



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental**

AUTORES:

Barragan Ponce, Rodolfo (0000-0003-2284-213X)

Espinoza Fernandez, Andrea Monica (0000-0001-6820-2061)

ASESOR:

Mg. Cabello Torres Rita Jaqueline (0000-0002-9965-9678)

LÍNEA DE INVESTIGACION:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

Año 2019 - I

PÁGINA DE JURADO

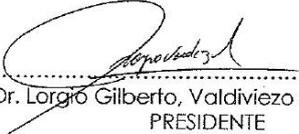
 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	Código : F07-PP-PR-02.02 Versión : 10 Fecha : 10-06-2019 Página : 1 de 1
--	---------------------------------------	---

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don (a) Rodolfo Barragan Ponce, cuyo título es:

"Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas"

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por el estudiante, otorgándole el calificativo de: 17.....(número)
DIECISIETE.....(letras).

San Juan de Lurigancho 12 de julio del 2019.


.....
Dr. Lorgio Gilberto, Valdiviezo Gonzales
PRESIDENTE


.....
Mg. Fernando Antonio, Sernaqué Aucchuasi
SECRETARIO


.....
Mg. Rita Jaqueline Torres Cabello
VOCAL

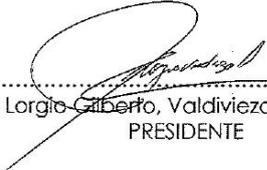
Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don (a) Andrea Monica, Espinoza Fernandez, cuyo título es:

"Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas"

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por el estudiante, otorgándole el calificativo de: 7.7.....(número)
DIOSIEETE.....(letras).

San Juan de Lurigancho 12 de julio del 2019.



.....
Dr. Lorgio Gilberto, Valdiviezo Gonzales
PRESIDENTE



.....
Mg. Fernando Antonio, Sernaqué Aucchuasi
SECRETARIO



.....
Mg. Rita Jaqueline Torres Cabello
VOCAL

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedicamos a Dios por guiarnos y acompañarnos a lo largo de nuestras vidas.

A nuestros padres y hermanos por depositar su confianza en nosotros y ser motivo de superación. A nuestros amigos por ser parte de este arduo trabajo.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por ser nuestro amparo, fortaleza y ayuda en momentos de dificultad.

A nuestros padres Gregorio Espinoza y Antonia Fernandez, Rodolfo Barragán y Gladis Ponce, por brindarnos apoyo económico y emocional que nos impulsaron a seguir adelante durante nuestra etapa académica.

A nuestros hermanos por su amor, paciencia, apoyo moral e incondicional.

A nuestros Maestros y de manera muy especial a nuestra asesora ING. Rita Cabello Torres por transmitirnos sus conocimientos científicos, experiencia y consejos durante el desarrollo de la presente investigación.

Finalmente agradecemos a todas las personas que nos apoyaron e hicieron posible la realización de la tesis.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

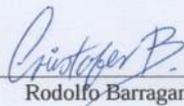
Declaración de autenticidad

Yo, Rodolfo Barragan Ponce, identificado con DNI N° 77565820, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Asimismo, declaro bajo juramento que todos los datos e información que se presenta son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por la cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

Lima, 16 de enero del 2020



Rodolfo Barragan Ponce

DNI 77565820

Declaración de autenticidad

Yo, Andrea Monica Espinoza Fernandez, identificado con DNI N° 76361503, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Asimismo, declaro bajo juramento que todos los datos e información que se presenta son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por la cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

Lima, 16 de enero del 2020



Andrea Monica Espinoza Fernandez

DNI 76361503

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada “EFICIENCIA DE VERMIFILTRO ASISTIDO CON BIOPELÍCULA EN POLIPROPILENO PARA REMOVER LA CARGA ORGÁNICA Y MATERIAL PARTICULADO EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”, la misma que sometemos a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

La presente investigación contiene VII capítulos, que a continuación serán detallados.

I. Introducción: Contiene la Realidad problemática, los trabajos previos, las teorías relacionadas al tema; la formulación del problema, la justificación del estudio y los objetivos. II. Método: Contiene el diseño de la investigación, la operacionalización de variables, población, muestra y muestreo, la recolección de datos validez y confiabilidad, el método de análisis de datos y los aspectos éticos. III. Resultados. IV. Discusión. V. Conclusión. VI. Recomendaciones. VII. Referencias.

Andrea Monica Espinoza Fernandez

Rodolfo Barragan Ponce

INDICE

PÁGINA DE JURADO	II
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	VI
PRESENTACIÓN	VIII
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XVIII
I. INTRODUCCION	19
1.1. Realidad problemática	20
1.2. Trabajos previos	22
1.3. Teorías relacionadas al tema	25
1.4. Formulación del Problema	46
1.4.1. Problema general	46
1.4.2. Problemas específicos.....	46
1.5. Justificación del estudio	46
1.6. Hipótesis	47
1.6.1. Hipótesis General.....	47
1.6.2. Hipótesis Específica.....	48
1.7. Objetivos	48
1.7.1. Objetivo General.....	48
1.7.2. Objetivo Específico	48
II. MÉTODO	48
2.1. Diseño de investigación	48
2.2. Variables, operacionalización	53
2.3. Población y muestra	55
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	56
12°13'43.2"S.....	57
2.5. Métodos de análisis de datos	79
2.6. Aspectos éticos	79
III. RESULTADOS	80
3.1. Resultados del influente de agua residual	80
IV. DISCUSIÓN	139

V. CONCLUSIÓN	141
VI. RECOMENDACIONES	143
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144
ANEXOS	164

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Taxonomía de la lombriz roja californiana	34
Tabla 2: Dimensiones de vermifiltro.....	40
Tabla 3. Matriz de operacionalización	53
Tabla 4. Técnicas e instrumentos de recolección	56
Tabla 5. Coordenadas de ubicación.....	57
Tabla 6. Resultado de Inoculación de Lombrices en sustrato de aserrín y compost para su adaptación con agua residual doméstica.	59
Tabla 7. Adaptación de Eisenia Foetida.....	60
Tabla 8. Resultados de medición de Turbiedad durante el acondicionamiento de biopelícula..	61
Tabla 9. Especificación de reactores	63
Tabla 10. Dimensiones de cada sustrato que contiene el vermifiltro	63
Tabla 11. Medición de caudal de entrada en vermifiltro.....	66
Tabla 12. Condiciones de operación aplicados en el tratamiento de aguas residuales domésticas con vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno.	70
Tabla 13. Factor Spitch en el tratamiento de aguas residuales con vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno.....	70
Tabla 14. Método empleado para el análisis de los parámetros físicos.....	74
Tabla 15. Método empleado para análisis de parámetros químicos.....	74
Tabla 16. Validez de instrumentos.....	77
Tabla 17. Resultado de los parámetros del influente.....	80
Tabla 18. Resultado de los parámetros del influente en el TRH1, Q1(CONTROL).....	80
Tabla 19. Resultado de remoción de las lombrices en el Vermifiltro 4 y3 en el Q1, TRH1	81
Tabla 20. Resultado de remoción de la biopelícula asistido en polipropileno del vermifiltro 4, 3 y Geofiltro2 en el Q1, TRH1.....	83
Tabla 21. Resultado de remoción de las bacterias del vermifiltro 4 y 3 en el Q1, TRH1.	85
Tabla 22. Resultado de remoción total del Vermifiltro 4,3 y Geofiltro 2 en el Q1, TRH1	88
Tabla 23. Resultado de los parámetros del influente en el TRH2, Q2	90
Tabla 24. Resultado de remoción de las lombrices en el Vermifiltro 4 y3 en el Q2, TRH2.....	91
Tabla 25. Resultado de remoción de la biopelícula asistido en polipropileno del vermifiltro 4, 3 y Geofiltro2 en el Q2, TRH2.....	93
Tabla 26. Resultado de remoción total de los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2 en el Q2, TRH2..	97
Tabla 27. Resultado de los parámetros del influente en el TRH2, Q2	100
Tabla 28. Resultado de remoción de las lombrices en el Vermifiltro 4 y3 en el Q3, TRH3	100
Tabla 29. Resultado de remoción de la biopelícula asistido en polipropileno del vermifiltro 4, 3 y geofiltro2 en el Q3, TRH3.....	102
Tabla 30. Resultado de remoción total de los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2 en el Q3, TRH3	107
Tabla 31. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por las lombrices en el vermifiltro 4.....	110
Tabla 32. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por las lombrices en el vermifiltro 3.....	110
Tabla 33. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el vermifiltro 4.....	113
Tabla 34. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el vermifiltro 3.....	113

Tabla 35. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el geofiltro 2.	113
Tabla 36. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por las bacterias en el vermifiltro 4.	116
Tabla 37. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por las bacterias en el vermifiltro 3.	116
Tabla 38. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por el vermifiltro 4.	119
Tabla 39. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por el vermifiltro 3.	119
Tabla 40. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por el Geofiltro 2.	119
Tabla 41: Prueba de Normalidad para TDS, SST, DQO, DBO5 en el vermifiltro 4	122
Tabla 42. Prueba de Normalidad para TDS, SST, DQO y DBO5 para el vermifiltro 3.....	124
Tabla 43. Prueba de Normalidad para TDS, SST, DQO y DBO5 para el Geofiltro	126
Tabla 44. Prueba de Normalidad de las lombrices sobre los parámetros SST, TDS, DQO y DBO5.	127
Tabla 45. Prueba de Normalidad de la biopelícula en polipropileno sobre los parámetros SST, TDS, DQO y DBO5.	128
Tabla 46. Prueba de Normalidad del tiempo de retención hidráulica sobre los parámetros SST, TDS, DQO y DBO5.	129
Tabla 47. Prueba de homogeneidad de varianza utilizando el vermifiltro asistido con piopelícula en polipropileno en la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas. (V4, Q3 y TRH3).....	130
Tabla 48. Prueba de homogeneidad de varianza para la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas mediante la cama de lombrices (V4, Q3 y TRH3).	131
Tabla 49. Prueba de homogeneidad de varianza para la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas mediante la biopelícula asistido en polipropileno(V4, Q3 y TRH3).....	132
Tabla 50. Prueba de homogeneidad de varianza para la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas respecto al tiempo de retención hidráulica (V4, Q3 y TRH3)	133
Tabla 51. Prueba de análisis de varianza (ANOVA) utilizando el vermifiltro asistido con piopelícula en polipropileno en la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas. (V4, Q3 y TRH3).....	134
Tabla 52. Prueba de análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas mediante la cama de lombrices (V4, Q3 y TRH3).	135
Tabla 53. Prueba de análisis de varianza(ANOVA) para la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas mediante la biopelícula asistido en polipropileno(V4, Q3 y TRH3).....	136
Tabla 54. Prueba de análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas respecto al tiempo de retención hidráulica (V4, Q3 y TRH3)	137

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fórmula y estructura del polipropileno.....	39
Figura 2: Preparación de sustrato e inoculación de lombrices rojas californianas para su adaptación.....	59
Figura 3. Recirculación de agua residual para facilitar la formación de biopelícula. ...	61
Figura 4: Unión de Tuberías para el reparto de agua residual de forma homogénea y por goteo.....	64
Figura 5: Colocación de lechos filtrantes de forma manual.....	65
Figura 6: Vermifiltro asistido con bio-película en polipropileno.....	65
Figura 7: Extracción y almacenamiento de agua residual domestica.....	67
Figura 8: Medición de parámetros físicos.....	68
Figura 9: Medición de parámetros Químicos.....	68
Figura 10. Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el uso de vermifiltro asistido con bio-película en polipropileno.....	72
Figura 11. Medición de Solidos suspendidos totales por el método 2540D.	52
Figura 12. Análisis de DQO, método colorimétrico, reflujo cerrado.....	75
Figura 13. Análisis de DBO5, método 5010 B. Prueba ROB de 5 días.	76

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resultado de remoción de sólidos disueltos totales (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.....	81
Gráfico 2. Resultado de remoción de sólidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.....	81
Gráfico 3. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.....	82
Gráfico 4. Resultado de remoción de DBO ₅ (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.....	82
Gráfico 5. Resultado de remoción de sólidos disueltos totales (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.....	83
Gráfico 6. Resultado de remoción de sólidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.....	84
Gráfico 7. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.....	84
Gráfico 8. Resultado de remoción de DBO ₅ (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.....	85
Gráfico 9. Resultado de remoción de sólidos disueltos totales (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.....	86
Gráfico 10. Resultado de remoción de sólidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.....	86
Gráfico 11. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.....	87
Gráfico 12. Resultado de remoción de DBO ₅ (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.....	87
Gráfico 13. Resultado de remoción total de sólidos disueltos totales (mg/l) del Vermifiltro 4,3 y Geofiltro 2.....	88
Gráfico 14. Resultado de remoción total de sólidos suspendidos totales (mg/l) de los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.....	89
Gráfico 15. Resultado de remoción total de DQO (mg/l) de los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.....	89
Gráfico 16. Resultado de remoción total de DBO ₅ (mg/l) ejercido por los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.....	90
Gráfico 17. Resultado de remoción de sólidos disueltos totales (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.....	91
Gráfico 18. Resultado de remoción de sólidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.....	91
Gráfico 19. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.....	92
Gráfico 20. Resultado de remoción de DBO ₅ (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.....	92
Gráfico 21. Resultado de remoción de sólidos disueltos totales (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.....	93
Gráfico 22. Resultado de remoción de sólidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.....	94
Gráfico 23. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.....	94
Gráfico 24. Resultado de remoción de DBO ₅ (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.....	95

Gráfico 25. Resultado de remoción de solidos disueltos totales (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.....	95
Gráfico 26. Resultado de remoción de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.....	96
Gráfico 27. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.....	96
Gráfico 28. Resultado de remoción de DBO ₅ (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.....	97
Gráfico 29. Resultado de remoción total de solidos disueltos totales (mg/l) de los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.	98
Gráfico 30. Resultado de remoción total de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.	98
Gráfico 31. Resultado de remoción total de DQO (mg/l) ejercido por los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.	99
Gráfico 32. Resultado de remoción total de DBO ₅ (mg/l) ejercido por los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.	99
Gráfico 33. Resultado de remoción de solidos disueltos totales (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.....	100
Gráfico 34. Resultado de remoción de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.	101
Gráfico 35. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.....	101
Gráfico 36. Resultado de remoción de DBO ₅ (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.....	102
Gráfico 37. Resultado de remoción de solidos disueltos totales (mg/l) ejercido la por biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.	103
Gráfico 38. Resultado de remoción de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geo filtro2	103
Gráfico 39. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.....	104
Gráfico 40. Resultado de remoción de DBO ₅ (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.....	104
Gráfico 41. Resultado de remoción de solidos disueltos totales (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.	105
Gráfico 42. Resultado de remoción de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.....	106
Gráfico 43. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.....	106
Gráfico 44. Resultado de remoción de DBO ₅ (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.....	107
Gráfico 45. Resultado de remoción total de solidos disueltos totales (mg/l) ejercido por los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.	108
Gráfico 46. Resultado de remoción total de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.	108
Gráfico 47. Resultado de remoción total de DQO (mg/l) ejercido por los Vermifiltro 4,3 y Geofiltro 2.	109
Gráfico 48. Resultado de remoción total de DBO ₅ (mg/l) ejercido por los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.	109

Gráfico 49. Resultado de porcentaje de remoción de TDS con respecto al TRH ejercido por las lombrices en el Vermifiltro 4 y 3.	110
Gráfico 50. Resultado de porcentaje de remoción de SST con respecto al TRH ejercido por las lombrices en el Vermifiltro 4 y 3.	111
Gráfico 51. Resultado de porcentaje de remoción de DQO con respecto al TRH ejercido por las lombrices en el Vermifiltro 4 y 3.	111
Gráfico 52. Resultado de porcentaje de remoción de DBO ₅ con respecto al TRH ejercido por las lombrices en el Vermifiltro 4 y 3.	112
Gráfico 53. Resultado de porcentaje de remoción de DBO ₅ con respecto al TRH ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4, 3 y geofiltro 2.	114
Gráfico 54. Resultado de porcentaje de remoción de DQO con respecto al TRH ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4, 3 y geofiltro 2.	114
Gráfico 55. Resultado de porcentaje de remoción de TDS con respecto al TRH ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4, 3 y geofiltro 2.	115
Gráfico 56. Resultado de porcentaje de remoción de SST con respecto al TRH ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4, 3 y geofiltro 2.	115
Gráfico 57. Resultado de porcentaje de remoción de DBO ₅ con respecto al TRH ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.	117
Gráfico 58. Resultado de porcentaje de remoción de DQO con respecto al TRH ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.	117
Gráfico 59. Resultado de porcentaje de remoción de TDS con respecto al TRH ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.	118
Gráfico 60. Resultado de porcentaje de remoción de SST con respecto al TRH ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.	118
Gráfico 61. Resultado de porcentaje de remoción de TDS con respecto al TRH ejercido por los Vermifiltros 4, 3 y Geofiltro 2.	120
Gráfico 62. Resultado de porcentaje de remoción de SST con respecto al TRH ejercido por los Vermifiltros 4, 3 y Geofiltro 2.	120
Gráfico 63. Resultado de porcentaje de remoción de DQO con respecto al TRH ejercido por los Vermifiltros 4, 3 y Geofiltro 2.	121
Gráfico 64. Resultado de porcentaje de remoción de DBO ₅ con respecto al TRH ejercido por los Vermifiltros 4, 3 y Geofiltro 2.	121

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia del vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno en la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas, basado en los indicadores como el caudal (QW), el tiempo de retención hidráulica (TRH) y la densidad de lombrices (EWD). Se realizaron ensayos experimentales en el cual varió el caudal de las aguas residuales domesticas de 553ml/min a 1005ml/min, TRH de 4.97h a 9.04h, EWD de 0 a 10.000 lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*)/ m³ y de 0.288- 0.528 m³ / m². d, respectivamente. Este tratamiento revela que el fluido aplicado al vermifiltro, la densidad de lombrices/m³ y la biopelícula formada en las piedras y el polipropileno puede afectar de manera positiva en la remoción de contaminantes orgánicos; quiere decir que teniendo un correcto fluido para un determinado volumen de vermifiltro y teniendo formado una biopelícula asistido en el polipropileno garantiza excelentes resultados en la eliminación de carga orgánica.

A la vez la digestión y el TRH son directamente proporcional(D.P); se muestra % eficiencia de remoción de todo los reactores en un 62.4%(1153mg/l) de TDS, 94.8%(459mg/l) de DQO y 94.5%(169.2mg/l) de DBO5 en el vermifiltro 4 utilizando 10000 lombrices/m³, TRH de 9.03h con un caudal de 553ml/min (y carga hidráulica de 0.012 m³/m²*h) y también se muestra % eficiencia de remoción máximo de 86.9% (93mg/l) de SST en el vermifiltro 3 utilizando 5000 lombrices/m³, TRH de 7.07h con un caudal de 708ml/min (y carga hidráulica de0.015 m³/m²*h) .

También se obtuvo la digestión de la biopelícula formada en el polipropileno; estas digieren contaminantes del agua en función al TRH; se muestra % eficiencia de remoción máximo de 1.62%(30mg/l) de TDS y 13%(13mg/l) de SST en el vermifiltro 4 y el vermifiltro 3 con un TRH de 9.03h con un caudal de 553ml/min (y carga hidráulica de 0.012 m³/m²*h) y también se muestra % eficiencia de remoción máximo de 6.85%(36mg/l) de DQO y 12.72%(24.55mg/l) de DBO5 en el vermifiltro 3 con un TRH de 7.07h con un caudal de 708ml/min (y carga hidráulica de0.015 m³/m²*h) .

Palabras clave: Vermifiltro, *Eisenia foetida*, biopelícula, polipropileno, material particulado.

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the efficiency of the vermifilter assisted with biofilm in polypropylene in the removal of the organic load and particulate material in domestic wastewater, based on indicators such as the flow rate (QW), the hydraulic retention time (TRH) and the density of earthworms (EWD). Experimental tests were carried out in which the domestic wastewater flow rate varied from 553ml / min to 1005ml / min, HRT from 4.97 to 9.04h, EWD from 0 to 10,000 redworm Californian (*Eisenia foetida*) / m³ and 0.288- 0.528 m³ / m². d, respectively. This treatment reveals that the fluid applied to vermifilter, the density of earthworms / m³ and the biofilm formed in stones and polypropylene can positively affect the removal of organic pollutants; means that having a correct fluid for a certain volume of vermifilter and having formed a biofilm assisted in polypropylene guarantees excellent results in the elimination of organic load.

At the same time the digestion and the TRH are directly proportional (D.P); % removal efficiency of all reactors is shown in 62.4% (1153mg / l) of TDS, 94.8% (459mg / l) of COD and 94.5% (169.2mg / l) of BOD₅ in vermifilter 4 using 10000 worms / m³, HRT of 9.03h with a flow rate of 553ml / min (and hydraulic load of 0.012 m³ / m² * h) and also shows% maximum removal efficiency of 86.9% (93mg / l) of SST in vermifilter 3 using 5000 earthworms / m³, TRH of 7.07h with a flow rate of 708ml / min (and hydraulic load of 0.015 m³ / m² * h).

The digestion of the biofilm formed in the polypropylene was also obtained; these water pollutants depending on the TRH; it shows% maximum removal efficiency of 1.62% (30mg / l) of TDS and 13% (13mg / l) of SST in vermifilter 4 and vermifilter 3 with a HRT of 9.03h with a flow rate of 553ml / min (and hydraulic load of 0.012 m³ / m² * h) and also shows the maximum removal efficiency of 6.85% (36mg / l) of COD and 12.72% (24.55mg / l) of BOD₅ in vermifilter 3 with a TRH of 7.07h with a flow rate of 708ml / min (and hydraulic load of 0.015 m³ / m² * h).

Key words: Vermifilter, *Eisenia foetida*, biofilm, polypropylene, particulate material.

I. INTRODUCCION

Existen diversas fuentes de agua que se ven afectadas por la contaminación debido a las diferentes actividades antropogénicas, incremento poblacional, a que no se impusieron regulaciones a las industrias en su momento (Singh, Bhunia y Dash, 2018, p.2) y su inadecuada disposición de sus aguas residuales lo cual causan deterioro en el nivel de saneamiento y calidad de vida (Adugna, et al., 2019, p. 98).

La necesidad de tratar y recuperar aguas residuales se ha incrementado en todo el mundo, para ello existen tratamientos tradiciones, métodos convencionales lo cual tienen numerosas limitaciones de costo, energía, espacio de piso, entre otros (Singh, Bhunia y Dash, 2018, p.2). Si bien ciertos países en vías de desarrollo no cuentan con PTAR suficientes, además no pueden costear la construcción ya que tienen un alto costo, por ello existe el interés y la necesidad de desarrollar tecnologías de tratamientos de aguas residuales domésticas asequible, sostenibles, adecuadas para comunidades pequeñas y hogares individuales (Jiang, et al., 2016, p. 999).

La vermifiltración es un método de tratamiento alternativo que reduce aguas contaminadas con alta carga orgánica (Wang, et al., 2014, p. 165), en el cual se utiliza lombrices y otros materiales, su rendimiento es afectado por la carga hidráulica, el tiempo de retención hidráulica y densidad de lombrices. En este método de aplicación de lombrices en simbiosis con microorganismos presentes en el filtro son responsables de oxidar y degradar la materia orgánica y nutrientes además de producir humus (Arora y Kazmi, 2015, p. 2).

En el Perú la contaminación del agua por carga orgánica procede principalmente de la descarga de aguas residuales industriales, mineras, domésticas, entre otros (Chung, 2008, p.414), lo cual a generando eutroficación y por ende efectos negativos en la vida acuática (Gastañaga, 2018, p.181), el problema radica en el alto costo de tratamiento, por ello es necesario aplicar tratamientos económicos, sostenibles y de fácil operación.

En esta investigación se ha empleado la vermifiltración asistido con biopelícula en polipropileno para reducir carga orgánica presente en aguas residuales domésticas, de esta forma se propone reemplazar los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales tales como: lodos activados, osmosis inversa, electrocoagulación,

etc. debido a su alto costo y a las limitaciones para su implementación, especialmente en lugares poco accesible de menor recursos económicos. Es necesario desarrollar tratamientos descentralizados, ecológicamente rentables y sostenibles (Kumar, et al., 2013, p.77).

Se ha diseñado un sistema de vermifiltro asistido con biopelícula como un reactor de tratamiento biológico que comprendió la aplicación de distintas densidades de lombriz roja californiana por m³ del reactor, 3 caudales diferentes, diferentes tiempos de retención hidráulica (TRH). El objetivo central ha sido evaluar la eficiencia del vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.

Este documento está conformado por seis capítulos. En el primer capítulo se describe teorías relacionados al estudio de investigación, formulación de problema, objetivos generales y específicos y planteamiento de hipótesis. El segundo capítulo contiene la metodología de investigación, cuadro de operacionalización de variables, técnicas e instrumentos de recolección de datos; en el capítulo III se muestran los resultados. En el cuarto capítulo se detalla las discusiones, quinto capítulo contiene las conclusiones y finalmente en el sexto capítulo se describen las recomendaciones.

1.1. Realidad problemática

Mientras la tecnología avanza en todo el mundo, se hacen estudios diversificados de distintos temas; pocos abarcan temas de soluciones ambientales respecto a la contaminación del planeta, ya que al contaminar el suelo, aire y agua se afecta de manera directa a la salud humana. Un problema principal es la contaminación de los ríos y mares mediante los vertimientos de aguas residuales. “Los tratamientos de aguas residuales son importantes para prevenir los peligros para la salud pública, así como mitigar los daños causados a los sistemas ecológicos” (Chen et al., 2016, p.2).

Los sistemas convencionales en el Perú respecto a los tratamientos de aguas residuales domésticas e industriales son muy costosos y no son muy viables ya que al ser las aguas depuradas dejan lodos que también contaminan el suelo y el aire. Como es sabido una gran cantidad de lodo activado se produce en la

purificación de aguas residuales, si no se elimina, puede generar una amenaza para el medio ambiente y para la salud humana debido a los contaminantes orgánicos y patógenos (Wei et al., 2009, p.87)

En la actualidad, la vermitecnología se recomienda como una tecnología sostenible desde el punto de vista ambiental y económicamente viable, que incluye vermicompostaje, vermifiltración y vermiremediación (Sinha et al., 2010, p.23). Las tecnologías de tratamiento de aguas residuales mecanizadas, vermifiltro tienen varias ventajas como menor costo de construcción y operación, fácil mantenimiento, no se requiere de personas, sin consumo de energía, sin producción de lodos y tratamiento eficiente con beneficios ecológicos (Tomar y Suthar, 2011, p.100), por estos motivos se ha ejecutado un proyecto viable, de fácil de operación y eficiente.

En la ciudad de Lima existen diversas empresas de lácteos, cerveceras, curtiembres, restaurantes, entre otros, que están aledaños al río y como se sabe que los tratamientos convencionales, en ciertas plantas de tratamiento de aguas residuales, mantienen un alto costo por su establecimiento y funcionamiento, especialmente en la mayoría de centros urbanos disponiéndose en forma de escorrentías urbanas o descargadas directamente al río, sin ningún tratamiento o con tratamientos parciales (Tomar y Suthar, 2011, p.102). Esta situación genera la proliferación de vectores, malos olores, contaminación del agua en su totalidad, extinción de especies acuáticas, destruyendo ecosistemas de aves, peces, crustáceos, entre otros.

En esta investigación se ha depurado aguas residuales domésticas sin generar lodos ya que su depuración se ha convertido, en uno de los más importantes desafíos en las PTAR, con elevados costos, disposición final restringida”(Wei et al., 2009, p.241), tampoco se añadieron sustancias químicas; es un tratamiento biológico y aerobio que logro reducir la carga orgánica, haciéndola factible en distintas industrias para el tratamiento de aguas residuales (Samal et al., 2018, p.4) con posibilidades de su transformación en humus sin generar lodos.

1.2. Trabajos previos

1.2.1. Nivel Internacional

Según **SINGH, Rajneesh, BHUNIA, Pushpendu y DASH, Rajesh (2019)**. En su investigación tuvieron como objetivo optimizar parámetros que están involucrados en la eliminación de sustancias orgánicas de las aguas residuales de una cervecería, los parámetros elegidos son: tasa de carga hidráulica (HLR), densidad de lombriz (EWD) y concentración orgánica. Como resultado obtuvieron un 94.99% de remoción de DQO a una concentración de 542.22mg/L, EWD de 10000 lombrices/m³ y HLR de 1.84 m³/m² en relación con el tiempo de retención hidráulica, siendo el óptimo 26 horas.

Según **KUMAR, Tarun, RAJPAL, Ankur, BHARGAVA, Renu y Hari K. (2014)**, investigaron el potencial del vermifiltro usando material de río con aplicación de aguas residuales a variada carga hidráulica (1.5, 2, 2.5 y 3 m³/m² día), así mismo se realizó un estudio comparativo entre un vermifiltro y un geofiltro. Los investigadores obtuvieron mayores eficiencias de remoción de DBO, SST y TDS con 2.5 m³/m² d de carga hidráulica, la eficiencia de remoción con vermifiltro fue de 96%, 90% y 82% mientras que con geofiltro fue de 70%, 79% y 56% respectivamente.

Según **VIZCAÍNO, Lissette y FUENTES, Natalia (2016)**, en su investigación tuvieron por objetivo comparar y determinar la eficiencia de remoción de materia orgánica utilizando *E. Foetida* y *E. Crassipes* en aguas residuales domésticas. Concluyen que el biofiltro con *E. Foetida* removió los SST en un 97.5%, 81% de turbidez, 69.2% de DQO y 70.3% de DBO5; mientras que con *E. crassipes* plantada en un sistema de flujo horizontal logró remover 100% de SST, 81% de turbidez, 83.7% de DBO, 63.9% de DQO empleando un tiempo de retención hidráulica de 24h y un caudal de 0,125L/min.

Según **NAZ, Iffat. et al. (2018)**, en su investigación su objetivo fue investigar la estructura taxonómica de biopelículas metabólicamente activas cultivadas en medios de polipropileno (PP) y encontrar una correlación con la eficiencia del tratamiento aeróbico de aguas residuales en los reactores de biopelículas fijos (FBR) a diferentes temperaturas. Sus resultados muestran remoción de DBO (66.6%) a 30 °C, mientras que con 20 °C (28.3%) y con 10 °C (28.8%), a medida que decrece la temperatura la eficiencia de remoción también decrece.

Según **SINGH, Rajneesh, BHUNIA, Pushpendu y DASH, Rajesh (2018)**, en su investigación tuvieron por objetivo desarrollar un índice matemático para remover DQO en aguas residuales basándose en variables de vermifiltración tales como tiempo de retención hidráulica, concentración orgánica, densidad de lombrices *Eisenia fétida* para lo cual realizaron varias pruebas experimentales. Los resultados de esta investigación indican una remoción del 81.77% de DQO con un tiempo de retención hidráulica de 26 horas lo que indica que el índice desarrollado ha tenido éxito y puede ser aplicado para determinar y predecir la reducción de sustancias orgánicas a partir de vermifiltración de aguas residuales.

Según **TIEN, Lai, et al. (2015)**. Investigaron el rendimiento de un proceso A2O con medios de polipropileno para la remoción de compuestos orgánicos, nitrógeno y fosforo en diferentes tasas de carga orgánica de aguas residuales municipales. Esta investigación demostró un excelente rendimiento con las tasas de eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO) que va desde 91% a 98%, fosforo total de 48% a 63% y nitrógeno total de 56% a en 71%.

1.2.2. Nivel Nacional

Según **MITMA, Yomira (2017)** en investigación tuvo como objetivo Evaluar el efecto del caudal en el sistema de Lombrifiltro para la depuración de DBO5 y DQO de las aguas residuales domésticas del

Distrito de Moche, para ello utilizó 3 caudales (50ml/min, 75ml/min y 100ml/min) para ver cuál es el más eficiente respecto a la remoción, el caudal más eficiente fue el de 50ml/min respecto al volumen de su reactor; se obtuvieron eficiencias de 83.87% en DBO₅ y 72.43% en DQO.

Según **ACUÑA, Jose y REYES, Jean (2017)** en su investigación tuvieron por objetivo fue evaluar la eficiencia de lombrifiltro con lombrices *Lumbricus terrestres (LT)* y *Eisenia foetida (EF)* en el tratamiento de aguas residuales a condiciones ambientales. Logró remover 61,09%EF y 36,36% LT en Conductividad eléctrica, 4,61%LT y 0,42%EF de pH, 97,07%EF y 91,94%LT en DBO₅, 97,28%EF y 92,66%LT en DQO utilizando un caudal de 0.021m³/h. Concluyó que la *E. Foetida* removió un 73% de los contaminantes, en cambio la *L. Terrestris* removió un 63%, evidenciándose que la especie *Eisenia Foetida* es más eficiente que *Lumbricus terrestres*.

Según **QUILLE, Lenin (2017)** en su investigación tuvo por objetivo evaluar el efecto de aplicación de lombrifiltro y EM para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera “La bodeguilla-Valle de Moquegua”. El resultado que obtuvo después del tratamiento con lombrifiltro tuvo mayor influencia removiendo el 78.39% del DQO, mientras que la aplicación de tratamientos con microorganismos eficaces (EM) logro remover un 54.62% y la combinación de EM más lombrifiltro tuvo eficiencia de 75.51%. de remoción del DQO.

Según **MANZANARES, Frescia y RICALDI, Antoni (2017)** en su investigación Tuvieron como objetivo evaluar la reducción de materia orgánica y el adecuado caudal en operación. El medio filtrante que utilizó es polipropileno, como resultado logró remover 80% de materia orgánica (DBO₅) con un caudal de 25ml/min.

Según CHÁVEZ (2017) en su investigación cuyo objetivo es determinar la eficiencia de remoción de carga orgánica de un biofiltro para un efluente industrial lácteo en la ciudad de Celendín. Esta investigación fue experimental, estos resultados nos sirven para saber la remoción de los contaminantes en la depuración de aguas residuales de la industria alimentaria, se redujo al 92% el DQO, al 94% el DBO y al 96% aceites y grasas.

Según CÁCERES, Deybi y CALISAYA, Gisela (2018), cuyo objetivo en su investigación es evaluar tres sistemas de depuración, para determinar su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas, ambos autores optaron por la combinación de lombrices (*Eisenia foetida*) y el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), ya que disminuyó los contaminantes de manera más eficiente, teniendo eficiencia de remoción de DBO₅ en un 98,41%, 94.48% de SST y su pH de 7,51 en 14 días.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Aguas residuales

1.3.1.1. Definición

Las aguas residuales presentan diferentes definiciones; Jiang *et al.* (2016) menciona que “las aguas residuales son el producto de combinar varios efluentes como: Aguas negras, efluentes industriales, efluentes agrícolas” (p.999).

“Son aquellas que por actividad antrópica han sido modificadas y contaminadas y son vertidas a un cuerpo de agua, por su contaminación estas requieren un tratamiento previo para reducir la materia orgánica” (Autoridad Nacional del Agua, 2014).

1.3.1.2. Clasificación

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2015) las aguas residuales se clasifican en:

a. Aguas residuales domésticas

Son producidas por actividades antropogénicas, estas derivan del uso domiciliario y presentan contaminación en materia orgánica, coliformes, entre otros.

b. Aguas residuales municipales

Son aguas residuales domésticas que están combinadas con lluvia, también pueden estar mezcladas con aguas de origen industrial.

c. Aguas residuales industriales

Son aguas residuales después de un proceso industrial, pueden ser actividades mineras, agrícolas, energéticas entre otras (p.3).

1.3.1.3. Aguas residuales domésticas

1.3.1.3.1. Tratamiento de aguas residuales domésticas convencionalmente

a. Pretratamiento o tratamiento preliminar

Según Brotons (2011), en “esta etapa se pretende eliminar los sólidos gruesos del efluente para que no se obstruya el funcionamiento de los equipos y de las máquinas para su depuración” (p.52). Estos sólidos gruesos pueden ser trapos, plásticos u otros cuerpos que pueden dañar los equipos de la planta, para eso se necesita eliminar estos sólidos mediante cribado.

b. Tratamiento primario

Según Shaikh, Graham y Dolfing, (2013), es “el proceso donde todos los sólidos sedimentables se eliminan por sedimentación, también se elimina los sólidos flotantes; es un proceso físico” (p. 2).

c. Tratamiento secundario

Para Chen, Zayed, y Qasem, A (2014), el “tratamiento secundario es el sistema de lodos activados que está encargado del tratamiento biológico” (p. 3). Según Shaikh *et al.* (2013), es “el proceso donde los grupos microbianos descomponen bioquímicamente los compuestos orgánicos que han pasado del tratamiento primario al secundario” (p.3).

d. Tratamiento terciario

“Consta la destrucción de los microorganismos patógenos, pero si hubiera en esta etapa compuestos orgánico al mezclarse con el cloro daría como resultado subproductos carcinógenos” (Chen, Zayed, y Qasem, 2014, p. 3).

1.3.2. Parámetros físicos, químicos y biológicos

1.3.2.1. Parámetros físicos

a. Conductividad eléctrica

“La conductividad del agua es una expresión de su capacidad para conducir corriente eléctrica” (Huizar, Carrillo y Juárez, 2015, p.40). La concentración representa 6al número de iones disueltos o minerales en el agua, según Severiche, Castillo y Acevedo (2013), esto también se debe a “sus concentraciones tanto relativas como absolutas, movilidad de iones, valencia de iones, viscosidad de solución y temperatura” (p.23). Si bien este la unidad de medida de la CE se expresa en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

b. Potencial hidrogeno

El pH se usa para expresar la alcalinidad o acidez presentes en el agua. “Influye en el proceso biológico y químico de cuerpos de agua” (Kumar, 2018, p. 22). Este es el logaritmo negativo del hidrogenión, la medida del PH está a una

escala de 0 – 14, donde los valores menores a 7 son considerados ácidos, mientras que los mayores a 7 son básicos y el 7 es neutral.

Si bien el pH puede verse afectado por algunos factores tales como la temperatura, la exposición al aire y la eliminación de residuos domésticos e industriales. Según Manyuchi, Mbohwa y Muzenda (2018) “utilizando tratamiento por vermifiltro el pH puede pasar de ácido a neutro debido a la remoción de contaminantes biológicos por lombrices de tierra” (p.77).

c. Temperatura

Es una medida de calor o frialdad de una sustancia. Las mediciones de este parámetro son esenciales para la recolección de datos de calidad del agua. Si bien “la determinación de oxígeno disuelto, conductividad, pH, equilibrios de reacciones químicas, DQO, DBO, la actividad biológica, dependen de una temperatura” (Arora y Kazmi, 2015, p. 88). Las variaciones de la temperatura se dan a causa de estacionales en el agua, el aire, ángulo solar, eventos meteorológicos y una serie de aspectos físicos” (Sinha, Bharambe y Chaundhari, 2008, p.415).

d. Sólidos suspendidos totales

Refiere a material particulado que incluye una amplia variedad de materiales tales como: limo, materia vegetal y animal en descomposición, residuos industriales y aguas residuales. Para Manoppo, Mahummad y Berhimpon (2014), las “altas concentraciones de sólidos en suspensión pueden causar muchos problemas para la salud y afecciones a las especies acuática y vida silvestre” (p. 50). Este parámetro “se determina mediante el método gravimétrico” (Chaitra, Aravind y Senapati, 2017, p. 2964). Unidad de medida es en mg/L.

1.3.2.2. Parámetros químicos

a. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Es una medida de la cantidad de oxígeno que los organismos biológicos requieren para oxidar la materia orgánica de un cuerpo de agua, si bien esto se realiza en condiciones aeróbicas. Según Enujiugha y Nwanna (2013), la “DBO₅ se determina en un periodo de tiempo específico de 5 días, incubando la muestra en oscuridad a 20 °C. Las muestras deben diluirse antes de la incubación o sino las bacterias agotaran todo el oxígeno en la botella antes de que complete la prueba” (p.71).

Cabe mencionar que “el rango típico de DBO₅ en aguas residuales domésticas varía de 100 a 300 mg / L” (Abdalla y Hammam, 2014, p.43), lo cual este “alto contenido de materia orgánica favorece el crecimiento de hongos y bacterias” (Raffo y Ruiz,2014, p.75), estos consumen el oxígeno que debería de ser usado por la flora fauna acuáticas provocando su desaparición, ya que el oxígeno es usado en la degradación de materia orgánica.

b. Demanda química de oxígeno (DQO)

“El DQO es una medida para determinar la cantidad de compuestos orgánicos que está presente en el agua” (Man, Hu y Ren, 2019, p.56); quiere decir que es el oxígeno necesario para descomponer u oxidar los contaminantes. “El valor de DQO es la masa de oxígeno consumida por litro de solución y es expresada en miligramos por litro (mg/L), cabe mencionar que si el DQO es mayor habrá mayor contaminación del agua” (Kumar et al., 2015, p.371).

c. Oxígeno disuelto (OD)

Según Crossman et al. (2019) “el oxígeno disuelto es la concentración medidas en (mg/L) o como la cantidad de oxígeno en el agua” (p.387).

e. Potencial hidrogeno

El pH se usa para expresar la alcalinidad o acidez presentes en el agua. “Influye en el proceso biológico y químico de cuerpos de agua” (Kumar, 2018, p. 22). Este es el logaritmo negativo del hidrogenión, la medida del PH está a una escala de 0 – 14, donde los valores menores a 7 son considerados ácidos, mientras que los mayores a 7 son básicos y el 7 es neutral.

Si bien el pH puede verse afectado por algunos factores tales como la temperatura, la exposición al aire y la eliminación de residuos domésticos e industriales. Según Manyuchi, Mbohwa y Muzenda (2018) “utilizando tratamiento por vermifiltro el pH puede pasar de ácido a neutro debido a la remoción de contaminantes biológicos por lombrices de tierra” (p.77).

1.3.3. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales

1.3.3.1. Electrocoagulación

Para Sarala (2012), es “el proceso de pasar corriente eléctrica a través de un líquido usando ánodo y el cátodo. Esta técnica es eficiente en la reducción de DBO, SST, pH, Color, turbiedad, etc.” (p. 530). Crea conglomerados de partículas disueltas en medio acuoso usando corriente eléctrica, lo que “causa la producción de iones metálicos a costa de sacrificar electrodos e iones hidroxilo como resultado de la disociación del agua” (Impa, 2015, p.3845). El hidroxilo de metal actúa como coagulante, lo cual desestabiliza los contaminantes

convirtiendo flóculos a partir de los sólidos en suspensión para que tengan suficiente densidad y sedimentar por gravedad.

Si bien esta tecnología electroquímica es eficiente sin embargo realizarlas a gran escala resulta muy costoso y en el caso del Perú y zonas rurales resulta casi imposible su implementación por las condiciones economía que se tiene.

1.3.3.2. Biodiscos

Basado en el contacto biológico, en el cual existe actividad bacteriana aerobia que da lugar a formación de biopelícula que se encuentran adheridas en los extremos de “los discos que generalmente son de plásticos porosos, montada en paralelo y fijada en forma giratoria” (Sima, Pocedic y Hasal, 2012, p. 388). Los “discos están parcialmente sumergidos en las aguas residuales domésticas, su rotación permite la oxigenación de la biopelícula” (Tonde, Mali y Patil, 2017, p. 622). La película biológica se encarga de degradar los contaminantes presentes en el agua mientras el sistema gira. Existe la necesidad de utilizar energía eléctrica para la rotación de los discos.

1.3.3.3. Humedales artificiales

Según Lu, Pei y Bai (2015), están “compuestas por sustratos tales como masas de tierra, piedra y grava, etc., así mismo se le atribuye la planta acuática” (p.1) que generalmente “está compuesta por macrófitas tales como juncos, carrizos, etc.” (Rodríguez et al., 2013, p.223), la vegetación emergente se encarga de airear el sistema y proveer oxígeno a los microorganismos.

Las aguas residuales fluyen debajo o en la capa superficial de la masa de tierra en el humedal. Según Luna y Aburto (2014) “esta técnica mejora la calidad del agua ya que los

microorganismos y plantas presentes en el sistema permite remover contaminantes y transformar nutrientes” (p.43). Los “humedales artificiales son considerados como tecnologías verdes, requiere menos requisitos operacionales y tiene un bajo consumo de energía intensiva de la tierra” (Wu et al., 2014, p.594).

1.3.3.4. Lagunas de estabilización Facultativas

Son potencialmente un medio apropiado y eficaz para tratar aguas residuales que por lo general consiste “en una serie de estanques donde las aguas residuales tienen un tiempo de retención de aproximadamente 20 días, con una profundidad de 3 metros” (Verbyla y Mihelcic, 2015, p.107). Si bien su función principal es la estabilización y descomposición de contaminantes orgánicos presente en las aguas residuales.

La depuración de contaminantes del agua va a depender de las siguientes condiciones tales como: El clima, fuerza de los vientos, temperatura y radiación solar. Según Sharafi et al. (2015) “esta tecnología es económica, de mantenimiento mínimo, natural y sostenible” (p.2), sin embargo, son sensibles a factores climáticos incontrolables.

1.3.4. TRATAMIENTO DE AGUAS CON VERMIFILTRACIÓN

1.3.4.1. Vermifiltro

Es un biofiltro, este es un sistema de tratamiento biológico, aerobio de cultivo fijo en el cual se utilizan lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) y distintos “materiales filtrantes tales como: grava, viruta de madera y piedras bolones” (Adugna et al., 2019, p.242). Si bien es cierto este tipo de tratamiento se basa en reacciones de oxidación, biodegradación y estimulación microbiana; donde las aguas residuales domésticas son rociados por gravedad en la superficie del lombrifiltro percolando por el

medio filtrante, en el cual “quedan retenido la materia orgánica y otros elementos en contención que sirven de alimento para las lombrices y microorganismos, estos se encargan de oxidar y degradar los contaminantes presentes en el agua” (Lourenço y Nunes, 2017, p. 138).

