a lo establecido anteriormente se afirma que a partir de los biofiltros en el tratamiento de efluentes se alcanzaría un mejor manejo de estos y con ello, obtener mejores resultados, que como se sabe es la razón fundamental de todo Ingeniero Ambiental. Finalmente, estos resultados serán referentes de consulta para otros investigadores en las áreas de Tratamiento de aguas residuales

Según la investigación recopilada en la siguiente investigación se pudieron recopilar las investigaciones preliminares que se mostraran a continuación:

Samal et al. (2017) en su trabajo de investigación donde evaluó el desempeño de un vermifiltro asistido con la especie *Canna indica*, donde se diseñaron dos vermifiltros de flujo vertical a escala de laboratorio, uno con ayuda de *Canna indica* (MAVF) y el otro sin él (VF), pero *Eisenia foetida* se insertó en ambos sistemas. La cual se realizó durante diez semanas con una velocidad de carga hidráulica de 0,65 m m². Donde el sistema de vermifiltración asistida por macrófitos (MAVF) pudo reducir el DBO y el DQO en un 75 - 81%, la TN en un 24 - 42% y el TSS se redujo significativamente en un 84%. La eficiencia del tratamiento en MAVF fue significativamente mayor en comparación con VF, lo que indica que el proceso integrado es más efectivo y sostenible.

Samal et al. (2018) en su estudio comparativo de la influencia de los macrófitos en el rendimiento del vermifiltro híbrido para el tratamiento de aguas residuales lácteas, se diseñaron cuatro conjuntos de reactores R1, R2, R3 y R4 y cada conjunto de reactor constaba de dos unidades: unidad de flujo vertical (VF) y de flujo horizontal (HF). R1, R2

y R3 se plantaron con *Canna indica*, *Saccharum spontaneum* y *Typha angustifolia*, respectivamente, mientras que R4 no tenía ningún macrófito. La lombriz de tierra *Eisenia foetida* se insertó en los cuatro reactores. Donde todos los vermifiltros se cargaron con aguas residuales lácteas sintéticas a una velocidad de carga hidráulica de 0.6 m d. El efluente final se recogió al final de la unidad donde, el orden de porcentaje promedio de eliminación de DQO fue R1 (82.8%)> R3 (78.9%)> R2 (75.5%)> R4 (69.4%).

Samal et al. (2018) en su estudio sobre el efecto de la velocidad de la carga hidráulica y la cinética de degradación para un sistema híbrido de vermifiltro asistido por macrófitos, se diseñaron tres vermifiltros de flujo vertical cilíndrico (VE) (1 etapa) y tres vermifiltros de flujo horizontal (HF) (2 etapas) fueron diseñados y plantados con *Canna indica* para estudiar el efecto de HLR. La eficiencia del reactor de VF fue mayor que la del reactor de HF en el caso de todos los tipos de contaminantes. Se encontró que la remoción promedio de BODS fue de 90.43% a HLR 0.3 m d y 85.75% a HLR 0.6m.d mientras que para DQO fue de 85.59% y 79.64%, respectivamente.

Vizcaíno y Fuentes (2016) su trabajo de investigación evaluó los efectos que tiene el aplicar *Eisenia Foetida* y *Eichhornia crassipes* para la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes doméstico. Donde durante un mes, se aplicaron tres tratamientos: T1: *E. Foetida* (biofiltro dinámico aerobio de flujo vertical); T2: *E. crassipes* (sistema de flujo horizontal con plantas flotantes y T3: *E. foetida* + *E. crassipes* (sistema en serie), empleando tiempos de retención hidráulica de 24 h. y caudales de 0,125 L/min (*E. foetida*) y 0,020 L/min (*E. crassipes*). Donde se concluyó que el T1 fue más eficiente en la remoción de DQO 69,2%, el T2 elimino el 100% de SST, mientras que el T3 reporto las mejores eficiencias de remoción, para las demás variables analizadas.

Castro (2016) en su trabajo donde buscaba la implementación de un lombrifiltro en una PTARD para poder determinar la viabilidad de este y tenerla como propuesta en uso, teniendo como objetivo de este trabajo proponer y determinar la viabilidad de un lombrifiltro (*Eisenia foetida*). Los parámetros físicos como STS, los químicos como el DBO5 y el DQO y biológico como los coliformes fecales totales poseen una eficiencia de remoción mayor al 89% con un rango de temperatura entre 25 a 30 °C en un agua residual domestica con alta carga orgánica. Donde se concluyó que los impactos ambientales negativos generados por el lombrifiltro son más del 80% leves, generando casi la mitad 44% (generación de humus) de impactos positivos al medio.

Díaz y Zafra (2018) su trabajo se basó en la implementación de lombrifiltro para el tratamiento de las aguas residuales que provenían de un camal municipal, la cual tuvo como objetivo principal implementar un sistema piloto para poder tratar las aguas residuales provenientes del camal municipal. Se tuvieron como resultados que se logró reducir en el caso del DBO de 7004.00 mg/L a 280.16 mg/L solo en la primera corrida y en la segunda se redujo de 6906.60 mg/L a 210.12 mg/L , por otro lado, para los parámetros del DQO bajaron hasta llegar a 810.9 mg/L y 8025.5 mg/L respectivamente. En cuanto a los otros parámetros PH: 7.15, OD: 6.73 mg/L y una temperatura de 20.00°C en la primera corrida y en la segunda se obtuvieron PH: 7.23, OD: 7.25 mg/L y una temperatura de 19.80°C.

Loro (2018) buscaba implementar un tratamiento secundario para aguas residuales, y comparar la eficiencia utilizando un biofiltro con *Eisenia foetida* y otro convencional. Donde en el biofiltro con *Eisenia foetida* el nivel de remoción del parámetro turbiedad en las aguas residuales domésticas fue de 80,36 - 89%, en remoción de SST alcanzó hasta el 40 %, en remoción de Aceites y grasas fue de 45,95 – 69,07%, el nivel DBO5 fue de 65 – 88,57 % y en remoción de Coliformes termotolerantes en las aguas residuales domésticas

fue de 99,97 -99,99%. En el biofiltro convencional el nivel de remoción del parámetro turbiedad varía entre 95,01-99%, en remoción de SST varía entre 54,27 - 75%, en remoción de Aceites y grasas varía entre 88,11- 89,69%, el nivel de remoción de la DBO5 varía entre 94,17 – 95,83% y el nivel de remoción de Coliformes termotolerantes en las aguas residuales domésticas fue del 99.9%.

Huiza y Ordoñez (2018) su trabajo trato sobre evaluar la eficiencia de un lombrifiltro al cual se le adiciono la técnica de pared caliente para el tratamiento de aguas residuales domésticas. El sistema de lombrifiltro trata $250 \text{ Lt}/\text{m}^2 * d$, donde la presente investigación obtiene eficiencias de remoción de 62.5% en la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y eficiencia de remoción de hasta 53.25% en la concentración de los coliformes termotolerantes para un tiempo de retención hidráulico de 2 horas. Las características del estado donde se habita las lombrices de la especie *Eisenia foetida* se encontró que la humedad es en promedio 80%, el pH esta entre 6.5 y 8.5, y la temperatura promedio fue de 15°C, por lo que su concluye que el sistema de lombrifiltro es eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Pérez (2018) mediante la aplicación de un vermifiltro buscaba reducir los parámetros de DBO5 y DQO de aguas residuales, la cual presenta una alternativa para reducir o mitigar este tipo de impactos mediante la implementación de un sistema de vermifiltración (2 vermifiltros), el cual aprovecha las condiciones del lugar, haciendo uso de las lombrices y otros componentes como (piedra zeolita, fibra de coco y aserrín) generando la reducción de la materia orgánica. Se tuvieron como resultados la reducción del DQO 76.4% y 73.61% DBO para el primer vermifiltro, DQO 79.53% y DBO 73.61% para el segundo vermifiltro. De esta manera se llega a concluir que el segundo vermifiltro tuvo más capacidad de reducción.

Girón (2018) evaluó la eficiencia que tiene un sistema de lombrifiltro empleando la especie *Eisenia foetida* para la remoción de nutrientes en aguas residuales domésticas en el afluente de CITRAR FIA - UNI durante los meses de noviembre de 2016 a agosto de 2017. El estudio comprendió tres etapas. La primera, la adaptación de la lombriz *Eisenia foetida* al agua residual y al aserrín como medio filtrante; la segunda etapa de arranque del sistema permitió la formación de la biopelícula. Finalmente, la tercera etapa de monitoreo de los parámetros fisicoquímicos: demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (NT), nitrógeno amoniacal (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), fósforo total (FT) y sólidos suspendidos totales (SST) para tres caudales. Se concluye que el lombrifiltro puede considerarse como alternativa tecnológica para el tratamiento secundario

Quille (2017) busco evaluar el efecto de aplicación de los microorganismos eficaces y el lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos. Donde se llegó a concluir que la presencia de DQO del residuo lácteo fue de 55530 mg/L , así mismo con el lombrifiltro se puede concluir que los tratamientos de aplicación que tuvieron mayor influencia en la remoción de DQO, logrando remover al 78.39% (12000 mg/L) y 75.51% (13600 mg/L) respectivamente frente a la aplicación de solo los microorganismos eficaces 54.62% (25200 mg/L).

Cáceres et al. (2018) en su trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Este afluente pasó a través de un proceso de tratamiento con los lombrifiltros, siendo evaluado en función de distintas tasas de riego: A1 ($0,5 \text{ [m}^3 \text{ /día]}/\text{m}^2$), A2 ($1 \text{ [m}^3 \text{ /día]}/\text{m}^2$) y A0 (grupo control). En donde se mostró mayor remoción de STS en A1, y mayor descenso de la temperatura y coliformes termotolerantes

en A2; mientras que, tanto A1 como A2, mostraron la mayor eficiencia respecto a la DBO5 y pH, por lo que se determinó un descenso medio de 0,82°C, 61,11% de STS, 50,14% de DBO5, 99,71% de coliformes termotolerantes, y un pH final de 8,27.

Maza (2017) en su trabajo de investigación donde aplicó un lombrifiltro para mejorar la calidad de las aguas residuales, se usó un diseño no experimental longitudinal con toma de muestras cada tres días durante el proceso de tratamiento, para determinar los parámetros físico-químicos de la calidad del agua, como fueron turbidez, SST, Temperatura, pH, DBO y DQO, en cuanto se refiere a la remoción de la carga contaminante presentó un 94.19% de reducción de la turbidez, 87.21% de reducción de la DBO y 85.78% de reducción de la DQO, por otro lado presentó un pH promedio de 7.61 siendo una referencia aceptable para vertimiento de aguas residuales, también se realizó la determinación de los SST antes y después del tratamiento, al analizarse presentó una referencia de 160 *mg/L* reduciéndose a 63 *mg/L* después del tratamiento.

Paico (2017) tuvo como objetivo implementar un sistema prototipo de Sistema Tohá y determinar las características físico-químicas del agua residual antes y después del tratamiento. Los resultados antes del tratamiento fueron 1012 *mg/L* de DBO, 1455 *mg/L* de DQO y 0.77 *mg/L* de SST y después del tratamiento fueron 758 *mg/L* de DBO, 1125 *mg/L* de DQO y 0.42 *mg/L* de SST. Estos resultados permiten concluir que el Sistema Tohá reduce significativamente los niveles de contaminación del agua residual, pero no por debajo de los valores máximos permisibles, por ellos se recomienda mejorar su eficiencia con la implementación y mejora del sistema.

Mitma (2017) en su tesis la cual se encargó de evaluar el efecto de un sistema de lombrifiltro para la remoción de carga orgánica presente en el agua residual doméstica del Distrito de Moche Sub – Sector Miramar, este sistema contaba con un filtro de 3 capas;

humus y lombrices (*Eisenia foetida*), aserrín y grava. Los resultados indican que el sistema de lombrifiltro logro remover con el primer tratamiento de 50 ml/min obteniendo los siguientes porcentajes 83.87% y 72.43% en DBO5 y DQO respectivamente. Estos resultados nos indican el cumplimiento de la norma de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.

Respecto a las aguas residuales, se pueden definir como aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado. (OEFA, 2014). Uno de los problemas más resaltantes en nuestro país es que el sistema de alcantarillado es solo uno; en el que se depositan desagües de todo tipo, produciéndose una mezcla de aguas residuales que genera variadas características dificultando así su tratamiento. Las aguas residuales provenientes de industrias deben ser tratadas antes de verterlos al alcantarillado. Los principales parámetros para mitigar están relacionados con la carga orgánica (CO), los aceites y grasas, temperatura, pH y sustancias recalcitrantes y xenobióticas. (Lezcano, 2016 p. 233).

Para la realización del estudio es necesario tomar en cuenta ciertos aspectos y/o factores tales como, la conductividad eléctrica, la cual, es un parámetro que evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, es una medida indirecta la cantidad de iones en solución, la unidad básica para medir la conductividad es el siemens por centímetro. En descargas de aguas residuales suelen aumentar la conductividad debido al aumento de la concentración de Cl⁻, NO₃⁻ y S₄O⁻², u otros iones. Debe tenerse en cuenta que derrames de hidrocarburos (aceites, petróleo), compuestos orgánicos como aceites, fenol, alcohol, azúcar y otros compuestos no ionizables (aunque contaminantes), no modifican mayormente la conductividad. (Red Mapsa, 2007)

Asimismo, los sólidos suspendidos totales, que son aquellos sólidos que quedan después de filtrar el agua residual a través de un filtro de fibra de vidrio de 1,5 μm de tamaño de poro (Whatman 2011 p.31). Son las partículas suspendidas las causantes de la turbidez del agua, las cuales según su tamaño pueden ser partículas coloidales o dispersiones gruesas. Los componentes que se pueden encontrar son variados como componentes biológicos biodegradables, sustancias químicas, inertes y muchas veces tóxicas.

Además de ello, la temperatura, que es importante y un dato necesario para el tratamiento de aguas residuales, ya que influencia la biodegradabilidad de la materia orgánica, ya que contribuye con los procesos cinéticos químicos y biológicos. Las temperaturas muy altas contribuyen a la reducción de oxígeno disuelto lo cual afecta a la tasa de crecimiento bacterial y demás especies. La temperatura adecuada para un correcto crecimiento microbiano se encuentra entre los 25° y 35°. (Lezcano 2016 p.236.).

La salinidad es otro término, ya que la presencia de salinidad en las aguas residuales puede afectar el diseño de estaciones depuradoras de forma significativa, porque puede crear un efecto inhibitorio sobre la biocenosis del agua dulce y afectar las propiedades de sedimentación de los sólidos. Los tratamientos biológicos de aguas residuales con altas concentraciones salinas responden mejor con un tiempo de aclimatación que cuando se produce el impacto salino brusco. (Castillo, Bezanilla , Amieva, Jácome, & Tejero, 1995, pág. 26).

Otro factor es el pH, que se define como el grado de acidez o alcalinidad que posee el agua residual. De este parámetro depende la concentración de iones de hidrógeno presentes. El intervalo de pH para la existencia de vida acuática es entre 5 y 9; si los valores se encuentran fuera de este intervalo, se torna difícil un tratamiento biológico. (Lezcano 2016 p. 237).

Se considera también a las proteínas que constituyen el 65% del material orgánico presente en aguas residuales y son los principales componentes presentes que es necesario digerir en los sistemas de tratamiento, ya que después de algún tiempo se genera ácido sulfúrico, el cual proviene de los aminoácidos azufrados de las proteínas. Este factor produce olor a huevos podridos. En 1883 Johann Kjeldahl desarrolló el método más usado en la actualidad para el análisis de proteínas mediante la determinación del nitrógeno orgánico. El procedimiento consiste en digerir las proteínas y otros componentes orgánicos en una mezcla con ácido sulfúrico. El nitrógeno total se convierte mediante esta digestión en sulfato de amonio, siendo neutralizado, destilado y titulado con un ácido estandarizado. El resultado es una buena aproximación del contenido de proteína cruda del alimento ya que el nitrógeno también proviene de componentes no proteicos. Se consigue presuponiendo una proporción entre la proteína y el nitrógeno. (Muñoz, Mejia, & Vega, 2014, pág. 7)

$$\text{Contenido de proteínas} = \text{Contenido de Nitrógeno Orgánico} \times 6.25$$

Respecto a los lípidos, constituyen los aceites y grasas presentes en el agua en proporción del 10% de los componentes orgánicos. Este parámetro contribuye con la obstrucción de tuberías y producen malos olores y espumas. Su presencia, en altas concentraciones, también inhibe el crecimiento de microorganismos. (Lezcano 2016 p. 239).

Otros factores son el Nitrógeno y Fósforo, que son nutrientes considerados esenciales para el crecimiento de los organismos. Las formas de interés del nitrógeno para apoyar el crecimiento aerobio son nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos, nitrógeno de nitratos y nitrógeno orgánico. Es importante determinar el nitrógeno orgánico procedente de aminos proteínas y otros compuestos, el procedimiento es llamado el método de Kjeldahl. Así mismo el N total de Kjeldhal (NTK) es de importancia para determinar el tratamiento adecuado en un efluente, este parámetro considera también Nitrógeno orgánico y

amoniaco. Las formas de interés del fósforo son ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos. Los detergentes fabricados a base de fosfatos destruyen el medio ambiente porque aceleran el proceso de eutrofización del agua. Debido a esto, algunos países han prohibido el uso de detergentes de este tipo para facilitar el tratamiento de aguas residuales. (Lezcano 2016 p. 239).

