

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES**



**“EFICIENCIA DEL ACOPLAMIENTO WETLAND Y TOHÁ EN EL
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES VERTIDAS AL CANAL
HUANCA, SAN LUIS, CAÑETE, 2023”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**

AUTORES:

RICARDO ELWIN ALDORADIN QUISPE

LUIS ANGEL QUISPE MACAVILCA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ricardo Elwin Aldoradin Quispe'.

ASESORA:

MARÍA ANTONIETA GUTIÉRREZ DÍAZ

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'María Antonieta Gutiérrez Díaz'.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL AMBIENTE

Callao, 2023

PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)



V CICLO TALLER DE TESIS

ANEXO 3

ACTA N° 010-2023 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

LIBRO 01 FOLIO No. 93 ACTA N°010-2023 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

A los 20 días del mes de agosto del año 2023, siendo las 09:40 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/zch-bnpr-wqt>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales** de la **Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

Ms.C. María Teresa Valderrama Rojas	: Presidente
Dr. Miguel Ángel De La Cruz Cruz	: Secretario
Mtra. Janet Mamani Ramos	: Vocal
Dr. Jorge Quintanilla Alarcón	: Suplente
MSc.. María Antonieta Gutiérrez Díaz	: Asesora

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los Bachilleres Ricardo Elwin Aldoradin Quispe y Luis Angel Quispe Macavilca, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: **“EFICIENCIA DEL ACOPLAMIENTO WETLAND Y TOHÁ EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES VERTIDAS AL CANAL HUANCA, SAN LUIS, CAÑETE, 2023”**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por Aprobado con la escala de calificación cualitativa Muy Bueno y calificación cuantitativa DIECISEIS (16) la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio de 2021.

Se dio por cerrada la Sesión a las 10:30 horas del día domingo 20 de agosto del año en curso.

Presidente

Secretario

Vocal

Asesora

Document Information

Analyzed document	TESIS_ALDORADIN QUISPE-QUISPE MACAVILCA.pdf (D172859731)
Submitted	2023-08-16 10:10:00
Submitted by	
Submitter email	fiarn.investigacion@unac.edu.pe
Similarity	12%
Analysis address	unidad.de.investigacion.fiarn.unac@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Nacional del Callao / FERNANDEZ MUNOZ - ORDONEZ GRANADOS - SANTOS PORRAS - TRATAMIENTO CON LOMBRIFILTRO PARA LA REDUCCION DE DQO Y DBO5 DEL EFLUENTE INDUSTRIAL DE UNA PLANTA DE CONFITERIA, 2022.pdf Document FERNANDEZ MUNOZ - ORDONEZ GRANADOS - SANTOS PORRAS - TRATAMIENTO CON LOMBRIFILTRO PARA LA REDUCCION DE DQO Y DBO5 DEL EFLUENTE INDUSTRIAL DE UNA PLANTA DE CONFITERIA, 2022.pdf (D149900623) Submitted by: fiarn.investigacion@unac.edu.pe Receiver: unidad.de.investigacion.fiarn.unac@analysis.arkund.com	 52
SA	Universidad Nacional del Callao / MENDEZ MARTINEZ-SEVERINO CORREA-REMOCION DE CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES POR LA INFLUENCIA DEL AREA DEL BIOFILTRO SUBSUPERFICIAL DE FLUJO VERTICAL EN EL SERVICENTRO VERY WASH SAN JUAN DE LURIGANCHO 2020.pdf Document MENDEZ MARTINEZ-SEVERINO CORREA-REMOCION DE CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES POR LA INFLUENCIA DEL AREA DEL BIOFILTRO SUBSUPERFICIAL DE FLUJO VERTICAL EN EL SERVICENTRO VERY WASH SAN JUAN DE LURIGANCHO 2020.pdf (D152517844) Submitted by: fiarn.investigacion@unac.edu.pe Receiver: unidad.de.investigacion.fiarn.unac@analysis.arkund.com	 5
W	URL: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212020000300365&lng=es&nrm=iso&... Fetched: 2023-08-16 10:12:00	 3
SA	UNU_AMBIENTAL_2021_T_DANIEL-PAIMA_WILDER-GRATELLE.V2.pdf Document UNU_AMBIENTAL_2021_T_DANIEL-PAIMA_WILDER-GRATELLE.V2.pdf (D115984504)	 11
SA	Torres_E_T2.docx Document Torres_E_T2.docx (D114737453)	 2
SA	1A-NAVIDAD CARRASCAL, EDER RICHARD -TÍTULO PROFESIONAL-2021.docx Document 1A-NAVIDAD CARRASCAL, EDER RICHARD -TÍTULO PROFESIONAL-2021.docx (D158846655)	 2
SA	4_MURILLO Y ZUNIGA T3.docx Document 4_MURILLO Y ZUNIGA T3.docx (D119675993)	 4
W	URL: https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/115 Fetched: 2023-08-16 10:11:00	 2
SA	Preprint_Art06-746-20210324.pdf Document Preprint_Art06-746-20210324.pdf (D99672189)	 3

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD

INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

TÍTULO

“EFICIENCIA DEL ACOPLAMIENTO WETLAND Y TOHÁ EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES VERTIDAS AL CANAL HUANCA, SAN LUIS, CAÑETE, 2023”

AUTORES

RICARDO ELWIN ALDORADIN QUISPE / 0000-0001-5772-7348 / 47396734

LUIS ANGEL QUISPE MACAVILCA / 0000-0003-2888-279X / 71388231

ASESOR

Ms.C. ING. MARÍA ANTONIETA GUTIÉRREZ DÍAZ / 0000-0001-7218-8346 / 08430018

LUGAR DE EJECUCIÓN

SAN LUIS – CAÑETE

UNIDAD DE ANÁLISIS

AGUAS RESIDUALES VERTIDAS A UN CANAL

TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

APLICADA / CUANTITATIVA / EXPERIMENTAL

TEMA OCDE

1.05.08 CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE

DEDICATORIA

Este esfuerzo está dedicado, a nuestras familias, por su apoyo incondicional y aliento para seguir mejorando en el ámbito personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a Dios por permitirnos la bendición de contar con un día más de buena salud.

A nuestra asesora Ms.C. Ing. María Antonieta Gutiérrez Díaz, por su orientación, enseñanza y gran aporte para la consolidación de la presente tesis.

ÍNDICE

RESUMEN	19
ABSTRACT	20
INTRODUCCIÓN	21
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
1.1. Descripción de la realidad problemática	23
1.2. Formulación del Problema	26
1.2.1. Problema General	26
1.2.2. Problemas Específicos	26
1.3. Objetivos	26
1.3.1. Objetivo General	26
1.3.2. Objetivos Específicos	26
1.4. Justificación	27
1.4.1. Justificación ambiental	27
1.4.2. Justificación normativa-legal	27
1.4.3. Justificación teórica	28
1.4.4. Justificación metodológica	29
1.4.5. Justificación práctica	29
1.4.6. Justificación económica	29
1.4.7. Justificación social	30
1.5. Delimitantes de la investigación	30
1.5.1. Delimitante teórica	30
1.5.2. Delimitante temporal	31
1.5.3. Delimitante espacial	31
II. MARCO TEÓRICO	32
2.1. Antecedentes	32

2.1.1.	Antecedente Internacional	32
2.1.2.	Antecedente Nacional	35
2.2.	Bases teóricas	39
2.2.1.	Teoría de la Ingeniería ambiental	39
2.2.2.	Acoplamiento Wetland y Tohá	40
2.2.3.	Aguas residuales	41
2.2.4.	Sistema Wetland	41
2.2.5.	Sistema Tohá	42
2.3.	Marco conceptual	42
2.3.1.	Lombrifiltro	42
2.3.2.	Mecanismos de trabajo de Eisenia foetida en el Lombrifiltro	43
2.3.3.	Método de operación del Lombrifiltro	44
2.3.4.	Funcionamiento del Lombrifiltro	44
2.3.5.	Humedal artificial	44
2.3.6.	Vegetación en el Humedal artificial	45
2.3.7.	Funcionamiento del Humedal artificial	45
2.3.8.	Clasificación de humedales	46
2.3.9.	Tratamiento de aguas residuales	46
2.4.	Definición de términos básicos	47
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	52
3.1.	Hipótesis	52
3.1.1.	Hipótesis General	52
3.1.2.	Hipótesis Específicas	52
3.1.3.	Operacionalización de variables	53
IV.	METODOLOGÍA DEL PROYECTO	55
4.1.	Diseño metodológico	55

4.1.1.	Tipo de investigación	55
4.1.2.	Enfoque de la investigación	55
4.1.3.	Nivel de investigación	55
4.1.4.	Diseño de investigación	56
4.2.	Método de investigación	56
4.2.1.	Método observacional	56
4.2.2.	Método documental	56
4.2.3.	Método estadístico	57
4.2.4.	Método hipotético-deductivo	57
4.2.5.	Metodología de la investigación	57
4.3.	Población y muestra	67
4.3.1.	Población	67
4.3.2.	Muestra	68
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado	68
4.4.1.	Lugar de estudio	69
4.4.2.	Periodo desarrollado	69
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	70
4.5.1.	Técnica	70
4.5.2.	Instrumentos	70
4.6.	Análisis y procesamiento de datos	71
4.7.	Aspectos éticos en investigación	72
V.	RESULTADOS	74
5.1.	Resultados descriptivos	82
5.2.	Resultados inferenciales	94
5.2.1.	Prueba de Normalidad	94
5.2.2.	Análisis Estadístico – ANOVA	101

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	137
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	137
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares	140
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	141
VII. CONCLUSIONES	143
VIII. RECOMENDACIONES	144
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145
VIII. ANEXOS	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	53
Tabla 2. Características de material de sustrato del humedal	59
Tabla 3. Longitud promedio de raíces	59
Tabla 4. Modelos matemáticos para diseño del humedal	59
Tabla 5. Modelo matemático para diseño del lombrifiltro	61
Tabla 6. Métodos de análisis para los contaminantes del agua residual	67
Tabla 7. Requisitos para la toma de muestra de agua residual	68
Tabla 8. Programa de ejecución experimental de la investigación	69
Tabla 9. Matriz de arreglo experimental con diseño factorial	72
Tabla 10. Resultados experimentales del pH respecto a la interacción con los indicadores propuestos	74
Tabla 11. Resultados experimentales de Temperatura respecto a la interacción con los indicadores propuestos	76
Tabla 12. Resultados experimentales de la Demanda Bioquímica de Oxígeno respecto a la interacción con los indicadores propuestos	77
Tabla 13. Resultados experimentales de la Demanda Química de Oxígeno respecto a la interacción con los indicadores propuestos	79
Tabla 14. Resultados experimentales de Coliformes Termotolerantes respecto a la interacción con los indicadores propuestos	80
Tabla 15. Resultados del porcentaje de remoción de DBO5 con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (0.5 m ³ /m ² /día)	83
Tabla 16. Resultados del porcentaje de remoción de DBO5 con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (0.5 m ³ /m ² /día)	83
Tabla 17. Resultados del porcentaje de remoción de DBO5 con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (1 m ³ /m ² /día)	84

Tabla 18. Resultados del porcentaje de remoción de DBO5 con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (1 m3/m2/día)	84
Tabla 19. Resultados del porcentaje de remoción de DQO con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (0.5 m3/m2/día)	85
Tabla 20. Resultados del porcentaje de remoción de DQO con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (0.5 m3/m2/día)	85
Tabla 21. Resultados del porcentaje de remoción de DQO con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (1 m3/m2/día)	86
Tabla 22. Resultados del porcentaje de remoción de DQO con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (1 m3/m2/día)	86
Tabla 23. Resultados del porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (0.5 m3/m2/día)	87
Tabla 24. Resultados del porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (0.5 m3/m2/día)	88
Tabla 25. Resultados del porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (1 m3/m2/día)	88
Tabla 26. Resultados del porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (1 m3/m2/día)	89
Tabla 27. Resultados del porcentaje de variación de pH con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (0.5 m3/m2/día)	90

Tabla 28. Resultados del porcentaje de variación de pH con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (0.5 m ³ /m ² /día)	90
Tabla 29. Resultados del porcentaje de variación de pH con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (1 m ³ /m ² /día)	91
Tabla 30. Resultados del porcentaje de variación de pH con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (1 m ³ /m ² /día)	91
Tabla 31. Resultados del porcentaje de variación de Temperatura con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (0.5 m ³ /m ² /día)	92
Tabla 32. Resultados del porcentaje de variación de Temperatura con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (0.5 m ³ /m ² /día)	92
Tabla 33. Resultados del porcentaje de variación de Temperatura con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (1 m ³ /m ² /día)	93
Tabla 34. Resultados del porcentaje de variación de Temperatura con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (1 m ³ /m ² /día)	93
Tabla 35. Valores de los factores para DBO ₅	102
Tabla 36. Análisis de varianza para DBO ₅	102
Tabla 37. Prueba estadística ANOVA para valores DBO ₅	103
Tabla 38. Valores del factor TRH para la DBO ₅	104
Tabla 39. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor TRH para la DBO ₅	104
Tabla 40. Pruebas estadísticas de resultado vs TRH en DBO ₅	104
Tabla 41. Valores del factor Tasa de riego para la DBO ₅	105
Tabla 42. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Tasa de riego para la DBO ₅	105
Tabla 43. Pruebas estadísticas de resultado vs Tasa de riego en DBO ₅	106

Tabla 44. Valores del factor Altura de aserrín para la DBO ₅	107
Tabla 45. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Altura de aserrín para la DBO ₅	107
Tabla 46. Pruebas estadísticas de resultado vs Altura de aserrín en DBO ₅	107
Tabla 47. Valores de los factores para DQO	109
Tabla 48. Análisis de varianza para DQO	109
Tabla 49. Prueba estadística ANOVA para factores de DQO	110
Tabla 50. Valores del factor Altura de aserrín para DQO	111
Tabla 51. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Altura de aserrín para la DQO	111
Tabla 52. Pruebas estadísticas de resultado vs Altura de aserrín en DQO	111
Tabla 53. Valores del factor TRH para DQO	112
Tabla 54. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor TRH para la DQO	112
Tabla 55. Pruebas estadísticas de resultado vs TRH en DQO	113
Tabla 56. Valores del factor Tasa de riego para DQO	114
Tabla 57. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Tasa de riego para la DQO	114
Tabla 58. Pruebas estadísticas de resultado vs Tasa de riego en DQO	114
Tabla 59. Valores de los factores para Coliformes Termotolerantes	116
Tabla 60. Análisis de varianza para Coliformes Termotolerantes	116
Tabla 61. Prueba estadística ANOVA para factores de Coliformes Termotolerantes	118
Tabla 62. Valores del factor Altura de aserrín para Coliformes Termotolerantes	118
Tabla 63. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Altura de aserrín para Coliformes Termotolerantes	118
Tabla 64. Pruebas estadísticas de resultado vs Altura de aserrín en Coliformes Termotolerantes	118
Tabla 65. Valores del factor TRH para Coliformes Termotolerantes	119
Tabla 66. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor TRH para Coliformes Termotolerantes	119

Tabla 67. Pruebas estadísticas de resultado vs TRH en Coliformes Termotolerantes	120
Tabla 68. Valores del factor Tasa de riego para Coliformes Termotolerantes	121
Tabla 69. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Tasa de riego para Coliformes Termotolerantes	121
Tabla 70. Pruebas estadísticas de resultado vs Tasa de riego en Coliformes Termotolerantes	121
Tabla 71. Valores de los factores para pH	123
Tabla 72. Análisis de varianza para pH	123
Tabla 73. Prueba estadística ANOVA para factores de pH	125
Tabla 74. Valores del factor Altura de aserrín para pH	125
Tabla 75. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Altura de aserrín para pH	125
Tabla 76. Pruebas estadísticas de resultado vs Altura de aserrín en pH	125
Tabla 77. Valores del factor TRH para pH	126
Tabla 78. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor TRH para pH	126
Tabla 79. Pruebas estadísticas de resultado vs TRH en pH	127
Tabla 80. Valores del factor Tasa de riego para pH	128
Tabla 81. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Tasa de riego para pH	128
Tabla 82. Pruebas estadísticas de resultado vs Tasa de riego en pH	128
Tabla 83. Valores de los factores para Temperatura	130
Tabla 84. Análisis de varianza para Temperatura	130
Tabla 85. Prueba estadística ANOVA para factores de temperatura	131
Tabla 86. Valores del factor Altura de aserrín para temperatura	132
Tabla 87. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Altura de aserrín para temperatura	132
Tabla 88. Pruebas estadísticas de resultado vs Altura de aserrín en la temperatura	132
Tabla 89. Valores del factor TRH para temperatura	133

Tabla 90. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor TRH para temperatura	133
Tabla 91. Pruebas estadísticas de resultado vs TRH en la temperatura	134
Tabla 92. Valores del factor Tasa de riego para temperatura	135
Tabla 93. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Tasa de riego para temperatura	135
Tabla 94. Pruebas estadísticas de resultado vs Tasa de riego en la temperatura	135
Tabla 95. Evaluación del nivel de eficiencia en la remoción de contaminantes	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Adaptación de lombrices	58
Figura 2. Diseño de lombrifiltro	60
Figura 3. Construcción del prototipo acoplado Wetland y Tohá.	62
Figura 4. Recolección de agua residual inicial del punto de vertimiento.	63
Figura 5. Esquema del prototipo acoplado Wetland y Tohá	64
Figura 6. Muestreo de agua residual en el afluente y efluentes	66
Figura 7. Diagrama de flujo del diseño del plan experimental.	67
Figura 8. Ubicación del lugar de estudio.	69
Figura 9. Gráfica de probabilidad normal de resultados obtenidos del parámetro de pH	95
Figura 10. Gráfica de probabilidad normal de resultados obtenidos del parámetro de Temperatura	96
Figura 11. Gráfica de prueba de Kolmogórov-Smirnov para resultados obtenidos del parámetro de Temperatura	97
Figura 12. Gráfica de probabilidad normal de resultados obtenidos del parámetro de DBO5	98
Figura 13. Gráfica de prueba de Kolmogórov-Smirnov para resultados obtenidos del parámetro de DBO5	99

Figura 14. Gráfica de probabilidad normal de resultados del parámetro de DQO	100
Figura 15. Gráfica de probabilidad normal de resultados obtenidos del parámetro de Coliformes Termotolerantes	101
Figura 16. Gráfica de resultados de reducción de DBO5 respecto a las medias de Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego.	103
Figura 17. Gráfico de prueba Resultados vs TRH para la DBO5	105
Figura 18. Gráfico de prueba Resultados vs Tasa de riego para la DBO5	106
Figura 19. Gráfico de prueba Resultados vs Altura de aserrín para la DBO5	108
Figura 20. Gráfica de resultados de reducción de DQO respecto a medias de Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego	110
Figura 21. Gráfico de prueba Resultados vs Altura de aserrín para la DQO	112
Figura 22. Gráfico de prueba Resultados vs TRH para la DQO	113
Figura 23. Gráfico de prueba Resultados vs Tasa de riego para la DQO	115
Figura 24. Gráfica de resultados de reducción de Coliformes Termotolerantes respecto a medias de Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego	117
Figura 25. Gráfico de prueba Resultados vs Altura de aserrín para Coliformes Termotolerantes	119
Figura 26. Gráfico de prueba Resultados vs Tiempo de retención hidráulica para Coliformes Termotolerantes	120
Figura 27. Gráfico de prueba Resultados vs Tasa de riego para Coliformes Termotolerantes	122
Figura 28. Gráfica de resultados de efectos del pH respecto a medias de Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego	124
Figura 29. Gráfico de prueba Resultados vs Altura de aserrín para pH	126
Figura 30. Gráfico de prueba Resultados vs TRH para pH	127
Figura 31. Gráfico de prueba Resultados vs Tasa de riego para pH	129
Figura 32. Gráfica de resultados de efectos de la temperatura respecto a medias de Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego	131
Figura 33. Gráfico de prueba Resultados vs Altura de aserrín para temperatura	133
Figura 34. Gráfico de prueba Resultados vs TRH para temperatura	134

Figura 35. Gráfico de prueba Resultados vs Tasa de riego para temperatura

136

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el nivel de eficiencia del acoplado Wetland y Tohá en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete, 2023; la metodología fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo, nivel explicativo. Para el diseño e implementación del prototipo acoplado Wetland y Tohá se utilizó las técnicas de análisis documental, revisión de guías y artículos científicos. La investigación tuvo un diseño experimental factorial de 2x3 para establecer la influencia del diseño del sistema (Tiempo de Retención Hidráulica "TRH" y Tasa de riego) y componente (Altura de aserrín), para lo cual se establecieron los siguientes niveles: TRH = 24 y 48 horas ajustado en el caudal de ingreso del afluente de cada Humedal artificial, Tasa de riego = 0.5 y 1 m³/m²/día ajustado en el caudal de ingreso del efluente a cada lombrifiltro, y Altura de aserrín = 5 y 10 cm. El desarrollo del experimento en el prototipo acoplado fue de tres (3) semanas, donde, se tomaron muestras de agua residual doméstica de 50 litros/día del punto de vertimiento, realizando los muestreos en la semana 3 y 4 conformado por 5 litros de agua residual al ingreso y en cada salida del acoplado para su análisis y medición de los parámetros DBO₅, DQO, coliformes termotolerantes, pH y temperatura respectivamente.

Los resultados mostraron que hay una influencia del 65.10% y 65.09% de remoción de DBO₅ y DQO cuando los indicadores están en un TRH = 48 horas, Tasa de riego = 1 m³/m²/día y Altura de aserrín = 5 cm. Asimismo, 98.26 % de coliformes termotolerantes cuando los indicadores están en un TRH = 48 horas, Tasa de riego = 0.5 m³/m²/día y Altura de aserrín = 5 cm. En cuanto a los parámetros de pH y temperatura, no presentaron variación significativa con respecto a la entrada y salidas del prototipo acoplado, por lo que se consideraron parámetros que permiten monitorear el agua residual como indicador, mas no como contaminantes. Finalmente, se concluye que el acoplamiento Wetland y Tohá presenta un ponderado medianamente eficiente con un 58.94 % de remoción de contaminantes propuestos en el tratamiento de las aguas residuales domesticas vertidas al canal de regadío Huanca.

ABSTRACT

The present research was aimed at determining the level of efficiency of the Wetland and Tohá coupling in the treatment of wastewater discharged into the Huanca canal, San Luis, Cañete, 2023; the methodology used was applied, quantitative approach, explanatory level. For the design and implementation of the Wetland and Tohá coupled prototype, the techniques used were documentary analysis, review of guides and scientific articles. The research had a 2x3 factorial experimental design to establish the influence of the system design (Hydraulic Retention Time "HRT" and irrigation rate) and components (Sawdust height), for which the following levels were established: HRT = 24 and 48 hours adjusted in the inflow of the tributary of each artificial wetland, irrigation rate = 0.5 and 1 m³/m²/day adjusted for the effluent inflow to each worm farm, and Sawdust height = 5 and 10 cm. The development of the experiment in the coupled prototype lasted three (3) weeks, where samples of 50 liters/day of domestic wastewater were taken from the discharge point, with sampling in weeks 3 and 4, consisting of 5 liters of wastewater at the inlet and at each outlet of the coupling for analysis and measurement of the parameters BOD₅, COD, thermotolerant coliforms, pH and temperature, respectively.

The results showed that there is an influence of 65.10% and 65.09% removal of BOD₅ and COD when the indicators are at HRT = 48 hours, Irrigation rate = 1 m³/m²/day and Sawdust height = 5 cm. Likewise, 98.26 % of thermotolerant coliforms when the indicators are at HRT = 48 hours, irrigation rate = 0.5 m³/m²/day and sawdust height = 5 cm. As for the pH and temperature parameters, they did not present significant variation with respect to the input and output of the coupled prototype, so they were considered parameters that allow monitoring the wastewater as an indicator, but not as pollutants. Finally, it is concluded that the Wetland and Tohá coupling presents a moderately efficient weighting with a 58.94 % of removal of contaminants proposed in the treatment of domestic wastewater discharged into the Huanca irrigation canal.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la (UNESCO, 2017) estima que un porcentaje mayor al 80% de las aguas residuales generadas, son vertidas al ambiente sin tratamiento alguno. La contaminación del agua es un problema cada vez más crítico debido a los riesgos que representa para la salud de la población humana, animal y vegetal; la contaminación es originada principalmente por la actividad humana en diferentes sectores económicos de producción como la agricultura, minería, industrias, actividad doméstica y urbana, debido al vertimiento de las aguas residuales a los cuerpos de agua sin previo tratamiento.

En el Perú, de acuerdo con el diagnóstico de brechas del sector saneamiento respecto al tratamiento de las aguas residuales se demuestra que el sistema actual es insuficiente, además, las infraestructuras existentes no realizan una adecuada depuración de contaminantes. El (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2020), refiere que, en la provincia de Cañete, ubicada en el departamento de Lima, solo el 14.4% de las aguas residuales reciben un tratamiento.

(Carbajal et al., 2018), aprueba el estudio tarifario para la provincia de Cañete para el periodo 2019-2024, donde diagnostica el sistema de saneamiento del distrito de San Luis, concluyendo que, al no contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales, realizan sus descargas mediante redes colectoras al canal de regadío Huanca, generando contaminación del agua y suelo agrícola aledaños.

(Arias y Tiquillahuanca, 2018)refirieron que el procedimiento Tohá, es una alternativa ecológica de purificación de las aguas excedentes con una aceptable eficacia y eficiencia en cuanto a la eliminación de componentes orgánicos y microorganismos nocivos. Asimismo, (Haro y Aponte 2010), indican que, en 1953 Kathe Seidel en una de sus investigaciones, refiere que las propiedades de algunas plantas acuáticas tienen la capacidad de tratar las aguas residuales,

dando origen al sistema Wetlands o humedales artificiales, cuyos beneficios son una alternativa económicamente efectiva.

El canal de regadío Huanca, ubicado en el distrito de San Luis, provincia de Cañete, presenta actualmente una problemática en cuanto a la contaminación de sus aguas debido al vertimiento constante de aguas residuales domésticas sin tratamiento alguno. En ese sentido, en la presente investigación se propone evaluar el tratamiento de las aguas residuales mediante la implementación del acoplamiento Wetland y Tohá a escala piloto, a fin de determinar su eficiencia en cuanto a la remoción de las características físico, químicos y biológico propuestos en la variable dependiente. Para alcanzar el objetivo propuesto se ejecutaron diversas etapas: iniciamos con la recopilación de información para el dimensionamiento del sistema; implementación del acoplado Wetland y Tohá; registro, recolección y análisis de muestras; obtención, procesamiento y discusión de los resultados.

De lo planteado fue necesario abarcar distintos aspectos contemplados por capítulos de la siguiente manera: I) Planteamiento del problema, II) Marco teórico, III) Hipótesis y variables, IV) Metodología de proyecto, V) Resultados, VI) Discusión de resultados, VII) Conclusiones, VIII) Recomendaciones, IX) Referencias bibliográficas y anexos.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El crecimiento exponencial de la población exige una mayor demanda de los servicios de saneamiento a nivel global. La falta de tratamiento de aguas residuales es una crisis mundial, ya que, al ser vertidas en los cuerpos receptores de agua se genera contaminación al ambiente, trayendo consigo enfermedades que afectan directa o indirectamente al ser humano. En ese sentido, la implementación de diferentes tecnologías convencionales y no convencionales para el tratamiento de aguas residuales son de vital importancia para reducir la contaminación al medio ambiente y a los que la habitan.

El tratamiento de aguas residuales fue necesario desde que se excedió la autopurificación de los cuerpos receptores de agua. Este tipo de aguas, que muchas veces se vierten a un cuerpo receptor sin tratamiento previo, son generadas a partir de todas las actividades antrópicas que utilizan el líquido elemento, de acuerdo con lo indicado por el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos – (UNESCO, 2017).

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, implementada por los estados miembros de la Asamblea General de las Naciones Unidas, señala un conjunto de objetivos que buscan reducir la pobreza, proteger el ambiente y garantizar un futuro sostenible para todos. Asimismo, se señala que en el año 2018 más del 40% de la población a nivel mundial vive en regiones donde el agua es escasa. El 80% de las aguas residuales vuelven a los ecosistemas sin haber sido tratados. En ese sentido, el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 tiene como finalidad garantizar la calidad del agua a través de la reducción de contaminantes, disminuyendo

en un 50% el volumen de las aguas residuales vertidas sin algún tipo de tratamiento (UNESCO, 2017).

(Alarcón et al., 2018) refiere que, en Europa, durante más de cuarenta años los municipios vienen utilizando sistemas basados en humedales artificiales para tratar las aguas residuales domésticas, municipales hasta industriales. En este mismo sentido, (Navarro-Frómata et al. 2020), hace referencia que, en el departamento del Tarn en Francia, se realizó la evaluación del desempeño de humedales de flujo vertical, construidos con diferentes configuraciones para el tratamiento de aguas residuales domésticas, obteniendo como resultados una alta tasa de remoción de materia orgánica, con un funcionamiento estable en el tiempo.

(UNICEF y OMS, 2021) hacen referencia que el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento alguno genera un impacto ambiental de manera negativa en los cuerpos receptores, influyendo de manera directa e indirecta en la calidad de vida de la población, ecosistemas y sus componentes. A nivel global, un aproximado de dos mil millones de personas usan fuentes de agua que presentan contaminación con material fecal. Asimismo, refieren que al menos quinientos dos mil muertes por diarrea son producto de esta contaminación en la fuente de agua.

En el Perú, de acuerdo con el diagnóstico elaborado por la (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2022), 96 localidades administradas por las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento vierten el agua residual directamente a los cuerpos de agua tales como mares, ríos, drenes o canales. El porcentaje de agua residual sin tratamiento en el año 2020 fue aproximadamente de 22%, siendo esta una de las principales problemáticas en cuanto a contaminación, ya que representa una amenaza a los recursos naturales y pone en riesgo la salud de la población.

El (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2020) en su Informe Anual de Estadísticas Ambientales a nivel Nacional, refiere que, en la Provincia de Cañete, departamento de Lima, la Empresa Prestadora de Servicios (EPS) Emapa Cañete S.A., a nivel de la Provincia tiene un 14.4% de tratamiento de aguas residuales. Asimismo, (SUNASS, 2022) indica que actualmente la EPS Emapa Cañete S.A cuenta con 03 plantas de tratamiento de aguas residuales (lagunas de estabilización) en las localidades de Cerro Azul, Quilmaná y Asia.

El distrito de San Luis, ubicado en la Provincia de Cañete, región Lima, cuenta con un sistema de alcantarillado conformado por redes colectoras, las que al no contar con un sistema de tratamiento descargan sus aguas residuales directamente en el canal de regadío Huanca, generando un impacto negativo al agua, suelo, agricultura y habitantes de sectores aledaños. De ello se puede inferir que los proyectos de inversión en el sector saneamiento presentan deficiencias en la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, debido a los largos plazos de ejecución de los sistemas convencionales y el limitado conocimiento en sistemas de tratamiento alternativos; asimismo, por la complejidad en el diseño de sistemas sostenibles de gran envergadura que permitan cumplir con una eficiente remoción de los contaminantes físicos, químicos y biológicos estipulados en el D.S. N° 003-2010-MINAM “Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”.

La tecnología convencional para el tratamiento de aguas residuales es muy costosa tanto para su instalación, operación y mantenimiento; es en ese sentido que, buscando una solución ideal que abarque la sostenibilidad ambiental y económica, para el desarrollo de la presente investigación se propuso la implementación del acoplamiento Wetland y Tohá a escala piloto a fin de determinar su nivel de eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al Canal Huanca, San Luis, Cañete.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿En qué medida el acoplado Wetland y Tohá es eficiente en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete, 2023?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿En qué medida influye el diseño del acoplado Wetland y Tohá en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023?
- ¿En qué medida influye el componente del acoplado Wetland y Tohá en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023?
- ¿Cuál es la eficiencia del acoplado Wetland y Tohá en función de las características física, químicas y biológica para el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar el nivel de eficiencia del acoplado Wetland y Tohá en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete, 2023.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Establecer la influencia del diseño acoplado Wetland y Tohá en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.
- Establecer la influencia del componente del acoplado Wetland y Tohá en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.

- Analizar la eficiencia del acoplado Wetland y Tohá en función de las características física, químicas y biológica para el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación ambiental

Las aguas residuales generadas en la localidad de San Luis, Cañete, al ser vertidas directamente en un cuerpo receptor de aguas canalizadas sin un tratamiento previo, genera un impacto negativo de forma directa e indirecta en la salud de la población aledaña.

En ese sentido, existe la necesidad de aplicar tecnologías convencionales, no convencionales o mixtas, que permitan reducir o eliminar el exceso de la carga contaminante presente en las aguas residuales, las cuales a su vez deberán ser evaluadas en cuanto a su eficiencia.

1.4.2. Justificación normativa-legal

El Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6): Agua y Saneamiento fue establecido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), cuyo fin es garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua, así como el saneamiento para todos.

En cuanto a la Normativa Nacional, La Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente, menciona en el numeral 113.1 que toda persona tiene el deber de contribuir en la prevención, control y recuperación de la calidad del ambiente y sus componentes. Asimismo, en su numeral 120.1 menciona que el Estado es el encargado de proteger la calidad de los recursos hídricos dentro del país. Adicionalmente, el numeral 120.2 indica que es el mismo Estado quien promueve el tratamiento de las aguas residuales, teniendo como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reuso.

La Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, señala en su Art. 79 que se encuentra terminantemente prohibido verter directa o indirectamente el agua residual sin realizar un tratamiento previo en base al cumplimiento de los estándares o límites de calidad según la normativa vigente.

El Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM busca asegurar el cumplimiento de los parámetros establecidos en los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Asimismo, para la determinación del volumen de muestra y protocolo de muestreo de las aguas residuales tratadas, se debe aplicar el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR, documento que establece los procedimientos y metodologías que deben ejecutarse para un adecuado desarrollo del monitoreo de la calidad del agua residual tratada en las estaciones depuradoras de aguas residuales.

Los formatos empleados para la fase de monitoreo de aguas residuales deben ser llenados con letra clara y legible. Asimismo, los resultados obtenidos deberán ser certificados por laboratorios debidamente acreditados ante el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

1.4.3. Justificación teórica

La implementación del acoplamiento Wetland y Tohá para el tratamiento de las aguas residuales se encuentra incluido en las delimitaciones de la Teoría de Depuración y Regeneración de Aguas Residuales, que tiene como objetivo principal la eliminación de los contaminantes presentes en el agua residual antes de ser devuelta al ambiente, lo que permite minimizar los posibles efectos negativos generados a la salud pública y al ecosistema (Metcalf & Eddy Inc., 1995).

Las teorías y los aportes conceptuales incluidos en el presente estudio encuentran oportunidad de divulgación en los escenarios del

conocimiento, contribuyendo así al ámbito de la ingeniería ambiental y de recursos naturales.