La lombriz luego de consumir la materia orgánica y otros contaminantes producen humus a través de sus deyecciones y son ricas en nutrientes, lo cual puede ser usado como fertilizante natural para los suelos, para Jatin (2018), esta “técnica no produce lodos inestables, proliferación de vectores, ni malos olores” (p.186), además de poseer bajos costos de inversión. Así también “es también una alternativa a los métodos de tratamiento de aguas residuales químicas y puede disminuir otros efectos adversos causados por los productos químicos usados para el tratamiento de efluentes” (Jeevitha et al, 2016, p. 14902).

“Las lombrices suelen degradar productos químicos y actúan como un estimulador biológico. Al utilizar este método los resultados del efluente se podrán utilizar para el riego de cultivos, parques y jardines” (Gupta, 2015, p. 1).

1.3.4.2.Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

Es “un animal ecológico con más de 600 millones de años de experiencia como ingeniero del ecosistema, gestor de residuos y se encarga de mejorar la fertilidad del suelo con humus de buena calidad, promotores del crecimiento de plantas y hoy en día comedoras de contaminantes presentes en las aguas residuales” (Gupta, 2015, p. 1). Según Xing et al. (2016) “este tipo de lombrices han sido consideradas como las fuerzas motrices cruciales de la vermifiltración” (p.1) debido a que “mediante la ingestión puede convertir materia orgánica insoluble en formas solubles permitiendo de esta manera su

degradación además de proporcionar condiciones adecuadas para la comunidad microbiana” (Di, Xing y Yan, 2016, p.309).

1.3.4.3. Características generales de *Eisenia foetida*

a. Taxonomía

Según Latif, Malek y Csuzdi (2017) la lombriz presenta la siguiente clasificación:

Tabla 1: Taxonomía de la lombriz roja californiana

Reino	Animal
Phylum	Annelida
Clase	Oligochaeta
Familia	Lumbricidae
Genero	Eisenia
Especie	Eisenia foetida

Fuente: Elaboración propia, 2019

a.1. Anatomía de la lombriz roja californiana

Según Gupta y Garg (2017, p. 87) define la anatomía de la lombriz en:

- **Cutícula:** Es una lámina de quitina y delgada.
- **Epidermis:** Se encargan de producir mucus, este epitelio simple tiene células glandulares.
- **Peritoneo:** Es la cavidad de la lombriz
- **Celoma:** Envuelve al ducto alimenticio y contiene un líquido que la lombriz la expulsa cuando presenta peligros.
- **Tubo digestivo:** Su recorrido va desde la boca hacia el ano, presenta las siguientes partes: la boca, cavidad bucal (en su interior las células del paladar), luego está la faringe, esófago, el papo y la molleja; estas dos últimas comprimen el alimento para que las lombrices las puedan digerir.

- a.2. Sistema circulatorio:** Su inicio y final es el aparato digestivo y la pared del cuerpo, presenta muchos vasos sanguíneos (corazones contráctiles), que impulsan la mezcla de sangre (oxígeno y alimentos), este sistema elimina todos los residuos líquidos por el riñón y por la piel el gas carbónico.
- a.3. Sistema Respiratorio:** No presenta pulmones, solo el oxígeno circula por la pared del cuerpo.
- a.4. Sistema Excretor:** Se da por los nefridios, presentan 2 por cada anillo.
- a.5. Visión:** Esta se da por la epidermis ya que cuenta con células fotosensibles que están ubicadas en el protostomio, las lombrices no soportan la luz, no pueden percibir la luz roja y los rayos UV las mata.

b. Características morfológicas

“Las lombrices no tienen órganos respiratorios, su respiración de ellas se da por la superficie de su cuerpo” (Díaz Luis, 2014, p.6).

c. Condiciones para su reproducción

c.1. Alimentación

Según Gupta y Garg (2017) “Las lombrices de tierra ingieren y digieren material de desecho, lo que resulta en su descomposición mecánica durante el paso a través de su molleja muscular. Luego, pasa al intestino del gusano y se descompone por varias enzimas presentes en el intestino, así como por las enzimas de los microorganismos ingeridos” (p.87).

Según Estrada y Gamboa “Su alimento debe tener una temperatura (15- 20 °C), la humedad (80-90%), en ventilación” (2016, p.25). Este debe pasar por procesos como el compostaje para su posterior consumo; esto es

muy cardinal para su desarrollo y reproducción de una manera eficaz.

c.2. Reproducción

Las lombrices son hermafroditas quiere decir que tienen los órganos reproductores masculinos y femeninos, no se pueden auto fecundar, ellas se reproducen por fecundación cruzada (Díaz Eduardo, 2002, p.11).

c.3. Densidad poblacional por metro cuadrado

Según Estrada y Gamboa la excesiva cantidad de lombrices en espacios reducidos no es lo mejor, ya que al haber muchas, el alimento no alcanza y no se logra una óptima reproducción; se recomienda usar lechos de 30-40 cm de ancho y 1-1.20 m de largo” (2016, p.25).

d. Funciones de la *Eisenia foetida*

Qiu, Wey y Xian-ning concluyen que “La *Eisenia foetida* puede mejorar el Oxígeno Disuelto (OD) en humedales cuando la carga hidráulica sea de 0.3m^3 ” (p.5).

1.3.4.4. Lecho filtrante

a. Capas de humus

Según Kõlli y Rannik, (2018) el “Humus es rico en materia orgánica y en la vermifiltración es un medio filtrante donde hay microorganismos que cohabitan con las lombrices (*Eisenia foetida*)” (p.627).

b. Aserrín o Viruta

Este es el sustrato de soporte y también sirve de filtro, cuenta con un espesor de 40 cm para que las lombrices puedan comerse la viruta o aserrín cuando el efluente no contenga mucha materia orgánica (Adugna et al., 2019, p.98).

c. Grava

Esta capa presenta ripio o grava y también cuenta con un espesor de 25cm, aquí se da el drenaje de las aguas residuales y los procesos aerobios (Mayuchi, Mbohwa y Muzenda, 2018, p.73).

d. Piedra Bola

La piedra bola es la última capa, en su cubierta se forma la flora bacteriana para digerir la materia orgánica que no fue digerida por las lombrices, en esta capa se da ventilación y el drenaje de las aguas (Kumar et al., 2014, p.78).

1.3.5. Tratamiento de aguas residuales con filtros percoladores

1.3.5.1. Filtros percoladores

“Es una técnica está constituido por un tanque cilíndrico o rectangular que contiene lecho filtrante fijo que generalmente son materiales sintéticos o piedras de distintas formas” (Díez et al., 2019, p. 188), las aguas residuales son rociados con un distribuidor y percolan de manera descendente por el medio filtrante donde se encuentra adheridos las colonias de bacterias o también llamadas biopelículas quienes descomponen las aguas residuales de manera aerobia.

A. Biopelículas

También se le llama biopelícula “compuesta por colonias dinámicos de microorganismos que generalmente se encuentran adheridas a un lecho fijo” (Li et al, 2013, p. 933). Cabe mencionar el ciclo vital de estos microorganismos consta en tres divisiones tales como: adhesión, crecimiento y desprendimiento.

“La biopelícula está compuesta por: bacterias aerobias, anaerobias, hongos, protozoos, levaduras, algas, gusanos

como nematodos, etc” (Méndez, Pérez y García, 2013, p.15).

B. Proceso microbiológico

Para Gupta y Garg (2017), los “microorganismos predominantes son las bacterias facultativas tales como: *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Pseudomonas* y *Achromobacter* quienes degradan principalmente la materia orgánica del afluente” (p.90). Mientras que Xing, Yang y Dai (2014) mencionan que “los hongos estabilizan los residuos con pH bajo, las especies predominantes son: *Sporaticum*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Mucor*” (p. 256).

Las algas se encargan de oxigenar el sistema debido a la actividad fotosintética que realiza entre las especies más comunes se encuentran *Chlorella*, *Phormidium* y *Ulothrix*, mientras que los protozoos tienen el control de crecimiento bacteriano, así también “los gusanos se encargan de mantener en crecimiento la comunidad bacterial” (Di y Xing, 2018, p. 636).

C. Lecho fijo

Está “compuesto por rocas y por materiales plásticos tales como: polipropileno, policloruro de vinilo, polietileno y PET, etc.” (Rodríguez y Orrego, 2016, p. 252).

Esto permite conseguir la reducción y estabilización de materia biodegradable, según Pulkkinen et al. (2015), los “medios fijos son diseñados para que tengan contacto con el agua residual y el aire con la finalidad de aumentar la absorción del oxígeno” (p.99) y con ello se obtiene una alta actividad microbiana y adecuado desarrollo de la biopelícula, lo que aumenta la transferencia de oxígeno y nutrientes a los microorganismos.

1.3.5.2. Polipropileno

Según Iwamoto et al (2014) “es un polímero termoplástico transparente en estado natural, incoloro e inodoro y puede ser pigmentado en distintos colores” (p.1). Son caracterizados por su pureza y buena calidad. “Es relativamente rígido, de baja densidad y con adecuada resistencia a impactos” (Caicedo et al, 2017, p.245).

Se obtiene a partir de la polimerización del propileno, pueden modificarse y adaptarse para determinados usos por medio de distintas técnicas de aditivación.

A. Fórmula

Está formado por enlaces simples de carbono – carbono e hidrógeno – carbono.

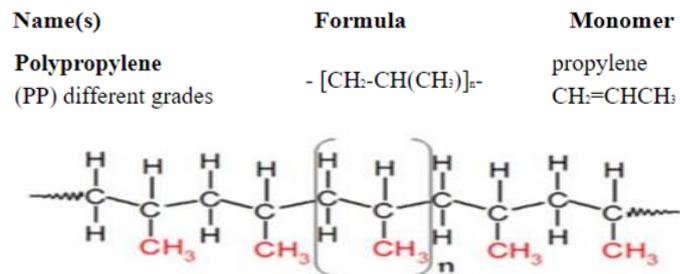
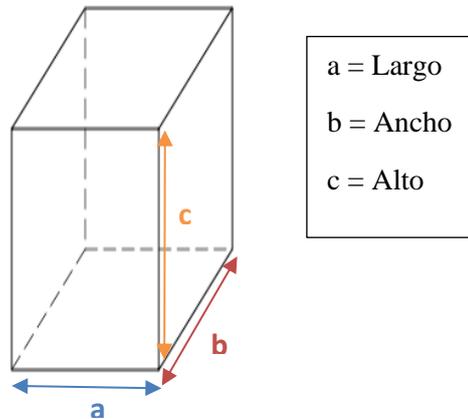


Figura 1: Fórmula y estructura del polipropileno

Fuente: Maddah, 2016.

1.3.6. Dimensiones de vermifiltro

En la presente investigación se diseñaron tres filtros en forma paralelepípedo (octaedro).



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Cada Filtro tiene las siguientes medidas detalladas en la tabla 2.

Tabla 2: Dimensiones de vermifiltro

Símbolo	Descripción	Valor (m)
a	Ancho	0.50
b	Largo	0.75
c	Alto	0.80

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

A. Área Total

Para determinar el área de los tres filtros se utilizó la siguiente fórmula matemática:

$$\text{Área} = 2 \times (a \times b + a \times c + b \times c) m^2$$

$$\text{Área} = 2 \times (0.5 \times 0.75 + 0.5 \times 0.8 + 0.75 \times 0.8)m^2$$

$$\text{Área} = 2 \times (1.375) m^2$$

$$\text{Área} = 2.75m^2$$

Por lo tanto, aplicando la formula el área total de cada vermifiltro es $2.75m^2$.

B. Volumen de vermifiltro

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= (a \times b \times c)m^3 \\ \text{Volumen} &= 0.5 \times 0.75 \times 0.8 m^3 \\ \text{Volumen} &= 0.3m^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volumen (litros)} \rightarrow 0.3m^3 \times \frac{1000L}{1m^3} = 300L$$

Por lo tanto, el volumen de cada vermifiltro es 300000 cm³, 0.3 m³ o 300L.

1.3.7. Condiciones de Operación

A. Caudal

Según Thomas y Marino (2016) “es la cantidad de flujo que pasa por un ducto (tuberías) en un tiempo específico” (p. 11).

Para medir el Caudal se utilizó la siguiente formula (Jiang et al., 2016)

$$Q_w = \frac{\text{volumen}}{\text{Tiempo}}$$

En nuestro trabajo de investigación para medir los caudales se necesitó de una jarra milimetrada y un cronómetro, se probó 3 caudales haciendo un juego de válvulas. Nuestros caudales comprenden de la apertura de 30° sexagesimales para obtener el tercer caudal de 553ml/min, luego abrimos la válvula de bola hasta aproximadamente 60° y obtuvimos el segundo caudal 708ml/min y finalmente abrimos hasta 90°sexagesimales y obtuvimos nuestro primer caudal de 1005ml/min. Con estos caudales los vermifiltros trabajaron de manera adecuada. No hubo sobresaturación.

$$Q_1 = 1005 \frac{ml}{min} \times \frac{60min}{1h} \times \frac{1L}{1000ml} = 60.3 \frac{L}{h} \times \frac{1m^3}{1000L} = 0.0603 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_2 = 708 \frac{ml}{min} \times \frac{60min}{1h} \times \frac{1L}{1000ml} = 42.48 \frac{L}{h} \times \frac{1m^3}{1000L} = 0.04248 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_3 = 553 \frac{ml}{min} \times \frac{60min}{1h} \times \frac{1L}{1000ml} = 33.18 \frac{L}{h} \times \frac{1m^3}{1000L} = 0.03318 \frac{m^3}{h}$$

B. Tiempo de retención Hidráulica (TRH)

El tiempo de retención de hidráulica consiste en el tiempo de interacción que tienen los sustratos con el influente a tratar.

Se aplica la siguiente formula

$$TRH = \frac{V}{Qw}$$

Donde, V= Volumen (m³) del reactor y Qw = Caudal (m³/día) de agua residual (Lourenco y Nunes, 2017, p. 140).

En nuestro trabajo de investigación el TRH 1 es 4h 58min, TRH2 es 7h 3min y TRH 3 es 9h 2min.

Reemplazando en la formula se obtuvo lo siguiente

$$TRH1: \frac{300L}{60.3\frac{L}{h}} = 4.97 \text{ h, equivale a 4h 58min}$$

$$TRH2: \frac{300L}{42.48\frac{L}{h}} = 7.06\text{h, equivale a 7h 3min}$$

$$TRH3: \frac{300L}{33.18\frac{L}{h}} = 9.04\text{h, equivale a 9h 2min}$$

C. Tasa de carga hidráulica (HLR)

Según Lourenco y Nunes (2017) se utiliza la siguiente formula:

$$HLR = \frac{Qw}{A}$$

Donde, Qw = Caudal (m³/día) de agua residual y A = área (m²) del reactor (p.140).

Reemplazando en la formula se obtuvo lo siguiente

$$HLR1: \frac{0.0603\frac{m^3}{h}}{2.75m^2} = 0.022\frac{m^3}{m^2 \times h}$$

$$HLR2: \frac{0.04248\frac{m^3}{h}}{2.75m^2} = 0.015\frac{m^3}{m^2 \times h}$$

$$HLR3: \frac{0.03318\frac{m^3}{h}}{2.75m^2} = 0.012\frac{m^3}{m^2 \times h}$$

Para el trabajo de investigación el HLR1 es $0.022 \frac{m^3}{m^2 \times h}$, HLR2 es $0.015 \frac{m^3}{m^2 \times h}$ y HLR 3 es $0.012 \frac{m^3}{m^2 \times h}$

1.3.8. Eficiencia de Remoción

Según Saboya (2018) el porcentaje de eficiencia de los parámetros físicos químicos analizados será calculados mediante la fórmula que muestra a continuación.

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{(COi - COf)}{COi} * 100$$

Donde: COi = Concentración inicial y COf = Concentración final (p.129).

1.3.9. Cálculo de remoción en flujo de kg/h (DQO, DBO₅, TDS, SST)

Cálculo de Remoción de DQO: (Reactor4, Caudal 3, TRH₃, Rpromedio)



$$\text{Remoción (DQO)} = 521 - 25 = 496 \text{ mg/L} = \mathbf{0.496 \text{ Kg/m}^3}$$

Dato de Caudal₃ que ingresa al Reactor 4 = 553mL/min

$$\text{Luego: } Q_3 = (0.553 \text{ L/min}) \times (60 \text{ min/h}) \times (1\text{m}^3/1000\text{L}) = \mathbf{0.033 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Dato de Volumen efectivo del reactor = 300L=0.3 m³

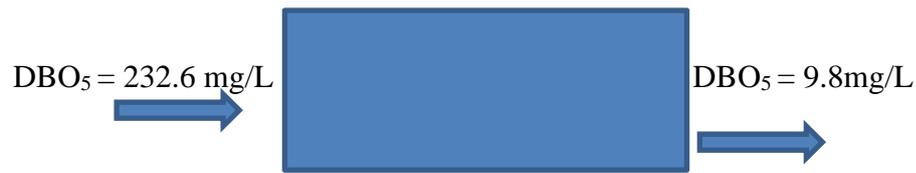
$$\text{Si } Q = V/t, \quad \text{y } t = \text{TRH}$$

$$\text{TRH} = \text{Volumen del reactor} / Q_0$$

$$\text{TRH} = 0.3 \text{ m}^3 / 0.033\text{m}^3/\text{h} = 9\text{h } 3\text{min}$$

$$\text{Remoción (DQO)} = (0.496 \text{ Kg/m}^3) \times (0.033 \text{ m}^3/\text{h}) = \mathbf{0.0163 \text{ Kg/h}}$$

Cálculo de Remoción de DBO₅: (Reactor4, Caudal 3, TRH₃, Rpromedio)



$$\text{Remoción (DBO}_5) = 232.6 - 9.8 = 222.8 \text{ mg/L} = \mathbf{0.2228 \text{ Kg/m}^3}$$

Dato de Caudal₃ que ingresa al Reactor 4 = 553mL/min

$$\text{Luego: } Q_3 = (0.553 \text{ L/min}) \times (60 \text{ min/h}) \times (1\text{m}^3/1000\text{L}) = \mathbf{0.033 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Dato de Volumen efectivo del reactor = 300L=0.3 m³

$$\text{Si } Q = V/t, \quad \text{y } t = \text{TRH}$$

$$\text{TRH} = \text{Volumen del reactor} / Q_0$$

$$\text{TRH} = 0.3 \text{ m}^3 / 0.033\text{m}^3/\text{h} = 9\text{h } 3\text{min}$$

$$\text{Remoción (DBO}_{5T}) = (0.2228 \text{ Kg/m}^3) \times (0.033 \text{ m}^3/\text{h}) = \mathbf{0.0074 \text{ Kg/h}}$$

Cálculo de Remoción de TDS: (Reactor4, Caudal 3, TRH₃, Rpromedio)



$$\text{Remoción (TDS)} = 1863 - 694 = 1169 \text{ mg/L} = \mathbf{1.169 \text{ Kg/m}^3}$$

Dato de Caudal₃ que ingresa al Reactor 4 = 553mL/min

$$\text{Luego: } Q_3 = (0.553 \text{ L/min}) \times (60 \text{ min/h}) \times (1\text{m}^3/1000\text{L}) = \mathbf{0.033 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Dato de Volumen efectivo del reactor = 300L=0.3 m³

$$\text{Si } Q = V/t, \quad \text{y } t = \text{TRH}$$

$$\text{TRH} = \text{Volumen del reactor} / Q_0$$

$$\text{TRH} = 0.3 \text{ m}^3 / 0.033\text{m}^3/\text{h} = 9\text{h } 3\text{min}$$

$$\text{Remoción (TDS}_T) = (1.169 \text{ Kg/m}^3) \times (0.033 \text{ m}^3/\text{h}) = \mathbf{0.0386 \text{ Kg/h}}$$

Cálculo de Remoción de SST: (Reactor4, Caudal 3, TRH₃, Rpromedio)



$$\text{Remoción (SST)} = 138 - 15 = 123 \text{ mg/L} = \mathbf{0.123 \text{ Kg/m}^3}$$

Dato de Caudal₃ que ingresa al Reactor 4 = 553 mL/min

$$\text{Luego: } Q_3 = (0.553 \text{ L/min}) \times (60 \text{ min/h}) \times (1 \text{ m}^3/1000 \text{ L}) = \mathbf{0.033 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Dato de Volumen efectivo del reactor = 300 L = 0.3 m³

$$\text{Si } Q = V/t, \quad \text{y } t = \text{TRH}$$

$$\text{TRH} = \text{Volumen del reactor} / Q_0$$

$$\text{TRH} = 0.3 \text{ m}^3 / 0.033 \text{ m}^3/\text{h} = 9 \text{ h } 3 \text{ min}$$

$$\text{Remoción (SST)} = (0.123 \text{ Kg/m}^3) \times (0.033 \text{ m}^3/\text{h}) = \mathbf{0.0041 \text{ Kg/h}}$$

1.3.10. Marco Legal

- **Decreto supremo N° 003-2010-MINAM**, Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR.
- **Decreto supremo N°004-2017- MINAM**, Estándares de calidad ambiental para el agua, Categoría 3: para riego de vegetales y bebida de animales.

1.4. Formulación del Problema

1.4.1. Problema general

¿En qué medida el vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno mejora la eficiencia en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas?

1.4.2. Problemas específicos

- a. ¿Qué efecto produce la cama de lombrices en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas?
- b. ¿Qué efecto produce la biopelícula en polipropileno en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas?
- c. ¿Qué efecto produce el tiempo de retención hidráulica en la remoción de carga orgánica y material particulado en el agua residual domésticas?

1.5. Justificación del estudio

En la actualidad se evidencia un gran problema en cuanto al generación de aguas residuales domésticas que requiere atención inmediata, frente a esto es difícil optar por su tratamiento con sistemas convencionales debido a que tiene elevados costos, por ello existe la necesidad de aplicar tratamientos menos costosos como el uso de vermifiltro añadiendo polipropileno (PP) como medio filtrante.

En el aspecto ambiental justifica que este método permite tomar recursos que nos proporciona la naturaleza como las lombrices rojas californianas, entre otras, además de la reutilización del polipropileno que servirá de soporte para la formación de biopelículas, lo cual es importante ya que “la actividad simbiótica que realizan las lombrices y microorganismos ayudan a reducir los contaminantes del agua residual pudiendo reaprovechar este recursos para fines de riego ya que el efluente resultante es altamente nutritivo” (Samal, Dash y Bhuinia, 2018, p. 4714), así también se aprovechará el humus para mejorar la

calidad del suelo lo cual es generado por la deyecciones de las lombrices y actividad microbiológica, a aparte de ello “este método no producirá malos olores debido a que es un tratamiento aerobio” (Liu et al., 2013, p.101).

En cuanto al aspecto económico la implementación del vermifiltro con medio filtrante de polipropileno resulta fácil, económico e innovador ya que permite el reuso del polipropileno reciclado, para Parra y Chiang (2013) en el tema social “aportará en la mejora de la calidad de vida de una comunidad, así mismo ayudará a fomentar la formación de una cultura sostenible para el óptimo uso del agua tratada en la agricultura que será de conocimiento para las presentes y futuras generaciones” (p. 49).

De esta manera, la presente investigación busca incentivar a las comunidades a tratar sus aguas residuales domésticas empleando el vermifiltro con polipropileno como material filtrante, ya que “es una innovadora tecnología apta para zonas rurales con pequeñas poblaciones, y de este modo se permitirá tener un detallado panorama de la eficiencia en la reducción de parámetros fisicoquímicos” (Liu et al., 2013, p.101).

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

H0: El vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno mejora significativamente la eficiencia en la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.

H1: El vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno no mejora significativamente la eficiencia en la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.

1.6.2. Hipótesis Específica

- a. La cama de lombrices produce efecto significativo en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.
- b. La biopelícula en polipropileno produce efectos significativos en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.
- c. El tiempo de retención hidráulica produce efectos significativos en la remoción de carga orgánica y material particulado en el agua residual domésticas.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia del vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno en la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.

1.7.2. Objetivo Específico

- a. Determinar la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas mediante la cama de lombrices.
- b. Determinar la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas mediante la biopelícula en polipropileno.
- c. Determinar la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas respecto al tiempo de retención hidráulica.

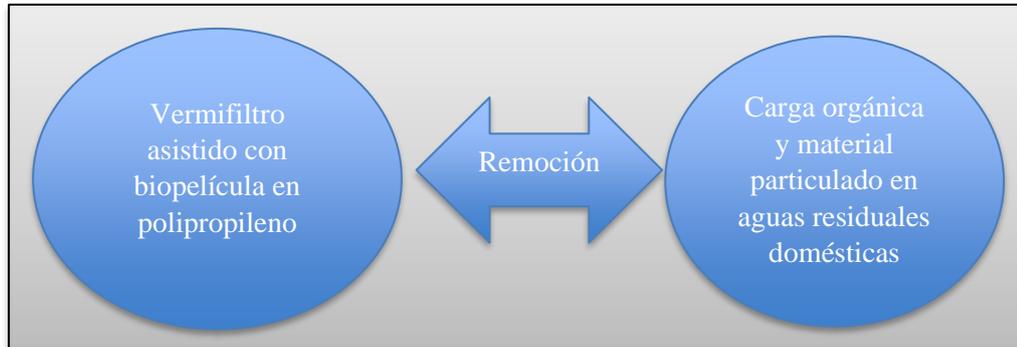
II. MÉTODO

2.1. Diseño de investigación

El diseño que se utiliza en la presente investigación es experimental, ya que se manipula la variable independiente en relación al efecto que ocasiona sobre la variable dependiente. Así mismo Hernández et al

(2010) menciona que el diseño experimental es una situación que maniobra intencionalmente una o más variables independientes para analizar los efectos sobre la variable dependiente (p, 163).

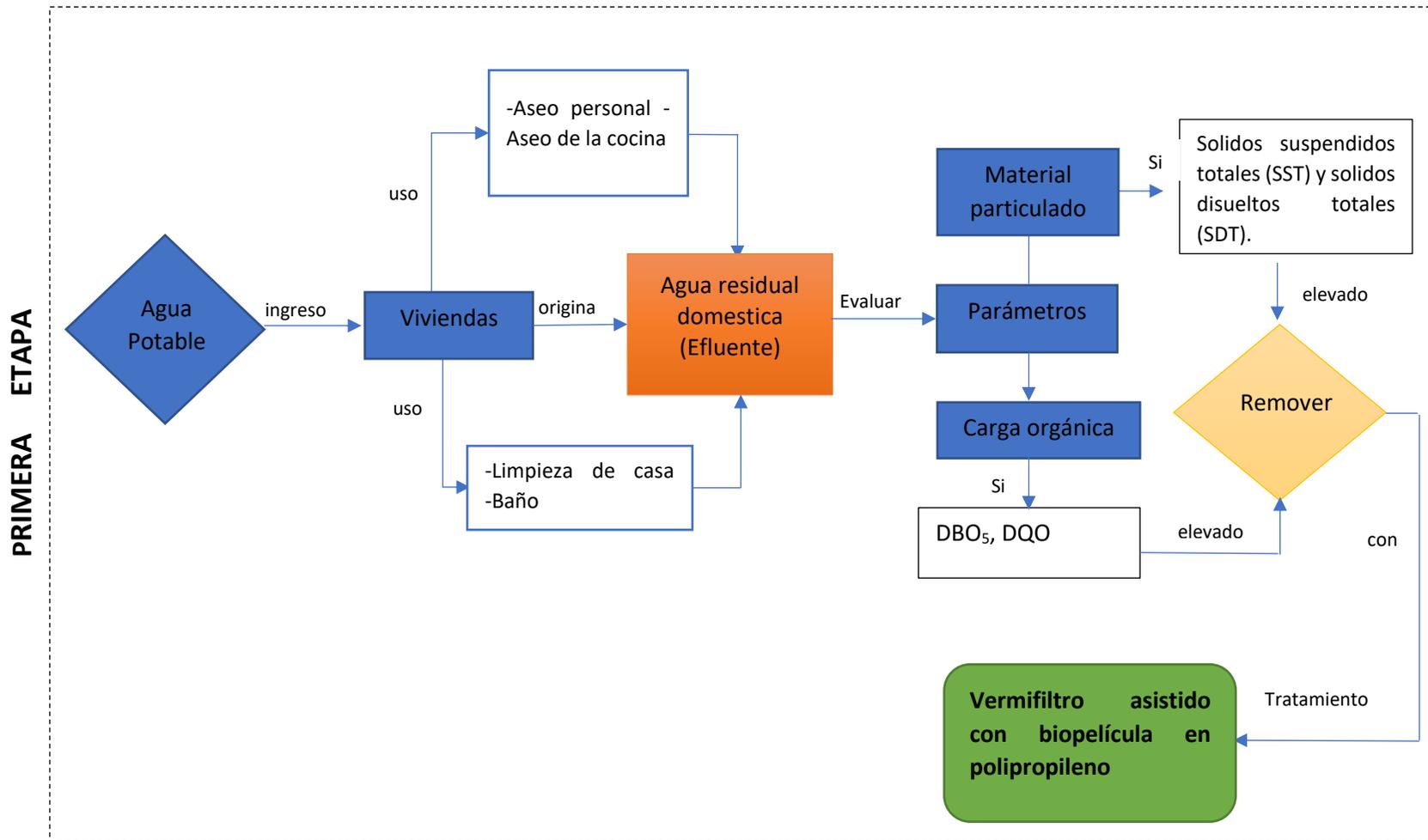
Esquema 1: Relación de variable independiente con la dependiente



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

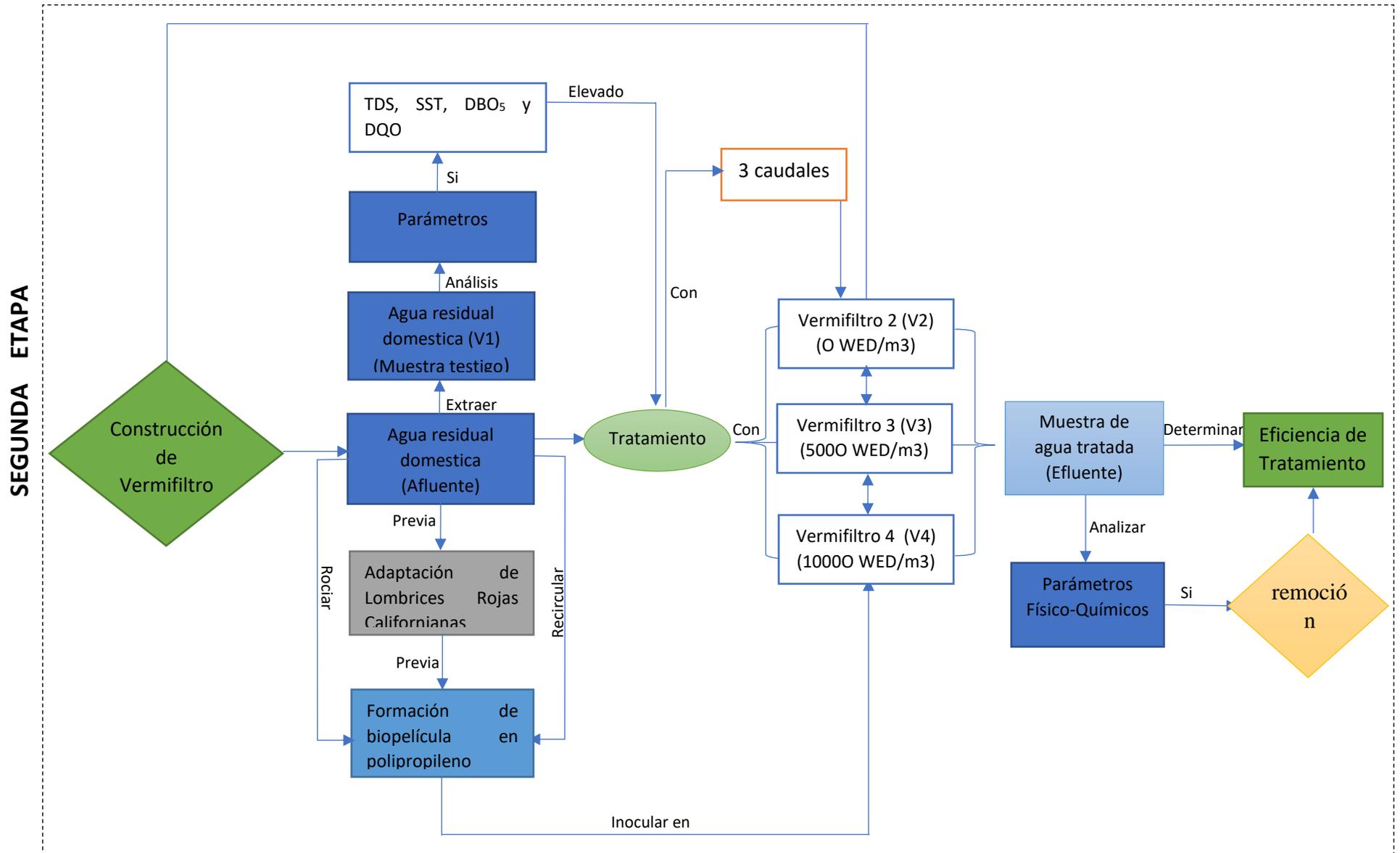
En la presente investigación se detalla el desarrollo de investigación en tres Etapas. La primera etapa consiste en Identificar, definir la problemática y dar alternativa de solución, la segunda etapa contiene la parte experimental y en la tercera etapa se redactan el análisis de datos y conclusiones, para su mayor conocimiento (**ver esquema2**) se mostrará a continuación:

Esquema 2: Diagrama de flujo de la primera Etapa del desarrollo del Investigación



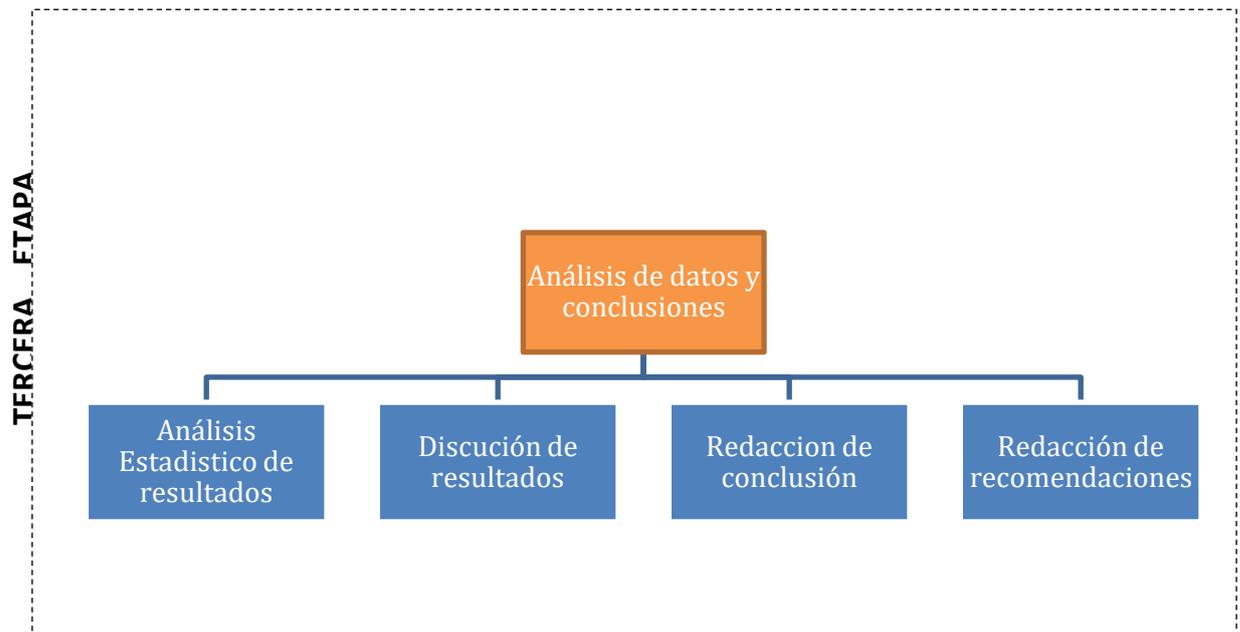
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Esquema 3: Diagrama de flujo de la segunda etapa del desarrollo del Investigación



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Esquema 4: Diagrama de flujo de la tercera etapa del desarrollo del Investigación



Fuente: Elaboración propia,2019.

2.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es APLICADA debido a que está fundamentado en investigaciones, conocimientos y teorías establecidas en un problema en particular.

2.1.2. Enfoque de investigación

Esta investigación tiene enfoque cuantitativo ya que se basa en muestras representativas de una determinada población, lo cual será usada como herramienta estadística para analizar datos.

2.1.3. Variables Operacionales

- **Variable Independiente:** “Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno.”
- **Variable dependiente:** “Remoción la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas”.

2.2. Variables, operacionalización

Tabla 3. Matriz de operacionalización

Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para reducir la carga orgánica en aguas residuales domésticas								
PROBLEMA GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENCIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDICION
¿En qué medida el vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno mejora la eficiencia en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas?	<p>H0: El vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno mejora significativamente la eficiencia en la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas</p> <p>H1: El vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno no mejora significativamente la eficiencia en la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.</p>	Evaluar la eficiencia del vermifiltro asistido con biopelícula en la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.	INDEPENDIENTE					
			Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno	Sistema dinámico y aerobio compuesto por capas filtrantes, lombrices y microorganismos" (Adugna et al., 2019, p. 242), además presenta un "lecho filtrante de polipropileno donde se forman biopelículas que degradan los contaminantes presentes en el agua residual doméstica" (Rodríguez, 2014, p.14).	Filtro aerobio compuesto por medios filtrantes tales como: Capa1: compost con Lombrices <i>Eisenia Foetida</i> . Capa2: aserrín Capa3: Grava de 8mm Capa4: Grava de 15mm Capa5: Piedra bola. Capa 6: Polipropileno. Que sirven de soporte para formación de biopelícula que conjuntamente con <i>E. Foetida</i> oxidan los contaminantes de las aguas residuales domésticas.	Condiciones de Operación del reactor	Caudal de tratamiento	m ³ /s
							Tiempo de retención hidráulica	horas
						Remoción en el sistema	Biopelícula en polipropileno	%
						Cama de lombrices	%	

PROBLEMAS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICOS	OBJETIVO ESPECIFICOS	VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENCIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDICION
DEPENDIENTE								
1. ¿Qué efecto produce la cama de lombrices en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas?	1. La cama de lombrices produce efecto significativo en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.	1. Determinar la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas mediante la cama de lombrices.	Remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas	Es la remoción de contaminantes presentes en los afluentes residuales que pasan por "medios filtrantes, este tratamiento específico permite la remover: DBO ₅ , DQO, SST, TDS para un correcto efluente" (Manyuchi, Mbohwa y Muzenda, 2018, p. 74).	Se medirá la carga orgánica y material particulado.	Material particulado	Solidos disueltos totales (TDS)	Ppm(mg/l)
2. ¿Qué efecto produce la biopelícula en polipropileno en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas?	2. La biopelícula en polipropileno produce efectos significativos en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.	2. Determinar la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas mediante la biopelícula en polipropileno.					Solidos suspendidos totales (SST)	Ppm(mg/l)
3. ¿Qué efecto produce el tiempo de retención hidráulica en la remoción de carga orgánica y material particulado en el agua residual domésticas?	3. El tiempo de retención hidráulica produce efectos significativos en la remoción de carga orgánica y material particulado en el agua residual domésticas.	3. Determinar la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas respecto al tiempo de retención hidráulica.					Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L
						Carga orgánica	Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L

Fuente: Elaboración propia, 2019

2.3.Población y muestra

2.3.1. Población

“Según Hernández (2010), la población es el conjunto de todas las viviendas, animales, se agrupa según su especificación” (p.174).

La población de la presente investigación fue el total de aguas residuales domésticas del Distrito de Villa el Salvador, Sector 9 Grupo1 (Cruce entre las Av. José Carlos Mariátegui y la Av. María Elena Moyano).

2.3.2. Muestra

La muestra a tomar es de 1560 litros de aguas residuales domésticas que se recolectará de los ductos donde se mezcla el desagüe procedente de los domicilios de Villa El Salvador, sector 9 Grupo1; se debe de considerar que 80 litros se dispondrán para cada vermifiltro con polipropileno (3 biofiltros) lo cual se cambia la muestra de agua por cada repetición según el caudal designado. “Una muestra no probabilística no depende de la probabilidad, sino de las características y causas de la investigación, aquí se logran obtener los casos que interesan al investigador” (Hernández, 2010, p. 190)

2.3.3. Muestreo

“El muestreo fue por conveniencia, esta es una técnica de las muestras no probabilísticas consiste en casos donde hay facilidad de acceso” (Hernández, 2010, p. 401).

De tal modo, en la presente investigación se usará el muestreo no probabilístico del tipo por conveniencia; es no probabilístico ya que se eligieron las muestras según los casos que nos convengan más a la investigación y al investigador; esto se realizará por conveniencia, ya que es un caso con la facilidad de acceso y disponibilidad.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para ello se emplea lo siguiente:

Tabla 4. Técnicas e instrumentos de recolección

ETAPA	FUENTE	TECNICA	INSTRUMENTO	RESULTADO
1. Reconocimiento y diagnóstico del problema actual de investigación	Tesista	Revisión bibliográfica	Ficha de registro de toma de datos.	Conocimiento de la realidad problemática
2. Acondicionamiento de Lombrices y formación de biopelícula	Elaboración propia	Observación	Ficha de registro de datos.	Lombrices rojas californiana acondicionadas y biopelícula.
3. Diseño y construcción del vermifiltro	Elaboración propia	Observación	Ficha de diseño y construcción.	Vermifiltro construido
4. Medición de caudal para tratamiento con vermifiltro	Tesistas	Observación	Ficha de registro de datos.	Caudales determinados para tratamiento con vermifiltro.
5. Toma muestra inicial (testigo)	Efluente de aguas residuales domésticas obtenido en el buzón de desagüe ubicada en el sector 9 grupo 1 entre la Av. José Carlos Mariategui por la ruta D cruce con la Av Maria Elena Moyano.	Observación y análisis de muestra en laboratorio.	-Ficha de registro de colecta de muestra testigo. -Registro de cadena de custodia.	Resultados de los parámetros fisicoquímicos.
6. Aplicación del Tratamiento con Vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno	Sector 9, Grupo 1. Mz.A Lt21 - Villa el Salvador.	Observación	Registro de tratamiento con Vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno.	Aguas residuales Domestica tratada

7. Análisis de la muestra final (después del tratamiento con Vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno)	Laboratorio de la universidad Cesar Vallejo SJL.	Observación y análisis de muestras en laboratorio.	Registro de resultados después del tratamiento con Vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno.	Resultados de los parámetros fisicoquímicos
8. Comparación, análisis estadísticos, discusión de resultados y conclusiones	Gabinete	Análisis	SPSS y Excel.	Datos analizados y conclusiones

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

ETAPA 1. Reconocimiento y diagnóstico del problema actual de investigación.

El problema se reconoció y diagnóstico mediante la revisión y análisis de información actualizada de libros, tesis, revistas científicas a través de fuentes fiables tales como: SciELO, ScienceDirect, CONCYTEC, Google académico, etc. En la presente investigación se reconoce de manera explícita la procedencia de la información recolectada.

A. Diagnóstico del lugar

El agua residual doméstica se extrajo de un buzón de desagüe ubicada en el sector 9 grupo 1 Villa el Salvador entre Av. José Carlos Mariátegui por la ruta D cruce con la Av Maria Elena Moyano. Se utilizó GPS para identificar las coordenadas del lugar donde se obtuvo la muestra (Ver Tabla 5).

Tabla 5. Coordenadas de ubicación.

Lugar	Coordenadas		Zona
	Sur	Oeste	
Sector 9 grupo 1 Villa el Salvador	12°13'43.2"S	76°56'42.2"W	UTM 18

Fuente: Elaboración Propia, 2019

El agua que fue extraída fue utilizada para el acondicionamiento de lombrices, formación de biopelícula en polipropileno y para su respectivo tratamiento con vermifiltro.

ETAPA 2. Acondicionamiento de Lombrices y formación de biopelícula

1. Acondicionamiento de Lombrices

Se compraron 8 kg de lombrices rojas californiana (*Eisenia foetida*) en la Zona de punta hermosa-Lurín, los cuales fueron seleccionadas para su adaptación con aguas residuales domésticas.

Según Acuña (2017) se necesita de 7 días para la adaptación de lombrices, En la presente investigación adaptamos a las lombrices durante 7 días con agua residual doméstica diluida al inicio y posteriormente pura.

A. Materiales

- 8kg de lombrices rojas californianas
- Papel Ph
- Termometro
- 1 balanza
- 1 tina de 40 litros
- 20kg Aserrín
- 10kg Compost
- 9500ml de agua residual
- Una jarra de 1 litro
- 6000ml de agua de
- Guantes
- Mascarilla

B. Procedimiento

Para su adaptación se prepara el sustrato (20kg de Aserrín y 10kg de compost) dentro de 1 tina de 40 litros, seguidamente se contabilizo las lombrices, se pesó e inocularon 3324 lombrices *Eisenia Foetida*, luego se roció agua residual doméstica en una

proporción de 350 ml con 650 ml de agua potable durante los 2 primeros días, mientras que los 2 posteriores días se mezcló y roció 500ml de agua residual y 500ml de agua de caño, finalmente los días restantes se añadió agua residual doméstica pura, durante los días de adaptación se registró datos de pH, temperatura y humedad por la prueba de puño(ver Tabla 7).