Además, también se tiene al oxígeno disuelto, del cual Lezcano (2016), afirma que la cantidad de oxígeno encontrada en las aguas residuales determina las condiciones aerobias, microaerófilas, anóxicas y anaerobias para los procesos biológicos. Así mismo el oxígeno disuelto será dependiente de la temperatura. Aguas más cálidas son capaces de disolver menores cantidades de oxígeno. (Goyenola & Urtado, 2017)

Asimismo, la Demanda Bioquímica de Oxígeno, se define como la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual. Se determina midiendo el proceso de reducción del oxígeno disuelto en la muestra de agua manteniendo la temperatura a 20 °C en un periodo de 5 días. Una DBO elevada, indica que se requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua. (Santambrosio, 2017). Finalmente, la Demanda Química de Oxígeno, es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar el carbono orgánico completamente a CO_2 , H_2O y amonio. Este parámetro no diferencia la materia orgánica biológicamente oxidable de la biológicamente inerte. El proceso de determinación es capaz de oxidar toda la materia orgánica, con excepción de los ácidos grasos de bajo peso molecular y los hidrocarburos aromáticos. La determinación de DQO se rige a condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007)

La presencia de materia orgánica es característica de las aguas residuales, esto es debido a la presencia de proteínas, hidratos de carbono, aceites y grasas provenientes de los restos industriales vertidos, esto genera la reducción del oxígeno disuelto, parámetro importante para las especies y evolución de condiciones aeróbicas y anaeróbicas. (Revilla, 2017 p.19), por lo tanto, es necesaria su reducción. El tratamiento biológico de las aguas residuales solo puede ser posible si la materia orgánica que contiene es biodegradable o si existe una mayor concentración de ésta, frente a la no biodegradable.

Como indicador de esta teoría se utiliza la relación DBO/DQO para interpretar la Biodegradabilidad de las aguas residuales. Se consideran compuestos biodegradables aquellos derivados de carbohidratos, proteínas y ácidos grasos. (Lezcano 2016 p.266). Es aceptable que este indicador sea mayor o igual a 0,4, de lo contrario se puede deducir que existen concentraciones altas de componentes tóxicos no biodegradables, y por lo tanto un método de tratamiento biológico no sería suficiente para removerlos. Así mismo, si es superior a 0,6 el vertido es orgánico, probablemente, aguas residuales urbanas, restos de ganado o industria alimenticia. (Cancillería de Política Territorial, Madrid, 2012).

El proceso de curtido de pieles se basa en un tratamiento para evitar el deterioro por las condiciones ambientales o por acciones de microorganismos presentes, aumentando el entrecruzamiento molecular. Las técnicas que se utilizan para este proceso varían en función del producto o cuero que se quiere obtener.

Se cuenta con una serie de etapas en las cuales se limpia e hidrata el cuero para después tratarlo con diversos productos químicos. Parte de las etapas más importantes se efectúan al inicio. La conservación de la piel es decisiva para definir las fases del proceso, así como también la limpieza e hidratación constituyen procesos fundamentales para obtener un cuero de calidad.

Las curtiembres reciben pieles en diferentes estados de conservación, este factor depende del tiempo en el que se iniciara el proceso de curtido, el cual debe ser lo más breve posible. La piel debe conservarse para mantener la calidad de la materia prima. El proceso de conservación se inicia en el matadero, ya que en ese lugar se recolectan las pieles y se someten al frío en zonas frías y en frigoríficos, evitando la putrefacción. Muchas veces las pieles frescas son trasladadas al proceso de curtiembre justo después del sacrificio, pero si este no es el caso se procede a realizar el salado de la piel y posterior secado. El uso de Cloruro de Sodio es el más utilizado en la industria ya que se aplica en las pieles crudas constituyendo un 40 o 50% en el peso de la materia prima. Esto aumenta la carga contaminante del efluente en el proceso de remojo, aportando en la cantidad de Sólidos Totales Disueltos y también en la presencia de Cloruros. (W, Jiacheng et al., 2017 p.158 Journal of Cleaning Production)

Una vez llegada la piel a la curtiembre el remojo es el primer proceso. Las pieles llegan con un 15 o 20% de deshidratación. En este proceso se consigue reestablecer el nivel de hidratación y se empieza la limpieza del cuero eliminando grasas, sangre, estiércol, tierra y otras impurezas. En este proceso se utiliza la mayor cantidad de agua, y se genera un efluente responsable del 80% de la carga contaminante total expresada en términos de DBO5, Sólidos Suspendidos en un 60% y alta salinidad. Estos parámetros se ven afectados por la presencia de proteínas y productos de degradación. (Ganoza et al, 2016 p.10).

El proceso de remojo depende del estado en el que las pieles llegan a la curtiembre y del método de conservación empleado. En el caso de una piel fresca que procede directamente del matadero, sin tratamiento previo de conservación, no hay mayores dificultades, pues un remojo simple de limpieza y remojo alcalino controlado hace posible pasar a las siguientes etapas de fabricación. En general se realiza en dos fases: una primera de limpieza y otra segunda fase de humectación, realizándose diferentes cambios de baño, así como la

adición de auxiliares: tensos activos, biocidas, productos alcalinos, enzimas de remojo.

El proceso puede realizarse en distintos tipos de recipientes: tinas, molinetes, bombos, mixes y la duración va desde horas hasta uno o dos días. (Instituto Tecnológico de la Producción, 2018 p.15). Existe un proceso de remojo alternativo utiliza enzimas microbianas en sustitución de tensoactivos, desengrasantes y basificantes. Productos como el Tanzyme RD04, el cual usa 20% menos de agua que el remojo químico. (Castañeda et al. 2016)

Se alcanzaron resultados exitosos utilizando esta tecnología enzimática en comparación con los procesos químicos convencionales de remojo, obteniéndose mayor grado de rehidratación y limpieza debido a la eliminación de proteínas y grasas y, menor tiempo de remojo requerido obteniendo una mejor calidad de cuero y menor impacto ambiental. (Castañeda et al. 2016, pág. 441). El efluente de remojo de pieles preservadas con sal tiene menor posibilidad de ser tratado por un sistema biológico convencional, a pesar de su alto contenido de proteínas, materia suspendida como suciedad, excremento y sangre. (Castañeda et al. 2016). Para este tipo de efluente es más recomendable un tratamiento fisicoquímico previo.

A partir de lo anteriormente mencionado, se menciona el biofiltro dinámico aeróbico se identifica como un sistema de película fija y de lecho relleno, ya que posee un medio estacionario en el cual se adhieren los microorganismos. Los medios de soporte más utilizados son aquellos constituidos por piedras, plásticos, etc. y se pueden emplear para procesos aerobios. La aplicación intermitente del agua residual y el drenaje vertical en el lecho permiten que las reacciones aeróbicas se produzcan con rapidez, permitiendo una mayor oxigenación del líquido. (Vizcaíno et al. 2016 p.190).

El biofiltro dinámico aerobio se basa en un tipo de tratamiento biológico pasivo y se caracteriza por su independencia de tratamientos previos y por su sencillez. No se necesita agregar aditivos al sistema, solo se requiere que el afluente posea características aptas para el crecimiento biológico y permita la existencia de organismos vivos. Al poner en marcha un sistema de biofiltro dinámico aerobio, se necesita de varias semanas para poder desarrollar el mayor potencial de purificación. A este proceso se le llama maduración. La biopelícula necesaria en el sistema se desarrolla a partir de los organismos presentes en las aguas residuales, ésta se hace más gruesa hasta que es suficientemente pesada y se separa del empaque por su propio peso y el flujo líquido lo arrastra fuera del sistema. En la siguiente tabla podemos observar el porcentaje de la eficiencia de remoción del sistema en condiciones operativas no selectivas con respecto al efluente.

Tabla 1

Porcentaje de la Eficiencia de Remoción del Sistema de Biofiltros Dinámicos Aeróbicos

Parámetros	% de Remoción
Coliformes Fecales	99%
DBO5	95%
Solidos Suspendidos Totales	95%
Solidos Suspendidos Volátiles	93%
Nitrógeno Total	80%
Aceites y Grasas	80%
Fósforo Total	60%

Fuente: *Tecnologías Emergentes y No convencionales, Fundación Chile, 2014*

Este sistema está conformado por distintos estratos filtrantes inertes y orgánicos. El estrato superior tiene una alta densidad de lombrices, la más usada es la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en simbiosis con comunidades de microorganismos. (Gestión y Ambiente 2013 p.42). El estrato inferior está constituido por un empaque filtrante, usualmente consta

de materiales como ripio, grava o bolones, en donde las piedras de mayor tamaño van en la parte inferior y las de menor diámetro en la parte superior. (Acuña et al 2017 p.22). *Eisenia foetida* es conocida como la lombriz del compost, pertenece al grupo pigmentado de rojo, dotado de 5 corazones y 6 riñones y tienen un tiempo de vida de hasta dieciséis años. Su clasificación taxonómica es la siguiente:

Tabla 2

Clasificación Taxonómica de Eisenia foetida

Reino	Animal
Tipo	Anélido
Clase	Oligoqueto
Orden	Opisthoro
Familia	Lombricidae
Género	Eisenia
Especie	Eisenia foetida
Reino	Animal

Especie utilizada en Biofiltros Dinámicos Aeróbicos.

Fuente: *Elaboración Propia*

Esta especie cuenta con simetría bilateral y un color rojizo en el dorso. Cuenta con 95 anillos en total iniciando con una boca, sin dientes ni mandíbula ya que ingiere su alimento a través de la succión. Posee glándulas en todos los anillos que secretan Mucus, lo que permite su humedad y flexibilidad. Presentan un nefridioporo que cumple la función de abertura excretora. Posee un órgano llamado clitelo, así como conductores espermáticos pares y receptáculos seminales, los cuales permiten su reproducción. Este anélido es hermafrodita insuficiente, siendo bisexual que necesita aparearse para reproducirse y después deposita cada 7 a 14 días una cápsula llamada cocoon, el cual tiene forma de pera de color amarillento de unos 2 mm; el cual contiene de 2 a 20 huevos que a su vez

eclosionan pasados los 21 días. Así una lombriz adulta es capaz de tener 1,500 crías en un año. Estas recién nacidas alcanzan la madurez sexual luego de 6 a 10 semanas. El alto contenido de salinidad en el medio afecta negativamente la reproducción de las lombrices. Por último, en su esqueleto, encontramos el ano, una abertura oval ubicada en el anillo 95.

El proceso digestivo de la lombriz se inicia en la boca, succionando los materiales con la faringe. Antes de comerlos, se humedecen con un líquido parecido a la secreción del páncreas humano. En la faringe desembocan tres pares de glándulas calcíferas que producen carbonato de calcio, el cual neutraliza la acidez que puede encontrarse en el alimento. Puede neutralizar sustancias tóxicas como restos de herbicidas, insecticidas, fungicidas, etc. La trituración del sustrato se realiza primero en el buche y luego pasa a la molleja para posteriormente llegar al intestino donde ocurre una acción enzimática que transforma los materiales iniciales. Al finalizar el proceso, los residuos orgánicos han experimentado fraccionamiento, saneamiento, síntesis, enriquecimiento enzimático y microbiano. Por esto el producto puede actuar como barrera antagónica para algunos patógenos. (Gómez et al. 2002 p.4).

Para su correcto desarrollo se recomienda sembrar 1.000 lombrices cada 2,0 metros cuadrados. Su nivel de eficiencia es del 60 %, es decir todos los días consume una cantidad de comida equivalente a su peso, excretando en forma de humus el 60 % de la misma; el 40 % restante es asimilado y utilizado por la lombriz para sus funciones vitales. Así un kilogramo de lombriz consume un kilogramo de desecho orgánico al día.

En la medida que el recipiente sea proporcionalmente más amplio que profundo, permitirá alojar una mayor población de lombrices y el proceso podrá ser más eficiente. Así mismo, el lecho no debe pasar de una altura de 60 cm, ya que pasada esta altura se crea una fermentación anaeróbica. El habitat adecuado para su inoculación está condicionado a

los siguientes factores tales como la temperatura, humedad, pH, el alimento, relación carbono nitrógeno (c/n)

Respecto a la Temperatura, el rango óptimo para el desarrollo de las lombrices está entre 12 y 25°C, sin embargo, para su crecimiento, éstas requieren entre 20 a 25°C. Cuando la temperatura sobrepasa los 25°C, las lombrices se pueden ir o detener su reproducción por exceso de calor. A su vez se ve afectado el metabolismo de las mismas, debido a que su epidermis está formada por células sensitivas y foto receptoras en extremo sensibles.

Las lombrices esperan a que el material orgánico suministrado inicie el proceso de descomposición. Este proceso eleva la temperatura del lecho en el que habitan hasta 60°C, posteriormente se estabiliza ya que las lombrices regulan este factor abriendo túneles de ventilación y comienzan la transformación de los residuos suministrados en el sustrato. Si la temperatura no aumenta, indica que hay un defecto en la aireación, baja relación de C/N o un bajo nivel de humedad. Se debe llevar un registro de temperatura, las mediciones se pueden tomar con un termómetro básico o mediante métodos empíricos, como la observación de la primera capa del sustrato; si presenta pequeñas manchas blancas circulares, significa que la temperatura está alrededor de 50°C. (Lezcano 2016 p.236).

Sobre la humedad, se afirma que, al iniciar la siembra, el material orgánico puede contener 70% de humedad, lo cual facilita la ingestión del alimento y el deslizamiento de la lombriz a través del material. Una mayor humedad ocasiona encharcamiento que puede causar pudrición del sustrato y muerte de las lombrices.

La humedad de las camas debe de mantenerse en un 80 % aproximadamente, lo cual se controla con el método del puño, es decir, si toma un puñado del alimento y si la humedad es suficiente caerán de 8 a 10 gotitas, en épocas calurosas se recomienda que exista un control diario de humedad. El riego en el lecho deberá ser fino. Nunca deberá echarse el

agua a chorros en los lechos. La mejor fórmula es aplicar varias veces un riego suave. (Lezcano 2016 p.236).

Asimismo, el pH, hace referencia a la acidez o alcalinidad del sustrato perjudica el desarrollo de la lombriz. Lo ideal es que el sustrato presente un pH entre 6.0 y 7.0. La acidez nos muestra el grado de degradación o envejecimiento de la materia orgánica, sobre todo de las proteínas residuales de origen animal. Un espolvoreo de cal o yeso (mantendrá el PH en la neutralidad) se agrega más material orgánico. En caso de alcalinidad se puede utilizar vinagre en forma disuelta. Para el control se utiliza el pH-metro, o también se puede utilizar el papel de tornasol; se coge con la mano una muestra de sustrato, se introduce una tira del papel en medio del estiércol, se aprieta el puño por algunos segundos; se retira el papelito y se compara el cambio de color con los diferentes colores del "patrón" que contiene la caja de tornasol. (Lezcano 2016 p.239).

De acuerdo al alimento, en este aspecto la *Eisenia foetida* acepta con gran voracidad todo tipo de desechos, desechos orgánicos de la industria, la ciudad, mataderos y otros. Es un animal de una gran capacidad de adaptación, siendo esencial adaptarla a toda nueva situación en forma paulatina. En la siguiente tabla podemos observar los parámetros del alimento a considerar:

Tabla 3

Parámetros del Alimento de la lombriz a considerar

Parámetro	Nivel Optimo	Nivel Adecuado	Peligro de Muerte	
Temperatura	20°C	15° - 24° C	-5°C	+37°C
Humedad	75%	70% - 80%	-70%	+80%
PH	6.5 - 7.5	6.0 – 8.0	-4.5	+8.5

Proteínas	13%	7.5% - 13%	-7.5%	+18%
-----------	-----	------------	-------	------

Parámetros considerados para la adaptabilidad de la lombriz Eisenia foetida a un sustrato específico.

Fuente: *Elaboración Propia*

Los materiales orgánicos vegetales poseen un tiempo estimado de descomposición entre 30 y 60 días, mientras que el material orgánico de origen animal se descompone en un tiempo de 15 a 30 días. Una alta concentración de microorganismos y la presencia de grasas aceleran el proceso de descomposición. En caso se cuente con un material orgánico rico en proteínas se debe contar con una proporción del 50%, con un 50% de desechos o sustratos vegetales. Al colocar la materia prima, se puede comprobar la aceptación por las lombrices si después de 2 ó 3 días estas habitan en el interior del lomo. La ausencia de lombrices descalifica el alimento por lo que habría que removerlo y cambiarlo por otro.