1.4.4. Justificación metodológica

Para desarrollar los procedimientos metodológicos y verificar las hipótesis planteadas, se propuso emplear técnicas basadas en el análisis documental y experimental, y en cuanto a instrumentos, el uso de fichas de registro de cadena de custodia ejecutados in-situ con la recolección de muestras; así como la ficha de registros de resultados de monitoreo de acuerdo con lo establecido en el protocolo respectivo, para luego realizar un Análisis Estadístico con apoyo del Software Minitab, en cuanto al Análisis de Varianza – ANOVA, determinando la validación de la hipótesis planteada.

1.4.5. Justificación práctica

Se construyó un prototipo a escala piloto del acoplado Wetland y Tohá en la Urbanización Santa Bárbara del distrito de San Luis, Cañete. Se buscó verificar su eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales, en función a los indicadores definidos, los cuales determinaron el nivel de remoción de contaminantes de carácter físico, químico y biológico de los parámetros establecidos en la normativa actual.

Los resultados obtenidos permitieron evaluar este sistema como una opción para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el país, evaluando las recomendaciones a las cuales se llegará con un diferente contexto y ubicación.

1.4.6. Justificación económica

El acoplado Wetland y Tohá por su naturaleza, es una tecnología de tratamiento accesible, ecológica, económica y sostenible en el tiempo por su diseño, operatividad y mantenimiento, en comparación con otros sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales.

La instalación y montaje del sistema acoplado basado en unidades naturales permite reducir los costos generados por su operación, mantenimiento y consumo de energía. En ese sentido, su ejecución promueve una cultura de sostenibilidad para un futuro reúso de las aguas tratadas, siendo una opción sostenible en el tiempo.

1.4.7. Justificación social

El acoplado Wetland y Tohá permitirá beneficiar a familias que viven en los sectores aledaños al canal Huanca del distrito de San Luis, en cuanto a la mejora de la calidad de las aguas del canal de regadío, reduciendo también los riesgos potenciales a la salud por el efecto de contaminación de las aguas tales como: la mitigación de malos olores causadas por la descomposición de materia orgánica en el efluente, lo que incide directamente en una menor proliferación de vectores. Por lo tanto, la construcción de este sistema a una escala real influiría significativamente en la calidad de vida de la población.

1.5. Delimitantes de la investigación

1.5.1. Delimitante teórica

El acoplamiento Wetland y Tohá en el tratamiento de las aguas residuales está relacionado con la Teoría de Depuración y Regeneración de Aguas Residuales. Asimismo, gran parte de la bibliografía obtenida procede de estudios nacionales e internacionales, correspondientes a la aplicación del lombrifiltro y humedal artificial para el tratamiento de este tipo de aguas. Al no existir una normativa que estandarice la aplicación de biofiltros como sistemas de tratamiento de aguas residuales en el Perú, se determinará el nivel de eficiencia del acoplamiento Wetland y Tohá en cuanto a la remoción de los contaminantes de carácter físico, químicos y biológico.

1.5.2. Delimitante temporal

El desarrollo de la investigación buscó determinar la eficiencia del acoplamiento de dos biofiltros en la remoción de los contaminantes presentes en las aguas residuales vertidas al canal Huanca. El desarrollo de la investigación para obtener los objetivos abarcó los meses de abril a mayo del año 2023. En este periodo de tiempo se realizó la construcción del prototipo, aclimatación de lombrices, muestreo y análisis en laboratorios de las aguas residuales pre y post tratamiento del efluente en el acoplado Wetland y Tohá, finalmente las discusiones posteriores de los resultados obtenidos.

1.5.3. Delimitante espacial

La investigación se desarrolló con las aguas residuales drenadas al canal de regadío Huanca, con punto de descarga en la coordenada UTM: 344712 E y 8555997 N localizada en la urbanización Santa Bárbara del distrito de San Luis, provincia de Cañete, región Lima. La implementación a escala piloto del acoplado del Wetland y Tohá fue ubicada a conveniencia en un almacén de techo abierto de la urbanización mencionada.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Para la presente investigación se realizaron revisiones bibliográficas de documentación internacional, nacional y local, las cuales serán utilizadas como antecedentes relevantes para sostener la investigación. A continuación, presentamos las siguientes:

2.1.1. Antecedente Internacional

Jacho y Mármol (2020), en su investigación denominada “Evaluación de un Sistema Wetland con caña Guadua para el tratamiento de aguas servidas” Implementaron un prototipo piloto Wetland teniendo a la caña Guadua como componente vegetal. El objetivo de su investigación fue, brindar una nueva propuesta para el tratamiento de aguas residuales que cumplan con la normativa de su país, para el vertimiento posterior en cuerpos de agua o sistemas de alcantarillado. La investigación desarrolló una metodología de tipo documental y experimental aplicando muestreos y recolección de datos. Finalmente concluyeron que, la eficiencia de remoción del sistema está por debajo de la línea de la normativa ambiental ecuatoriana, teniendo como resultado en SST un 98.95% y en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) un 93.89%. Se eligió la presente investigación en razón que contiene una de las variables de estudio que permitió realizar la contrastación con los resultados de eficiencia de remoción de los parámetros propuestos.

Vargas et al., (2020), en la investigación denominada “Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia”, tuvo como objetivo el análisis de los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias usados en Colombia. La metodología empleada fue de tipo documental, en la cual, se identificó la evolución de las tecnologías, sus alternativas y procesos de

eliminación de contaminantes durante el proceso de tratamiento de aguas residuales. Finalmente concluyeron que, las tecnologías de humedales artificiales, lodos activados y lagunas de estabilización en sus tratamientos biológicos alcanzan un 80% de eliminación de DBO₅, SST y DQO, asimismo, al utilizar estos sistemas de manera acoplada, se obtiene una eficiencia superior al 90% con relación a los parámetros antes mencionados. Se consideró como referencia la presente investigación, por su relevancia en cuanto al estudio de los principales biofiltros y diseño de estructura para la implementación de sistemas Wetlands (humedales).

Navarro-Frómeta et al., (2020), en la investigación titulada “Desempeño de humedales construidos de flujo vertical en el tratamiento de aguas residuales municipales”, tuvo como objetivo la evaluación del desempeño de dos sistemas wetland en el Departamento del Tarn en Francia y en el municipio de México. La investigación tuvo una metodología de tipo documental, donde se analizó las bondades de dos especies de macrófitas: *Phragmites australis* y *Typha latifolia*. Finalmente concluyeron que el uso de humedales verticales se da mayormente para el tratamiento de las aguas residuales en comunidades pequeñas, demostrando eficiencia en la depuración de SST, DBO₅ y DQO; recomendando que se logra una mayor remoción de contaminantes con un sistema integrado por dos humedales verticales. Se propone la presente referencia, por su relevancia que provee en cuanto a la técnica y procedimientos para la implementación del sistema Wetland (humedal).

Castillo y Chimbo (2021) en la investigación denominada “Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales”, tuvo como objetivo la evaluación de la eficiencia en la eliminación de carga orgánica a través de sistemas de lombrifiltros, para las aguas residuales domésticas generada en un sector rural del Ecuador. La investigación tuvo una metodología de tipo documental, donde se analizó el diseño del sistema lombrifiltro, la cual

presentó una estructura de 4 estratos: cantos, aserrín, lombriz y grava más carbón activado. Finalmente concluyeron en que, con un $Q = 1.8 \times 10^{-2}$ l/s y un tiempo de retención hidráulica de 0.92 horas se obtuvo una mejor eficiencia en la eliminación de SST, ST, DBO₅ y DQO, de acuerdo con el siguiente porcentaje de remoción: 52.25% para DBO₅, 66.74% para SST y 52.91% para ST. Se considera relevante la presente investigación por los procedimientos que contiene en cuanto a la implementación del prototipo del sistema Tohá (lombrifiltro) e indicadores.

Basilio y Vega (2021) en su investigación titulada “Evaluación de un ecosistema de biofiltración y humedal para aguas grises del recinto la Cabuya, cantón Balzar”, tuvo como objetivo evaluar un ecosistema de biofiltración y humedal para las descargas de aguas residuales del recinto “La Cabuya” del cantón Balzar. La metodología empleada de tipo de cuantitativo, de diseño predictivo experimental, donde se realizaron tomas de muestras de aguas residuales, posteriormente, mediante conductos los afluentes fueron dirigidos a un biofiltro construidos por residuos tabachín (*Caesalpinia pulcherrima*) y maderas de algarrobo (*Prosopis pallida*), para posteriormente ser llevado a 3 humedales artificiales. La evaluación a los tres tratamientos fue durante 35 días. Dando como resultado lo siguiente: El primer humedal obtuvo una reducción de turbidez del 79%, SDT de 29% y conductividad eléctrica del 21%. El segundo humedal obtuvo una disminución de turbidez del 74%, SDT del 45% y conductividad eléctrica del 32%. El tercer humedal obtuvo una reducción de turbidez del 85%, SDT del 37% y conductividad eléctrica del 19%. Se concluyó que los tres humedales permiten tratar con eficiencia las aguas residuales, sin embargo, el humedal a base de Papiro y Jacinto de agua tuvo una mejor eficiencia de remoción de contaminantes. Se consideró la presente investigación por su relevancia en cuanto a las formulaciones técnicas y procedimiento que facilitó el diseño de la estructura del prototipo Wetland (humedal).

2.1.2. Antecedente Nacional

Cáceres, Calisaya y Bedoya (2019) en la investigación denominada “Eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domiciliarias en la Región Moquegua, empleado la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). La metodología empleada fue de tipo cuantitativo y diseño experimental, ya que se tomaron muestras representativas de agua residual, donde se determinó el estado inicial de los parámetros físicos (SST y temperatura), químicos (DBO₅ y pH) y microbiológicos (coliformes termotolerantes). Estos sistemas de tratamiento tienen un proceso en base a prototipos denominados lombrifiltros, siendo evaluado con diferentes fuentes de riego: A1 (0,5 [m³/día]/m²), A2 (1 [m³/día]/m²) y A0 (grupo control). Asimismo, la técnica e instrumento para la recolección de datos fueron el muestreo de aguas residuales y las fichas de recolección de muestras respectivamente, asimismo, emplearon la prueba de Tukey, y el análisis de varianza (ANOVA). Finalmente concluyeron en que, obtuvieron mayor remoción de SST en A1, y un marcado descenso de temperatura y coliformes termotolerantes en A2; por tanto, ambas fuentes mostraron mayor eficiencia respecto a la pH y DBO₅. Por lo que finalmente, hubo un descenso medio de la temperatura (0,82°C), de SST (61,11%), de DBO₅ (50,14%), de coliformes termotolerantes (99,71%), y el pH (8,27). Se eligió la presente investigación porque contribuyó en brindar técnicas e instrumentos para el desarrollo experimental correspondiente.

Valle (2017), en su investigación titulada “Tratamiento de aguas grises mediante el sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro en la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de su Sistema Acoplado Humedal artificial y Lombrifiltro (SAHL) para el tratamiento de aguas residuales de la Urb. Santo Domingo – Carabayllo - Lima. El método utilizado fue de tipo aplicada, nivel predictivo y diseño experimental; los instrumentos

empleados fueron: en cuanto a la observación, usó la revisión bibliográfica, para el método experimental usó los registros de campo, cadena de custodia, análisis y procesamiento de datos en Microsoft Excel y Minitab 18. Asimismo, define el volumen de caudal de ingreso al sistema acoplado en 0.015 m³/día; para el humedal utilizó la especie *Eichhornia Crassipes* y para el lombrifiltro usó la especie *Eisenia foetida*. La remoción de contaminantes fue: Turbiedad de (74%), Sólidos suspendidos totales (91%), Demanda química de oxígeno (36%) y Demanda bioquímica de oxígeno (28%). Finalmente concluyó en que, el Lombrifiltro SAHL es de mayor eficiencia en cuanto a la remoción de los parámetros de Sólidos suspendidos totales y Turbiedad, y presenta una menor eficiencia en la remoción de los parámetros de Demanda bioquímica de oxígeno y Demanda química de oxígeno. Se consideró relevante la presente investigación en razón que contiene las variables de estudio, que permitió el análisis de contrastación de los resultados obtenidos.

Saboya (2021), en su investigación denominada “Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas”, tuvo como objetivo determinar la eficiencia del *Lumbricus* terrestres (lombriz de tierra) y la *Eisenia foetida* (lombriz roja californiana) durante el proceso del tratamiento de aguas residuales del distrito de Chachapoyas, Amazonas (Perú). Las dos especies fueron adaptadas por un periodo de 7 días en un medio similar al prototipo; posteriormente, fueron ingresados al sistema lombrifiltro (Tohá). La metodología usada fue de tipo aplicada y diseño experimental. Posteriormente obtuvieron los siguientes resultados para la especie *Eisenia foetida*: Bajó en nivel de concentración del DBO₅ en 92%, DQO en 86%, NT en 78%, turbidez en 84.4%, pH en 93%, y en CT en 84%. Por otro lado, la especie *Lumbricus* terrestres que consiguió una reducción de DBO₅ en 91%, DQO en 84%, NT en 77%, turbidez en 83%, pH en 93%, y CT en 80%. Finalmente concluyó en que, de la comparación realizada, la especie *Eisenia foetida* es más eficiente. El presente estudio contribuyó para el análisis de la

contrastación de los resultados de porcentaje de remoción de la investigación, además, proporcionó la técnica e instrumentos de recolección de datos, y, las bondades depuradoras de la planta *Alocasia macrorrhizos* (orejas de elefante) la cual se empleó como especie en el sistema Wetland (humedal).

Castro, Cruz y Florez (2017) en la investigación denominada “Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales subsuperficiales con macrófita *Alocasia macrorrhizos* (orejas de elefante) en la urbanización los tulipanes –Chosica, Lima”, tuvo como objetivo determinar la eficiencia de remoción de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos, mediante el uso de las plantas macrófita *Alocasia macrorrhizos* (orejas de elefante). La metodología usada fue de tipo experimental ya que se realizaron análisis de muestras del agua residual agrícola. Asimismo, para la construcción prototipo del humedal se utilizó 8 plantas macrófitas de *Alocasia*, 16 litros de afluente para el tanque a escala piloto, poniéndolo a reposo por un periodo de retención por 3 días, consecutivamente por 1 mes. Finalmente concluyeron en que, la eficiencia del humedal subsuperficial obtuvo el 60.72% de eliminación de parámetros físicoquímicos (temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, turbiedad, SST, DBO5, DQO, fosfato); así como también, parámetros microbiológicos (coliformes termotolerantes, coliformes totales, y *e.coli*) en el efluente. El presente estudio contribuyó en brindar la técnica e instrumento para la recolección de datos, asimismo, describe las bondades depuradoras de la *Alocasia macrorrhizos* (orejas de elefante) la cual se utilizó como especie en la investigación.

Loro (2018), en su informe de tesis “Evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de aguas residuales domésticas utilizando un biofiltro con *Eisenia foetida* y un biofiltro convencional”, tuvo como objetivo determinar la eficiencia de dos biofiltros, utilizando la especie *Eisenia foetida* y la convencional para la eliminación de los parámetros de

turbiedad, SST, aceites y grasas, DBO₅ y coliformes termotolerantes; en el tratamiento secundario de los afluentes domésticos con énfasis en el riego de vegetales. La metodología empleada fue de tipo adaptativa, de naturaleza experimental; los criterios de diseño fueron la tasa de filtración o carga hidráulica, selección y estratificación, altura o espesor del material filtrante. Posteriormente obtuvo el siguiente resultado: El biofiltro con *Eisenia foetida*, una remoción de turbiedad (80,36% - 89%), SST (40 %), Aceites y grasas (45,95% – 69,07%), DBO₅ (65% – 88,57 %) y Coliformes termotolerantes (99,97%-99,99%); y, el biofiltro convencional una depuración de turbiedad entre (95,01%-99%), SST (54,27% - 75%), Aceites y grasas (88,11% - 89,69%), DBO₅ (94,17% – 95,83%) y Coliformes termotolerantes (99.9%). Finalmente concluyó en que, el biofiltro usado con la especie *Eisenia foetida* resulta rentable debido a su autofinanciamiento con la comercialización de los subproductos obtenidos, mientras que, el biofiltro convencional mostró la formación de una biopelícula de lodos que demandan realizar un tratamiento adicional para su vertimiento final. La presente investigación contribuyó para la contrastar los resultados del porcentaje de remoción de los parámetros evaluados, asimismo, fue un referente bibliográfico que permite determinar el nivel eficiencia del funcionamiento del sistema acoplado.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Teoría de la Ingeniería ambiental

El acoplamiento Wetland (Humedales) y Tohá (Lombrifiltros) empleado para poder tratar las aguas servidas se asocia a la Teoría de la Depuración y Regeneración de Aguas Residuales, la cual es el conjunto de procesos y tecnologías empleadas para purificar el agua que ha sido utilizada en actividades humanas y liberada en el medio ambiente como residuo. En el marco de aplicación de la teoría en mención, la tecnología del acoplamiento propuesto tiene el principal objeto de reducir la carga de contaminantes de las aguas servidas antes de ser devuelta al medio ambiente, minimizando los posibles efectos negativos al ecosistema y la salud pública. Asimismo, la eficiencia de los humedales artificiales y lombrifiltros en conjunto, mediante su acoplamiento, se demostrará con el porcentaje de remoción obtenido permitiendo la depuración y regeneración de las aguas servidas.

Según Paico (2017), el Sistema Tohá es un filtro biológico empleado para tratar el agua residual de manera ecológica, optimizando de manera sostenible su reutilización al mitigar los impactos negativos que pudieran ocasionar a la salud y al ambiente

Según Canal de Isabel II (2013), la depuración se refiere al proceso de tratamientos a la que se somete el agua para eliminar impurezas resultantes de su uso antes de que se vierta al medio ambiente o parte del agua se reutilice para el riego urbano de áreas verdes o usos industriales. Las aguas residuales se tratan a través de una serie de procedimientos con la finalidad de eliminar contaminantes físicos, químicos y biológicos posteriores a su uso y producir agua limpia por un lado y desechos sólidos por el otro.

Delgadillo et al. (2010), definieron a los humedales artificiales como sistemas de fitorremediación que involucran el desarrollo de macrófitas enraizadas en lechos de grava impermeables. La acción de los macrófitos proporciona interacciones por los cuales los afluentes se purifican paulatina y lentamente.

De acuerdo con el Ministerio de la Presidencia (2007), el agua regenerada es agua residual que ha sido sometida a procesos de tratamiento adicionales para que su calidad sea la adecuada para su uso previsto.

2.2.2. Acoplamiento Wetland y Tohá

Parra y Chiang (2013), definen el acoplamiento Wetland y Tohá como un tipo de biofiltro desarrollado en dos etapas, la primera compuesta por el Sistema Wetlands, que consiste en un humedal artificial constituido por plantas macrófitas emergentes, que evita los malos olores o la proliferación de plagas, culminando la eliminación de las moléculas orgánicas que pudieron persistir; y la segunda etapa compuesta por el Sistema Tohá, en el cual se emplean las lombrices y microorganismos para descomponer materia orgánica y convertirla en humus. La finalidad es complementar estas dos etapas para una mayor eficiencia de la eliminación de contaminantes.

Según Mena (2014), los humedales artificiales son reservorios cuyo diseño contiene un sustrato (grava o arena), construidos en terrenos con paredes y pisos impermeabilizados y una vegetación adecuada para remover los contaminantes del efluente a tratar. El tiempo de retención hidráulica del efluente en el sistema es variable; pero los humedales creados deben permanecer saturados para que crezca la vegetación.

Según Riveros (2021), el diseño del sistema Tohá considera la cantidad de lombrices idóneas capaces de habitar en un área determinada, además con el área determinada y el caudal se puede calcular una Tasa de riego. Asimismo, refiere que los microorganismos realizan la descomposición

biológica y química del material sólido en las aguas residuales, y las lombrices se encargan de degradar sólidos reduciendo los microorganismos patógenos lo que permite al medio filtrante (aserrín) la optimización de sus actividades biológicas.

El sistema Tohá se define como un sistema biológico de flujo vertical basado en lombrices para tratar el agua residual. En estos sistemas los procesos no se dividen en primarios, secundarios o terciarios, por el contrario, las funciones de estas tecnologías se realiza un solo proceso, por lo que se consideran sistemas globales (Cáceres et al., 2019).

2.2.3. Aguas residuales

El agua residual es aquella que ha sido alterada por la actividad humana en sus propiedades físicas, químicas y biológicas originales y requiere cierto grado de tratamiento antes de que pueda ser reutilizada y/o descargada en cuerpos de agua (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014).

Las aguas residuales se consideran una combinación de aguas residuales domésticas, aguas residuales comerciales, aguas residuales industriales, aguas pluviales, entre otros (UNESCO, 2017).

Asimismo, se consideran una mezcla compleja que contiene agua, contaminantes suspendidos y disueltos, por lo que su calidad puede afectar negativamente a su uso futuro o función ecológica (Baca, 2012).

2.2.4. Sistema Wetland

De acuerdo con Alarcón et al. (2018), son estanques de poca profundidad con especies vegetales adaptadas al agua cuyo proceso de depuración se basa en procesos físico, químico y biológicos naturales. Su diseño varía, pero siempre incluyen componentes como canalizaciones y barreras del suelo para evitar la contaminación cruzada de los ecosistemas

circundantes y control de flujo de aguas residuales relacionado con la dirección, flujo, tiempo de retención y nivel de agua.

Asimismo, Delgadillo et al. (2010) plantearon que el Wetland o humedales artificiales pueden clasificarse por tipo de macrófitas empleadas para su funcionamiento, ya sea aquellas enraizadas al sustrato o las que flotan libremente.

2.2.5. Sistema Tohá

Liberio (2019) lo define como un método usado para tratar el agua residual, basado en el uso de lombrices (generalmente de la especie *Eisenia foetida*) las que por sus capacidades físicas o estructurales permiten realizar una eficiente remoción de materia orgánica y agentes patógenos. Este tratamiento corresponde a un biofiltro compuesto por diferentes estratos o lechos filtrantes de varios materiales a través de los cuales atraviesa el agua residual.

Castillo y Chimbo (2021), indican que el Sistema Tohá o lombrifiltro puede ser una tecnología ideal para el tratamiento de los efluentes industriales y domésticos, debido a sus características rentables y ecológicamente sostenibles. Asimismo, Bravo (2019), refiere que las lombrices empleadas para estos sistemas consumen cerca de la mitad de su peso en materia orgánica consiguiendo reducir parámetros, como SST (90 – 95%), DQO (80 – 90%), DBO5 (80 – 90%), entre otros. En los sistemas de lombrifiltros no se forma lodos ni se generan olores desagradables, por lo que el agua obtenida es generalmente apta para riego.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Lombrifiltro

Al respecto, la necesidad de evaluación del lombrifiltro o Tohá, se da en consideración al constructo sostenido por Cáceres et al. (2019), mediante el cual se recolecta una muestra representativa del afluente analizando los parámetros físico-químicos y microbiológicos para comprobar su estado.

Después del tratamiento inicial, este afluyente se somete a un proceso de tratamiento de lombrices donde se evalúa a diferentes tasas de riego.

Los efluentes de estas unidades fueron analizados teniendo en cuenta los mismos parámetros determinados para los afluentes.

2.3.2. Mecanismos de trabajo de Eisenia foetida en el Lombrifiltro

De acuerdo con Cáceres et al. (2019), la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es la especie que mejor se adecúa al cautiverio, además posee rusticidad y tolera factores ambientales, tiene una capacidad reproductiva fuerte y capacidad de aglomeración.

Bravo (2019) menciona que son 4 los mecanismos de acción de la *Eisenia Foetida* en el sistema de lombrifiltro o Tohá:

1. Molienda

La materia orgánica producida se descompone en partículas de 2 a 4 micrones y luego ingresa al intestino donde el intestino y la molleja actúan como biorreactor.

2. Acción enzimática

Las enzimas secretadas por las lombrices como lipasa, amilasa, celulasa, pueden convertir bioquímicamente los materiales proteicos en desechos orgánicos. Cuando se ingieren estas sustancias, se digieren los microorganismos patógenos que se depositan con minerales y microbios de la tierra.

3. Las lombrices refuerzan los microorganismos descomponedores

Las lombrices promueven el crecimiento de microorganismos de descomposición beneficiosos como protozoos, actinomicetos y hongos en el suelo. Lo que comen las lombrices se libera en el suelo en forma de nitrógeno y fósforo, donde los microbios pueden multiplicarse. Como resultado, lombrices y microorganismos forman una simbiosis y sinergia para acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica.

4. Humificación

El mecanismo implica la conversión de las partículas orgánicas más grandes en complejos coloidales amorfos que contienen fenoles, de los cuales aproximadamente una cuarta parte de la materia orgánica se convierte en humus y el resto se recicla para el crecimiento de lombrices.

Este humus se utiliza como fertilizante para el crecimiento y la supervivencia de las plantas y tiene buenas perspectivas en el mercado actual, ya que proporciona diferentes propiedades al suelo para permitir que las plantas y los árboles crezcan en diferentes entornos.

2.3.3. Método de operación del Lombrifiltro

Guzmán (2004), refirió que el Tohá es también denominado lombrifiltro o Tohá, ya que constituye una alternativa descontaminante a través del empleo de lombrices, este sistema opera como un filtro de percolación, el cual está conformado por capas, las cuales en orden descendente son: i) lombrices y humus, ii) tierra, iii) aserrín o viruta, iv) grava pequeña, v) grava mediana, y vi) canto rodado.

2.3.4. Funcionamiento del Lombrifiltro

Según Gallegos (2019), para un debido funcionamiento del lombrifiltro o Tohá, el agua residual debe regarse de manera homogénea para que las lombrices habiten todo el área, sin embargo, la existencia de mucha humedad no garantiza la sobrevivencia de las lombrices debido a que la oxigenación del sistema no será la suficiente ocasionando la muerte de las lombrices por ahogamiento.

2.3.5. Humedal artificial

Al respecto, la necesidad de evaluación del humedal artificial o Wetland, se da en consideración al constructo sostenido por Valle (2017), señala que las plantas recolectadas se lavaron primero con agua destilada antes

de usarse en humedales para eliminar los residuos del sitio de extracción. El muestreo se realizará de acuerdo con los protocolos previstos por la normativa para el seguimiento de la calidad de las aguas residuales de las viviendas o plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. Los puntos de monitoreo se determinan en la entrada del afluente y la salida de aguas residuales.

2.3.6. Vegetación en el Humedal artificial

Alarcón et al. (2018) también indica que una de las características distintivas de los humedales con respecto a otros tipos de tratamientos finales de efluentes, es la presencia de las plantas macrófitas.

Los humedales artificiales construidos pueden utilizar una variedad de macrófitos que viven en un área determinada porque tienen la ventaja de adaptarse al clima, así como a las condiciones del agua y del suelo del área. La elección de las especies utilizadas en estos sistemas es un factor muy importante, y se debe tener en cuenta la viabilidad de las plantas y sus cambios en el tiempo por los efectos potencialmente tóxicos de las aguas residuales tratadas.

2.3.7. Funcionamiento del Humedal artificial

El funcionamiento del Humedal artificial o Wetland se basa en que las plantas acuáticas eliminan los contaminantes de las aguas residuales a través de la inyección de oxígeno en sus raíces, estas plantas descomponen los nutrientes y la materia orgánica e inorgánica; el aire restante es absorbido por los microorganismos que se desarrollan naturalmente en el humedal y que se encargan de metabolizar los contaminantes. El sistema Wetland consta de tres procesos: i) los residuos se pasan a través de un decantador y son depositadas en el humedal, ii) el agua se drena de debajo de las piedras sobre el que se siembra plantas acuáticas para evitar olores y zancudos, y iii) el líquido se drena en las lagunas de plantas flotantes; las aguas residuales se tratan para que sean

aptas para su descarga en los cursos de agua o para su uso en sistemas de riego (Parra y Chiang 2013).

2.3.8. Clasificación de humedales

Arias y Brix (2003), establecen una clasificación de humedales o Wetlands basada en el material vegetal dominante en el lecho: a) humedales construidos basados en macrófitos flotantes como el jacinto de agua, la lenteja de agua, b) humedales construidos basados en macrófitos frondosos flotantes como los nenúfares, algas de estanque, c) humedales formados a partir de plantas sumergidas como alga de hojas rizadas, y d) humedales formados a partir de plantas nuevas como totora, cañas comunes.

Las plantas que corresponden a macrofitas emergentes tienen buena adaptabilidad y son resistentes a las duras condiciones ambientales, se pueden dividir en a) flujo superficial (HFS), donde el agua se descarga expuesto a la atmósfera a través del extremo del lecho y evacua por el extremo opuesto, b) flujo horizontal subsuperficial (HFSS), sistemas en los que el agua penetra entre el medio de relleno granular y las raíces y sale por tuberías y rebosaderos (son del tipo anaeróbico), c) sistemas híbridos (SH) que son combinaciones de los humedales mencionados, el diseño depende de las características del agua, los propósitos del tratamiento y las condiciones de operación y d) flujo vertical (HFV), el agua se descarga, se distribuye entre las capas del biofiltro y se absorbe en el lecho y finalmente se recolecta en el fondo y se descarga a través de tubos (Arias y Brix, 2003).

2.3.9. Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales es la combinación de los procesos físicos, químicos y biológicos que tiene por objetivo la eliminación de los contaminantes presentes en este tipo de aguas (UNESCO, 2017).

A través del tratamiento de aguas residuales domésticas se busca depurar los contaminantes de tal forma que alcancen los valores máximos permisibles según la normativa a nivel nacional e internacional. Debido a la diversidad de contaminantes existentes en las aguas residuales, según su clasificación, el tipo de tratamiento a emplear es muy amplio, y, en consecuencia, las técnicas utilizadas en estos procesos pueden llegar a ser diversas (Díaz, Alvarado y Camacho, 2012).

Como principio básico, el tratamiento de las aguas residuales se basa en la separación del líquido de los componentes no deseados. De acuerdo con el sistema de tratamiento elegido, se emplean mecanismos de carácter físico, químico y biológico que permitan lograr este objetivo. Por ello, para determinar la complejidad del tipo de tratamiento a emplear se debe evaluar su origen y nivel de contaminación (Baca, 2012).

El Sistema Tohá denominado lombrifiltro y el Sistema Wetlands denominado humedal artificial, son depuradores biológicos, los cuales son empleados individualmente para tratar el agua residual, permitiendo la eliminación de contaminantes; sin embargo, al ser sistemas complementarios, es posible su acoplamiento, para optimizar la eficiencia en la remoción de contaminantes. Al respecto, mediante el uso de estos sistemas naturales de biofiltración se pueden obtener significativos beneficios ambientales y paisajísticos, ocasionando una mejor eficiencia en la gestión de los recursos, al reingresar una parte de los desechos generados al ciclo natural (biomasa y nutrientes), permitiendo su revalorización al ser habitualmente tratado como residuo y reduciendo a su vez las cargas orgánicas de los acuíferos naturales. Estos sistemas pueden ser fácilmente implementados por su inferior costo de inversión, operación y mantenimiento, constituyendo una opción sostenible en el tiempo.

2.4. Definición de términos básicos

Planta de tratamiento de aguas residuales

Es un conjunto unificado de procesos y actividades que tienen por objetivo la depuración del agua residual previo a su vertimiento en un cuerpo receptor, mitigando daños a los ecosistemas acuáticos (Lozano-Rivas 2012).

Contaminación

Es cualquier cambio físico, químico o biológico en la calidad del recurso natural, nocivo para cualquier organismo que lo consuma (Guadarrama-Tejas et al. 2016)

Tasa de riego

Es la cantidad máxima de riego que el lecho puede absorber sin permitir que las lombrices mueran por la insuficiencia del oxígeno (Salazar, 2005).

Caudal

Es la cantidad de agua que transita por un determinado tramo en un tiempo determinado (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2013).

Plantas macrófitas

Son aquellos vegetales que crecen y están la mayor parte o todo su ciclo vital rodeada de agua. El papel principal del sistema de humedales artificiales se debe a su capacidad de fitorremediación y/o depuración de contaminantes físicos, químicos y biológicos (Justin, Olukanni y Babaremu 2022).

Tiempo de retención hidráulica

Es el tiempo en que el agua permanece en el filtro. La permanencia de la fase de reacción altera el desempeño del proceso; comprobando que si el periodo de reacción es mayor entonces la eliminación de materia orgánica será mayor, por lo que son empleados durante periodos de reacciones largas (Coronel, 2015).

Características Físicas

Las propiedades físicas se basan en el olor, temperatura, caudal y color (Spellman, 2008).

Características Químicas

Se describen específicamente las características químicas en términos de alcalinidad, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, compuestos nitrogenados, fósforo, gases disueltos, pH, sólidos (inorgánicos, orgánicos, en suspensión y disueltos), sólidos orgánicos, sólidos inorgánicos, sólidos en suspensión y sólidos disueltos (Spellman 2008).

Características Biológicas

Las aguas residuales contienen muchos organismos vivos se consideran importantes para controlar enfermedades microbianas perjudiciales, la actividad microbiológica se caracteriza por la degradación y estabilización de la materia orgánica (Crites y Tchobanoglous, 2000).

La temperatura

Es una propiedad física primordial por su consecuencia en las velocidades de la reacción química y actividad bacteriana, en la vida acuática de las fuentes receptoras, así como en la concentración del oxígeno disuelto. La temperatura de las aguas residuales es por lo general superior al del agua de suministro; asimismo, se ve alterada por las temperaturas del clima local. (Metcalf & Eddy Inc., 1995).

El pH

Es una propiedad química que evalúa el nivel de acidez o salinidad de las aguas residuales. Asimismo, el pH es el logaritmo negativo de la actividad de los protones (H⁺) en una solución acuosa (Osorio 2012).

Demanda Bioquímica de Oxígeno

Es la cuantía de oxígeno requerido por los microorganismos para estabilizar la materia orgánica bajo condiciones de periodo y temperatura específica (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006).

Demanda Química de Oxígeno

Es la cuantía de oxígeno que se necesita para la oxidación química de materia orgánica de las aguas residuales, utilizando como elemento oxidante a las sales inorgánicas (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006).

Coliformes Termotolerantes

Son las Bacterias Gram negativas no esporuladas o denominadas también coliformes fecales de una forma alargada con la capacidad de fermentar lactosa con la generación de gas a $44.5 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$, en un tiempo de 24 horas (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006).

Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

Es un invertebrado alargado de cuerpo cilíndrico, la exposición a los rayos solares, aunque este sea por un corto tiempo los podría matar, por eso son sensibles a la luz. La lombriz roja californiana en el estómago tiene unas glándulas especiales que, una vez ingeridos la materia orgánica, en su metabolismo segregan carbonato de calcio que sirven para neutralizar los ácidos de los alimentos que ingiere, para posteriormente sean excretados (Liberio, 2019).

Orejas de Elefante (*Alocasia Macrorrhizos*)

La *Alocasia Macrorrhizos* pertenece a la familia Araceae e incluye plantas nativas de las regiones tropicales. Estas plantas tienen la capacidad de depurar el agua por su característica de asimilación directa de nutrientes, en especial del fósforo, la cual es retirado del medio e ingresado al tejido vegetal, siendo este elemento (fósforo) también el principal contaminante

para que se genere la eutrofización de los cuerpos de agua (Castro et al., 2017).