Figura 2: Preparación de sustrato e inoculación de lombrices rojas californianas para su adaptación.

Fuente: Elaboración Propia,2019

Tabla 6. Resultado de Inoculación de Lombrices en sustrato de aserrín y compost para su adaptación con agua residual doméstica.

Dia		Peso	N° Lombrices rojas californiana
Inicio	05/05/19	2750g	3324
Fin	11/05/19	3980g	3319

Fuente: elaboración propia, 2019.

En la tabla 6 se muestra resultados de la adaptación de Lombriz roja californiana. Se observa que el día de inicio se inocularon 3324 lombrices los cuales tuvieron un peso de 2750g al finalizar los 7 días de adaptación con agua residual domestica se contabilizaron llegando a obtener 3319 lombrices con un peso de 3980g, pese a los decesos de *Eisenia Foetida* se observó un incremento de biomasa “debido al consumo de materia orgánica contenido en el agua residual que fue retenida en la cama aserrín y compost” (Xing et. al, 2016, p.1), (Garg, Gupta y Satya, 2006,

p.391), en el cual el aserrín fue una gran aliada ya que para fines de producción de humus no es conveniente debido a que tarda en descomponerse, pero para la presente investigación es de gran utilidad ya que retiene la materia orgánica.

Tabla 7. Adaptación de *Eisenia Foetida*

Nº DIAS	FECHA	HORA	TEMPERATURA	PH
1	05/05/19	08:00 pm	22°C	6
2	06/05/19	08:00 pm	21°C	6
3	07/05/19	08:00 pm	22°C	7
4	08/05/19	08:00 pm	21°C	7
5	09/05/19	08:00 pm	21°C	7
6	10/05/19	08:00 pm	20°C	7
7	11/05/19	08:00 pm	21°C	7

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 4 se observa el registro de datos durante 7 días de adaptación de lombrices para lo cual la humedad se determinó mediante la prueba de puño, se observa el incremento de PH debido a la actividad microbiana y al trabajo que realiza la lombriz *Eisenia Foetida* con sus glándulas calcíferas, mientras que la temperatura no varía bruscamente ya que las lombrices fueron adaptadas en un espacio cerrado.

2. Formación de Biopelícula

A. Materiales y Equipos

- 1 Bomba de ½ Hp
- 120 L Agua residual domestica
- 30 Kg de Polipropileno
- 240 Kg Piedras Bolas
- 240 Kg Grava de 8mm
- 240Kg Grava de 15mm

B. Procedimiento

Para la formación de biopelícula se requiere rociar y recircular 120L de agua residual doméstica sobre el polipropileno, Piedras Bolas y gravas, este procedimiento se realizó por un periodo de 24 días. Cada 5 días se midió la turbidez del agua de entrada y salida.



Figura 3. Recirculación de agua residual para facilitar la formación de biopelícula.

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Tabla 8. Resultados de medición de Turbiedad durante el acondicionamiento de biopelícula.

Día	Turbiedad de Entrada	Turbiedad de Salida
03/05/19	188 NTU	183.02
09/05/19	179 NTU	138.85
15/05/19	185NTU	71.37
21/05/19	189NTU	19.36

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Como se puede observar en la tabla 8 los resultados de turbiedad redujeron notablemente el día 21 de mayo del 2019, posterior a ello se inicia con el tratamiento.

ETAPA 4. Diseño y Construcción del vermifiltro

A. Materiales

A.1. Para la construcción del vermifiltro

- 1 tanque de plástico de 2500 Lt.
- 4 tubos PVC de ½”

- 5 tubos PVC de $\frac{3}{4}$ "
- 8 llaves de control de $\frac{1}{2}$ "
- 4 llaves de paso de $\frac{1}{2}$ "
- 8 láminas de vidrio de 8mm de espesor con 80 cm de altura por 0.50m de ancho.
- 8 láminas de vidrio de 8 mm de espesor con 80 cm de altura por 0.75m de ancho.
- 1 bomba centrífuga de 0,05hp
- 2 m de malla Rachel 1.5mm x 1.5mm
- 2 silicona
- 30 codos de $\frac{3}{4}$ "
- 12 tes de agua de $\frac{1}{2}$ "
- 5 niples de $\frac{1}{2}$ "
- 6 union de $\frac{1}{2}$ "

A.2. Para el contenido del vermifiltro

- 240 kg de Piedra Bola de río
- 240 kg de grava 15mm
- 240kg de Grava 8mm
- 50 kg de Aserrín
- 50 kg de Compost
- 8kg de Lombriz Roja Californiana
- Polipropileno

B. Diseño y construcción del Vermifiltro

B.1. Diseño del Vermifiltro

Para los vermifiltros a escala piloto se tuvieron en cuenta ciertos parámetros de diseño tales como: volumen, ancho, largo y profundidad, caudal, tiempo de retención hidráulica. A continuación, se muestran las especificaciones de los reactores.

Tabla 9. Especificación de reactores

Especificación	Reactor
Flujo	Vertical
Forma	Paralelepípedo
Dimensión	Alto: 80cm Largo: 75cm Ancho: 50 cm
Volumen	300 L
Caudal	1005ml/min
	708ml/min
	553ml/min
TRH	4 h 48min
	7 h 3min
	9h 2min
Lombriz	Eisenia Foetida

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En este trabajo el diseño del vermifiltro no presenta variación en los tres reactores.

B.2. Sustratos que contiene el vermifiltro

Los lechos filtrantes que se colocaron en el filtro fueron clasificados de la siguiente manera:

Tabla 10. Dimensiones de cada sustrato que contiene el vermifiltro

Capa	Lecho Filtrante	Altura de cada material
Capa 1	Compost con Lombrices	5 cm
Capa 2	Aserrín	10cm
Capa 3	Grava de 8mm	15 cm
Capa 4	Grava de 15mm	10 cm
Capa 5	Piedra Bola	15 cm
Capa 6	Polipropileno	15 cm

Fuente: Elaboración Propia., 2019.

Cabe mencionar que el polipropileno fue previamente asistido con biopelícula.

- **Trampa de lombrices**

Se colocó malla Rachel en la parte inferior de cada capa con la finalidad de recoger lombrices que son arrastrados por el agua. Aparte de ello esta malla sirve para la separación de cada capa y con ello logramos que no se combinen los sustratos.

B.3. Construcción del Vermifiltro

Para la construcción del vermifiltro, primero se compró un tanque de plástico de 2500 L de capacidad que servirá de alimentador del agua residual domestica mediante el paso por tuberías. Cabe mencionar que a medida que se fue realizando el tratamiento se fue homogenizando el agua residual en el tanque.

Seguidamente se realizó la unión de los tubos de PVC de ½” con las llaves de paso, codos de ½”, tes ½”, para direccionar el afluente hacia el vermifiltro, si bien la unión tubos se colocaron en la parte superior del filtro biológico estos contienen agujeros de 0,5mm de diámetro para que el afluente sea repartido de manera homogénea. Así también se colocó tubos de manera vertical en los vermifiltros con la finalidad de airear el sistema.



Figura 4: Unión de Tuberías para el reparto de agua residual de forma homogénea y por goteo.

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Seguidamente se diseñaron 3 reactores de vidrio a escala laboratorio con las siguientes dimensiones: 80 cm de alto, 0.75m de largo y 0.5m de ancho. Para dar mayor resistencia y evitar la fuga de agua se coloca aluminio y pegamento en los bordes del filtro.

Finalmente se debe de colocar los lechos filtrantes de forma manual según lo establecido en el diseño (tabla 10), Se colocó malla Rachel para la separación de cada capa.



Figura 5: Colocación de lechos filtrantes de forma manual

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Una vez colocado los sustratos en los 3 filtros se inoculan las lombrices previamente adaptadas. Finalmente aspergear el agua residual doméstica al vermifiltro para su tratamiento.



Figura 6: Vermifiltro asistido con bio-película en polipropileno

Fuente: Elaboración propia, 2019

ETAPA 5. Medición de caudal para tratamiento con vermifiltro

a. Medición de Caudal

En la presente investigación se ha utilizado 3 caudales de entrada, para ello hemos realizado tres repeticiones con distintas aperturas de llave de control, se procedió a llenar en una jarra milimetrada durante un minuto. Los valores de prueba datan en la siguiente tabla 11.

Tabla 11. Medición de caudal de entrada en vermifiltro.

CAUDAL (Qw)	MEDICION-REPETICIONES (ml/min)	PROMEDIO DEL CAUDAL (ml/min)
Q1	1007	1005
	1001	
	1007	
Q2	709	708
	707	
	708	
Q3	555	553
	552	
	553	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Nuestros caudales comprenden de la apertura de 90° sexagesimales para obtener un primer caudal de 1005mL/min, luego abrimos la válvula de bola hasta aproximadamente 45° y obtuvimos el segundo caudal 708ml/min y finalmente abrimos 30° y obtuvimos nuestro tercer caudal de 553ml/min. Con estos caudales notamos que no hubo sobresaturación.

ETAPA 5. Toma de muestra inicial

B. Materiales

- Guantes
- Mascarilla
- Toca

- Guardapolvo
- Envase plástico
- Cooler
- Rotulador
- Agua destilada

C. Equipos

- Turbidímetro
- PHmetro
- Conductímetro
- Colorímetro Hach
- Espectrofotómetro
- Oxímetro

D. Punto y toma de muestra inicial

En la presente investigación se recolecto el agua residual domestica durante 1 semana 3 veces al día, con la ayuda de una bomba de medio caballo se extrae el agua contaminada hacia un tanque de 2500L de capacidad donde es almacenado y homogenizado.



Figura 7: Extracción y almacenamiento de agua residual domestica

Fuente: Elaboración propia,2019.

De lo recolectado se toma muestras de agua residual domestica con la finalidad de determinar las concentraciones iniciales de los parámetros fisicoquímicos tales como: DBO5, DQO, pH,

CE, SST, SDT, turbiedad, potencial redox y temperatura. Se usaron recipientes de plástico esterilizados debidamente rotulados.

Los parámetros fueron medidos en el laboratorio de biotecnología de la universidad Cesar Vallejo para ello se realizó el muestreo, transporte y conservación de manera adecuada.



Figura 8: Medición de parámetros físicos

Fuente: Elaboración propia,2019.

Para la medición de parámetros físicos se utilizó los siguientes equipos: pH meter de marca HANNA HI8424 para medición potencial redox; conductímetro marca CRISON Basic 30 para medir conductividad eléctrica y TDS; Turbidímetro marca HANNA LP2000-11 para medir la turbiedad.



Figura 9: Medición de parámetros Químicos

Fuente: Elaboración propia,2019.

Para la medición de parámetros químicos se utilizó los siguientes equipos: pH meter de marca HANNA HI 8424 para medición de pH; Colorímetro portátil de marca HACH DR/890 para medir DQO; Oxímetro de marca HANNA HI 9146 para medir DBO5.

ETAPA 6. Aplicación del tratamiento con Vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno

El tratamiento se realizó con el uso de 3 filtros biológicos (L2, L3 y L4) en los cuales se añadió los sustratos indicados (ver tabla 10), aparte de ello un recipiente contiene agua residual que nos servirá de control (L1) durante el periodo de investigación. En la figura 10 se muestra la representación gráfica de la distribución de vermifiltro a escala laboratorio diseñado en el software AutoCAD 2015.

Para el tratamiento se inoculo distintas cantidades de lombrices rojas californianas (*Eisenia Foetida*) en cada filtro. En el vermifiltro 4 (L4) se inocularon 10000 lombrices/m³, en el vermifiltro 3 (L3) 5000lombrices /m³ en L2 no se colocan lombrices por ello lo llamamos Geofiltro y L1 tampoco tiene lombrices.

Así mismo se trabajó con 3 tiempos de retención Hidráulica se aplica por igual a todos los filtros biológicos, los TRH aplicados son de 4h58min, 7h 3min y 9h 2min. También se trabajó con el factor caudal, se aplicaron los siguientes: 1005ml/min, 708ml/min y 553ml/min de la misma manera a todos los filtros.

Cabe mencionar que, por cada Caudal, TRH y distintas cantidades de lombrices rojas californianas se realizaron 3 repeticiones. En la tabla 12 se muestra de manera más simplificada el tratamiento en que influyen ciertas condiciones de operación.

Tabla 12. Condiciones de operación aplicados en el tratamiento de aguas residuales domésticas con vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno.

Código	Condiciones de operación		TRATAMIENTO			
			L1 (Control)	L2 (Geofiltro)	L3 (Vermifiltro)	L4 (Vermifiltro)
A	Cantidad de lombrices		0	0	5000 lombrices/m3	10000 lombrices/m3
B	TRH	TRH 1	4.96h	4.96h	4.96h	4.96h
		TRH 2	7.07h	7.07h	7.07h	7.07h
		TRH 3	9.04h	9.04h	9.04h	9.04h
C	Q _w	Q1	1005ml/min	1005ml/min	1005ml/min	1005ml/min
		Q2	708ml/min	708ml/min	708ml/min	708ml/min
		Q3	553ml/min	553ml/min	553ml/min	553ml/min

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

En la presente investigación como se detalla en la Tabla 12, especifica 3 Tiempos de retención hidráulica de los cuales a cada TRH se dividió en 4 pasado el tiempo se extrae las muestras de agua tratada para su posterior análisis en el laboratorio de biotecnología de la universidad Cesar Vallejo.

Otro factor que resaltar en nuestro trabajo de investigación es que los filtros tienen diferentes pitch como se muestra en la tabla 13

Tabla 13. Factor Spitch en el tratamiento de aguas residuales con vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno.

Código	Factor de operación	TRATAMIENTO			
		L1 (Control)	L2 (Geofiltro)	L3 (Vermifiltro)	L4 (Vermifiltro)
D	SPITCH	----	----	Caño superior	Caño superior
			Caño medio	Caño medio	Caño medio
			Caño inferior	Caño inferior	Caño inferior

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Los spitch son los caños que se han ubicado en los filtros a distintas capas, los cuales requerimos para poder realizar balance de masa.

Donde el:

- **Caño Superior:** Se ubicó debajo de la capa de aserrín, compost + Lombrices rojas californianas.
- **Caño Medio:** Se ubico en la parte inferior de la capa piedras bolones + grava
- **Caño inferior:** Se ubico en la parte inferior del polipropileno asistido con biopelícula.

Cabe resaltar que en cada caño se extrae la muestra tratada para su posterior análisis.

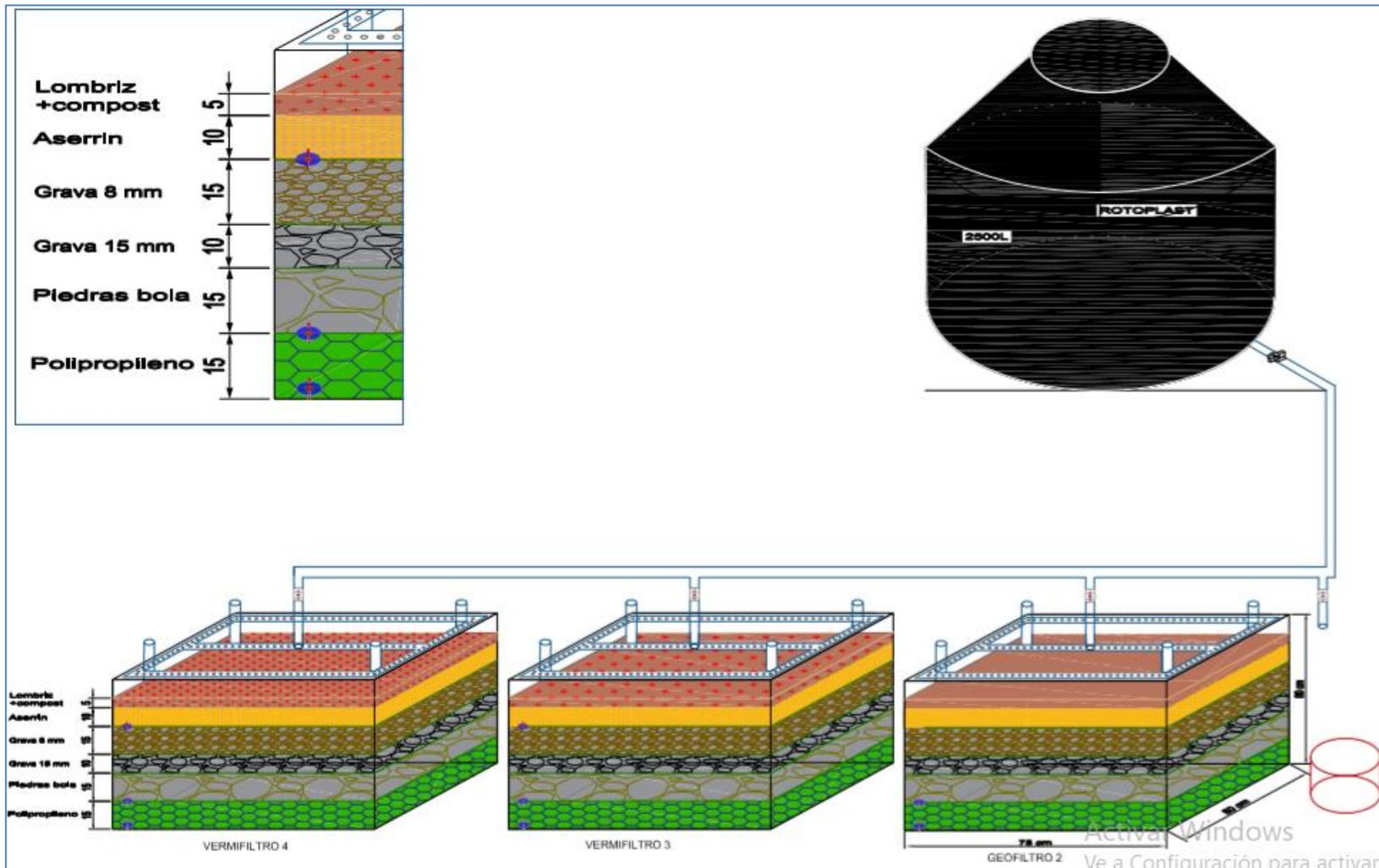


Figura 10. Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el uso de vermifiltro asistido con bio-película en polipropileno

Fuente: Elaboración Propio, 2019.

ETAPA 7. Análisis de la muestra Final

Las muestras obtenidas después del tratamiento con Vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno se trasladaron al laboratorio de biotecnología de la Universidad Cesar Vallejo donde realizamos el análisis correspondiente de cada parámetro fisicoquímicos: DBO₅, DQO, pH, CE, SST, SDT, turbiedad, potencial redox y temperatura.

A. Análisis de Parámetros Físicos

Se realizaron análisis de los parámetros físicos a las muestras de agua tratada con vermifiltro, basándonos en los métodos normalizados para aguas residuales según APHA-AWWA-WPCF (1992).

Para el análisis correspondiente a potencial redox y temperatura se emplea el equipo pH meter de marca HANNA HI8424, para la medición de conductividad eléctrica y TDS se utilizó conductímetro marca CRISON Basic 30; mientras que el Turbidímetro marca HANNA LP2000-11 se usó para medir la turbiedad. Para la medición de SST se utilizó filtro de vidrio de 1 micra con 47mm, bomba de vacío, estufa a 105°C y balanza analítica.



Figura 11. Medición de Solidos suspendidos totales por el método 2540D.

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la Tabla 14 se detalla el método empleado para cada parámetro de interés en la presente investigación.

Tabla 14. Método empleado para el análisis de los parámetros físicos.

PARÁMETROS FÍSICOS	UNIDADES	MÉTODO APHA-AWWA-WPCF
Conductividad	μS/cm	2510B. Método de laboratorio
Turbiedad	UNT	2130 B. Método nefelométrico
Temperatura	°C	2550B. Método de laboratorio
Potencial redox	mv	Método de Laboratorio
Solidos disueltos totales	mg/L	2540C. Método de laboratorio
Solidos suspendidos totales.	mg/L	2540 D. Método solidos totales en suspensión secados a 103-105°C.

Fuente: Elaboración propia,2019.

B. Análisis de Parámetros químicos

Las muestras obtenidas después del tratamiento con vermifiltro se trasladó al laboratorio de biotecnología de la universidad Cesar Vallejo. Para los respectivos análisis de parámetros químicos nos hemos basado en la metodología APHA.AWWA-WPCF (1992).

Tabla 15. Método empleado para análisis de parámetros químicos.

PARÁMETROS FÍSICOS	UNIDADES	MÉTODO APHA-AWWA-WPCF
DQO	mg/L	5020 D. Reflujo cerrado, método colorimétrico.
DBO5	mg/L	5010 B. Prueba ROB de5 días.
pH	unidad de pH	Método de laboratorio

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para medir el DQO se realizó la preparación de reactivos según lo indicado en 5020 D reflujo cerrado método colorimétrico, se prepararon los viales en el que se añade 1.5 ml del reactivo de digestión, 3.5ml de H₂SO₄ y 2.5ml de muestra de agua tratada, se agitó y digesto durante 2 horas, se dejó enfriar a temperatura ambiente y finalmente para la lectura se utilizó el colorímetro HACH DR/890. A continuación, muestran imágenes que prueban lo realizado.



Figura 12. Análisis de DQO, método colorimétrico, reflujo cerrado

Fuente: Elaboración propia,2019

Para el análisis del DBO₅ nos basamos en el método 5010 B. Prueba ROB de 5 días, para ello .se realizó la preparación de las soluciones de tampón fosfatos, sulfato de magnesio, cloruro de calcio y cloruro férrico, de cada solución se añadió 1ml/L de agua destilada, se agito, se añadió en el winkler una porción de muestra de agua tratada y se completó con el agua de dilución, esto se realizó por duplicado. Con el oxímetro marca HANNA HI 9146 SE midió el OD_i de la muestra y el OD_f se lee después de 5 días de incubación a 20°C.



Figura 13. Análisis de DBO5, método 5010 B. Prueba ROB de 5 días.

Fuente: Elaboración propia, 2019

Según indica la tabla 16 para medir de pH se utilizó el método de laboratorio, para ello usamos el pH meter de marca HANNA HI 8424, el análisis se realizó en el laboratorio de biotecnología.

ETAPA 8. Comparación de los resultados

Se realiza con la finalidad de ver la eficiencia del tratamiento con vermifiltro añadiendo polipropileno.

2.4.1. Validez y confiabilidad del instrumento

a. Validez del instrumento

Se realiza mediante la recolección de información acerca de los equipos a utilizar en el análisis de parámetros de nuestra investigación.

Tabla 16. Validez de instrumentos.

PARÁMETRO	Unidad	Equipo	DEFINICIÓN	Método
FISICOS				
Conductividad eléctrica	μS/cm	Conductímetro marca CRISON Basic 30	Mide típicamente la conductividad en soluciones acuosas de electrolitos, si bien estos son sustancias que contienen iones, los cuales son responsables de transportar la corriente eléctrica. Sus unidades de medida son representadas en μS/cm (APHA-AWWA-WPCF,1994), (Tomar y Suthar, 2011).	2510B. Método de laboratorio
Turbiedad	UNT	Turbidímetro marca HANNA LP2000-11	Es un instrumento que utiliza el método nefelométrico para medir la turbidez, tiene calibración automática (APHA-AWWA-WPCF,1994).	2130 B. Método nefelométrico
Temperatura	°C	pH meter de marca HANNA HI8424	Este equipo mide la temperatura en unidades de grados celcius (°C) (Severiche, Castillo y Acevedo, 2013)	2550B. Método de laboratorio
Potencial Redox	mv	pH meter de marca HANNA HI8424	Este equipo mide la energía química de reducción y oxidación por medio del electrodo (Albarrán, 2008), (Rios, Macias y Zirino, 2003).	Método de Laboratorio
Solidos disueltos totales	mg/L	Turbidímetro marca HANNA LP2000-11	Es un instrumento que se utiliza para la determinación de los sólidos disueltos en soluciones acuosas en	Método de laboratorio

			unidad de mg/l (Kholisa, Fester Y Haldenwang, 2018), (Gargallo, Solimeno y Martín, 2018)	
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	Estufa Digital marca.	Permite el secado y también se usa para la esterilización de recipientes. En la investigación se utilizó para secar la fibra de vidrio hidratado y fibra de vidrio con residuos. (APHA-AWWA-WPCF,1994).	2540 D. Método solidos totales en suspensión secados a 103-105°C.
		Balanza Analítica marca KEYI	Este equipo permite medir el peso en g de ciertos materiales. En la investigación se usa para pesar la fibra de vidrio, luna de reloj, fibra de vidrio con residuo, etc. Necesario para obtener resultados de SST reemplazando formula dado por el método 2540D.	
QUIMICOS				
DBO5	mg/L	Oxímetro marca HANNA HI 9146	Este equipo mide el oxígeno disuelto y temperatura en muestras acuosas. Los resultados obtenidos son requeridos para convertirlas a DBO5 en mg/L utilizando formula especifica (APHA-AWWA-WPCF,1994).	5020 D. Reflujo cerrado, método colorimétrico.
DQO	mg/L	Colorímetro portátil de marca HACH DR/890	Este equipo contiene métodos preprogramados que mide la cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica por un oxidante químico. La lectura se da en absorbancia y en mg/L (APHA-AWWA-WPCF,1994).	5010 B. Prueba ROB de5 días.
pH	unidad de pH	pH meter de marca HANNA HI8424	Es un instrumento que sirve para realizar mediciones de pH a temperatura compensada y potencialmente electroquímico de soluciones acuosas, lo cual nos permitirá adquirir información de acidez o alcalinidad del influente y efluente (Melendrez, Perez y Barradas, 2015)., (Samal, Dash y Bhunia, 2018), (APHA-AWWA-WPCF,1994).	Método de laboratorio

Fuente: Elaboración propia, 2019.

b. Confiabilidad del instrumento

Se evaluará mediante la certificación de los equipos utilizados, lo cual será otorgado por un laboratorio que cuente con la certificación de que los equipos utilizados se encuentran en adecuadas condiciones es decir debidamente calibradas con la finalidad que no exista ningún error en el análisis de los parámetros.

2.5. Métodos de análisis de datos

En la presente investigación se utilizará el Software SPSS Statistic v.22 para presentar los resultados obtenidos de los tratamientos con vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno, para ello se realizará lo siguiente:

- Prueba de homocedasticidad (Levine)
- Normalidad (Kolmogorov-Smirnow)
- ANOVA de dos factores
- ANOVA de tres factores

Así también usaremos Microsoft Excel 2015 con el fin de procesar los resultados obtenidos y realizar gráficos estadísticos de comparaciones sobre la eficiencia en la reducción de carga orgánica y material particulado luego de experimentación con vermifiltro.

2.6. Aspectos éticos

La presente investigación se realizó con fines académicos, garantizando resultados y datos confiables. Así también, la información de la investigación es auténtica y veraz en todo su contenido, en el cual los resultados están respaldados por un laboratorio certificado, además se tiene en consideración intelectual a los autores que aportaron en nuestra investigación los cuales fueron debidamente citados.

III. RESULTADOS

3.1. Resultados del influente de agua residual

Tabla 17. Resultado de los parámetros del influente

Influente									
AGUA RESIDUAL DOMESTICA	PH	CE(us/cm)	T°	PRx(mV)	TDS	Turbidez(NTU)	SST	DQO	DBO5
Influente	6.81	2780	20.7	7.1	1863	189.00	138	521	232.60

Fuente: Reporte de análisis del laboratorio biotecnología-UCV, 2019

3.2. Resultados de los parámetros analizados inicialmente del influente, Q1 y TRH1

En la tabla se detalla los resultados de los parámetros tales como: Solidos disueltos totales, solidos suspendidos totales, DQO y DBO5 que se obtuvieron en el laboratorio de biotecnología en la universidad Cesar Vallejo.

Tabla 18. Resultado de los parámetros del influente en el TRH1, Q1(CONTROL)

Q1	TRH	Reactor	TDS (mg/l)	SST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
1005 ml/min	4.96	Control (ARD)	1518	118	504	226.82

Fuente: Reporte de análisis del laboratorio biotecnología-UCV, 2019

3.3. Resultados de las muestras posterior al tratamiento con vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno.

3.3.1. Remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales mediante las lombrices en Q1, TRH1.

Para medir la eficiencia de remoción del tratamiento ejercida por las lombrices en el Vermifiltro 4 y Vermifiltro 3 se utilizó la siguiente formula.

$$I - CS = \text{REMOCIÓN DE LA LOMBRIZ}$$

Dónde: CI, es el caño inferior y I, es el Influyente que es nuestro control.

Tabla 19. Resultado de remoción de las lombrices en el Vermifiltro 4 y3 en el Q1, TRH1

QW	TRH	REACTORES	Remoción			
			TDS(mg/l)	SST(mg/l)	DQO(mg/l)	DBO5(mg/l)
Q1	4.96h	Vermifiltro4	581	71	275	138.82
		Vermifiltro3	567	65	266	116.22

Fuente: Elaboración propia, 2019.

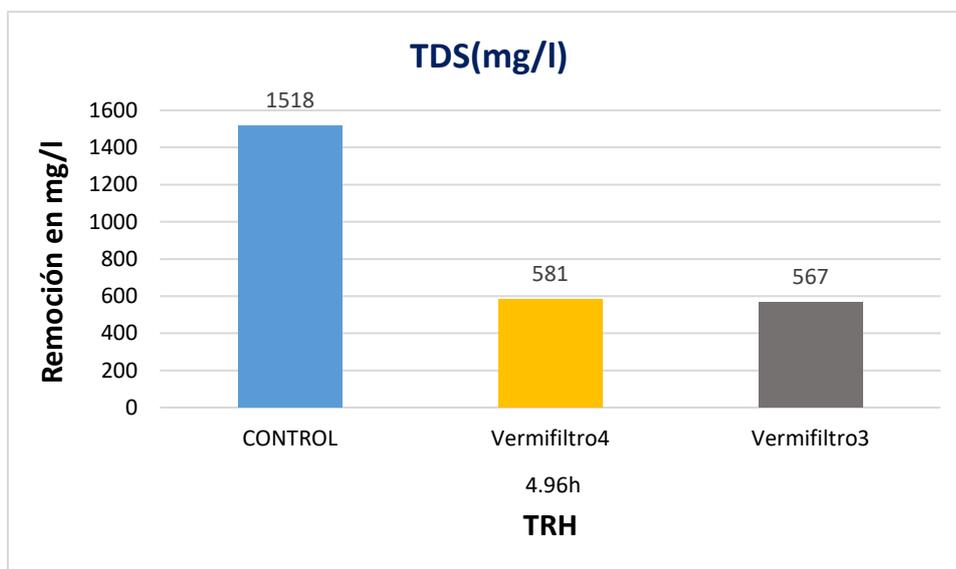


Gráfico 1. Resultado de remoción de solidos disueltos totales (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 1 se aprecia mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 581mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 4.96h y caudal de 1005ml/min. Respecto al control de 1518mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 937mg/l de TDS.

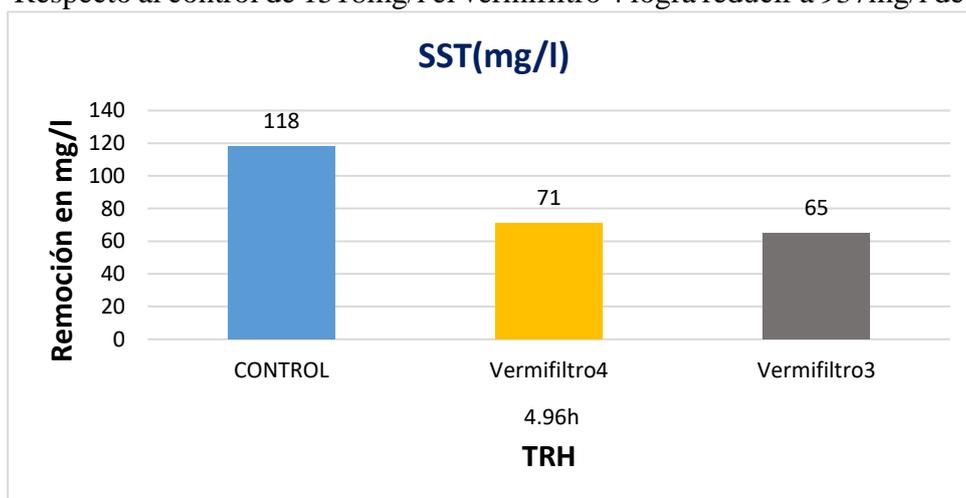


Gráfico 2. Resultado de remoción de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 2 se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 71mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 4.96h y caudal de 1005ml/min. Respecto al control de 118mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 47 mg/l de SST.

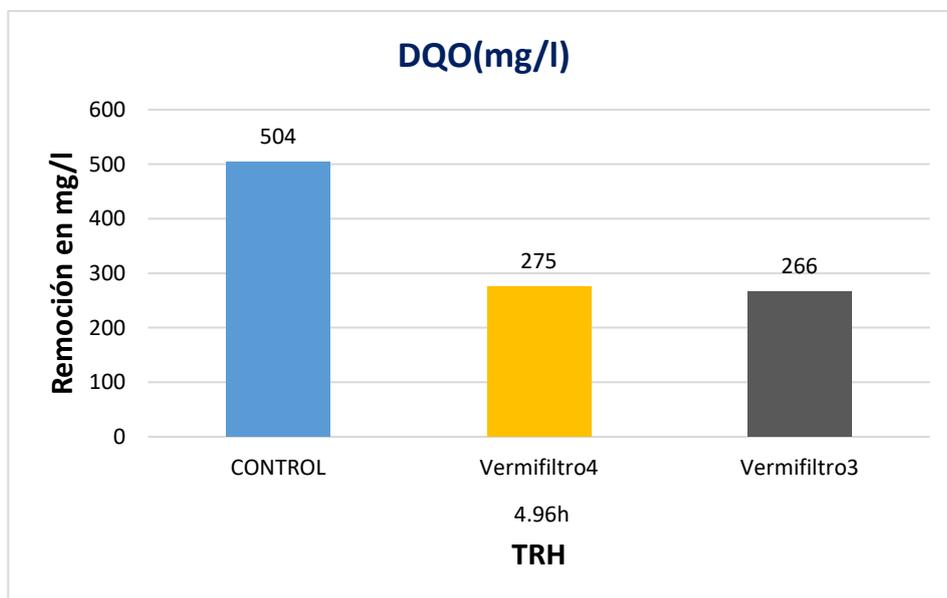


Gráfico 3. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 3 se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 275mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 4.96h y caudal de 1005ml/min. Respecto al control de 504mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 229 mg/l de DQO.

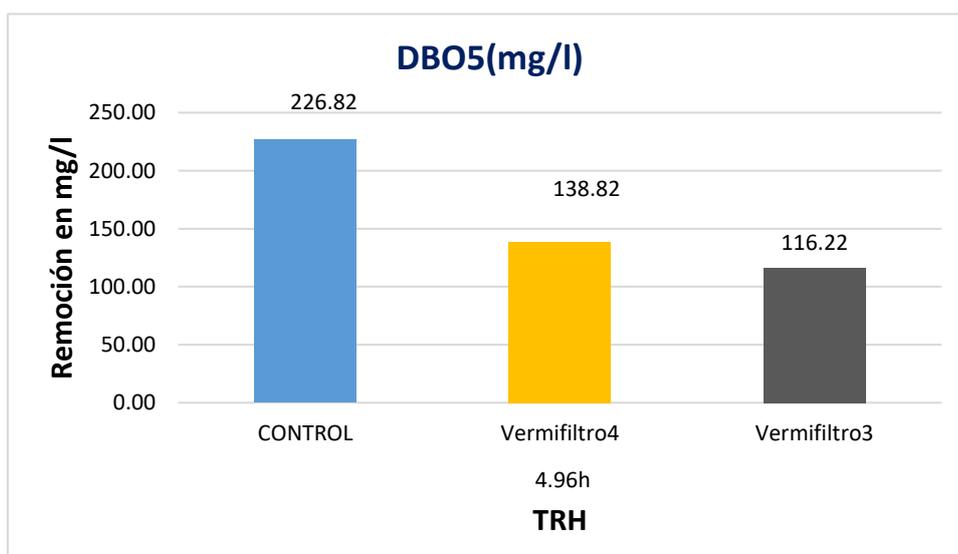


Gráfico 4. Resultado de remoción de DBO₅ (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 4 se muestra mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 138.82mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 4.96h y caudal de 1005ml/min. Respecto al control de 226.82mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 88 mg/l de DBO₅.

3.3.2. Remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales mediante la biopelícula asistido en polipropileno en Q1, TRH1.

Para medir la eficiencia de remoción del tratamiento ejercida por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4, Vermifiltro 3 y Geofiltro 2 se utilizó la siguiente formula.

$$CM - CI = \text{REMOCIÓN DE BIOPELICULA}$$

Donde: CM, es el caño medio y CI, es el caño inferior.

Tabla 20. Resultado de remoción de la biopelícula asistido en polipropileno del vermifiltro 4, 3 y Geofiltro2 en el Q1, TRH1.

Q1	TRH1	Reactores	REMOCIÓN			
			TDS (mg/l)	SST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
1005 ml/min	4.96	Geofiltro 2	19	7	26	23.55
		Vermifiltro 3	23	13	25	22.78
		Vermifiltro 4	17	9	24	21.85

Fuente: Elaboración Propia,2019

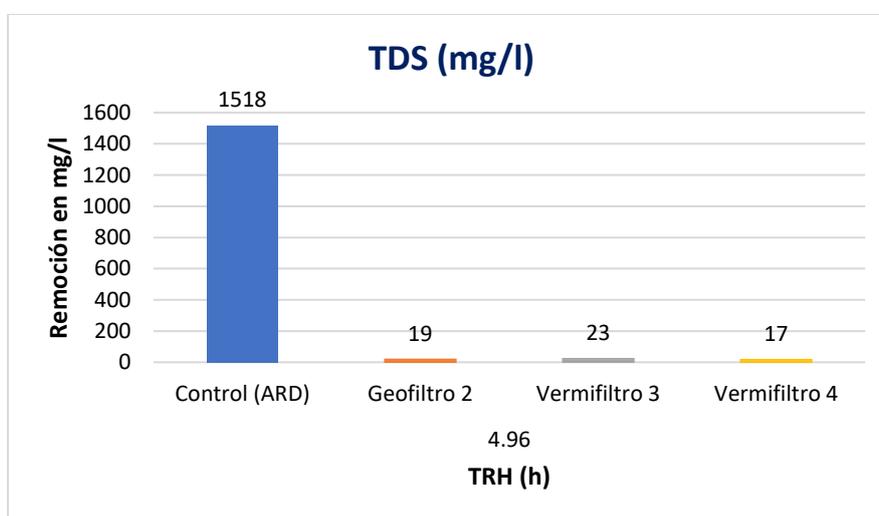


Gráfico 5. Resultado de remoción de solidos disueltos totales (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el grafico 5 se aprecia mayor remoción en el vermifiltro3 el cual removió 23mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 4.96h y caudal de 1005ml/min.

Respecto al control de 1518mg/l la biopelícula logra reducir a 1495mg/l de TDS en el vermifiltro 3.

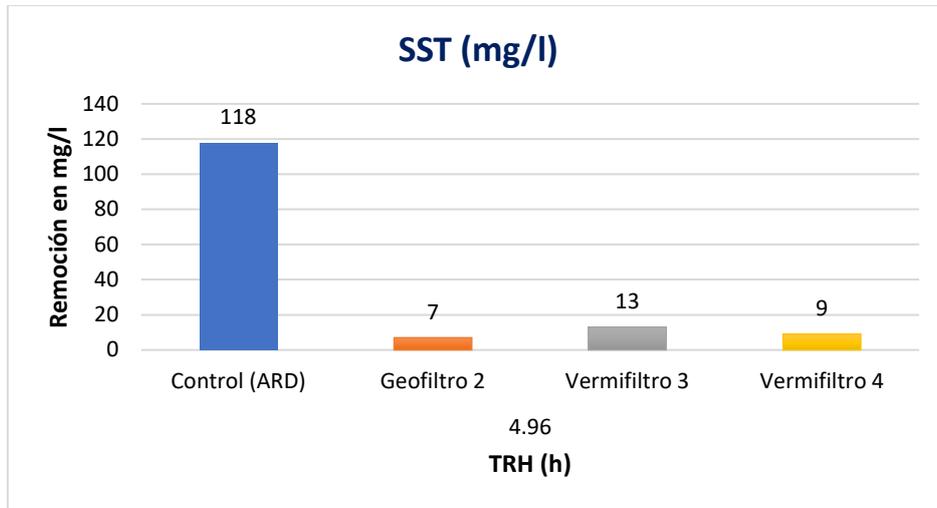


Gráfico 6. Resultado de remoción de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el grafico 6 se observa mayor remoción en el vermifiltro3 el cual removió 13mg/l de SST en un tiempo de retención hidráulica de 4.96h y caudal de 1005ml/min. Respecto al control la biopelícula logra reducir de 118mg/l a 105 mg/l de solidos suspendidos totales en el vermifiltro 3.

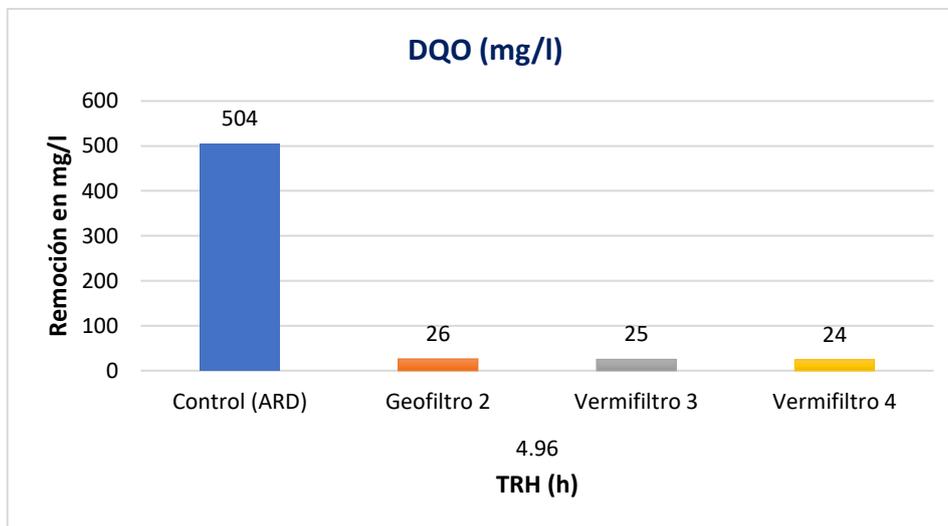


Gráfico 7. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el grafico 7 se muestra mayor remoción en el geofiltro 2, sin embargo, el vermifiltro 3 y 4 presentan remociones similares. Con el geofiltro2 se removió 26mg/l de DQO en un TRH de 4.96h y caudal de 1005ml/min.

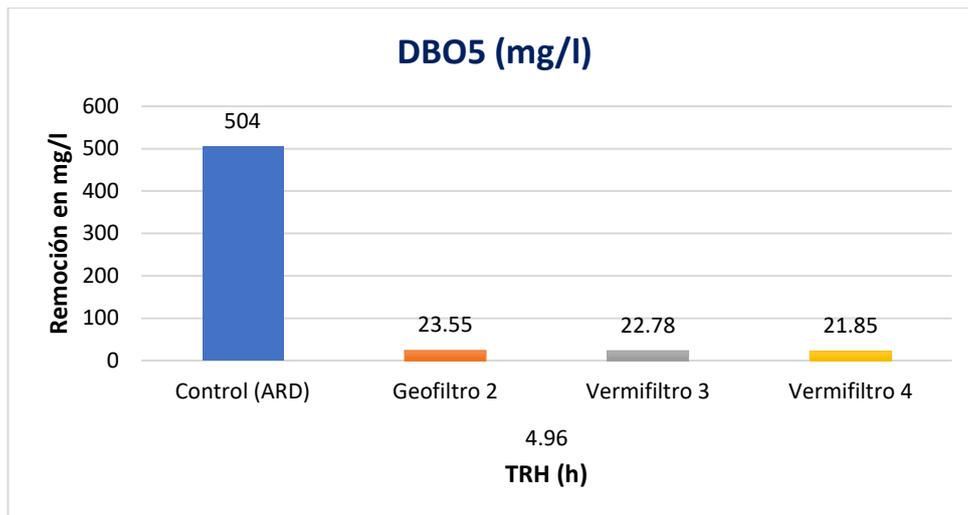


Gráfico 8. Resultado de remoción de DBO₅ (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el grafico 8 se obtuvo mayor remoción en el geofiltro2 el cual removió 23.55mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 4.96h y caudal de 1005ml/min.

3.3.3. Remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales por las bacterias en Q1, TRH1.

Para medir la eficiencia de remoción del tratamiento ejercida por las bacterias en el Vermifiltro 4, Vermifiltro 3 y geofiltro 2 se utilizó la siguiente formula.

$$CS - CI = REMOCIÓN DE BACTERIAS$$

Donde: CS, es el caño superior y CI, es el caño inferior.

Tabla 21. Resultado de remoción de las bacterias del vermifiltro 4 y 3 en el Q1, TRH1.