Para la relación carbono nitrógeno (c/n), hay que considerar el contenido de carbono y nitrógeno de los materiales a compostear. Con una relación c/n mayor a 33 de los residuos vegetales, el proceso de descomposición es más largo. Cuando la relación c/n esta entre 17 y 23 hay un equilibrio adecuado en la producción de humus, pero cuando hay una relación menor a 17. Hay una descomposición muy rápida y contiene insuficiente nitrógeno para las plantas.

La patología más importante que puede presentarse en las lombrices es la intoxicación proteica, provocada por la presencia de un elevado contenido de sustancias ricas en proteínas no transformadas en alimento por las lombrices. Estas sustancias proteicas en exceso favorecen la proliferación de microorganismos, cuya actividad genera gases y provoca un aumento de la acidez del medio. Las lombrices ingieren los alimentos con una excesiva acidez que no llega a ser neutralizada por sus glándulas calcíferas. Por tanto, se produce la fermentación en el buche y en el ventrículo provocando su inflamación. Los

síntomas más frecuentes suelen ser el abultamiento de la zona clíterar, coloración rosada o blanca de las lombrices y una disminución generalizada de su actividad. Como medida de control se debe remover la tierra para favorecer la oxigenación y la aplicación de elevadas dosis de carbonato cálcico. (Brechelt, 2017).

Además de ello, se puede afirmar que el aserrín es un residuo de la madera que posee una fácil descomposición y cuando es mezclado con otros residuos orgánicos posee ventajas en cuanto a densidad, porosidad aproximada del 84% y aireación. Es un recurso de bajo costo y alta disponibilidad, siendo así un recurso beneficioso para la práctica de la lombricultura, a excepción del aserrín de coloración rojiza, ya que la presencia de taninos puede resultar tóxica para las lombrices. Acuña (2017) afirma que se ha comprobado la eficiencia del aserrín para la producción del humus cuando es combinado en proporciones iguales con estiércol, sin embargo, si la cantidad de aserrín es mayor, la capacidad reproductiva de *Eisenia foetida* decrece y también se ve afectada la producción de humus. La adición de este sustrato en el sistema de biofiltro dinámico aeróbico tiene como finalidad servir de alimento para las lombrices en caso el afluente sufra una disminución en la cantidad de carga orgánica.

Por otro lado, se denomina empaque al material sólido que se utiliza en el biofiltro para que tenga un área superficial adecuada y permita la formación de la biopelícula. Este lecho empacado, también llamado filtro percolador tiene como función dar lugar a la oxidación biológica en el sistema, ya que es alrededor de este soporte donde se originan todas las reacciones bioquímicas. Este estrato consiste en un lecho de piedras o grava u otro medio natural o sintético, pero la importancia radica en los espacios que quedan entre los materiales de empaque. El tamaño de las piedras puede ser variable. Para un sistema de regular tamaño, son utilizadas dimensiones de 2,5-10 cm de diámetro. El diseño de este

estrato debe permitir una distribución uniforme de nutrientes y oxígeno, mientras se renueva la materia orgánica disuelta y suspendida. (Lezcano 2016 p.347).

Microbiología en Biofiltros Dinámicos Aeróbicos; en la primera capa filtrante constituida por *Eisenia foetida*, el lecho y aserrín, se encuentran bacterias filamentosas como *Sphaerotilus natans* y *Beggiato*, (Acuña et al. 2017 p.23) A menudo es la causa principal de “bulking”, estas bacterias prosperan su crecimiento en ambientes con concentraciones bajas de oxígeno y presencia de sulfuro de hidrógeno proveniente de la carga orgánica, por lo tanto, hay que contar con una correcta aireación en este estrato del sistema. Además, Acuña (2017) indica que en el mismo estrato se forma un conjunto bacteriano compuesto por: *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Alcaligenes* y *Pseudomonas* todas ellas son bacterias Gram negativas. En el estrato compuestos por el empaque filtrante presenta condiciones anaeróbicas en la parte interior y en la parte exterior predominan las condiciones aeróbicas.

La biopelícula está compuesta por bacterias del género *Zooglea* que es una bacteria acuática que actúa como sustrato al que se adhieren otros microorganismos, bacterias y protozoos. (Martín, 2019). Este género de bacterias permite la formación de flóculos y facilita la sedimentación. También se encuentran presentes bacterias nitrificantes, las cuales inician su proceso cuando el efluente cuenta con una temperatura adecuada y una baja tasa de carga orgánica. También se encuentran presentes algunas algas que cumplen la función de producir oxígeno molecular y contribuir con el proceso de fotosíntesis.

Los protozoarios presentes también son importantes ya que remueven continuamente las bacterias, ayudando a mantener una alta tasa de descomposición. La matriz se halla formada por un polisacárido llamado glicocálix. El cual se encuentra justo fuera de la pared celular de las bacterias y cumple con la tarea de fijar agua y evitar que esta se seque. Está compuesto por carbohidratos, proteínas y células propias de las superficies mucosas.

El sistema tiene las siguientes características: la alimentación y drenaje, la estructura del biofiltro, la aireación, la tasa de riego, el flujo a través del medio poroso, la velocidad superficial, la velocidad intersticial, el caudal de diseño, el tiempo de residencia hidráulica y la ley de Darcy.

Respecto a la alimentación y el drenaje, el agua residual se distribuye por medio de rociadores ubicados en la parte superior, estos pueden ser fijos o móviles. El líquido gotea a través del empaque y se coloca un sistema de drenaje inferior para recolectar el efluente y ocasionalmente algunos sólidos que se desprenden del soporte.

La estructura del biofiltro, varía entre formas circulares y cuadradas. Sin embargo, las formas circulares son las más recomendadas para evitar condiciones inadecuadas en el flujo que pueda afectar el desempeño del sistema. Las causas comunes son cortos circuitos, zonas muertas y recirculación interna por corrientes internas y/o densidad. (Mollah et al. 2018)

Otra característica es la aireación, puesto que los niveles de oxígeno disuelto pueden ser bajos, en algunos casos pueden ser necesarias también unas instalaciones de aireación para el sistema en todos los estratos.

La tasa de riego, según Revilla (2017 p .29), el diseño de un biofiltro dinámico aeróbico se basa en la realización de un balance de masas, en el cual se considera:

- El número de lombrices que pueden cohabitar por unidad de área.
- La cantidad de materia orgánica que puede ser digerida por la especie.
- La tasa máxima de riego que puede soportar el lecho.

De esta manera se considera para el diseño:

$$T_{Riego} = \frac{Q}{A} \leq \frac{1m^3}{m^2} \cdot día$$

Ecuación 1: *Tasa de Riego*

Donde:

T_{Riego} = Tasa de Riego

Q = Caudal

A = Área

Lezcano (2016) indica que los biofiltros poseen una clasificación establecida en función a la carga hidráulica y carga orgánica del sistema, como podemos apreciarlo en la siguiente tabla:

Tabla 4

Características que deben cumplir los filtros según las cargas

N°	DATOS DE DISEÑO	BAJA CARGA	ALTA CARGA
1	Carga Hidráulica $\frac{m^3}{m^2} \cdot d$	1 – 4	10 – 40
2	Carga Orgánica $\frac{kg\ DBO}{m^3} \cdot d$	0,08 - 0,032	0,32 – 1,0
3	Profundidad en m	1,8 - 3,0	0,9 – 2,5
4	Tasa de Recirculación	0	0,5 – 3,0 (desagüe doméstico) Hasta 8 (desagüe industrial)

Fuente: *Biotecnologías Ambientales de aguas y Aguas Residuales (2016)*

Además de ello, el medio poroso se define como un sólido o grupo de sólidos con suficiente espacio abierto dentro o alrededor de las partículas para permitir que el fluido fluya a través de ellos. El medio puede ser consolidado como una membrana cerámica o no consolidado como un filtro de rocas o una torre de empaques.

En tal sentido, la porosidad (ϵ), hace referencia a la fracción volumétrica hueca o vacía.

$$\epsilon = \frac{\text{volumen total} - \text{volumen sólido}}{\text{volumen total}}$$

Ecuación 2: Tasa de Riego

Según D'Elia (2014), existen 2 tipos de porosidad, la primera es una porosidad total conformada por los poros interconectados, semicerrados y totalmente cerrados. Por otro lado, está la porosidad eficaz, conformada solamente por poros interconectados y semicerrados, ésta es la más importante en el proceso de filtración.

Tabla 5

Valores de Porosidad expresado en %

Material	Porosidad Total	Porosidad Eficaz
Grava		
- Gruesas		
- Medias	25-40	15-35
- Finas		
Arenas		
- Gruesas		
- Medias	25-45	10-35
- Finas		

Valores generales establecidos para cálculos afines al estudio

Fuente: *Elaboración propia*

La velocidad superficial (v_s), es la tasa de flujo volumétrico de ese fluido dividido por el área de la sección transversal.

$$v_s = \frac{Q}{A}$$

Ecuación 3: Velocidad Superficial

Donde

Q = Caudal de diseño, (m³/d).

A= área transversal total (m²).

La velocidad intersticial (v_i), consiste en la velocidad del movimiento de agua dentro de los poros, así como de un poro a otros en medios porosos.

$$v_i = \frac{v_s}{\epsilon}$$

Ecuación 4: Velocidad Intersticial

Respecto al caudal de diseño, para compensar las pérdidas o ganancias de agua causadas por filtración o precipitaciones a lo largo del flujo del agua residual puede ser necesario calcular el caudal medio.

$$Q = \frac{Q_e + Q_o}{2}$$

Ecuación 5: *Caudal de Diseño*

Donde:

Q = Caudal medio a través del biofiltro (m³/d).

Q_e = Caudal de salida (m³/d).

Q_o = Caudal de ingreso (m³/d).

El tiempo de residencia hidráulica (t), puede ser calculado por medio de la siguiente fórmula:

$$t = \frac{L \cdot W \cdot y \cdot n}{Q}$$

Ecuación 6: *Tiempo de Residencia Hidráulica*

Donde:

L = Largo del biofiltro (m).

W = Ancho del biofiltro, (m).

y = Profundidad del biofiltro, (m).

n = Porosidad

Q = Caudal medio, (m³/d).

En caso el biofiltro posea forma circular, se calculará el volumen del mismo, y se sustituirá el dato, reemplazando las variables correspondientes.

Finalmente, la Ley de Darcy, para las condiciones del flujo en el lecho del biofiltro, la cual describe régimen de flujo en un medio poroso.

$$Q = kS \cdot A \cdot S$$

Ecuación 7: *Ley de Darcy*

Donde:

Q: Caudal promedio, (m³/d).

kS: conductividad hidráulica de una unidad de área del biofiltro, (m³ / m² *d).

A: área de sección transversal perpendicular al flujo, (m²).

S: gradiente hidráulico de la superficie del agua en el sistema, (m/m).

La ley de Darcy es una aproximación que describe el comportamiento del biofiltro. Se tiene restricciones como la de asumir condiciones de flujo laminar, y que el flujo en el sistema es constante y uniforme.

1.1. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto del biofiltro dinámico aerobio en el tratamiento de efluente del proceso de remojo de una curtiembre??

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto del Biofiltro Aerobio en el tratamiento de efluentes del proceso de remojo de una curtiembre.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros físico – químicos iniciales de los efluentes del proceso de remojo de una curtiembre.
- Determinar los parámetros físico – químicos finales de los efluentes de procesos de remojo de una curtiembre, después del tratamiento de biofiltros dinámicos aerobios.
- Determinar el porcentaje de remoción alcanzado de los parámetros físico-químicos establecidos en los efluentes del proceso de remojo después de haber sido tratados por el sistema de biofiltros dinámicos aerobios.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis General

- H1: El efecto del biofiltro dinámico aerobio es significativo en el tratamiento de efluentes del proceso de remojo de una curtiembre.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

- Investigación Experimental Pre - Experimental:

Diseño de un solo grupo cuyo grado de control es mínimo. Generalmente es útil como un primer acercamiento al problema de investigación en la realidad. (Sampieri, 2016)

En la presente investigación se cuenta con un biofiltro control, el cual se utilizó para comprobar la intervención en el tratamiento de la especie biológica utilizada que fue la *Eisenia foetida*.

- Investigación Cuantitativa:

Se caracteriza por cuantificar los datos y en general aplicar alguna forma de análisis estadístico. En la presente investigación se recabaron datos numéricos por medio de análisis de parámetros que comprenden la calidad del agua y seguido a eso, se utilizó la prueba de Wilcoxon y Shapiro Wilk como base de nuestro análisis estadístico y prueba de hipótesis.

2.2. Materiales, instrumentos y métodos

Tabla 6

Material Utilizado en la Prueba de Adaptabilidad de Eisenia foetida

Material Biológico	Material de Campo (Construcción)	Material de Gabinete	Métodos Utilizados
<ul style="list-style-type: none"> - Para la presente investigación se empleará la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>). <p>Agua residual del proceso de remojo de una curtiembre.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Malla Raschel al 80% - Aserrín de madera blanca. - Botella de Spray. - Termómetro - Envases de plástico de color oscuro. - Pistola Cautín - Tiras reactivas de pH 	<ul style="list-style-type: none"> - Computadora - Impresora - Libreta de Campo - Formatos de Control 	<ul style="list-style-type: none"> - Método del Puño - Método Colorimétrico para determinación de pH

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7

Material Utilizado para la Construcción y Control de Biofiltros Dinámicos Aerobios

Material Biológico	Material de Campo (Construcción)	Material de Gabinete	Métodos Utilizados
<p>Para la presente investigación se empleará la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Estructuras de vidrio reciclado - Malla Raschel al 80% - Grava Gruesa, Media y Fina - Arena Gruesa - Aserrín de madera blanca - Brocas para cristal - Pegamento Epóxico - Plancha de PVC - Tubo de PVC de ½ pulg. - Pistola Cautín - Mangueras de ½ cm de diámetro. - Aspersores graduables para riego por goteo. - 7 envases de plástico - 1 jeringa de 150 ml. 	<ul style="list-style-type: none"> - Computadora - Impresora - Libreta de Campo - Formatos de Control 	<ul style="list-style-type: none"> - Método Volumétrico para medición de Caudales,

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8

Materiales utilizados para la Evaluación de los Parámetros de Laboratorio

Parámetros	Material de Laboratorio	Equipos de Laboratorio	Métodos
pH	<ul style="list-style-type: none"> - Vaso de Precipitado de 500 ml. 	<ul style="list-style-type: none"> - Multiparámetro digital. 	<p>Método Electrométrico para determinación de pH</p>

Oxígeno Disuelto	- Vaso de Precipitado de 500 ml.	- Multiparámetro digital.	Método Electrométrico para determinación de Oxígeno Disuelto
Conductividad Eléctrica	- Vaso de Precipitado de 500 ml.	- Multiparámetro digital	Método Electrométrico para determinación de Conductividad Eléctrica
DBO5	- Frasco Ámbar Winker o botellas para incubación (250 – 300 ml) - Almohadilla buffer - Pastillas de KOH - Probeta 95 ml. - Agitador magnético	- Incubadora de Aire - Equipo BOD TRAK II	Método Respirométrico para determinación de DBO 5
DQO	- Agua destilada - Dicromato de potasio - Ácido Sulfúrico - Sulfato de Mercurio - Tubos de ensayo con tapa rosca - Vasos de Precipitado de 50 ml. - Cocina - Lunas de reloj. - Pinzas - Pipetas - Micro-Propipetas	- Campana Extractora - Colorímetro	Método Fotométrico para determinación de DQO
Sólidos Suspendidos Totales	- Set de filtración - Papel Filtro de membrana de 4,5 um - Pinzas - Cocina - Mortero de Porcelana - Vaso de precipitado de 50 ml - Balanza	- Bomba de vacío	Método Gravimétrico para determinación de Sólidos Suspendidos Totales
Aceites y Grasas	- Vasos de precipitado de 50 ml. - Bencina - Pera de decantación - Pinzas - Cocina - Balanza		Método de Partición Gravimétrica para determinación de Aceites y Grasas.

Fuente: *Elaboración Propia*

- **Procedimiento:** fue dividido en las siguientes etapas:

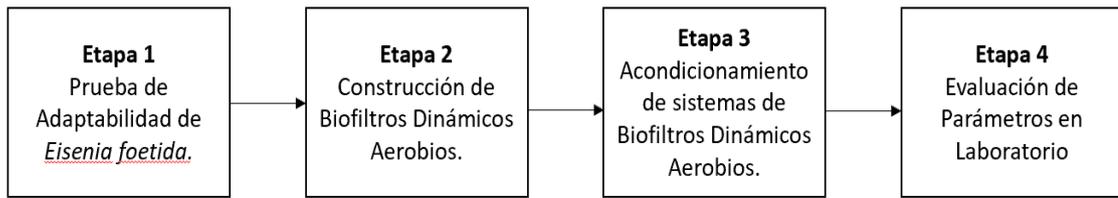


Figura 1: *Etapas del Procedimiento de Investigación*

Prueba de Adaptabilidad de *Eisenia foetida*

La metodología de prueba de adaptabilidad fue basada en el diseño de Caicedo (2017) en el que se tiene como objetivo específico, adaptar la muestra de *Eisenia foetida* y adecuarla a contaminantes a los que se le va a exponer durante la investigación.