Cuerpo receptor

Es el cuerpo de agua superficial, el cual está expuesto a recibir descargas de agua residual. A partir de la generación de contaminantes por el desarrollo de diferentes actividades antrópicas que finalmente son las aguas residuales (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), 2009).

Cadena de custodia

Es un Instrumento documental que permite garantizar la autenticidad de la muestra del agua tomada en campo hasta su llegada al laboratorio (Ministerio del Ambiente, 2016).

Muestra de agua

Conforma parte del agua superficial del cual se van a analizar los parámetros de interés correspondientes (Ministerio de Agricultura y Riego, 2016).

Muestra compuesta

Es un conjunto de muestras simples llevadas al laboratorio para su correspondiente análisis, siendo el resultado un valor analítico medio de la propiedad o compuesto analizado (Ministerio del Ambiente, 2016).

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

El acoplamiento Wetland y Tohá es medianamente eficiente en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete, 2023.

3.1.2. Hipótesis Específicas

- El diseño del acoplamiento Wetland y Tohá influyen en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.
- El componente del acoplamiento Wetland y Tohá influye en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.
- La eficiencia del acoplado Wetland y Tohá en función de las características física, químicas y biológica influye significativamente en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.

3.1.3. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices	Métodos	Técnicas
Variable independiente (X): Acoplamiento Wetland y Tohá	El acoplamiento Wetland y Tohá es la integración de dos biofiltros que pretenden mejorar la calidad del afluente. Ambos biofiltros propuestos tienen la capacidad de eliminar sólidos orgánicos. El sistema Wetland se situó antes del sistema Tohá, cumpliendo la principal función de evitar los malos olores, proliferación de plagas y eliminación de sólidos por sedimentación y propiedades de las macrófitas, para después realizar el riego en el sistema Tohá. * Wetland: Es un sistema fitodepurador de aguas residuales. El Humedal artificial, está conformado por componentes vegetales de especie macrófitos enraizadas y lecho de grava que hace posible una serie de interacciones físicas, químicas y biológicas; para la remoción de aguas residuales de forma progresiva (Delgado, 2010). *Tohá: Es un modelo de tratamiento de aguas residuales, también llamado lombrifiltro. Su diseño de estructura está relacionada a sus diferentes componentes como los lechos filtrantes orgánicos de: aserrín, lombrices y bacterias; asimismo, filtrantes inorgánicos como: las gravas de diferentes dimensiones. El estrato de mayor densidad está conformado por lombrices, las cuales degradan gran porcentaje de los cuerpos orgánicos, y, con su imparable movimiento crean canales y túneles que proponen la permeabilidad del sistema. (Parra & Chiang, 2013).	El acoplamiento Wetland y Tohá se evalúa a través de su diseño del sistema y su componente. Empleando las técnicas de análisis documental para determinar el diseño y funcionamiento del sistema	Diseño del sistema	Tasa de riego	(0.5 – 1) m ³ /m ² /día	Estadístico Hipotético-Deductivo	Análisis documental
				Tiempo de Retención Hidráulica	(24 – 48) Horas		
			Componente	Altura de Aserrín	(5 – 10) cm		

Variable dependiente (Y): Aguas residuales	Son aquellas aguas cuyas características físicas, químicas y biológicas originales han sido alteradas por efecto de las actividades humanas, las cuales requieren un grado de tratamiento antes de vertidas a un cuerpo receptor de agua y/o ser reusadas (OEFA, 2014)	Las aguas residuales se evalúan analizando el resultado de los valores obtenidos de las características físicas, químicas y biológica. Estos contaminantes se encuentran establecidos en la normativa sectorial de los límites máximos permisibles, empleando como instrumentos las cadenas de custodia e informes de ensayo de laboratorio obtenidos.	Característica física	Temperatura	°C		Observación Experimental
			Características químicas	pH	Unidad		
				Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L		
				Demanda Química de Oxígeno	mg/L		
Característica biológica	Coliformes Termotolerantes	NMP/100					

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

La presente investigación es de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y nivel explicativo, ya que, para medir el resultado de la variable dependiente se estimula el tratamiento con el acoplamiento Wetland y Tohá; para lo cual, se analizó la concentración de los parámetros físico, químicos y biológico establecidos.

4.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, porque se busca dar solución a la problemática del tratamiento de aguas residuales, para lo cual se implementó el acoplado de dos biofiltros a escala piloto, con la finalidad de obtener resultados a partir de las pruebas en cada sistema propuesto, tomando como referencia lo mencionado por Ñaupas et al. (2018), quien indica que la investigación aplicada se orienta a resolver objetivamente los problemas socioambientales de una comunidad, región o país.

4.1.2. Enfoque de la investigación

El enfoque es cuantitativo, ya que se usaron de datos numéricos recopilados al acoplado Wetland y Tohá, como: tasa de riego, diseño del acoplado y tiempo de retención hidráulica, y, su posterior análisis para resolver las preguntas de la investigación y probar las hipótesis formuladas; en referencia a lo indicado por Ñaupas et al. (2018), quien define que el enfoque de investigación cuantitativa se basa en la recolección de datos y su análisis para probar la hipótesis.

4.1.3. Nivel de investigación

Tiene un nivel de investigación explicativa, ya que pretende explicar las causas de un suceso o fenómeno, a partir del análisis y procesamiento de datos obtenidos del sistema piloto propuesto; de acuerdo con lo indicado por Rodríguez (2011), quien menciona que la investigación de nivel

explicativa busca descubrir, establecer y exponer las relaciones que existen entre las variables estudiadas, de tal modo que se explique: dónde, cuánto, cómo y por qué sucede un fenómeno.

4.1.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es cuasiexperimental, porque trabaja con grupos ya establecidos, no aleatorios, teniendo una validez interna pequeña, ya que no hay control sobre variables extrañas; pero se puede manipular la variable independiente, de acuerdo con lo sustentado por Ñaupás et al. (2018).

4.2. Método de investigación

4.2.1. Método observacional

Según Rekalde, Vizcarra y Macazaga (2014), el método observacional comprende en conocer y/o aprender el proceso de la realidad de la investigación; donde se pueden desarrollar textos en unidades significativas en relación con el problema objeto del estudio, para posteriormente agruparlos, definirlos y establecerlos por componentes.

En la presente investigación el método observacional se desarrolla en función de la observación directa en campo para el descubrimiento del problema, formulando una alternativa de solución para el mismo, así como del estado situacional del componente para el desarrollo del acoplado propuesto.

4.2.2. Método documental

Según Rodríguez (2011), el método documental consiste en indagar y analizar información documentada en publicaciones o recursos afines con la finalidad de recopilar datos que permitan establecer las bases teóricas y antecedentes históricos que abarquen el tema que se emplea en la investigación.

En la presente investigación se desarrolló la exploración, revisión, indagación y análisis de fuentes primarias y secundarias de carácter

documental, tales como artículos científicos, revistas indexadas, tesis con instrumentos validados, de tal manera que se pueda definir el dimensionamiento del acoplamiento Wetland y Tohá.

4.2.3. Método estadístico

De acuerdo con (Bojacá 2004), el método estadístico es un proceso de obtención, análisis e interpretación de las características y variables de un estudio o investigación que busca mejorar la comprensión de la realidad y optimizar la toma de decisiones.

En la presente investigación se desarrolla el método estadístico mediante el procesamiento de los datos obtenidos a partir de la metodología, técnicas e instrumentos determinados.

4.2.4. Método hipotético-deductivo

El método de la presente investigación es hipotético-deductivo, el cual consiste en ir desde la hipótesis a la deducción, con la finalidad de determinar la veracidad o la falsedad de los procesos, hechos o conocimientos usando el principio de refutabilidad; este método también es señalado por Ñaupas et al. (2018), en el cual afirma lo indicado.

4.2.5. Metodología de la investigación

El Diseño del Plan para la presente investigación se desarrolló según las siguientes fases, considerando técnicas e instrumentos de recolección de datos para el procesamiento de la información.

1. Fase preliminar

i. Recolección de información.

Se realizó la revisión, análisis y evaluación de fuentes primarias y secundarias de carácter documental, tales como artículos científicos, revistas indexadas y tesis con instrumentos validados, con el fin de poder definir el dimensionamiento del acoplamiento Wetland y Tohá.

ii. Adaptación de especies al agua residual doméstica

En cuanto a las lombrices de especie “Eisenia foetida” utilizadas, antes de ser colocadas en los lombrifiltros fue necesario adecuarse a un proceso de aclimatación a fin de lograr su adaptación, de forma progresiva, al estar en contacto con las aguas residuales, ya que de ser expuestas de forma directa a estos afluentes podrían dañar su epidermis, pudiendo experimentar cambios bruscos en su hábitat que afecten su metabolismo. En base a la bibliografía antecedente, se realizó la adaptación de las lombrices por un periodo de 10 días, mediante el riego de 1 Litro de agua residual proveniente del punto de vertimiento, en una caja con sustrato (humus) en el cual habitaban las lombrices, cubierta en el fondo con malla plástica raschell que permitió evacuar el exceso de agua por infiltración, así como mantener húmedo el sustrato para la respiración de las lombrices.



Figura 1. Adaptación de lombrices

iii. Construcción del prototipo - acoplado Wetland y Tohá

Lopez (2015), indica que el diseño sugerido para un humedal depende del tipo de contaminante y la concentración de agua servida.

En cuanto a las características del material a emplear como sustrato se debe tener en cuenta la siguiente tabla.

Tabla 2. Características de material de sustrato del humedal

Tipo de material	Diámetro promedio (mm)	Porosidad (n)	Conductividad hidráulica K_s (m^3/m^2-día);(m/día)
Arena fina	8	0.30-0.35	0.01-1
Arena gruesa	2	0.28-0.32	1-100
Grava fina	16	0.35-0.38	0.1-1000
Grava media	32	0.36-0.40	0.1-1000
Roca gruesa	128	0.40-0.45	10-1000

Nota: mm: milímetros. Tomada de Fetter, 2000, adaptada por Lopez, 2015, p, 32.

En cuanto a la profundidad del lecho, este se relaciona con la longitud de las raíces de las plantas, las que se presentan en el siguiente cuadro.

Tabla 3. Longitud promedio de raíces

Tipo de vegetación	Profundidad de las raíces (m)
Bulrush, Scirpus (juncos)	0.8
Cattails, Typha (juncos)	0.3
Reeds, Phragmites (carrizos)	0.6

Nota: m: metros. Tomada de USEPA, 1993, adaptada por Valle, 2017, p, 16.

Para el diseño del humedal, también se usan los siguientes modelos matemáticos.

Tabla 4. Modelos matemáticos para diseño del humedal

Tiempo de retención hidráulica del agua en el humedal	
Modelo matemático	Componentes

$$TRH = \frac{A_s \times y \times n}{Q}$$

A_s : área superficial
 y : Profundidad humedal
 n : Porosidad efectiva
 Q : caudal

Relación del Humedal - Ancho: Largo

Modelo matemático

Componentes

$$b = \sqrt{\frac{A_s}{3}}$$

A_s : área superficial

$$L = b \times 3$$

b : ancho

Nota: TRH: Tiempo de retención hidráulica. L: largo. Adaptado de Mena, 2014, pp. 57-58.

Valle (2017), de acuerdo con lo indicado por Manrique y Piñeros (2016), y a los antecedentes evaluados para el diseño del lombrifiltro, concluye que el uso de 4 capas o lechos filtrantes: lombrices con humus, aserrín y viruta, grava y piedra de río en una proporción de sustrato [1:2:1:1] es la mejor opción para un porcentaje de remoción de DQO de 96%.

Lombrices y tierra (5 cm)
Aserrín y viruta (10 cm)
Grava de 0.4 cm (5 cm)
Piedra de río de 0.7 cm (5cm)

Figura 2. Diseño de lombrifiltro. Tomada de «Tratamiento de aguas grises mediante el sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro en la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017» por Valle, 2017, p. 27.

Asimismo, los diseños y patrones de Tohá se basan en el balance de masas, teniendo en cuenta la cantidad de lombrices que pueden coexistir en un área determinada, la cantidad de materia orgánica que pueden digerir y la tasa de riego que las plantas pueden soportar para que estas lombrices no mueran por falta de oxígeno. También se menciona que el área requerida se puede calcular considerando el caudal y asumiendo la tasa de riego de acuerdo con la siguiente ecuación:

Tabla 5. Modelo matemático para diseño del lombrifiltro

Tasa de riego

$$T_{riego} = \frac{Q}{A} \leq 1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

Nota: Q: caudal. A: área. Adaptado de Riveros, 2021.

Se construyeron dos (2) sistemas Wetland o humedales artificiales: el primero con dimensiones 0.57 m de largo, 0.19 m de ancho y 0.60 m de profundidad; y el segundo con dimensiones 0.81 m de largo, 0.27 m de ancho y 0.60 m de profundidad; el material de construcción fue vidrio reforzado y la vegetación empleada fue la especie alocaasia macrorrhizos (oreja de elefante) obtenida del canal de regadío Huanca.

Posteriormente, se construyeron ocho (8) sistemas Tohá o lombrifiltros con dimensiones 0.25 m de largo, 0.20 m de ancho y 0.30 m de profundidad; el material de construcción fue vidrio reforzado. Cada lombrifiltro contó con cuatro lechos filtrantes, para lo cual, el primer lecho (superficie) en todas las fuentes de lombrifiltro se tuvo una constante 150 lombrices mezcladas con compost considerando una altura de 5 cm; para el segundo lecho se consideró un intercalado en cada lombrifiltro de 5 cm y 10 cm de aserrín; en el tercer lecho consideramos 5 cm de grava de 4 mm aproximadamente, finalmente, para el cuarto lecho se consideró 5 cm de grava de 7 mm aproximadamente.



Figura 3. Construcción del prototipo acoplado Wetland y Tohá.

2. Fase de campo

i. Recolección de agua residual (punto de vertimiento).

El agua residual a tratar proviene de la zona urbana del distrito de San Luis, provincia de Cañete cuya descarga es vertida al canal de regadío Huanca. Se procedió a realizar la recolección de un volumen de 120 litros de agua residual cruda cada dos días para su traslado al área donde se implementó el prototipo acoplado y se realizaron los ensayos.



Figura 4. Recolección de agua residual inicial del punto de vertimiento.

ii. Aplicación del acoplado Wetland y Tohá.

El funcionamiento del acoplado Wetland y Tohá se desarrolla mediante el siguiente procedimiento:

El agua residual cruda recolectada (afluente) ingresa al sistema desde un tanque de almacenamiento hacia dos Wetland o humedales artificiales con un caudal de 25 L/día, con un tiempo de retención hidráulica de 24 horas y 48 horas para cada humedal. Mediante conductos de tuberías pvc el agua es distribuida toda el área de los wetlands, donde quedan atrapados los sólidos orgánicos e inorgánicos, y los contaminantes son absorbidos por las raíces de las plantas, asimismo, hay adhesión de los contaminantes a las gravas de diferentes dimensiones. Posterior a este proceso, el efluente es conducido por tuberías pvc a ocho (8) Tohá o lombrifiltros, con una tasa de riego definida para cada Tohá, así como también por los lechos con diferentes dimensiones que a estas la conforman, donde, las lombrices (*Eisenia foetida*) degradaron la materia orgánica más finas y contaminantes, y, por efecto de gravedad ser conducido a los demás lechos filtrantes. Finalmente, el efluente que sale de cada Tohá es conducido a un recipiente.

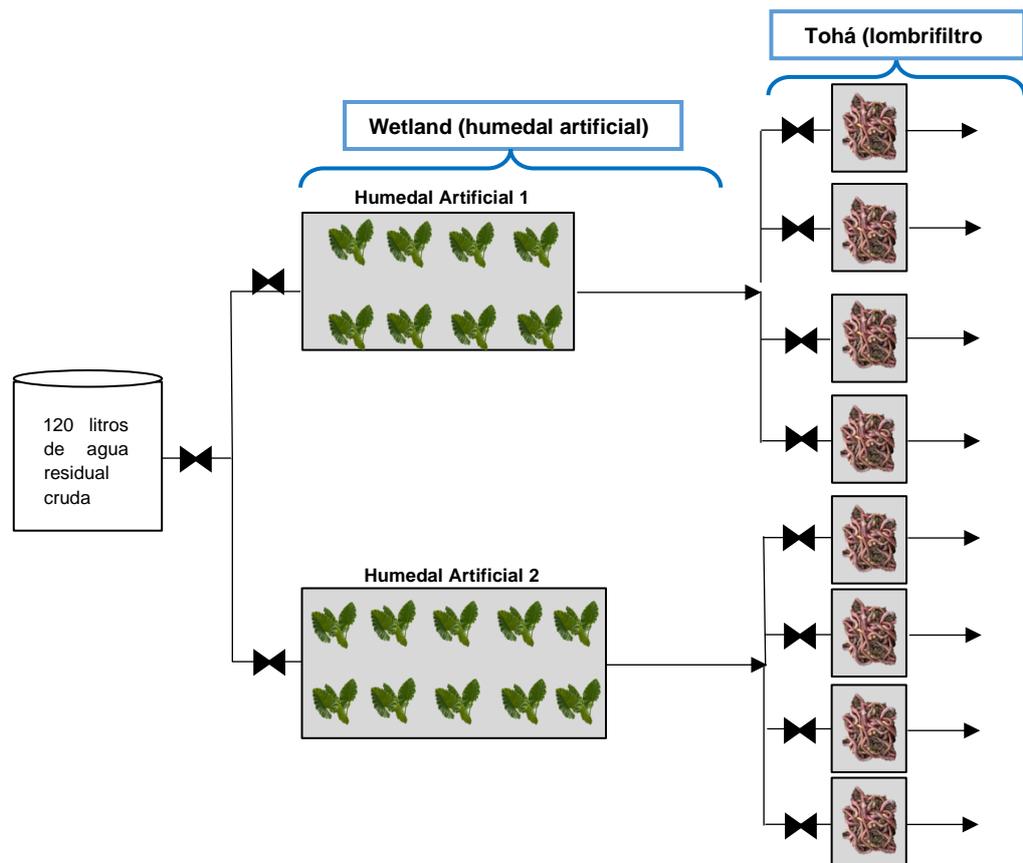


Figura 5. Esquema del prototipo acoplado Wetland y Tohá

iii. Recolección de muestras del pre y post tratamiento.

Luego de culminar la fase de tratamiento del agua residual, se procedió a realizar la recolección de las muestras del afluente y los efluentes obtenidos. El muestreo se realizó en base al Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales aprobado por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Para ello se prepararon los envases de toma de muestra, entregados por un laboratorio acreditado ante el INACAL, para los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Coliformes Termotolerantes, los cuales, posterior al muestro fueron enviados para los análisis respectivos. Asimismo, durante el muestreo in situ se realizó la medición de los valores de pH y Temperatura mediante el uso de un equipo pH-metro calibrado.

Los materiales y equipos empleados durante la fase experimental y analítico son los siguientes:

- Envase de PVC de 1 Litro color blanco para la toma de muestra de DBO₅.
- Envase de PVC de 100 ml color blanco para la toma de muestra de DQO.
- Envase de PVC de 250 ml color blanco para la toma de muestra de Coliformes Termotolerantes.
- Reactivo (H₂SO₄ para preservación de muestra de agua residual).
- Cooler grande.
- Ice pack.
- Guantes de nitrilo.
- Rotulador.
- Medidor de pH (Marca YSI, Modelo: Ph100A).



Figura 6. Muestreo de agua residual en el afluente y efluentes

iv. Llenado de la cadena de custodia de agua.

En esta etapa se realizó el llenado de datos y detalle de los parámetros muestreados en la Ficha de Cadena de Custodia, la cual fue remitida junto con las muestras al laboratorio acreditado.

3. Fase de laboratorio

i. Análisis de muestras de agua.

Las muestras recolectadas fueron recibidas por el laboratorio acreditado, y siguiendo el protocolo establecido realizaron los análisis para la determinación de los parámetros de DBO_5 , DQO y Coliformes Termotolerantes de la muestra del afluente y de los efluentes.

Los métodos utilizados para las mediciones en laboratorio para el análisis de las muestras remitidas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6. Métodos de análisis para los contaminantes del agua residual

Parámetro	Método de Ensayo	Unidad de medida
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₆)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. 2022	mg/L
Coliformes Termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 24th Ed. 2022	NMP/100 ml

Nota: SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

4. Fase de gabinete

- i. Llenado de fichas de resultados de monitoreo.
- ii. Procesamiento e interpretación de los resultados obtenidos.
- iii. Discusión de los resultados.

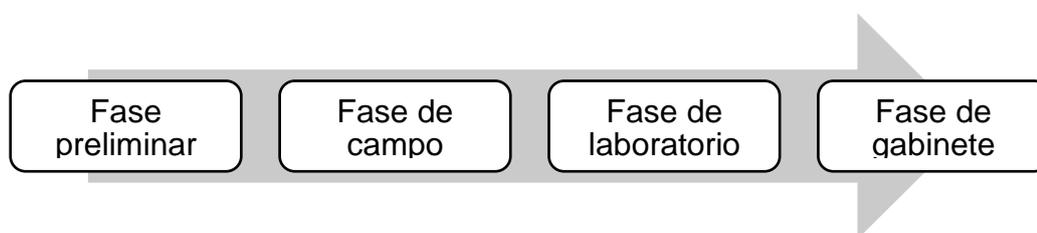


Figura 7. Diagrama de flujo del diseño del plan experimental.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Ñaupas et al. (2018), menciona que la población es el conjunto de factores que constituyen la unidad de la investigación.

La población de la presente investigación correspondió a 50 Litros/día de agua residual provenientes de la zona urbana del distrito de San Luis,

provincia de Cañete, las cuales fueron tomadas del punto de vertimiento al canal de regadío Huanca.

4.3.2. Muestra

La muestra correspondió a 2.5 litros de afluente (ingreso del acoplamiento), y 2.5 litros corresponden al efluente (en cada salida del acoplamiento). Ello, según a lo establecido en la Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA, que aprueba el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

Tabla 7. Requisitos para la toma de muestra de agua residual

Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de muestra
Coliformes Termotolerantes	V	250 ml
Demanda Bioquímica de Oxígeno	P, V	1000 ml
Demanda Química de Oxígeno	P, V	100 ml
pH		50 ml
Temperatura	P, V	1000 ml

Nota: V: vidrio; P: plástico. Adaptado de la Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA, 2013, p. 20, Anexo N° III.

El muestreo fue de tipo no probabilístico, en el cual interviene el criterio del investigador para la selección de las unidades muestrales, según lo indicado por Ñaupas et al. (2018).

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

4.4.1. Lugar de estudio

La zona de estudio se ubica en el kilómetro 138 de la antigua carretera Panamericana Sur, en el sector urbano del distrito de San Luis, Cañete, en coordenadas UTM: 344712 E y 8555997 N.



Figura 8. Ubicación del lugar de estudio. Tomada del explorador «Google Earth Pro», 2023.

4.4.2. Periodo desarrollado

La presente investigación se desarrolló durante el mes de abril hasta mayo del 2023, conforme a los descrito en la siguiente tabla:

Tabla 8. Programa de ejecución experimental de la investigación

Actividad	Descripción	Periodo
Construcción de prototipo	Para el proceso de construcción del sistema acoplado Tohá y Wetlands se analizó y recolectó información bibliográfica contenida en artículos científicos, revistas indexadas y tesis.	Semana 1

Adecuación y aclimatación de especies a utilizar	Este proceso es importante porque se debe mantener el lecho filtrante en condiciones adecuadas para lograr la aclimatación de la población de lombrices (<i>Eisenia Foetida</i>) y plantas macrófitas (<i>alocasia macrorrhizos</i>)	Semana 1
Toma de muestras	La toma de muestras de agua residual en el punto de vertimiento del canal es progresiva.	Semana 2 hasta Semana 4
Proceso de investigación y manipulación de variables.	La manipulación de los indicadores se realizó en función a la variable independiente.	Semana 2 hasta Semana 4
Muestreo y análisis en laboratorio	La recolección de muestras se dio de acuerdo al Protocolo de monitoreo establecido en la normativa vigente, para el posterior análisis de los parámetros establecidos.	Semana 3 hasta Semana 4
Procesamiento de datos	El procesamiento de datos se dio usando el programa MINITAB Ver. 21 para su posterior discusión.	Semana 5

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1. Técnica

La técnica empleada en la presente investigación fue de análisis documental y observación experimental, que consiste en el registro confiable y sistemático de la data a través de un conjunto de procedimientos que derivan del problema de estudio, según Hernández, Fernández y Baptista (2014).

4.5.2. Instrumentos

Dentro de los instrumentos de recolección de datos, se empleó los siguientes:

- Guías de registro y diseño del acoplamiento.
- Ficha de registro de cadena de custodia.
- Informe de ensayo de caracterización del agua residual.

- Ficha de reporte de resultados de monitoreo.

Cabe señalar que, la cadena de custodia fue validada por el laboratorio acreditado por INACAL (Instituto Nacional de Calidad), a través de un especialista; asimismo, de acuerdo con la R.M. N° 273-2013-VIVIENDA, los laboratorios acreditados pueden utilizar su propia cadena de custodia, quienes finalmente presentarán un informe de ensayo de los valores obtenidos por parámetro analizado, las cuales posteriormente serán presentadas mediante la ficha de reporte de resultados del monitoreo, validada por la estructura establecida en la R.M. N° 273-2013-VIVIENDA.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Las fichas recolectadas fueron introducidas y analizadas utilizando el software estadístico MINITAB Ver. 21 – Editor de datos; asimismo se realizó el análisis descriptivo comparativo a fin de apreciar las diferencias entre los resultados de las características de las aguas residuales mediante el uso de gráficos de barras.

De la misma manera, el estadístico para el contraste de la hipótesis experimental que se manejó fue el Análisis de Varianza – ANOVA, para comparar la eliminación de los contaminantes físico, químicos y biológico de las aguas residuales antes y después de la implementación del acoplado Wetland y Tohá.

Asimismo, se empleó la fórmula líneas abajo para analizar la eficiencia del acoplado Wetland y Tohá; respecto a las características físicas, químicas y biológica de las aguas residuales.

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{(\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final})}{(\text{Concentración inicial})} * 100$$

Finalmente, para determinar el nivel de eficiencia del acoplamiento, se analizaron e interpretaron los resultados obtenidos aplicando como criterio la

evaluación del porcentaje de eficiencia promedio de cada parámetro evaluado, y teniendo como referencia lo determinado por Loro (2018) se realizó la siguiente clasificación: Se considera Muy baja un rango de 0% a 25%, baja con un rango de 26% a 50%, media con un rango de 51% a 75% y alta con un rango de 76% a 100%.

Para el diseño experimental se optó por un diseño factorial 2x3, debido a que se usó una cantidad constante de especies en cada sistema. Los indicadores que se manipularon se detallan a continuación, de acuerdo al diseño propuesto:

Tabla 9. Matriz de arreglo experimental con diseño factorial

Altura Aserrín (cm)	TRH (horas)	
	24 Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	48 Tasa de riego (m ³ /m ² /día)
5	0.5	1
10	0.5	1

4.7. Aspectos éticos en investigación

En la presente investigación se aplicó un estilo de redacción basado en la norma ISO 690, la cual define la estructura de citas con autoría. En ese sentido, se cumplió con el reconocimiento de las fuentes o referencias bibliográficas sin generar omisión en ningún tipo.

La investigación contiene información con reconocimiento de fuentes y referencias de los autores, aportes científicos y técnicos debidamente citados, sin vulnerar el carácter genuino o la patente intelectual.

Cabe señalar que, el desarrollo de la presente investigación no vulnera o genera riesgos ambientales, dando cumplimiento de esta manera a la Ley N° 28611 “Ley General del Ambiente”.

Asimismo, se dio cumplimiento a la estructura establecida en la Directiva N° 004-2022-R “Directiva para la Elaboración de Proyecto e Informe Final de Investigación de Pregrado, Posgrado, Equipos, Centros e Institutos de Investigación de la Universidad Nacional del Callao”, aprobada mediante Resolución Rectoral N° 319-2022-R.

V. RESULTADOS

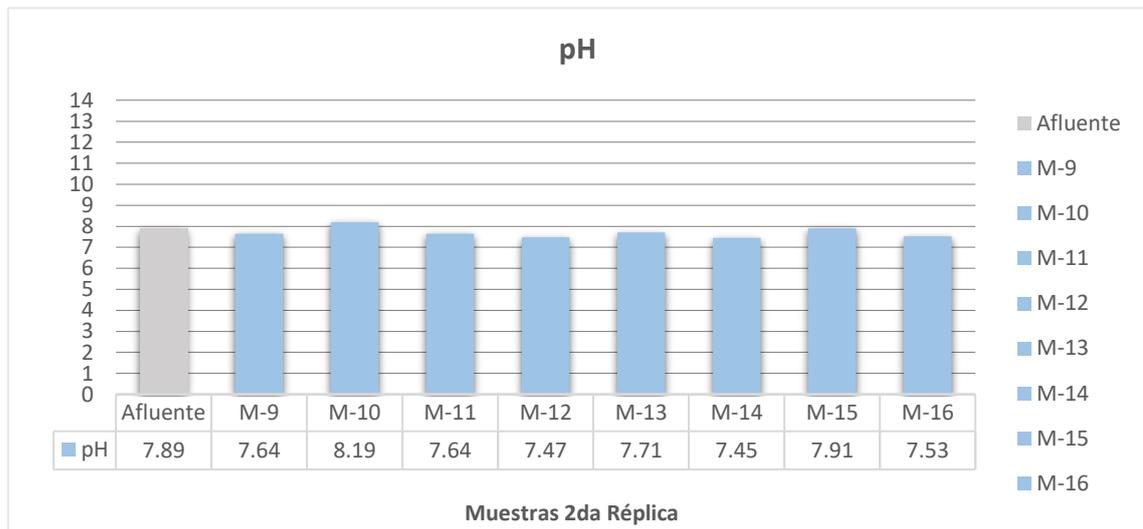
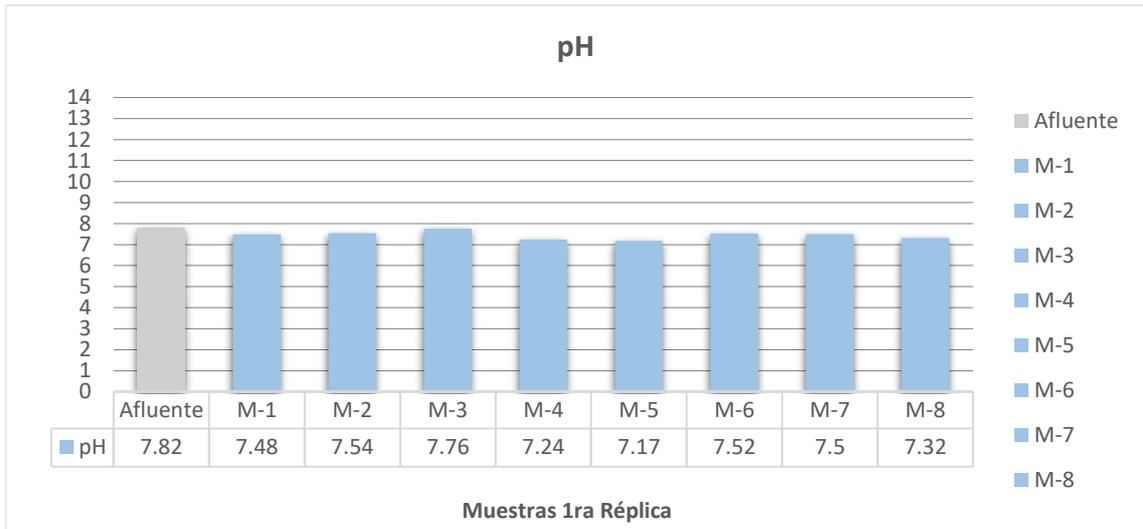
En las tablas 10, 11, 12, 13 y 14, se presentan dieciséis muestras con ocho ensayos realizados en dos réplicas con periodos distintos para la interacción de los indicadores: Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 y 10 cm) y Tasa de riego (0.5 – 1 m³/m²/día), obteniendo los resultados para los parámetros de pH, Temperatura, DBO₅, DQO y Coliformes termotolerantes respectivamente. Asimismo, se presentan los valores obtenidos que resultan de la medición in situ y análisis de laboratorio en el afluente (sin tratamiento) y en los efluentes (con tratamiento) del acoplamiento Wetland y Tohá.

Tabla 10. Resultados experimentales del pH respecto a la interacción con los indicadores propuestos

Muestra	Ensayo	TRH (horas)	Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	pH-sT	pH-T
1	1	24	5	0.5	7.82	7.48
2				1		7.54
3	2	48	5	0.5		7.76
4				1		7.24
5	3	24	10	0.5		7.17
6				1		7.52
7	4	48	10	0.5		7.50
8				1		7.32
9	5	24	5	0.5	7.64	
10				1	8.19	
11	6	48	5	0.5	7.64	
12				1	7.47	
13	7	24	10	0.5	7.89	7.71
14				1		7.45
15	8	48	10	0.5	7.91	
16				1	7.53	

Nota: pH-sT: pH sin tratamiento. pH-T: pH con tratamiento.

Gráfico 1. Resultados de variación del pH



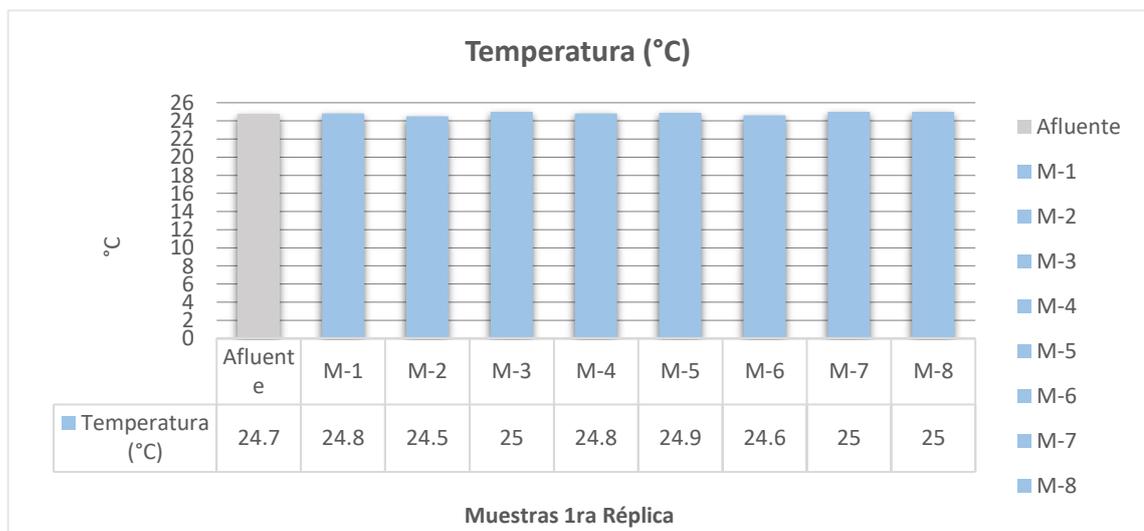
El Gráfico 1 muestra el comportamiento del parámetro pH en relación al ingreso (afluente) y salidas del acoplamiento Wetland y Tohá.