Q1	TRH1	Reactores	REMOCIÓN			
			TDS (mg/l)	SST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
1005 ml/min	4.96	Vermifiltro 3	66	26	203	94.83
		Vermifiltro 4	66	8	195	73.55

Fuente: Elaboración Propia,2019.

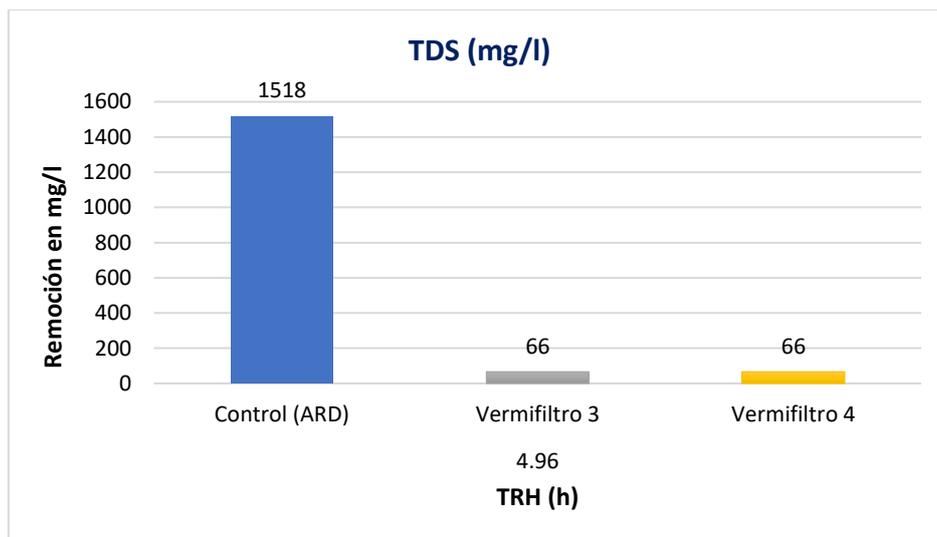


Gráfico 9. Resultado de remoción de solidos disueltos totales (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el grafico 9 se obtuvo una remoción de 66 mg/l de TDS en los vermifiltro 3 y 4 en un tiempo de retención hidráulica de 4.96h y caudal de 1005ml/min. Respecto al control de 1518mg/l las bacterias logran reducir a 1452mg/l de TDS en el vermifiltro 3.

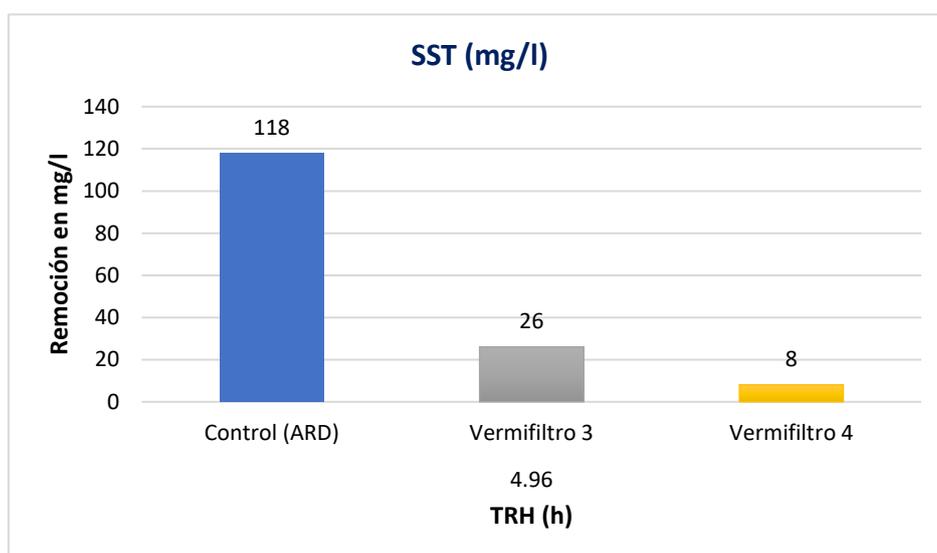


Gráfico 10. Resultado de remoción de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el grafico 10 se observa mayor remoción en el vermifiltro3 el cual removió 26 mg/l de SST en un tiempo de retención hidráulica de 4.96h y caudal de 1005ml/min. Respecto al control las bacterias logran reducir de 118mg/l a 92 mg/l de solidos suspendidos totales en el vermifiltro 3.

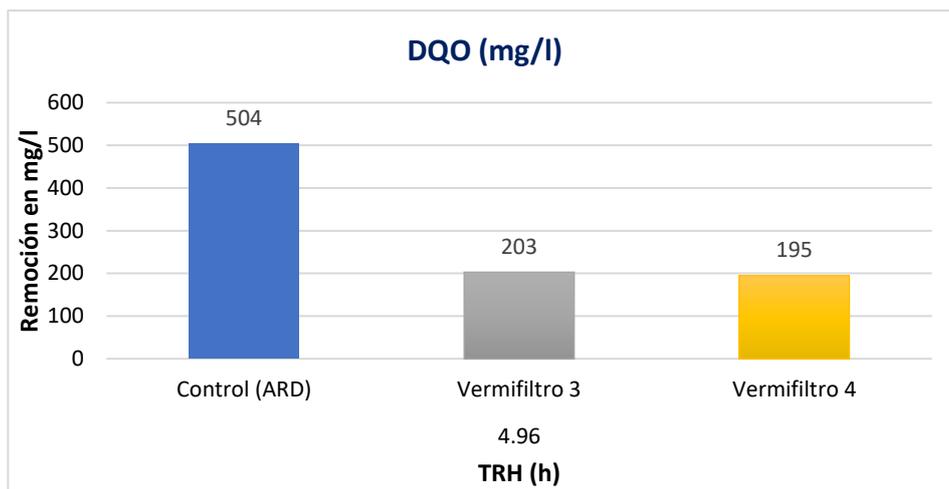


Gráfico 11. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 11 se muestra la remoción de DQO ejercido por las bacterias asistido en polipropileno, se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro3 logrando remover 203mg/l de DQO en un TRH de 4.96h y caudal de 1005ml/min.

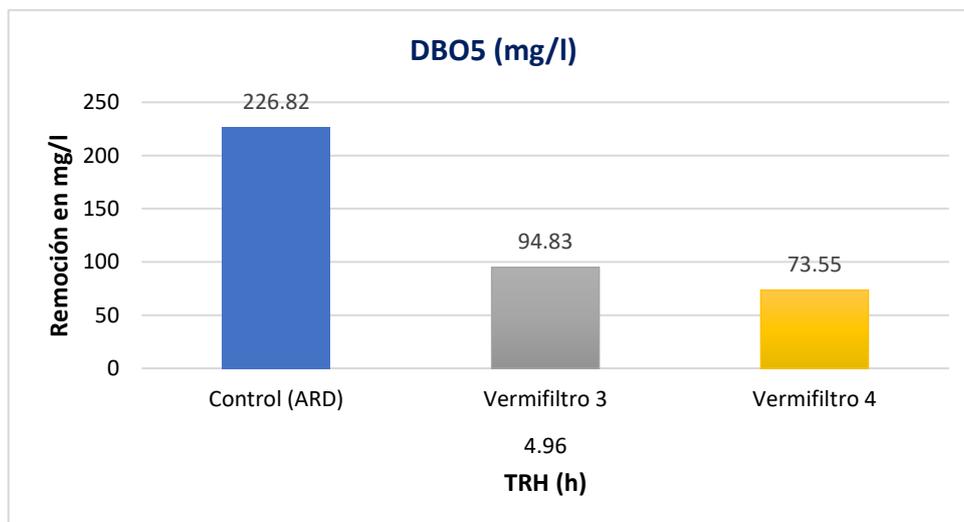


Gráfico 12. Resultado de remoción de DBO₅ (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 12 se aprecia mayor eficiencia en el vermifiltro3 el cual removió 94.83 mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 4.96h y caudal de 1005ml/min. Respecto al control de 226.82mg/l las bacterias logran reducir a 131.99mg/l de DBO₅ en el vermifiltro3.

3.3.4. Remoción total de carga orgánica y material particulado en aguas residuales mediante el sistema total de vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2 en Q1, TRH1.

Para medir la eficiencia de remoción total del tratamiento por el Vermifiltro 4, Vermifiltro 3 y Geofiltro 2 se utilizó la siguiente fórmula.

$$I - CI = \text{REMOCIÓN TOTAL DEL VERMIFILTRO}$$

Dónde: CI, es el caño inferior y I, es el Influyente que es nuestro control.

Tabla 22. Resultado de remoción total del Vermifiltro 4,3 y Geofiltro 2 en el Q1, TRH1

QW	TRH	REACTORES	Remoción			
			TDS(mg/l)	SST(mg/l)	DQO(mg/l)	DBO5(mg/l)
Q1	4.96h	Vermifiltro4	647	79	470	212.37
		Vermifiltro3	633	92	469	211.04
		Geofiltro2	499	91	461	206.62

Fuente: Elaboración propia, 2019.

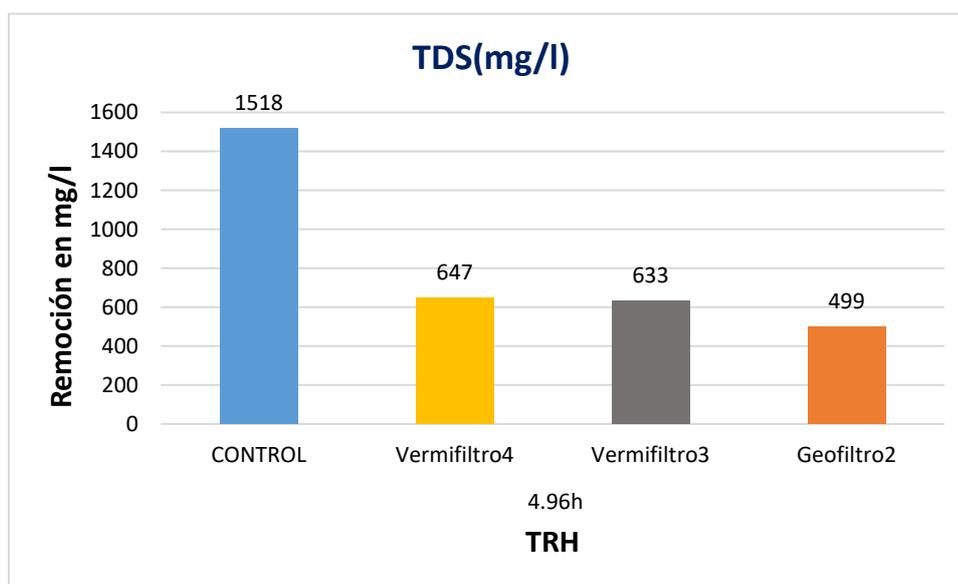


Gráfico 13. Resultado de remoción total de sólidos disueltos totales (mg/l) del Vermifiltro 4,3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 13 se muestra mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 647mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 4.96h y caudal de 1005ml/min. Respecto al control de 1518mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 871mg/l de TDS.

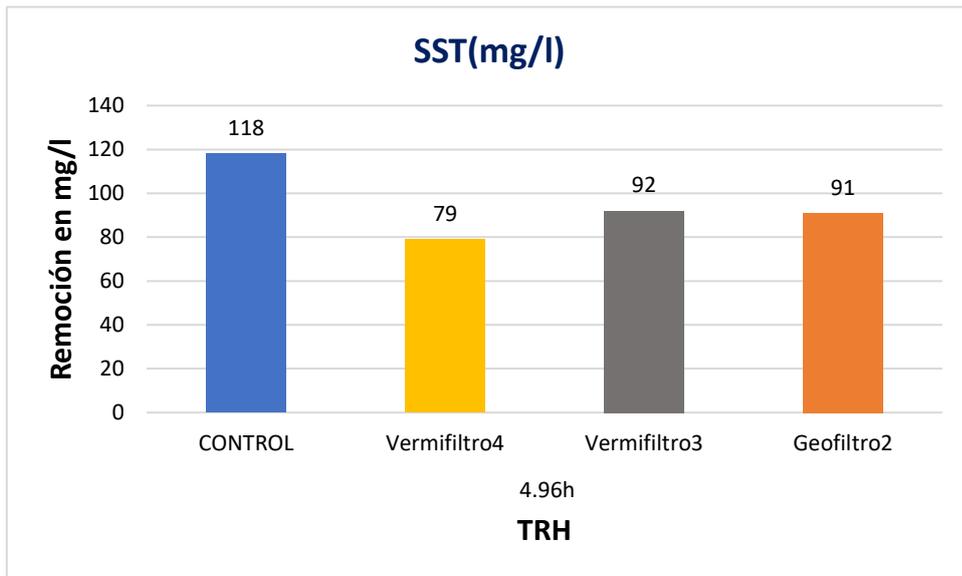


Gráfico 14. Resultado de remoción total de solidos suspendidos totales (mg/l) de los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 14 se aprecia mayor remoción en el vermifiltro 3 el cual removió 92mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 4.96h y caudal de 1005ml/min. Respecto al control de 118mg/l el vermifiltro 3 logra reducir a 26 mg/l de SST.

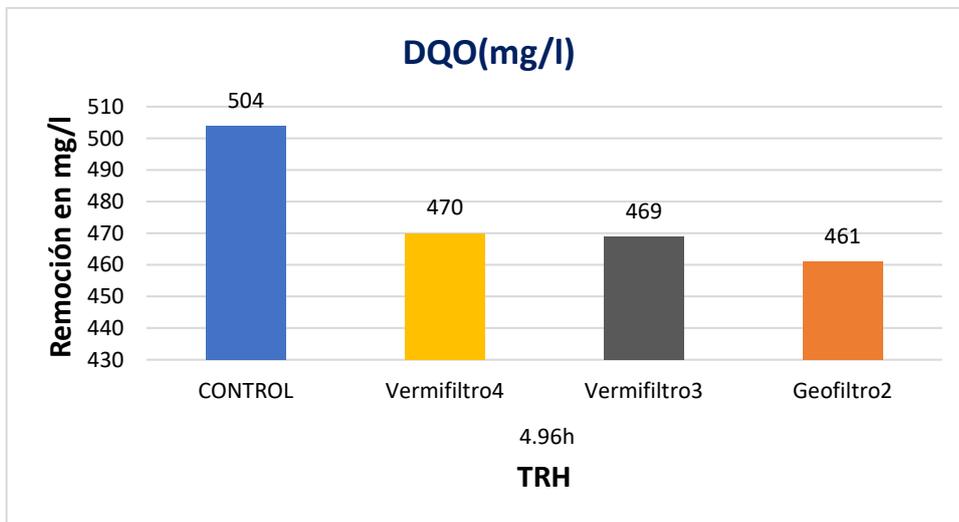


Gráfico 15. Resultado de remoción total de DQO (mg/l) de los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 15 se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 470mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 4.96h y caudal de 1005ml/min. Respecto al control de 504mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 34 mg/l de DQO.

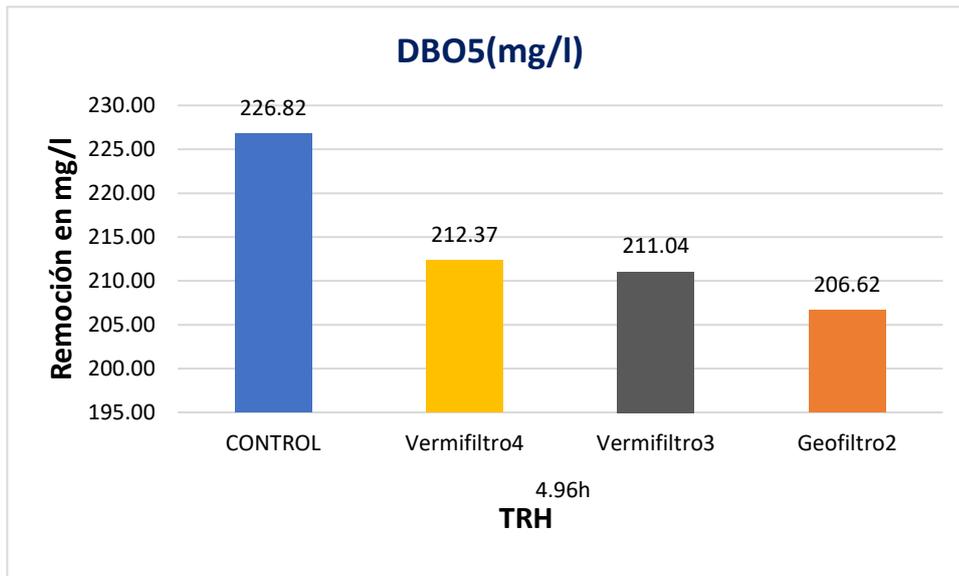


Gráfico 16. Resultado de remoción total de DBO₅ (mg/l) ejercido por los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 16 se aprecia mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 212.37mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 4.96h y caudal de 1005ml/min. Respecto al control de 226.82mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 14.45 mg/l de DBO₅.

3.4. Resultados de los parámetros analizados inicialmente del influente, Q2 y TRH2

En la tabla 22 se detalla los resultados de los parámetros tales como: Sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, DQO y DBO₅ que se obtuvieron en el laboratorio de biotecnología en la universidad Cesar Vallejo.

Tabla 23. Resultado de los parámetros del influente en el TRH2, Q2

Q2	TRH2	Reactor	TDS (mg/l)	SST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
708 ml/min	7.07	Control (ARD)	1849	107	496	193.00

Fuente: Reporte de análisis del laboratorio biotecnología-UCV, 2019

3.5. Resultados de las muestras posterior al tratamiento con vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno.

3.5.1. Remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales mediante las lombrices en Q2, TRH2.

Tabla 24. Resultado de remoción de las lombrices en el Vermifiltro 4 y3 en el Q2, TRH2

QW	TRH	REACTORES	REMOCIÓN			
			TDS(mg/l)	SST(mg/l)	DQO(mg/l)	DBO5(mg/l)
Q2	7.07h	Vermifiltro4	979	65	293	121
		Vermifiltro3	948	48	285	91.5

Fuente: Elaboración propia, 2019.

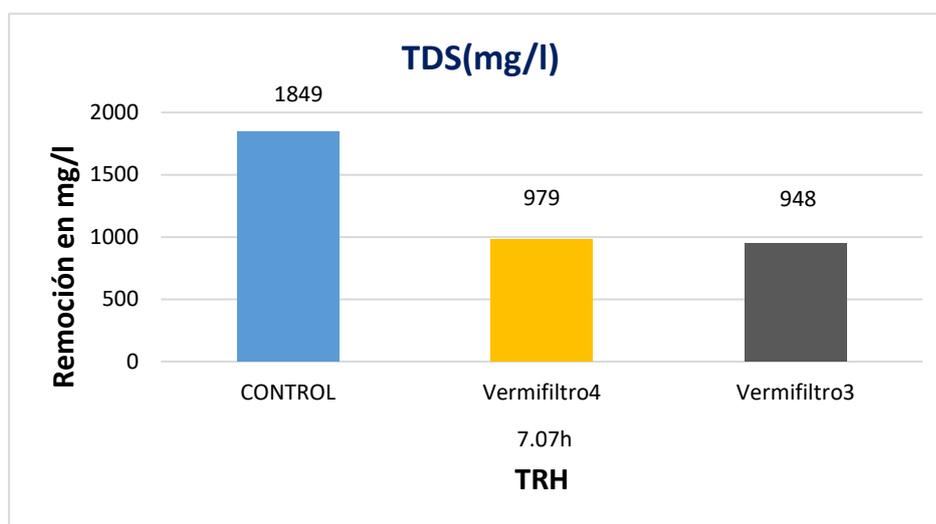


Gráfico 17. Resultado de remoción de solidos disueltos totales (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 17 se aprecia mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 979mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min. Respecto al control de 1849mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 870mg/l de TDS.

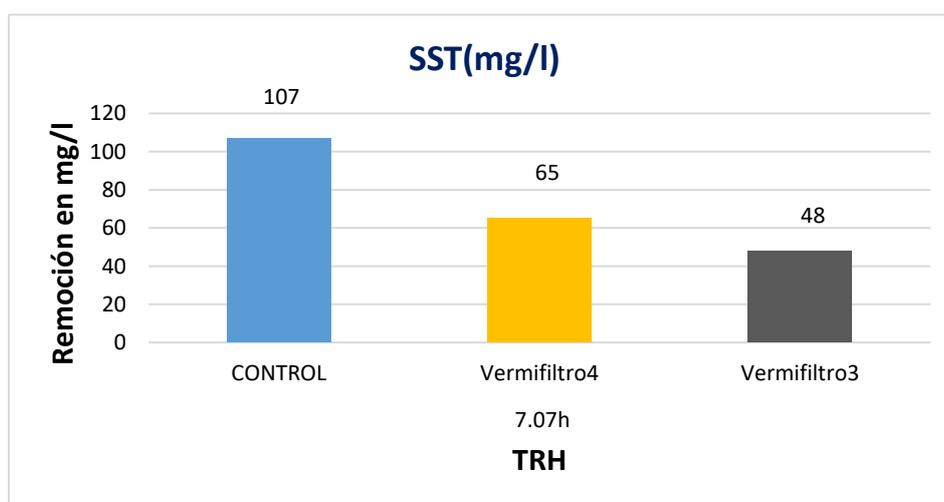


Gráfico 18. Resultado de remoción de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 18 se observa mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 65mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min. Respecto al control de 107mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 42 mg/l de SST.

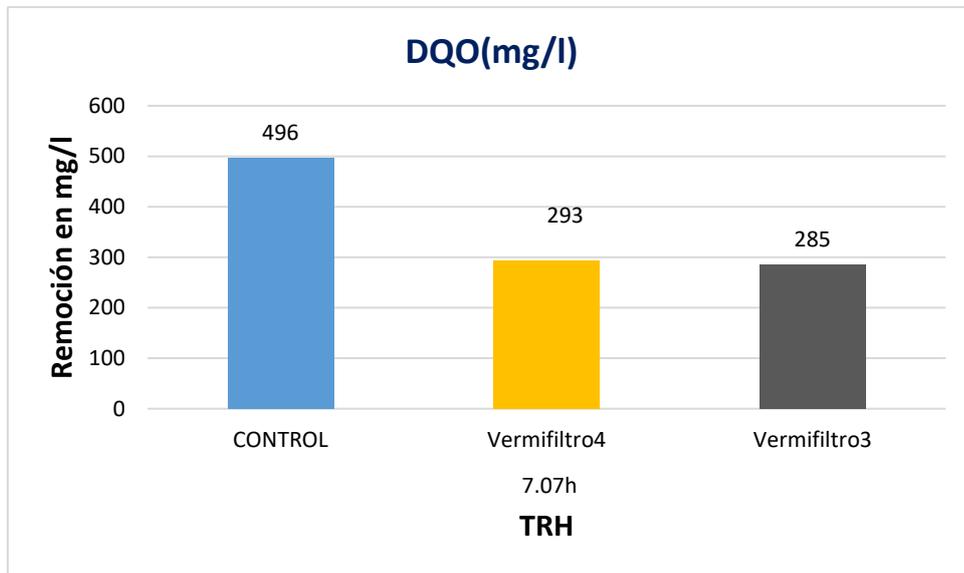


Gráfico 19. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 19 se observa mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 293mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min. Respecto al control de 496mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 203 mg/l de DQO.

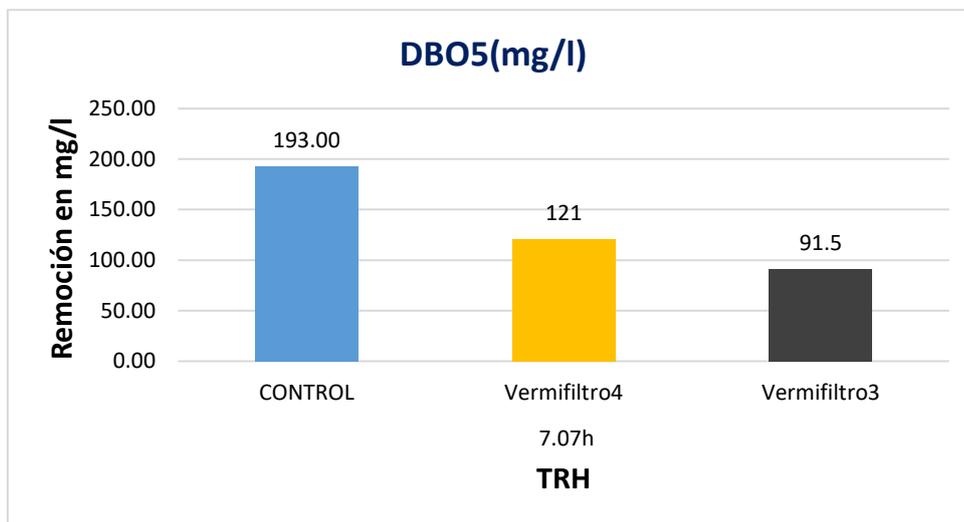


Gráfico 20. Resultado de remoción de DBO₅ (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 20 se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 121mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min. Respecto al control de 193mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 72 mg/l de DBO₅.

3.5.2. Remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales mediante la biopelícula asistido en polipropileno en Q2, TRH2.

Tabla 25. Resultado de remoción de la biopelícula asistido en polipropileno del vermifiltro 4, 3 y Geofiltro2 en el Q2, TRH2.

Q2	TRH2	Reactores	REMOCIÓN			
			TDS (mg/l)	SST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
708 ml/min	7.07	Geofiltro 2	25	13	24	21.80
		Vermifiltro 3	28	12	36	24.55
		Vermifiltro 4	20	6	34	22.40

Fuente: Elaboración Propia,2019

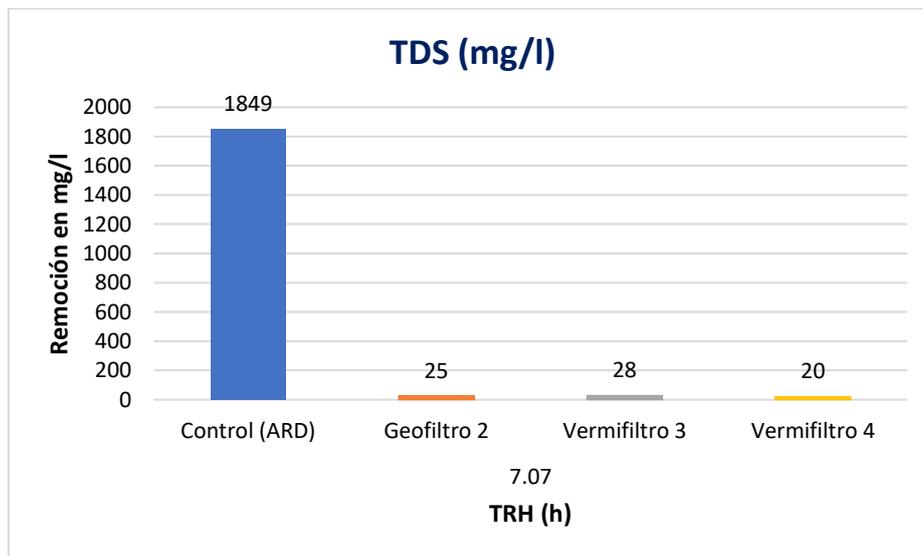


Gráfico 21. Resultado de remoción de solidos disueltos totales (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.

Fuente: Elaboración Propia,2019

En el grafico 21 se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro3 el cual removió 28mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min. Respecto al control de 1849mg/l la biopelícula logra reducir a 1821mg/l de TDS en el vermifiltro 3.

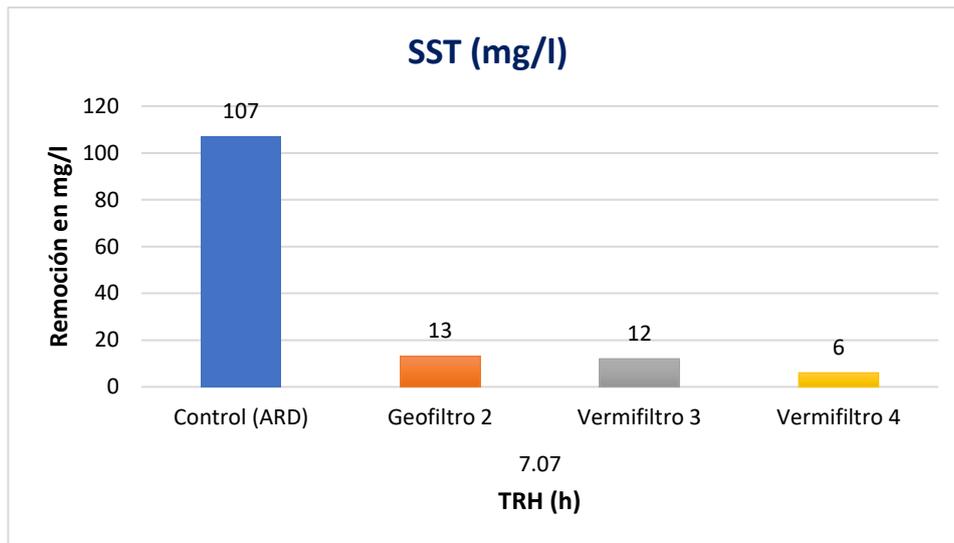


Gráfico 22. Resultado de remoción de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.

Fuente: Elaboración Propia,2019

En el grafico 22 se observa mayor remoción en el geofiltro 2 el cual removió 13mg/l de SST en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min. Respecto al control la biopelícula logra reducir de 107mg/l a 94 mg/l de solidos suspendidos totales en el geofiltro2.

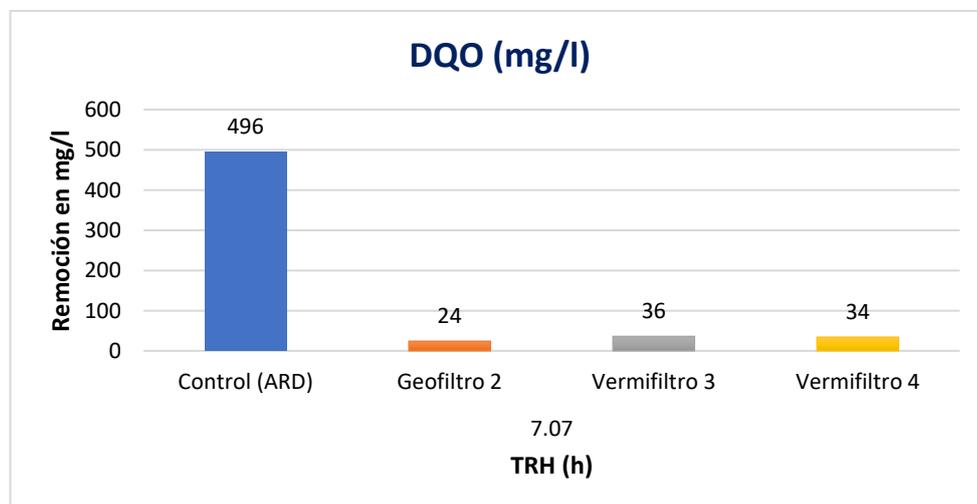


Gráfico 23. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2

Fuente: Elaboración Propia,2019

En el grafico 23 se muestra mayor remoción en el vermifiltro 3. Se removió 36mg/l de DQO en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min. Respecto al control reduce de 796mg/l a

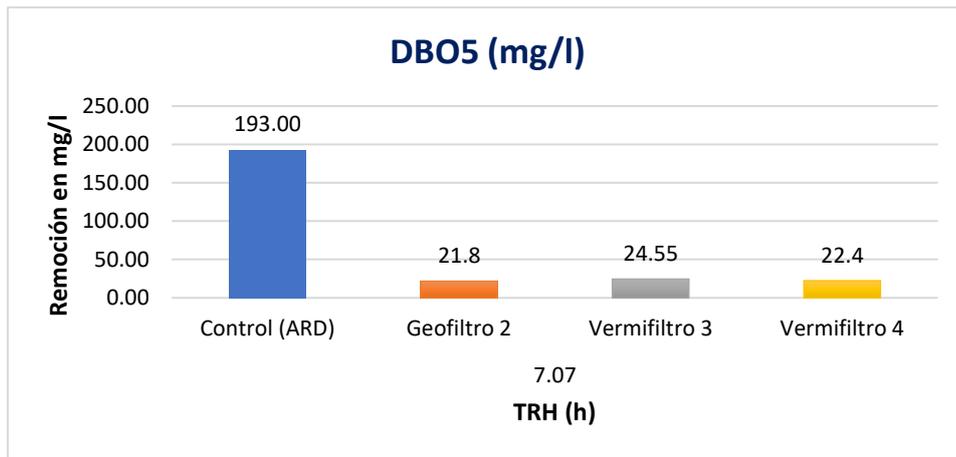


Gráfico 24. Resultado de remoción de DBO₅ (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2

Fuente: Elaboración Propia,2019

En el grafico 24 se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro 3 el cual removió 24.55mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min.

3.5.3. Remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales ejercido por las bacterias en Q2, TRH2.

Tabla 2. Resultado de remoción de las bacterias del vermifiltro 4 y 3 en el Q2, TRH2.

Q2	TRH2	Reactores	REMOCIÓN			
			TDS (mg/l)	SST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
708 ml/min	7.07	Vermifiltro 3	90	45	181	88.75
		Vermifiltro 4	63	15	177	61.20

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

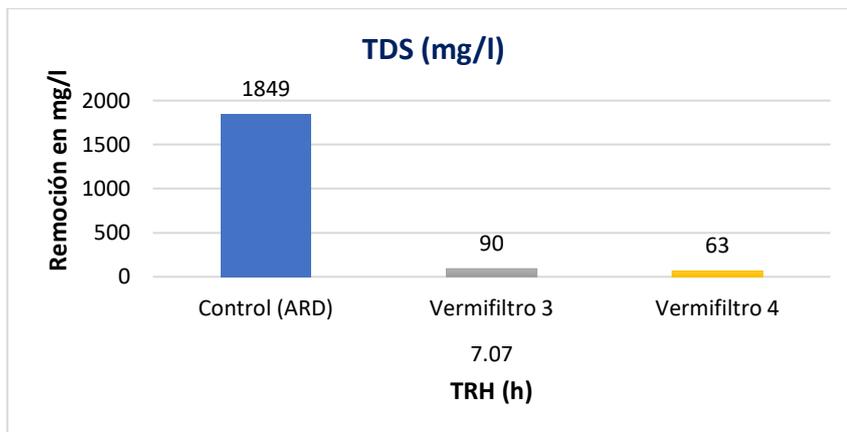


Gráfico 25. Resultado de remoción de solidos disueltos totales (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración Propia, 2019

En el grafico 25 se obtuvo una remoción de 90 mg/l de TDS en los vermifiltro 3 en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min. Respecto al control de 1849mg/l las bacterias logran reducir a 1759mg/l de TDS en el vermifiltro3.

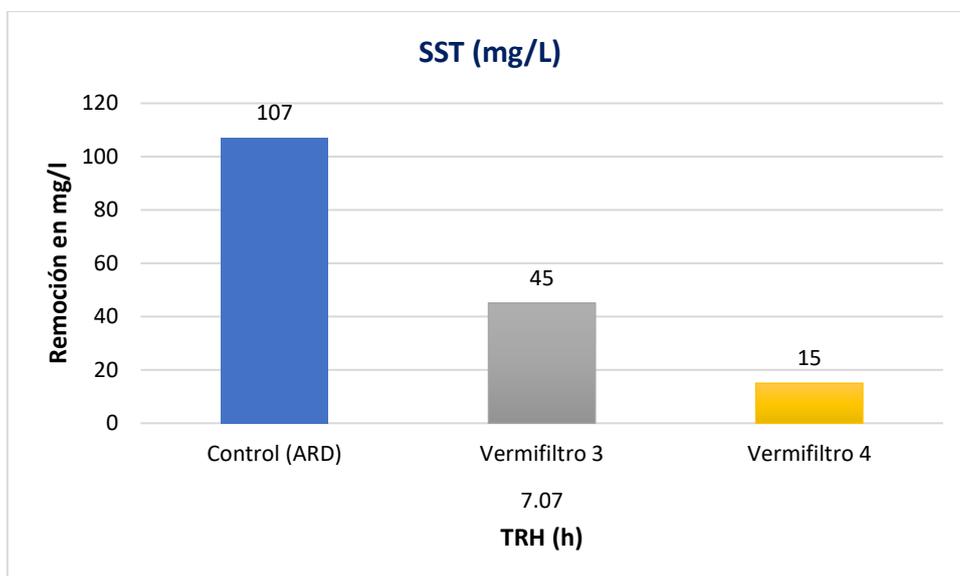


Gráfico 26. Resultado de remoción de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración Propia,2019

En el grafico 26 se observa mayor remoción ejercido por las bacterias en el vermifiltro3 el cual removió 45mg/l de SST en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min.

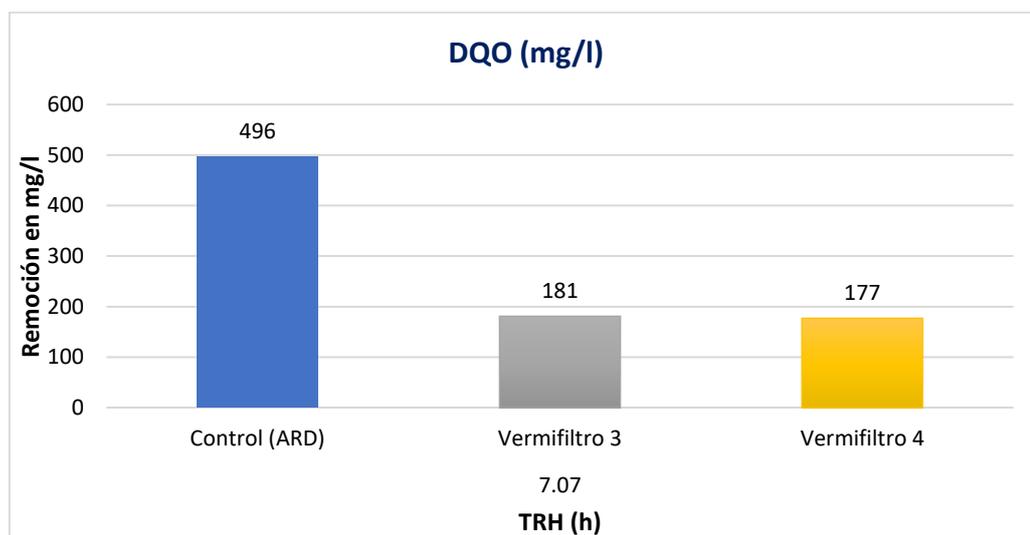


Gráfico 27. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración Propia,2019.

En el grafico 27 se muestra la remoción de DQO ejercido por las bacterias, se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro3 el cual removió 181mg/l de DQO en un TRH de 7.07h y caudal de 708ml/min.

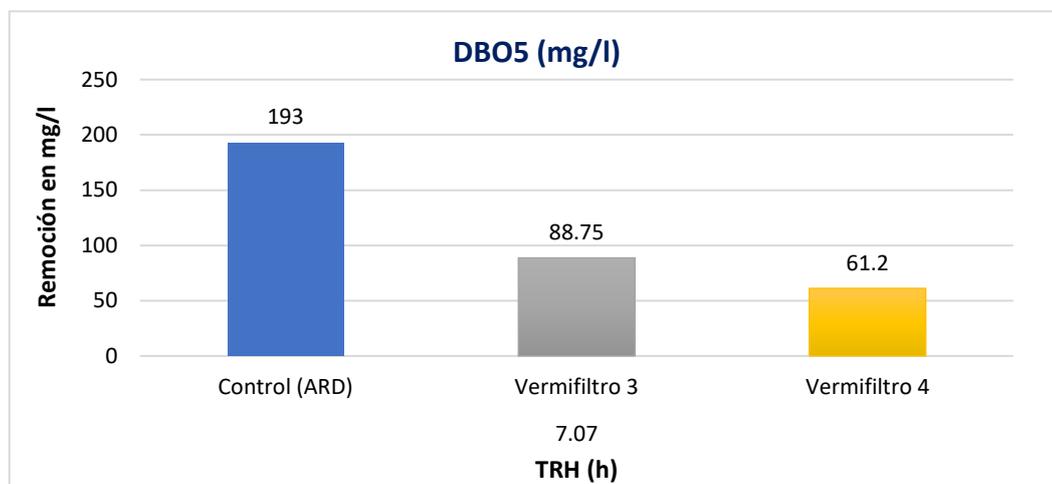


Gráfico 28. Resultado de remoción de DBO₅ (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración Propia,2019

En el grafico 28 se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro3 el cual removió 88.75mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min, respecto al control 193mg/l las bacterias logran reducir a 104.25mg/l de DQO en el vermifiltro 3.

3.5.4. Remoción total de carga orgánica y material particulado en aguas residuales mediante el sistema total de los vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2 en Q2, TRH2.

Tabla 26. Resultado de remoción total de los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2 en el Q2, TRH2

QW	TRH	REACTORES	REMOCIÓN			
			TDS(mg/l)	SST(mg/l)	DQO(mg/l)	DBO5(mg/l)
Q2	7.07h	Vermifiltro4	1042	80	470	182.2
		Vermifiltro3	1038	93	466	180.25
		Geofiltro2	956	92	459	175.85

Fuente: Elaboración propia, 2019.

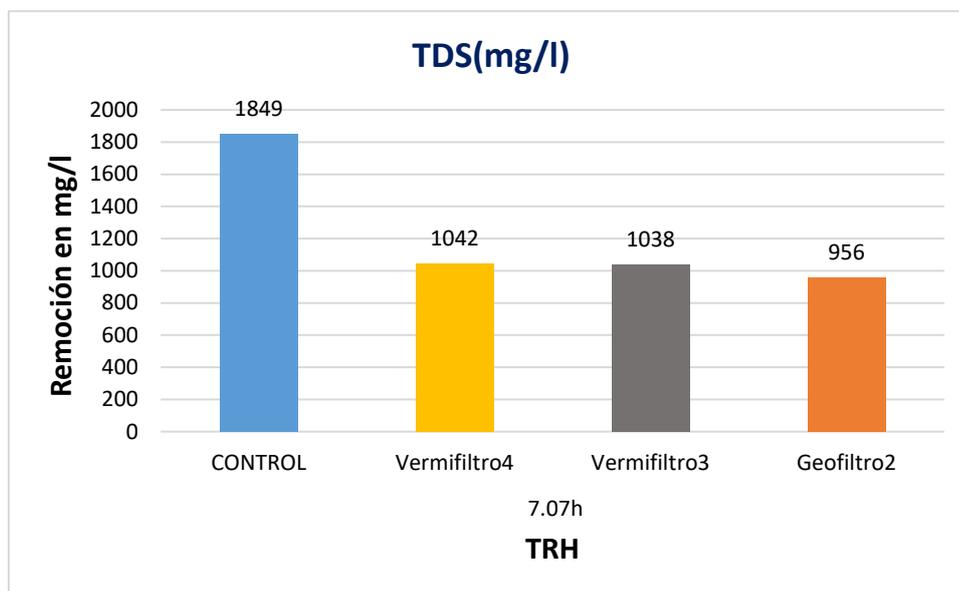


Gráfico 29. Resultado de remoción total de solidos disueltos totales (mg/l) de los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 29 se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 1042mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min. Respecto al control de 1849mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 807mg/l de TDS.

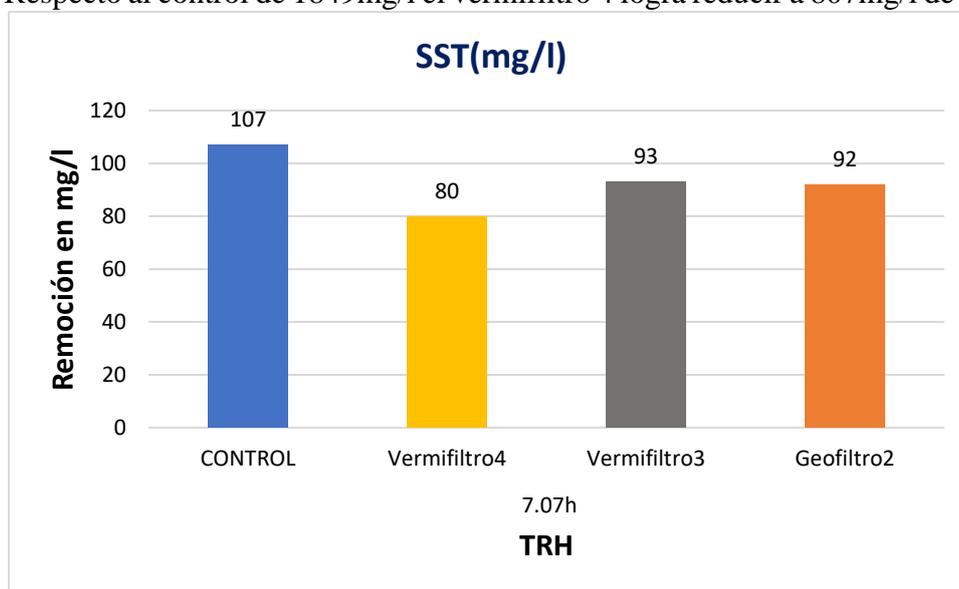


Gráfico 30. Resultado de remoción total de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 30 se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro 3 el cual removió 93mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min. Respecto al control de 107mg/l el vermifiltro 3 logra reducir a 14 mg/l de SST.