El procedimiento fue el siguiente:

- Se inició el procedimiento con 6 envases de plástico de color oscuro para la preservación de *Eisenia foetida*.
- Seguidamente con la pistola cautín se hicieron orificios pequeños en toda la base para evitar la acumulación de líquido y posible exceso de humedad y para cubrir la base de los envases se cortó la malla Raschel al 80% en cuadrados pequeños.
- Se colocó 50 lombrices, cubriendo población de lombrices jóvenes y adultas, en sustrato y aserrín de madera blanca, dentro de cada envase preparado y se tomaron 7 días como prueba de adaptabilidad, tomando diferentes concentraciones del efluente del proceso de remojo de una curtiembre.
- Se tomaron diferentes ml del efluente del proceso de remojo y se combinó con agua potable aforando a 500 ml ambos se mezclaron en una botella con atomizador, y se asperjó cada envase con la mezcla 3 veces al día. Aumentando la concentración pasada los días. También se controló la Humedad del sustrato, por medio del Método del Puño, a su vez se utilizó el Método Colorimétrico para la determinación de pH en el sustrato y por último se controló la temperatura con un termómetro de suelo digital.

- Las mediciones se realizaron 3 veces al día. Culminados los 7 días se verificó la población actual en cada envase, para certificar el éxito de la adaptabilidad.

Tabla 9

Prueba de Adaptabilidad de Eisenia foetida

Tiempo de Adaptabilidad	Dilución (500 ml.)		Parámetros de Control		
	Muestra (ml.)	Agua (ml.)	pH (Unid)	Humedad (%)	T° (C)
Día 1	100	400	7	80%	23.2
Día 2	200	300	7	80%	23.3
Día 3	250	250	6	80%	23.1
Día 4	300	200	6	80%	23.3
Día 5	350	150	7	80%	23.7
Día 6	400	100	7	80%	22.9
Día 7	500	100	7	80%	22.6

Fuente: Elaboración Propia

Construcción de la estructura de los Biofiltros Dinámicos Aerobios

• Elección de la Industria para la Investigación

Se realizó las coordinaciones con la institución proveedora del agua a tratar, la cual autorizó la toma de muestras y la utilización del efluente resultante del proceso de remojo realizado.

La institución cuenta con un punto de descarga del efluente que facilitó la recolección de la muestra para luego ser tratada en los biofiltros ubicados en la planta.

• Dimensionamiento de los Biofiltros Dinámicos Aeróbicos

El dimensionamiento de los Biofiltros fue calculado haciendo una proporción de las medidas del diseño de Garzón (2015) en el que se tiene como objetivo específico, un % de eficiencia del 50% o más en el sistema.

Las medidas a utilizar son las siguientes:

- Diámetro (D) : 0.11 m.
- Radio (r) : 0.055 m.

- Altura (h) : 0.488 m.

• **Construcción de los Biofiltros Dinámicos Aeróbicos**

Se construyeron 6 biofiltros dinámicos aerobios y 1 biofiltro solo con empaque de grava gruesa, media, fina y arena gruesa como sistema control para poder comparar e identificar la función que cumple la especie *Eisenia foetida* en el sistema. Se trabajó la estructura de forma cilíndrica y de vidrio reciclado con las dimensiones establecidas. A su vez, se utilizó un taladro con broca para cristales de 1.30 cm de diámetro y se hizo un agujero en la base de la estructura para la salida del efluente. Seguidamente se cortaron 7 trozos de tubo de PVC de ½” de 7 cm de largo y luego fueron fijados a los agujeros de desfogue con pegamento epóxico y una vez seco se determinó un falso fondo de 3 cm de altura y se colocaron tacos de cristal para el soporte. Para la base se cortaron 7 círculos de 11cm de diámetro de la plancha de PVC para que cumplan la función del soporte de los biofiltros y con la pistola cautín se realizaron agujeros en toda la superficie. Seguidamente las planchas fueron fijadas a los tacos de cristal utilizando pegamento epóxico.

Para iniciar con los estratos, sobre el falso fondo se colocó de forma manual una capa de grava gruesa, seguido de una capa de grava media y grava fina, se añadió una capa de arena gruesa para culminar con el estrato constituido por el empaque de biofiltros, el cual según Coila (2015) constituye el 50% del biofiltro dinámico aeróbico en cm de altura. Sobre este soporte se colocó una capa constituida por aserrín y lombrices de la especie *Eisenia foetida* en sustrato, completando así el otro 50% de la altura del sistema. Para la separación entre los estratos se colocó Malla Raschel al 80%.

Tabla 10:

Distribución de Estratos para Biofiltros Dinámicos Aerobios (BF)

Estrato	Porosidad (%)	Altura (%)	Altura en cm
Lombrices de la especie <i>Eisenia foetida</i> en sustrato	25-45	30	13.5
Aserrín de madera Blanca	84%	20	9
Arena Gruesa	25-45	12.5	5.6
Grava fina	25-40	12.5	5.6
Grava media	25-40	12.5	5.6
Grava gruesa	25-40	12.5	5.6

Disposición de Estratos para 6 Biofiltros que contienen la especie Eisenia foetida.

Fuente: *Elaboración Propia*

En el caso del biofiltro control, los estratos se distribuyeron de la siguiente manera:

Tabla 11:

Distribución de Estratos para Biofiltro Control (CTR)

Estrato	Porosidad (%)	Altura (%)	Altura en cm
Arena Gruesa	25-45	25	11.25
Grava fina	25-40	25	11.25
Grava media	25-40	25	11.25
Grava gruesa	25-40	25	11.25

Disposición de Estratos para el biofiltro que no contienen la especie Eisenia foetida.

Fuente: *Elaboración Propia*

Se colocaron 2 mangueras en los extremos de los biofiltros con agujeros realizados con el cautín, este sistema mejorará la aireación de cada estrato. Se utilizaron aspersores graduables para la entrada del flujo de agua. Estos fueron colocados en una manguera de PVC de ½”.

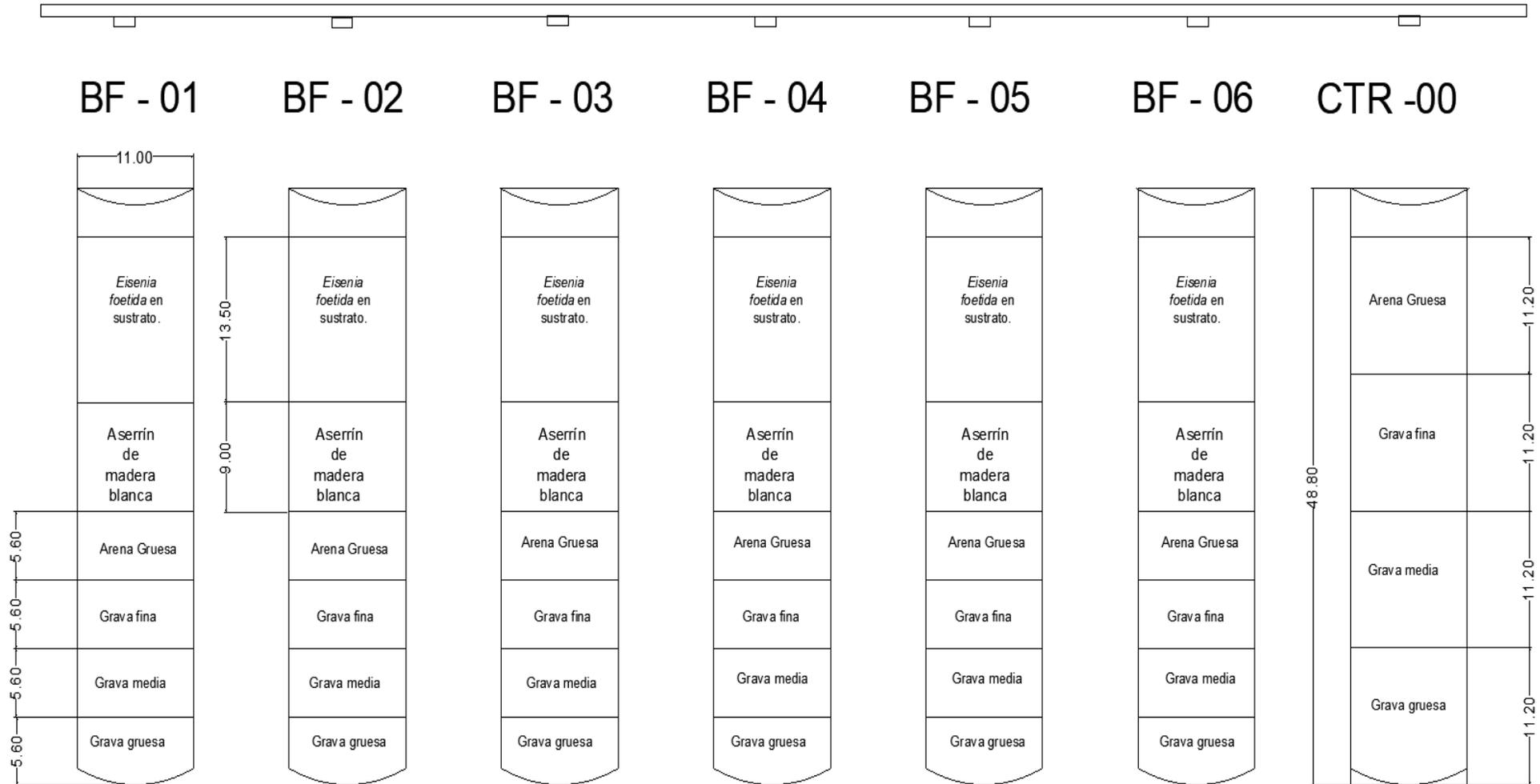


Figura 2: Diseño del Sistema de Biofiltros Dinámicos Aerobios

- **Cálculos del Diseño Hidráulico**

Calculo del Área efectiva del tanque de biofiltrado:

$$\text{Área} = \pi r^2$$

Donde:

r = Radio del Biofiltro

$$\text{Área} = \pi 0.055^2$$

$$\text{Área} = \mathbf{0.0095 \text{ m}^2}$$

Calculo del Volumen Util del tanque de biofiltrado:

$$V \text{ útil} = \text{Área} \cdot hE$$

Donde:

hE = Altura de los estratos

$$V \text{ útil} = 0.0095 \text{ m}^2 \cdot 0.45 \text{ m}$$

$$V \text{ útil} = \mathbf{0.0042 \text{ m}^3}$$

Caudal de Diseño:

El caudal de diseño que ingresa a los biofiltros fue calculado haciendo una proporción de las medidas del diseño de Garzón (2015) en el que se tiene como objetivo específico, un % de eficiencia del 50% o más en el sistema. Este estudio se basó en lo especificado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (2002) donde se sugiere que utilizar caudales bajos, mejora la formación de biopelículas microbianas y rendimiento de sistemas de biofiltrado evitando la colmatación.

$$\text{Caudal de Diseño } (Q) \quad : \mathbf{0.00144 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

Calculo de Velocidad Superficial en el tanque de biofiltrado:

$$v_s = \frac{Q}{A}$$

Donde

Q = Caudal de diseño, (m³/d).

A = área transversal total (m²).

$$v_s = \frac{0.00144 \frac{m^3}{día}}{0.0095 m^2}$$

$$v_s = 0.151 \frac{m}{día}$$

$$v_s = \mathbf{0.00629 \frac{m}{hora}}$$

Tiempo de Residencia Hidráulica (t):

$$t = \frac{V \text{ útil} \cdot n}{Q}$$

Donde:

V útil = Volumen útil del tanque de biofiltrado

n = Porosidad

Q = Caudal medio, (m³/d).

$$t = \frac{0.0042 m^3 \cdot 0.35}{0.00144 \frac{m^3}{día}}$$

$$t = \mathbf{1.02 \text{ días}}$$

Cálculo de la Tasa de Riego:

$$T_{Riego} = \frac{Q}{A} \leq \frac{1 m^3}{m^2} \cdot día$$

Donde:

T_{Riego} = Tasa de Riego

Q = Caudal

A = Área

$$T_{Riego} = \frac{0.00144 \frac{m^3}{día}}{0.0095 m^2} \leq \frac{1 m^3}{m^2} \cdot día$$

- **Acondicionamiento de sistemas de Biofiltros Dinámicos Aerobios**

Para la verificación del caudal de diseño en campo se hizo uso del método volumétrico el cual se repitió por 3 días con el fin de obtener el resultado más aproximado al caudal de diseño. Se colocaron 7 envases de plástico bajo los aspersores graduables utilizados para el ingreso de agua en el sistema. Culminadas las 24 horas de flujo continuo se realizó la medición del volumen recolectado con una jeringa de 150 ml. para mayor precisión. Se llevó un registro de los datos utilizados, aplicando la siguiente formula:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde:

Q : Caudal (m^3/d)

V : Volumen (m^3)

T : Tiempo (d)

Según los resultados obtenidos graduar los aspersores hasta conseguir el resultado más aproximado al caudal de diseño. Seguido, se inició el funcionamiento de los biofiltros dinámicos aerobios el día 09 de diciembre del 2019, y se consideró un periodo de 4 semanas para garantizar el desarrollo de la película biológica sobre la superficie del empaque, a este proceso se le llama maduración. (Lezcano, 2016).

- **Evaluación de parámetros de laboratorio**

El procedimiento se inició con el muestreo del efluente del proceso de remojo de curtiembre sin ningún tratamiento (tiempo T0) y después de instalado el sistema, se realizó el muestreo del efluente tratado en el tiempo T1, T2 Y T3. Para los muestreos realizados se identificaron parámetros de Control y parámetros de evaluación, como se muestra en la siguiente figura:

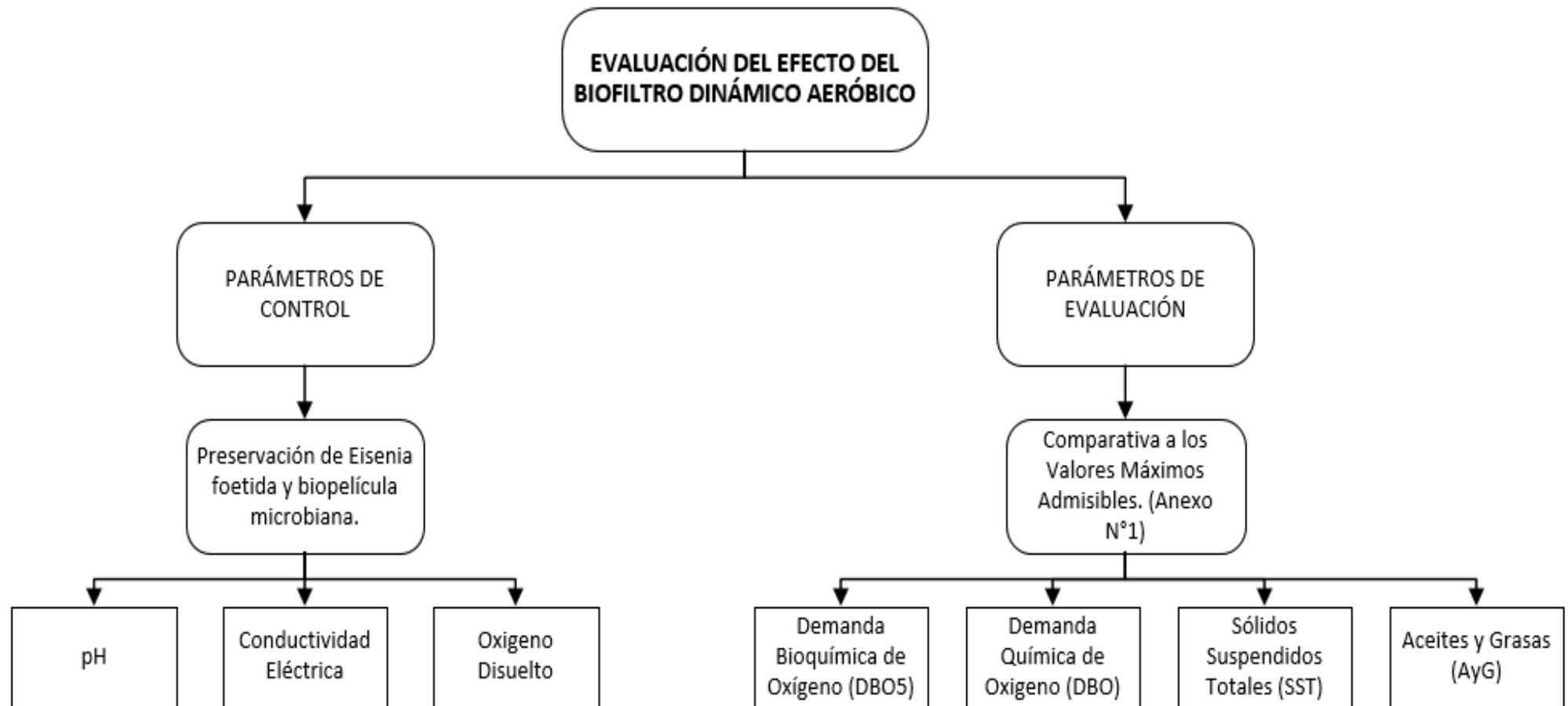


Figura 3: *Parámetros de Evaluación del Efecto del Biofiltro Dinámico Aerobio*

- **Procedimiento de muestreos**

Los muestreos fueron programados y realizados según se realizaron como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 12:

Muestreos realizados en el Sistema de Biofiltros Dinámicos Aerobios

Tipo de Sistema	Código	Muestreo	Tiempo de Tratamiento
EFLUENTE DEL PROCESO DE REMOJO DE CURTIEMBRE	-	T0	SIN TRATAMIENTO
AGUA TRATADA POR BIOFILTROS DINÁMICOS AERÓBIOS	BF-01	T1- BF-01	7 días
		T2-BF-01	14 días
		T3-BF-01	21 días
	BF-02	T1- BF-02	7 días
		T2-BF-02	14 días
		T3-BF-02	21 días
	BF-03	T1- BF-03	7 días
		T2-BF-03	14 días
		T3-BF-03	21 días
	BF-04	T1- BF-04	7 días
		T2-BF-04	14 días
		T3-BF-04	21 días
	BF-05	T1- BF-05	7 días
		T2-BF-05	14 días
		T3-BF-05	21 días
	BF-06	T1- BF-06	7 días
		T2-BF-06	14 días
		T3-BF-06	21 días
AGUA TRATADA POR EL FILTRO CONTROL	CTR-00	T1- CTR-00	7 días
		T2-CTR-00	14 días
		T3-CTR-00	21 días

Fuente: Elaboración Propia

Se utilizaron 7 botellas de vidrio de 700 ml., debidamente esterilizadas con alcohol y rotulados, según la fecha, código de Biofiltros y Control y se contempló la cadena de frío para el transporte hacia Laboratorio, para aumentar la fiabilidad de resultados. Así mismo, todas las muestras fueron analizadas dentro de las 24 horas siguientes al muestreo, cumpliendo con lo sugerido en el “Muestreo De Efluentes Y Cuerpos Receptores En El Marco De La Autorización Sanitaria De Vertimiento” (DIGESA, 2009).