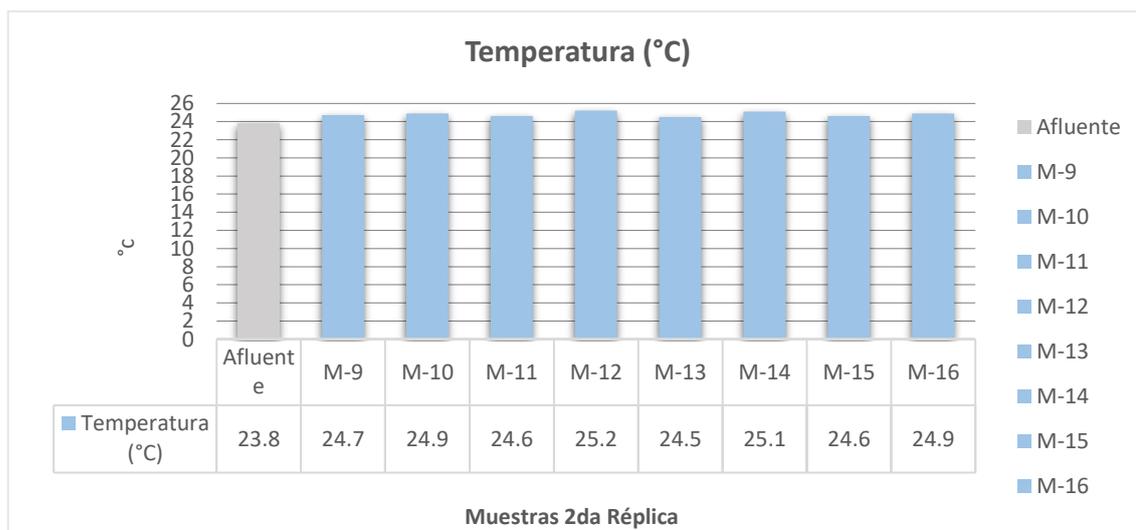
Tabla 11. Resultados experimentales de Temperatura respecto a la interacción con los indicadores propuestos

Muestra	Ensayo	TRH (horas)	Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	T°-sT (°C)	T°-T (°C)	
1	1	24	5	0.5	24.70	24.80	
2				1		24.50	
3				0.5		25.00	
4	2	48	5	1		24.80	
5				0.5		24.90	
6				1		24.60	
7	3	24	10	0.5		25.00	
8				1		25.00	
9				0.5		24.70	
10	4	48	10	1		24.90	
11				0.5		24.60	
12				1		25.20	
13	5	24	5	0.5		23.80	24.50
14				1			25.10
15				0.5			24.60
16	6	48	5	1			25.20
13				0.5	24.50		
14				1	25.10		
15	7	24	10	0.5	24.60		
16				1	24.90		
1				0.5	24.80		
2	8	48	10	1	24.90		
3				0.5	25.00		
4				1	25.00		

Nota: T°-sT: Temperatura sin tratamiento. T°-T: Temperatura con tratamiento.

Gráfico 2. Resultados de variación de la Temperatura





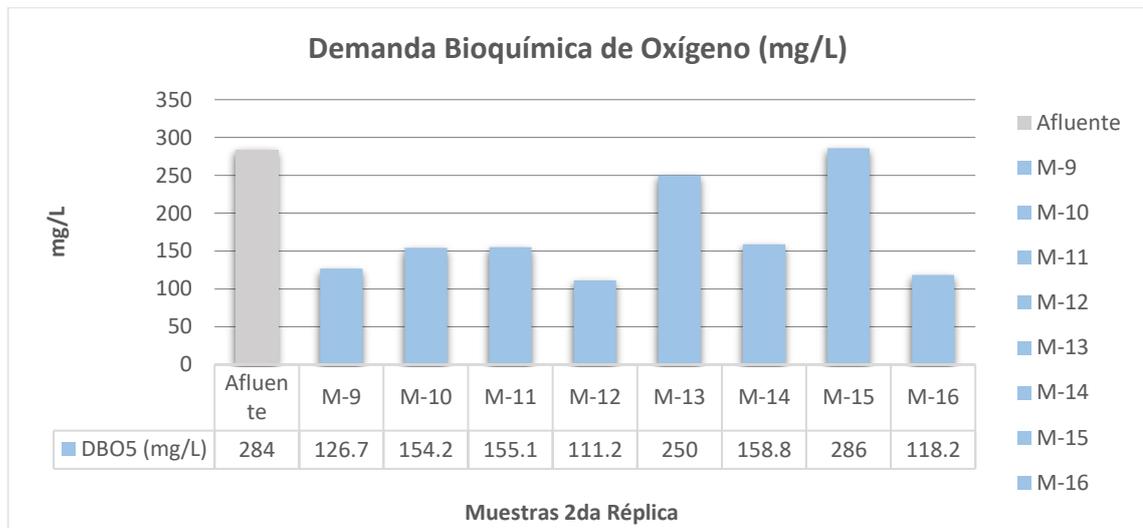
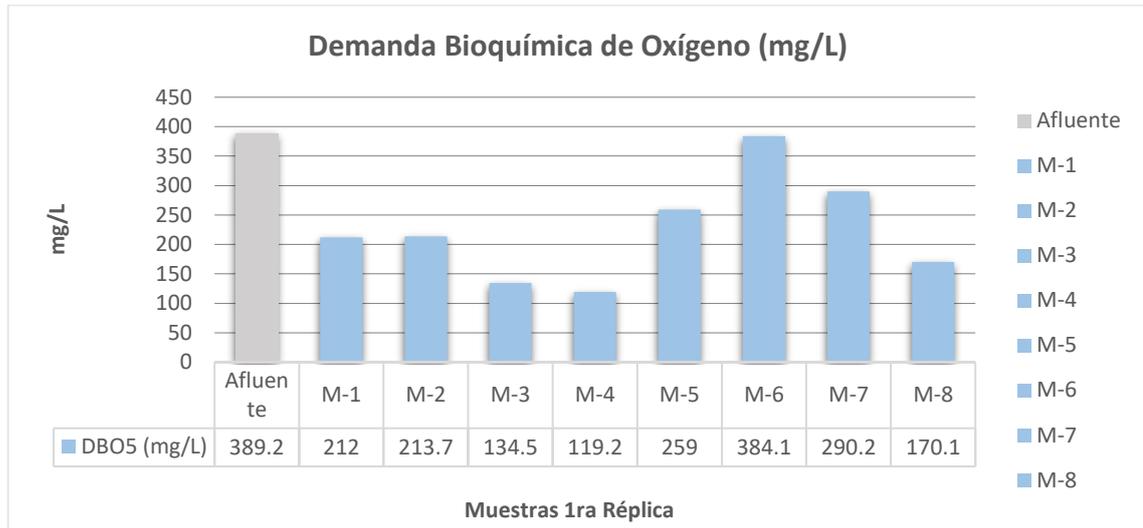
El Gráfico 2 muestra el comportamiento del parámetro de temperatura en relación al ingreso (afluente) y salidas del acoplamiento Wetland y Tohá.

Tabla 12. Resultados experimentales de la Demanda Bioquímica de Oxígeno respecto a la interacción con los indicadores propuestos

Muestra	Ensayo	TRH (horas)	Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	DBO ₅ -sT (mg/L)	DBO ₅ -T (mg/L)
1	1	24	5	0.5	389.2	212.0
2				1		213.7
3	2	48	5	0.5		134.5
4				1		119.2
5	3	24	10	0.5		259.0
6				1		384.1
7	4	48	10	0.5		290.2
8				1		170.1
9	5	24	5	0.5		126.7
10				1		154.2
11	6	48	5	0.5		155.1
12				1		284.0
13	7	24	10	0.5		250.0
14				1		158.8
15	8	48	10	0.5		286.0

Nota: DBO₅-sT: Demanda Bioquímica de Oxígeno sin tratamiento. DBO₅-T: Demanda Bioquímica de Oxígeno con tratamiento.

Gráfico 3. Resultados de variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno



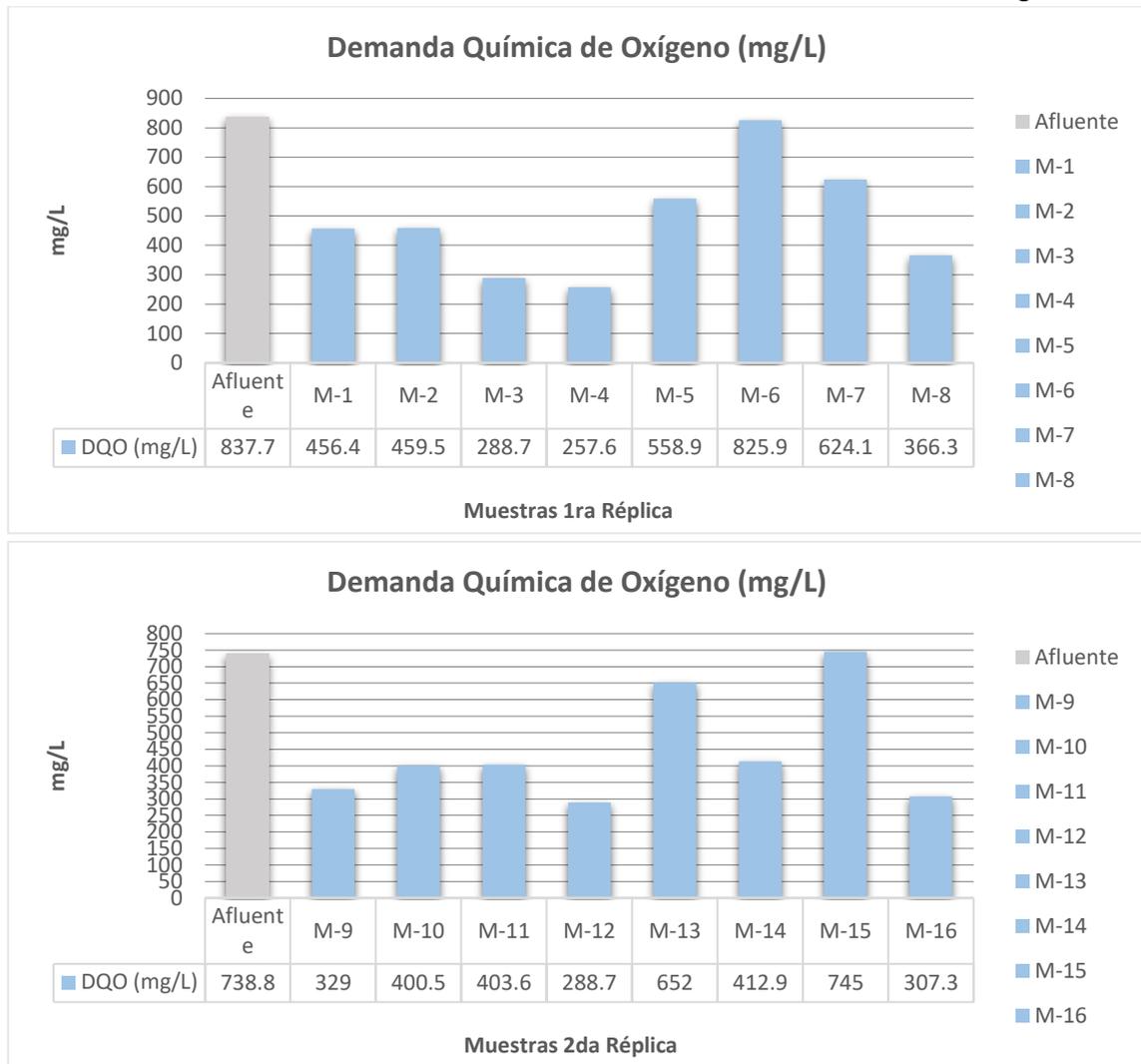
El Gráfico 3 muestra el comportamiento del parámetro de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en relación al ingreso (afluente) y salidas del acoplamiento Wetland y Tohá.

Tabla 13. Resultados experimentales de la Demanda Química de Oxígeno respecto a la interacción con los indicadores propuestos

Muestra	Ensayo	TRH (horas)	Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	DQO-sT (mg/L)	DQO-T (mg/L)	
1	1	24	5	0.5	837.7	456.4	
2				1		459.5	
3	2	48	5	0.5		288.7	
4				1		257.6	
5	3	24	10	0.5		558.9	
6				1		825.9	
7	4	48	10	0.5		624.1	
8				1		366.3	
9	5	24	5	0.5		329.0	
10				1		400.5	
11	6	48	5	0.5		403.6	
12				1		288.7	
13	7	24	10	0.5		738.8	652.0
14				1		412.9	
15	8	48	10	0.5		745.0	
16				1		307.3	

Nota: DQO-sT: Demanda Química de Oxígeno sin tratamiento. DQO-T: Demanda Química de Oxígeno con tratamiento.

Gráfico 4. Resultados de variación de la Demanda Química de Oxígeno



El Gráfico 4 muestra el comportamiento del parámetro de Demanda Química de Oxígeno en relación al ingreso (afluyente) y salidas del acoplamiento Wetland y Tohá.

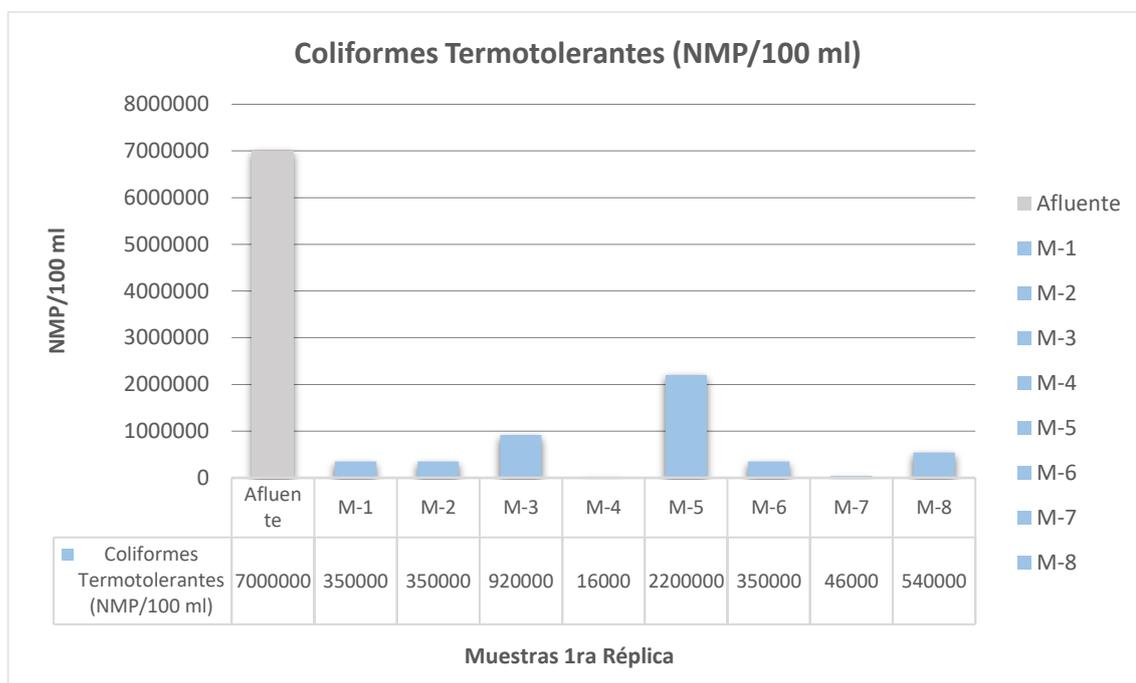
Tabla 14. Resultados experimentales de Coliformes Termotolerantes respecto a la interacción con los indicadores propuestos

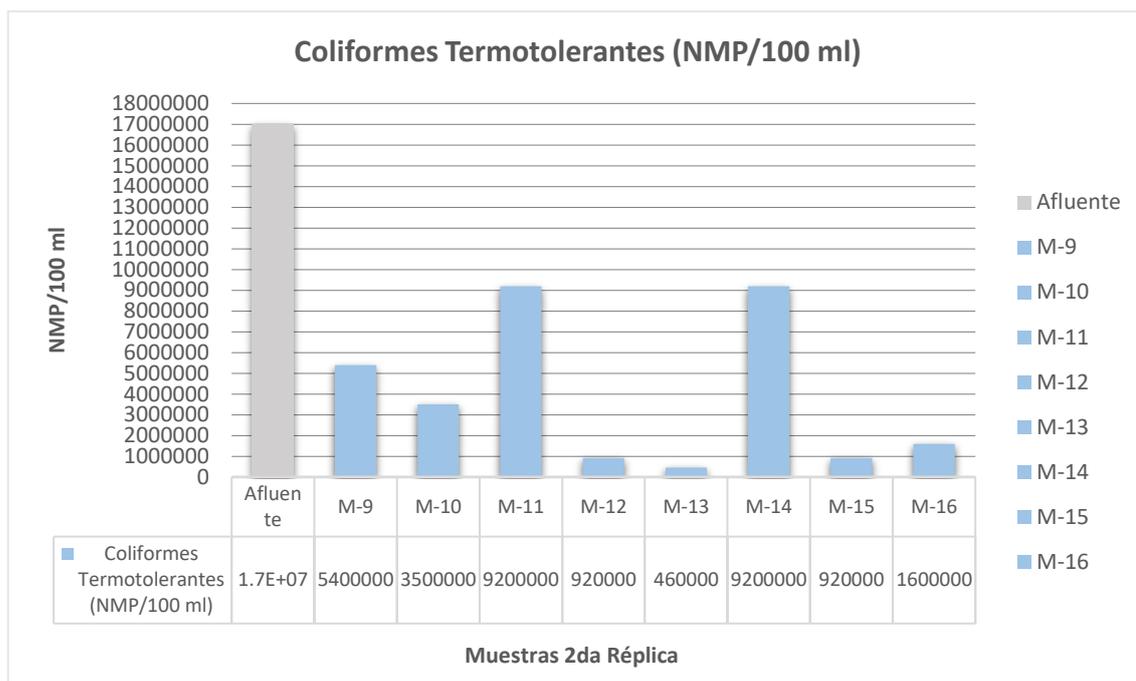
Muestra	Ensayo	TRH (horas)	Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	Coliformes-sT (NMP/100ml)	Coliformes-T (NMP/100ml)
1	1	24	5	0.5	700000	350000
2	1	24	5	1	700000	350000

3				0.5		920000
4	2	48	5	1		16000
5				0.5		2200000
6	3	24	10	1		350000
7				0.5		46000
8	4	48	10	1		540000
9				0.5		5400000
10	5	24	5	1		3500000
11				0.5		9200000
12	6	48	5	1		920000
13				0.5	17000000	460000
14	7	24	10	1		9200000
15				0.5		920000
16	8	48	10	1		1600000

Nota: Coliformes-sT: Coliformes Termotolerantes sin tratamiento. Coliformes -T: Coliformes Termotolerantes con tratamiento.

Gráfico 5. Resultados de variación de la Coliformes Termotolerantes





El Gráfico 5 muestra el comportamiento del parámetro de Coliformes Termotolerantes con relación al ingreso (afluente) y salidas del acoplamiento Wetland y Tohá.

5.1. Resultados descriptivos

A continuación, se muestran los resultados del porcentaje de remoción de DBO₅, DQO y Coliformes Termotolerantes del agua residual doméstica, obtenidos a partir del cálculo matemático propuesto en la metodología. Respecto al pH y temperatura, se muestra el porcentaje de variación, ya que estas dos características se consideraron como parámetros que permiten monitorear el agua residual, mas no como contaminantes.

5.1.1. Resultados del porcentaje de remoción de DBO₅

a) En las tablas 15 y 16, se muestra la interacción de los indicadores Altura de Aserrín (5 y 10 cm), Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas) y Tasa de riego (0.5 m³/m²/día) del acoplamiento Wetland y Tohá, respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), indicando los porcentajes de remoción de las muestras indicadas.

Tabla 15. Resultados del porcentaje de remoción de DBO5 con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (0.5 m3/m2/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m3/m2/día)	DBO5 – sT* (mg/l)	DBO5 – T* (mg/l)	% remoción
1	24	5	0.5	389.2	212.0	46%
3	48	5	0.5	389.2	134.5	65%
9	24	5	0.5	284.0	126.7	55%
11	48	5	0.5	284.0	155.1	45%

Nota: TRH: Tiempo de Retención Hidráulica. DBO5-sT: Demanda Bioquímica de Oxígeno sin tratamiento. DBO5 -T: Demanda Bioquímica de Oxígeno con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

Tabla 16. Resultados del porcentaje de remoción de DBO5 con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (0.5 m3/m2/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m3/m2/día)	DBO5 – sT (mg/l)	DBO5 – T (mg/l)	% remoción
5	24	10	0.5	389.2	259.0	33%
7	48	10	0.5	389.2	290.2	25%
13	24	10	0.5	284.0	250.0	12%
15	48	10	0.5	284.0	286.0	-0.7%

Nota: TRH: Tiempo de Retención Hidráulica. DBO5-sT: Demanda Bioquímica de Oxígeno sin tratamiento. DBO5 -T: Demanda Bioquímica de Oxígeno con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

De las tablas presentadas, en la tabla 15 se observa que con un Tiempo de Retención Hidráulica de 48 horas, una Tasa de riego de 0.5 m3/m2/día y una Altura de Aserrín de 5 cm, presenta una mejor interacción, alcanzando un porcentaje de remoción máximo de 65% de DBO5.

- b) En las tablas 17 y 18, se muestra la interacción de los indicadores: Altura de Aserrín (5 y 10 cm), Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas) y

Tasa de riego (1 m³/m²/día) del acoplamiento Wetland y Tohá, respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), señalando los porcentajes de remoción de las muestras indicadas.

Tabla 17. Resultados del porcentaje de remoción de DBO₅ con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (1 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	DBO ₅ – sT (mg/l)	DBO ₅ – T (mg/l)	% remoción
2	24	5	1	389.2	213.7	45%
4	48	5	1	389.2	119.2	69%
10	24	5	1	284.0	154.2	46%
12	48	5	1	284.0	111.2	61%

Nota: TRH: Tiempo de Retención Hidráulica. DBO₅-sT: Demanda Bioquímica de Oxígeno sin tratamiento. DBO₅ -T: Demanda Bioquímica de Oxígeno con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

Tabla 18. Resultados del porcentaje de remoción de DBO₅ con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (1 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	DBO ₅ – sT (mg/l)	DBO ₅ – T (mg/l)	% remoción
6	24	10	1	389.2	384.1	1%
8	48	10	1	389.2	170.1	56%
14	24	10	1	284.0	158.8	44%
16	48	10	1	284.0	118.2	58%

Nota: TRH: Tiempo de Retención Hidráulica. DBO₅-sT: Demanda Bioquímica de Oxígeno sin tratamiento. DBO₅-T: Demanda Bioquímica de Oxígeno con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

De las tablas presentadas, en la tabla 17 se observa que con un Tiempo de Retención Hidráulica de 48 horas, una Tasa de riego de 1 m³/m²/día y

una Altura de Aserrín de 5 cm, presenta una mejor interacción, alcanzando un porcentaje de remoción máximo de 69% de DBO₅.

5.1.2. Resultados del porcentaje de remoción de DQO

- a) En las tablas 19 y 20, se muestra la interacción de los indicadores: Altura de Aserrín (5 y 10 cm), Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas) y Tasa de riego (0.5 m³/m²/día) del acoplamiento Wetland y Tohá, respecto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), señalando los porcentajes de remoción de las muestras indicadas.

Tabla 19. Resultados del porcentaje de remoción de DQO con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (0.5 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	DQO- sT (mg/l)	DQO – T (mg/l)	% remoción
1	24	5	0.5	837.7	456.4	46%
3	48	5	0.5	837.7	288.7	66%
9	24	5	0.5	738.8	329.0	55%
11	48	5	0.5	738.8	403.6	45%

Nota: TRH: Tiempo de Retención Hidráulica. DQO-sT: Demanda Química de Oxígeno sin tratamiento. DQO-T: Demanda Química de Oxígeno con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

Tabla 20. Resultados del porcentaje de remoción de DQO con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (0.5 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	DQO- sT (mg/l)	DQO – T (mg/l)	% remoción
5	24	10	0.5	837.7	558.9	33%
7	48	10	0.5	837.7	624.1	25%
13	24	10	0.5	738.8	652.0	12%
15	48	10	0.5	738.8	745.0	-0.8%

Nota: TRH: Tiempo de Retención Hidráulica. DQO-sT: Demanda Química de Oxígeno sin tratamiento. DQO-T: Demanda Química de Oxígeno con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

De las tablas presentadas, en la tabla 19 se observa que con un Tiempo de Retención Hidráulica de 48 horas, una Tasa de riego de 0.5 m³/m²/día y una Altura de Aserrín de 5 cm, presenta una mejor interacción, alcanzando un porcentaje de remoción máximo de 66% de DQO.

- b) En las tablas 21 y 22, se muestra la interacción de los indicadores: Altura de Aserrín (5 y 10 cm), Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas) y Tasa de riego (1 m³/m²/día) del acoplamiento Wetland y Tohá, respecto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), señalando los porcentajes de remoción de las muestras indicadas.

Tabla 21. Resultados del porcentaje de remoción de DQO con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (1 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	DQO- sT* (mg/l)	DQO – T* (mg/l)	% remoción
2	24	5	1	837.7	459.5	45%
4	48	5	1	837.7	257.6	69%
10	24	5	1	738.8	400.5	46%
12	48	5	1	738.8	288.7	61%

Nota: TRH: Tiempo de Retención Hidráulica. DQO-sT: Demanda Química de Oxígeno sin tratamiento. DQO-T: Demanda Química de Oxígeno con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

Tabla 22. Resultados del porcentaje de remoción de DQO con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (1 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	DQO- sT* (mg/l)	DQO – T* (mg/l)	% remoción
6	24	10	1	837.7	825.9	1%
8	48	10	1	837.7	366.3	56%
14	24	10	1	738.8	412.9	44%
16	48	10	1	738.8	307.3	58%

Nota: TRH: Tiempo de Retención Hidráulica. DQO-sT: Demanda Química de Oxígeno sin tratamiento. DQO-T: Demanda Química de Oxígeno con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

De las tablas presentadas, en la tabla 21 se observa que con un Tiempo de Retención Hidráulica de 48 horas, una Tasa de riego de 1 m³/m²/día y una Altura de Aserrín de 5 cm, presenta una mejor interacción, alcanzando un porcentaje de remoción máximo de 69% de DQO.

5.1.3. Resultados del porcentaje de remoción de Coliformes termotolerantes

- a) En las tablas 23 y 24, se muestra la interacción de los indicadores: Altura de Aserrín (5 y 10 cm), Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas) y Tasa de riego (0.5 m³/m²/día) del acoplamiento Wetland y Tohá, respecto a los Coliformes Termotolerantes, señalando los porcentajes de remoción de las muestras indicadas.

Tabla 23. Resultados del porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (0.5 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	Coliformes Termotolerantes – sT (NMP/100 ml)	Coliformes Termotolerantes – T (NMP/100 ml)	% remoción
1	24	5	0.5	7000000	350000	95%
3	48	5	0.5	7000000	920000	87%
9	24	5	0.5	17000000	5400000	68%
11	48	5	0.5	17000000	9200000	46%

Nota: TRH: Tiempo de Retención Hidráulica. Coliformes Termotolerantes – sT: Coliformes Termotolerantes sin tratamiento. Coliformes Termotolerantes – T: Coliformes Termotolerantes con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

Tabla 24. Resultados del porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (0.5 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	Coliformes Termotolerantes – sT (NMP/100 MI)	Coliformes Termotolerantes – T (NMP/100 MI)	% remoción
5	24	10	0.5	7000000	2200000	69%
7	48	10	0.5	7000000	46000	99%
13	24	10	0.5	17000000	460000	97%
15	48	10	0.5	17000000	920000	95%

Nota: TRH: Tiempo de Retención Hidráulica. Coliformes Termotolerantes – sT: Coliformes Termotolerantes sin tratamiento. Coliformes Termotolerantes – T: Coliformes Termotolerantes con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

De las tablas presentadas, en la tabla 24 se observa que con un Tiempo de Retención Hidráulica de 48 horas, una Tasa de riego de 0.5 m³/m²/día y una Altura de Aserrín de 10, presenta una mejor interacción, alcanzando un porcentaje de remoción máximo de 99% de Coliformes Termotolerantes.

- b) En las tablas 25 y 26, se muestra la interacción de los indicadores: Altura de Aserrín (5 y 10 cm), Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas) y Tasa de riego (1 m³/m²/día) del acoplamiento Wetland y Tohá, respecto a los Coliformes Termotolerantes, señalando los porcentajes de remoción de las muestras indicadas.

Tabla 25. Resultados del porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (1 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	Coliformes Termotolerantes – sT* (NMP/100 MI)	Coliformes Termotolerantes – T* (NMP/100 MI)	% remoción
2	24	5	1	7000000	350000	95%
4	48	5	1	7000000	16000	99.8%
10	24	5	1	17000000	3500000	79%
12	48	5	1	17000000	920000	95%

Nota: TRH: Tiempo de Retención Hidráulica. Coliformes Termotolerantes – sT: Coliformes Termotolerantes sin tratamiento. Coliformes Termotolerantes – T: Coliformes Termotolerantes con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

Tabla 26. Resultados del porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (1 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	Coliformes Termotolerantes – sT (NMP/100 MI)	Coliformes Termotolerantes – T (NMP/100 MI)	% remoción
6	24	10	1	7000000	350000	95%
8	48	10	1	7000000	540000	92%
14	24	10	1	17000000	9200000	46%
16	48	10	1	17000000	1600000	91%

Nota: TRH: Tiempo de Retención Hidráulica. Coliformes Termotolerantes – sT: Coliformes Termotolerantes sin tratamiento. Coliformes Termotolerantes – T: Coliformes Termotolerantes con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

De las tablas presentadas, en la tabla 25 se observa que con un Tiempo de Retención Hidráulica de 48 horas, una Tasa de riego de 1 m³/m²/día y una Altura de Aserrín de 5 cm, presenta una mejor interacción, alcanzando un porcentaje de remoción máximo de 99.8% de Coliformes Termotolerantes.

5.1.4. Resultados del porcentaje de variación del pH

- En las tablas 27 y 28, se muestra la interacción de los indicadores Altura de Aserrín (5 y 10 cm), Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas) y

Tasa de riego (0.5 m³/m²/día) del acoplamiento Wetland y Tohá, respecto al pH, señalando los porcentajes de variación de las muestras indicadas.

Tabla 27. Resultados del porcentaje de variación de pH con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (0.5 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	pH-sT	pH-T	% variación
1	24	5	0.5	8.32	7.48	10%
3	48	5	0.5	8.32	7.76	7%
9	24	5	0.5	7.89	7.64	3%
11	48	5	0.5	7.89	7.64	3%

Nota: TRH: Tiempo de retención hidráulica. pH-sT: pH sin tratamiento. pH-T: pH con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

Tabla 28. Resultados del porcentaje de variación de pH con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (0.5 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	pH- sT	pH- T	% variación
5	24	10	0.5	8.32	7.17	14%
7	48	10	0.5	8.32	7.5	10%
13	24	10	0.5	7.89	7.71	2%
15	48	10	0.5	7.89	7.91	-0.3%

Nota: TRH: Tiempo de retención hidráulica. pH-sT: pH sin tratamiento. pH-T: pH con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

De las tablas presentadas, en la tabla 28 se observa que con un Tiempo de Retención Hidráulica de 24 horas, una Tasa de riego de 0.5 m³/m²/día y una Altura de Aserrín de 10 cm, presenta un valor más cercano a la neutralidad (pH estable de 7), alcanzando un valor de 7.17.

- b) En las tablas 29 y 30, se muestra la interacción de los indicadores Altura de Aserrín (5 y 10 cm), Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas) y

Tasa de riego (1 m³/m²/día) del acoplamiento Wetland y Tohá, respecto al pH, señalando los porcentajes de variación de las muestras indicadas.

Tabla 29. Resultados del porcentaje de variación de pH con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (1 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	pH- sT	pH- T	% variación
2	24	5	1	8.32	7.54	9%
4	48	5	1	8.32	7.24	13%
10	24	5	1	7.89	8.19	-4%
12	48	5	1	7.89	7.47	5%

Nota TRH: Tiempo de retención hidráulica. pH-sT: pH sin tratamiento. pH-T: pH con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

Tabla 30. Resultados del porcentaje de variación de pH con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (1 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	pH- sT	pH- T	% variación
6	24	10	1	8.32	7.52	10%
8	48	10	1	8.32	7.32	12%
14	24	10	1	7.89	7.45	6%
16	48	10	1	7.89	7.53	5%

Nota: TRH: Tiempo de retención hidráulica. pH-sT: pH sin tratamiento. pH-T: pH con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

De las tablas presentadas, en la tabla 29 se observa que con un Tiempo de Retención Hidráulica de 48 horas, una Tasa de riego de 1 m³/m²/día y una Altura de Aserrín de 5 cm, presenta un valor más cercano a la neutralidad (pH estable de 7), alcanzando un valor de 7.24.

5.1.5. Resultados del porcentaje de variación de la Temperatura (T°)

- a) En las tablas 31 y 32, se muestra la interacción de los indicadores Altura de Aserrín (5 y 10 cm), Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas) y Tasa de riego (0.5 m³/m²/día) del acoplamiento Wetland y Tohá, respecto a la Temperatura, señalando los porcentajes de variación de las muestras indicadas.

Tabla 31. Resultados del porcentaje de variación de Temperatura con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (0.5 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	T°- sT (°C)	T°- T (°C)	% variación
1	24	5	0.5	24.7	24.8	-0.4%
3	48	5	0.5	24.7	25	-1.2%
9	24	5	0.5	23.8	24.7	-3.8%
11	48	5	0.5	23.8	24.6	-3.4%

Nota: TRH: Tiempo de retención hidráulica. T°-sT*: Temperatura del agua sin tratamiento. T°-T: Temperatura del agua con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

Tabla 32. Resultados del porcentaje de variación de Temperatura con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (0.5 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	T°- sT (°C)	T°- T (°C)	% variación
5	24	10	0.5	24.7	24.9	-0.8%
7	48	10	0.5	24.7	25	-1.2%
13	24	10	0.5	23.8	24.5	-2.9%
15	48	10	0.5	23.8	24.6	-3.4%

Nota: TRH: Tiempo de retención hidráulica. T°-sT*: Temperatura del agua sin tratamiento. T°-T: Temperatura del agua con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

De las tablas presentadas, en la tabla 31 se observa que con un Tiempo de Retención Hidráulica de 24 horas, una Tasa de riego de 0.5 m³/m²/día

y una Altura de Aserrín de 5 cm, presenta una variación porcentual de Temperatura mínima de hasta 0.4%.

- b) En las tablas 33 y 34, se muestra la interacción de los indicadores Altura de Aserrín (5 y 10 cm), Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas) y Tasa de riego (1 m³/m²/día) del acoplamiento Wetland y Tohá, respecto a la Temperatura, señalando los porcentajes de variación de las muestras indicadas.