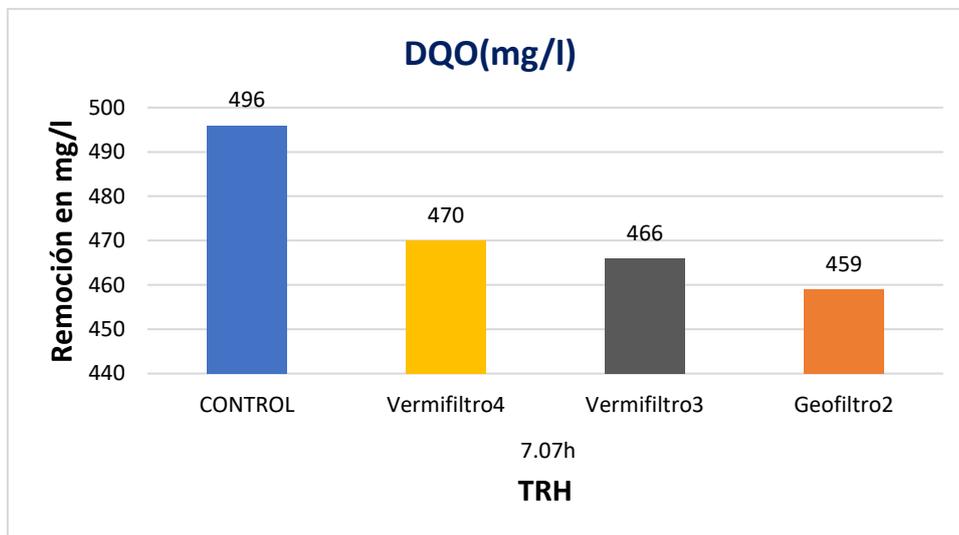


Gráfico 31. Resultado de remoción total de DQO (mg/l) ejercido por los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 31 se muestra mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 470mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min. Respecto al control de 496mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 26 mg/l de DQO.

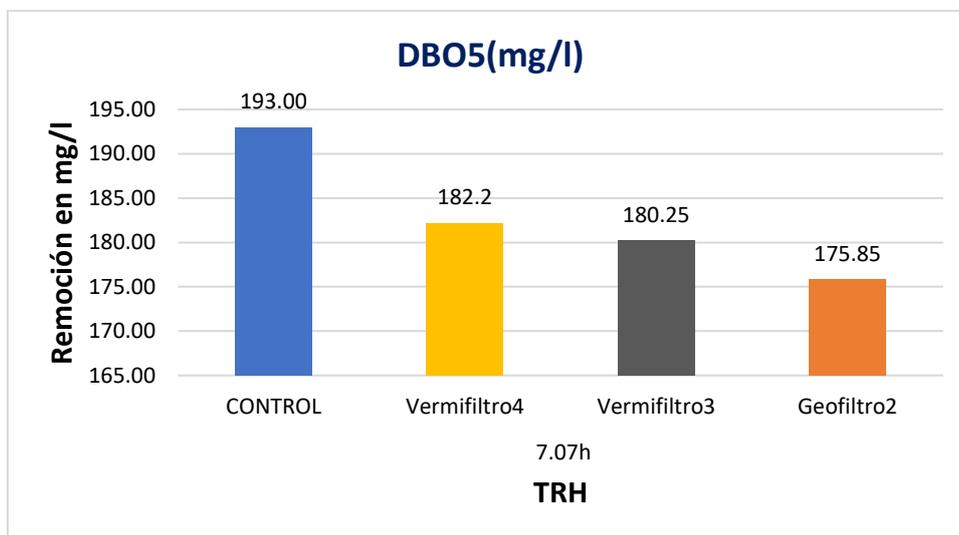


Gráfico 32. Resultado de remoción total de DBO₅ (mg/l) ejercido por los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 32 se aprecia mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 182.2mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min. Respecto al control de 193mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 10.8 mg/l de DBO₅.

3.6. Resultados de los parámetros analizados inicialmente del influente, Q3 y TRH3

En la tabla 26 se detalla los resultados de los parámetros tales como: Solidos disueltos totales, solidos suspendidos totales, DQO y DBO5 que se obtuvieron en el laboratorio de biotecnología en la universidad Cesar Vallejo.

Tabla 27. Resultado de los parámetros del influente en el TRH2, Q2

Q3	TRH3	Reactor	TDS (mg/l)	SST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
553 ml/min	9.03	Control (ARD)	1847	100	484	189

Fuente: Reporte de análisis del laboratorio biotecnología-UCV, 2019

3.7. Resultados de las muestras posterior al tratamiento con vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno.

3.7.1. Remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales mediante las lombrices en Q3, TRH3.

Tabla 28. Resultado de remoción de las lombrices en el Vermifiltro 4 y3 en el Q3, TRH3

QW	TRH	REACTORES	Remoción			
			TDS(mg/l)	SST(mg/l)	DQO(mg/l)	DBO5(mg/l)
Q3	9.03h	Vermifiltro4	1108	64	299	115.5
		Vermifiltro3	1085	58	293	94.5

Fuente: Elaboración propia, 2019.

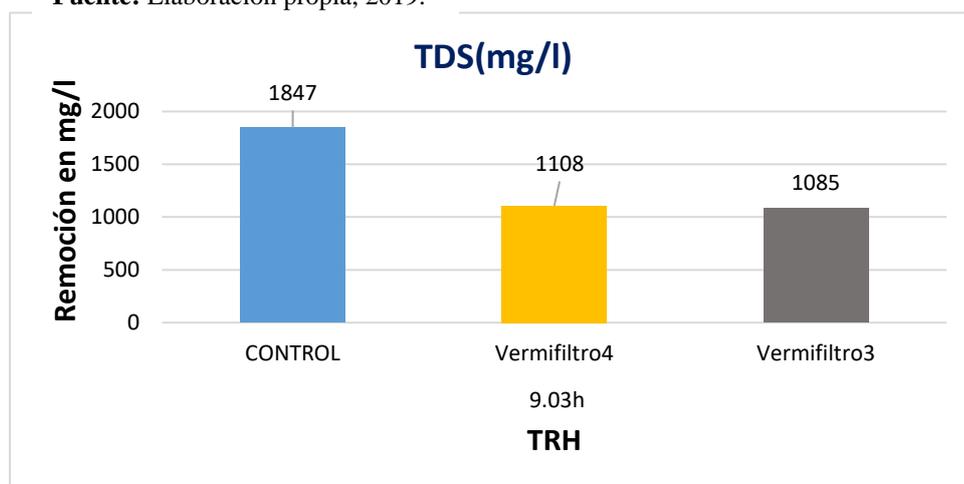


Gráfico 33. Resultado de remoción de solidos disueltos totales (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 33 se observa mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 1108mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 9.03h y caudal de 553ml/min. Respecto al control de 1847mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 739mg/l de TDS.

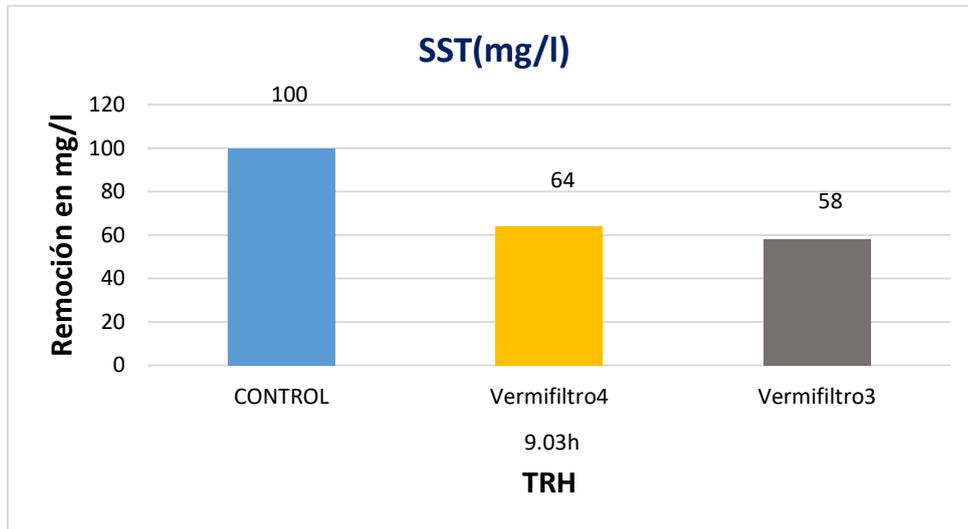


Gráfico 34. Resultado de remoción de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 34 se muestra mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 64mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 9.03h y caudal de 553ml/min. Respecto al control de 100mg/l el vermifiltro 4 y logra reducir a 36 mg/l de SST.

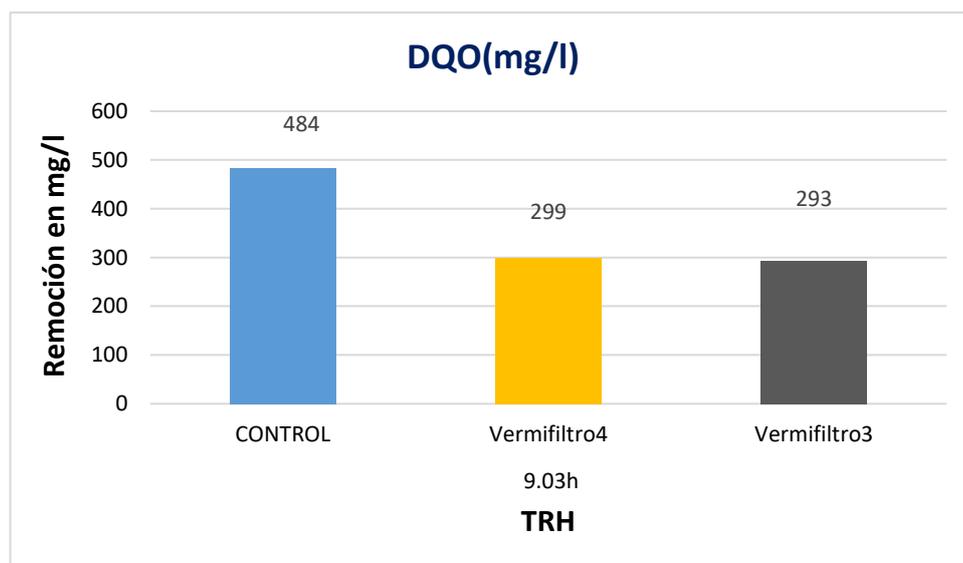


Gráfico 35. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 35 se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 299mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 9.03h y caudal de 553ml/min. Respecto al control de 484mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 185 mg/l de DQO.

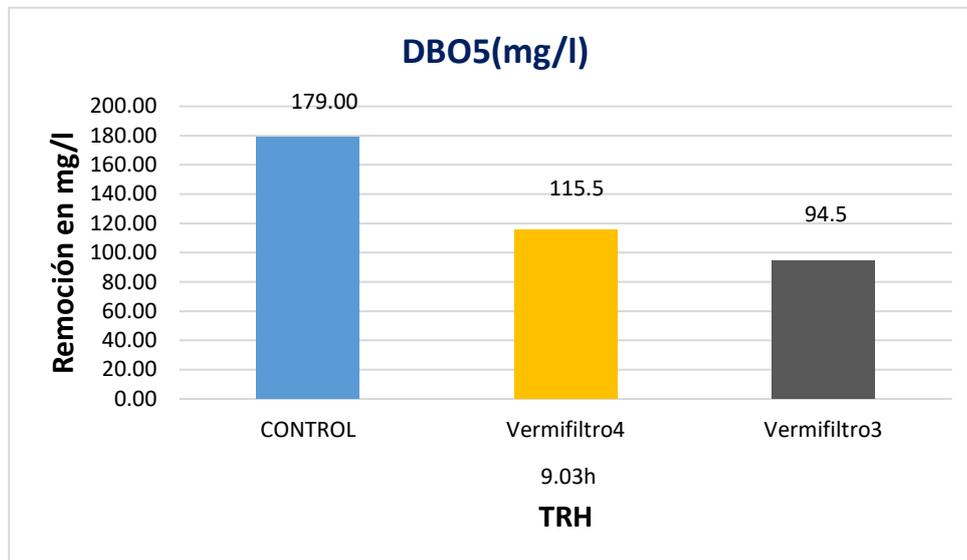


Gráfico 36. Resultado de remoción de DBO₅ (mg/l) ejercido por las lombrices entre el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 36 se observa mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 115.5mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 9.03h y caudal de 553ml/min. Respecto al control de 179mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 63.5 mg/l de DBO₅.

3.7.2. Remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales mediante la biopelícula en Q3, TRH3.

Tabla 29. Resultado de remoción de la biopelícula asistido en polipropileno del vermifiltro 4, 3 y geofiltro2 en el Q3, TRH3.

Q3	TRH3	Reactores	REMOCIÓN			
			TDS (mg/l)	SST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
553 ml/min	9.03	Geofiltro 2	22	11	24	21
		Vermifiltro 3	29	3	23	21
		Vermifiltro 4	30	9	25	23

Fuente: Elaboración Propia, 2019

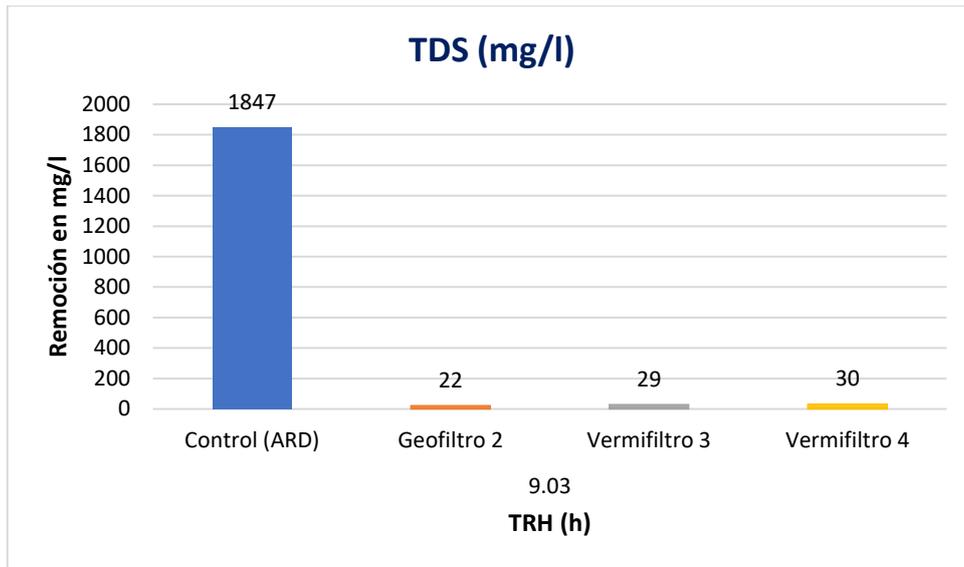


Gráfico 37. Resultado de remoción de solidos disueltos totales (mg/l) ejercido la por biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.

Fuente: Elaboración Propia,2019

En el grafico 37 se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro4 el cual removió 30mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 9.03h y caudal de 553ml/min. Respecto al control de 1847mg/l la biopelícula logra reducir a 1817mg/l de TDS en el vermifiltro4.

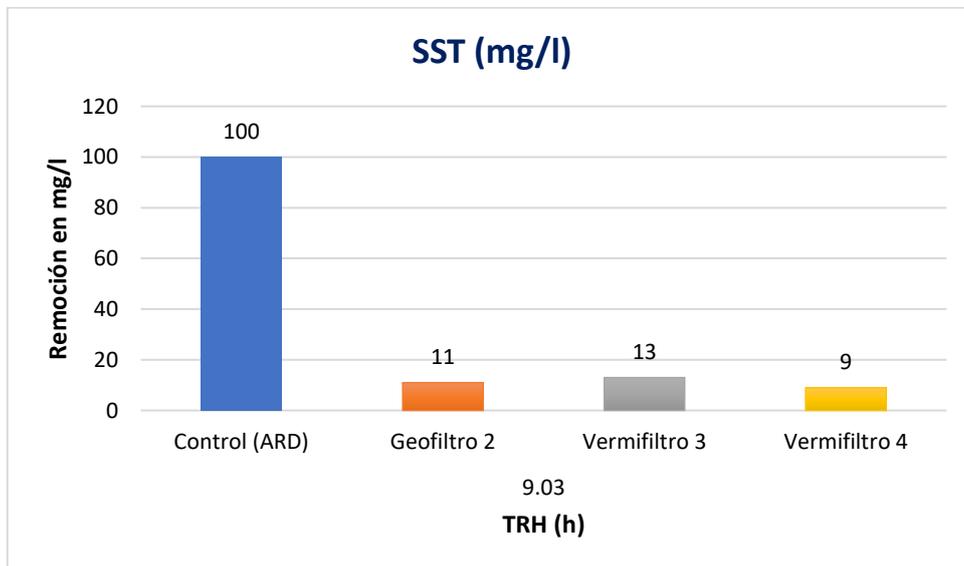


Gráfico 38. Resultado de remoción de solidos suspendidos totales (mg/l) rcido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geo ro2

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

En el grafico 38 se observa mayor remoción en el vermifiltro3 el cual removió 13mg/l de SST en un tiempo de retención hidráulica de 9.03h y caudal de

553ml/min. Respecto al control la biopelícula logra reducir de 100mg/l a 87mg/l de solidos suspendidos totales en el geofiltro2.

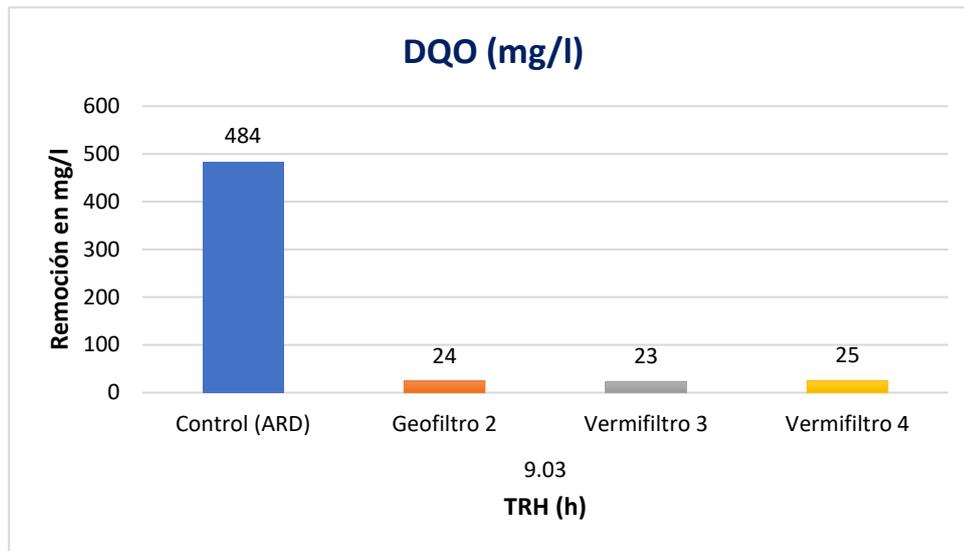


Gráfico 39. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2.

Fuente: Elaboración Propia,2019.

En el grafico 39 se muestra mayor remoción en el vermifiltro 4, mientras que el vermifiltro 3 y geofiltro2 presentan remociones cercanas. Con el vermifiltro4 se removió 5mg/l de DQO en un tiempo de retención hidráulica de 9.03h y caudal de 553 ml/min.

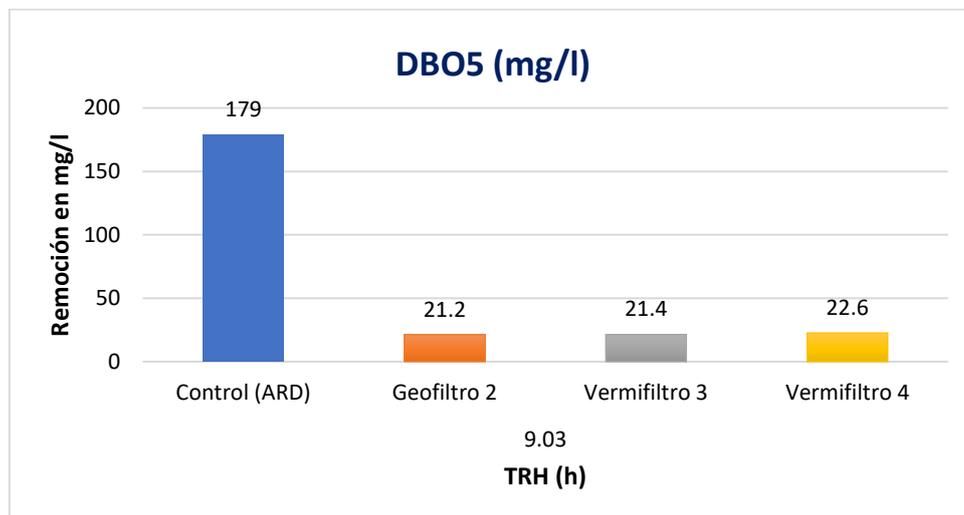


Gráfico 40. Resultado de remoción de DBO₅ (mg/l) ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4,3 y Geofiltro2

Fuente: Elaboración Propia,2019.

En el grafico 40 se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 22.6 mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 7.07h y caudal de 708ml/min. Respecto al control la biopelícula logra reducir de 179mg/l a 156.4mg/l.

3.7.3. Remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales mediante las bacterias en Q3, TRH3.

Tabla 3. Resultado de remoción de las bacterias del vermifiltro 4 y 3 en el Q3, TRH3.

Q3	TRH3	Reactores	REMOCIÓN			
			TDS (mg/l)	SST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
553 ml/min	9.03	Vermifiltro 3	63	19	165	71.80
		Vermifiltro 4	45	21	160	53.70

Fuente: Elaboración Propia,2019.

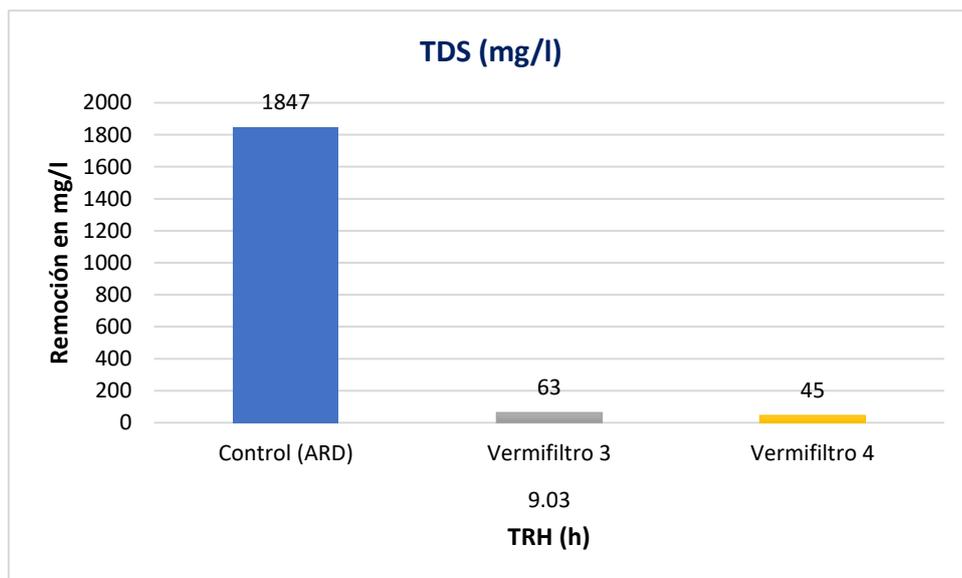


Gráfico 41. Resultado de remoción de sólidos disueltos totales (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración Propia,2019

En el grafico 41 se aprecia una remoción en el vermifiltro3 (63mg/l) en un TRH de 9.03h y caudal de 553ml/min. Respecto al control de 1847mg/l las bacterias logran reducir a 1784mg/l de TDS en el vermifiltro 3.

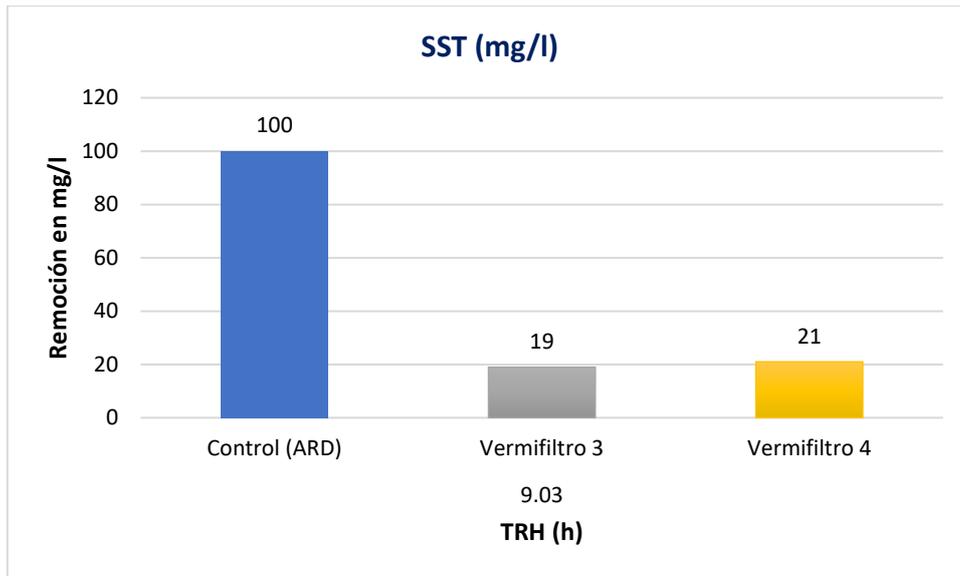


Gráfico 42. Resultado de remoción de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración Propia,2019.

En el grafico 42 se observa mayor remoción en el vermifiltro4 el cual removió 21 mg/l de SST en un tiempo de retención hidráulica de 9.03h y caudal de 553ml/min. Respecto al control las bacterias logran reducir de 100mg/l a 79 mg/l de solidos suspendidos totales en el vermifiltro 3.

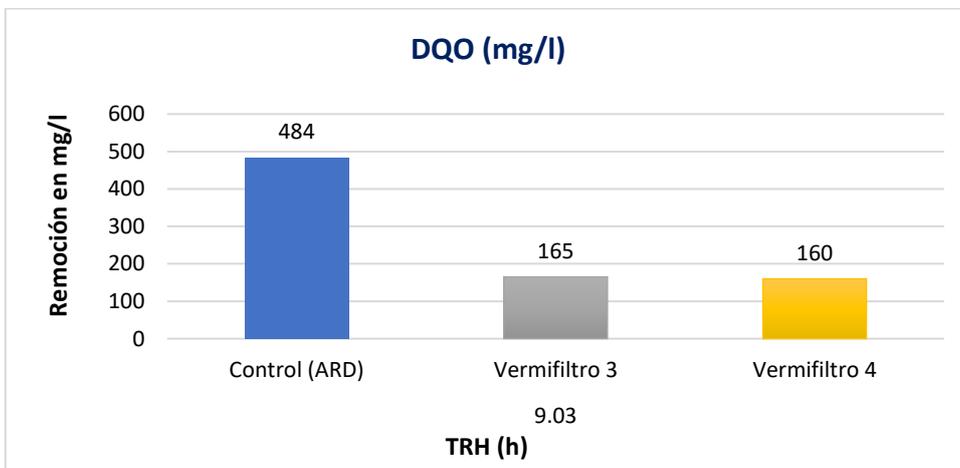


Gráfico 43. Resultado de remoción de DQO (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración Propia,2019.

En el grafico 43 se muestra la remoción de DQO ejercido por las bacterias, se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro3 logrando remover 165mg/l de DQO en un TRH de 9.03h y caudal de 553ml/min.

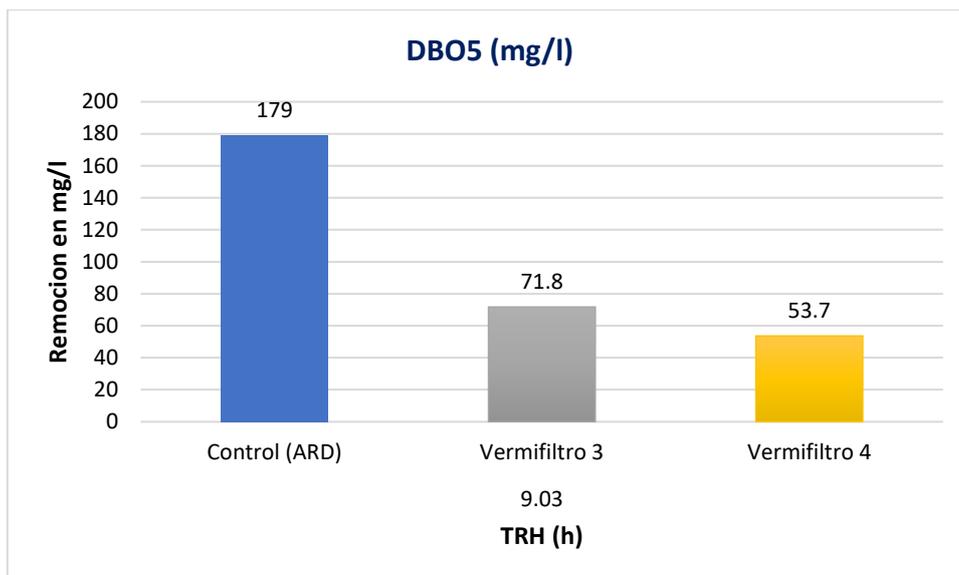


Gráfico 44. Resultado de remoción de DBO₅ (mg/l) ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración Propia,2019.

En el grafico 44 se aprecia los resultados de remoción de DBO₅ ejercido por las bacterias, se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro3 el cual removió 23.55mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 9.03h y caudal de 553ml/min.

3.7.4. Remoción total de carga orgánica y material particulado en aguas residuales mediante los vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2 en Q3, TRH3.

Tabla 30. Resultado de remoción total de los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2 en el Q3, TRH3

QW	TRH	REACTORES	Remoción			
			TDS(mg/l)	SST(mg/l)	DQO(mg/l)	DBO5(mg/l)
Q3	9.03h	Vermifiltro4	1153	85	459	169.2
		Vermifiltro3	1148	77	458	166.3
		Geofiltro2	995	85	449	163.5

Fuente: Elaboración propia, 2019.

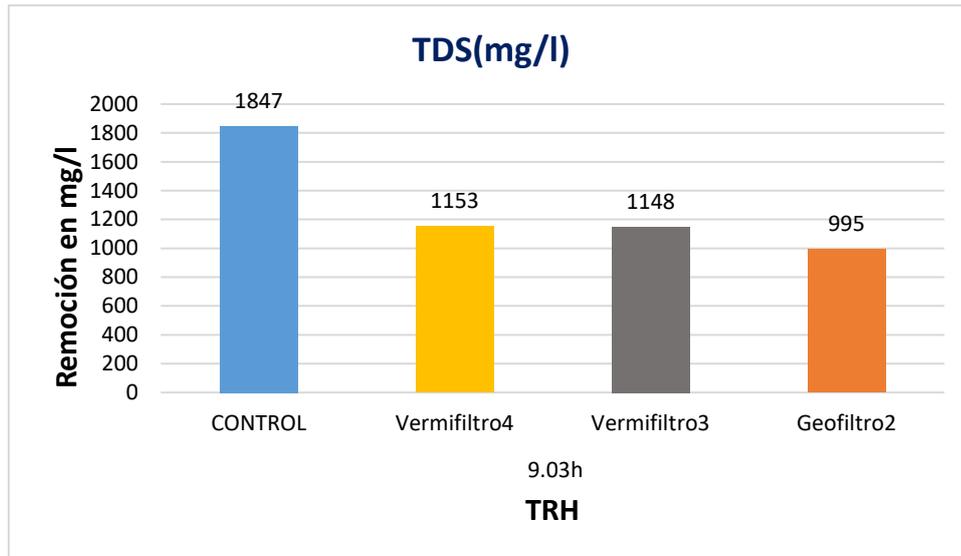


Gráfico 45. Resultado de remoción total de solidos disueltos totales (mg/l) ejercido por los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 45 se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 1153mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 9.03h y caudal de 553ml/min. Respecto al control de 1847mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 694mg/l de TDS.

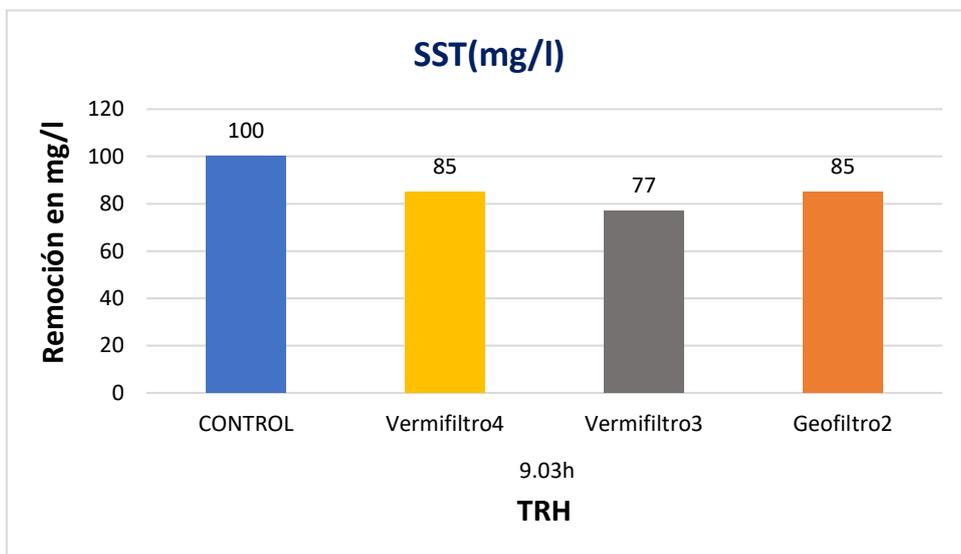


Gráfico 46. Resultado de remoción total de solidos suspendidos totales (mg/l) ejercido por los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 46 se aprecia mayor remoción en el vermifiltro 4 y geofiltro 2 los cuales removieron 85mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 9.03h y caudal de 553ml/min. Respecto al control de 100mg/l el vermifiltro 4 y geofiltro 2 logran reducir a 15 mg/l de SST.

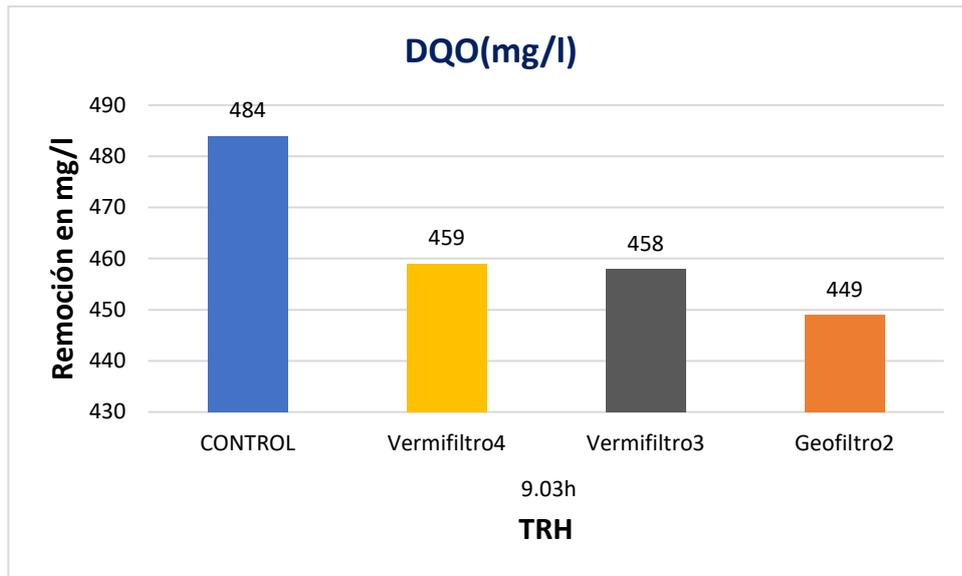


Gráfico 47. Resultado de remoción total de DQO (mg/l) ejercido por los Vermifiltro 4,3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 47 se obtuvo mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 459mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 9.03h y caudal de 553ml/min. Respecto al control de 484mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 25 mg/l de DQO.

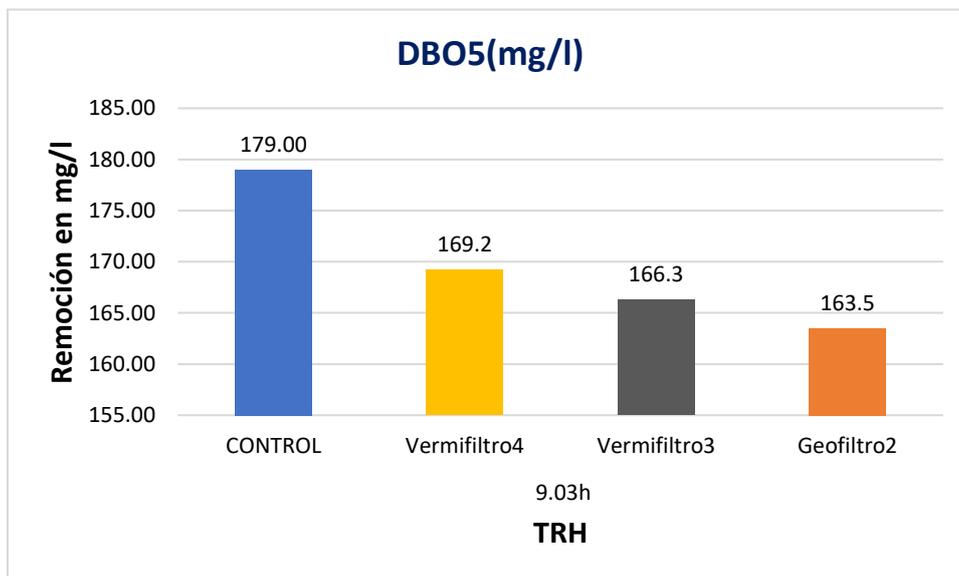


Gráfico 48. Resultado de remoción total de DBO₅ (mg/l) ejercido por los Vermifiltros 4,3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 48 se aprecia mayor remoción en el vermifiltro 4 el cual removió 169.2mg/l en un tiempo de retención hidráulica de 9.03h y caudal de 553ml/min. Respecto al control de 179mg/l el vermifiltro 4 logra reducir a 9.8 mg/l de DBO₅.

3.8. Eficiencia de remoción de carga orgánica y material particulado respecto al tiempo de retención hidráulica ejercida por las lombrices.

Para medir la eficiencia de remoción que ejercen las lombrices en los filtros biológicos se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% E. REMOCIÓN = \frac{I - CCS}{I} * 100$$

Donde: I es la concentración inicial del parámetro (Influente), CCS es la concentración final del parámetro extraído en el caño superior.

Tabla 31. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por las lombrices en el vermifiltro 4.

Qw		TRH		Reactor	TDS(%)	SST(%)	DQO(%)	DBO5(%)
Q1	1005ml/min	TRH1	4.96	Vermifiltro 4	38.3	60.2	54.6	61.2
Q2	708ml/min	TRH2	7.07	Vermifiltro4	52.9	60.7	59.1	62.7
Q3	553ml/min	TRH3	9.03	Vermifiltro 4	60.0	64.0	61.8	64.5

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Tabla 32. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por las lombrices en el vermifiltro 3.

Qw		TRH		Reactor	TDS(%)	SST(%)	DQO(%)	DBO5(%)
Q1	1005ml/min	TRH1	4.96	Vermifiltro 3	37.4	55.1	52.8	51.2
Q2	708ml/min	TRH2	7.07	Vermifiltro 3	51.3	44.9	57.5	47.4
Q3	553ml/min	TRH3	9.03	Vermifiltro 3	58.7	58.0	60.5	52.8

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

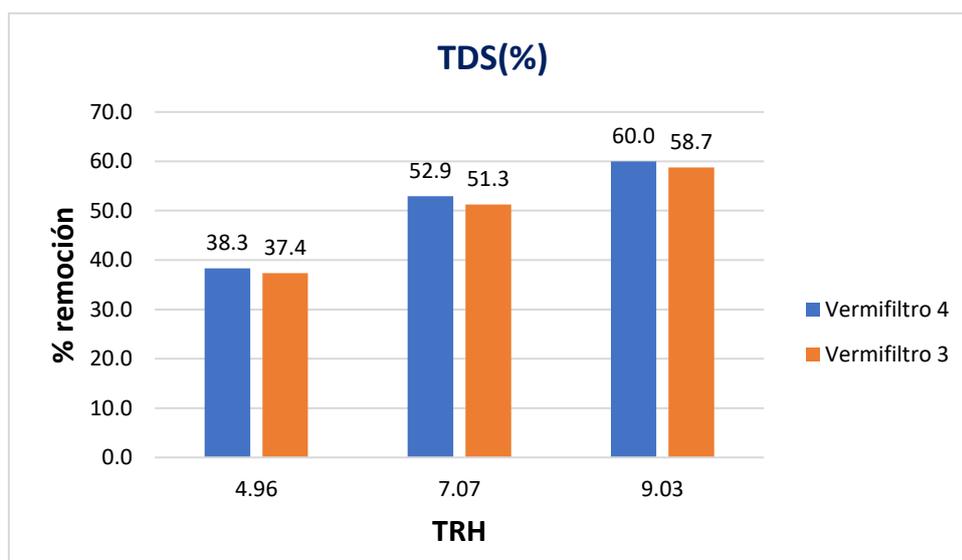


Gráfico 49. Resultado de porcentaje de remoción de TDS con respecto al TRH ejercido por las lombrices en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 49 se aprecia se observa que el Vermifiltro 4 obtuvo mayor % eficiencia de remoción, en función al tiempo de 9.03h se removi60% de TDS con un caudal de 553ml/min. Se considera que a menor caudal y mayor TRH será mayor el porcentaje de remoción.

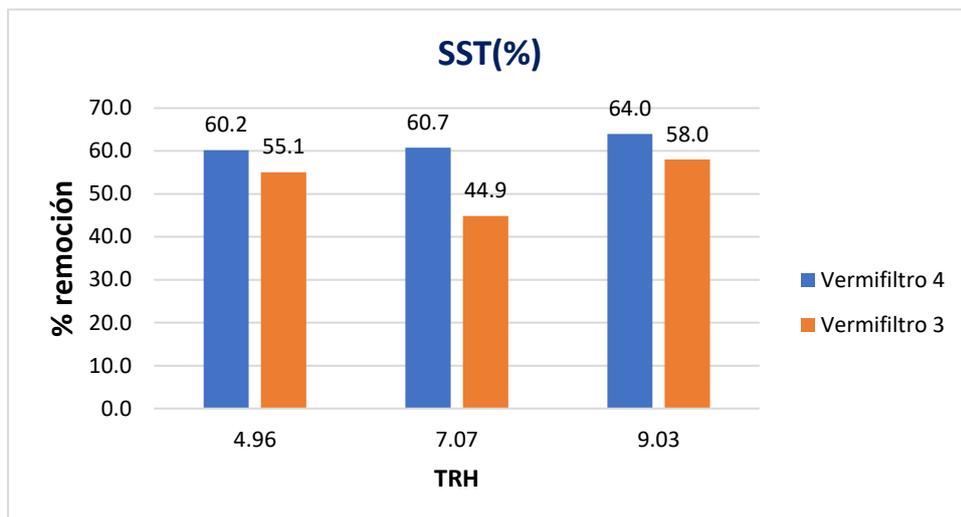


Gráfico 50. Resultado de porcentaje de remoción de SST con respecto al TRH ejercido por las lombrices en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 50 se observa que el Vermifiltro 4 obtuvo mayor % eficiencia de remoción, en función al tiempo de 9.03h se removi64% de SST con un caudal de 553ml/min.

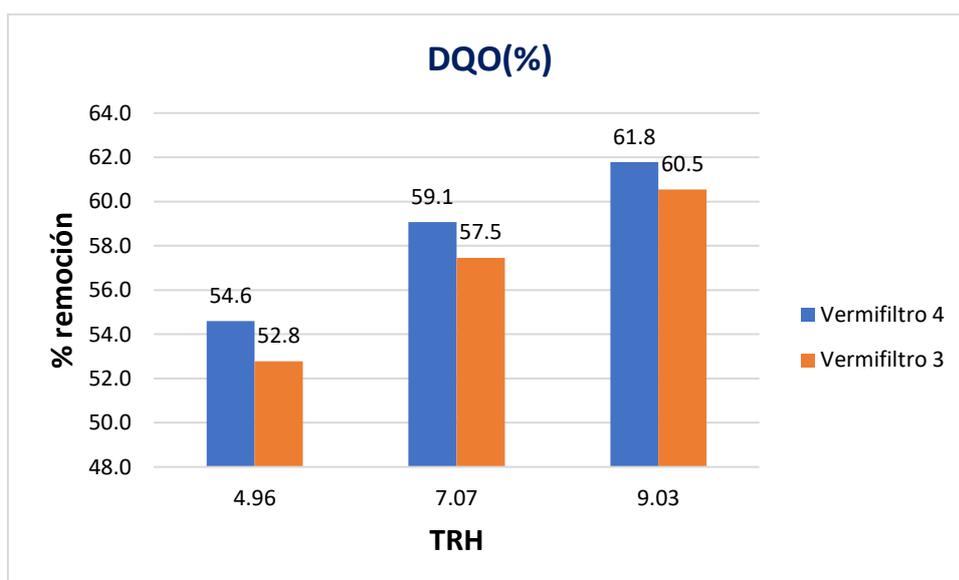


Gráfico 51. Resultado de porcentaje de remoción de DQO con respecto al TRH ejercido por las lombrices en el Vermifiltro 4 y 3

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 51 se aprecia que el Vermifiltro 4 obtuvo mayor % eficiencia de remoción, en función al tiempo de 9.03h se removi6 61.8% de DQO con un caudal de 553ml/min.