• **Determinación de pH, Conductividad y Oxígeno Disuelto**

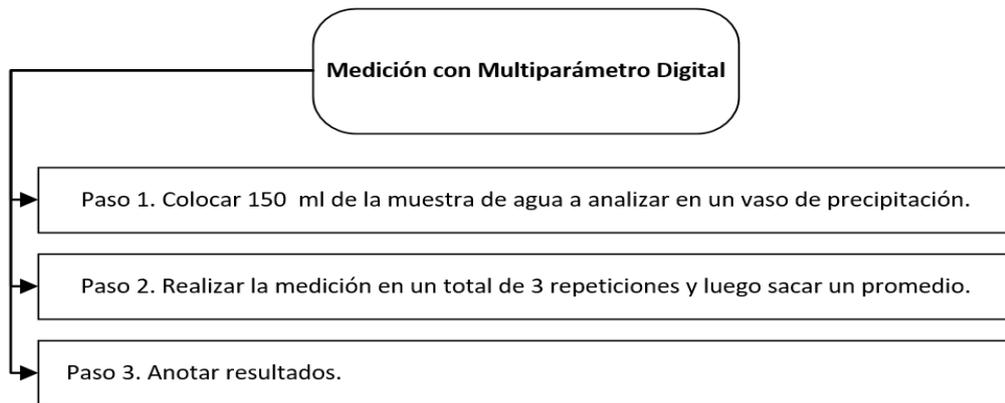


Figura 4: *Método Electrométrico para determinación de pH, Conductividad y OD*

• **Determinación de DBO5**

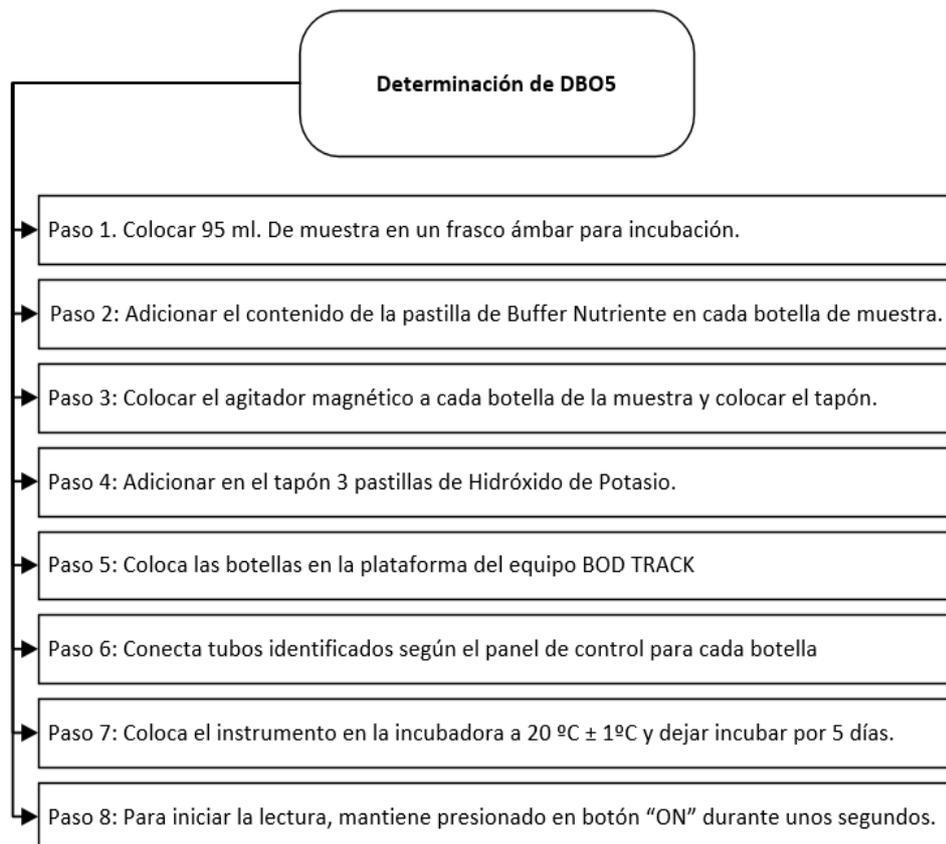


Figura 5: *Método Respirométrico para determinación de DBO5*

• **Determinación de DQO**

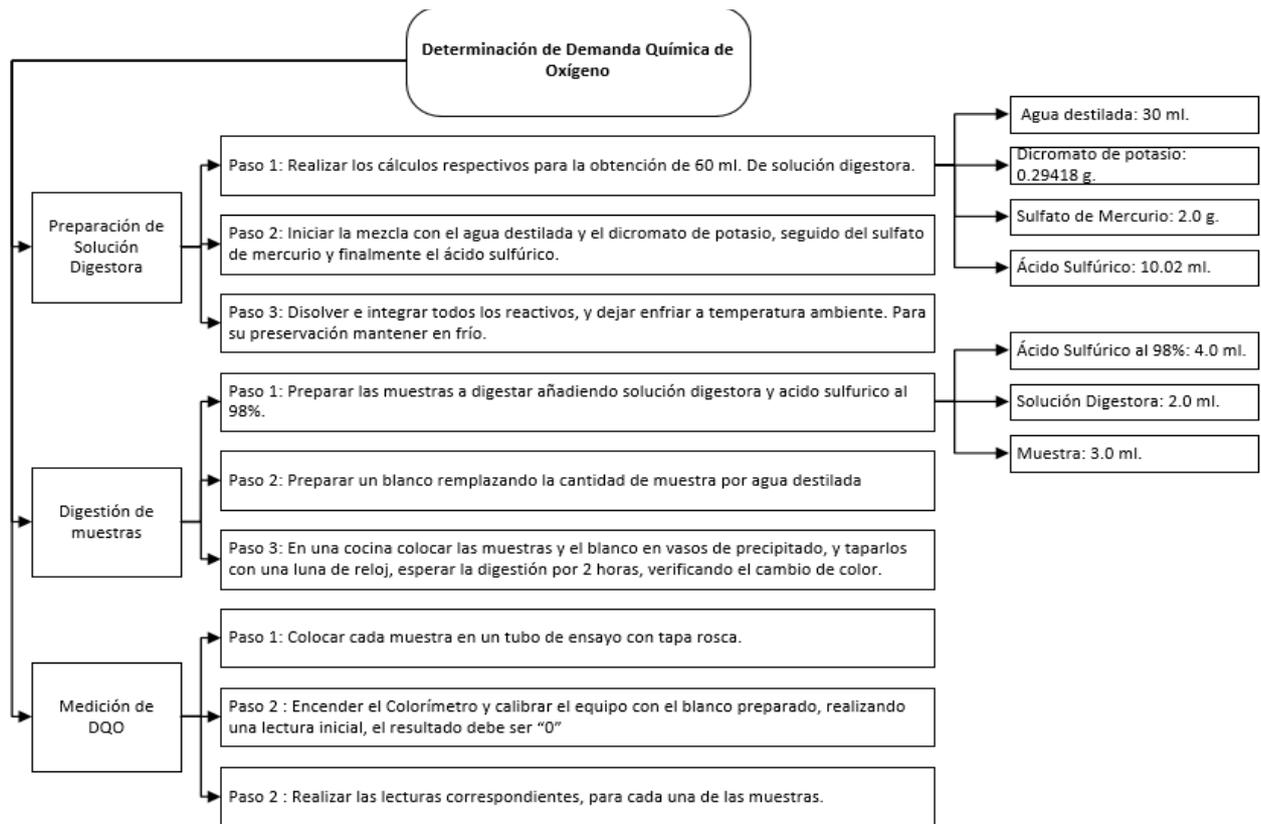


Figura 6: Método Fotométrico para Determinación de DQO

• **Determinación de Sólidos Suspendidos Totales**

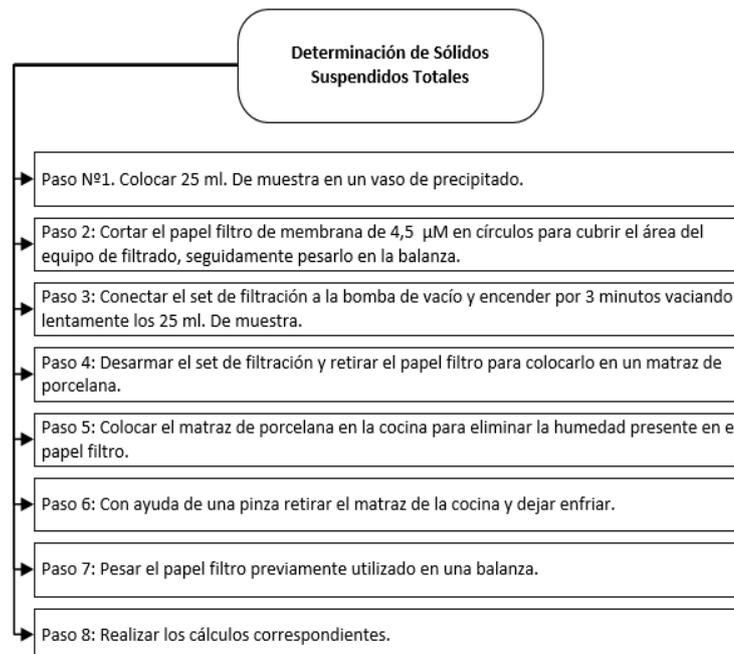


Figura 7: Método Gravimétrico para Determinación de Sólidos Suspendidos Totales

- **Determinación de Aceites y Grasas**

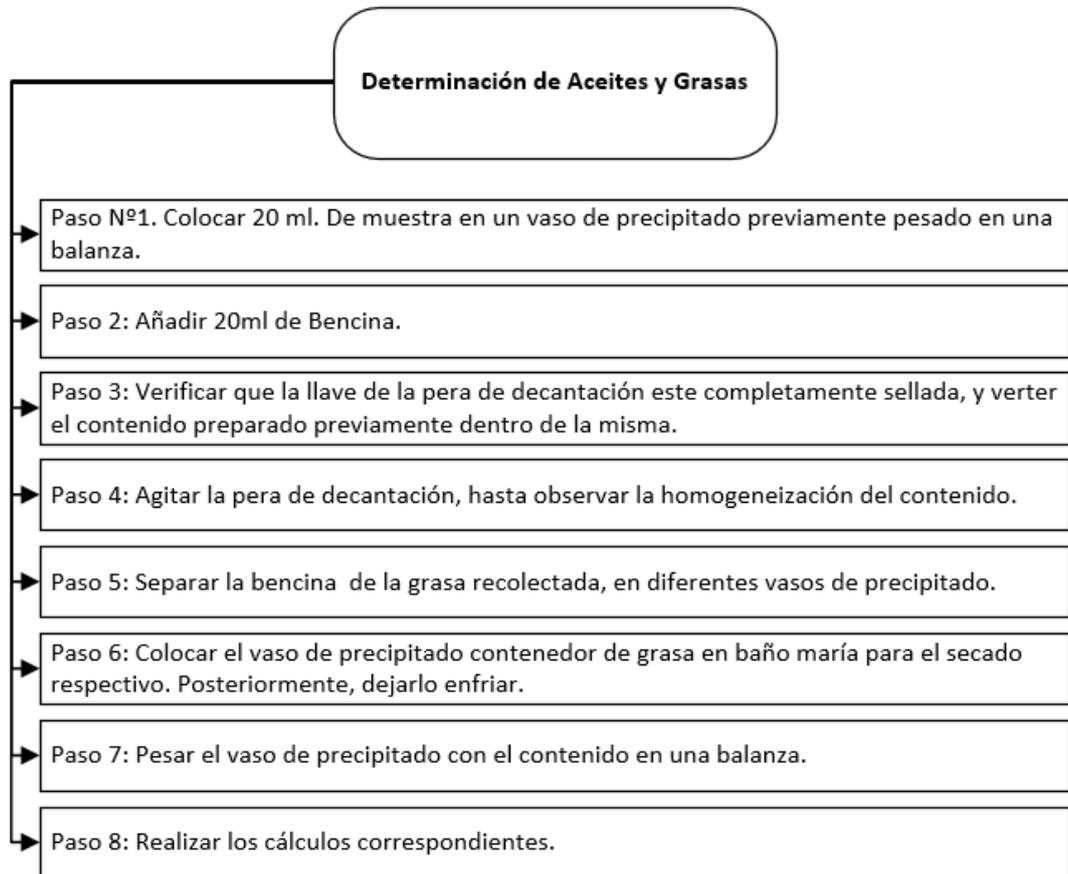


Figura 8: *Método de Partición Gravimétrica para determinación de Aceites y Grasas.*

- **Análisis estadístico de resultados**

En la presente investigación se recabaron datos numéricos por medio de análisis de parámetros que comprenden la calidad del agua y seguido a eso, se utilizó la prueba de Wilcoxon y Shapiro Wilk como base de nuestro análisis estadístico y prueba de hipótesis.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Se obtuvieron los resultados del muestreo de efluentes del Sistema de 6 Biofiltros Dinámicos Aerobios (BF). Estos muestreos y sus respectivos análisis se realizaron en las fechas escogidas y a su vez, según el parámetro y las facilidades de laboratorio, se realizaron repeticiones, las cuales permitieron obtener un promedio con el cual se trabajó estadísticamente para luego obtener un resumen de los resultados obtenidos en el proceso de investigación.

3.1. Resultados iniciales (T₀) y finales (T₁, T₂, y T₃) del efluente de proceso de remojo de una curtiembre.

Tabla 13:

Resultados de los parámetros evaluados en función del Tiempo.

	Tiempo de Funcionamiento	pH	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Aceites y grasas (mg/L)
	T ₀	7.62	135.7	0.97	3685	1550.00	2600.02	25248
BF-01	T1	7.59	62.4	2.18	850	1254.00	565	5688
	T2	7.92	35.4	3.42	858	1209.50	550	6108
	T3	7.33	37.8	3.11	775	1263.00	525	5908
BF-02	T1	7.38	59.27	2.09	806	1176.33	525	6900
	T2	7.88	33	2.77	868	1250.00	435	4780
	T3	7.31	38.1	3.09	768	1178.00	455	6132
BF-03	T1	7.44	53.13	2.06	894	1284.00	445	6832
	T2	7.91	32.9	3.22	871	1297.50	420	5284
	T3	7.31	37.93	3.41	770	1169.00	520	7044
BF-04	T1	7.43	59	1.73	890	1241.00	460	4704
	T2	7.93	33.5	2.71	858	1252.00	495	6436
	T3	7.35	38.07	3.08	746	1178.00	405	5976
BF-05	T1	7.47	57.33	2.09	896	1199.67	520	5132
	T2	7.93	33.4	3.38	868	1204.00	560	6808
	T3	7.34	38.13	3.06	801	1208.00	530	7120
BF-06	T1	7.41	61.23	1.94	816	1214.00	510	7916
	T2	7.92	33.2	3.41	871	1305.50	535	8824
	T3	7.31	38.23	3.06	803	1190.00	505	7950.4
	TF	7.56	43.45	2.77	833.83	1226.31	497.78	6419.02

Se realizaron 3 repeticiones por cada ensayo para mayor precisión en el estudio, donde al final se trabajó con los promedios de cada tiempo evaluado.

Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla 14:
Estadísticos descriptivos de los parámetros de control y evaluación.

Estadísticos descriptivos	pH	Conductividad	Oxígeno Disuelto	DBO	DQO	Sólidos suspendidos totales	Aceites y grasas
Media	7,57	48,30	2,67	983,89	1243,34	608,42	7410,02
Mediana (Me)	7,44	38,10	3,06	858,00	1214,00	520,00	6436,00
Varianza	0,07	571,25	0,49	430065,21	7290,18	234871,24	19856647,56
Desviación estándar	0,26	23,90	0,70	655,79	85,38	484,64	4456,08
Mínimo	7,31	32,90	0,97	746,00	1169,00	405,00	4704,00
Máximo	7,93	135,70	3,42	3685,00	1550,00	2600,02	25248,00
Rango	0,62	102,80	2,45	2939,00	381,00	2195,02	20544,00

Fuente: Registro de tiempos de funcionamiento

La tabla anterior muestra medidas estadísticas descriptivas, podemos observar que en los parámetros de control el promedio de biofiltros es de 7.57 para el pH, con una variabilidad de 0.26; el 50% de los valores alcanza un máximo de 7.44 (Me) y el otro 50% supera dicho valor. En la conductividad el promedio es de 48.30, con una variabilidad de 23.90, el 50% de los registros tiene un máximo de 38.10 (Me) y el otro 50% son más altos.

El oxígeno disuelto alcanza una media de 2.67, con una variabilidad de 0.70; el 50% tiene un máximo valor de 3.06 (Me) y el otro 50% supera dicho valor. En los parámetros de evaluación encontramos que el DBO tiene un promedio de 983.89, con una variabilidad de 655.79, en el DQO la media es de 1243.34 con una variabilidad de 85.38; en los sólidos suspendidos totales se alcanza a una media de 608.42 con una variabilidad de 484.64 y finalmente en aceites y grasas se encontró un promedio de 7410.02 con una variabilidad de 4456.08.

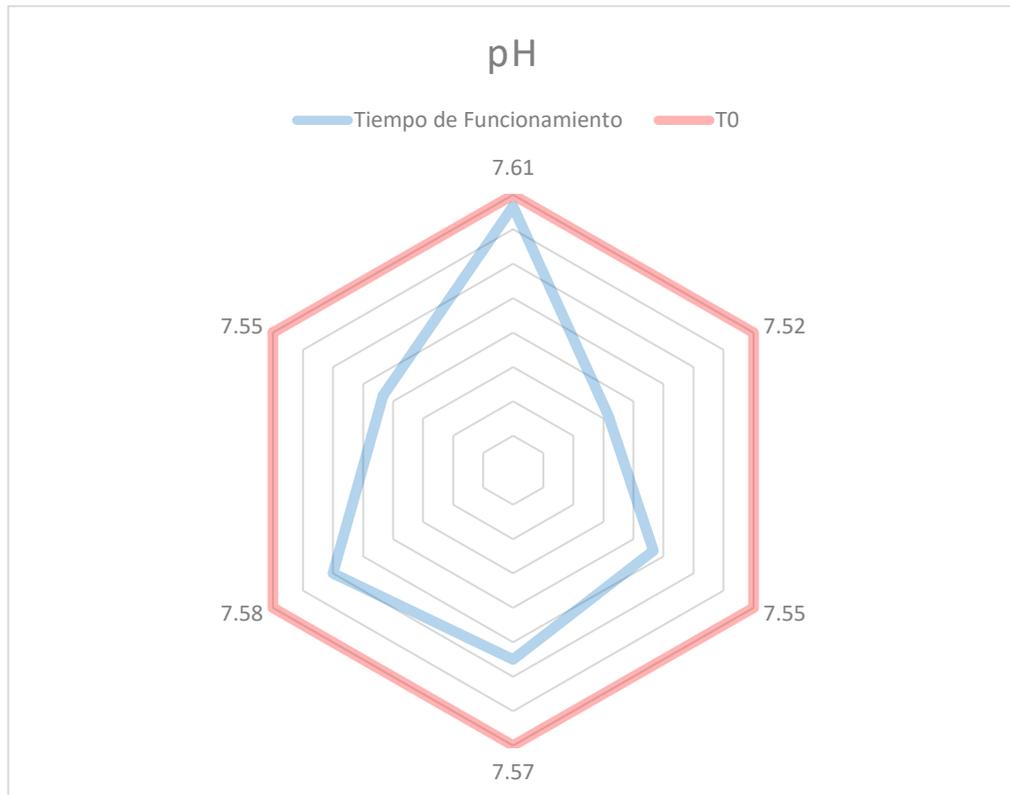


Figura 9: Resultados del parámetro de evaluación y control de pH

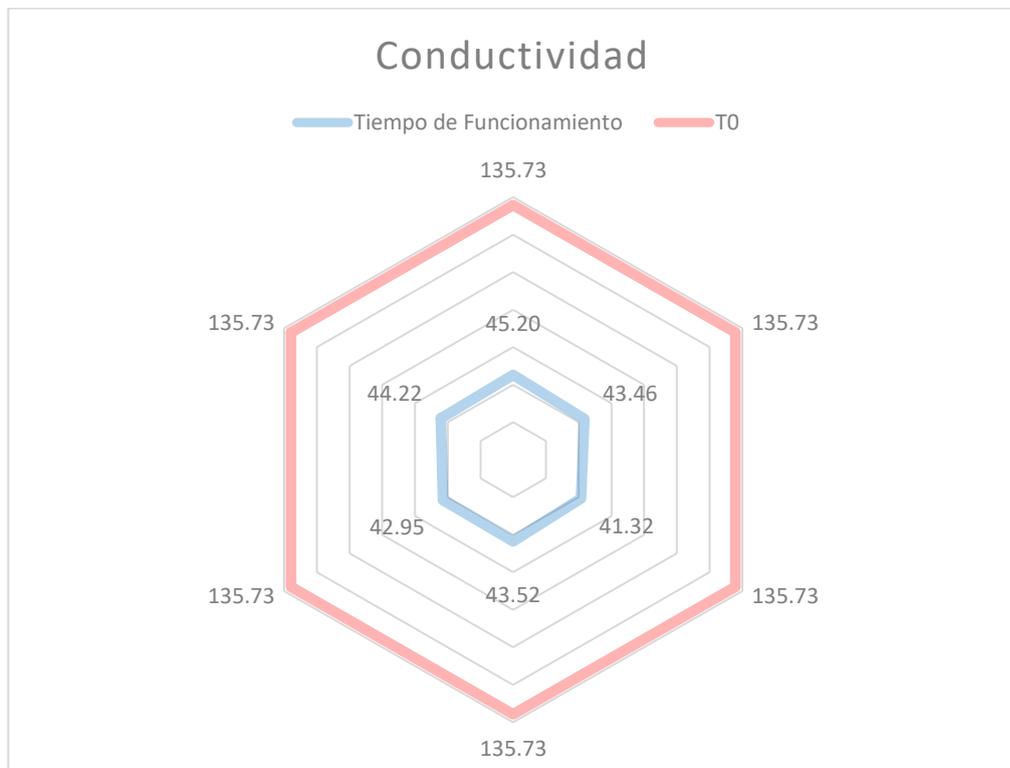


Figura 10: Resultados de parámetros de evaluación y control de la Conductividad

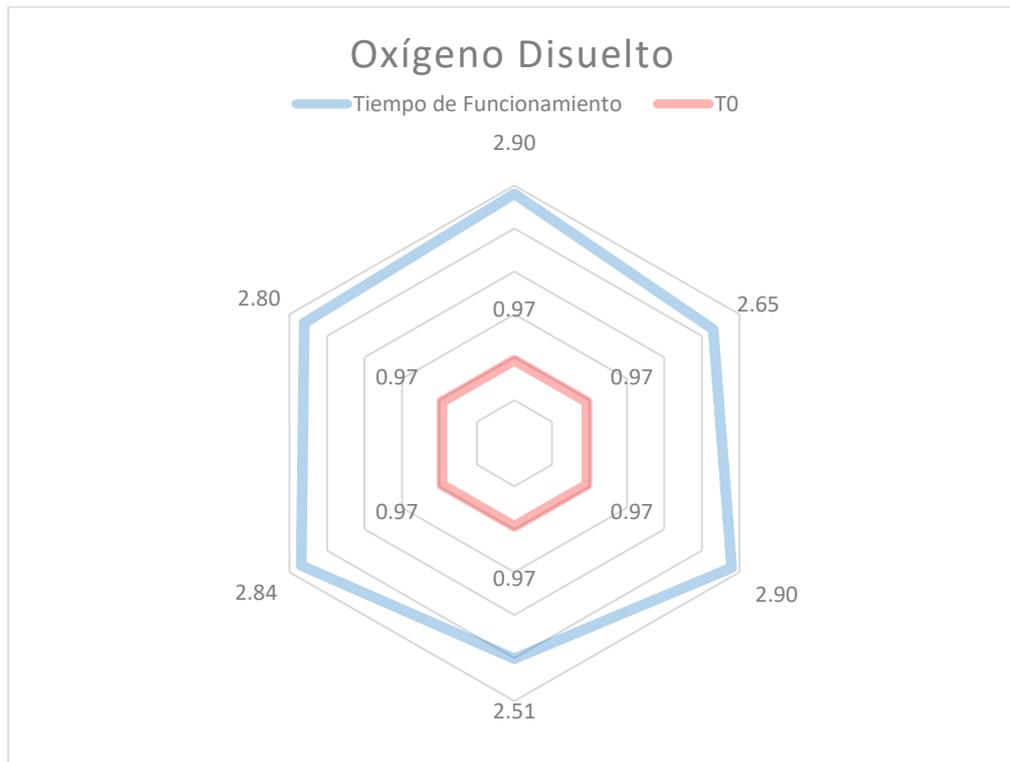


Figura 11: Resultados de los parámetros de evaluación y control del Oxígeno Disuelto

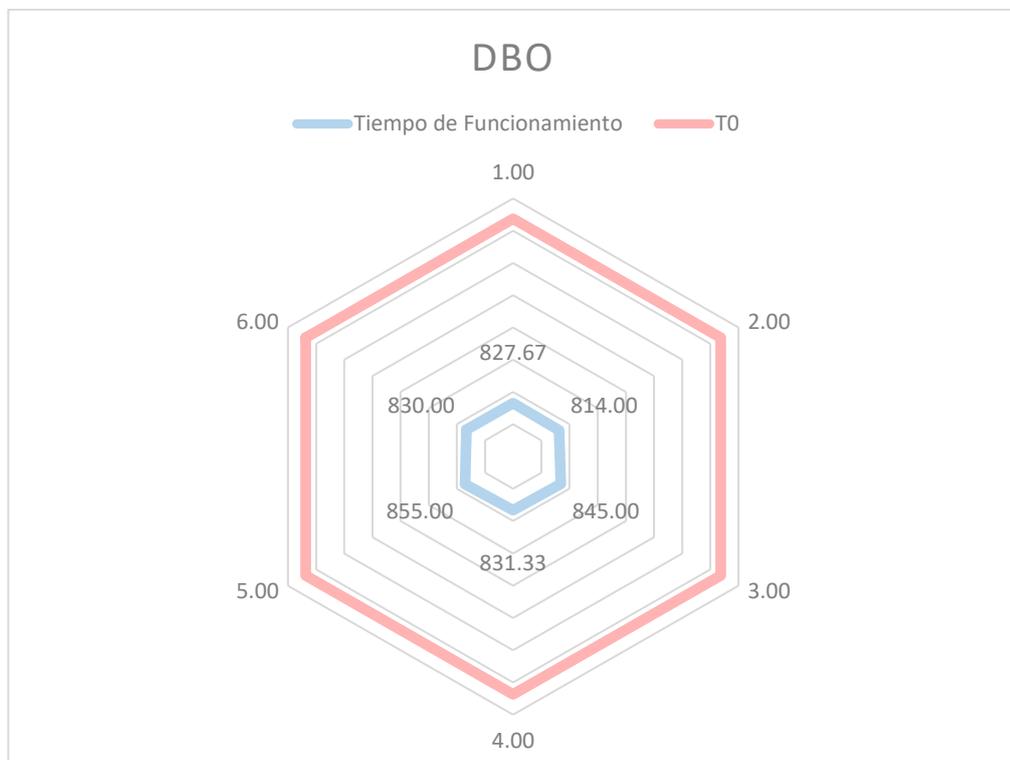


Figura 12: Resultados de los parámetros de evaluación y control de (DBO)

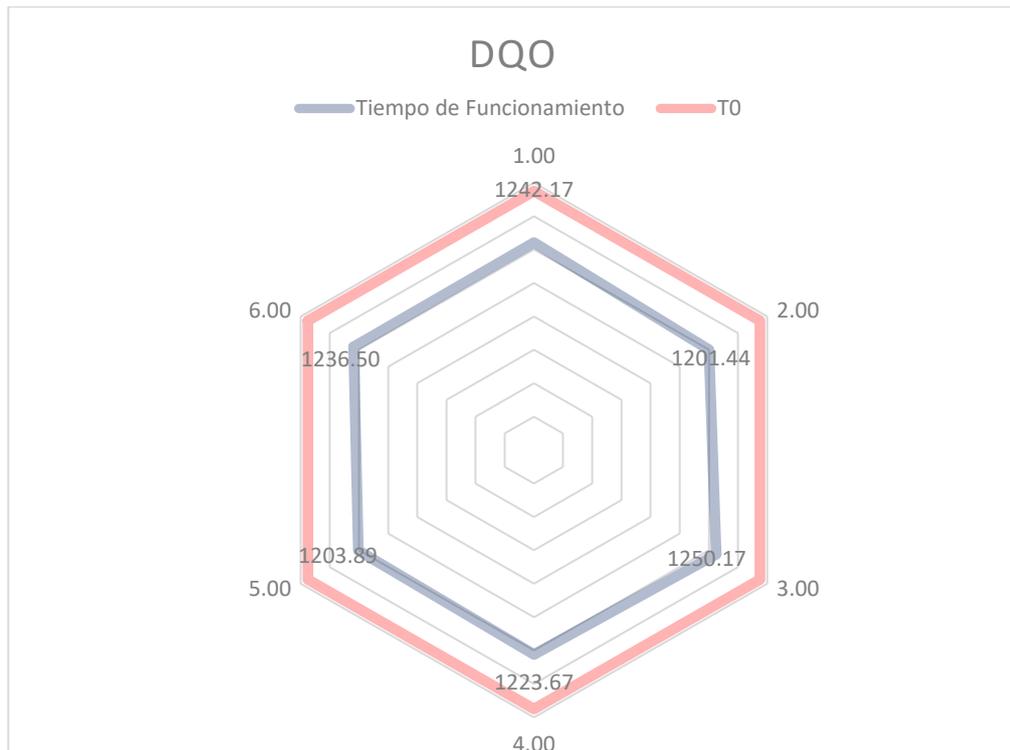


Figura 13: Resultados de los parámetros de evaluación y control de (DQO)

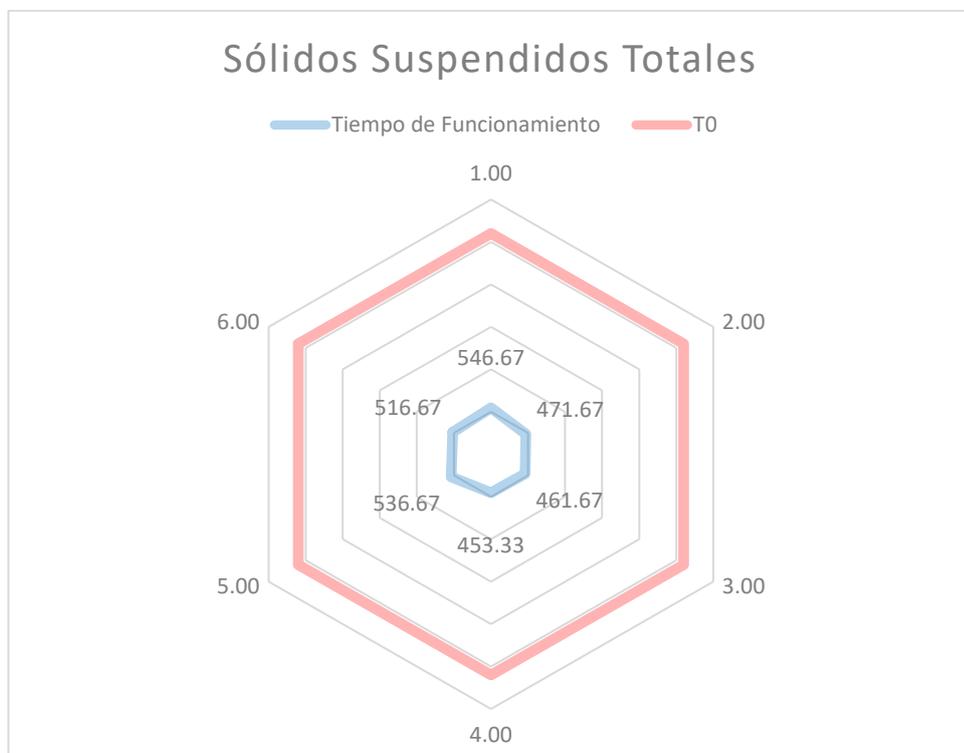


Figura 14: Resultados de los parámetros de evaluación y control de (SST)