Tabla 33. Resultados del porcentaje de variación de Temperatura con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (5 cm) y Tasa de riego (1 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de Aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	T°- ST (°C)	T°- T (°C)	% variación
2	24	5	1	24.7	24.5	0.8%
4	48	5	1	24.7	24.8	-0.4%
10	24	5	1	23.8	24.9	-4.6%
12	48	5	1	23.8	25.2	-5.9%

Nota: TRH: Tiempo de retención hidráulica. T°-sT*: Temperatura del agua sin tratamiento. T°-T: Temperatura del agua con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

Tabla 34. Resultados del porcentaje de variación de Temperatura con un Tiempo de Retención Hidráulica (24 – 48 horas), Altura de Aserrín (10 cm) y Tasa de riego (1 m³/m²/día)

Muestra	TRH (horas)	Altura de aserrín (cm)	Tasa de riego (m ³ /m ² /día)	T°- sT (°C)	T°- T (°C)	% variación
6	24	10	1	24.7	24.6	0.4%
8	48	10	1	24.7	25	-1.2%
14	24	10	1	23.8	25.1	-5.5%
16	48	10	1	23.8	24.9	-4.6%

Nota: TRH: Tiempo de retención hidráulica. T°-sT*: Temperatura del agua sin tratamiento. T°-T: Temperatura del agua con tratamiento. Procesado en Microsoft Excel.

De las tablas presentadas, en la tabla 33 se observa que con un Tiempo de Retención Hidráulica de 24 horas, una Tasa de riego de 1 m³/m²/día y una Altura de Aserrín de 5 cm, presenta una variación porcentual de Temperatura mínima de hasta 0.8%.

5.2. Resultados inferenciales

5.2.1. Prueba de Normalidad

Para determinar si los datos obtenidos por cada parámetro siguen una distribución normal, se aplicó el test de Anderson-Darling, planteando las siguientes hipótesis:

H₀: Los datos tienen distribución Normal.

H₁: Los datos no tiene distribución Normal.

Para ello se utilizó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, si el p-valor es menor que el nivel mencionado se rechazará la hipótesis nula, indicando que los datos no siguen una distribución normal. Por el contrario, si el p-valor es mayor que el nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis nula significando que los datos siguen una distribución normal.

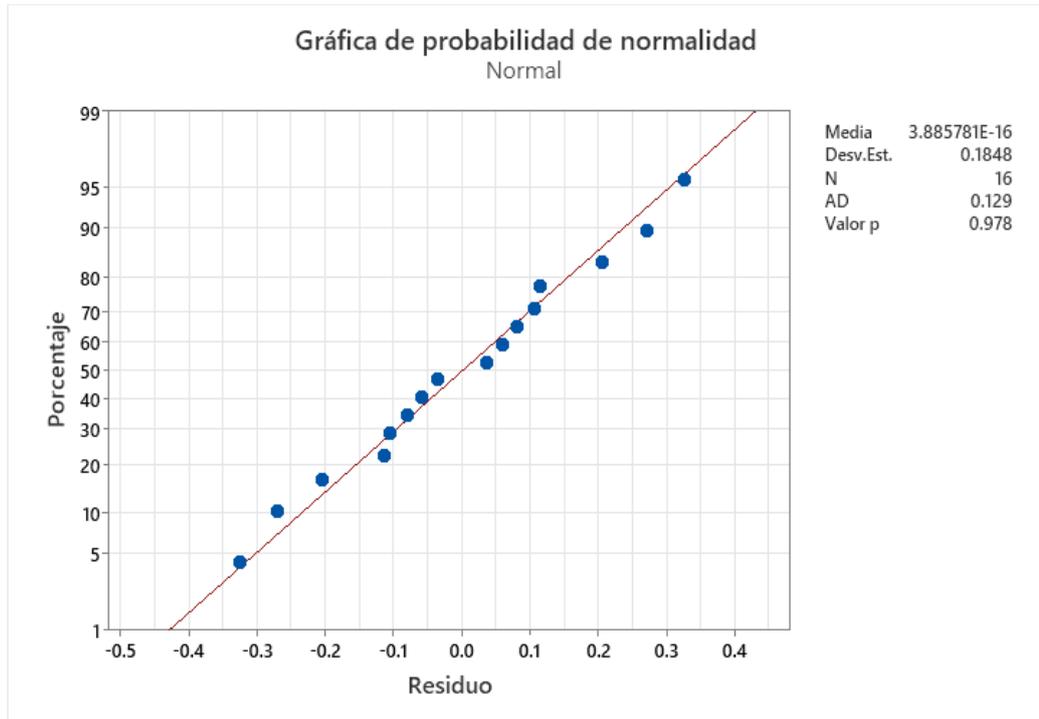


Figura 9. Gráfica de probabilidad normal de resultados obtenidos del parámetro de pH. Obtenido del software Minitab ver. 21.

La figura 9, muestra un valor $p = 0.978$ el cual es mayor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$; por lo tanto, no se rechaza H_0 y se concluye que los datos obtenidos correspondientes al parámetro de pH presentan una distribución normal.

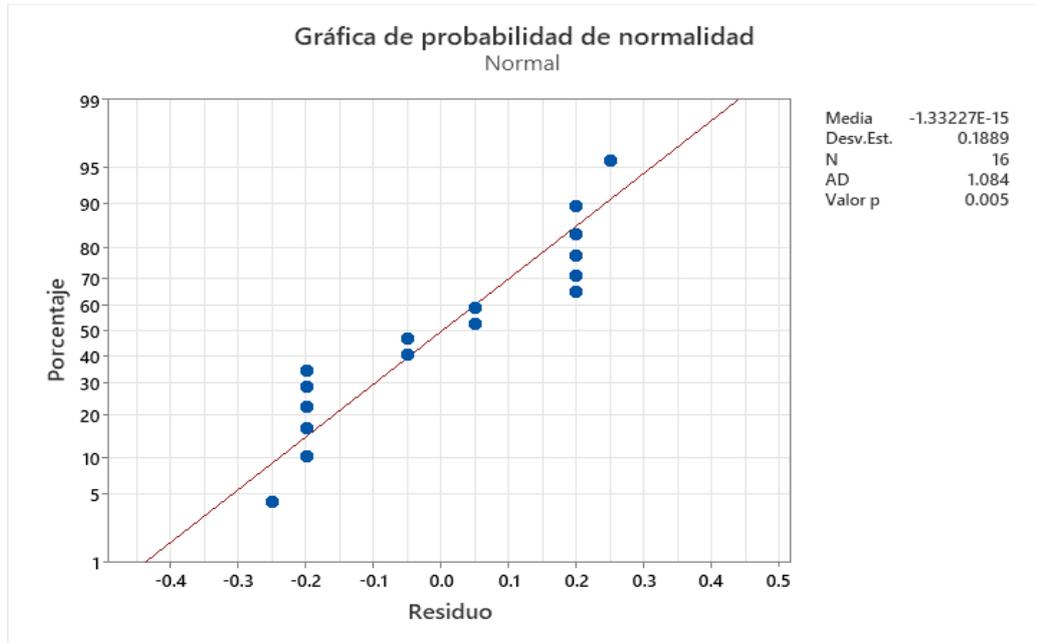


Figura 10. Gráfica de probabilidad normal de resultados obtenidos del parámetro de Temperatura. Obtenido del software Minitab ver. 21.

En la figura 10, muestra un valor $p = 0.005$, el cual es menor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$; por lo tanto, se rechaza H_0 debido a que los datos obtenidos respecto al parámetro de temperatura no presentan una distribución normal. En ese sentido, corresponde realizar una prueba no paramétrica para lo cual se utilizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov, cuya distribución se muestra en la siguiente figura:

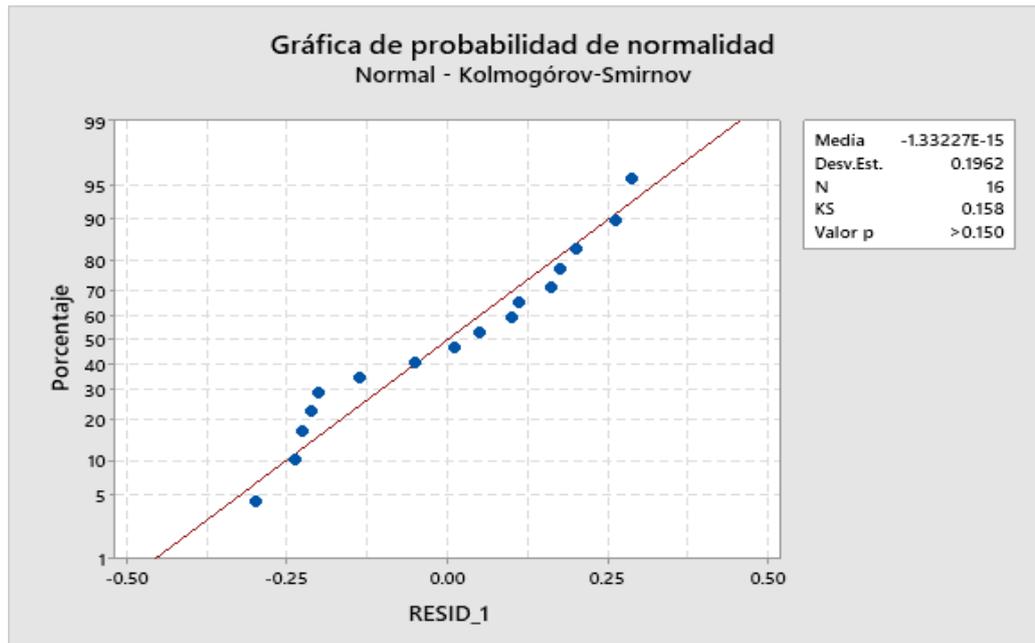


Figura 11. Gráfica de prueba de Kolmogórov-Smirnov para resultados obtenidos del parámetro de Temperatura. Obtenido del software Minitab ver. 21.

La figura 11, muestra un valor p superior a 0.15 el cual es mayor que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$; por lo tanto, corresponde rechazar H_0 concluyendo que los datos obtenidos correspondientes al parámetro de temperatura presentan una distribución normal.

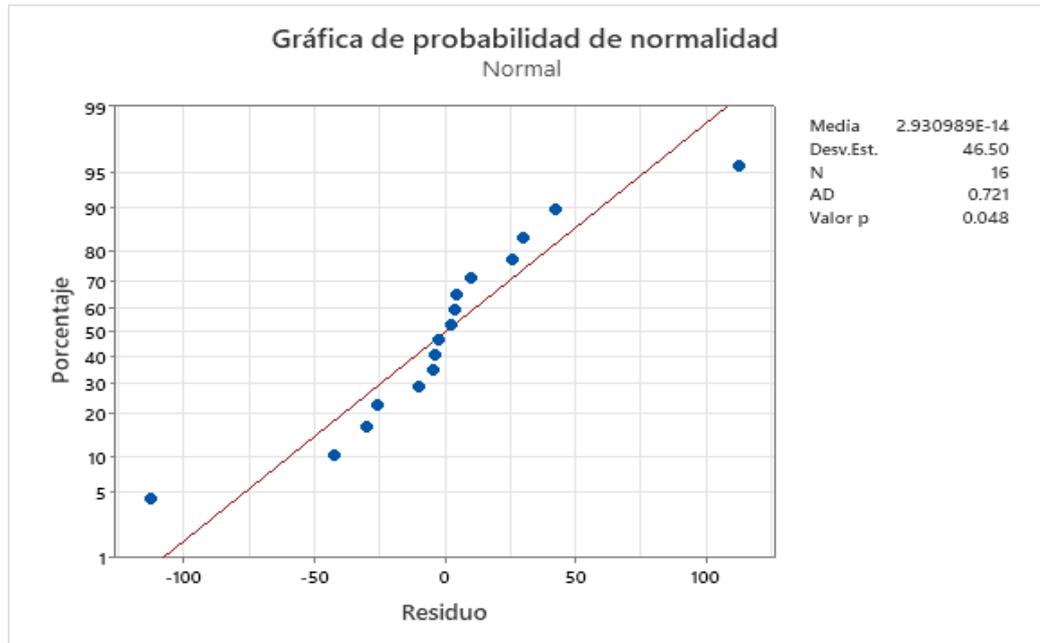


Figura 12. Gráfica de probabilidad normal de resultados obtenidos del parámetro de DBO5. Obtenido del software Minitab ver. 21.

La figura 12, muestra un valor $p = 0.048$, el cual es menor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$; por lo tanto, se rechaza H_0 debido a que los datos obtenidos respecto al parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno no presentan una distribución normal. En ese sentido, corresponde realizar una prueba no paramétrica para lo cual se utilizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov, cuya distribución se muestra en la siguiente figura:

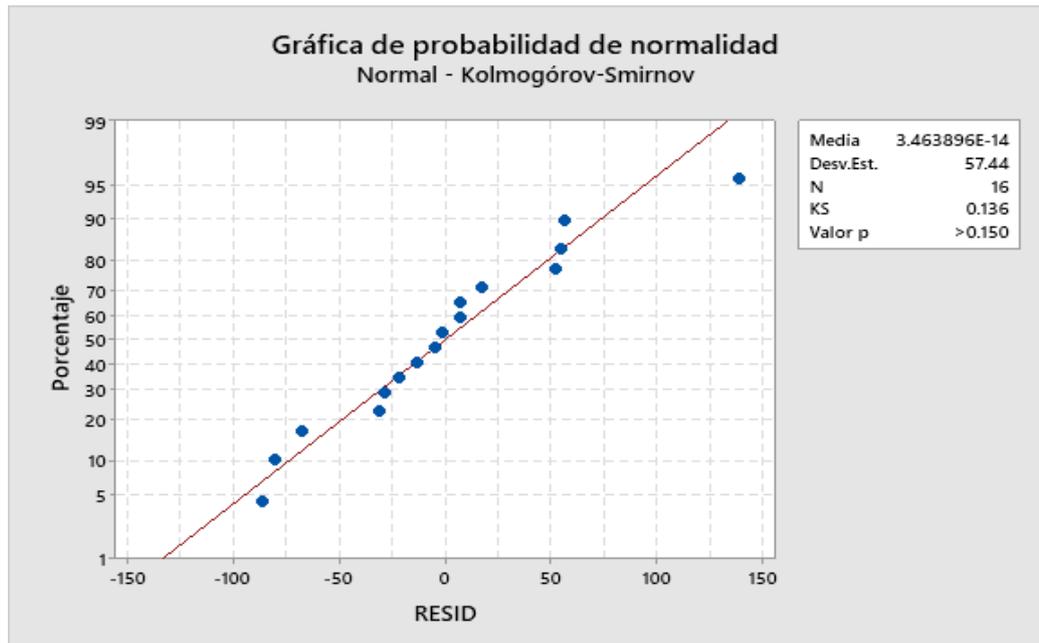


Figura 13. Gráfica de prueba de Kolmogórov-Smirnov para resultados obtenidos del parámetro de DBO5. Obtenido del software Minitab ver. 21.

La figura 13, muestra un valor p superior a 0.15, el cual es mayor que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$; por lo tanto, corresponde rechazar H_0 concluyendo que los datos obtenidos correspondientes al parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno presentan una distribución normal.

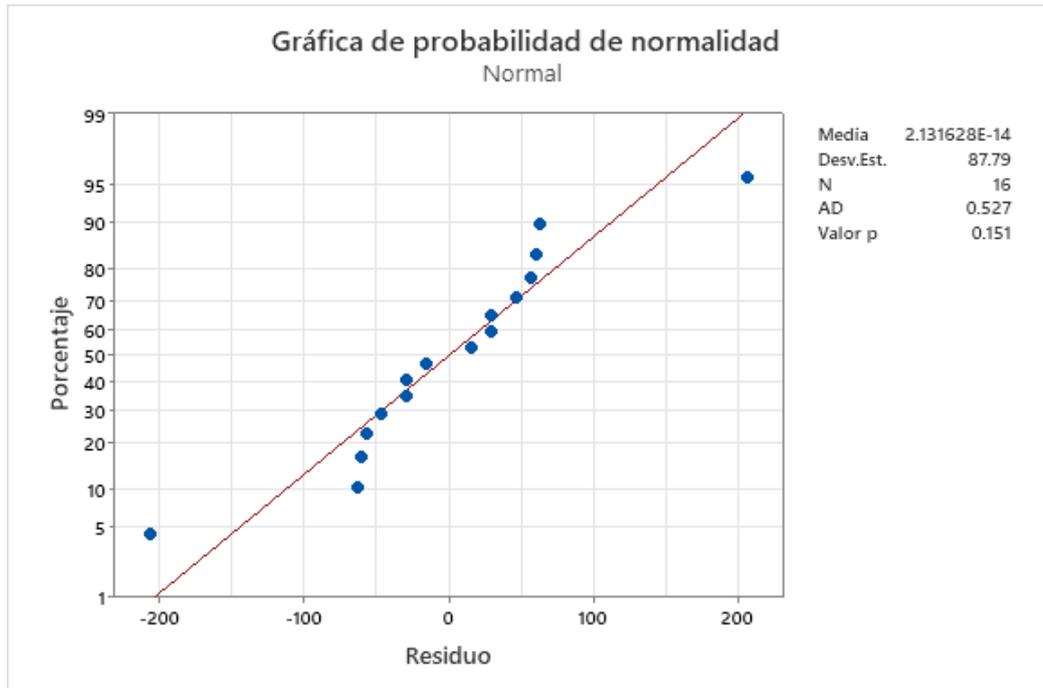


Figura 14. Gráfica de probabilidad normal de resultados del parámetro de DQO. Obtenido del software Minitab ver. 21.

La figura 14, muestra un valor $p = 0.151$, el cual es mayor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$; por lo tanto, no se rechaza H_0 y se concluye que los datos obtenidos correspondientes al parámetro de Demanda Química de Oxígeno presentan una distribución normal.

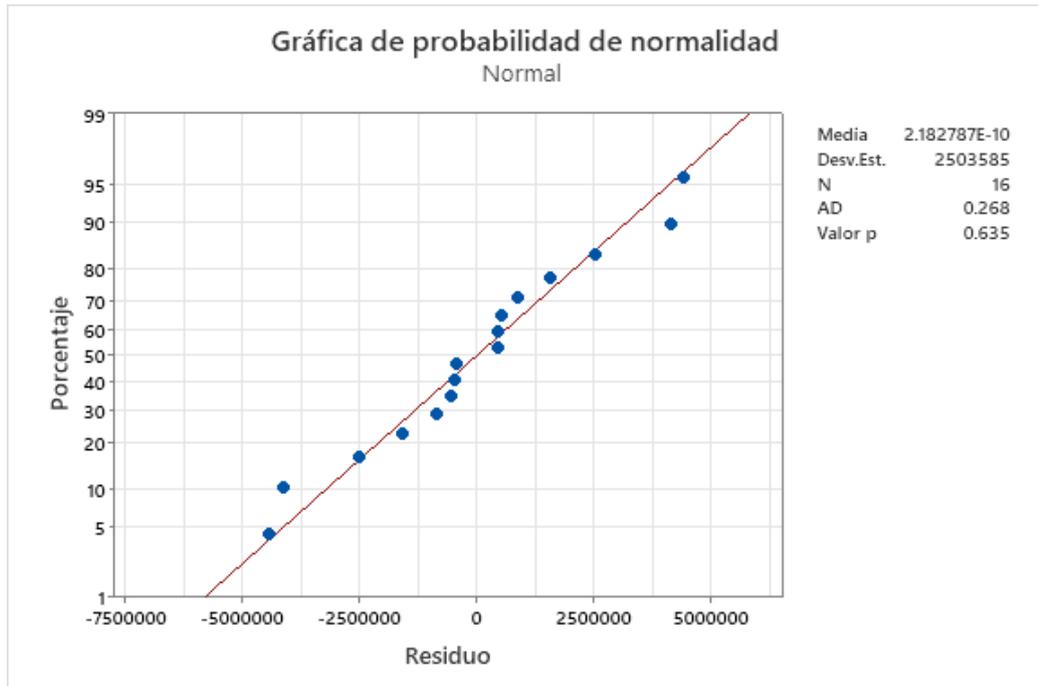


Figura 15. Gráfica de probabilidad normal de resultados obtenidos del parámetro de Coliformes Termotolerantes. Obtenido del software Minitab ver. 21.

La figura 15, muestra un valor $p = 0.635$ el cual es mayor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$; por lo tanto, no se rechaza H_0 y se concluye que los datos obtenidos correspondientes parámetro de Coliformes Termotolerantes presentan una distribución normal.

5.2.2. Análisis Estadístico – ANOVA

A continuación, se desarrolla el diseño factorial completo para cada parámetro.

a) Diseño factorial completo para DBO_5

En este acápite se desarrolla el análisis de varianza respecto a las interacciones entre el parámetro DBO_5 y los valores de cada factor (indicador) donde se determinará el nivel de significancia del modelo. Asimismo, mediante la prueba estadística ANOVA se verifica si existe homogeneidad de varianza del DBO_5 respecto a cada factor, con la

finalidad de comprobar si el valor p resulta representativo en la remoción del contaminante (DBO₅).

La tabla 35 muestra el valor de los niveles por cada factor propuesto en la investigación:

Tabla 35. Valores de los factores para DBO₅

Factores	Nivel	Valores	Unidad
Altura de Aserrín	2	5; 10	cm
TRH	2	24; 48	Horas
Tasa de riego	2	0.5; 1	M3/m2/día

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Mediante el proceso de experimentación se obtuvo resultados cuyo nivel de significancia se detalla a continuación:

Tabla 36. Análisis de varianza para DBO₅

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	60579.5	8654.2	2.13	0.155
Lineal	3	43522.3	14507.4	3.58	0.066
Altura de aserrín	1	29739	29739	7.34	0.027
TRH	1	8742.3	8742.3	2.16	0.18
Tasa de riego	1	5041	5041	1.24	0.297
Interacciones de 2 términos	3	13652.5	4550.8	1.12	0.396
Altura de aserrín*TRH	1	0	0	0	0.998
Altura de aserrín*Tasa de riego	1	3136	3136	0.77	0.405
TRH*Tasa de riego	1	10516.5	10516.5	2.59	0.146
Interacciones de 3 términos	1	3404.7	3404.7	0.84	0.386
Altura de aserrín*TRH*Tasa de riego	1	3404.7	3404.7	0.84	0.386
Error	8	32428.5	4053.6		
Total	15	93008			

Nota: En la presente tabla se muestra el análisis de varianza en referencia a los factores Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego, con referencia a los datos obtenidos en reducción de DBO₅; asimismo, se presenta la significancia de manera individual y la interacción entre dos y tres factores al respecto. Obtenido del software Minitab ver. 21.

En la tabla N° 36, respecto al Valor p obtenido por cada factor analizado, se observa que el factor de mayor significancia es la Atura de aserrín con un valor de 0.027, asimismo, se observa que los valores del modelo

y sus interacciones no son significativos por presentar un valor $p > 0.05$. En ese sentido, el modelo lineal individual de los factores del diseño y componente permite determinar la aceptación o rechazo de las hipótesis específica 1 y 2 propuestas en la presente investigación.

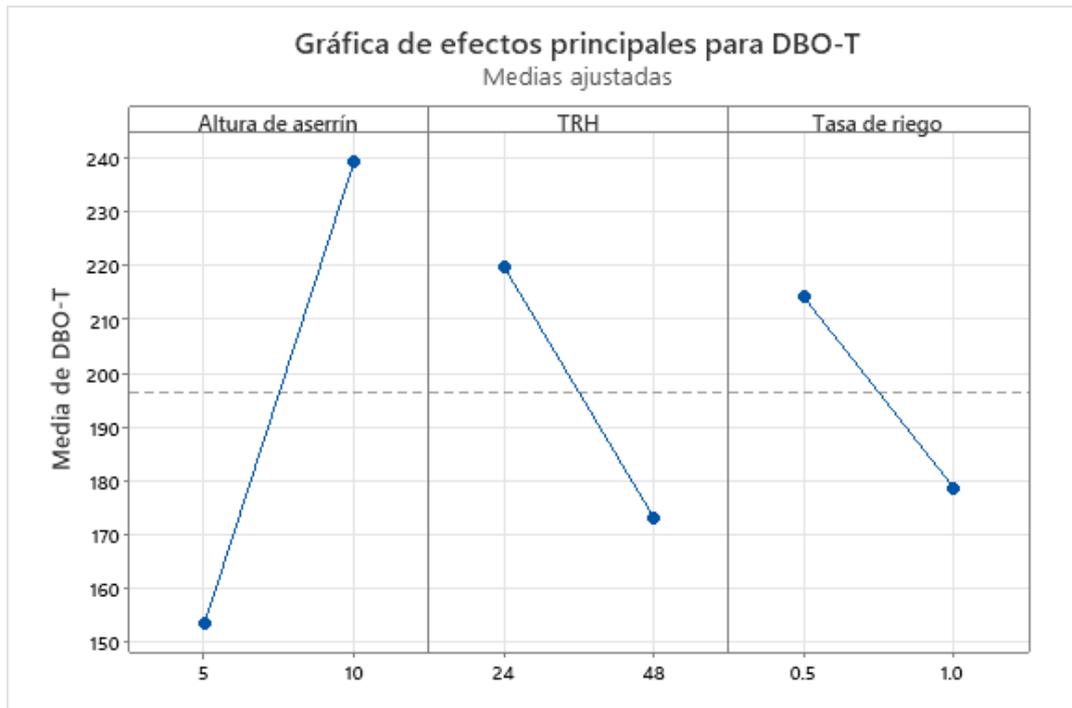


Figura 16. Gráfica de resultados de reducción de DBO5 respecto a las medias de Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego. Obtenido del software Minitab ver. 21.

En la figura 16, se visualiza la tendencia de reducción respecto a los niveles de los factores, determinando que, para una Altura de aserrín a 5 cm, Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) a 48 horas y Tasa de riego a 1 m³/m²/día se obtienen resultados más significativos en cuanto a la reducción de DBO₅.

Del análisis de cada uno de los factores en forma individual, con relación a la reducción del DBO₅ en el efluente, se presenta:

Tabla 37. Prueba estadística ANOVA para valores DBO₅

Hipótesis nula	Todas las varianzas son iguales
Hipótesis alterna	No todas las varianzas son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 38. Valores del factor TRH para la DBO₅

Factor	Niveles	Valores (horas)
TRH	2	24; 48

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 39. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor TRH para la DBO₅

TRH	N	Desv.Est.	IC
24	8	42.8688	(18.9561; 134.681)
48	8	10.0217	(3.9619; 35.217)

Nota: Nivel de confianza individual = 97,5%.
Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 40. Pruebas estadísticas de resultado vs TRH en DBO₅

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	5.37	0.021
Levene	4.20	0.060

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

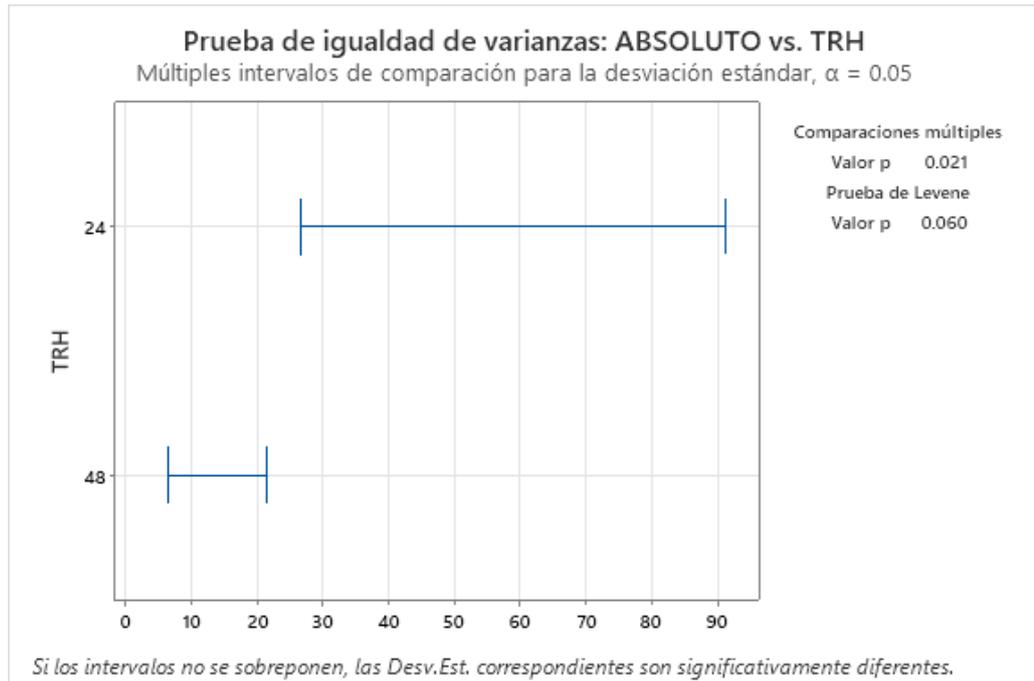


Figura 17. Gráfico de prueba Resultados vs TRH para la DBO₅. Obtenido del software Minitab ver. 21.

De la figura 17, se observa que el Valor p es mayor a 0.05 en el método Levene, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, todas las varianzas son iguales o existe homogeneidad de varianzas. Es así, que el factor Tiempo de Retención Hidráulica respecto a la reducción del DBO₅ no es representativo.

Tabla 41. Valores del factor Tasa de riego para la DBO₅

Factor	Niveles	Valores (horas)
Tasa de riego	2	0.5; 1

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 42. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Tasa de riego para la DBO₅

Tasa de riego	N	Desv.Est.	IC
0.5	8	17.4292	(5.6278; 74.988)

1	8	44.202	(16.4797; 164.706)
---	---	--------	--------------------

Nota: Nivel de confianza individual = 97,5%. Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 43. Pruebas estadísticas de resultado vs Tasa de riego en DBO₅

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	1.94	0.163
Levene	1.43	0.252

Nota: La prueba estadística utilizada fue el ANOVA en el programa Minitab 21 para la comparación de varianzas.

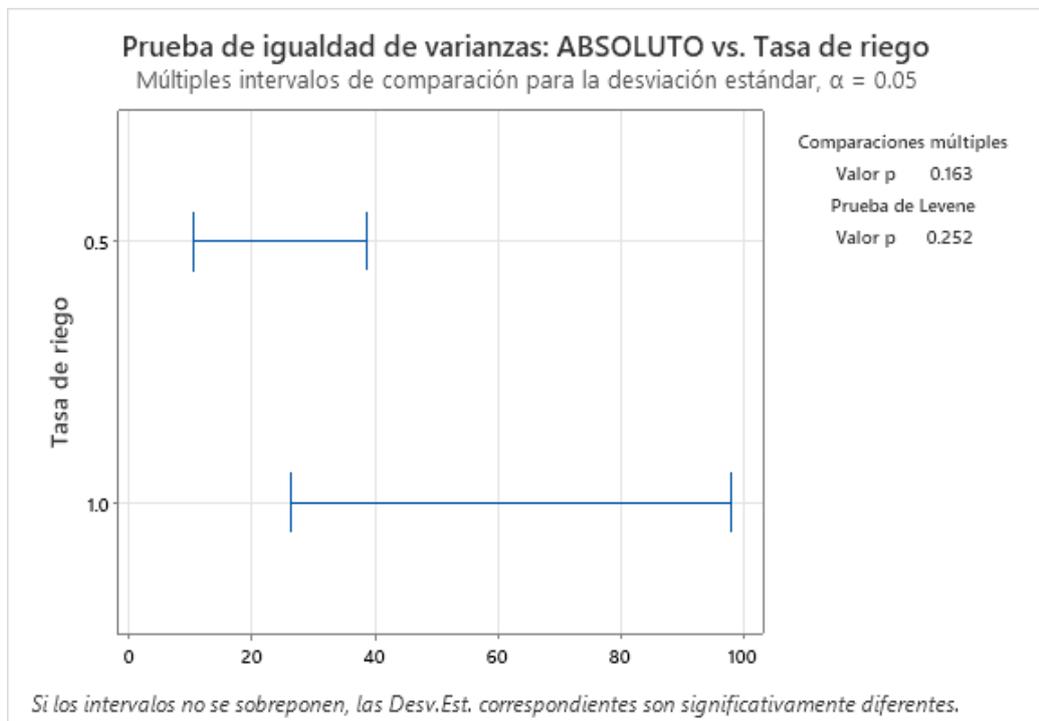


Figura 18. Gráfico de prueba Resultados vs Tasa de riego para la DBO₅. Obtenido del software Minitab ver. 21.

En la figura 18, se observa que el Valor p es mayor a 0.05 en el método Levene, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, todas las varianzas son iguales o existe homogeneidad de varianzas. Es así, que el factor Tasa de riego respecto a la reducción del DBO₅ no es representativo.

Tabla 44. Valores del factor Altura de aserrín para la DBO₅

Factor	Niveles	Valores (cm)
Altura de aserrín	2	5; 10

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 45. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Altura de aserrín para la DBO₅

Altura de aserrín	N	Desv.Est.	IC
5	8	16.4486	(11.0327; 34.069)
10	8	48.1584	(15.5376; 207.364)

Nota: Nivel de confianza individual = 97,5%. Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 46. Pruebas estadísticas de resultado vs Altura de aserrín en DBO₅

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	1.97	0.160
Levene	1.69	0.214

Nota: La prueba estadística utilizada fue el ANOVA en el programa Minitab 21 para la comparación de varianzas.

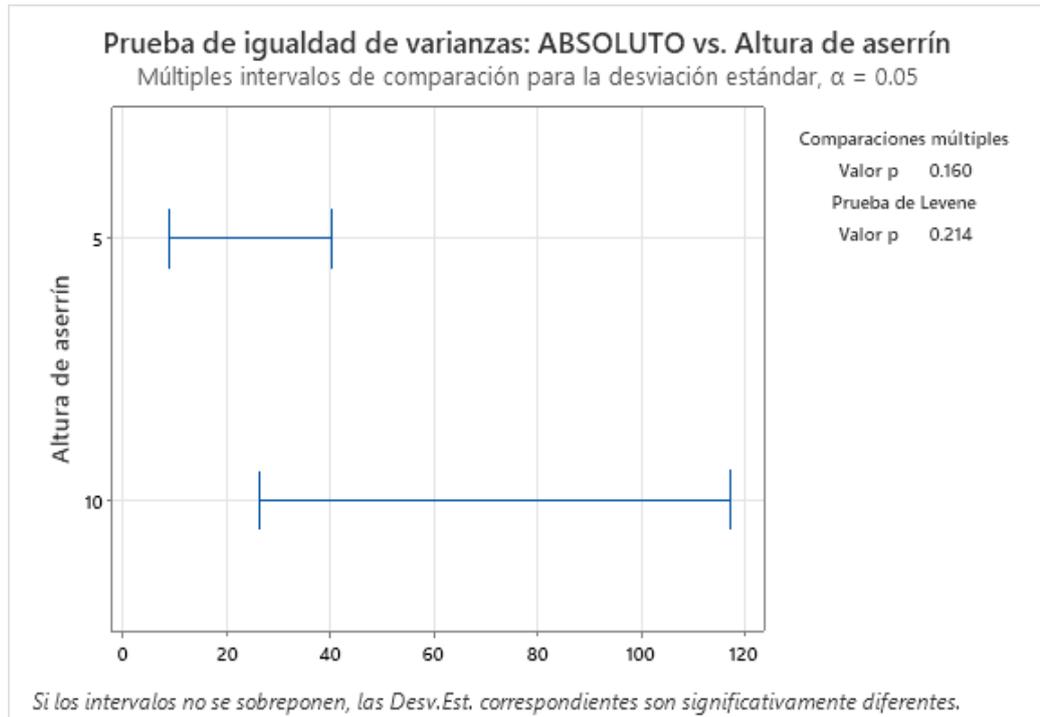


Figura 19. Gráfico de prueba Resultados vs Altura de aserrín para la DBO5. Obtenido del software Minitab ver. 21.