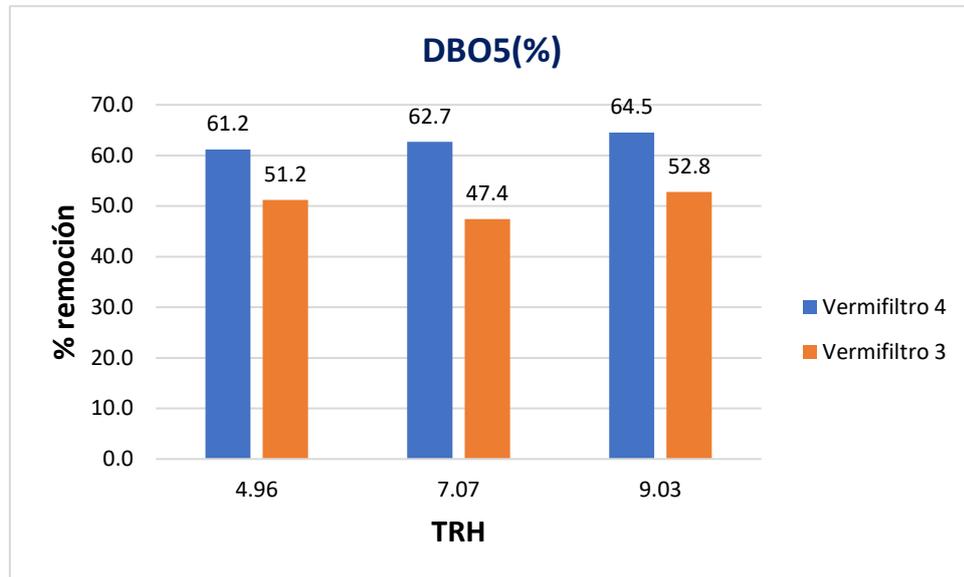


Gráfico 52. Resultado de porcentaje de remoción de DBO₅ con respecto al TRH ejercido por las lombrices en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 52 se observa que el Vermifiltro 4 obtuvo mayor % eficiencia de remoción, en función al tiempo de 9.03h se removi6 64.5% de DBO₅ con un caudal de 553ml/min.

3.9. Eficiencia de remoción de carga orgánica y material particulado respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por la biopelícula asistido en el polipropileno.

Para medir la eficiencia de remoción que ejercen la biopelícula en polipropileno en los filtros biológicos se utiliz6 la siguiente ecuación:

$$\% E. Remocion por Biopelícula = \left(\frac{I - CCI}{I} \right) * 100 - \left(\left(\frac{I - CCM}{I} \right) * 100 \right)$$

$$E. Remocion por Biopelícula = 100 - 100 \frac{CCI}{I} - \left(100 - 100 \frac{CCM}{I} \right)$$

$$E. Remocion por Biopelícula = 100 - 100 \frac{CCI}{I} - 100 + 100 \frac{CCM}{I}$$

$$E. Remocion por Biopelícula = \left(\frac{CCM - CCI}{I} \right) * 100$$

Por lo tanto, la remoción que ejerce la biopelícula se determinara mediante la siguiente formula.

$$\% E. REMOCIÓN = \frac{CCM - CCI}{I} * 100$$

Donde: CCM es la concentración del parámetro extraído en el caño medio, CCI es la concentración del parámetro extraído en el caño inferior e I es influente.

Tabla 33. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el vermifiltro 4.

Qw		TRH		Reactor	TDS(%)	SST(%)	DQO(%)	DBO5(%)
Q1	1005ml/min	TRH1	4.96	Vermifiltro 4	1.12	7.63	4.76	9.63
Q2	708ml/min	TRH2	7.07	Vermifiltro4	1.08	5.61	6.85	11.61
Q3	553ml/min	TRH3	9.03	Vermifiltro 4	1.62	9.00	5.17	12.63

Fuente: Elaboración Propia,2019.

Tabla 34. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el vermifiltro 3.

Qw		TRH		Reactor	TDS(%)	SST(%)	DQO(%)	DBO5(%)
Q1	1005ml/min	TRH1	4.96	Vermifiltro 3	1.52	11.02	4.96	10.04
Q2	708ml/min	TRH2	7.07	Vermifiltro 3	1.51	11.21	5.24	12.72
Q3	553ml/min	TRH3	9.03	Vermifiltro 3	1.57	13.00	4.75	11.96

Fuente: Elaboración Propia,2019.

Tabla 35. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el geofiltro 2.

Qw		TRH		Reactor	TDS(%)	SST(%)	DQO(%)	DBO5(%)
Q1	1005ml/min	TRH1	4.96	Geofiltro 2	1.25	5.93	5.16	10.38
Q2	708ml/min	TRH2	7.07	Geofiltro 2	1.35	12.15	4.84	11.30
Q3	553ml/min	TRH3	9.03	Geofiltro 2	1.19	11.00	4.96	11.84

Fuente: Elaboración Propia,2019.

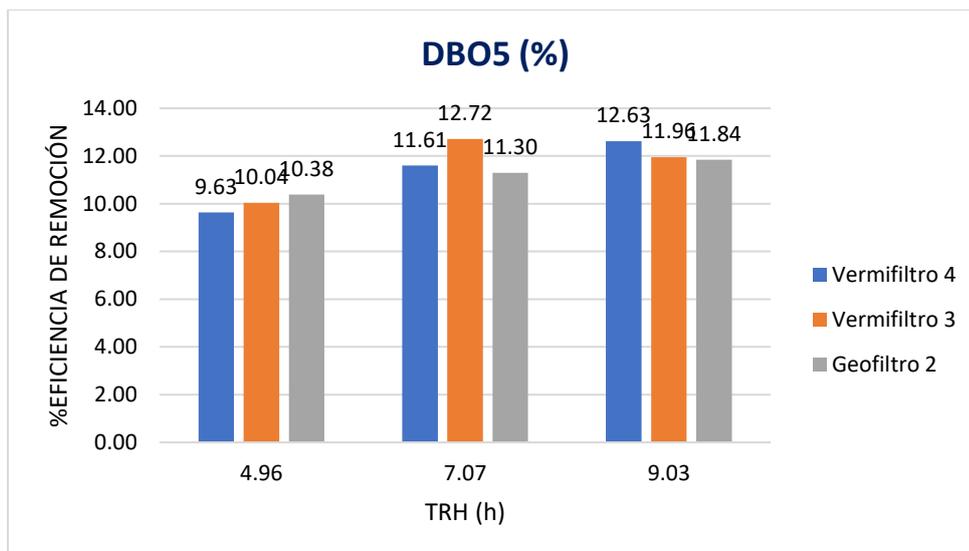


Gráfico 53. Resultado de porcentaje de remoción de DBO₅ con respecto al TRH ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4, 3 y geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 53 se observa que el vermifiltro 3 obtuvo mayores porcentajes de remoción, en función al tiempo de 7.07h se removió 12.72% de DBO₅ con un caudal de 708ml/min. Se considera que a menor caudal y mayor TRH será mayor el porcentaje de remoción.

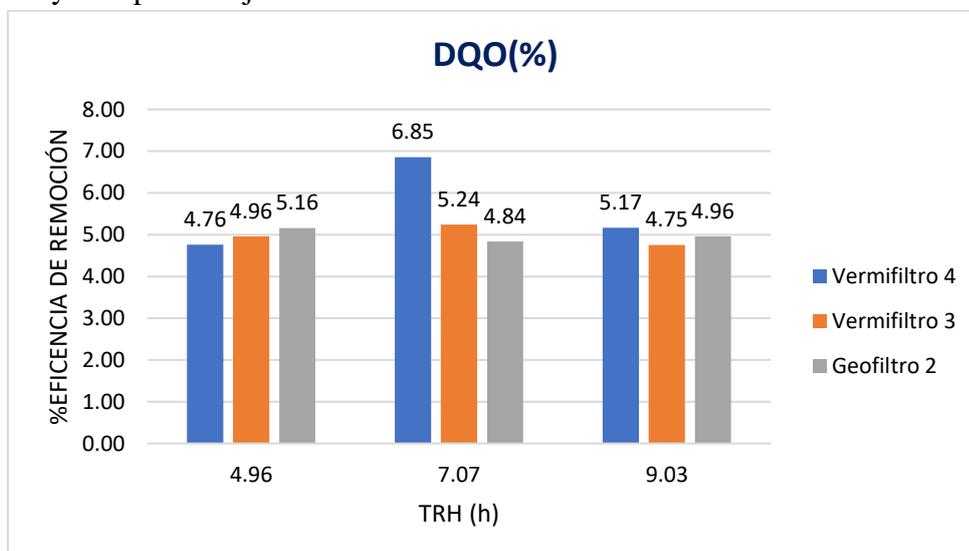


Gráfico 54. Resultado de porcentaje de remoción de DQO con respecto al TRH ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4, 3 y geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 54 se aprecia que el vermifiltro 4 obtuvo mayor porcentaje de remoción, en función al tiempo de 7.07h se removió 6.85% de DQO con un caudal de 708ml/min.

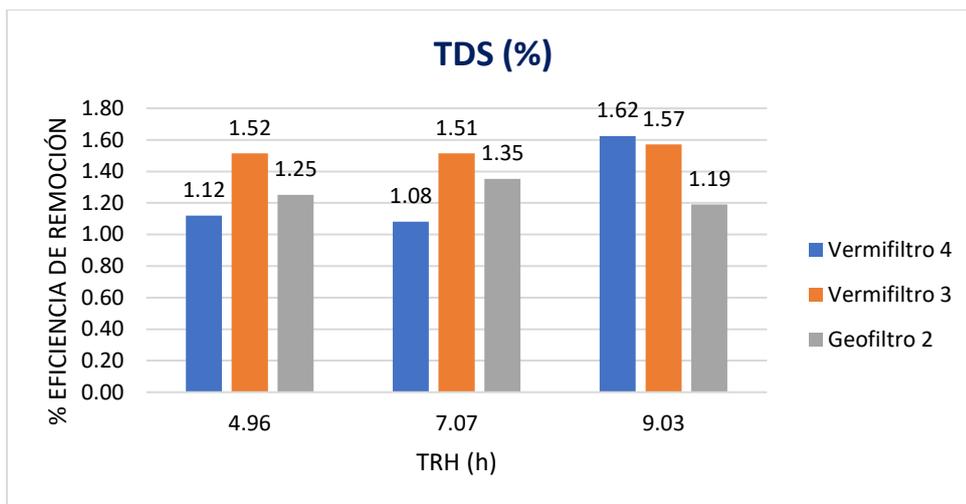


Gráfico 55. Resultado de porcentaje de remoción de TDS con respecto al TRH ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4, 3 y geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia,2019.

En el grafico 55 se aprecia que el vermifiltro 4 y 3 obtuvieron mayores porcentajes de remoción, en función al tiempo de 9.03h se removió 1.62% y 1.57% de TDS respectivamente con un caudal de 553ml/min. Se considera que a menor caudal y mayor TRH será mayor el porcentaje de remoción.

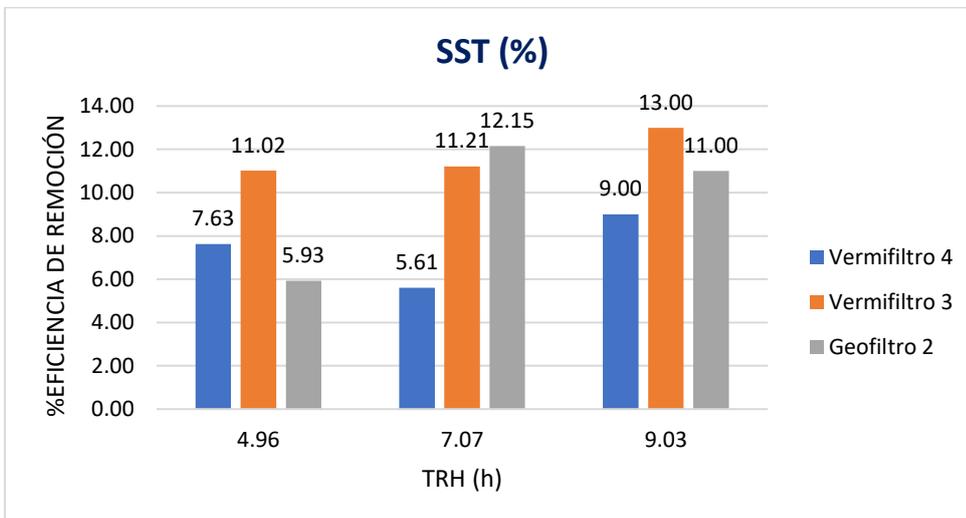


Gráfico 56. Resultado de porcentaje de remoción de SST con respecto al TRH ejercido por la biopelícula asistido en polipropileno en el Vermifiltro 4, 3 y geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia,2019.

En el grafico 56 se observa que el vermifiltro 4 y 3 obtuvieron mayores porcentajes de remoción, en función al tiempo de 9.03h se removió 9% y 13%

de SST respectivamente con un caudal de 553ml/min. Se considera que a menor caudal y mayor TRH será mayor el porcentaje de remoción.

3.10. Eficiencia de remoción de carga orgánica y material particulado con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por las bacterias.

Para medir la eficiencia de remoción que ejercen las bacterias en los filtros biológicos se utilizó realizo la siguiente ecuación:

$$\% E. Remocion por Biopelicula = \left(\frac{I - CCI}{I} \right) * 100 - \left(\left(\frac{I - CCS}{I} \right) * 100 \right)$$

$$E. Remocion por Biopelicula = 100 - 100 \frac{CCI}{I} - \left(100 - 100 \frac{CCS}{I} \right)$$

$$E. Remocion por Biopelicula = 100 - 100 \frac{CCI}{I} - 100 + 100 \frac{CCS}{I}$$

$$E. Remocion por Biopelicula = \left(\frac{CCS - CCI}{I} \right) * 100$$

Por lo tanto, la remoción que ejerce la biopelícula se determinara mediante la siguiente formula.

$$\% E. REMOCIÓN = \frac{CCS - CCI}{I} * 100$$

Donde: CCS es la concentración del parámetro extraído en el caño superior, CCI es la concentración del parámetro extraído en el caño inferior e I es influente.

Tabla 36. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por las bacterias en el vermifiltro 4.

	Qw	TRH	Reactor	TDS(%)	SST(%)	DQO(%)	DBO ₅ (%)	
Q1	1005ml/min	TRH1	4.96	Vermifiltro 4	4.35	6.78	38.69	32.43
Q2	708ml/min	TRH2	7.07	Vermifiltro4	3.41	14.02	35.69	31.71
Q3	553ml/min	TRH3	9.03	Vermifiltro 4	2.44	21.00	33.06	30.00

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 37. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por las bacterias en el vermifiltro 3.

	Qw	TRH	Reactor	TDS(%)	SST(%)	DQO(%)	DBO ₅ (%)	
Q1	1005ml/min	TRH1	4.96	Vermifiltro 3	4.35	22.88	40.28	41.81
Q2	708ml/min	TRH2	7.07	Vermifiltro 3	4.87	42.06	36.49	45.98
Q3	553ml/min	TRH3	9.03	Vermifiltro 3	3.41	19.00	34.09	40.11

Fuente: Elaboración propia, 2019.

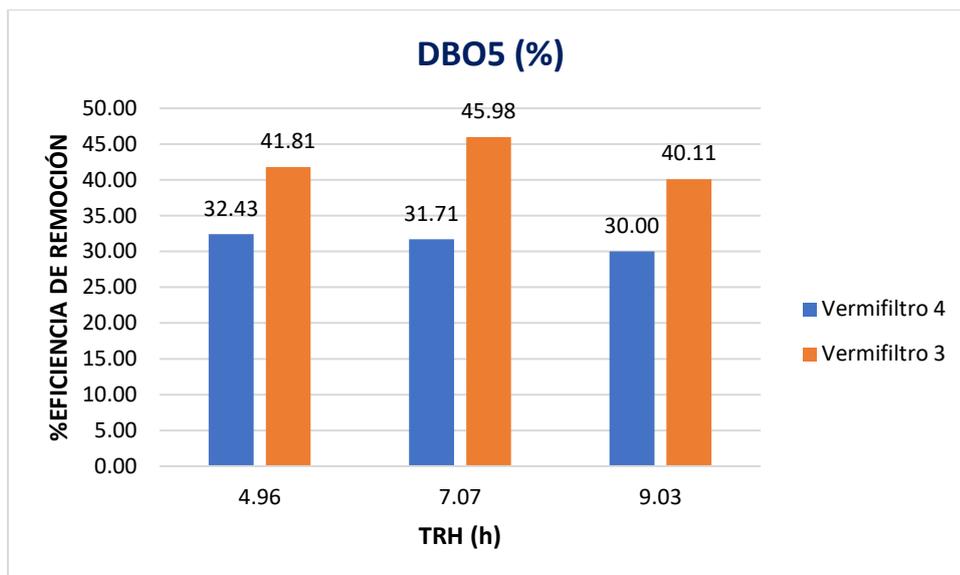


Gráfico 57. Resultado de porcentaje de remoción de DBO₅ con respecto al TRH ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 57 se aprecia que el vermifiltro 4 obtuvo mayor porcentaje de remoción, en función al tiempo de 7.07h se removió 45.98% de DBO₅ con un caudal de 708ml/min.

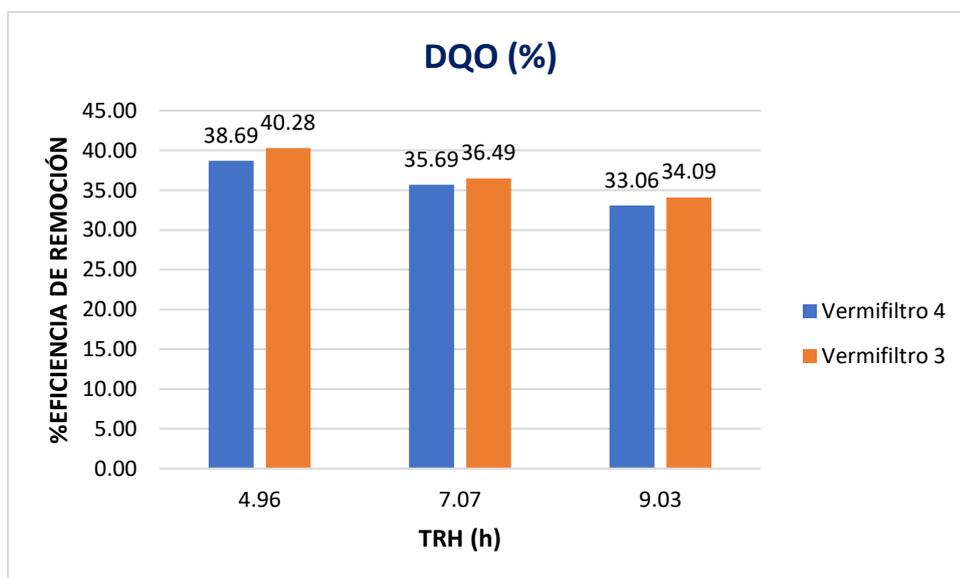


Gráfico 58. Resultado de porcentaje de remoción de DQO con respecto al TRH ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el grafico 58 se observa que el vermifiltro 4 y 3 obtuvieron mayor porcentaje de remoción, en función al tiempo de 4.96h se removió 38.69% y 40.28% de DQO respectivamente empleando un caudal de 708ml/min.

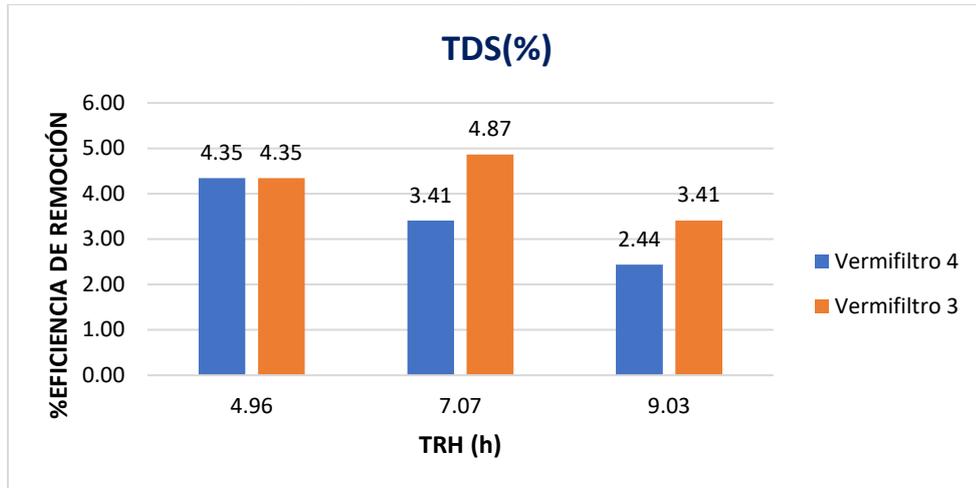


Gráfico 59. Resultado de porcentaje de remoción de TDS con respecto al TRH ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia,2019.

En el grafico 59 se aprecia que el vermifiltro 3 obtuvo mayor porcentaje de remoción, en función al tiempo de 7.07h se removió 4.87% de TDS con un caudal de 708ml/min.

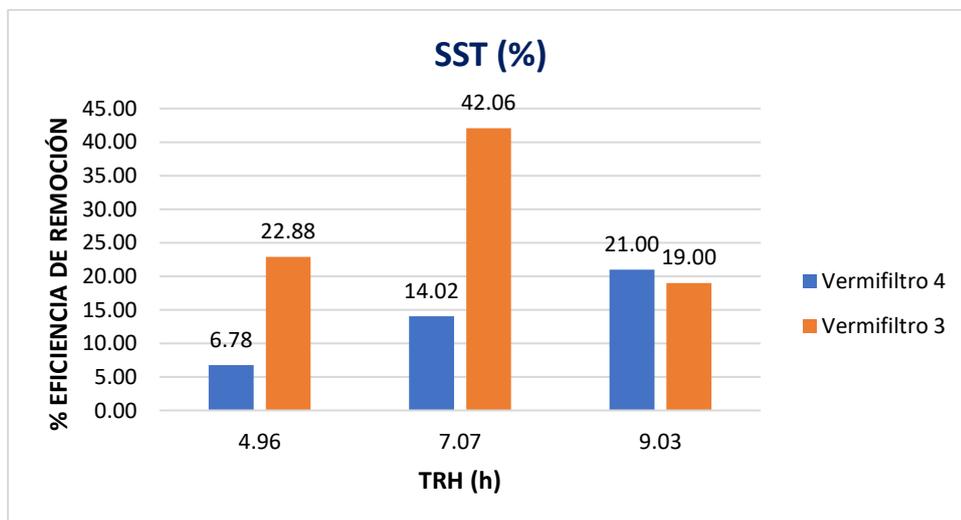


Gráfico 60. Resultado de porcentaje de remoción de SST con respecto al TRH ejercido por las bacterias en el Vermifiltro 4 y 3.

Fuente: Elaboración propia,2019.

En el grafico 60 se aprecia que el vermifiltro 3 obtuvo mayor porcentaje de remoción, en función al tiempo de 7.07h se removió 42.06% de TDS con un caudal de 708ml/min.

3.11. Eficiencia de remoción de carga orgánica y material particulado con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido en la totalidad del sistema de los Vermifiltros 4, 3 y Geofiltro 2.

Para medir la eficiencia de remoción que ejercen los filtros biológicos se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% E. REMOCIÓN = \frac{I - CCI}{I} * 100$$

Donde: I es la concentración inicial del parámetro (Influente), CCI es la concentración final del parámetro (efluente) extraído en el caño inferior.

Tabla 38. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por el vermifiltro 4.

Qw		TRH		Reactor	TDS(%)	SST(%)	DQO(%)	DBO5(%)
Q1	1005ml/min	TRH1	4.96	Vermifiltro 4	42.6	66.9	93.2	93.6
Q2	708ml/min	TRH2	7.07	Vermifiltro4	56.4	74.8	94.8	94.4
Q3	553ml/min	TRH3	9.03	Vermifiltro 4	62.4	85.0	94.8	94.5

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 39. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por el vermifiltro 3.

Qw		TRH		Reactor	TDS(%)	SST(%)	DQO(%)	DBO5(%)
Q1	1005ml/min	TRH1	4.96	Vermifiltro 3	41.7	78.0	93.1	93.0
Q2	708ml/min	TRH2	7.07	Vermifiltro 3	56.1	86.9	94.0	93.4
Q3	553ml/min	TRH3	9.03	Vermifiltro 3	62.2	77.0	94.6	92.9

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 40. Resultado de porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención hidráulica ejercido por el Geofiltro 2.

Qw		TRH		Reactor	TDS(%)	SST(%)	DQO(%)	DBO5(%)
Q1	1005ml/min	TRH1	4.96	Geofiltro 2	32.9	77.1	91.5	91.1
Q2	708ml/min	TRH2	7.07	Geofiltro 2	51.7	86.0	92.5	91.1
Q3	553ml/min	TRH3	9.03	Geofiltro 2	53.9	85.0	92.8	91.3

Fuente: Elaboración propia, 2019.

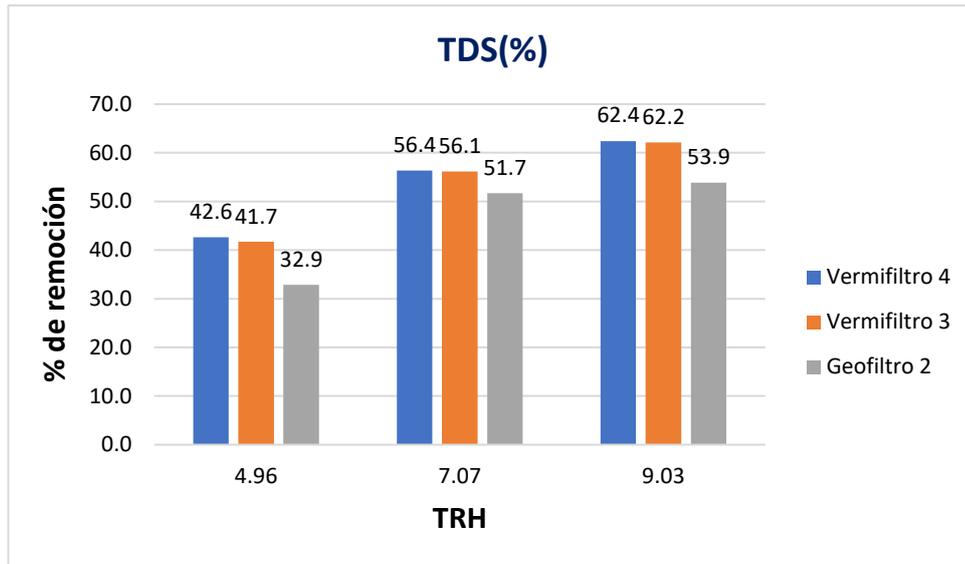


Gráfico 61. Resultado de porcentaje de remoción de TDS con respecto al TRH ejercido por los Vermifiltros 4, 3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 61 se observa que el Vermifiltro 4 obtuvo mayor % eficiencia de remoción, en función al tiempo de 9.03h se removió 62.4% de TDS con un caudal de 553ml/min.

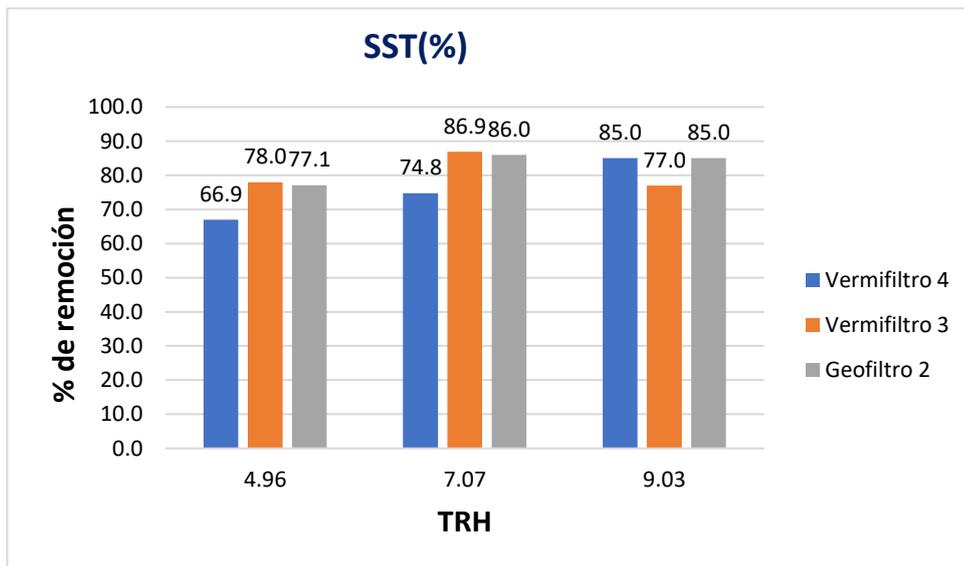


Gráfico 62. Resultado de porcentaje de remoción de SST con respecto al TRH ejercido por los Vermifiltros 4, 3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 62 se observa que el Vermifiltro 3 obtuvo mayor % eficiencia de remoción, en función al tiempo de 7.07h se removió 86.9% de SST con un caudal de 708ml/min.

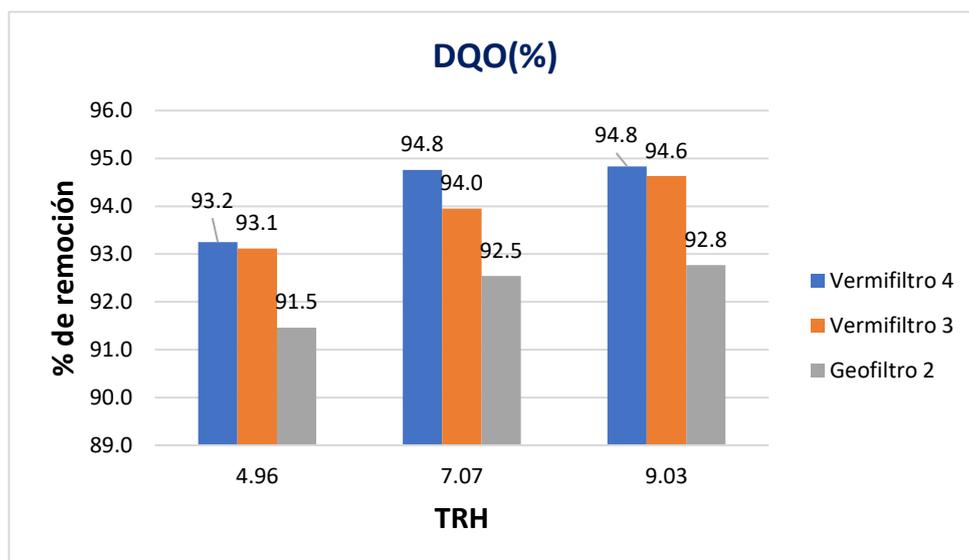


Gráfico 63. Resultado de porcentaje de remoción de DQO con respecto al TRH ejercido por los Vermifiltros 4, 3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 63 se aprecia que el Vermifiltro 4 obtuvo mayor % eficiencia de remoción, en función al tiempo de 7.07h y 9.03h se removi6 94.8% de DQO con un caudal de 708 ml/min y 553ml/min respectivamente.

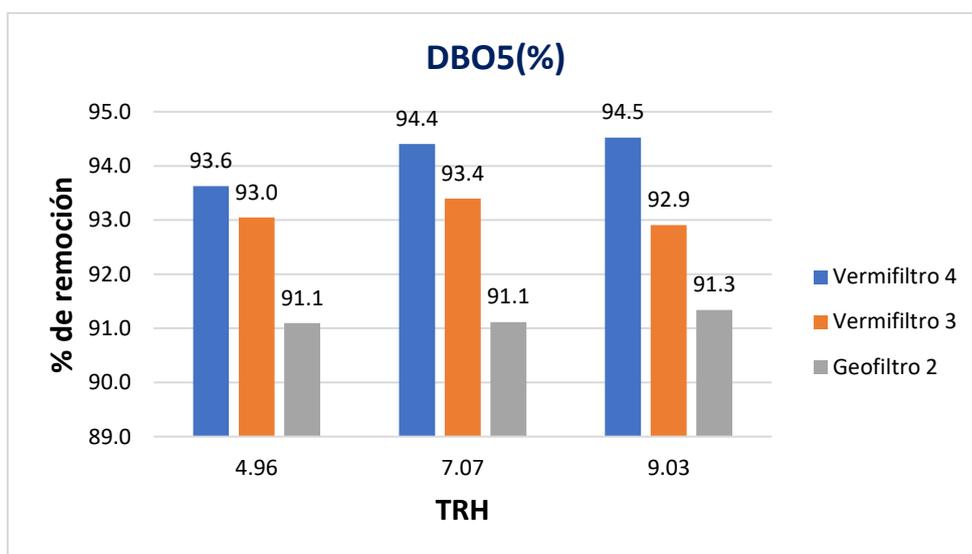


Gráfico 64. Resultado de porcentaje de remoción de DBO₅ con respecto al TRH ejercido por los Vermifiltros 4, 3 y Geofiltro 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 64 se observa que el Vermifiltro 4 obtuvo mayor % eficiencia de remoción, en función al tiempo de 9.03h se removi6 94.5% de DBO₅ con un caudal de 553ml/min.

3.12. Contrastación de Hipótesis

a. Prueba de Normalidad

Hipótesis General

H0: El vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno mejora significativamente la eficiencia en la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.

H1: El vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno no mejora significativamente la eficiencia en la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.

Tabla 41: Prueba de Normalidad para TDS, SST, DQO, DBO5 en el vermifiltro 4

Pruebas de normalidad							
	SPITCH	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TDS	CS	.211	12	.147	.892	12	.123
	CM	.211	12	.147	.892	12	.125
	CI	.160	12	.200*	.925	12	.326
SST	CS	.160	12	.200*	.928	12	.363
	CM	.130	12	.200*	.958	12	.760
	CI	.185	12	.200*	.814	12	.014
DQO	CS	.137	12	.200*	.927	12	.346
	CM	.148	12	.200*	.928	12	.359
	CI	.223	12	.102	.884	12	.100
DBO5	CS	.226	12	.092	.840	12	.028
	CM	.187	12	.200*	.925	12	.334
	CI	.234	12	.067	.891	12	.123

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

Posición usada para la prueba de hipótesis:

Si $P_{value} > \alpha = 0.05$ se acepta la H0

Si $P_{value} < \alpha = 0.05$ se rechaza la H0

En la tabla 41, se observa dos tipos de prueba de normalidad para lo cual utilizamos Shapiro Wilk debido a que la cantidad de muestras es menor a 50 y se ajusta a nuestra investigación.

De los Datos que nos da la significancia indican que $Pvalue > \alpha = 0.05$, por lo tanto, se acepta la H_0 .

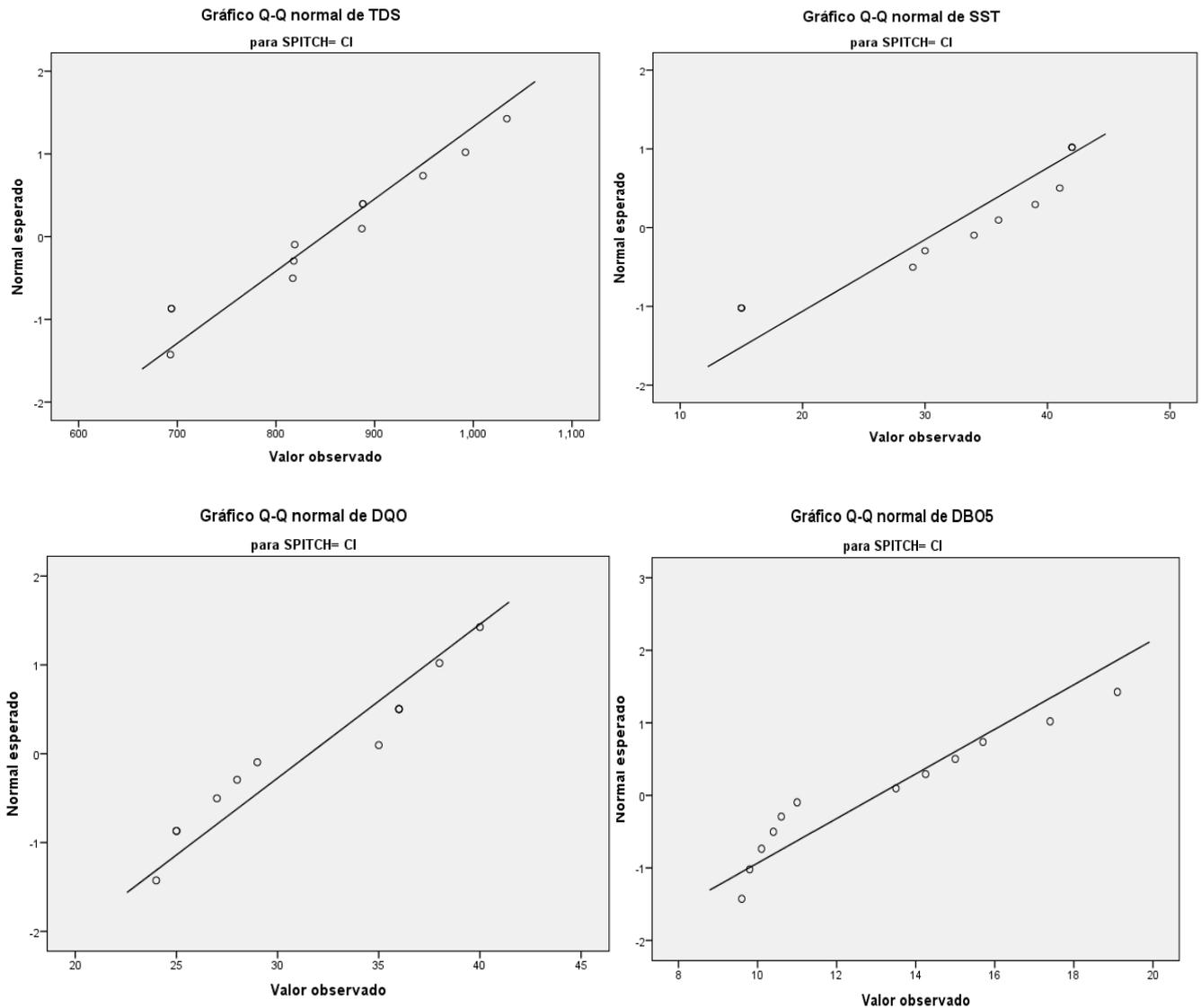


Gráfico 65. Gráfico de normalidad para TDS, SST, DBO2 y DQO en el vermifiltro 4.

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

En el gráfico 65. señala el ajuste de nuestros datos en la distribución normal, La línea representa la distribución normal y los puntos la distribución de nuestra muestra tratada con vermifiltro4. Se observa que los datos están sobre la línea

por lo tanto su comportamiento tiene una distribución normal. Siendo datos paramétricos.

Tabla 42. Prueba de Normalidad para TDS, SST, DQO y DBO5 para el vermifiltro 3.

Pruebas de normalidad							
	SPITCH	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
SST	CS	.173	12	.200*	.911	12	.223
	CM	.130	12	.200*	.958	12	.760
	CI	.185	12	.200*	.814	12	.054
TDS	CS	.218	12	.119	.884	12	.100
	CM	.214	12	.136	.888	12	.110
	CI	.237	12	.062	.862	12	.052
DQO	CS	.149	12	.200*	.914	12	.242
	CM	.152	12	.200*	.936	12	.447
	CI	.158	12	.200*	.909	12	.205
DBO5	CS	.122	12	.200*	.946	12	.583
	CM	.110	12	.200*	.982	12	.992
	CI	.215	12	.132	.851	12	.038

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

Posición usada para la prueba de hipótesis:

Si $Pvalue > \alpha = 0.05$ se acepta la H_0

Si $Pvalue < \alpha = 0.05$ se rechaza la H_0

En la tabla 42, se observa dos tipos de prueba de normalidad para lo cual utilizamos Shapiro Wilk debido a que la cantidad de muestras es menor a 50 y se ajusta a nuestra investigación.

De los Datos que nos da la significancia indican que $Pvalue > \alpha = 0.05$, por lo tanto, se acepta la H_0 .

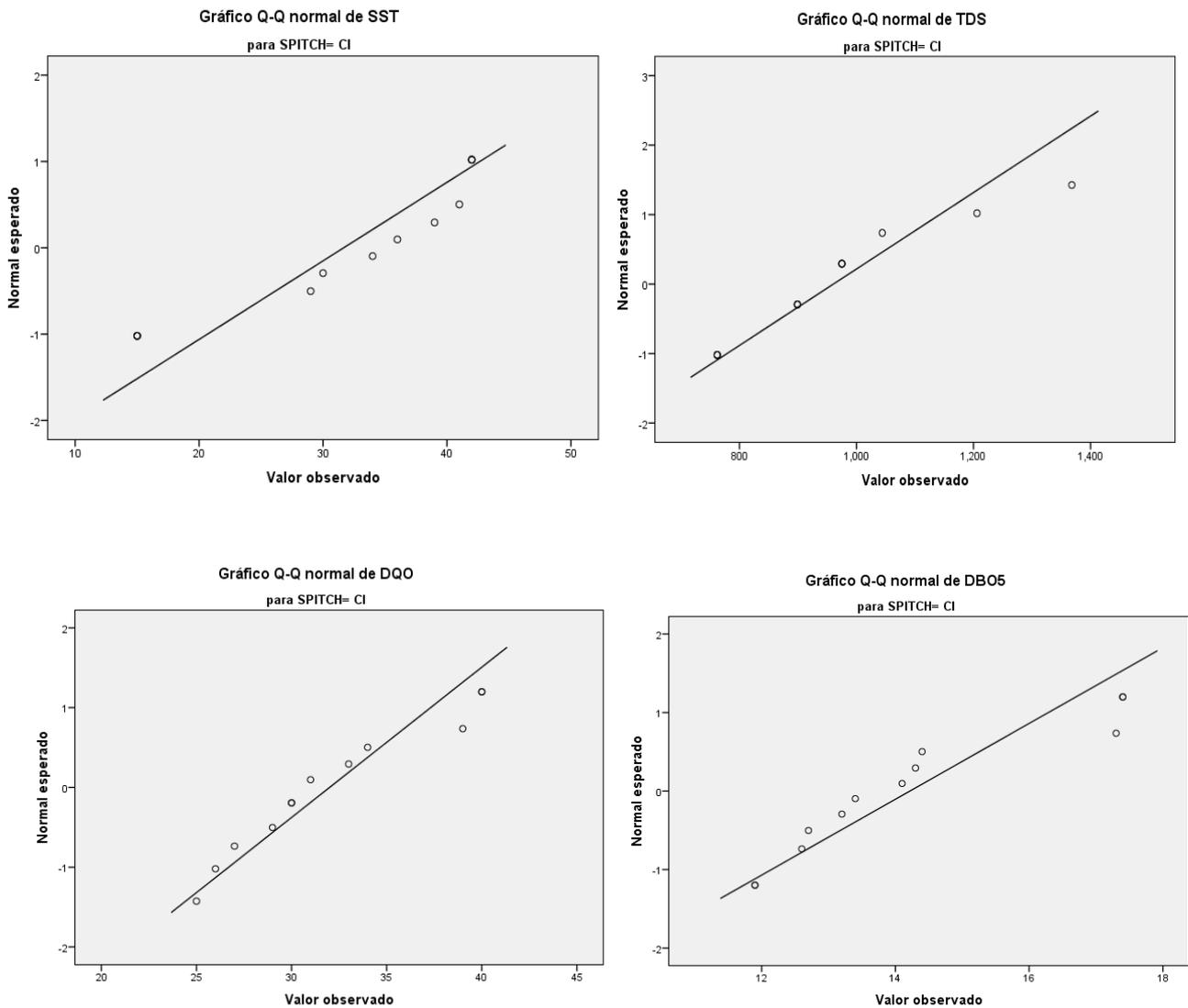


Gráfico 66. Gráfico de normalidad para TDS, SST, DBO2 y DQO en el vermifiltro 3.

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

En el gráfico 66. señala el ajuste de nuestros datos en la distribución normal, La línea representa la distribución normal y los puntos la distribución de nuestra muestra tratada con vermifiltro 4. Se observa que los datos están sobre la línea, por lo tanto, su comportamiento tiene una distribución normal. Siendo datos paramétricos.

Tabla 43. Prueba de Normalidad para TDS, SST, DQO y DBO5 para el Geofiltro

Pruebas de normalidad							
	SPITCH	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TDS	1.00	.167	12	.200*	.890	12	.118
	2.00	.155	12	.200*	.917	12	.264
SST	1.00	.161	12	.200*	.932	12	.403
	2.00	.254	12	.031	.852	12	.058
DQO	1.00	.141	12	.200*	.919	12	.279
	2.00	.125	12	.200*	.950	12	.640
DBO	1.00	.224	12	.098	.895	12	.138
	2.00	.147	12	.200*	.926	12	.344

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

Posición usada para la prueba de hipótesis:

Si $Pvalue > \alpha = 0.05$ se acepta la H_0

Si $Pvalue < \alpha = 0.05$ se rechaza la H_0

En la tabla 43, se observa dos tipos de prueba de normalidad para lo cual utilizamos Shapiro Wilk debido a que la cantidad de muestras es menor a 50 y se ajusta a nuestra investigación.