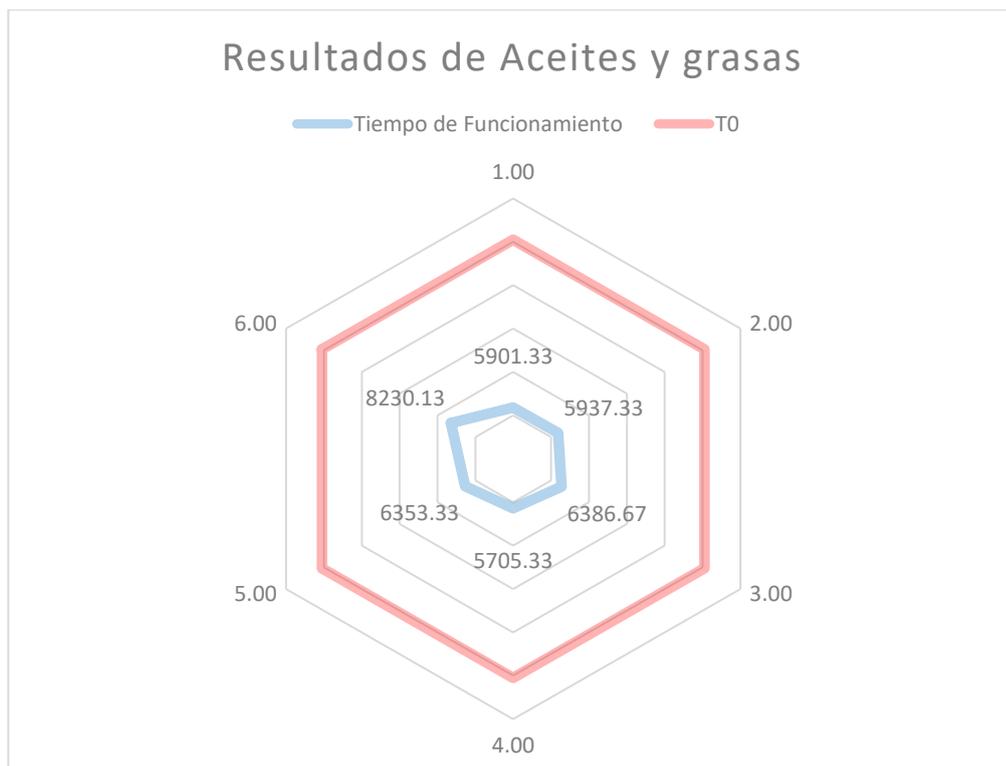


Figura 15: Resultados de los parámetros de evaluación y control de Aceites y grasas

3.2.Cálculo del Porcentaje de Remoción:

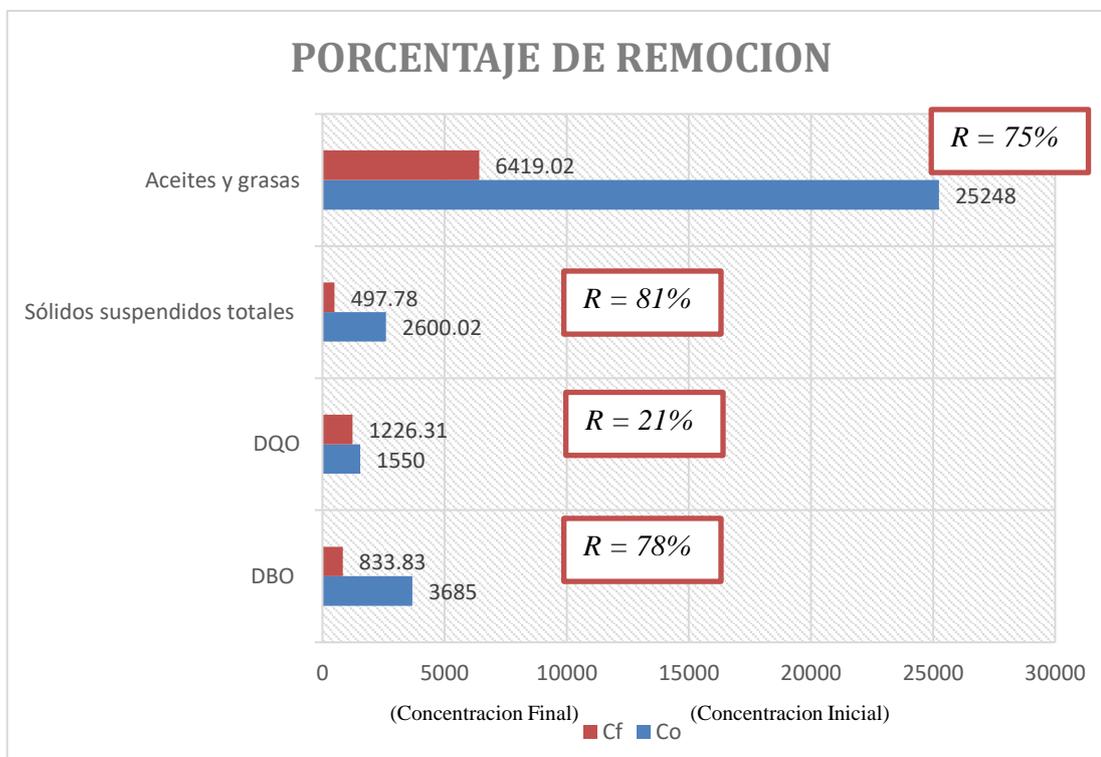


Figura 16: Porcentaje de Remoción para los parámetros de DBO, DQO, AYG y SST.

La concentración inicial del efluente sin tratamiento es de 3685 mg/l, y la concentración final (salida) después de realizado el tratamiento de los Biofiltros con la especie *Eisenia foetida* se redujo al valor de 833.83 mg/l, obteniendo una remoción del 78% de este parámetro. Para el parámetro de DQO se muestra la diferencia en cuanto a la concentración que ingreso al Biofiltro con un valor de 1550 mg/l, y en el efluente (salida) del método de tratamiento con la especie *Eisenia Foetida* donde se redujo a un valor de 1226.31 mg/l, obteniendo una remoción de este parámetro del 21%.

La cantidad de Solidos Suspendidos Totales (SST) antes del ingreso en el tratamiento de Biofiltros con *Eisenia foetida* fue de 2600.02 mg/l, después de pasar por el sistema de depuración Biofiltro se obtuvo un valor de 497.78 mg/l, obteniendo una remoción del 81% y la cantidad de Aceites y grasas antes del ingreso al tratamiento mediante el Biofiltro de lombrices fue de 25248 mg/l, después de pasar por el sistema de depuración se obtuvo un valor de 6419.02 mg/l, obteniendo una remoción del 75%.

3.3. Análisis ligado a la Hipótesis

Tabla 15:

Prueba de normalidad aplicado a los parámetros de control y evaluación.

		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Ph		0,794	19	0,001
Conductividad		0,620	19	0,000
Oxígeno Disuelto		0,880	19	0,022
DBO		0,306	19	0,000
DQO		0,705	19	0,000
Sólidos suspendidos		0,330	19	0,000
totales				
Aceites y grasas		0,471	19	0,000

Fuente: Registro de tiempos de funcionamiento

La tabla anterior nos proporciona el estadístico de Shapiro Wilk ($n < 50$) la prueba aplicada para analizar la normalidad de los datos y su significación asintótica (p valor); para lo cual planteamos las siguientes hipótesis:

H_0 : Los datos analizados siguen una distribución Normal

H_1 : Los datos analizados no siguen una distribución Normal

Decisión:

- Cuando $P > 0.05$ Aceptamos la Hipótesis Nula
- Cuando $P < 0.05$ Rechazamos la Hipótesis Nula de manera significativa

En las variables encontramos la significación asintótica $P < 0.05$ en todas las variables analizadas; no cumpliendo el supuesto de normalidad, por los que se sugiere realizar el análisis con la Prueba de rangos con signo de Wilcoxon por ser más potente para datos no paramétricos.

Tabla 16:

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon antes y después del tratamiento.

	Ph post- pre	Conductividad post - pre	Oxígeno Disuelto post - pre	DBO post - pre	DQO post - pre	Sólidos suspensionados totales post - pre	Aceites y grasas post - pre
Z	-0,48	-3,823	-3,824	-3,725	-3,724	-3,724	-3,724
Sig. asin. (bilateral)	0,631	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: Registro de tiempos de funcionamiento

La tabla anterior muestra la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon, prueba no paramétrica para comparar el rango medio de dos muestras relacionadas y determinar si

existen diferencias entre ellas, en el pH encontramos que no existe diferencias significativas antes y después.

En los parámetros restantes se aprecia que existe diferencias altamente significativas entre las muestras, lo que nos evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa ($Z=-3.823$; $P<0.01$):

H1: El efecto del biofiltro dinámico aerobio es significativo en el tratamiento de efluentes del proceso de remojo de una curtiembre.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Dentro de los parámetros de investigación se consideró el pH, siendo el principal para el desarrollo investigación ya que su continuo seguimiento preserva la vida de la especie biológica con la que se ha trabajado. Según la prueba estadística de Wilcoxon que se muestran en las tablas 13 y 16, se notó que el pH de acuerdo a lo que se evidencia en los resultados, no presentó una variación significativa entre los valores pre y post tratamiento de acuerdo a Lezcano (2016) el pH del efluente se maneja en un promedio neutro lo cual indica que las proteínas residuales de origen animal que posee, se encuentran en un grado de degradación bajo, dicho proceso se realizó dentro del Biofiltro Dinámico Aerobio, el cual retiene la materia orgánica para su envejecimiento proteico (Lezcano,2016), convirtiéndose en el alimento ideal de *Eisenia foetida*, y si la degradación causa un aumento excesivo de la acidez, esta es neutralizada por las glándulas calcíferas de la especie. Asimismo, esta afirmación se puede respaldar con los investigadores Díaz y Zafra (2018), cuyo trabajo se basó en la implementación de lombrifiltro para el tratamiento de las aguas residuales que provenían de un camal municipal, dando a conocer que el parámetro del pH con la aplicación del lombrifiltro se mantiene neutro.

Por otro lado, se consideró el parámetro de conductividad eléctrica, el cual, según la prueba estadística de Wilcoxon en las tablas 13 y 16, demuestra que existen diferencias altamente significativas entre las muestras de entre el pre y post tratamiento, de igual manera Lezcano (2016) señala que la conductividad es un parámetro que se encuentra dentro de los rangos de normalidad para la vida de la especie biológica en el estudio, la variación indica que la cantidad de sales presentes en el agua fueron reducidos en el proceso de biofiltración dicho parámetro guarda una estrecha relación con la alta

salinidad es una posible característica en efluentes del proceso de remojo ya que las pieles dentro del proceso de curtido se les añade muchas sales para su preservación. Sin embargo, la disminución del parámetro es un indicador de la adaptabilidad de la especie al medio. También es importante reconocer el beneficio que trae la reducción de la conductividad eléctrica para un posterior tratamiento de aguas residuales o su vertimiento a cuerpos de agua.

También se consideró dentro de los parámetros de control el oxígeno disuelto, el cual, es muy importante ya que determina las condiciones aerobias y anaerobias para los procesos biológicos que se presentan en los Biofiltros este parámetro depende en su totalidad de la temperatura, la cual es necesaria para garantizar la continuidad de la vida de las especies dentro del sistema. Según la prueba estadística de Wilcoxon en las tablas 13 y 16, tomando valores promedio se determinó que existen diferencias altamente significativas entre el pre y post tratamiento. Este resultado es respaldado por Samal et al. (2018), el cual afirma que la presencia de proteínas, hidratos de carbono, aceites y grasas provenientes de las pieles que son tratadas en el proceso de remojo generan en el efluente una reducción del oxígeno disuelto. El aumento de oxígeno disuelto evidenciado en el agua que fue tratada con el sistema propuesto se debe a que dentro del diseño del Biofiltro se consideró un sistema de aireación para el agua que ingresa al mismo. Se utilizaron aspersores que regulan y brindan oxigenación al agua, por lo tanto, la aplicación intermitente del agua residual y el drenaje vertical en el lecho generan que las reacciones aeróbicas se produzcan con rapidez, permitiendo una mayor oxigenación del líquido. Así mismo, otra característica del sistema fue la instalación de dos tubos de aireación que atraviesan los biofiltros por todos los estratos brindando oxigenación y evitando condiciones sépticas. La especie *Eisenia foetida* también generó aireación en el primer estrato con la formación de túneles en el sustrato para su desplazamiento. Así

mismo, aguas más cálidas son capaces de disolver menores cantidades de oxígeno. (Goyenola & Urtado, 2017), lo cual es favorable para la preservación de la especie *Eisenia foetida* y a su vez, para el mejoramiento de la calidad del agua tratada.

Un tratamiento biológico solo puede ser viable si la materia orgánica que contiene es biodegradable o si existe una mayor concentración de ésta, frente a la no biodegradable. Esta naturaleza fue evaluada a través de la determinación DBO/DQO en el efluente sin tratamiento el cual dio un resultado mayor a 0,6 el cual indica que el vertido es orgánico y con materia orgánica del tipo soluble y particulada que fue retenida y consumida por la especie *Eisenia foetida*., tal como lo demuestra la figura 16, en referencia a lo que señala Acuña (2017) que señala que este tipo de sistemas en compañía con agente biológico generan bajas en la presencia del oxígeno. Los parámetros de evaluación fueron considerados ya que representan un lineamiento que debe ser removido del efluente a tratar para cumplir con las normas vigentes por el estado peruano y que han formado parte de la evaluación del efecto del tratamiento realizado con el sistema de Biofiltros Dinámicos Aerobios.

Dentro de estos parámetros se consideró el DBO5 que según la prueba de Wilcoxon evidenció diferencias altamente significativas entre las muestras de concentración inicial, antes del tratamiento, y la concentración promedio final, después del tratamiento. El valor inicial obtenido del muestreo del efluente sin tratamiento reflejó que está constituido por una gran cantidad de materia orgánica animal, la que fue retenida en su mayoría por el primer estrato de los Biofiltros generando una degradación proteica, necesaria para luego poder ser parte del sustrato consumido por *Eisenia foetida*. A su vez, en el estrato de empaque, la película microbiana desarrollada en el periodo maduración, también cumplió la función de descomposición y absorción de materia orgánica residual. Los resultados indican un correcto procesamiento de la materia

orgánica y que la generación de oxígeno en el sistema es la adecuada para su descomposición y posterior consumo. Por otro lado, según Tecnologías Emergentes y No convencionales, Fundación Chile, los Biofiltros Dinámicos Aerobios presentan un rendimiento del 95% en remoción del parámetro en cuestión, sin embargo, en la figura 16 se muestra que en la investigación se pudo determinar un porcentaje de remoción del 78%. Si bien no se llega a lo establecido por la organización señalada, cabe resaltar que este resultado puede ser respaldado por Loro (2018), el cual como trabajo previo y/o antecedentes demuestra que haciendo uso de un Biofiltro con *Eisenia foetida* los niveles de DBO5 removido se da entre 50 y 80%, por lo tanto, se considera aceptable el porcentaje obtenido en el presente estudio.

También se analizó el parámetro de DQO que, según la prueba estadística de Wilcoxon, presentó diferencias altamente significativas entre las muestras de concentración inicial, antes del tratamiento, y la concentración promedio final, después del tratamiento. A partir de lo obtenido se pudo confirmar que el sistema presentó una eficiencia del 21% de remoción, tal y como se muestra en la figura 16. Sin embargo, este resultado no concuerda con los antecedentes presentados, tal y como lo anuncian los investigadores Vizcaíno y Fuentes (2016) en su trabajo con el que afirman que la remoción de la DQO fue de un 69.2%; por el contrario, cabe resaltar que lo que difiere el rendimiento del sistema es la naturaleza y origen de las aguas tratadas en ambos estudios. Además de ello, el parámetro de DQO obtuvo resultados más elevados que los evidenciados en DBO lo cual demuestra que el oxidante químico reaccionó también con sustancias de difícil biodegradación para los microorganismos como los aceites y grasas y otras sustancias no biodegradables presentes en el efluente del proceso de remojo utilizado. El DQO presentó un porcentaje de remoción del 21%, esto debido a que el tratamiento realizado con el sistema de Biofiltros Dinámicos Aerobios está orientado a la disminución de

materia orgánica biodegradable, más no a aquellos compuestos con un potencial de biodegradación más bajos que pueden también conformar (Lezcano, 2016), en menor cantidad, el efluente del proceso de remojo.