De la figura 19, se observa que el Valor p es mayor a 0.05 en el método Levene, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, todas las varianzas son iguales o existe homogeneidad de varianzas. Es así, que el factor Altura de aserrín respecto a la reducción del DBO₅ no es representativo

b) Diseño factorial completo del DQO

En este acápite se desarrolla el análisis de varianza respecto a las interacciones entre el parámetro DQO y los valores de cada factor (indicador) donde se determinará el nivel de significancia del modelo. Asimismo, mediante la prueba estadística ANOVA se verifica si existe homogeneidad de varianza del DQO respecto a cada factor, con la finalidad de comprobar si el valor p resulta representativo en la remoción del contaminante (DQO).

La tabla 47 muestra el valor de los niveles por cada factor propuesto en la investigación:

Tabla 47. Valores de los factores para DQO

Factores	Nivel	Valores	Unidad
Altura de aserrín	2	5; 10	cm
TRH	2	24; 48	horas
Tasa de riego	2	0.5; 1	m3/m2/día

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Mediante el proceso de experimentación se obtuvo resultados cuyo nivel de significancia fue:

Tabla 48. Análisis de varianza para DQO

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	330921	47274	3.27	0.059
Lineal	3	237209	79070	5.47	0.024
Altura de aserrín	1	161684	161684	11.19	0.01
TRH	1	41392	41392	2.86	0.129
Tasa de riego	1	34133	34133	2.36	0.163
Interacciones de 2 términos	3	77912	25971	1.8	0.226
Altura de aserrín*TRH	1	0	0	0	1
Altura de aserrín*Tasa de riego	1	22216	22216	1.54	0.25
TRH*Tasa de riego	1	55696	55696	3.85	0.085
Interacciones de 3 términos	1	15800	15800	1.09	0.326
Altura de aserrín*TRH*Tasa de riego	1	15800	15800	1.09	0.326
Error	8	115608	14451		
Total	15	446529			

Nota: En la presente tabla se muestra el análisis de varianza en referencia a los factores Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego y con referencia a los datos obtenidos en reducción de DQO; asimismo, se presenta la significancia de manera individual y la interacción entre dos y tres factores al respecto. Obtenido del software Minitab ver. 21.

En la tabla 48 respecto al Valor p obtenido por cada factor analizado, se observa que el factor de mayor significancia es la Atura de aserrín con un

valor de 0.01, asimismo, se observa que los valores del modelo y sus interacciones no son significativos por presentar un valor $p > 0.05$. En ese sentido, el modelo lineal individual de los factores del diseño y componente permite determinar la aceptación o rechazo de las hipótesis específica 1 y 2 propuestas en la presente investigación.

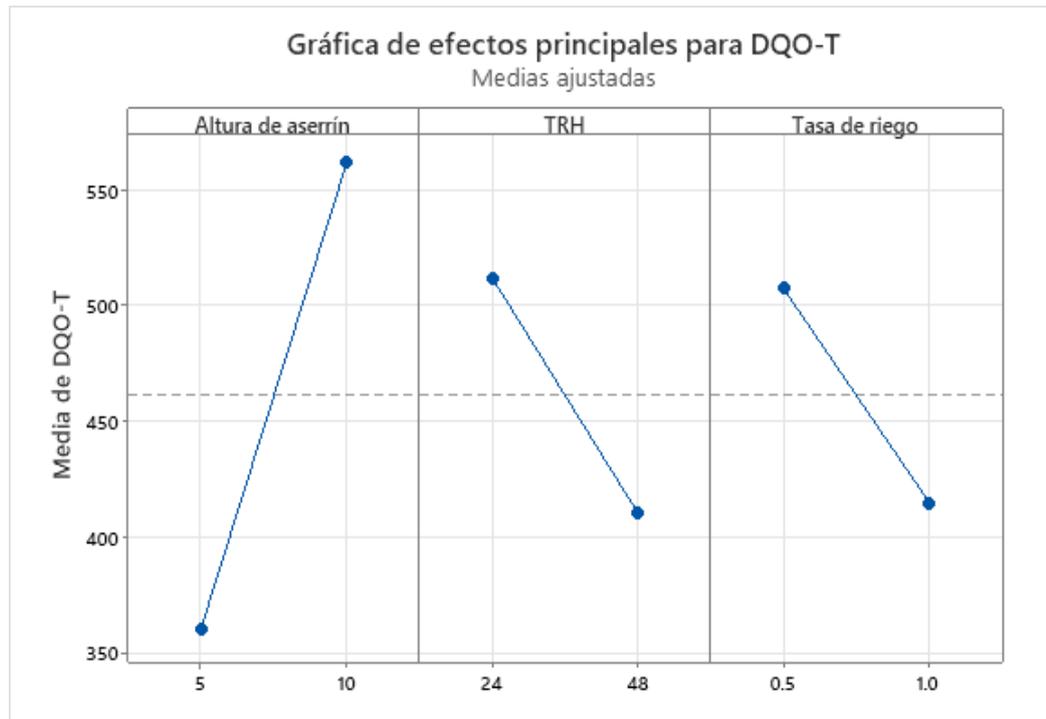


Figura 20. Gráfica de resultados de reducción de DQO respecto a medias de Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego. Obtenido del software Minitab ver. 21.

En la figura 20 se visualiza la tendencia de reducción respecto a los niveles de los factores, determinando que, para una Altura de aserrín a 5 cm, TRH a 48 horas y Tasa de riego a 1 m³/m²/día se muestran resultados más significativos en cuanto a la reducción de DQO.

Del análisis de cada uno de los factores en forma individual con relación a la reducción del DQO en el efluente se registró que:

Tabla 49. Prueba estadística ANOVA para factores de DQO

Hipótesis nula	Todas las varianzas son iguales
----------------	---------------------------------

Hipótesis alterna	No todas las varianzas son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 50. Valores del factor Altura de aserrín para DQO

Factor	Niveles	Valores (cm)
Altura de aserrín	2	5; 10

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 51. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Altura de aserrín para la DQO

Altura de aserrín	N	Desv.Est.	IC
5	8	21.1433	(14.8866; 41.718)
10	8	75.4441	(24.1662; 327.202)

Nota: Nivel de confianza individual = 97.5%. Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 52. Pruebas estadísticas de resultado vs Altura de aserrín en DQO

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	2.55	0.110
Levene	1.53	0.237

Nota: La prueba estadística utilizada fue el ANOVA en el programa Minitab 21 para la comparación de varianzas.

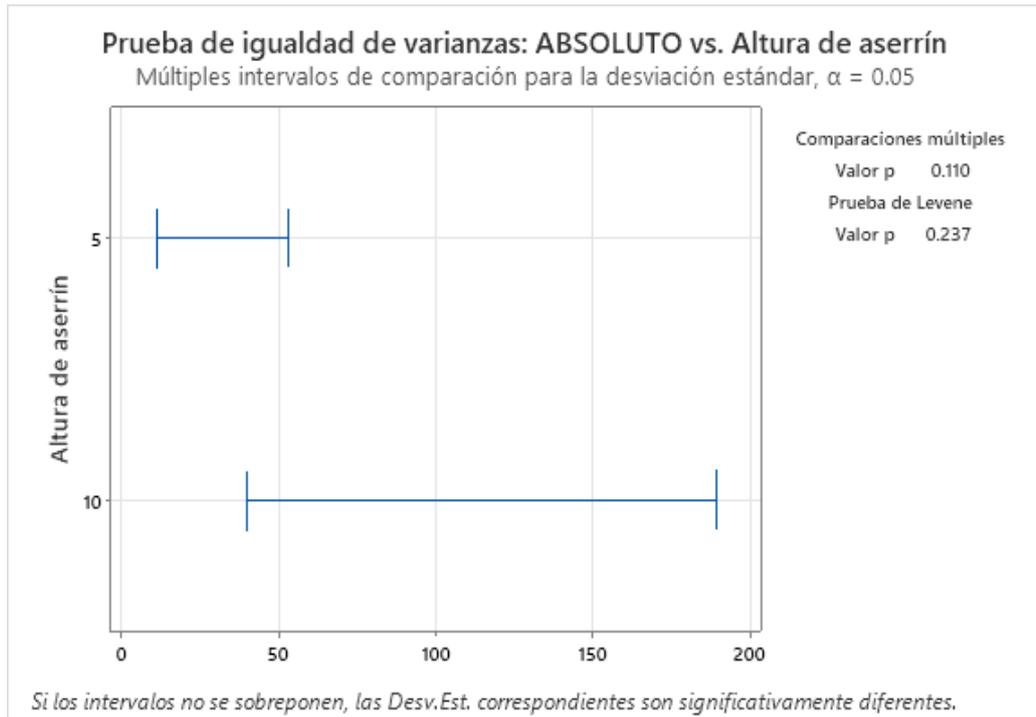


Figura 21. Gráfico de prueba Resultados vs Altura de aserrín para la DQO. Obtenido del software Minitab ver. 21.

De la figura 21, se observa que el Valor p es mayor a 0.05 en el método Levene, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, todas las varianzas son iguales o existe homogeneidad de varianzas. Es así, que el factor Altura de aserrín respecto a la reducción del DQO no es representativo.

Tabla 53. Valores del factor TRH para DQO

Factor	Niveles	Valores (horas)
TRH	2	24; 48

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 54. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor TRH para la DQO

TRH	N	Desv.Est.	IC
24	8	75.1471	(24.5451; 319.619)

48 8 20.2031 (13.7147; 41.345)

Nota: Nivel de confianza individual = 97.5%.
Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 55. Pruebas estadísticas de resultado vs TRH en DQO

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	2.76	0.097
Levene	1.78	0.203

Nota: La prueba estadística utilizada fue el ANOVA en el programa Minitab 21 para la comparación de varianzas.

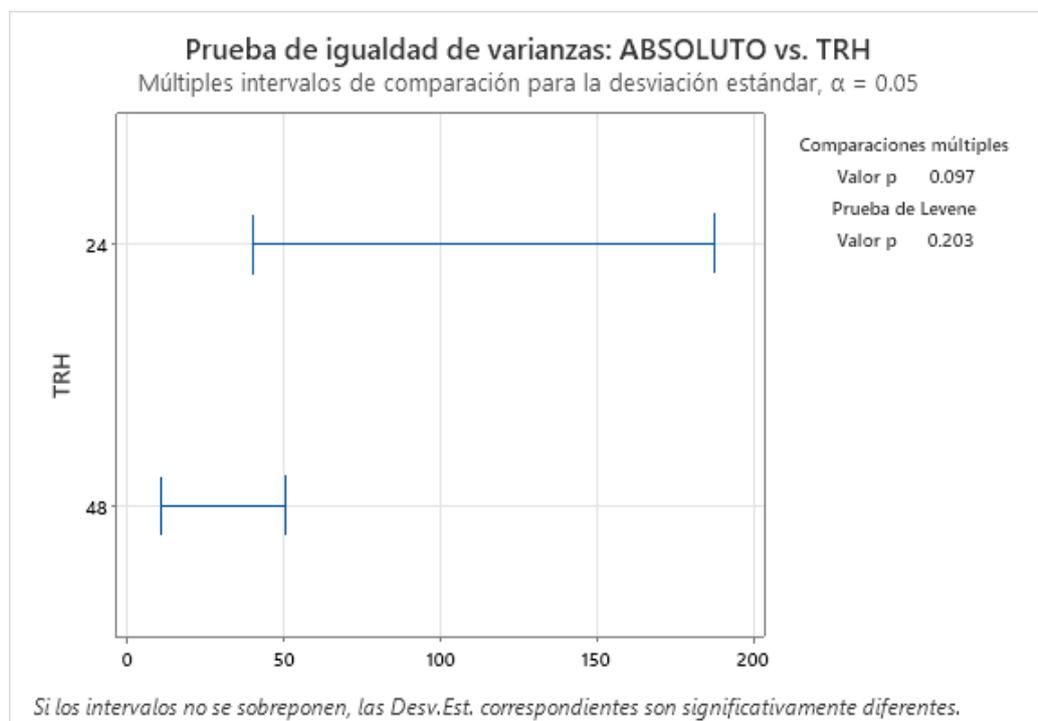


Figura 22. Gráfico de prueba Resultados vs TRH para la DQO. Obtenido del software Minitab ver. 21.

De la figura 22, se observa que el Valor p es mayor a 0.05 en el método Levene, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, todas las varianzas son iguales o existe homogeneidad de varianzas. Es así, que el factor Tiempo de Retención Hidráulica respecto a la reducción del DQO no es representativo.

Tabla 56. Valores del factor Tasa de riego para DQO

Factor	Niveles	Valores (m3/m2/día)
Tasa de riego	2	0.5; 1

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 57. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Tasa de riego para la DQO

Tasa de riego	N	Desv.Est.	IC
0.5	8	6.8908	(2.9950; 22.025)
1	8	84.3077	(24.3270; 405.901)

Nota: Nivel de confianza individual = 97.5%. Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 58. Pruebas estadísticas de resultado vs Tasa de riego en DQO

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	7.38	0.007
Levene	2.27	0.154

Nota: La prueba estadística utilizada fue el ANOVA en el programa Minitab 21 para la comparación de varianzas.

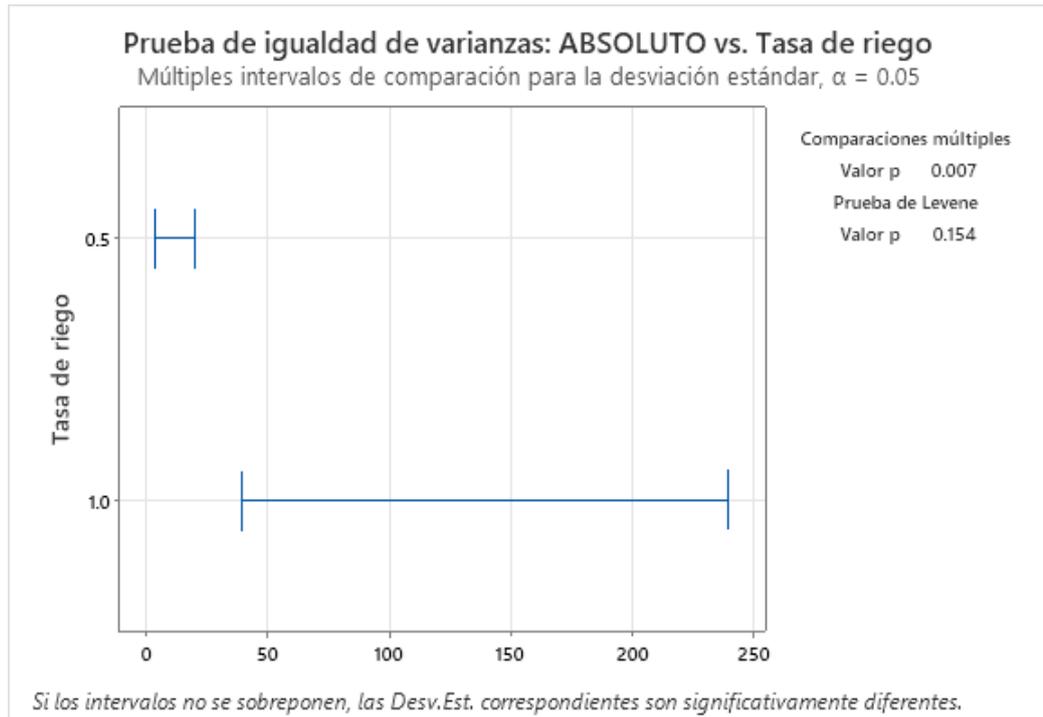


Figura 23. Gráfico de prueba Resultados vs Tasa de riesgo para la DQO. Obtenido del software Minitab ver. 21.

De la figura 23, se observa que el Valor p es mayor a 0.05 en el método Levene, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, todas las varianzas son iguales o existe homogeneidad de varianzas. Es así, que el factor Tasa de riesgo respecto a la reducción del DQO no es representativo.

c) **Diseño factorial completo de Coliformes Termotolerantes**

En este acápite se desarrolla el análisis de varianza respecto a las interacciones entre el parámetro Coliformes Termotolerantes y los valores de cada factor (indicador) donde se determinará el nivel de significancia del modelo. Asimismo, mediante la prueba estadística ANOVA se verifica si existe homogeneidad de varianza de Coliformes Termotolerantes respecto a cada factor, con la finalidad de comprobar si el valor p resulta representativo en la remoción del contaminante (Coliformes Termotolerantes).

La tabla 59 muestra el valor de los niveles por cada factor propuesto en la investigación:

Tabla 59. Valores de los factores para Coliformes Termotolerantes

Factores	Nivel	Valores	Unidad
Altura de aserrín	2	5; 10	cm
TRH	2	24; 48	Horas
Tasa de riego	2	0.5; 1	M3/m2/día

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Mediante el proceso de experimentación se obtuvo resultados cuyo nivel de significancia fue:

Tabla 60. Análisis de varianza para Coliformes Termotolerantes

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	4.66E+13	6.66E+12	0.57	0.766
Lineal	3	6.01E+12	2.00E+12	0.17	0.913
Altura de aserrín	1	1.78E+12	1.78E+12	0.15	0.707
TRH	1	3.66E+12	3.66E+12	0.31	0.592
Tasa de riego	1	5.70E+11	5.70E+11	0.05	0.831
Interacciones de 2 términos	3	4.04E+13	1.35E+13	1.15	0.387
Altura de aserrín*TRH	1	6.97E+12	6.97E+12	0.59	0.463
Altura de aserrín*Tasa de riego	1	2.29E+13	2.29E+13	1.95	0.2
TRH*Tasa de riego	1	1.06E+13	1.06E+13	0.9	0.371
Interacciones de 3 términos	1	1.54E+11	1.54E+11	0.01	0.912
Altura de aserrín*TRH*Tasa de riego	1	1.54E+11	1.54E+11		0.912
Error	8	9.40E+13	1.18E+13		
Total	15	1.41E+14			

Nota: En la presente tabla se muestra el análisis de varianza en referencia a los factores Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego y con referencia a los datos obtenidos en reducción de Coliformes Termotolerantes; asimismo, se presenta la significancia de manera individual y la interacción entre dos y tres factores al respecto. Obtenido del software Minitab ver. 21.

En la tabla 60, respecto al Valor p obtenido por cada factor analizado, no se observa significancia en los factores, por lo tanto, los valores del modelo y sus interacciones no son significativos por presentar un valor $p > 0.05$. En ese sentido, el modelo lineal individual de los factores del diseño y componente permite determinar la aceptación o rechazo de las hipótesis específica 1 y 2 propuestas en la presente investigación.

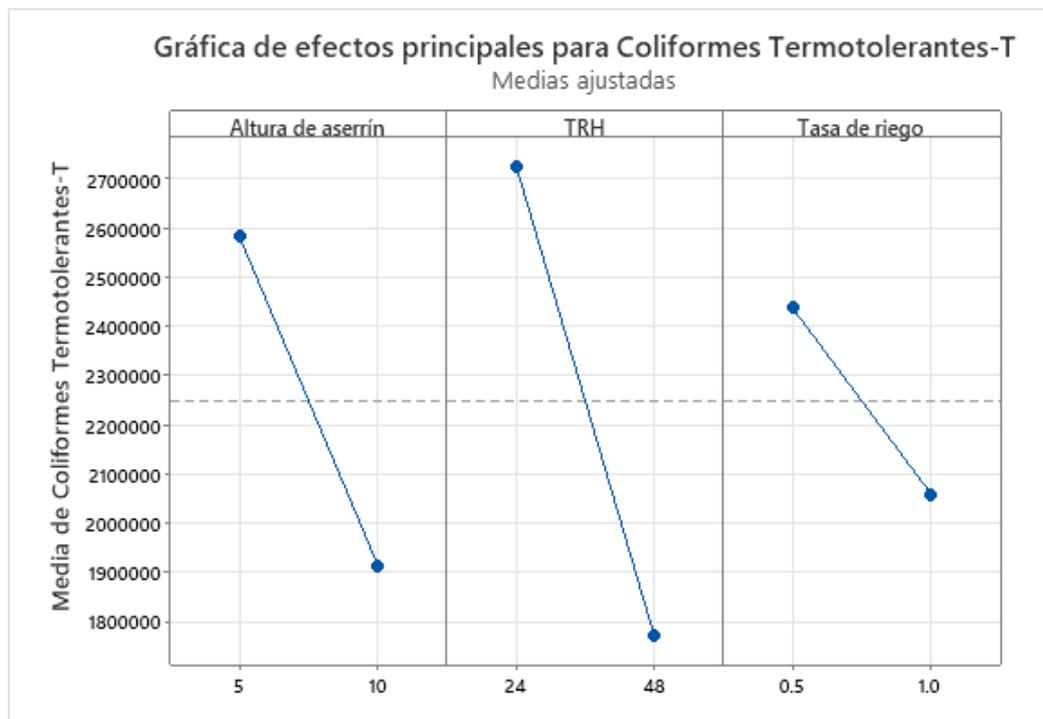


Figura 24. Gráfica de resultados de reducción de Coliformes Termotolerantes respecto a medias de Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego. Obtenido del software Minitab ver. 21.

En la figura 24 se visualiza la tendencia a reducción respecto a los niveles de los factores, determinando que, para una Altura de aserrín a 10 cm, TRH a 48 horas y Tasa de riego a 0.5 m³/m²/día se muestran resultados más significativos en cuanto a la reducción de Coliformes Termotolerantes.

Del análisis de cada uno de los factores en forma individual con relación a la reducción de Coliformes Termotolerantes en el efluente se registró que:

Tabla 61. Prueba estadística ANOVA para factores de Coliformes Termotolerantes

Hipótesis nula	Todas las varianzas son iguales
Hipótesis alterna	No todas las varianzas son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 62. Valores del factor Altura de aserrín para Coliformes Termotolerantes

Factor	Niveles	Valores (cm)
Altura de aserrín	2	5; 10

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 63. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Altura de aserrín para Coliformes Termotolerantes

Altura de aserrín	N	Desv.Est.	IC
5	8	1445430	(871466; 3330556)
10	8	1773313	(510827; 8552053)

Nota: Nivel de confianza individual = 97.5%. Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 64. Pruebas estadísticas de resultado vs Altura de aserrín en Coliformes Termotolerantes

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	0.13	0.721
Levene	0.01	.0.905

Nota: La prueba estadística utilizada fue el ANOVA en el programa Minitab 21 para la comparación de varianzas.

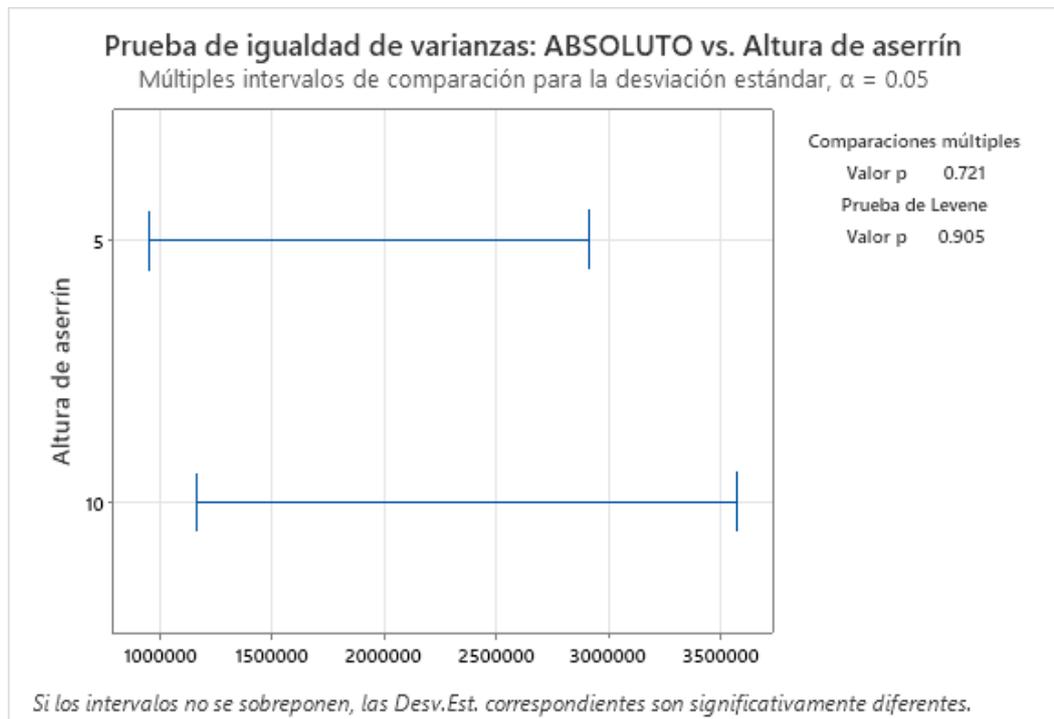


Figura 25. Gráfico de prueba Resultados vs Altura de aserrín para Coliformes Termotolerantes. Obtenido del software Minitab ver. 21.

De la figura 25, se observa que el Valor p es mayor a 0.05 en el método Levene, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, todas las varianzas son iguales o existe homogeneidad de varianzas. Es así, que el factor Altura de aserrín respecto a la reducción de coliformes termotolerantes no es representativo.

Tabla 65. Valores del factor TRH para Coliformes Termotolerantes

Factor	Niveles	Valores (horas)
TRH	2	24; 48

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 66. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor TRH para Coliformes Termotolerantes

TRH	N	Desv.Est.	IC
24	8	1427012	(725612; 3898736)
48	8	1697911	(454755; 8806940)

Nota: Nivel de confianza individual = 97.5%.
Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 67. Pruebas estadísticas de resultado vs TRH en Coliformes Termotolerantes

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	0.08	0.773
Levene	0.08	0.078

Nota: La prueba estadística utilizada fue el ANOVA en el programa Minitab 21 para la comparación de varianzas.

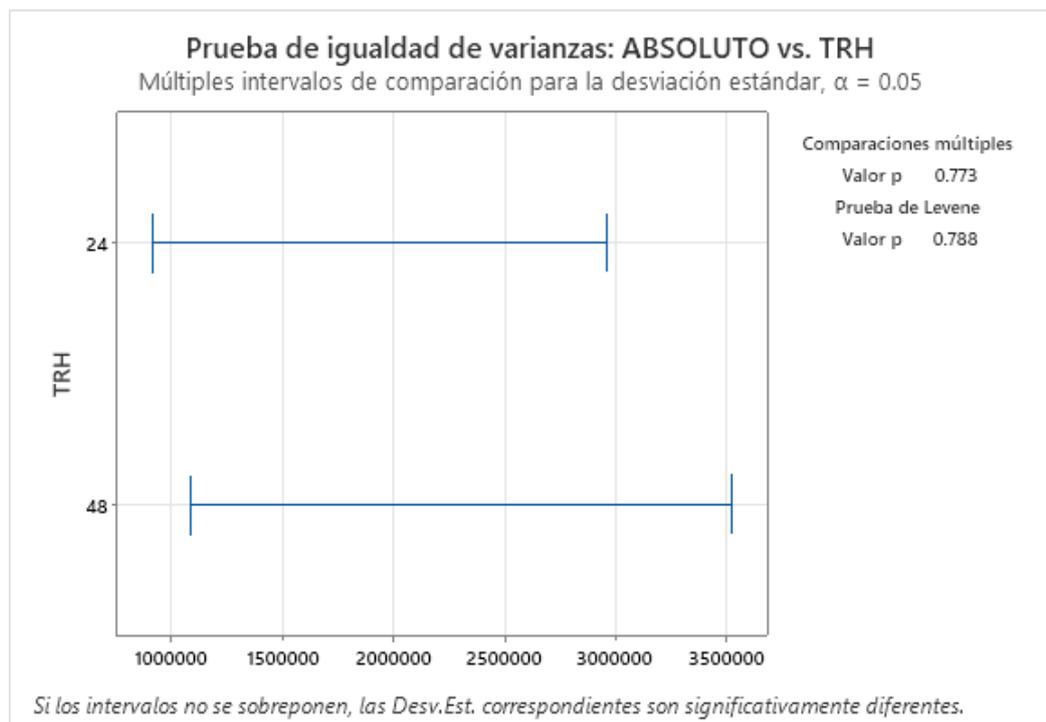


Figura 26. Gráfico de prueba Resultados vs Tiempo de retención hidráulica para Coliformes Termotolerantes. Obtenido del software Minitab ver. 21.

De la figura 26, se observa que el Valor p es mayor a 0.05 en el método Levene, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, todas las

varianzas son iguales o existe homogeneidad de varianzas. Es así, que el factor Tiempo de Retención Hidráulica respecto a la reducción de Coliformes termotolerantes no es representativo.

Tabla 68. Valores del factor Tasa de riego para Coliformes Termotolerantes

Factor	Niveles	Valores (m ³ /m ² /día)
Tasa de riego	2	0.5; 1

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 69. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Tasa de riego para Coliformes Termotolerantes

Tasa de riego	TRH	N	Desv.Est.	IC
0.5	24	8	1565238	(897468; 3792409)
1	48	8	1720413	(606495; 6779714)

Nota: Nivel de confianza individual = 97.5%. Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 70. Pruebas estadísticas de resultado vs Tasa de riego en Coliformes Termotolerantes

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	0.04	0.842
Levene	0.03	0.874

Nota: La prueba estadística utilizada fue el ANOVA en el programa Minitab 21 para la comparación de varianzas.

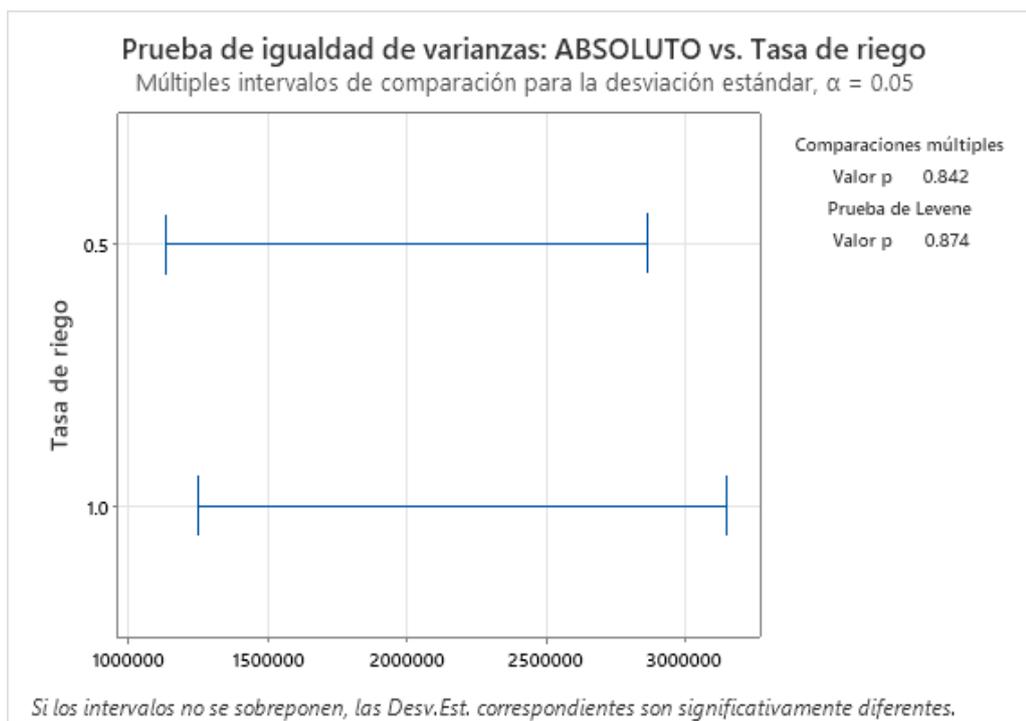


Figura 27. Gráfico de prueba Resultados vs Tasa de riego para Coliformes Termotolerantes. Obtenido del software Minitab ver. 21.

De la figura 27, se observa que el Valor p es mayor a 0.05 en el método Levene, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, todas las varianzas son iguales o existe homogeneidad de varianzas. Es así, que el factor Tasa de riego respecto a la reducción de Coliformes termotolerantes no es representativo.

d) Diseño factorial completo de pH

En este acápite se desarrolla el análisis de varianza respecto a las interacciones entre el parámetro de pH y los valores de cada factor (indicador) donde se determinará el nivel de significancia del modelo. Asimismo, mediante la prueba estadística ANOVA se verifica si existe homogeneidad de varianza del pH respecto a cada factor, con la finalidad de comprobar si el valor p resulta representativo en la variación del parámetro (pH).

La tabla 71 muestra el valor de los niveles por cada factor propuesto en la investigación:

Tabla 71. Valores de los factores para pH

Factores	Nivel	Valores	Unidad
Altura de aserrín	2	5; 10	cm
TRH	2	24; 48	horas
Tasa de riego	2	0.5; 1	m3/m2/día

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Mediante el proceso de experimentación se obtuvo resultados cuyo nivel de significancia fue:

Tabla 72. Análisis de varianza para pH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	0.427094	0.061013	0.95	0.519
Lineal	3	0.070869	0.023623	0.37	0.778
Altura de aserrín	1	0.045156	0.045156	0.71	0.425
TRH	1	0.006806	0.006806	0.11	0.753
Tasa de riego	1	0.018906	0.018906	0.3	0.602
Interacciones de 2 términos	3	0.329819	0.10994	1.72	0.24
Altura de aserrín*TRH	1	0.082656	0.082656	1.29	0.289
Altura de aserrín*Tasa de riego	1	0.009506	0.009506	0.15	0.71
TRH*Tasa de riego	1	0.237656	0.237656	3.71	0.09
Interacciones de 3 términos	1	0.026406	0.026406	0.41	0.539
Altura de aserrín*TRH*Tasa de riego	1	0.026406	0.026406	0.41	0.539
Error	8	0.51205	0.064006		
Total	15	0.939144			

Nota: En la presente tabla se muestra el análisis de varianza en referencia a los factores Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego y con referencia a los datos obtenidos para el pH; asimismo, se presenta la significancia de manera individual y la interacción entre dos y tres factores al respecto. Obtenido del software Minitab ver. 21.

En la tabla 72 respecto al Valor p obtenido por cada factor analizado, no se observa significancia en los factores, por lo tanto, los valores del modelo y sus interacciones no son significativos por presentar un valor $p > 0.05$. En ese sentido, el modelo lineal individual de los factores del diseño y componente permite determinar la aceptación o rechazo de las hipótesis específica 1 y 2 propuestas en la presente investigación.