De los Datos que nos da la significancia indican que $Pvalue > \alpha = 0.05$, por lo tanto, se acepta la H_0 y se puede decir su comportamiento tiene una distribución normal. Siendo datos paramétricos.

Hipótesis Específica 1

H_0 . La cama de lombrices produce efecto significativo en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.

H_1 . La cama de lombrices no produce efecto significativo en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.

Tabla 44. Prueba de Normalidad de las lombrices sobre los parámetros SST, TDS, DQO y DBO5.

Pruebas de normalidad							
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	SPITCH	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TDS	CS	.211	12	.147	.892	12	.123
SST	CS	.160	12	.200 [*]	.928	12	.363
DQO	CS	.137	12	.200 [*]	.927	12	.346
DBO5	CS	.164	12	.200 [*]	.924	12	.321

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

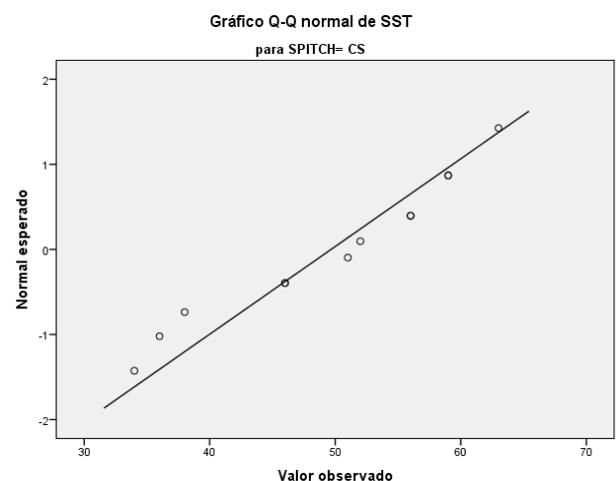
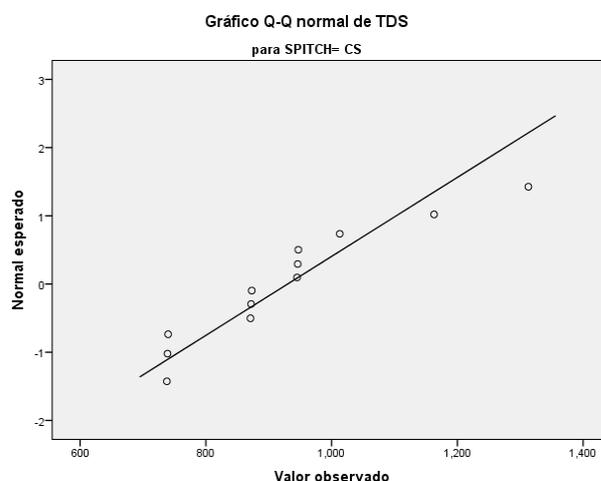
Posición usada para la prueba de hipótesis:

Si $Pvalue > \alpha = 0.05$ se acepta la H_0

Si $Pvalue < \alpha = 0.05$ se rechaza la H_0

En la tabla 44, se observa dos tipos de prueba de normalidad para lo cual utilizamos Shapiro Wilk debido a que la cantidad de muestras es menor a 50 y se ajusta a nuestra investigación.

De los Datos que nos da la significancia indican que $Pvalue > \alpha = 0.05$, por lo tanto, se acepta la H_0 . Entonces se puede decir que la cama de lombrices produce efecto significativo en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.



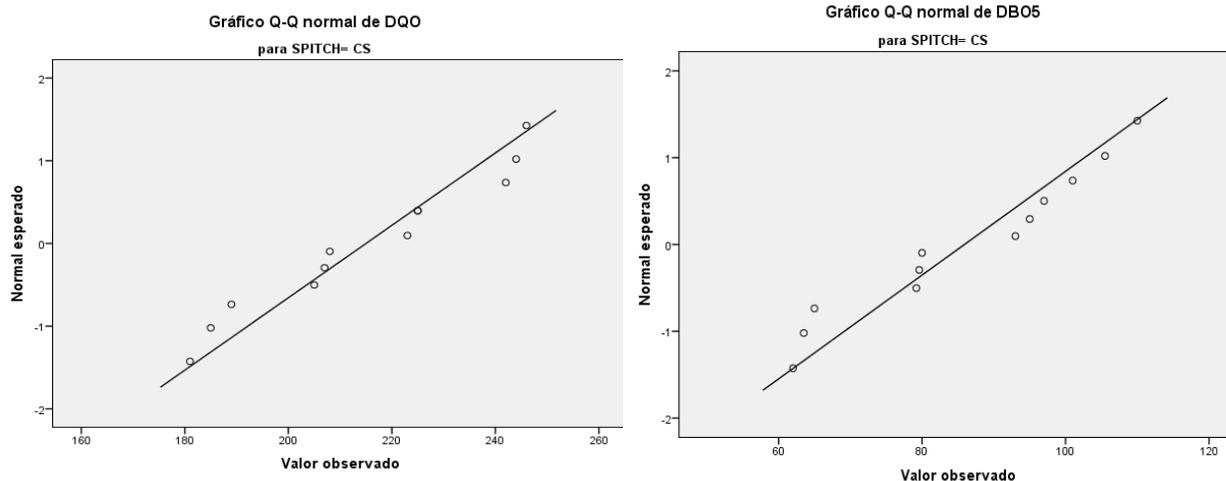


Gráfico 67. Prueba de Normalidad de las lombrices sobre los parámetros SST, TDS, DQO y DBO5.

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

En el grafico 67. señala el ajuste de nuestros datos en la distribución normal, La línea representa la distribución normal y los puntos la distribución de nuestra muestra tratada con vermifiltro 4. Se observa que los datos están sobre la línea, por lo tanto, su comportamiento tiene una distribución normal. Siendo datos paramétricos.

Hipótesis Específica 2

H0. La biopelícula en polipropileno produce efectos significativos en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.

H1. La biopelícula en polipropileno no produce efectos significativos en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.

Tabla 45. Prueba de Normalidad de la biopelícula en polipropileno sobre los parámetros SST, TDS, DQO y DBO5.

Pruebas de normalidad							
	SPITCH	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TDS	CM-CI	.211	12	.119	.884	12	.090
SST	CM-CI	.203	12	.183	.881	12	.091
DQO	CM-CI	.130	12	.200*	.942	12	.524
DBO5	CM-CI	.146	12	.200*	.943	12	.531

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

Posición usada para la prueba de hipótesis:

Si $Pvalue > \alpha = 0.05$ se acepta la H_0

Si $Pvalue < \alpha = 0.05$ se rechaza la H_0

En la tabla 45, se observa dos tipos de prueba de normalidad para lo cual utilizamos Shapiro Wilk debido a que la cantidad de muestras es menor a 50 y se ajusta a nuestra investigación.

De los Datos que nos da la significancia indican que $Pvalue > \alpha = 0.05$, por lo tanto, se acepta la H_0 . Entonces se puede decir que la biopelícula en polipropileno produce efectos significativos en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.

Hipótesis Específica 3

H_0 . El tiempo de retención hidráulica produce efectos significativos en la remoción de carga orgánica y material particulado en el agua residual domésticas.

H_1 . El tiempo de retención hidráulica no produce efectos significativos en la remoción de carga orgánica y material particulado en el agua residual domésticas.

Tabla 46. Prueba de Normalidad del tiempo de retención hidráulica sobre los parámetros SST, TDS, DQO y DBO5.

Pruebas de normalidad							
	TIEMPO	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TDS	1.00	.148	3	.200 [*]	.929	3	.373
	2.00	.150	3	.200 [*]	.910	3	.215
	3.00	.172	3	.200 [*]	.928	3	.355
SST	1.00	.130	3	.200 [*]	.942	3	.524
	2.00	.203	3	.183	.881	3	.091
	3.00	.135	3	.200 [*]	.947	3	.588
DQO	1.00	.130	3	.200 [*]	.942	3	.524
	2.00	.203	3	.183	.881	3	.091
	3.00	.135	3	.200 [*]	.947	3	.588
DBO5	1.00	.161	3	.200 [*]	.976	3	.964
	2.00	.159	3	.200 [*]	.951	3	.653
	3.00	.161	3	.200 [*]	.971	3	.917

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

Posición usada para la prueba de hipótesis:

Si $P\text{value} > \alpha = 0.05$ se acepta la H_0

Si $P\text{value} < \alpha = 0.05$ se rechaza la H_0

En la tabla 46, se observa dos tipos de prueba de normalidad para lo cual utilizamos Shapiro Wilk debido a que la cantidad de muestras es menor a 50 y se ajusta a nuestra investigación.

De los Datos que nos da la significancia indican que $P\text{value} > \alpha = 0.05$, por lo tanto, se acepta la H_0 . Por lo tanto, El tiempo de retención hidráulica produce efectos significativos en la remoción de carga orgánica y material particulado en el agua residual domésticas.

b. Prueba de homocedasticidad

Tabla 47. Prueba de homogeneidad de varianza utilizando el vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno en la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas. (V4, Q3 y TRH3).

PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS				
	Estadístico			
	de Levene	gl1	gl2	Sig.
TIEMPO	,000	3	12	1,000
DQO	,420	3	12	,844
TDS	3,946	3	12	,553
DBO ₅	,164	3	12	,918
SST	,813	3	12	,521

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

Según la prueba de Levene de igualdad de varianzas la significancia de DQO, TDS, DBO₅ y DQO es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis de igualdad de varianzas.

Tomando el criterio usado para la prueba de hipótesis:

Si significación bilateral $> \alpha = 0.05$ se acepta la H_0

Si significación bilateral $< \alpha=0.05$ se rechaza H_0

La significación bilateral de DQO (0.844), TDS (0.553), DBO_5 (0.918) y SST (0.521) son mayores que 0.05

Entonces se acepta la hipótesis nula, es decir.

H_0 : El vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno mejora significativamente la eficiencia en la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.

Tabla 48. Prueba de homogeneidad de varianza para la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas mediante la cama de lombrices (V4, Q3 y TRH3).

PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS				
	Estadístico			
	de Levene	gl1	gl2	Sig.
TIEMPO	,000	3	12	1,000
DQO	,350	3	12	,542
TDS	1,443	3	12	,247
DBO_5	,121	3	12	,612
SST	,323	3	12	,231

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

Según la prueba de Levene de igualdad de varianzas la significancia de DQO, TDS, DBO_5 y DQO es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis de igualdad de varianzas

Tomando el criterio usado para la prueba de hipótesis:

Si significación bilateral $> \alpha=0.05$ se acepta la H_0

Si significación bilateral $< \alpha=0.05$ se rechaza H_0

La significación bilateral de DQO (0.542), TDS (0.247), DBO_5 (0.612) y SST (0.231) son mayores que 0.05

Entonces se acepta la hipótesis nula, es decir.

Ho: La cama de lombrices produce efecto significativo en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.

Tabla 49. Prueba de homogeneidad de varianza para la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas mediante la biopelícula asistido en polipropileno (V4, Q3 y TRH3).

PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS				
	Estadístico			
	de Levene	gl1	gl2	Sig.
TIEMPO	,000	3	12	1,000
DQO	,223	3	12	,231
TDS	,718	3	12	,092
DBO ₅	,104	3	12	,324
SST	,201	3	12	,113

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

Según la prueba de Levene de igualdad de varianzas la significancia de DQO, TDS, DBO₅ y DQO es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis de igualdad de varianzas

Tomando el criterio usado para la prueba de hipótesis:

Si significación bilateral $> \alpha=0.05$ se acepta la Ho

Si significación bilateral $< \alpha=0.05$ se rechaza Ho

La significación bilateral de DQO (0.231), TDS (0.92), DBO₅ (0.324) y SST (0.113) son mayores que 0.05

Entonces se acepta la hipótesis nula, es decir.

Ho: La biopelícula en polipropileno produce efectos significativos en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.

Tabla 50. Prueba de homogeneidad de varianza para la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas respecto al tiempo de retención hidráulica (V4, Q3 y TRH3).

PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS				
	Estadístico			
	de Levene	gl1	gl2	Sig.
TIEMPO	,000	3	12	1,000
DQO	,420	3	12	,844
TDS	3,946	3	12	,553
DBO ₅	,164	3	12	,918
SST	,813	3	12	,521

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

Según la prueba de Levene de igualdad de varianzas la significancia de DQO, TDS, DBO₅ y DQO es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis de igualdad de varianzas.

Tomando el criterio usado para la prueba de hipótesis:

Si significación bilateral $> \alpha=0.05$ se acepta la Ho

Si significación bilateral $< \alpha=0.05$ se rechaza Ho

La significación bilateral de DQO (0.844), TDS (0.553), DBO₅ (0.918) y SST (0.521) son mayores que 0.05.

Entonces se acepta la hipótesis nula, es decir.

Ho: El tiempo de retención hidráulica produce efectos significativos en la remoción de carga orgánica y material particulado en el agua residual domésticas.

C. Prueba de ANOVA

Tabla 51. Prueba de análisis de varianza (ANOVA) utilizando el vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno en la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas. (V4, Q3 y TRH3).

Pruebas de los efectos inter-sujetos						
Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	PH	4626155,354 ^a	2	2313077,677	32,206	,108
	DQO	160771,802 ^b	2	80385,901	12,168	,000
	DBO5	42360365,116 ^c	2	21180182,558	2,245	,000
	TDS	1130693,131 ^d	2	565346,565	19,070	,000
	SST	9960,057 ^f	2	4980,028	22,445	,000
Intersección	PH	78635717,541	1	78635717,541	1094,886	,108
	DQO	2032360,024	1	2032360,024	307,642	,000
	DBO5	754372476,214	1	754372476,214	79,952	,000
	TDS	309364336,667	1	309364336,667	10435,275	,000
	SST	473361,778	12	473361,778	2133,427	,000
vermifiltro	PH	4626155,354	12	2313077,677	32,206	,008
	DQO	160771,802	12	80385,901	12,168	,000
	DBO5	42360365,116	12	21180182,558	2,245	,000
	TDS	1130693,131	12	565346,565	19,070	,000
	SST	9960,057	12	4980,028	22,445	,000
Error	PH	20468967,184	9	71820,937		
	DQO	1882781,361	9	6606,250		
	DBO5	2689067136,537	9	9435323,286		
	TDS	8449114,782	9	29646,017		
	SST	63235,412	9	221,879		
Total	PH	105139972,357	12			
	DQO	4380495,000	12			
	DBO5	3580511474,000	12			
	TDS	323303921,000	12			
	SST	591103,000	12			
Total corregida	PH	25095122,539	11			
	DQO	2043553,163	11			
	DBO5	2731427501,653	11			
	TDS	9579807,913	11			
	SST	73195,469	11			

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

Según la prueba de los efectos Inter-sujetos la significancia de pH, DQO, TDS, DBO₅ y DQO es menor que 0.05, quiere decir que la interacción entre los factores es significativo.

Tomando el criterio usado para la prueba de los efectos Inter sujetos:

Si significación bilateral=0.000<0.05

Se denota que en la fila de vermifiltro con pH, DQO, DBO₅, TDS, SST recoge el efecto de interacción ($p=0.008<0.05$), ($p=0.000<0.05$), ($p=0.000<0.05$), ($p=0.000<0.05$), ($p=0.000<0.05$) respectivamente, lo que supone que el efecto del vermifiltro actúa en interacción con los niveles de pH, DQO, DBO₅, TDS, SST.

Tabla 52. Prueba de análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas mediante la cama de lombrices (V4, Q3 y TRH3).

Pruebas de los efectos inter-sujetos						
Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	pH	,206 ^a	3	,069	284,322	,000
	DQO	5692,667 ^b	3	1897,556	320,714	,000
	DBO5	5733,223 ^c	3	1911,074	2,255	,000
	TDS	283170,000 ^d	3	94390,000	16,778	,001
	SST	867,333 ^f	3	289,111	13,822	,002
Intersección	pH	581,856	1	581,856	2407680,55 2	,000
	DQO	554700,000	1	554700,000	93752,113	,000
	DBO5	66052,841	1	66052,841	77,956	,000
	TDS	10378800,000	1	10378800,000	1844,874	,000
	SST	29601,333	1	29601,333	1415,203	,000
Lombrices	pH	,206	12	,069	284,322	,000
	DQO	5692,667	12	1897,556	320,714	,000
	DBO5	5733,222	12	1911,074	2,255	,000
	TDS	283170,000	12	94390,000	16,778	,001
	SST	867,333	12	289,111	13,822	,002
Error	pH	,002	8	,000		
	DQO	47,333	8	5,917		
	DBO5	6778,487	8	847,311		
	TDS	45006,000	8	5625,750		
	SST	167,333	8	20,917		
Total	pH	582,064	12			
	DQO	560440,000	12			
	DBO5	78564,550	12			
	TDS	10706976,000	12			
	SST	30636,000	12			
corregida	pH	,208	11			
	DQO	5740,000	11			
	DBO5	12511,709	11			
	TDS	328176,000	11			
	SST	1034,667	11			

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

Según la prueba de los efectos Inter-sujetos la significancia de pH, DQO, TDS, DBO₅ y DQO es menor que 0.05, quiere decir que la interacción entre los factores es significativo.

Tomando el criterio usado para la prueba de los efectos Inter sujetos:

Si significación bilateral=0.000<0.05

Se denota que en la fila de Lombrices con pH, DQO, DBO₅, TDS, SST recoge el efecto de interacción (p=0.000<0.05), (p=0.000<0.05), (p=0.000<0.05), (p=0.001<0.05), (p=0.002<0.05) respectivamente, lo que supone que el efecto de las lombrices actúa en interacción con los niveles de pH, DQO, DBO₅, TDS, SST.

Tabla 53. Prueba de análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas mediante la biopelícula asistido en polipropileno (V4, Q3 y TRH3).

Pruebas de los efectos inter-sujetos						
Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	pH	,156 ^a	3	,052	12,272	,002
	DQO	355,583 ^b	3	118,528	83,667	,000
	DBO5	108,261 ^c	3	36,087	35,532	,000
	TDS	140796,250 ^d	3	46932,083	103,832	,000
	SST	1218,000 ^f	3	406,000	29,349	,000
Intersección	pH	604,210	1	604,210	142446,415	,000
	DQO	11970,083	1	11970,083	8449,471	,000
	DBO5	2039,717	1	2039,717	2008,337	,000
	TDS	8624160,750	1	8624160,750	19080,002	,000
	SST	12033,333	1	12033,333	869,880	,000
Biopelícula en polipropileno	pH	,156	12	,052	12,272	,002
	DQO	355,583	12	118,528	83,667	,000
	DBO5	108,261	12	36,087	35,532	,000
	TDS	140796,250	12	46932,083	103,832	,000
	SST	1218,000	12	406,000	29,349	,000
Error	pH	,034	8	,004		
	DQO	11,333	8	1,417		
	DBO5	8,125	8	1,016		
	TDS	3616,000	8	452,000		
	SST	110,667	8	13,833		
Total	pH	604,400	12			
	DQO	12337,000	12			
	DBO5	2156,103	12			
	TDS	8768573,000	12			
	SST	13362,000	12			
Total corregida	pH	,190	11			
	DQO	366,917	11			
	DBO5	116,386	11			
	TDS	144412,250	11			
	SST	1328,667	11			

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.24, 2019

Según la prueba de los efectos Inter-sujetos la significancia de pH, DQO, TDS, DBO₅ y DQO es menor que 0.05, quiere decir que la interacción entre los factores es significativo.

Tomando el criterio usado para la prueba de los efectos Inter sujetos:
Si significación bilateral=0.000<0.05

Se denota que en la fila de biopelícula en polipropileno con pH, DQO, DBO₅, TDS, SST recoge el efecto de interacción (p=0.002<0.05), (p=0.000<0.05), (p=0.000<0.05), (p=0.000<0.05), (p=0.000<0.05) respectivamente, lo que supone que el efecto de la biopelícula en polipropileno actúa en interacción con los niveles de pH, DQO, DBO₅, TDS, SST.

Tabla 54. Prueba de análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas respecto al tiempo de retención hidráulica (V4, Q3 y TRH3).

Pruebas de los efectos inter-sujetos						
Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	PH	111881,130 ^a	2	55940,565	2,061	,132
	DQO	6200,222 ^b	2	3100,111	,340	,712
	DBO5	667793716,463 ^c	2	333896858,231	39,303	,000
	TDS	670177,389 ^d	2	335088,694	15,338	,000
	SST	1757,407 ^f	2	878,704	2,999	,054
Intersección	PH	46439559,259	1	46439559,259	1711,294	,000
	DQO	1208405,333	1	1208405,333	132,641	,000
	DBO5	468408395,593	1	468408395,593	55,136	,000
	TDS	113461350,083	1	113461350,083	5193,537	,000
	SST	216993,343	1	216993,343	740,513	,000
TIEMPO	PH	111881,130	2	55940,565	2,061	,072
	DQO	6200,222	2	3100,111	,340	,002
	DBO5	667793716,463	2	333896858,231	39,303	,000
	TDS	670177,389	2	335088,694	15,338	,000
	SST	1757,407	2	878,704	2,999	,004
Error	PH	2849395,611	10	27137,101		
	DQO	956584,444	10	9110,328		
	DBO5	892026787,944	9	8495493,219		
	TDS	2293897,528	10	21846,643		
	SST	30768,250	10	293,031		
Total	PH	49400836,000	11			
	DQO	2171190,000	11			
	DBO5	2028228900,000	11			
	TDS	116425425,000	11			
	SST	249519,000	11			

	PH	2961276,741	10
	DQO	962784,667	10
Total corregida	DBO5	1559820504,407	10
	TDS	2964074,917	10
	SST	32525,657	10

Fuente: Procesamiento de datos en IBM *SPSS Statistics v.24, 2019*

Según la prueba de los efectos Inter-sujetos la significancia de pH, DQO, TDS, DBO₅ y DQO es menor que 0.05, quiere decir que la interacción entre los factores es significativo.

Tomando el criterio usado para la prueba de los efectos Inter sujetos:
Si significación bilateral=0.000<0.05.

Se denota que en la fila de TRH con pH, DQO, DBO₅, TDS, SST recoge el efecto de interacción (p=0.072<0.05), (p=0.002<0.05), (p=0.000<0.05), (p=0.000<0.05), (p=0.004<0.05) respectivamente, lo que supone que el efecto de TRH actúa en interacción con los niveles de pH, DQO, DBO₅, TDS, SST.

IV. DISCUSIÓN

En esta investigación se evidencia la eficiencia del vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas. Se muestran eficiencias de remoción máximo de 94.5% (169.2mg/l) de DBO5 y 94.5% (459mg/l) de DQO en el vermifiltro 4 utilizando 10000 lombrices/m³ con un caudal de 553ml/min (y carga hidráulica de 0.012 m³/m²*h) en un tiempo de retención hidráulica de 9.03h, mientras que Singh, Rajneesh, Bhunia, Pushpendu y Dash, Rajesh (2019) obtuvieron un 94.99% de remoción de DQO en las aguas residuales de cervecería empleando EWD de 10000 lombrices/m³ y HLR de 1.84 m³/m², en relación con el tiempo de retención hidráulica, siendo el óptimo 26 horas. Así también Vizcaino, Lissette y Fuentes, Natalia (2016), obtuvieron un 70.3% de remoción de DBO5 empleando lombrices *Esenia foetida*.

Así mismo se muestra eficiencias de remoción máximo de 86.9% (93mg/l) de SST en el vermifiltro3, y 86%(92mg/l) de remoción de SST en el geofiltro 2, ambos en un tiempo de 7.07 horas a un caudal de 708ml/min (y carga hidráulica de 0.015 m³/m²*h). En cuanto al TDS el vermifiltro4 resulto ser más eficiente ya que logro remover un 62.4% (1153mg/l) en comparación al geofiltro se muestra 53.9% (995mg/l) en un tiempo de 9.03h. Mientras que Kumar, Tarun; Rajpal, Ankur; Bhargava, Renu y Hari k. (2014) obtuvieron mayores eficiencias de SST y TDS con 2.5 m³/m²d de carga hidráulica, la eficiencia de remoción con lombrifiltro fue de 90% y 82% y con geofiltro fue de,79% y 56% respectivamente.

En esta investigación se aporta información nueva referente a la remoción ejercida por la cama de lombrices, en este sentido se tuvo mayor eficiencia en el vermifiltro 4 en el cual se inocularon 10000 lombrices *Esenia foetida* por m³, se obtuvieron remociones de 64.5% (115.5mg/l) de DBO5, 61.8% (299mg/l) de DQO, 64% (64mg/l) SST y 60% (1108mg/l)TDS aplicado a un TRH3 de 9.03h y Caudal de 553 ml/min. Mientras la remoción en sistema completo de vermifiltración que obtuvieron Acuña, José y Reyes Jean (2017) fue de 97,07 %DBO5y 97,28% de DQO.

También se aporta información referente a la remoción ejercida por la biopelícula en polipropileno, notándose máximas eficiencias de remoción de 12.72% de DBO₅, 6.85% DQO, 13% SST y 1.62% TDS. Mientras que Manzanares realizó una investigación de la remoción en un sistema que emplea polipropileno como único medio filtrante, como resultado obtuvo una remoción de 80% de materia orgánica (DBO₅) con un caudal de 25ml/min.

En esta investigación con respecto al tiempo de retención hidráulica empleado en el vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno (todo el sistema), se evidencio mayor eficiencia de remoción empleando TRH3 de 9.03h con un caudal de 553ml/l en el cual removió 94.5% de DBO₅, 94.8% de DQO, 85% SST y 62.4 de TDS logrando reducciones de DBO₅,DQO,SST,TDS en 9.8mg/l, 25mg/l,15 mg/l y 694 mg/l respectivamente. Mientras que Mitma, Yomira (2017) emplea tres caudales (50ml/min, 75ml/min y 100ml/min) para ver cuál es el más eficiente respecto a la remoción, el caudal más eficiente fue el de 50ml/min respecto al volumen de su reactor; se obtuvieron eficiencias de 83.87% en DBO₅ y 72.43% en DQO. De ello se puede deducir a mayor tiempo de retención hidráulica y menor Caudal mayor será la eficiencia de remoción.

V. CONCLUSIÓN

En esta investigación el tratamiento de aguas residuales domésticas con vermifiltro es eficiente en la remoción y reducción de material particulado y carga orgánica; las lombrices y la colonia de bacterias presentes en todo el reactor digieren contaminantes del agua en función al tiempo de retención hidráulica (TRH); a la vez la digestión y el TRH son directamente proporcional (D.P); se muestra % eficiencia de remoción máximo de 62.4% (1153mg/l) de TDS, 94.8% (459mg/l) de DQO y 94.5% (169.2mg/l) de DBO5 en el vermifiltro 4 utilizando 10000 lombrices/m³, TRH de 9.03h con un caudal de 553ml/min (y carga hidráulica de 0.012 m³/m²*h) y también se muestra % eficiencia de remoción máximo de 86.9% (93mg/l) de SST en el vermifiltro 3 utilizando 5000 lombrices/m³, TRH de 7.07h con un caudal de 708ml/min (y carga hidráulica de 0.015 m³/m²*h).

Las lombrices en esta investigación son eficientes en la remoción y reducción de material particulado y carga orgánica; la eisenia *foetida* se encuentra en la primera capa de los vermifiltros 4 y 3; estas digieren contaminantes del agua en función al TRH; se muestra % eficiencia de remoción máximo de 60% (1108mg/l) de TDS, 64% (64mg/l) de SST, 61.8% (299mg/l) de DQO y 64.5% (115.5mg/l) de DBO5 en el vermifiltro 4 utilizando 10000 lombrices/m³ con un TRH 9.03h con un caudal de 553ml/min (y carga hidráulica de 0.012 m³/m²*h).

La biopelícula en esta investigación es eficiente en la remoción y reducción de material particulado y carga orgánica; la colonia de bacterias presentes en el polipropileno digieren contaminantes del agua en función al TRH; se muestra % eficiencia de remoción máximo de 1.62% (30mg/l) de TDS y 13% (13mg/l) de SST en el vermifiltro 4 y el vermifiltro 3 con un TRH de 9.03h con un caudal de 553ml/min (y carga hidráulica de 0.012 m³/m²*h) y también se muestra % eficiencia de remoción máximo de 6.85% (36mg/l) de DQO y 12.72% (24.55mg/l) de DBO5 en el vermifiltro 3 con un TRH de 7.07h con un caudal de 708ml/min (y carga hidráulica de 0.015 m³/m²*h).

El tiempo de retención hidráulica (TRH) en esta investigación demuestra que a mayor TRH y con un menor caudal (Qw) los agentes como bacterias y lombrices actúan mejor en la remoción y reducción de material particulado y carga orgánica; por lo cual se evidencio mayor eficiencia de remoción empleando TRH3 de 9.03h con un caudal de 553ml/l en el cual removió 94.5% de DBO5, 94.8% de DQO, 85% SST y 62.4 de TDS logrando reducciones de DBO5,DQO,SST,TDS en 9.8mg/l, 25mg/l,15 mg/l y 694 mg/l respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

- En las posteriores investigaciones se sugiere diseñar Vermifiltros a menor escala para poder hacer pruebas de remoción con diferentes cargas orgánicas; ya que si son reactores grandes se usará más de 2500L.
- Para determinar la remoción de la biopelícula con más exactitud se recomienda hacer otro reactor a pequeña escala para colocar puro polipropileno asistido con biopelícula para su máxima eficiencia en remoción de carga orgánica y material particulado.
- Para determinar los tipos de colonia de bacterias se recomienda hacer un estudio de los tipos de bacterias que sintetizan la materia orgánica y el material particulado.
- Se debería hacer un estudio de la velocidad de remoción de los agentes como las lombrices y bacterias en los vermifiltros.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, Khaled y HAMMAM, Gina. Correlation between Biochemical Oxygen Demand and Chemical Oxygen Demand for Various Wastewater Treatment Plants in Egypt to Obtain the Biodegradability Indices. IJSBAR, 13(1): 42-48,2014.

ISSN: 2307-4531

ACUÑA, José y REYES, Jean. Eficiencia de *lumbricus terrestris* y *eisenia foetida* en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua- Amazonas, 2015. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Bagua: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, 2017. 103 pp.

Disponible en:

<http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1208/JOSE%20EDGARDO%20ACU%C3%91A%20MARRUFO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ADUGNA, Amare, ADRIANISA, Harinaivo, YACOUBA, Konate y MAIGA, Amadou. Fate of filter materials and microbial communities during vermifiltration process. Journal of Environmental Management [en línea]. Enero 2019, vol.242, n°1. [Fecha de consulta: 01 de mayo del 2019].

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719305432>

ISSN: 0301-4797

ALBARRÁN, Erik. El potencial redox y la espontaneidad de las reacciones electroquímicas. Universidad tecnológica de Mexico, 2(3): 336-346, 2008.

ISSN: 1870-9095

Autoridad Nacional del Agua, Tratamiento sanitario de aguas residuales. 2014. Disponible en: <http://tratamientosanitarioideaguasresiduales.com>

APHA-AWWA-WPCF. Standard methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington: American Public Health Association, 1994. 1830pp.

ISBN: 9788479780319

ARORA, Sudipti, KAZMI, A. The effect of seasonal temperature on pathogen removal efficacy of vermifilter for wastewater treatment. Water Research [en línea]. Febrero 2015, vol. 74, n°1. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2018].

Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135415000743>

ISSN: 0043-1354

BROTONS, José. La maximización del beneficio en las empresas depuradoras de aguas residuales. el caso de Valencia (España). Estudios Gerenciales [en línea]. Julio 2011, n°27. [Fecha de consulta: 19 de octubre de 2018].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0123592311701735>

ISSN: 0123-5923

CÁCERES, Deybi y CALISAYA, Gisela. Evaluación de tres sistemas de depuración para determinar su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Moquegua, año 2017. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Moquegua: Universidad José Carlos Mariátegui, 2018. 181pp.

Disponible en:

http://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/ujcm/424/Gisela_Deybi_tesis_titulo_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CAICEDO, Carolina, CRESPO, Lina, CRUZ, Hever y ALVAREZ, Norman. Propiedades termo-mecánicas del Polipropileno: Efectos durante la reprocesamiento. Ing. invest. y tecnol. [en línea]. Setiembre 2017, vol.18, n°3 [Fecha de consulta: 28 de octubre de 2018].

Disponible en:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432017000300245&lng=es&nrm=iso

ISSN: 1405-7743.

CHÁVEZ, Julio. Eficiencia de un biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2017. 59pp.

Disponible en:

<http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1734/EFICIENCIA%20DE%20UN%20BIOFILTRO%20EN%20LA%20REDUCCI%20C3%93N%20DE%20CARGA%20ORG%20C3%81NICA%20DE%20UN%20EFLUENTE%20INDUSTRIAL%20EN%20LA%20CIUD.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CHAITRA, H., ARAVIND, H. y SENAPATI, Akul. Removal of total suspended solids and turbidity by actiflo process using micro-sand. IRJET, 7(4):2964-2970, 2017.

ISSN:2395-0056

CHAVEZ, Mercedes, García, Daury y García, Oscar. Determinacion de nitrógeno total y amoniacal con micro digestor y destilador labcongo. Mexico: Universidad autónoma del estado de Mexico, 2016, 15pp.

Disponible

en:

http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/69975/secme-5212_1.pdf?sequence=1

CHEN, Zhongbing, HU Shanshan, HU Chengxiao, HUANG Liangliang, LIU Hongbo, VYMAZAL Jan. Preliminary investigation on the effect of earthworm and vegetation for sludge treatment in sludge treatment reed beds system, Environ Sci. Pollut Res [en línea]. Febrero 2016, [Fecha de consulta: 02 de Junio del 2019]. Disponible en:

<https://sci-hub.tw/10.1007/s11356-016-6399-5>

ISSN: 11957-11963

CHEN, Z, ZAYED, T y QASEM, A. An Efficiency-Centred Hierarchical Method to Assess Performance of Wastewater Treatment Plants, Canadá: Concordia University, 1(1):3-8, Agosto 2014.

ISSN: 1735-6865

CHUNG, Betty. Control de los contaminantes químicos en el Perú Perú: Rev. Med. Exp. Salud publica [en línea]. 2008, vol.25, n°4. [Fecha de consulta: 15 de junio del 2019].

Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v25n4/a12v25n4.pdf>

ISSN: 1726-4634.

CORCORAN, E. Sick water? The central role of wastewater management in sustainable development: a rapid response assessment [en línea]. Noruega: UNEP, 2010 [fecha de consulta: 14 de setiembre de 2018].

Disponible en: https://www.susana.org/_resources/documents/default/3-2236-22-1428912362.pdf

ISBN: 9788277010755

CROSSMAN, J., FUTTER, M., ELLIOTT, J., WHITEHEAD, P., JIN, L., DILLON, P. Optimizing land management strategies for maximum improvements in lake dissolved oxygen concentrations. Science of The Total Environment [en línea]. Febrero 2019, vol.652, n°1. [Fecha de consulta: 30 de abril del 2019].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718340439>

ISSN: 0048-9697

DA SILVA, Tadeu. Evaluation of digestion procedures in Kjeldahl method to quantify total nitrogen in analyses applied to animal nutrition. Universidade Federal de Viçosa, 38(1): 45-51, 2016.

ISSN: 1806-2636

DIAZ, Eduardo. Lombricultura una alternativa de producción. España: Agencia de desarrollo económico y comercio exterior Municipio capital de la Rioja, 2002, 57pp.

Disponible en:

<http://www.biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>

DÍAZ, Luis. Modelo matemático para la descripción de la evolución de la población de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en condiciones de producción de compost. Tesis (Título de Licenciado en Ciencias Ambientales). España: Universidad Politécnica de Valencia, 2014, 42pp.

Disponible en:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/43651/Memoria.pdf?sequence=1>

DÍEZ, Rubén, CASTRILLO, María, CASAO, Marta y TEJERO, Iñaki. Model-based evaluation of a trickling filter facility upgrade to biological nutrient removal. *Science of The Total Environment* [en línea]. Abril 2019, vol.123, n°1. [Fecha de consulta: 01 de abril del 2019].

Disponible

en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719301536>

ISSN: 0048-9697

DI, Wanyin y XING, Meiyan, YANG, Jian. Investigation on the difference between biopelícula morphologies of the vermifilter and conventional biofilter with the flow cytometer. *Bioresource Technology*. [en línea]. Septiembre 2016, vol. 216, n°1. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2018].

Disponible

en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416306733>

ISSN: 0960-8524

ENUJIUGHA, V y NWANNA, L. Aquatic Oil Pollution Impact Indicators. *Federal University of Technology*, 8(2):71-75,2016.

ISSN: 1119-8362

ENVIROMENTAL protection agency. Parameters oy water quality. Irlanda: E.P.A, 2001,133 pp.

ISBN: 1840960153

GARG, Payal, GUPTA, Asha y SATYA, Santos. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology* [en línea]. Febrero 2006, vol.97, n°3. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852405001707>
ISSN: 09608524

GARGALLO, Sara, SOLIMENO, Alessandro y MARTÍN, Miguel. Which are the most sensitive parameters for suspended solids modelling in free water surface constructed wetlands?. *Environmental Modelling & Software* [en línea]. Abril 2018, vol.102, n°1. [Fecha de consulta: 1 de mayo del 2019]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136481521730289X>
ISSN: 1364-8152

GASTAÑAGA MC. Saneamiento y salud. *Rev Peru Med Exp Salud Publica* [en línea]. Marzo 2018, vol. 35 n°2. [Fecha de consulta: 05 de junio del 2019]. Disponible en : <https://www.scielo.org/pdf/rpmpesp/2018.v35n2/181-182/es>

GUPTA, Himanshu. A review on effectiveness of earthworms for treatment of wastewater. *IJEDR*, 3(3): 1-4, 2015.
ISSN: 2321-9939

GUPTA, R. y GARG, V. Vermitechnology for Organic Waste Recycling. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, Elsevier [en línea]. Diciembre 2017, n°1. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2018]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B97804444636645000058>
ISBN: 97804444636645

HERNÁNDEZ, Roberto et al. Metodología de la investigación científica. 5ta Edición. México D.F.: Mc Graw Hill, 2010, 656pp.
ISBN: 978-607-15-0291-9

HUÍZAR, Rafael, CARRILLO, Joel y JÁREZ, Faustino. Fluoruro en el agua subterránea: niveles, origen y control natural en la región de Tenextepango, Morelos, México. Boletín del instituto geográfico [en línea]. Agosto 2016. n°90. [Fecha de consulta: 19 de octubre de 2018].

Disponible

en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0188461116300358>

ISSN: 0188-4611

IMPA J.A., NAGARAJAPPA D., KRISHNE K. y MANJUNATH N. Domestic Wastewater Treatment by Electrocoagulation Using Copper and Aluminum Electrodes. IJIRSET Environment [en línea]. Junio 2015, vol.4, n°6. [Fecha de consulta: 27 de octubre del 2018].

Disponible en: http://www.ijirset.com/upload/2015/june/6_Domestic.pdf

ISSN: 2347-6710

IWAMOTO, Shinichiro, YAMAMOTO, Shigehiro, HWAN, Seung, ITO, Hirokazu y ENDO, Takashi. Mechanical and Thermal Properties of Polypropylene Composites Reinforced with Lignocellulose Nanofibers Dried in Melted Ethylene-Butene Copolymer. Materials [en línea]. Octubre 2014, vol.7, n°10. [Fecha de consulta: 27 de octubre del 2018].

Disponible en: <https://sci-hub.tw/10.3390/ma7106919>

ISSN: 1996-1994

JATIN, Patel. Wastewater Treatment by Vermifiltration: A Review. IJLTEMAS, 1(5): 186-190, 2018.

ISSN: 2278-2540

JEEVITHA P., KIRAN B., MANOHARA B., SHAM K. y NAGARAJAPPA D. Study on Application and validation of Vermifiltration in Dairy Effluent Treatment. IJIRSET [en línea]. Agosto 2016, vol.5, n°8. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2018].

Disponible en: DOI: 10.15680 / IJIRSET.2016.0508113

ISSN: 2319-8753

JIANG, Luhua, LIU, Yunguo, ZENG, Guangming, WANG, Hui, ZHOU, Lu, TAN, Xiaofei, HUANG, Binyan, LIU, Shaobo y Liu. The use of microbial-earthworm ecofilters for wastewater treatment with special attention to influencing factors in performance: A review. *Biorresource Technology ScienceDirect* [en línea]. Noviembre 2016, n°1. [Fecha de consulta: 19 de octubre de 2018].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415015369>

ISSN: 0960-8524

Kholisa, B., Fester, V. y Haldenwang, R. Prediction of filtrate suspended solids and solids capture based on operating parameters for belt filter press. *Chemical Engineering Research and Design*. [en línea]. Junio 2018, vol.134, n°1. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2018].

Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263876218301795>

ISSN: 0263-8762

KÕLLI, Raimo y RANNIK, Kaire. Matching Estonian humus cover types' (pro humus forms') and soils' classifications. *Applied Soil Ecology* [en línea]. Mayo 2018, vol.123, n°1. [Fecha de consulta: 22 de octubre del 2018].

Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139316307284>

ISSN: 0929-1393

KUMAR, Tarun, RAJPAL, Ankur, BHARGAVA, Renu y Hari K. Performance evaluation of vermifilter at different hydraulic loading rate using river bed material. *ScienceDirect* [en línea]. Enero 2014, n°1. [Fecha de consulta: 11 de octubre de 2018].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857413004527>

ISSN: 0925-8574

KUMAR, Tarun, BHARGAVA, Renu, PRASAD, Hari y PRUTHI, Vikas. Evaluation of vermifiltration process using natural ingredients for effective wastewater treatment. *Ecological Engineering*, [en línea]. Febrero 2015, vol.75, n°1. [Fecha de consulta: 17 de octubre de 2018].

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857414006405>

ISSN: 0925-8574

KUMAR, Krishna. Seasonal variations and spatial analysis of drinking water suitability of dindi reservoir catchment area using gis, mahbubnagar and nalgonda districts, telangana state, INDIA. *Revista Earth Science*, 8(5): 21-30, 2018.

ISSN: 2249-555X

LARIOS, Fernando, GONZÁLES, Carlos y MORALES, Yennifer. Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú, Lima. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, Vol. 2, n° 2. (1):09-25, Agosto-Octubre 2015

ISSN: 2311 – 7915

LATIF, Robabeh, MALEK, Masoumeh y CSUZDI, Csaba. When morphology and DNA are discordant: Integrated taxonomic studies on the *Eisenia fetida/andrei* complex from different parts of Iran (Annelida, Clitellata: Megadrili). *European Journal of Soil Biology* [en línea]. Agosto 2017, vol.81, n°1. [Fecha de consulta: 01 de mayo del 2019].

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1164556317300250>

ISSN: 1164-5563

LI, Xiaowei, XING, Meiyan, YANG, Jian y DAI, Xiaohu. Earthworm eco-physiological characteristics and quantification of earthworm feeding in vermifiltration system for sewage sludge stabilization using stable isotopic

natural abundance. Journal of Hazardous Materials [en línea]. Julio 2014, vol.276, n°1. [Fecha de consulta: 22 de octubre del 2018].

Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139316307284>

ISSN: 0929-1393

LI, Xiaowei, XING, Meiyang, YANG, Jian y LU, Yongsun. Properties of biopelícula in a vermifiltration system for domestic wastewater sludge stabilization. Chemical Engineering Journal [en línea]. Mayo 2013, vol.223, n°1. [Fecha de consulta: 22 de octubre del 2018].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894713001381>

ISSN: 1385-8947

LIU, Jing, LU, Zhibo, ZHANG, Jie, XING, Meiyang y YANG, Jian. Phylogenetic characterization of microbial communities in a full-scale vermifilter treating rural domestic sewage. Ecological Engineering [en línea]. Diciembre 2013, vol. 61, n°1. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2018].

Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857413003613>

ISSN: 0925-8574

LOURENÇO, N. Y NUNES, L. Optimization of a vermifiltration process for treating urban wastewater. Ecological Engineering [en línea]. Marzo 2017, vol.100, n°1. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2018].

Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857416307145>

ISSN: 0925-8574

LU, Shibao, PEI, Liang y BAI, Xiao. Study on method of domestic wastewater treatment through new-type multi-layer artificial wetland. ScienceDirect, 1(1): 1-8, 2015.

ISSN: 0360-3199

LUNA, Víctor y ABURTO, Sergio. Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. TIP [en línea]. Junio 2014, vol.17, n°1. [Fecha de consulta: 20 de octubre del 2018].

Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1405888X14703183>

ISSN: 1405-888X

MADDAH, Hisham. Polypropylene as a Promising Plastic: A Review [en línea]. Enero 2016, n°6. [fecha de consulta: 13 de octubre del 2018].

Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/290439450>

MAN, Yi, HU Yusha, REN, Jingzheng. Forecasting COD load in municipal sewage based on ARMA and VAR algorithms. Resources Conservation and Recycling [en línea]. Enero 2019, vol.144, n°1. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2019].

Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344919300321>

ISSN: 0921-3449

MANOPPO, Lefrand, MUHAMMAD, Marsoedi y BERHIMPON, S. Sedimentation Rate and Total Suspended Solid (TSS) In Melombo Area, Salurang Village, Sangihe Archipelagic Regency. International journal of Engineering inventions, 7(3): 48-55, 2014.