El siguiente parámetro considerado fue Aceites y Grasas que según la prueba estadística de Wilcoxon confirmó que el efecto del biofiltro dinámico aerobio es significativo en la remoción de aceites y grasas en los efluentes del proceso de remojo en una curtiembre. Este parámetro está formado por lípidos provenientes de la materia orgánica de origen animal, los mismos que generan un descenso en el oxígeno disuelto presente en el efluente y en concentraciones elevadas, estas grasas lentamente biodegradables obligan a los organismos aerobios presentes en el efluente a operar con una carga másica efectiva demasiado baja, frente a esto, la realización de la prueba de adaptabilidad de *Eisenia foetida* resultó ser importante para garantizar la subsistencia a altas concentraciones de aceites y grasas, resaltando la capacidad de la especie para neutralizar sustancias tóxicas y sustancias lentamente biodegradables. Según Lezcano (2016) los lípidos y proteínas de origen animal contenidos en el efluente, tardan de 10 a 15 días en descomponerse y para que la especie cuente con alimento durante el proceso, es que se considera el estrato de aserrín, que constituye el 50% de la alimentación de la especie dentro del Biofiltro. Así mismo, Santambrosio (2017) señala que una alta concentración de microorganismos y la presencia de grasas aceleran el proceso de descomposición de la materia orgánica incluyendo en ella los lípidos existentes, para luego ser procesados por *Eisenia foetida*. La especie presentó alta adaptabilidad y capacidad de procesamiento a aceites y grasas de origen animal encontradas, ya que el parámetro presentó una remoción del 75% tal y como se muestra en la figura 16, sin embargo, se recomienda aplicar un tratamiento previo para reducir las concentraciones de este parámetro y así garantizar el correcto funcionamiento del sistema de biofiltrado. Este resultado es respaldado por Loro (2018),

el cual informa que el rendimiento en la remoción de aceites y grasas tanto de un biofiltro convencional como el de un biofiltro con *Eisenia foetida*, son altamente eficientes.

El último parámetro considerado fueron los Sólidos Suspendedos Totales que, según la prueba estadística de Wilcoxon, presentó diferencias altamente significativas entre las muestras de concentración inicial, antes del tratamiento, y la concentración promedio final, después del tratamiento. El porcentaje de remoción del parámetro fue del 81%, lo cual ratifica la capacidad del Biofiltro Dinámico Aerobio para remover sólidos suspendidos del efluente a tratar, así mismo, el paso por el medio poroso atrapó las partículas generadoras de turbidez, propiciando su fermentación y formación de película microbiana, la cual, posteriormente procesará estos residuos y parte de la materia orgánica soluble que no pudo ser procesada en el estrato compuesto por *Eisenia foetida*. Otro factor que considerar en la carga hidráulica establecida en el diseño del sistema, ya que, en cuanto menor sea la carga hidráulica establecida para un sistema de biofiltros, mayor será la remoción de Sólidos suspendidos totales. Este resultado es respaldado por Castro (2016), en su investigación, en la cual, buscaba la implementación de un lombrifiltro (*Eisenia foetida*) en una PTARD para poder determinar la viabilidad de este y tenerla como propuesta en uso, demostrando que estos biofiltros poseen una eficiencia de remoción mayor al 89%, generando casi la mitad 44% (generación de humus) de impactos positivos al medio.

4.2 Conclusiones

- Se logró evidenciar un efecto significativo generado por el tratamiento de biofiltros dinámicos aerobios, aplicados para el tratamiento de efluentes que se dan durante el proceso de remojo de las curtiembres, ya que, los porcentajes de remoción respecto a la DBO5 fue del 78%, a la DQO fue del 21%, de Sólidos Suspendidos Totales (SST) fue del 81% y finalmente la remoción de de Aceites y grasas fue del 75%.
- Se determinaron los parámetros físicos – químicos iniciales de los efluentes del proceso de remojo de una curtiembre, y se evidenciaron elevados resultados, los cuales fueron: DBO5, siendo su concentración de 3685 mg/l, de DQO fue de 1550 mg/l, de Solidos Suspendidos Totales (SST) fue de 2600.02 mg/l, y la concentración de Aceites y grasas fue de 25248 mg/l; asimismo, cabe resaltar que estos parámetros fueron originados por la presencia de cantidades elevadas de materia orgánica.
- Se determinaron los parámetros físicos – químicos finales de los efluentes de procesos de remojo de una curtiembre, los cuales fueron: la conductividad siendo su concentración final (salida) después de realizado el tratamiento de los Biofiltros con la especie *Eisenia foetida* de 48.30, el oxígeno disuelto siendo su concentración final (salida) después de realizado el tratamiento de los Biofiltros de 2.67, de DBO5 siendo su concentración final (salida) después de realizado el tratamiento de los Biofiltros con la especie *Eisenia foetida* de 833.83 mg/l, para el parámetro de DQO fue de 1226.31 mg/l, de Solidos Suspendidos Totales (SST) después de pasar por el sistema de depuración Biofiltro se obtuvo un valor de 497.78 mg/l, y finalmente los Aceites y grasas después de pasar por el sistema de depuración se obtuvo un valor de 6419.02 mg/l. Los parámetros evaluados presentaron una significancia menor a

0,05, con excepción del parámetro de pH, el cual, no contó con una variación significativa dentro de los tres muestreos realizados.

- Se determinó el porcentaje de remoción alcanzado de los parámetros físico-químicos establecidos en los efluentes del proceso de remojo después de haber sido tratados por el sistema de biofiltros dinámicos aerobios, los cuales obtuvieron un rendimiento superior al 50%, con excepción del parámetro de DQO, el cual, solo obtuvo un porcentaje de remoción del 21%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña, J., & Reyes, J. (2017). *Eficiencia de Lumbricus Terrestris y Eisenia Foetida en el tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Bagua - Amazonas*. Bagua, Peru.

Recuperado

de:

<http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1208#:~:text=Obteniendo%20los%20resultados%20que%20la,promedio%20de%20remoci%C3%B3n%20del%2063%25>.

Baca, A. (2016). *Efectos del polvo de cáscara de Musa paradisiaca en la remoción de cromo total de las aguas residuales de Inversiones Harod S.A.C, Trujillo*. Trujillo,

Perú. Recuperado de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/6584>

Cáceres, D., Calisaya, G., & Bedoya, E. (2018). *Eficiencia de la Lombriz Roja Californiana (Eisenia foetida) en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Ciencia y

Tecnología para el desarrollo – UJCM. Volumen 4. Recuperado de:

<https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/115>

Caicedo, A. (2017). *Diseño, construcción y evaluación de un prototipo biológico compuesto de Eisenia foetida y Agave dilifera, para el tratamiento de aguas residuales en la*

granja del Ministerio de agricultura, ganadería, acuicultura y pesca. Riobamba,

Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6321>

Carzón, M., Gonzáles, J., & García, R. (2015). *Evaluación de un sistema de tratamiento doméstico para reúso de agua residual*. México. Revista Internacional de

contaminación ambiental. Volumen 32. Recuperado de:

<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2016.32.02.06>

- Castañeda, Y., Vargas, R., Césare, M., & Visitación, L. (2016). *Evaluación y tratamiento de efluentes del remojo convencional y enzimático de pieles, por precipitación de proteínas y coagulación*. Lima. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/318451702_Evaluacion_y_tratamiento_de_efluentes_del_remojo_convencional_y_enzimatico_de_pieles_por_precipitacion_de_proteinas_y_coagulacion_por_Yasmin_Liseth_Castaneda_C_Rocio_Vargas_P_Mary_Flor_Cesare_C_Lizard
- Castillo, P., Bezanilla, J., Amieva, J., Jácome, A., & Tejero, I. (1995). *Depuración de agua residual con salinidad variable empleando un proceso de biodiscos (RBC)*. Valencia. Italia. Recuperado de: <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2654>
- Castro, E. (2016). *Viabilidad de implementación de Lombrifiltros en las PTARD en las ciudadelas Vía Samborodón propuesta de uso*. Guayaquil. Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/26593>
- Cervantes, F. (2012). *Remoción de materia orgánica y toxicidad de aguas residuales de la Industria Cosmético – Farmacéutica con un vermifiltro*. México.
- Chávez, J. (2017). *Eficiencia de un lombrifiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín*. Celendín.
- Díaz, L., & Zafra, A. (2018). *Implementación de un Lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales procedentes del camal Municipal de Cajamarca en 2017*. Cajamarca.

Ganoza, J., & Panduro, E. (2010). Propuesta de una tecnología para reducir carga contaminante de los efluentes líquidos de una curtiembre en el distrito de El Porvenir. Trujillo, Perú.

Girón, M. (2018). “*Evaluación de la eficiencia del sistema de lombrifiltro empleando a la especie Eisenia foetida en la remoción de nutrientes de las aguas residuales domesticas*.” Lima.

Goyenola, G., & Urtado, L. (2017). Guía para el monitoreo participativo de lagos eutróficos urbanos. Ciencia-Gestión-Participación. Uruguay.

Huiza, J., & Ordoñez, N. (2018). Eficiencia de Lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de aguas residuales domésticas del centro poblado de Huaylacucho del Distrito de Huancavelica - 2018. Huancavelica.

Kumar, T., Bhargava, R., Hari Prasad, K., & Pruthi, V. (2014). *Evaluation of vermifiltration process using natural ingredients for effective wastewater treatment*. India.
Recuperado de : <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.044>

Kumar, T., Rajpal, A., Bhargava, R., & Hari Prasad, K. (2013). *Performance evaluation of vermifilter at different hydraulic loading rate using river bed material*. India.
Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.10.028>

Loro, A. (2018). *Evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de aguas residuales domésticas utilizando un biofiltro con Eisenia foetida y un biofiltro convencional*. Lima.
Recuperado de: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/567>

Maza, J. (2017). Lombrifiltro para mejorar la calidad de las aguas residuales. Perú.

- Mitma, Y. (2017). Efecto del sistema de lombrifiltro en la depuración de DBO y DQO de las aguas Residuales Domésticas del Distrito de Moche. Trujillo.
- Muñoz, A., Mejia, J., & Vega, J. (2014). Determinación de Proteínas mediante el método de Kjeldahl. Perú.
- Paico, D. (2017). Sistema Tohá, para el Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Cesar Vallejo. Chiclayo.
- Parra, I., & Chiang, G. (2013). Modelo integrado de un sistema de biodepuración de aguas residuales domiciliarias. Una propuesta para comunidades periurbanas del centro sur de Chile. Chile.
- Pazmiño, P. C. (2015). Diseño e implementación a escala de un Biofiltro Tohá en la Espoch para la depuración de aguas residuales domésticas procedentes de la comunidad Langos La Nube. Riomba, Ecuador.
- Pérez, S. (2018). Aplicación de vermifiltros para reducir el DQO y DBO del agua residual de un Laboratorio de Análisis Químico, 2018. Lima.
- Quille, L. (2017). Microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera "La Bodeguilla - Valle de Moquegua". Puno.
- Ramón, A., León, J., & Castillo, N. (2015). *Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie Eisenia foetida*. México.
- Ramos, H. (15 de 9 de 2021). UDOCZ. Obtenido de UDOCZ:
<https://www.udocz.com/pe/read/201319/tecnolog-as-emergentes-parte-ii>

Samal, K., Roshan Dash, R., & Bhunia, P. (2017). Performance assessment of a Canna indica assisted vermifilter for synthetic dairy wastewater treatment. India. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.07.027>

Samal, K., Roshan Dash, R., & Bhunia, P. (2018). A comparative study of macrophytes influence on performance of hybrid vermifilter for dairy wastewater treatment. India. Recuperado de : <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.07.018>

Samal, K., Roshan Dash, R., & Bhunia, P. (2018). Effect of hydraulic loading rate and pollutants degradation kinetics in two stage hybrid macrophyte assisted vermifiltration system. India. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.01.002>

Vidal, G., & Lorber, F. M. (2007). Produccion limpia en la Industria de Curtiembre. Galicia, España.

Vizcaíno, L., & Fuentes, N. (2016). *Efectos de Eisenia Foetida y Eichhornia crassipes en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos.* Colombia.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

EFECTO DEL BIOFILTRO DINÁMICO AEROBIO EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DEL PROCESO DE REMOJO DE UNA CURTIEMBRE				
PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE 1	METODOLOGÍA
¿ Cual es el efecto del biofiltro dinámico aerobio en el tratamiento de efluentes del proceso de remojo de una curtiembre?	H0: El efecto del biofiltro dinámico aerobio no es significativo en el tratamiento de efluentes del proceso de remojo en una curtiembre.	Determinar el efecto del Biofiltro Aerobio en el tratamiento de efluentes del proceso de remojo de una curtiembre.	Efecto del Biofiltro Dinámico Aerobio	VI: Efecto del Biofiltro Dinámico Aerobio
	H1: El efecto del biofiltro dinámico aerobio es significativo en el tratamiento de efluentes del proceso de remojo de una curtiembre.			VD: Remoción de Contaminantes
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS		VARIABLE 2	POBLACIÓN
	Determinar los parámetros físico – químicos iniciales de los efluentes del proceso de remojo de una curtiembre.		Remoción de Contaminantes	Efluentes del proceso de remojo en una curtiembre
	Determinar los parámetros físico – químicos finales de los efluentes de procesos de remojo de una curtiembre, después del tratamiento de biofiltros dinámicos aerobios.			MUESTRA
	Determinar el porcentaje de remoción alcanzado de los parámetros físico- químicos establecidos en los efluentes del proceso de remojo después de haber sido tratados por el sistema de biofiltros dinámicos aerobios.			20 Litros/ día de efluentes del proceso de remojo en una curtiembre.

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE
Efecto del Biofiltro Dinámico Aeróbico	Filtro percolador compuesto por diferentes lechos filtrantes y por lombrices de la especie <i>E. foetida</i> . (Manantial, Chile, 2012)	Es un biofiltro para tratamientos de aguas residuales, pero a diferencia de otros éste funciona con lombrices que son las que lo hacen ser dinámico y aeróbico por el comportamiento de este conjunto de especies, es decir, lombriz y microorganismos que lo constituyen.	Tiempo de Funcionamiento	30	días
				37	
				45	
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE
Remoción de Contaminantes	Proceso que aplicando medios físicos o químicos se remueve y elimina sustancias nocivas de los materiales o ambientes contaminados. (Ministerio del Ambiente,2012)	Eliminación de contaminantes en efluentes del proceso de remojo de una curtiembre por medio de biofiltros dinámicos aeróbicos.	Parámetros de Evaluación	Remoción de DBO	%
				95	
				Remoción de DQO	%
				95	
				Remoción de Aceites y Grasas	%
				80	
Remoción de Sólidos Suspendedos Totales	%				
95					

ANEXO 2: Preparación de material para la prueba de adaptabilidad realizada a la especie *Eisenia foetida*. Así mismo se realizó la prueba de adaptabilidad y rotulado de muestras



ANEXO 3: Sistema de 06 Biofiltros Dinámicos Aerobios y 01 Filtro Control. También se comenzó a realizar las evaluaciones de los parámetros de pH, conductividad y oxígeno disuelto.



**ANEXO 4: Para la evaluación del resto de parámetros como DBO, DQO, SST,
Aceites y grasas; se tomaron las muestras respectivas y se llevaron analizar a
laboratorio de la universidad. Determinación de DQO y Aceites y Grasas en el
laboratorio de la Universidad Privada del Norte.**



**ANEXO 5: Determinación de DBO en el laboratorio de la Universidad Privada del
Norte. Determinación de Sólidos Suspendedos Totales en el laboratorio de la
Universidad Privada del Norte.**



ANEXO 6: VALIDACIÓN ESTADÍSTICA

ACTA DE REVISION Y ANALISIS DE INSTUMENTOS DE INVESTIGACION

Encontrándose en proceso el trabajo de investigación titulado “EFECTO DEL BIOFILTRO DINAMICO AEROBIO EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DEL PROCESO DE REMOJO DE UNA CURTIEMBRE” y siendo esta la investigación cuantitativa, resulta necesario aplicar una evaluación estadística pertinente y a su vez, se hizo indispensable contar con un asesor de validación experto en el tema, con el cual se consultó sobre el proceso estadístico siendo seleccionada la prueba de WILCOXON, como las más adecuada para la investigación.

Destacando la experiencia profesional en este campo, del docente:

Sr. Julio Antonio Rodríguez Azabache

Licenciado en Estadística y Master en Educación Superior

DISTINGUIDO PROFESIONAL

Es que se recurre a su honorable persona para u valiosa colaboración la cual consistió en la revisión, análisis y validación estadística de la investigación cuyo objetivo es “Determinar el efecto del Biofiltro Aerobio en el tratamiento de efluentes del proceso de remojo de una curtiembre”

Queda constancia de la aprobación del método estadístico utilizado, y su correcta aplicación, por medio de observaciones y recomendaciones del asesor de validación.

Agradeciéndole de antemano

Trujillo 21 de marzo del 2021


.....
Julio Antonio Rodríguez Azabache
LICENCIADO EN ESTADISTICA
COESPE N° 547
Prof.