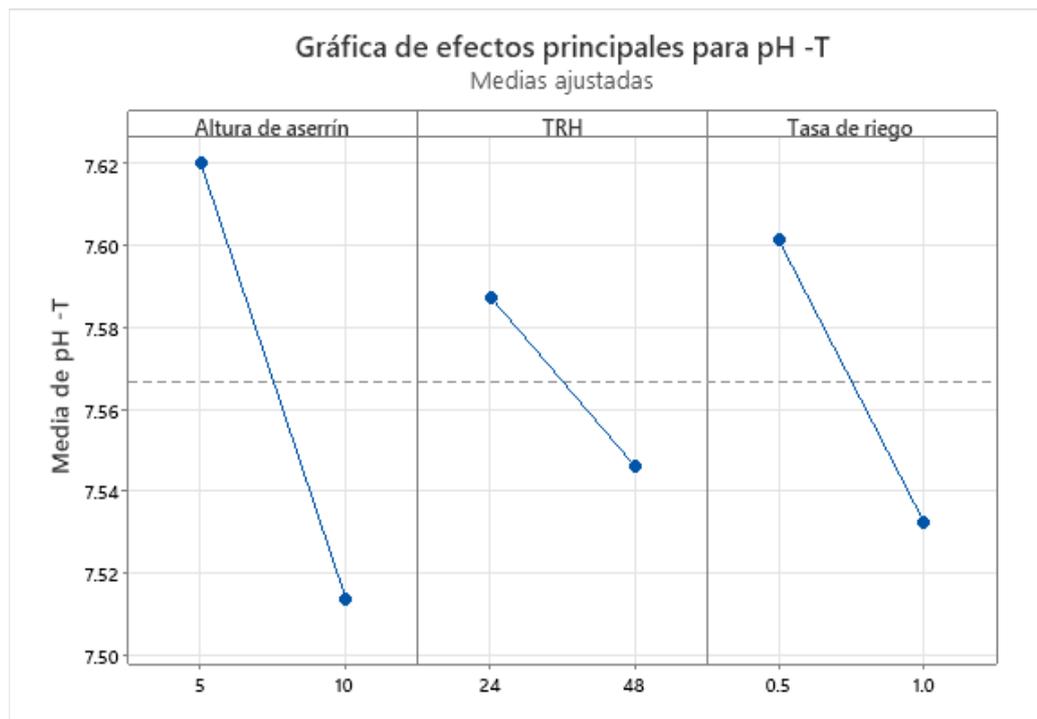


Figura 28. Gráfica de resultados de efectos del pH respecto a medias de Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego. Obtenido del software Minitab ver. 21.

En la figura 28 se visualiza la tendencia respecto a los niveles de Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego, determinando que, los resultados presentados resultan no significativos al presentar variaciones mínimas del pH.

Del análisis de cada uno de los factores en forma individual con relación a la evaluación del pH en el efluente se registró que:

Tabla 73. Prueba estadística ANOVA para factores de pH

Hipótesis nula	Todas las varianzas son iguales
Hipótesis alterna	No todas las varianzas son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 74. Valores del factor Altura de aserrín para pH

Factor	Niveles	Valores (cm)
Altura de aserrín	2	5; 10

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 75. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Altura de aserrín para pH

Altura de aserrín	N	Desv.Est.	IC
5	8	0.113074	(0.0370631; 0.479243)
10	8	0.096538	(0.0659497; 0.196318)

Nota: Nivel de confianza individual = 97.5%. Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 76. Pruebas estadísticas de resultado vs Altura de aserrín en pH

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	0.1	0.751
Levene	0.06	0.81

Nota: La prueba estadística utilizada fue el ANOVA en el programa Minitab 21 para la comparación de varianzas

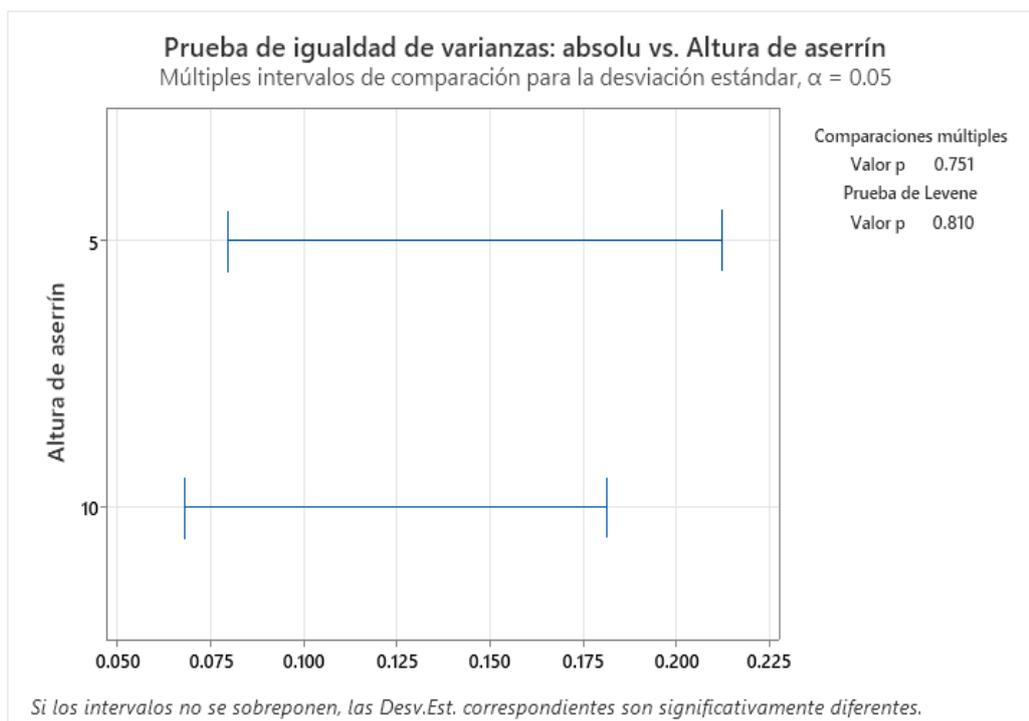


Figura 29. Gráfico de prueba Resultados vs Altura de aserrín para pH. Obtenido del software Minitab ver. 21.

De la figura 29, se observa que el Valor p es mayor a 0.05 en el método Levene, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, todas las varianzas son iguales o existe homogeneidad de varianzas. Es así, que el factor Altura de aserrín respecto a las variaciones del pH no es representativo.

Tabla 77. Valores del factor TRH para pH

Factor	Niveles	Valores (horas)
TRH	2	24; 48

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 78. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor TRH para pH

Altura de aserrín	N	Desv.Est.	IC
5	8	0.131067	(0.100230; 0.238103)

10	8	0.056236 (0.027482; 0.159864)
----	---	-------------------------------

Nota: Nivel de confianza individual = 97.5%. Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 79. Pruebas estadísticas de resultado vs TRH en pH

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	8.52	0.004
Levene	22.77	0

Nota: La prueba estadística utilizada fue el ANOVA en el programa Minitab 21 para la comparación de varianzas

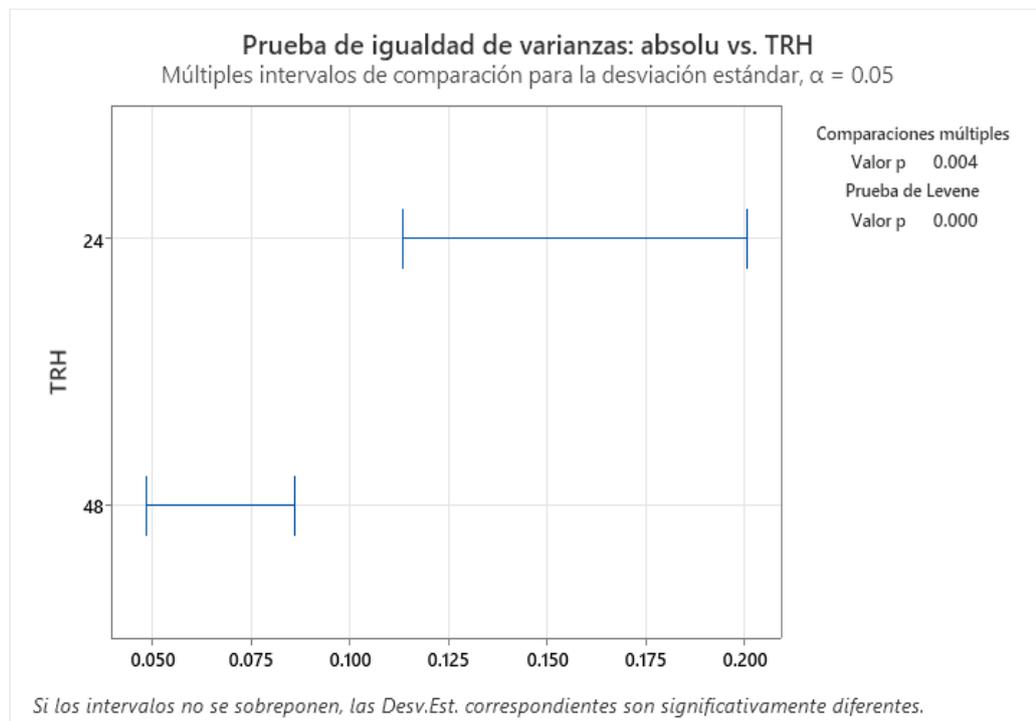


Figura 30. Gráfico de prueba Resultados vs TRH para pH. Obtenido del software Minitab ver. 21.

De la figura 30, se observa que el Valor p es menor a 0.05 en el método Levene, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, es decir, todas las varianzas no son iguales o no existe homogeneidad de varianzas. Es así, que el factor Tiempo de Retención Hidráulica respecto a la variación del pH es representativo.

Tabla 80. Valores del factor Tasa de riego para pH

Factor	Niveles	Valores (m ³ /m ² /día)
Tasa de riego	2	0.5; 1

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 81. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Tasa de riego para pH

Altura de aserrín	N	Desv.Est.	IC
5	8	0.093149	(0.0637284; 0.189147)
10	8	0.115882	(0.0468861; 0.397886)

Nota: Nivel de confianza individual = 97.5%. Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 82. Pruebas estadísticas de resultado vs Tasa de riego en pH

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	0.24	0.621
Levene	0.07	0.8

Nota: La prueba estadística utilizada fue el ANOVA en el programa Minitab 21 para la comparación de varianzas

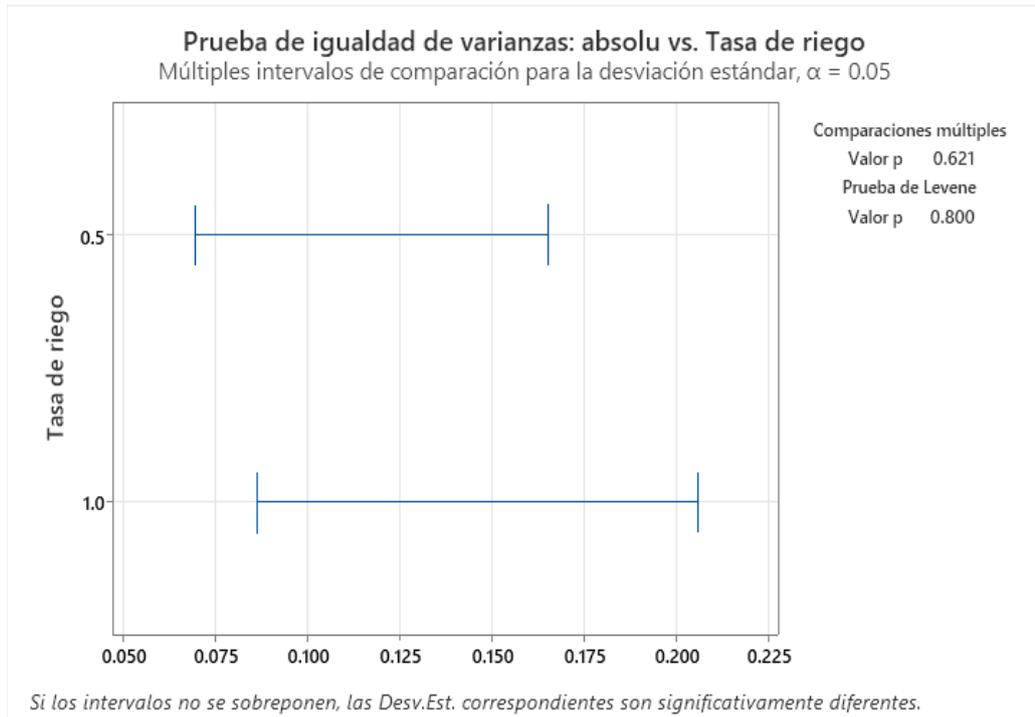


Figura 31. Gráfico de prueba Resultados vs Tasa de riego para pH. Obtenido del software Minitab ver. 21.

De la figura 31, se observa que el Valor p es mayor a 0.05 en el método Levene, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, todas las varianzas son iguales o existe homogeneidad de varianzas. Es así, que el factor Tasa de riego respecto a la variación de pH no es representativo.

e) Diseño factorial completo de Temperatura

En este acápite se desarrolla el análisis de varianza respecto a las interacciones entre el parámetro de Temperatura y los valores de cada factor (indicador) donde se determinará el nivel de significancia del modelo. Asimismo, mediante la prueba estadística ANOVA se verifica si existe homogeneidad de varianza de la Temperatura respecto a cada factor, con la finalidad de comprobar si el valor p resulta representativo en la variación del parámetro

La tabla 83 muestra el valor de los niveles por cada factor propuesto en la investigación:

Tabla 83. Valores de los factores para Temperatura

Factores	Nivel	Valores	Unidad
Altura de aserrín	2	5; 10	cm
TRH	2	24; 48	horas
Tasa de riego	2	0.5; 1	m3/m2/día

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Mediante el proceso de experimentación se obtuvo resultados cuyo nivel de significancia fue:

Tabla 84. Análisis de varianza para Temperatura

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	0.169375	0.024196	0.36	0.901
Lineal	3	0.126875	0.042292	0.63	0.615
Altura de aserrín	1	0.000625	0.000625	0.01	0.925
TRH	1	0.075625	0.075625	1.13	0.319
Tasa de riego	1	0.050625	0.050625	0.76	0.41
Interacciones de 2 términos	3	0.026875	0.008958	0.13	0.937
Altura de aserrín*TRH	1	0.005625	0.005625	0.08	0.779
Altura de aserrín*Tasa de riego	1	0.005625	0.005625	0.08	0.779
TRH*Tasa de riego	1	0.015625	0.015625	0.23	0.642
Interacciones de 3 términos	1	0.015625	0.015625	0.23	0.642
Altura de aserrín*TRH*Tasa de riego	1	0.015625	0.015625	0.23	0.642
Error	8	0.535	0.066875		
Total	15	0.704375			

Nota: En la presente tabla se muestra el análisis de varianza en referencia a los factores Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego y con referencia a los datos obtenidos para el pH; asimismo, se presenta la significancia de manera individual y la interacción entre dos y tres factores al respecto. Obtenido del software Minitab ver. 21.

En la tabla 84 respecto al Valor p obtenido por cada factor analizado, no se observa significancia en los factores, por lo tanto, los valores del modelo y sus interacciones no son significativos por presentar un valor p > 0.05. En ese sentido, el modelo lineal individual de los factores del

diseño y componente permite determinar la aceptación o rechazo de las hipótesis específica 1 y 2 propuestas en la presente investigación.

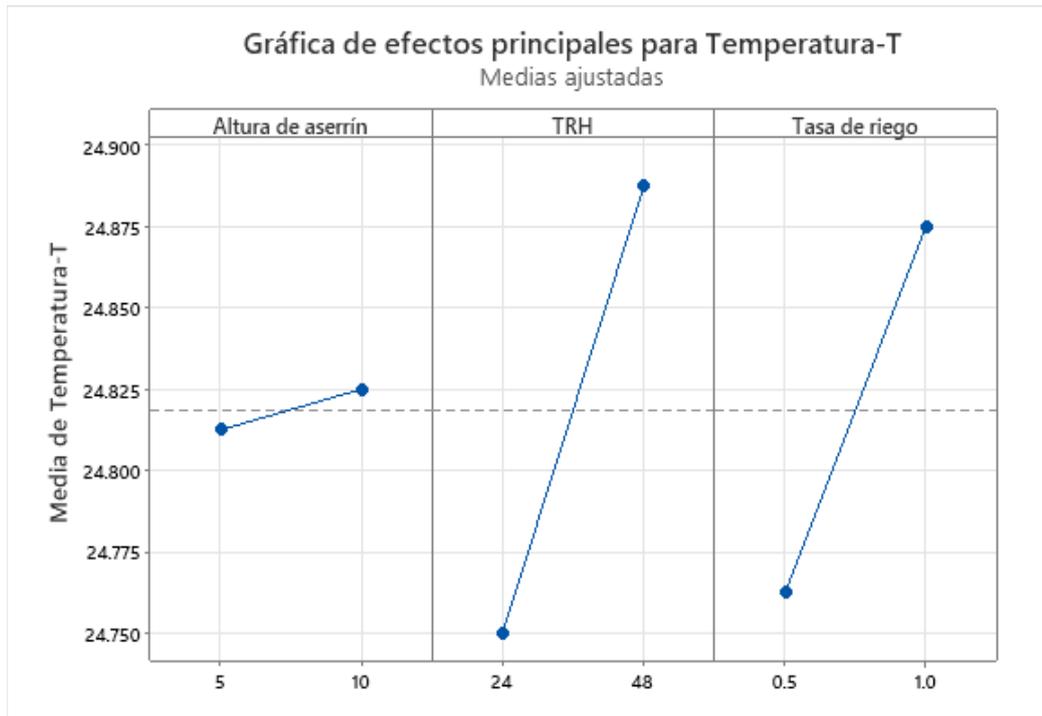


Figura 32. Gráfica de resultados de efectos de la temperatura respecto a medias de Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego. Obtenido del software Minitab ver. 21.

De la figura 32 se visualiza la tendencia respecto a los niveles de Altura de aserrín, TRH y Tasa de riego, determinando que, los resultados presentados resultan no significativos al presentar variaciones mínimas y constantes de temperatura

Del análisis de cada uno de los factores en forma individual con relación a la evaluación de la temperatura en el efluente se registró que:

Tabla 85. Prueba estadística ANOVA para factores de temperatura

Hipótesis nula	Todas las varianzas son iguales
Hipótesis alterna	No todas las varianzas son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 86. Valores del factor Altura de aserrín para temperatura

Factor	Niveles	Valores (cm)
Altura de aserrín	2	5; 10

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 87. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Altura de aserrín para temperatura

Altura de aserrín	N	Desv.Est.	IC
5	8	0.0694365	(0.0182856; 0.366302)
10	8	0.0801784	(0.0318069; 0.280780)

Nota: Nivel de confianza individual = 97.5%. Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 88. Pruebas estadísticas de resultado vs Altura de aserrín en la temperatura

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	0.06	0.803
Levene	0.14	0.717

Nota: La prueba estadística utilizada fue el ANOVA en el programa Minitab 21 para la comparación de varianzas.

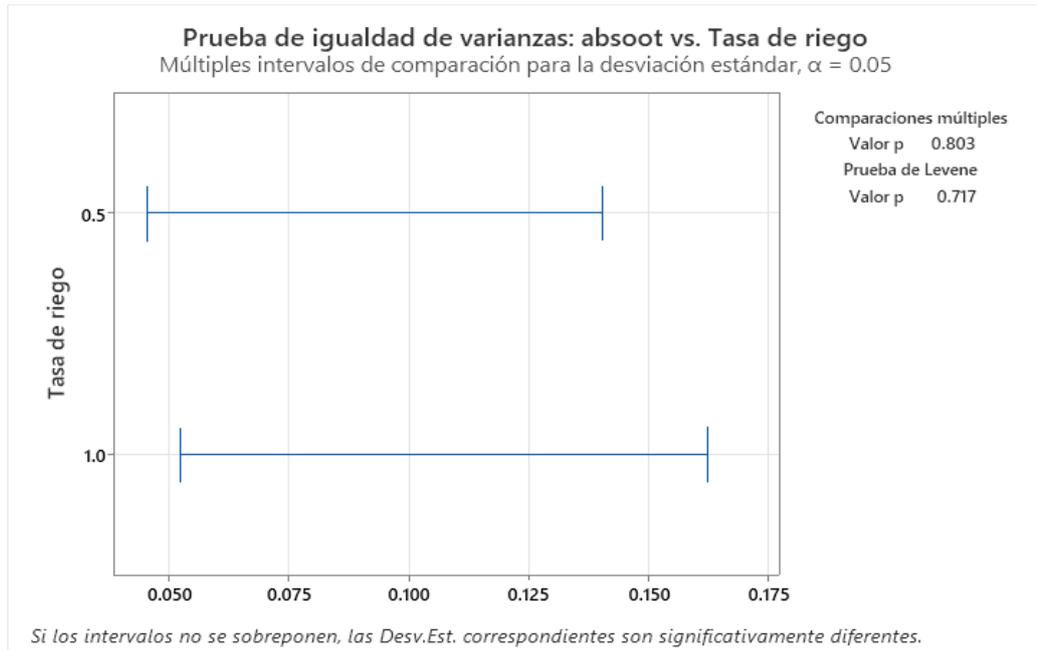


Figura 33. Gráfico de prueba Resultados vs Altura de aserrín para temperatura. Obtenido del software Minitab ver. 21.

De la figura 33, se observa que el Valor p es mayor a 0.05 en el método Levene, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, todas las varianzas son iguales o existe homogeneidad de varianzas. Es así, que el factor Altura de aserrín respecto a la variación de Temperatura no es representativo.

Tabla 89. Valores del factor TRH para temperatura

Factor	Niveles	Valores (horas)
TRH	2	24; 48

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 90. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor TRH para temperatura

TRH	N	Desv.Est.	IC
24	8	0.0801784	(0.0318069; 0.280780)
48	8	0.0694365	(0.0182856; 0.366302)

Nota: Nivel de confianza individual = 97.5%. Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 91. Pruebas estadísticas de resultado vs TRH en la temperatura

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	0.06	0.803
Levene	0.14	0.717

Nota: La prueba estadística utilizada fue el ANOVA en el programa Minitab 21 para la comparación de varianzas

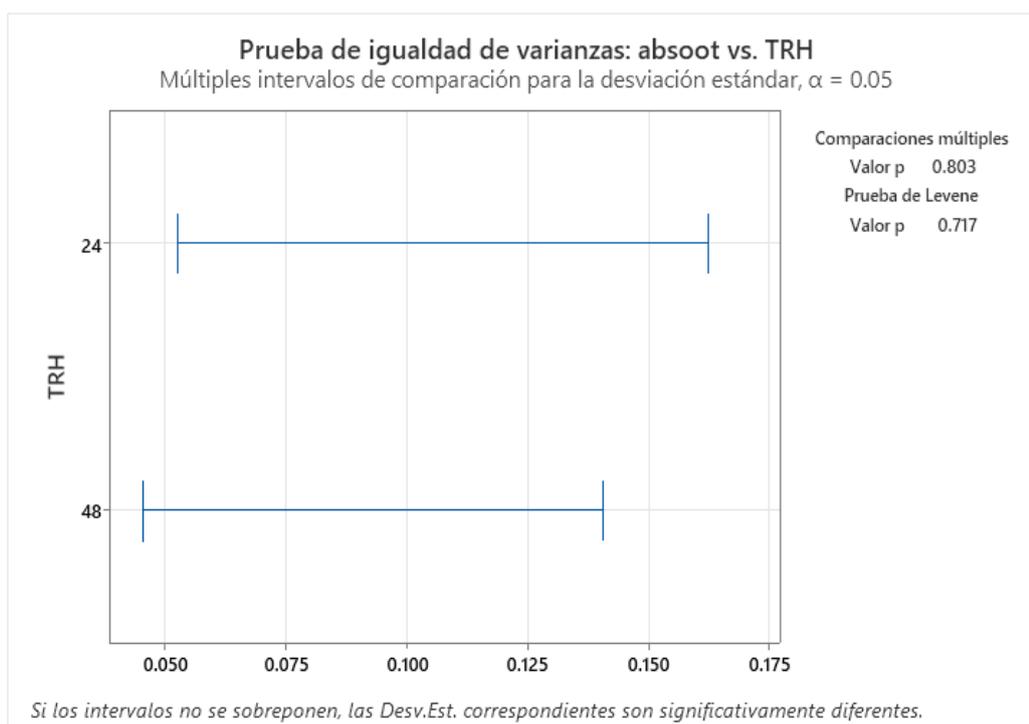


Figura 34. Gráfico de prueba Resultados vs TRH para temperatura. Obtenido del software Minitab ver. 21.

De la figura 34, se observa que el Valor p es mayor a 0.05 en el método Levene, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, todas las varianzas son iguales o existe homogeneidad de varianzas. Es así, que

el factor Tiempo de Retención Hidráulica respecto a la variación de Temperatura no es representativo.

Tabla 92. Valores del factor Tasa de riego para temperatura

Factor	Niveles	Valores (horas)
Tasa de riego	2	0.5; 1

Nota: Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 93. Intervalos de confianza de 95% para desviación estándar del factor Tasa de riego para temperatura

Tasa de riego	N	Desv.Est.	IC
0.5	8	0.0694365	(0.0182856; 0.366302)
1	8	0.0801784	(0.0318069; 0.280780)

Nota: Nivel de confianza individual = 97.5%. Obtenido del software Minitab ver. 21.

Tabla 94. Pruebas estadísticas de resultado vs Tasa de riego en la temperatura

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	0.06	0.803
Levene	0.14	0.717

Nota: La prueba estadística utilizada fue el ANOVA en el programa Minitab 21 para la comparación de varianzas.

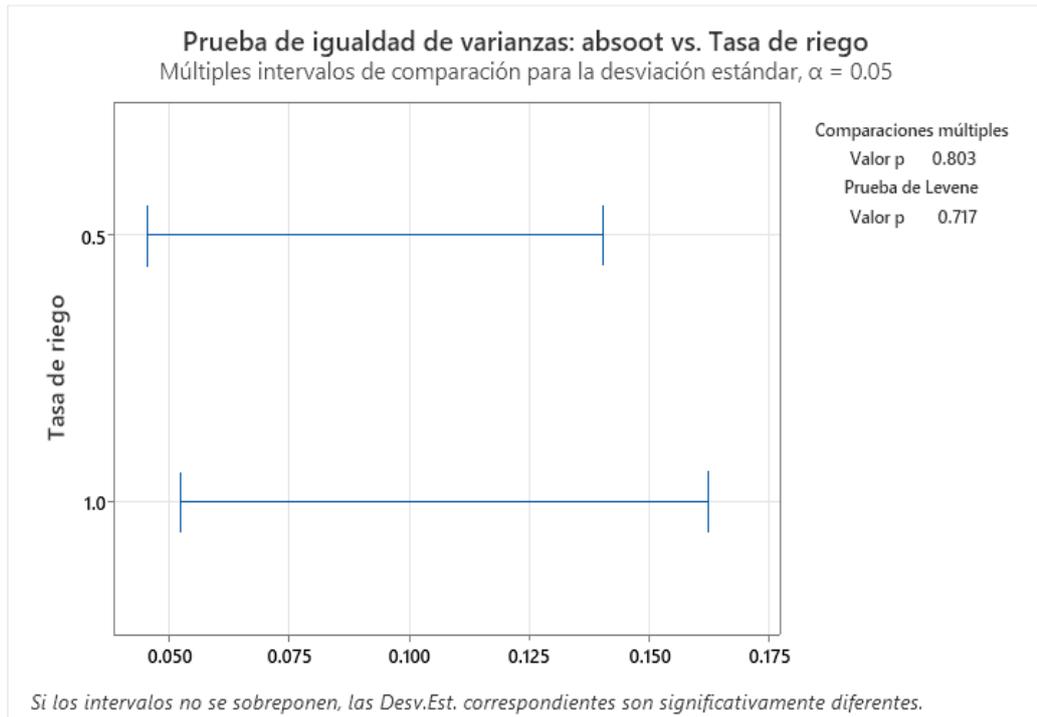


Figura 35. Gráfico de prueba Resultados vs Tasa de riego para temperatura. Obtenido del software Minitab ver. 21.

De la figura 35, se observa que el Valor p es mayor a 0.05 en el método Levene, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, todas las varianzas son iguales o existe homogeneidad de varianzas. Es así, que el factor Tasa de riego respecto a la variación de Temperatura no es representativo.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Hipótesis general:

H₀: El acoplamiento Wetland y Tohá no es medianamente eficiente en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete, 2023.

H₁: El acoplamiento Wetland y Tohá es medianamente eficiente en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete, 2023.

Comprobación:

De acuerdo a los resultados descriptivos e inferenciales obtenidos y detallados en el capítulo V, se determinó que para el parámetro de DBO₅ se alcanzó un porcentaje de remoción promedio de 41.44%, el cual corresponde a un nivel bajo de eficiencia. Para el parámetro de DQO se alcanzó un porcentaje de remoción promedio de 41.43%, el cual corresponde a un nivel bajo de eficiencia. En cuanto al parámetro de Coliformes Termotolerantes se alcanzó un porcentaje de remoción promedio de 84.27%, el cual corresponde a un nivel alto de eficiencia.

En ese sentido, se determinó que el acoplamiento Wetland y Tohá presenta un porcentaje promedio de eficiencia en la remoción de los parámetros antes mencionados de 55.71%, lo cual representa un nivel medio de eficiencia.

Por lo tanto, se rechaza la Hipótesis Nula (H₀) y se acepta la Hipótesis alterna (H₁), demostrando que el acoplamiento Wetland y Tohá es medianamente eficiente en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete, 2023.

En cuanto a los parámetros de pH y Temperatura, no correspondió la medición de remoción como contaminante, ya que presentan una variación no significativa al ingreso y salida del acoplado. Asimismo, se indica que estos parámetros permiten monitorear la contaminación del agua residual como indicador, mas no como contaminantes.

Tabla 95. Evaluación del nivel de eficiencia en la remoción de contaminantes

Orden	Factores			Parámetros					
	Altura de aserrín	TRH	Tasa de riego	DBO ₅	Nivel	DQO	Nivel	Colif. Term.	Nivel
1	5	24	0.5	50.46%	Media	50.49%	Media	81.62%	Alta
2	5	24	1	45.40%	Baja	45.47%	Baja	87.21%	Alta
3	5	48	0.5	55.41%	Media	55.45%	Media	66.37%	Alta
4	5	48	1	65.11%	Media	65.09%	Media	97.18%	Alta
5	10	24	0.5	22.71%	Muy baja	22.52%	Muy baja	82.93%	Alta
6	10	24	1	22.70%	Muy baja	22.76%	Muy baja	70.44%	Alta
7	10	48	0.5	12.37%	Muy baja	12.33%	Muy baja	96.97%	Alta
8	10	48	1	57.34%	Media	57.34%	Media	91.44%	Alta
				41.44%	Baja	41.43%	Baja	84.27%	Alta
				55.71%			Media		

Nota: Colif. Term.: Coliformes Termotolerantes. DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno. DQO: Demanda Química de Oxígeno. TRH: Tiempo de Retención Hidráulica.

Hipótesis Específica 1:

H₀: El diseño del acoplamiento Wetland y Tohá no influye en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.

H₁: El diseño del acoplamiento Wetland y Tohá influye en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.

Comprobación:

Con la data recopilada en campo se comprobó que, mediante los indicadores establecidos tales como el Tiempo de Retención Hidráulica y Tasa de riego para la implementación del diseño del prototipo acoplado Wetland y Tohá, los dos indicadores antes mencionados presentan un Valor $p > 0.05$ respecto a los parámetros DBO₅, DQO, coliformes termotolerantes, pH y Temperatura (tablas 36, 48, 60, 72 y 84 respectivamente), resultando un valor no significativo de forma individual o en interacciones entre los indicadores. Por lo tanto, se acepta la Hipótesis Nula (H₀) y se rechaza la

Hipótesis alterna (H_1), y no muestran un efecto significativo sobre el diseño del acoplamiento Wetland y Tohá.

Hipótesis Específica 2:

H_0 : El componente del acoplamiento Wetland y Tohá no influye en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.

H_1 : El componente del acoplamiento Wetland y Tohá influye en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.

Comprobación:

Según la tabla 36 y 48 el indicador Altura de aserrín presenta un $p < 0.05$ en los parámetros DBO_5 y DQO; lo que conlleva a determinar que se rechaza la Hipótesis Nula (H_0) y se acepta la alternativa (H_1). Estableciendo que el indicador Altura de aserrín influye representativamente como componente del prototipo, y evidenciando que tiene un nivel significativo en la remoción de DBO_5 y DQO.

El indicador Altura de aserrín en los parámetros coliformes termotolerantes, pH y Temperatura (tablas 60, 72 y 84 respectivamente), no presentan un valor significativo ya que sus Valor p son superiores al 0.05 de manera individual y sus interacciones. Por lo tanto, para los parámetros antes mencionados se acepta la Hipótesis Nula (H_0) y se rechaza la alternativa (H_1).

Hipótesis específica 3:

H_0 : La eficiencia del acoplamiento Wetland y Tohá en función de las características física, químicas y biológica no influye significativamente en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.

H_1 : La eficiencia del acoplamiento Wetland y Tohá en función de las características física, químicas y biológica influye significativamente en el

tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.

Comprobación:

De acuerdo con los resultados observados en el capítulo V, se demuestra los siguientes resultados: en cuanto a la reducción de DBO₅ se obtuvo una eficiencia del 69% con un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de 48 horas, una Tasa de riego de 1 m³/m²/día y una altura de aserrín de 5 cm, mostrando un porcentaje de remoción de DBO₅ relevante. En cuanto a la reducción de DQO se obtuvo una eficiencia del 69 % con un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de 48 horas, una Tasa de riego de 1 m³/m²/día y una altura de aserrín de 5 cm, mostrando un porcentaje de remoción considerable. Asimismo, en referencia a la reducción de Coliformes termotolerantes se obtuvo una eficiencia del 99.8% con un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de 48 horas, una Tasa de riego de 1 m³/m²/día y una altura de aserrín de 5 cm, mostrando un nivel de remoción muy alto. Finalmente, se precisa que los parámetros de pH y Temperatura, a la escala propuesta, no presentan variaciones significativas. Por lo tanto, se rechaza la Hipótesis Nula (H₀) y acepta la alterna (H₁); de esta manera se afirma que el acoplamiento Wetland y Tohá para la remoción de los parámetros DBO₅, DQO y coliformes termotolerantes influye significativamente, sin embargo, el pH y temperatura no presentan valores representativos.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Los resultados más significativos obtenidos en reducción de DBO₅, DQO y Coliformes termotolerantes en la presente investigación fueron de 69%, 69% y 99.8% respectivamente, los cuales concuerdan con otros estudios de investigación realizados:

La investigación realizada por Valle (2017) consistió en la implementación de un Sistema Acoplado Humedal artificial y Lombrifiltro (SAHL) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, obteniendo los siguientes resultados: en cuanto a la DQO y DBO₅ se obtuvieron remociones del 36%

y 28%, respectivamente. En cuanto a los resultados obtenidos en la presente investigación para los parámetros de DQO y DBO₅, fueron del 69% para ambos casos; resultando que estas presentan una mayor eficiencia porcentual en la remoción de contaminantes mediante el acoplamiento Wetland y Tohá.