ISSN: 2278-7461

MANZANARES, Frescia y RICALDI, Antoni. Remoción de materia orgánica de agua residual sintética con filtros aerobios en medio sintético reciclable a escala piloto. Tesis (Título de Ingeniero Químico Ambiental). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017.123 pp.

Disponible en:

<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3778/Manzanares%20Palacios.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MAYUNCHI, M., MBOHWA, C. y MUZENDA, E. Biological treatment of distillery wastewater by application of the vermifiltration technology, South African Journal of Chemical Engineering [en línea]. Junio 2018, vol.25, n°1. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2018].

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1026918517300707>

ISSN: 1026-9185

MITMA, Yomira. Efecto del sistema de lombrifiltro en la depuración de DBO₅ y DQO de las aguas residuales domésticas del distrito de moche. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2017. 48pp.

Disponible en:

http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/23238/mitma_jy.pdf?sequence=1&isAllowed=y

NAZ, Iffat, HODGSON, Douglas, SMITH, Ann, MARCHESI, Julian, SEHAR, Shama, AHMED, Safia, LYNCH, Jim, AVIGNONE, Claudio y SAROJ, Devendra. Investigation of the Active Biopelícula Communities on Polypropylene Filter. Revista de tecnología química y biotecnología, Surrey GU2 7XH [en línea]. Abril-mayo 2018, n°1. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2018].

Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jctb.5686>

MÉNDEZ, Carlos, PÉREZ, Jesús y GARCÍA, Jorge. Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales mediante filtros percoladores. Cuba: Universidad Politécnico José Antonio Echeverría, 2013, 53 pp.

ISBN: 9789592614574

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Prioriza fiscalización ambiental del manejo de aguas residuales. Lima: 2015, 42 pp.

Disponible en: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

PARRA, Izaúl y CHIANG, Gustavo. Modelo integrado de un sistema de biodepuración en origen de aguas residuales domiciliarias [en línea]. Diciembre 2013, 16(3). [Fecha de consulta: 23 de setiembre].

Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/259706865_Integrated_model_of_bio-purification_system_for_home_sewage_A_proposal_for_peri-urban_communities_from_south_center_of_Chile

PULKKINEN, Jani, ERIKSSON, Anna, AALTO, Sanni, TIROLA Marja, KOSKELA Juha, KIURU, Tapio y VIELMA. Jouni. The effects of different combinations of fixed and moving bed bioreactors on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth and health, water quality and nitrification in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* [en línea]. Mayo 2019, vol.85, n°1. [Fecha de consulta: 02 de mayo del 2019].

Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860918301067>

ISSN: 01444-8609

QIU, Jin, WEY, Li y XIAN-NING, Li. Effect of Earthworm *Eisenia foetida* in Constructed Wetland on Purification of Country Wastewater. *China: Southeast University*, 1(1): 5-6, 2016.

ISSN: 1877-7058

RAFFO, Eduardo y RUIZ, Edgar. Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de la facultad de ingeniería industrial UNMSM*, 17(1): 71-80, 2014.

ISSN: 1560-9146

RAHMAN, M., SALLEH, M., RASHID, U., AHSAN, A., HOSSAIN, M., y RA, C. Production of slow release crystal fertilizer from wastewaters through struvite crystallization – A review. *Arabian Journal of Chemistry*, 7(1), 139-155, 2014.

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187853521300347X>

ISSN: 1878-5352

RIOS, Lorena; MACIAS, Vinicio y ZIRINO, Alberto: Una opción para medir el potencial redox. Cienc. Mar [en línea]. 2003, vol.29, n.4[Fecha de consulta: 21 de octubre del 2018].

Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0185-38802003000400013>

ISSN 0185-3880.

RODRIGUEZ, Alberth. Estudio de la eficiencia de un filtro sumergido y un filtro percolador en el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas, Moyobamba, 2014. Tesis (Título de Ingeniero Sanitario). Perú: Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto, 2014. 94 pp.

Disponible en: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/UNSM/256>

RODRÍGUEZ, Lady y ORREGO, Carlos. Aplicaciones de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos: revisión bibliográfica. Revista científica, 25(1): 252-264, 2016.

ISSN: 0124-2253.

RODRÍGUEZ, María, MOLINA, Judith, JÁCOME, Alfredo y SUÁREZ Joaquín. Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente físico-químico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas. Investigación y Tecnología [en línea]. Abril-Junio 2013, vol.14, n°2. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2018].

Disponible

en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1405774313722388>

ISSN: 1405-7743

SABOYA, Xiomi. Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de

Chachapoyas-Amazonas. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Chachapoyas: Universidad Peruana Unión, 2018. 201 pp.

Disponible en: <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1123>

SAMAL, Kundan, ROSHAN, Rajesh y BHUNIA Puspendu. A comparative study of macrophytes influence on performance of hybrid vermifilter for dairy wastewater treatment. Journal of Environmental Chemical Engineering [en línea]. Agosto 2018, vol. 6, n°4. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2018].

Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221334371830397X>

ISSN: 2213-3437

SAMAL, Kundal, DASH, Rajesh y BHUNIA, Puspendu. Effect of hydraulic loading rate and pollutants degradation kinetics in two bed hybrid macrophyte assisted vermifiltration system, Biochemical Engineering Journal [en línea]. Abril 2018, [Fecha de consulta: 02 de Junio del 2019]. Disponible en:

<https://scinapse.io/papers/2782138141>

DOI: 10.1016 / j.bej.2018.01.002

SAMAL, Kundan, ROSHAN, Rajesh y BHUNIA, Puspendu. Treatment of wastewater by vermifiltration integrated with macrophyte filter: A review. Journal of Environmental Chemical Engineering [en línea]. Junio 2017, vol.5, n°3. [Fecha de consulta: 17 de octubre del 2018].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343717301628>

ISSN: 2213-3437

SARALA, C. Domestic wastewater treatment by electrocoagulation with fe-fe electrodes. International journal of Engineering trends and technology, 4(2): 530-533, 2012.

ISSN: 2231-5381

SEVERICHE, Carlos, CASTILLO, Marlon y ACEVEDO, Rosa. Manual de métodos para determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en agua. Colombia: Universidad Andaluza Inca Garcilaso, 2013, 101 pp.
ISBN: 9788415774907

SHAIKH, Ziauddin, GRAHAM, David y DOLFING, Jam. Wastewater Treatment: Biological, Reino Unido: Newcastle University, 1(1):2-12, enero 2013.
ISSN: 2004-6063

SHARAFI, K., PIRSAHEB, M., KHOSRAVI, T., DARGAHI, A., MORADI, M. y SAVADPOUR, M. Fluctuation of organic substances, solids, protozoan cysts, and parasite egg at different units of a wastewater integrated stabilization pond (full scale treatment plant): a case study, Iran. [en línea]. Febrero 2015, vol.57, n°11. [Fecha de consulta: 20 de octubre del 2018].
Disponble en: <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1080/19443994.2014.997294>
ISSN: 1944-3994

SINHA, Rajiv, BHARAMBE, GOKUL, CHAUDHARI, Uday. Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: a low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization. The environmentalist [en línea]. 2008, vol. 28, n°4. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2018]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10669-008-9162-8> or <https://research-repository.griffith.edu.au/>

SINHA, Rajiv, HERAT, Sunil, KARMEGAM, Natchimuthu, CHAUHAN, Krunal, CHANDRAN, Vinod. Vermitechnologythe emerging 21st century bioengineering technology for sustainable development and protection of human health and environment, Global Science Books [en línea]. Noviembre 2010, [Fecha de consulta: 02 de Junio del 2019]. Disponible en: [http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/2010/DSDP_4\(SI1\)/DSDP_4\(SI1\)22-47o.pdf](http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/2010/DSDP_4(SI1)/DSDP_4(SI1)22-47o.pdf)

SIMA, Jan, POCEDIC, Jaromir y HASAL, Pavel. Hydrodynamics of a laboratory scale rotating biological contactor and its application for decolorization of textile dyes by white rot fungus *irpex lacteus*. AIDIC, 1(27): 337-342, 2012.

ISSN:1974-9791

SINGH, Rajneesh, BHUNIA, Puspendu y DASH, Rajesh. A mechanistic review on vermifiltration of wastewater: Design, operation and performance. Journal of Environmental Management [en línea]. Julio 2017, vol.197, n°1. [Fecha de consulta: 29 de abril del 2019]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717303900>

ISSN: 0301-4797

SINGH, Rajneesh, BHUNIA, Puspendu y DASH, Rajesh. COD removal index-A mechanistic tool for predicting organics removal performance of vermifilter. Science of the Total Environment [en línea]. Diciembre 2018, n°1. [Fecha de consulta: 29 de abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718327670>

ISSN: 0048-9697

SINGH, Rajneesh, BHUNIA, Puspendu y DASH, Rajesh. Optimization of organics removal and understanding the impact of HRT on vermifiltration of brewery wastewater. Science of the Total Environment [en línea]. Febrero 2019, vol.651, n°1. [Fecha de consulta: 29 de abril del 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.307>.

ISSN: 0048-9697

THOMAS, L.P. Y MARINO, B.M. Estimación del caudal a partir de la evolución del nivel del agua en un estuario con onda de marea estacionaria, RIBAGUA. Revista Iberoamericana del Agua. [en línea]. Enero 2016, vol. 3, n°1. [Fecha de consulta: 29 de abril del 2019].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2386378116000037>

ISSN: 2386-3781

TIEN, Lai, HUNG, Dang, NGUYEN, Duc, YIM, Soobin y HUR, Jim. Wastewater treatment using a modified A2O process based on fiber polypropylene media. Journal of Environmental Science and Health [en línea]. Enero 2015, n°1. [Fecha de consulta: 11 de octubre de 2018].

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/10934529.2011.590382>

ISSN: 1093-4529

TOMAR, Priyanka y SUTHAR, Surindra. Urban wastewater treatment using vermi-biofiltration system, Desalinati [en línea]. September 2011, vol.282, n°1 [Fecha de consulta: 02 de Junio del 2019]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916411007880>

ISSN: 0011-9164

TONDE, Manoj, MALI, Jyoti y PATIL, Sonali. Study of rotation biological Contactor (RBCs) for wastewater treatment process. IJCRT, 1(1): 621-623, 2017.

ISSN: 2320-2882

VERBYLA, Matthew y MIHELICIC, James. A review of virus removal in wastewater treatment pond systems. ScienceDirect, 71(1): 107-127, 2015.

ISSN: 0043-1354

YUCRA, Roger. Influencia del PET reciclado en las características del agua residual domésticas mediante el proceso de filtro percolador para el distrito de taraco, provincial de Huancane, Region Puno. Tesis (Título de Ingeniero Ingeniero civil). Perú: Universidad andina Néstor Cáceres Velázquez, 2016. 135 pp.

Disponible en:
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3778/Manzanares%20Palacios.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VISCAÍNO, Lissette y FUENTES, Natalia. Effects of eisenia foetida and eichhornia crassipes in the removal of organic matter, nutrients and coliforms in domestic wastewater. Revista UDCA [en línea]. Enero-junio 2016, n°19, [Fecha de consulta: 13 de octubre de 2018].

Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v19n1/v19n1a22.pdf>

Wanyin y XING, Meiyan. Study on the biomass and size spectra of bio-particles in vermifilter biopelículas. Science of The Total Environment [en línea]. Septiembre 2018, vol. 636, n°1. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2018].

Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718313627>
ISSN: 0048-9697

WEI, Yuansong, WANG, Yawey, GUO, Xuesong, LIU, Junxin. Sludge reduction potential of the activated sludge process by integrating an oligochaete reactor, Journal of Hazardous Materials[en línea]. Junio 2008. [Fecha de consulta: 02 de Junio del 2019]. Disponible en:
<https://sci-hub.tw/10.1016/j.jhazmat.2008.06.065>
DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.06.065

WEI, Yuansong, ZHU, Hui, WANG, Yawei, LI, Jinfu, ZHANG, Peixin, HU, Ji, LIU, Junxin. Nutrients release and phosphorus distribution during oligochaetes predation on activated sludge, Biochemical Engineering Journal[en línea]. Marzo 2009, vol.43, n°3 [Fecha de consulta: 02 de Junio del 2019]. Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369703X08003379>
ISSN: 1369-703X

WU, Haiming, ZHANG, Jian, HAO, Huu, GUO, Wenshan, HU, Zhen, LIANG, Shuang, FAN, Jinlin y LIU, Hai. A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation. *Bioresource Technology*, [en línea]. Enero 2015, vol.175, n°1. [Fecha de consulta: 20 de octubre del 2018].

Disponible

en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852414014904>

ISSN: 0960-8524

XING, Meiyang, ZHAO, Chunhui, YANG, Jian, LI, Xiaowei y BAOYI L. Physiological adaptation and metabolic property of earthworms in vermifiltration for liquid-state sludge stabilization using bulk stable isotope and specific fatty acid compound stable isotope values. *Ecological Engineering* [en línea]. Junio 2016, vol.91, n°1. [Fecha de consulta: 01 de mayo del 2019].

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857416300817>

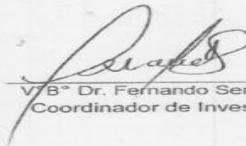
ISSN: 0925-8574

ANEXOS
ANEXO N°1 INFORME DE ENSAYO

INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1	
LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA – UCV ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO	
Tesis	"Eficiencia del vermifiltro asistido con biopelícula en el polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas."
Tesista	:Barragán Ponce, Rodolfo y Espinoza Fernández, Andrea Monica
Tipo de muestra Descripción de la muestra	:(Agua residual doméstica y agua tratada con vermifiltros) :Determinar los parámetros fisicoquímicos (Potencial de hidrógeno, Potencial Redóx, Conductividad Eléctrica, Demanda Química de oxígeno, Demanda Bioquímica de oxígeno, Sólidos suspendidos totales, Sólidos disueltos totales, temperatura, Turbidez)
Muestra tomada por	: Barragán Ponce, Rodolfo y Espinoza Fernández, Andrea Monica
Fecha de ingreso de muestra	:3 de Junio de 2019
Lugar que se realizó el ensayo	:Laboratorio de biotecnología -UCV Lima Este
Fecha de realización de ensayos	:03 al 24 Junio de 2019
Muestra proporcionada por el estudiante	



Daniel Neciosup Gonzales
Jefatura de laboratorios



V°B° Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



V°B° Dr. Eduardo Espinoza Barragán
DIRECTOR Director

Página 1 de 25

INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	Reactor	V4											
			Promedio	Promedio											
			Qw	Q1	Q1										
			TRH	TRH1	TRH1										
			Tiempo	T1:1h 14min	T1:1h 14min	T1:1h 14min	T2:2h 28min	T2:2h 28min	T2:2h 28min	T3:3h 42min	T3:3h 42min	T3:3h 42min	T4: 4h 58min	T4: 4h 58min	T4: 4h 58min
SPITCH	CS	CM	CI	CS	CM	CI	CS	CM	CI	CS	CM	CI			
Potencial de hidrógeno(pH)	unidad de pH	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PH	6.72	6.80	6.86	6.87	6.88	6.95	6.95	6.98	7.05	7.10	7.20	7.28
Conductividad eléctrica	μS/cm	APHA-AWWA-WEF (2005)método 2510 B	CE	1915	1804	1780	1790	1685	1663	1650	1554	1533	1398	1317	1299
Temperatura	°C	APHA-AWWA-WEF (2005) método 2550 B	T°	20.6	20.6	20.7	20.5	20.6	20.5	20.9	20.8	20.8	20.7	20.5	20.6
Potencial Redóx (pE)	mV	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PRx	10.3	8.3	3.0	6.9	5.5	-0.3	8.3	5.6	3.2	8.9	4.7	2.5



[Signature]
Daniel Necosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

[Signature]
V.ºBº Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



V.ºBº Dr. Eduardo Espinoza Faján
Director

INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

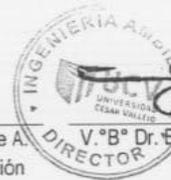
Sólido disuelto total (SDT)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) método 2540 C	TDS	1283	1209	1193	1199	1129	1114	1106	1041	1027	937	882	871
Turbidez	NTU	SM 2130 B. Turbidity. Nephelometric Method. (2012)	Turbidez	81.51	23.52	15.09	64.40	18.59	11.93	59.37	17.13	10.99	50.31	14.52	9.32
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 D	SST	78	72	70	63	55	52	53	48	42	47	43	39
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 5010 B	DQO	263	52	46	251	47	42	240	40	36	229	38	34
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) APHA 5220 D	DBO5	115.70	26.40	20.60	105.50	27.20	17.40	95.90	18.80	15.40	88.00	16.30	14.45



[Signature]
Daniel Neciosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

[Signature]

V.º B.º Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



[Signature]
V.º B.º Dr. Eduardo Espinoza Farfán
Director

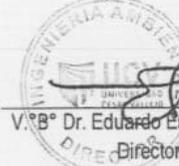
INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	Reactor	VERMIFILTRO 3											
			Promedio	Promedio											
			Qw	Q1											
			TRH	TRH1											
			Tiempo	T1:1h 14min	T1:1h 14min	T1:1h 14min	T2:2h 28min	T2:2h 28min	T2:2h 28min	T3:3h 42min	T3:3h 42min	T3:3h 42min	T4: 4h 58min	T4: 4h 58min	T4: 4h 58min
SPITCH	CS	CM	CI	CS	CM	CI	CS	CM	CI	CS	CM	CI			
Ptencial de hidrógeno(pH)	unidad de pH	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PH	6.80	6.84	6.90	6.91	6.92	6.96	6.95	6.98	7.00	7.05	7.08	7.15
Conductividad eléctrica	μS/cm	APHA-AWWA-WEF (2005)método 2510 B	CE	1945	1917	1810	1817	1791	1691	1675	1652	1559	1419	1399	1321
Temperatura	°C	APHA-AWWA-WEF (2005) método 2550 B	T°	20.6	20.7	20.6	20.6	20.5	20.6	21.2	21.2	21.3	20.7	20.6	20.6
Potencial Redóx (pE)	mV	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PRx	8.9	8.0	2.4	6.0	9.2	2.9	2.7	2.1	1.3	3.9	2.3	0.0
Sólido	mg/L	APHA-AWWA-	TDS	1303	1285	1213	1217	1200	1133	1122	1107	1045	951	938	885



Daniel Neciosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

V.ºB.º Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



V.ºB.º Dr. Eduardo Espinoza Parfán
Director

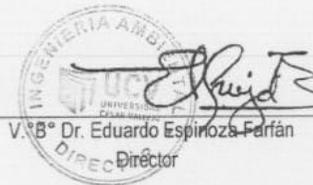
INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

disuelto total (SDT)		WEF (2012) método 2540 C													
Turbidez	NTU	SM 2130 B. Turbidity. Nephelometric Method. (2012)	Turbidez	64.38	37.99	17.95	50.87	30.02	14.18	46.90	27.67	13.08	39.74	23.45	11.08
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 D	SST	82	65	52	64	47	32	63	45	32	53	41	26
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 5010 B	DQO	272	59	51	260	51	45	248	44	41	238	40	35
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) APHA 5220 D	DBO5	135.00	28.70	25.10	131.63	23.65	20.73	123.23	21.10	17.65	110.60	18.55	15.77



[Signature]
Daniel Necosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

[Signature]
V.º B.º Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



[Signature]
V.º B.º Dr. Eduardo Espinoza Farfán
Director

INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	Reactor	GEOFILTRO Z							
			Promedio	Promedio							
			Qw	Q1							
			TRH	TRH1							
			Tiempo	T1:1h 14min	T1:1h 14min	T2:2h 28min	T2:2h 28min	T3:3h 42min	T3:3h 42min	T4: 4h 58min	T4: 4h 58min
			SPITCH	CM	CI	CM	CI	CM	CI	CM	CI
Ptencial de hidrógeno(pH)	unidad de pH	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PH	6.91	6.96	6.96	6.98	6.99	7.04	7.20	7.18
Conductividad eléctrica	μS/cm	APHA-AWWA-WEF (2005)método 2510 B	CE	2122	2083	1983	1946	1828	1794	1549	1521
Temperatura	°C	APHA-AWWA-WEF (2005) método 2550 B	T°	20.4	20.7	20.5	20.6	21.1	20.9	20.8	20.5
Potencial Redóx (pE)	mV	APHA-AWWA-WEF(método de	PRx	7.2	4.8	4.7	3.7	4.0	-0.3	2.9	-1.2



Daniel Neciosup Gonzales
Daniel Neciosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

Fernando Sernaque A.
V.ºB.º Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación

Eduardo Espinoza Fardán
V.ºB.º Dr. Eduardo Espinoza Fardán
Director

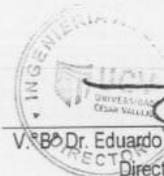
INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

		laboratorio)									
Sólido disuelto total (SDT)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) método 2540 C	TDS	1422	1396	1329	1304	1225	1202	1038	1019
Turbidez	NTU	SM 2130 B. Turbidity. Nephelometric Method. (2012)	Turbidez	21.11	12.67	16.68	10.01	15.38	9.23	13.03	7.82
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 D	SST	61	48	48	29	47	26	34	27
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 5010 B	DQO	66	62	61	55	55	51	49	43
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) APHA 5220 D	DBO5	32.60	30.95	30.40	25.77	24.80	21.90	23.75	20.20



Daniel Neciosup Gonzales
 Daniel Neciosup Gonzales
 Jefatura de laboratorios

V°B° Dr. Fernando Semaque A.
 Coordinador de Investigación



Eduardo Espinoza Faján
 V°B° Dr. Eduardo Espinoza Faján
 Director

INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

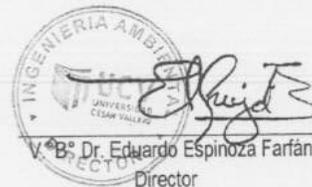
PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	Reactor	CONTROL			
			Promedio	Promedio			
			Qw	Q1			
			TRH	TRH1			
			Tiempo	T1:1h 14min	T2:2h 28min	T3:3h 42min	T4: 4h 58min
			SPITCH	Control 1	Control 2	Control 3	Control 4
Potencial de hidrógeno(pH)	unidad de pH	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PH	6.75	6.74	6.68	6.70
Conductividad eléctrica	μS/cm	APHA-AWWA-WEF (2005)método 2510 B	CE	2776	2773	2769	2266
Temperatura	°C	APHA-AWWA-WEF (2005) método 2550 B	T°	20.7	20.6	20.3	20.6



[Firma]
 Daniel Necosup Gonzales
 Jefatura de laboratorios

[Firma]

V^oB^o Dr. Fernando Sernaque A.
 Coordinador de Investigación



[Firma]
 V^oB^o Dr. Eduardo Espinoza Farfán
 Director

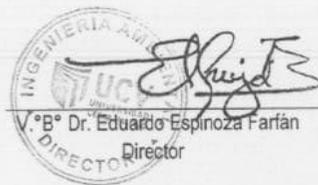
INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

Potencial Redóx (pE)	mV	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PRx	8.0	6.0	2.2	0.3
Sólido disuelto total (SDT)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) método 2540 C	TDS	1859	1856	1857	1518
Turbidez	NTU	SM 2130 B. Turbidity. Nephelometric Method. (2012)	Turbidez	165.34	168.19	156.59	140.89
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 D	SST	136	131	128	118
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 5010 B	DQO	517	511	508	504
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) APHA 5220 D	DBO5	227.57	206.37	215.09	226.82



[Firma]
 Daniel Neciosup Gonzales
 Jefatura de laboratorios

[Firma]
 V°B° Dr. Fernando Sernaque A.
 Coordinador de Investigación



[Firma]
 V°B° Dr. Eduardo Espinoza Farfán
 Director

INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	Reactor	VERMIFILTRO 4											
			Promedio	Promedio											
			Qw	Q2											
			TRH	TRH2											
			Tiempo	T1:1h	T1:1h	T1:1h	T2:3h	T2:3h	T2:3h	T3:5h	T3:5h	T3:5h	T4:7h	T4:7h	T4:7h
			SPITCH	CS	CM	CI	CS	CM	CI	CS	CM	CI	CS	CM	CI
Potencial de hidrógeno(pH)	unidad de pH	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PH	6.76	6.89	6.91	6.95	6.98	6.98	7.02	7.05	7.09	7.12	7.15	7.20
Conductividad eléctrica	μS/cm	APHA-AWWA-WEF (2005)método 2510 B	CE	1778	1681	1649	1661	1570	1541	1531	1447	1421	1298	1227	1204
Temperatura	°C	APHA-AWWA-WEF (2005) método 2550 B	T°	20.8	20.8	20.7	20.7	20.8	20.8	20.8	20.7	20.8	20.7	20.8	20.7



Daniel Neciosup Gonzales
 Daniel Neciosup Gonzales
 Jefatura de laboratorios

Fernando Sernaque A.
 V°B° Dr. Fernando Sernaque A.
 Coordinador de Investigación

Eduardo Espinoza Farfán
 V°B° Dr. Eduardo Espinoza Farfán
 Director

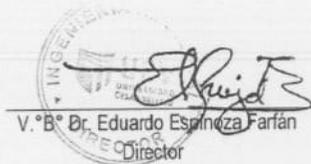
INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

Potencial Redóx (pE)	mV	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PRx	8.5	6.3	2.6	7.2	6.3	0.5	8.2	5.0	1.1	7.4	2.0	-0.6
Sólido disuelto total (SDT)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) método 2540 C	TDS	1192	1126	1105	1113	1052	1032	1026	970	952	870	822	807
Turbidez	NTU	SM 2130 B. Turbidity. Nephelometric Method. (2012)	Turbidez	64.95	19.35	11.62	51.32	15.29	9.18	47.31	14.09	8.46	40.09	11.94	7.17
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 D	SST	71	60	56	51	48	41	48	36	35	42	33	27
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 5010 B	DQO	256	46	41	240	42	36	222	37	33	203	30	26
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) APHA 5220 D	DBO5	109.00	21.98	18.15	92.50	19.30	15.40	83.50	16.45	14.05	72.00	13.20	10.80



Daniel Neciosup Gonzales
Daniel Neciosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

Fernando Sernaque A.
V.º B.º Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



Eduardo Espinoza Farfán
V.º B.º Dr. Eduardo Espinoza Farfán
Director

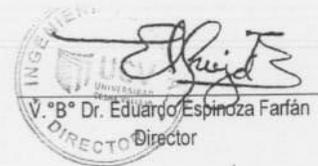
INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	Reactor	VERMIFILTRO 3											
			Promedio	Promedio											
			Qw	Q2											
			TRH	TRH2											
			Tiempo	T1:1h 46min	T1:1h 46min	T1:1h 46min	T2:3h 32min	T2:3h 32min	T2:3h 32min	T3:5h 18min	T3:5h 18min	T3:5h 18min	T4:7h 04min	T4:7h 04min	T4:7h 04min
			SPITCH	CS	CM	CI									
Ptencial de hidrógeno(pH)	unidad de pH	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PH	6.96	6.99	7.02	7.02	7.04	7.04	7.06	7.07	7.08	7.10	7.18	7.23
Conductividad eléctrica	μS/cm	APHA-AWWA-WEF (2005)método 2510 B	CE	1842	1755	1657	1721	1640	1549	1587	1512	1427	1345	1281	1210
Temperatura	°C	APHA-AWWA-WEF (2005) método 2550 B	T°	20.7	20.8	20.8	20.7	20.8	20.8	20.7	20.8	20.8	20.8	20.7	20.6
Potencial Redóx (pE)	mV	APHA-AWWA-WEF(método de	PRx	6.5	4.4	2.1	5.8	4.6	3.1	5.3	4.4	-0.1	2.5	2.6	-1.1



Daniel Necosup Gonzales
 Daniel Necosup Gonzales
 Jefatura de laboratorios

Fernando Sernaque A.
 V.ºB.º Dr. Fernando Sernaque A.
 Coordinador de Investigación



Eduardo Espindza Farfán
 V.ºB.º Dr. Eduardo Espindza Farfán
 Director

INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

		laboratorio)													
Sólido disuelto total (SDT)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) método 2540 C	TDS	1234	1176	1111	1153	1099	1038	1063	1013	956	901	859	811
Turbidez	NTU	SM 2130 B. Turbidity. Nephelometric Method. (2012)	Turbidez	55.81	30.46	18.30	44.10	24.07	14.46	40.65	22.19	13.33	34.45	18.80	11.30
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 D	SST	76	50	42	66	38	35	59	38	23	59	26	14
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 5010 B	DQO	262	50	44	247	46	40	230	38	35	211	36	30
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) APHA 5220 D	DBO5	126.50	25.30	20.15	122.50	22.80	18.55	119.00	19.40	15.75	101.50	17.30	12.75



Daniel Neciosup Gonzales
Daniel Neciosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

Dr. Fernando Sernaque A.
V°B° Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



Dr. Eduardo Espinoza Farfán
V°B° Dr. Eduardo Espinoza Farfán
Director

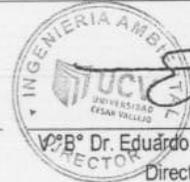
INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	Reactor	GEOFILTRO 2							
			Promedio	Promedio							
			Qw	Q2							
			TRH	TRH2							
			Tiempo	T1:1h 46min	T1:1h 46min	T2:3h 32min	T2:3h 32min	T3:5h 18min	T3:5h 18min	T4:7h 04min	T4:7h 04min
			SPITCH	CM	CI	CM	CI	CM	CI	CM	CI
Ptencial de hidrógeno(pH)	unidad de pH	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PH	6.99	7.03	7.05	7.08	7.12	7.15	7.20	7.23
Conductividad eléctrica	μS/cm	APHA-AWWA-WEF (2005)método 2510 B	CE	1877	1826	1754	1707	1617	1573	1370	1333
Temperatura	°C	APHA-AWWA-WEF (2005) método 2550 B	T°	21.0	20.9	20.7	20.8	20.7	20.7	20.8	20.9
Potencial Redóx (pE)	mV	APHA-AWWA-WEF(método de	PRx	6.2	-1.4	6.4	1.4	0.8	-0.6	6.5	0.8



[Signature]
Daniel Necosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

[Signature]
VºBº Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



[Signature]
VºBº Dr. Eduardo Espinoza Farfán
Director

INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

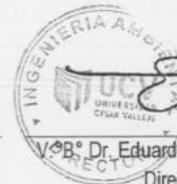
		laboratorio)									
Sólido disuelto total (SDT)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) método 2540 C	TDS	1257	1224	1175	1144	1083	1054	918	893
Turbidez	NTU	SM 2130 B. Turbidity. Nephelometric Method. (2012)	Turbidez	16.91	10.34	13.37	8.17	12.32	7.54	10.44	6.39
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 D	SST	44	35	38	31	29	19	28	15
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 5010 B	DQO	59	54	54	48	48	44	41	37
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) APHA 5220 D	DBO5	28.30	26.10	26.50	22.70	21.65	19.35	18.95	17.15



Daniel Necosup Gonzales
 Daniel Necosup Gonzales
 Jefatura de laboratorios

Fernando Sernaque A.

V°B° Dr. Fernando Sernaque A.
 Coordinador de Investigación



Eduardo Espinoza Farfán
 V°B° Dr. Eduardo Espinoza Farfán
 Director

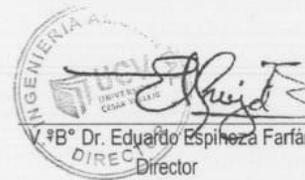
INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	Reactor	CONTROL			
			Promedio	Promedio			
			Qw	Q2			
			TRH	TRH2			
			Tiempo	T1:1h 46min	T2:3h 32min	T3:5h 18min	T4:7h 04min
			SPITCH	Control 1	Control 2	Control 3	Control 4
Potencial de hidrógeno(pH)	unidad de pH	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PH	6.77	6.69	6.73	6.78
Conductividad eléctrica	μS/cm	APHA-AWWA-WEF (2005)método 2510 B	CE	2776	2770	2762	2760
Temperatura	°C	APHA-AWWA-WEF (2005) método 2550 B	T°	20.70	20.80	20.80	20.80



[Firma]
Daniel Necosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

[Firma]
V.B° Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



[Firma]
V.B° Dr. Eduardo Espinoza Farfán
Director

INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

Potencial Redóx (pE)	mV	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PRx	8.2	7.6	1.9	-1.5
Sólido disuelto total (SDT)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) método 2540 C	TDS	1859	1856	1850	1849
Turbidez	NTU	SM 2130 B. Turbidity. Nephelometric Method. (2012)	Turbidez	173.16	154.63	139.89	125.09
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 D	SST	128	125	119	107
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 5010 B	DQO	509	507	502	496
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) APHA 5220 D	DBO5	153.00	215.00	205.00	193.00



[Firma]
Daniel Neciosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

[Firma]
V.ºB.º Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



[Firma]
V.ºB.º Dr. Eduardo Espinza Farfán
Director

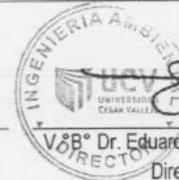
INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	Reactor	VERMIFILTRO 4											
			Promedio	Promedio											
			Qw	Q3											
			TRH	TRH3											
			Tiempo	T1:2h 15min	T1:2h 15min	T1:2h 15min	T2:4h 30min	T2:4h 30min	T2:4h 30min	T3:6h 45min	T3:6h 45min	T3:6h 45min	T4:9h 2min	T4:9h 2min	T4:9h 2min
			SPITCH	CS	CM	CI	CS	CM	CI	CS	CM	CI	CS	CM	CI
Potencial de hidrógeno(pH)	unidad de pH	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PH	6.75	6.8	6.94	6.97	7.01	7.14	7.04	7.05	7.06	7.1	7.15	7.25
Conductividad eléctrica	μS/cm	APHA-AWWA-WEF (2005)método 2510 B	CE	1736	1660	1480	1412	1344	1325	1302	1239	1221	1103	1050	1035
Temperatura	°C	APHA-AWWA-WEF (2005) método 2550 B	T°	21.3	21.1	20.8	20.5	20.4	20.5	20.6	20.6	20.8	20.5	20.5	20.5
Potencial Redóx (pE)	mV	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PRx	9.4	6.5	-1.4	5.2	6	1.3	6.1	4.6	0.4	4.1	7.4	-2



Daniel Necosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

Fernando Sernaque A.
VºBº Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



Eduardo Espinoza Farfán
VºBº Dr. Eduardo Espinoza Farfán
Director

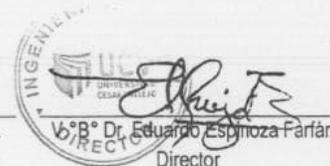
INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

Sólido disuelto total (SDT)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) método 2540 C	TDS	1163	1113	992	946	900	888	872	830	818	739	704	694
Turbidez	NTU	SM 2130 B. Turbidity. Nephelometric Method. (2012)	Turbidez	55.25	16.39	10.83	43.65	12.95	8.56	40.24	11.94	7.89	34.1	10.12	6.69
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 D	SST	59	46	42	51	40	36	52	38	34	36	24	15
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 5010 B	DQO	244	43	38	224	38	36	207	34	28	185	30	25
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) APHA 5220 D	DBO5	105.5	20.3	17.4	95	16.8	14.3	79.6	13.7	10.1	63.5	12.4	9.8



Daniel Necosup Gonzales
Daniel Necosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

Fernando Sernaque A.
V°B° Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



Eduardo Espinoza Farfán
V°B° Dr. Eduardo Espinoza Farfán
Director

INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	Reactor	VERMIFILTRO 3											
			Promedio	Promedio											
			Qw	Q3											
			TRH	TRH3											
			Tiempo	T1:2h 15min	T1:2h 15min	T1:2h 15min	T2:4h 30min	T2:4h 30min	T2:4h 30min	T3:6h 45min	T3:6h 45min	T3:6h 45min	T4:9h 2min	T4:9h 2min	T4:9h 2min
			SPITCH	CS	CM	CI	CS	CM	CI	CS	CM	CI	CS	CM	CI
Ptencial de hidrógeno(pH)	unidad de pH	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PH	6.94	6.97	7.07	7.02	7.14	7.14	6.98	7.06	7.13	7.09	7.14	7.23
Conductividad eléctrica	μS/cm	APHA-AWWA-WEF (2005)método 2510 B	CE	1800	1734	1693	1455	1400	1335	1342	1290	1231	1137	1094	1043
Temperatura	°C	APHA-AWWA-WEF (2005) método 2550 B	T°	20.9	21.6	20.9	20.3	20.4	20.4	20.6	20.8	20.7	20.5	20.6	20.5
Potencial Redóx (pE)	mV	APHA-AWWA-WEF(método de	PRx	9.2	6.7	0	4.8	5	1.2	6.1	4.1	1.6	7.1	6	-1.9



[Signature]
Daniel Neciosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

[Signature]
V°E° Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



[Signature]
V°E° Dr. Eduardo Espinoza Carrián
Director

INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

		laboratorio)													
Sólido disuelto total (SDT)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) método 2540 C	TDS	1206	1162	1134	975	938	894	899	864	825	762	733	699
Turbidez	NTU	SM 2130 B. Turbidity. Nephelometric Method. (2012)	Turbidez	52.8	26.08	16.02	41.72	20.61	12.66	38.46	19	11.67	32.59	16.1	9.89
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 D	SST	67	44	32	65	40	29	64	30	24	42	26	23
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 5010 B	DQO	250	44	40	231	38	33	214	36	30	191	29	26
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) APHA 5220 D	DBO5	127	20.5	17.4	107.6	17.7	14.3	98.5	16.4	12.6	84.5	14.1	12.7



Daniel Necosup Gonzales
Daniel Necosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

VºBº Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



Dr. Eduardo Espinoza Farfán
VºBº Dr. Eduardo Espinoza Farfán
Director

INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	Reactor	GEOFILTRO 2							
			Promedio	Promedio							
			Qw	Q3							
			TRH	TRH3							
			Tiempo	T1:2h 15min	T1:2h 15min	T2:4h 30min	T2:4h 30min	T3:6h 45min	T3:6h 45min	T4:9h 2min	T4:9h 2min
			SPITCH	CM	CI	CM	CI	CM	CI	CM	CI
Ptencial de hidrógeno(pH)	unidad de pH	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PH	7.3	7.39	7.44	7.43	7.42	7.38	7.5	7.39
Conductividad eléctrica	μS/cm	APHA-AWWA-WEF (2005)método 2510 B	CE	2227	2150	1669	1628	1538	1501	1304	1272
Temperatura	°C	APHA-AWWA-WEF (2005) método 2550 B	T°	20.7	20.8	20.2	20.5	21.2	21.2	20.5	20.6
Potencial Redóx (pE)	mV	APHA-AWWA-WEF(método de	PRx	6.8	1.1	6.2	3.2	2.9	2.3	6.3	1.1



[Firma]
Daniel Necibsup Gonzales
Jefatura de laboratorios

[Firma]
V°B° Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación

[Firma]
V°B° Dr. Eduardo Espinoza Farfán
Director

INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

		laboratorio)									
Sólido disuelto total (SDT)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) método 2540 C	TDS	1493	1441	1118	1091	1031	1006	874	852
Turbidez	NTU	SM 2130 B. Turbidity. Nephelometric Method. (2012)	Turbidez	13.27	9.2	10.49	7.28	9.67	6.7	8.2	5.68
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 D	SST	38	29	32	28	25	24	26	15
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 5010 B	DQO	58	51	48	45	42	41	39	35
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) APHA 5220 D	DBO5	25.9	23.2	24.6	20.1	19.8	18.1	16.7	15.5



Daniel Necisup Gonzales
 Daniel Necisup Gonzales
 Jefatura de laboratorios

Fernando Sernaque A.
 V°B° Dr. Fernando Sernaque A.
 Coordinador de Investigación



Eduardo Espinoza Farfán
 V°B° Dr. Eduardo Espinoza Farfán
 Director

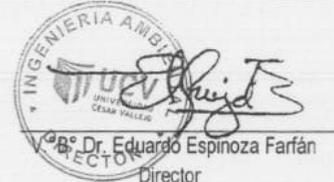
INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	Reactor	CONTROL			
			Promedio	Promedio			
			Q3	Q1			
			TRH3	TRH1			
			Tiempo	T1:2h 15min	T2:4h 30min	T3:6h 45min	T4:9h 2min
			SPITCH	Control 1	Control 2	Control 3	Control 4
Potencial de hidrógeno(pH)	unidad de pH	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PH	6.7	6.76	6.74	6.71
Conductividad eléctrica	μS/cm	APHA-AWWA-WEF (2005)método 2510 B	CE	2775	2769	2762	2756
Temperatura	°C	APHA-AWWA-WEF (2005) método 2550 B	T°	20.8	20.5	20.6	20.6



Daniel Neciosup Gonzales
Daniel Neciosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

Fernando Sernaque A.
V°B° Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



Dr. Eduardo Espinoza Farfán
V°B° Dr. Eduardo Espinoza Farfán
Director

INFORME DE ENSAYO N° 02-27062019-1

Potencial Redóx (pE)	mV	APHA-AWWA-WEF(método de laboratorio)	PRx	9.9	6.4	5.8	0.6
Sólido disuelto total (SDT)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) método 2540 C	TDS	1857	1854	1851	1847
Turbidez	NTU	SM 2130 B. Turbidity. Nephelometric Method. (2012)	Turbidez	161.17	140.07	129.03	121.66
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 D	SST	121	115	107	100
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) 5010 B	DQO	510	504	492	484
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) APHA 5220 D	DBO5	228	210	196	179

*.Los resultados obtenidos son válidos solo para uso de investigación -académico



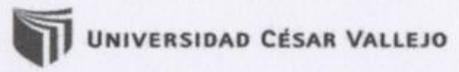
[Firma]
Daniel Necosup Gonzales
Jefatura de laboratorios

[Firma]

V.º B.º Dr. Fernando Sernaque A.
Coordinador de Investigación



[Firma]
V.º B.º Dr. Eduardo Espinoza Farfán
Director



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

"Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas"

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTORES:
Burragan Ponce, Rodolfo (0000-0003-2284-2133)
Espinoza Fernández, Andrea Mónica (0000-0001-6820-2061)

ASESOR:
Mg. Cabello Torres Riza Jaqueline (0000-0002-9965-9678)

LINEA DE INVESTIGACION:
Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA - PERU
Año 2019 - I



Resumen de coincidencias

13 %

Se están viendo fuentes estándar

Ver fuentes en inglés (Beta)

Coincidencias

- 1 repositorio.ucr.edu.pe Fuente de internet 4% >
- 2 Entregado a Universidad... Trabajo en trámite 2% >
- 3 Entregado a Universidad... Trabajo en trámite 2% >
- 4 www.sitido.org.co Fuente de internet 1% >
- 5 repository.ucentral.edu... Fuente de internet <1% >
- 6 www.rpcc-online.com Fuente de internet <1% >
- 7 repositorio.uncp.edu.pe Fuente de internet <1% >
- 8 Silva, Adriane Dias de... Fuente de internet <1% >

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 10 Fecha : 10-06-2019 Página : 1 de 1
--	---	---

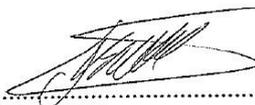
Yo, Rita Jaqueline Torres Cabello, docente de la Facultad Ingeniería y Escuela Profesional Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo Lima Este, revisor (a) de la tesis titulada

"Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas".

Del estudiante, Rodolfo Barragan Ponce, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 13.3% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

San Juan de Lurigancho, 12 de julio del 2019



Mg. Rita Jaqueline Torres Cabello

DNI: 08947396

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------



ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE
TESIS

Código : F06-PP-PR-02.02
Versión : 10
Fecha : 10-06-2019
Página : 1 de 1

Yo, Rita Jaqueline Torres Cabello, docente de la Facultad Ingeniería y Escuela Profesional Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo Lima Este, revisor (a) de la tesis titulada

"Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas".

Del estudiante, Andrea Monica Espinoza Fernandez, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 1.3...% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

San Juan de Lurigancho, 12 de julio del 2019

Mg. Rita Jaqueline Torres Cabello

DNI: 08947396

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------



**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS
EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV**

Código : F08-PP-PR-02.02
Versión : 10
Fecha : 10-06-2019
Página : 1 de 1

Yo Andrea Monica Espinoza Fernandez, identificado con DNI N° 76361503, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, autorizo (X), No autorizo () la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado

"Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas", en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Andrea Monica, Espinoza Fernandez

DNI: 76361503

FECHA: 12 de julio del 2019

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

MG. FERNANDO ANTONIO SERNAQUÉ AUCCAHUASI

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

RODOLFO BARRAGAN PONCE

INFORME TÍTULADO:

“Eficiencia del vermifiltro asistido con biofilm en el polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas”

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

SUSTENTADO EN FECHA: 12 DE JULIO DEL 2019.

NOTA O MENCIÓN: Diecisiete (17)



[Handwritten signature of MG. Fernando A. Sernaqué Auccahuasi]

MG. FERNANDO A. SERNAQUÉ AUCCAHUASI



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE
MG. FERNANDO ANTONIO SERNAQUÉ AUCCAHUASI

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

ANDREA MONICA ESPINOZA FERNANDEZ

INFORME TÍTULADO:

“Eficiencia del vermifiltro asistido con biofilm en el polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas”

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERA AMBIENTAL

SUSTENTADO EN FECHA: 12 DE JULIO DEL 2019.

NOTA O MENCIÓN: Diecisiete (17)



MG. FERNANDO A. SERNAQUÉ AUCCAHUASI