En la investigación de Jacho y Mármol (2020) indican que, en su planta piloto Wetland (humedal artificial) implementado para el tratamiento de aguas residuales, obtuvo como resultados una remoción para DBO₅ y Coliformes termotolerantes de 93.89% y 99.56% respectivamente. En cuanto a los resultados obtenidos en la presente investigación, fueron del 69% para el parámetro de DBO₅ y del 99.8% para Coliformes termotolerantes; resultando que para el DBO₅ presenta una menor eficiencia porcentual mediante el acoplamiento Wetland y Tohá; pudiendo inferir que el método y los factores empleados por Jacho y Mármol influyeron de manera más significativa en el tratamiento de las aguas residuales.

Asimismo, en la investigación realizada por Saboya (2021), mostró una remoción de los contaminantes existentes en las aguas residuales domésticas mediante el lombrifiltro, obteniendo reducciones de 86% y 84% para el DBO₅ y DQO, respectivamente. En cuanto a los resultados obtenidos en la presente investigación para los parámetros de DBO₅ y DQO, fueron del 69% para ambos casos; resultando que estas presentan una menor eficiencia porcentual en la remoción de contaminantes mediante el acoplamiento Wetland y Tohá; pudiendo inferir que el método y los factores empleados por Saboya influyeron de manera más significativa en el tratamiento de las aguas residuales.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

La presente investigación titulada “Eficiencia del acoplamiento Wetland y Tohá en el Tratamiento de las Aguas Residuales Vertidas al Canal Huanca, San Luis, Cañete, 2023” se elaboró en concordancia con los reglamentos y

directivas vigentes establecidas por la Universidad Nacional del Callao, cumpliéndose con los compromisos y principios de responsabilidad ética. Asimismo, durante el desarrollo de la investigación se garantizó que la información utilizada cumple con la validez y confiabilidad de las fuentes bibliográficas empleadas, no incurriendo así en plagio parcial o total de los autores.

VII. CONCLUSIONES

- Respecto a los resultados obtenidos, se alcanzó un porcentaje de remoción promedio de 58.94%, lo cual determina que el acoplamiento Wetland y Tohá es medianamente eficiente en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete, 2023.
- Con respecto a la influencia del diseño en el acoplamiento Wetland y Tohá para el tratamiento de las aguas residuales, se determinó que los indicadores Tiempo de Retención Hidráulica y Tasa de riego no muestran un efecto significativo en el acoplamiento Wetland y Tohá.
- Con respecto al componente sustrato de aserrín en el acoplamiento Wetland y Tohá para el tratamiento de las aguas residuales, se determinó que, para los parámetros de DBO₅ y DQO, influye significativamente en la remoción de contaminantes; sin embargo, en cuanto a los parámetros de pH, Temperatura y Coliformes Termotolerantes, no presenta significancia en el proceso de tratamiento.
- Se determinó que los efluentes del agua residual tratada proveniente del acoplamiento Wetland y Tohá presentaron una reducción significativa de los parámetros de DBO₅, DQO y Coliformes Termotolerantes en relación al ingreso y salidas del sistema implementado, obteniendo una eficiencia de remoción máxima de 69% con respecto al DBO₅; una eficiencia de remoción máxima de 69% con respecto al DQO; en cuanto a la característica biológica, se obtuvo una eficiencia de remoción máxima de 99.80% con respecto a Coliformes Termotolerantes. En cuanto a los parámetros de pH y temperatura, se observó que los efluentes no presentan variación significativa con respecto al afluente; al tratarse de parámetros de monitoreo y no contaminantes del agua residual evaluada.

VIII. RECOMENDACIONES

- Realizar un mayor número de réplicas de muestreo teniendo en consideración el tiempo de funcionamiento del acoplamiento, con el fin de obtener resultados más representativos, evaluar la evolución del tratamiento en un periodo determinado y validar el nivel óptimo de eficiencia.
- Considerar el uso de aserrín de madera blanca para el lombrifiltro, en caso de medir turbidez en el tratamiento de aguas residuales.
- Realizar estudios de acoplamiento con otras especies de plantas, teniendo en consideración el número de lombrices usados por m² ya que las lombrices de especie *Eisenia foetida* forman ecosistemas adecuados que les permitan alimentarse con la degradación de los restos orgánicos de las aguas residuales.
- Mantener el tanque principal de almacenamiento de agua residual doméstica a una altura mínima del 50% del total, ya que un constante flujo de caudal garantiza que la concentración del afluente sea la misma durante la alimentación al primer biofiltro.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALARCÓN, M.T., ZURITA, F., LARA-BORRERO, J. y VIDAL, G., 2018. *Humedales de tratamiento: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina* [en línea]. 1. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. [consulta: 24 junio 2023]. ISBN 9789587812350. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10554/34519>.
- ARIAS, C. y BRIX, H., 2003. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* [en línea], vol. 13, [consulta: 28 junio 2023]. ISSN 0124-8170. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1321>.
- ARIAS, Y.G. y TIQUILLAHUANCA, Y.L., 2018. *Aplicación del Sistema Toha para el tratamiento de riles generados en la Planta Agromar Industrial S.A. Sullana-2012* [en línea]. Título de Ingeniero Agroindustrial y Comercio Exterior. Pimentel: Universidad Señor de Sipán. [consulta: 22 junio 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/5770>.
- BACA, M.F., 2012. *Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de San Juan de Marcona* [en línea]. Maestro en Investigación y Docencia Universitaria. Callao: Universidad Nacional del Callao. [consulta: 28 junio 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/462?show=full>.
- BASILIO, C. y VEGA, D., 2021. *Evaluación de un Eco-Sistema de Biofiltración y Humedal para Aguas Grises del Recinto "La Cabuya", Cantón Balzar* [en línea]. Título de Ingeniero Ambiental. Guayaquil: Universidad Agraria del Ecuador. [consulta: 21 junio 2023]. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/VEGA%20GONZALEZ.pdf>.
- BOJACÁ, J., 2004. El método estadístico. [en línea]. Bogotá: [consulta: 22 junio 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/464625321/El-metodo-estadistico#>.

- BRAVO, M.A., 2019. *Diseño y Evaluación del uso de lombrifiltro como alternativa al tratamiento de residuos líquidos industriales en el proceso de producción de carragenina* [en línea]. julio 2019. Concepción, Chile: Universidad del Bío-Bío. [consulta: 24 junio 2023]. Disponible en: <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/3456>.
- CÁCERES, D., CALISAYA, G. y BEDOYA, E., 2019. Eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *REVISTA CIENCIA Y TECNOLOGÍA - Para el Desarrollo - UJCM* [en línea], vol. 4, no. 0, [consulta: 21 junio 2023]. ISSN 2413 - 7057. DOI 10.37260/RCTD.V4I0.115.G99. Disponible en: <https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/115>.
- CANAL DE ISABEL II, 2013. Ciclo integral del agua: Depuración del agua residual. [en línea]. Madrid: [consulta: 24 junio 2023]. Disponible en: <https://www.fundacioncanal.com/canaleduca/wp-content/uploads/2016/02/Depuracion-del-agua.pdf>.
- CARBAJAL, M., LAYSECA, M., DÁVALOS, B., HUARHUACHI, H., LUCERO, J., LOAYZA, J., CRUZ. ROBERTO, ROTTA, N., YACHE, C., BARDALES, J. y SÁNCHEZ, V., 2018. Estudio tarifario 2019-2024. Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Cañete S.A. [en línea]. Lima: [consulta: 24 junio 2023]. Disponible en: https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/emapa-canete_fina_271218.pdf.
- CASTILLO, J. y CHIMBO, J., 2021. Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales. *Enfoque UTE* [en línea], vol. 12, no. 2, [consulta: 21 junio 2023]. ISSN 1390-9363. DOI 10.29019/enfoqueute.746. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=572266265006>.
- CASTRO, D.G., CRUZ, Y.E. y FLOREZ, M.E., 2017. Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante humedales subsuperficiales con macrófita *Alocasia macrorrhizos* (orejas de elefante) en la urbanización los tulipanes – Chosica, Lima. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo* [en línea], vol. 3, no. 2, [consulta: 21 junio 2023]. ISSN 2313-7991. DOI

- 10.17162/RICTD.V3I2.659. Disponible en:
https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/659.
- CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT), 2009. *Agua, Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor* [en línea]. 2009. San Salvador: Diario Oficial Tomo N° 382. [consulta: 28 junio 2023]. NSO 13.49.01:09. Disponible en:
<https://cidoc.ambiente.gob.sv/documentos/norma-salvadorena-obligatoria-nso-13-49-0109-agua-aguas-residuales-descargadas-a-un-cuerpo-receptor/>.
- CORONEL, N.P., 2015. *Diseño e implementación a escala de un biofiltro Tohá en la ESPOCH para la depuración de aguas residuales domésticas procedentes de la comunidad Langos La Nube* [en línea]. Título de Ingeniera en Biotecnología Ambiental. Riobamba: Escuela Superior Técnica de Chimborazo. [consulta: 24 junio 2023]. Disponible en:
<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4802>.
- CRITES, R. y TCHOBANOGLIOUS, G., 2000. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones* [en línea]. Bogotá: McGraw-Hill Interamericana S.A. [consulta: 28 junio 2023]. ISBN 9584100429. Disponible en:
https://biblioteca.imarpe.gob.pe/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=23744.
- DELGADILLO, O., CAMACHO, A., PÉREZ, L. y ANDRADE, M., 2010. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. [en línea]. Cochabamba: [consulta: 25 junio 2023]. Disponible en:
<https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>.
- DÍAZ, E., ALVARADO, A. y CAMACHO, K., 2012. El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera* [en línea], vol. 14, [consulta: 28 junio 2023]. ISSN 1405-8626. Disponible en:
<https://quivera.uaemex.mx/article/view/10453>.

- GALLEGOS, D.G., 2019. *Evaluación del Lombrifiltro como Tratamiento Primario del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Proyecto Manchay Verde* [en línea]. 2019. Lima: Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. [consulta: 23 junio 2023]. Disponible en: <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/177>.
- GUADARRAMA-TEJAS, R., KIDO-MIRANDA, J., ROLDAN-ANTUNEZ, G. y SALAS-SALGADO, M., 2016. Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales* [en línea], vol. 2, no. 5, [consulta: 28 junio 2023]. ISSN 2444-4936. Disponible en: https://www.ecorfan.org/spain/rj_ambientales_v.php.
- GUZMÁN, M.G., 2004. *Estudio de factibilidad de la aplicación del Sistema Toha en la planta de tratamiento de aguas servidas de Valdivia*. Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- HARO, M.E. y APONTE, N.O., 2010. *Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular* [en línea]. Título de Ingeniero Industrial. México: Universidad Nacional Autónoma de México. [consulta: 23 junio 2023]. Disponible en: http://132.248.9.195/ptb2010/junio/0659184/0659184_A1.pdf.
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, M., 2014. *Metodología de la investigación* [en línea]. Sexta. México: McGraw-Hill / Interamericana Editores S.A. de C.V. [consulta: 23 junio 2023]. ISBN 978-1-4562-2396-0. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA, 2020. Anuario de Estadísticas Ambientales 2020. [en línea]. Lima: [consulta: 23 junio 2023]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1760/libro.pdf.
- JACHO, M. y MÁRMOL, X., 2020. *Evaluación de un Sistema Wetland con Caña Guadua para el Tratamiento de Aguas Servidas* [en línea]. Título de Ingeniero Civil. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

- [consulta: 20 junio 2023]. Disponible en:
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/14448>.
- JUSTIN, L.D., OLUKANNI, D.O. y BABAREMU, K.O., 2022. Evaluación del rendimiento de las macrófitas acuáticas locales para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en las comunidades nigerianas: Una revisión. *Heliyon* [en línea], vol. 8, no. 8, [consulta: 28 junio 2023]. ISSN 2405-8440. DOI 10.1016/j.heliyon.2022.e10093. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10093>.
- LIBERIO, F.J., 2019. *Incidencia en lombriz roja californiana (Eisenia Foetida) y lenteja de agua (Lemna Minor) en el tratamiento de aguas residuales urbanas en el catón Quevedo, año 2018*. [en línea]. Magister en Gestión Ambiental. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. [consulta: 24 junio 2023]. Disponible en:
<http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6017>.
- LORO, A.C., 2018. *Evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de aguas residuales domésticas utilizando un biofiltro con Eisenia foetida y un biofiltro convencional* [en línea]. Título en Ingeniería Ambiental. Lima: Universidad Científica del Sur. [consulta: 21 junio 2023]. Disponible en:
<https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/567>.
- LOZANO-RIVAS, W.A., 2012. *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. [en línea]. Bogotá: Disponible en:
<https://www.researchgate.net/publication/298354134>.
- MANRIQUE, E.P. y PIÑEROS, J., 2016. *Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (Eisenia Foetida) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio* [en línea]. 18 agosto 2016. Bogotá: Fundación Universidad de América. [consulta: 24 junio 2023]. Disponible en:
<https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/578>.
- MENA, P.A., 2014. *Evaluación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH) en el colegio*

- comfamiliar siglo XXI, sede campestre corregimiento de San Fernando, Municipio de Pasto, Colombia* [en línea]. Magister en Ciencias Ambientales. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. [consulta: 24 junio 2023]. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n5825_MenaCabrera.
- METCALF & EDDY INC., 1995. *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización* [en línea]. Tercera. Aravaca (Madrid): McGraw-Hill / Interamericana de España S.A. [consulta: 24 junio 2023]. vol. 1. ISBN 84-481-1727-1. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/510432856/Ingenieria-de-Aguas-Residuales-Volumen-1-3ra-Edicion-METCALF-EDDY-FREELIBROS-me#>.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, 2009. *Ley de Recursos Hídricos* [en línea]. 2009. Lima: Diario Oficial El Peruano. [consulta: 24 junio 2023]. Ley N° 29338. Disponible en: <https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29338.pdf>.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, 2016. *Resolución Jefatural que aprueba el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales* [en línea]. 2016. Lima: Diario Oficial El Peruano. [consulta: 22 junio 2023]. R.J. N° 010-2016-ANA. Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-el-protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-cali-resolucion-jefatural-no-010-2016-ana-1332776-1/>.
- MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA, 2007. *Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas*. [en línea]. 2007. Madrid: Boletín Oficial del Estado. [consulta: 24 junio 2023]. Real Decreto 1620/2007. Disponible en: <https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/saludAmbLaboral/calidadAguas/aguaRegen/legislacion.htm>.
- MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, 2006. *Aprueban Normas Técnicas del Reglamento Nacional de Edificaciones* [en línea]. 2006. Lima: Diario Oficial El Peruano. [consulta: 28 junio 2023]. D.S.

- N° 011-2006-VIVIENDA. Disponible en:
<https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>.
- MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, 2013. *Aprueban el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales - PTAR* [en línea]. 2013. Lima: Diario Oficial El Peruano. [consulta: 24 junio 2023]. R.M. N° 273-2023-VIVIENDA. Disponible en:
<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/13762-273-2013-vivienda>.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2016. Glosario de Términos - Sitios Contaminados. [en línea]. Lima: [consulta: 24 junio 2023]. Disponible en:
<https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2650-glosario-de-terminos-sitios-contaminados>.
- NAVARRO-FRÓMETA, A., BEISSOS, F., MARC-BEC, J. y JAUMEJOAN, T., 2020. Desempeño de humedales construidos de flujo vertical en el tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista Cubana de Química* [en línea], vol. 32, [consulta: 21 junio 2023]. ISSN 2224-5421. Disponible en:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212020000300365&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- ÑAUPAS, H., VALDIVIA, M., PALACIOS, J. y ROMERO, H., 2018. *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* [en línea]. Bogotá: s.n. [consulta: 24 junio 2023]. ISBN 978-958-762-876-0. Disponible en:
http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/MetodologiaInvestigacionNaupas.pdf.
- OSORIO, N.W., 2012. pH del suelos y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal* [en línea], vol. 1, no. 4, [consulta: 28 junio 2023]. Disponible en:

<https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>.

PAICO, D.A., 2017. *Sistema Tohá, para el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Cesar Vallejo* [en línea]. Título en Ingeniería Ambiental. Chiclayo: Universidad César Vallejo. [consulta: 24 junio 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/10890>.

PARRA, I. y CHIANG, G., 2013. Modelo integrado de un sistema de biodepuración en origen de aguas residuales domiciliarias. Una propuesta para comunidades periurbanas del centro sur de Chile. *Revista Gestión y Ambiente* [en línea], vol. 16, no. 3, [consulta: 24 junio 2023]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/37736/42945>.

REKALDE, I., VIZCARRA, M.T. y MACAZAGA, A.M., 2014. La observación como estrategia de investigación para construir contextos de aprendizaje y fomentar procesos participativos. *Educacion XX1* [en línea], vol. 17, no. 1, [consulta: 28 junio 2023]. ISSN 1139613X. DOI 10.5944/educxx1.17.1.1074. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70629509009>.

RIVEROS, A., 2021. *Eficiencia del sistema TOHÁ y Canal de Fitodepuración en la reducción de la DBO5, DQO y SST de aguas residuales provenientes del Camal Municipal de la Provincia de Calca – Cusco 2021* [en línea]. Título Profesional de Ingeniería Ambiental. Lima: Universidad César Vallejo. [consulta: 26 julio 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75382>.

RODRÍGUEZ, W., 2011. *Guía de Investigación Científica* [en línea]. 1. Lima: Fondo Editorial Universidad de Ciencias y Humanidades. [consulta: 24 junio 2023]. ISBN 978-612-4109-04-1. Disponible en: <https://repositorio.uch.edu.pe/handle/20.500.12872/23>.

SABOYA, X.V., 2021. Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas. *Revista Muro de la Investigación* [en línea], vol. 6, no. 1, [consulta: 21 junio 2023]. ISSN 2523-2886. DOI 10.17162/RMI.V6I1.1439. Disponible en:

<https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/r-Muro-investigaion/article/view/1439>.

SALAZAR, P.I., 2005. *Sistema Tohá; Una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales* [en línea]. Título de Constructor Civil. Chile: Universidad Austral de Chile. [consulta: 21 junio 2023]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcis161s/doc/bmfcis161s.pdf>.

SPELLMAN, F.R., 2008. *Manual de operación de plantas de tratamiento de agua y aguas residuales* [en línea]. Segunda. Boca Raton: Taylor & Francis Group. [consulta: 28 junio 2023]. ISBN 9780429141652. Disponible en: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781420075311/hand-book-water-wastewater-treatment-plant-operations-frank-spellman>.

SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO, 2022. Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras. [en línea]. Lima: [consulta: 24 junio 2023]. Disponible en: https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR_VdigitalConcomentario.pdf.

UNESCO, 2017. Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado. *Ecos de Economía: A Latin American Journal of Applied Economics* [en línea]. Paris: [consulta: 24 junio 2023]. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>.

UNICEF y OMS, 2021. Estado Mundial del Saneamiento: Un llamamiento urgente a transformar el saneamiento para mejorar la salud, los entornos, las economías y las sociedades. [en línea]. Nueva York: [consulta: 24 junio 2023]. Disponible en: <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240014473>.

VALLE, J., 2017. *Tratamiento de aguas grises mediante el sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro en la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017* [en línea]. Título de Ingeniería Ambiental. Lima:

Universidad César Vallejo. [consulta: 21 junio 2023]. Disponible en:
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/46704>.

VARGAS, A.K.N., CALDERÓN, J., VELÁSQUEZ, D., CASTRO, M., NÚÑEZ, D.A., VARGAS, A.K.N., CALDERÓN, J., VELÁSQUEZ, D., CASTRO, M. y NÚÑEZ, D.A., 2020. Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* [en línea], vol. 28, no. 2, [consulta: 21 junio 2023]. ISSN 0718-3305. DOI 10.4067/S0718-33052020000200315. Disponible en:
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052020000200315&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

VIII. ANEXOS

Anexo 1

Matriz de Consistencia

Título: “Eficiencia del acoplamiento Wetland y Tohá en el Tratamiento de las Aguas Residuales Vertidas al Canal Huanca, San Luis, Cañete, 2023”

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores	Unidades	Metodología
¿En qué medida el acoplado Wetland y Tohá es eficiente en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete, 2023?	Determinar la eficiencia del acoplado Wetland y Tohá en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete, 2023.	El acoplamiento Wetland y Tohá es medianamente eficiente en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete, 2023.	Acoplamiento del Wetlands y Tohá	Diseño del sistema	Tasa de riego (0.5 – 1)	m3/m2/día	Tipo de investigación Aplicada
				Componente	Tiempo de Retención Hidráulica (24 - 48)	Horas	Nivel de investigación Explicativo
					Altura de Aserrín (5 - 10)	cm	Diseño de investigación Cuasiexperimental
¿En qué medida influye el diseño del acoplado Wetland y Tohá en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023?	Establecer la influencia del diseño acoplado Wetland y Tohá en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.	El diseño del acoplamiento Wetland y Tohá influye en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.	Aguas residuales	Característica física	Temperatura	°C	Población Muestra de aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete.
				Características químicas	pH	Unidad	Muestra 2,5 Lts de afluente y 2.5 Lts en cada salida del agua tratada
					Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	Técnicas e instrumentos de investigación Técnica: Análisis documental Observacional Experimental
¿En qué medida influye el componente del acoplado Wetland y Tohá en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal	Establecer la influencia del componente del acoplado Wetland y Tohá en el tratamiento de las aguas	El componente del acoplamiento Wetland y Tohá influye en el tratamiento de las aguas residuales vertidas					

Huanca, San Luis, Cañete 2023?	residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.	al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023							
¿Cuál es la eficiencia del acoplamiento Wetland y Tohá en función de las características física, químicas y biológicas para el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023?	Analizar la eficiencia del acoplamiento Wetland y Tohá en función de las características física, químicas y biológicas para el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.	La eficiencia del acoplamiento Wetland y Tohá en función de las características física, químicas y biológica influye significativamente en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete 2023.							
			Característica biológica	Demanda Química de Oxígeno	Coliformes Termotolerantes	mg/L	NMP/100		
								Instrumentos: - Guías de registro y diseño de cada sistema. - Ficha de registro de cadena de custodia - Informe de ensayo. - Ficha de reporte de resultados Los instrumentos cumplen lo establecido en la Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA. Análisis y procesamiento de datos: * Diseño factorial. * Uso de software estadístico Minitab Ver. 21. * Análisis de Varianza – ANOVA.	

Anexo 2
Ficha de características de diseño del acoplamiento

Nombre del Proyecto:		Acoplamiento Wetland y Tohá					
Características de diseño del acoplamiento							
Fecha		13/05/2023		Hora		01:00:00 p. m.	
N°	Detalle	Wetland		Tohá			Observaciones
		Tiempo de Retención Hidráulica	Vegetación	Tasa de Riego	Altura de Aserrín	Lombrices	
1	Acoplamiento Wetland y Tohá	48 horas	Alocasia macrorrhizos	0.5 m3/m2/día	5 cm	Eisenia foetida	Caudal de ingreso al acoplamiento: 25 litros/día
2	Acoplamiento Wetland y Tohá	48 horas	Alocasia macrorrhizos	0.5 m3/m2/día	10 cm	Eisenia foetida	Caudal de ingreso al acoplamiento: 25 litros/día
3	Acoplamiento Wetland y Tohá	48 horas	Alocasia macrorrhizos	1.0 m3/m2/día	5 cm	Eisenia foetida	Caudal de ingreso al acoplamiento: 25 litros/día
4	Acoplamiento Wetland y Tohá	48 horas	Alocasia macrorrhizos	1.0 m3/m2/día	10 cm	Eisenia foetida	Caudal de ingreso al acoplamiento: 25 litros/día
5	Acoplamiento Wetland y Tohá	24 horas	Alocasia macrorrhizos	0.5 m3/m2/día	5 cm	Eisenia foetida	Caudal de ingreso al acoplamiento: 25 litros/día
6	Acoplamiento Wetland y Tohá	24 horas	Alocasia macrorrhizos	0.5 m3/m2/día	10 cm	Eisenia foetida	Caudal de ingreso al acoplamiento: 25 litros/día
7	Acoplamiento Wetland y Tohá	24 horas	Alocasia macrorrhizos	1.0 m3/m2/día	5 cm	Eisenia foetida	Caudal de ingreso al acoplamiento: 25 litros/día
8	Acoplamiento Wetland y Tohá	24 horas	Alocasia macrorrhizos	1.0 m3/m2/día	10 cm	Eisenia foetida	Caudal de ingreso al acoplamiento: 25 litros/día

Anexo 3
Ficha de registro de datos de campo

Nombre del Proyecto:		Acoplamiento Wetland y Tohá	
AFLUENTE			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
18/05/2023	11:21:00 a. m.	7.82	24.70
Características del agua residual		Agua residual cruda	
EFLUENTE 1			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
18/05/2023	12:14:00 p. m.	7.76	25.00
Características del agua residual		Agua residual tratada	
EFLUENTE 2			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
18/05/2023	12:35:00 p. m.	7.50	25.00
Características del agua residual		Agua residual tratada	
EFLUENTE 3			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
18/05/2023	12:45:00 p. m.	7.24	24.80
Características del agua residual		Agua residual tratada	
EFLUENTE 4			

Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
18/05/2023	12:56:00 p. m.	7.32	25.00
Características del agua residual		Agua residual tratada	
EFLUENTE 5			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
18/05/2023	01:08:00 p. m.	7.48	24.80
Características del agua residual		Agua residual tratada	
EFLUENTE 6			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
18/05/2023	01:17:00 p. m.	7.17	24.90
Características del agua residual		Agua residual tratada	
EFLUENTE 7			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
18/05/2023	01:24:00 p. m.	7.54	24.50
Características del agua residual		Agua residual tratada	
EFLUENTE 8			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
18/05/2023	01:34:00 p. m.	7.52	24.60
Características del agua residual		Agua residual tratada	

Nombre del Proyecto:		Acoplamiento Wetland y Tohá	
AFLUENTE			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
24/05/2023	10:20:00 a. m.	7.89	23.80
Características del agua residual		Agua residual cruda	
EFLUENTE 1			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
24/05/2023	10:30:00 a. m.	7.64	24.60
Características del agua residual		Agua residual tratada	
EFLUENTE 2			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
24/05/2023	10:45:00 a. m.	7.97	24.60
Características del agua residual		Agua residual tratada	
EFLUENTE 3			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
24/05/2023	11:00:00 a. m.	7.47	25.20
Características del agua residual		Agua residual tratada	
EFLUENTE 4			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
24/05/2023	11:15:00 a. m.	7.53	24.90
Características del agua residual		Agua residual tratada	
EFLUENTE 5			
Denominación del punto de monitoreo:			

Fecha	Hora	pH	Temperatura
24/05/2023	11:30:00 a. m.	7.64	24.70
Características del agua residual		Agua residual tratada	
EFLUENTE 6			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
24/05/2023	11:48:00 a. m.	7.71	24.50
Características del agua residual		Agua residual tratada	
EFLUENTE 7			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
24/05/2023	11:59:00 a. m.	8.19	24.90
Características del agua residual		Agua residual tratada	
EFLUENTE 8			
Denominación del punto de monitoreo:			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
24/05/2023	12:13:00 p. m.	7.45	25.10
Características del agua residual		Agua residual tratada	

Anexo 4 Ficha de registro de cadena de custodia

ALAB		CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA										FORMA 01 REV. 01 2011			
Detalle del cliente Razón Social: <u>Luis Angel Quispe Macavila</u> Persona de contacto: <u>Luis Quispe</u> Correo / Teléfono: <u>luisqm1405@gmail.com</u> Nombre del proyecto: <u>ACCUMIENTO WELAND Y TORO</u>										Orden de servicio: <u>05-2023-2041-Ver 0</u> Pág. <u>1</u> de <u>2</u> Plan de Monitoreo: Informe de ensayo: Procedencia o lugar de muestreo: <u>SAN LUIS - CANTE</u>					
Preservado: <u>≤ 6°C</u> <u>H₂O₂</u> <u>< 8°C</u>															
N°	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		Ubicación	N° Frascos		PARAMETROS DE ENSAYO			PARAMETROS DE SÍNTESIS			OBSERVACIONES	
			Muestreo	Clasificación		Coordenadas (UTM)	V	P	DBO ₅	DQO	Colif. Fom/1g	T° Agua (°C)	pH (valor de pH)		CE (conductividad µmhos/cm)
1	AF-AR-01		F: 18-05-23 H: 11:24	A.R. Doméstica	N 8556360 E 3449778	-	3	✓	✓	✓	-	-	-	-	Agua residual cubeta se ingirió al sopleado
2	EF-H1-L1		F: 18-05-23 H: 12:14	A.R. Doméstica	N 8556360 E 3449778	-	3	✓	✓	✓	-	-	-	-	Agua tratada salida del acoplado
3	EF-H1-L2		F: 18-05-23 H: 12:35	A.R. Doméstica	N 8556360 E 3449778	-	3	✓	✓	✓	-	-	-	-	Agua tratada salida del acoplado
4	EF-H1-L3		F: 18-05-23 H: 12:45	A.R. Doméstica	N 8556360 E 3449778	-	3	✓	✓	✓	-	-	-	-	Agua tratada salida del acoplado
5	EF-H1-L4		F: 18-05-23 H: 12:56	A.R. Doméstica	N 8556360 E 3449778	-	3	✓	✓	✓	-	-	-	-	Agua tratada salida del acoplado
6	EF-H2-L1		F: 18-05-23 H: 13:08	A.R. Doméstica	N 8556360 E 3449778	-	3	✓	✓	✓	-	-	-	-	Agua tratada salida del acoplado
7	EF-H2-L2		F: 18-05-23 H: 13:12	A.R. Doméstica	N 8556360 E 3449778	-	3	✓	✓	✓	-	-	-	-	Agua tratada salida del acoplado
8	EF-H2-L3		F: 18-05-23 H: 13:24	A.R. Doméstica	N 8556360 E 3449778	-	3	✓	✓	✓	-	-	-	-	Agua tratada salida del acoplado

Descripción de equipos utilizados:		Leyenda			Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042			
Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo	F Fecha H Hora	N Nombre E Este	V Vistro P Placido	T° Agua Temperatura de Muestra T° Amb Temperatura ambiente	CE Conductividad Eléctrica OD Oxígeno Disuelto	01 Agua de Consumo 02 Agua de Consumo 03 Agua de Consumo 04 Agua de Consumo 05 Agua de Consumo 06 Agua de Consumo
1								07 Agua de Consumo 08 Agua de Consumo 09 Agua de Consumo 10 Agua de Consumo 11 Agua de Consumo 12 Agua de Consumo
2								
3								
4								

Muestreado por: <u>Luis Quispe</u>		Cliente: <u>Luis Quispe</u>		Recepción de muestra:	
Nombre:	<u>Luis Quispe</u>	Nombre:	<u>Luis Quispe</u>		
Fecha:	<u>18/05/23</u>	Fecha:	<u>18/05/23</u>		
Firma:	<u>[Firma]</u>	Firma:	<u>[Firma]</u>		

Muestreado por: <input type="checkbox"/> ALAB <input checked="" type="checkbox"/> Cliente	
---	--

Privacidad Declara No EOL 1.3. Asociación Civil Acción Cívica. Sede: Calle Lima
 Web: www.alab.org.pe Email: gpm.com@alab.org.pe RUC: 206055181 - T: 015431388 017-0838 Cel: 983088-826468

Anexo 5
Ficha de reporte de resultados de monitoreo

Nombre del Proyecto:		Acoplamiento Wetland y Tohá																		
Parámetro		Tipo de muestra	Resultado del Análisis									LMP	Eficiencia							
Descripción	Unidad		Afluyente	Efluente 1	Efluente 2	Efluente 3	Efluente 4	Efluente 5	Efluente 6	Efluente 7	Efluente 8		Efluente 1	Efluente 2	Efluente 3	Efluente 4	Efluente 5	Efluente 6	Efluente 7	Efluente 8
pH	-	Simple	7.82	7.76	7.50	7.24	7.32	7.48	7.17	7.54	7.52	6.5 - 8.5	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	Simple	24.70	25.00	25.00	24.80	25.00	24.80	24.90	24.50	24.60	<35	-	-	-	-	-	-	-	-
DBO ₅	mg/L	Simple	389.20	134.50	290.20	119.20	170.10	212.00	259.00	213.70	384.10	100	65.44%	25.44%	69.37%	56.29%	45.53%	33.45%	45.09%	1.31%
DQO	mg/L	Simple	837.70	288.70	624.10	257.60	366.30	456.40	558.90	459.50	825.90	200	65.54%	25.50%	69.25%	56.27%	45.52%	33.28%	45.15%	1.41%
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	Simple	7000000	920000	46000	16000	540000	350000	2200000	350000	350000	10,000	86.86%	99.34%	99.77%	92.29%	95.00%	68.57%	95.00%	95.00%
Caudal del afluyente (L/día)		25									Método de medición	Volumétrico								

Nombre del Proyecto:		Acoplamiento Wetland y Tohá																		
Parámetro		Tipo de muestra	Resultado del Análisis									LMP	Eficiencia							
Descripción	Unidad		Afluente	Efluente 1	Efluente 2	Efluente 3	Efluente 4	Efluente 5	Efluente 6	Efluente 7	Efluente 8		Efluente 1	Efluente 2	Efluente 3	Efluente 4	Efluente 5	Efluente 6	Efluente 7	Efluente 8
pH	-	Simple	7.89	7.64	7.97	7.47	7.53	7.64	7.71	8.19	7.45	6.5 - 8.5	-	-	-	-	-	-	-	
Temperatura	°C	Simple	23.80	24.60	24.60	25.20	24.90	24.70	24.50	24.90	25.10	<35	-	-	-	-	-	-	-	
DBO ₅	mg/L	Simple	284.00	155.10	286.00	111.20	118.20	126.70	250.00	154.20	158.80	100	45.39%	-0.70%	60.85%	58.38%	55.39%	11.97%	45.70%	44.08%
DQO	mg/L	Simple	738.80	403.60	745.00	288.70	307.30	329.00	652.00	400.50	412.90	200	45.37%	-0.84%	60.92%	58.41%	55.47%	11.75%	45.79%	44.11%
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	Simple	17000000	9200000	920000	920000	1600000	5400000	460000	3500000	9200000	10,000	45.88%	94.59%	94.59%	90.59%	68.24%	97.29%	79.41%	45.88%
Caudal del afluente (L/día)		25									Método de medición	Volumétrico								

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-9047

N° Id.: 000077235

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 24th Ed. 2022.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. 2022.	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method

*SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

📍 SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

📍 SEDE ZARUMILLA

Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

📍 SEDE AREQUIPA

COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

📍 SEDE PIURA

Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-9047

N° Id.: 0000077235

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-25136	M-23-25137	M-23-25138	M-23-25139			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AF-AR-01	RF-H1-L1	EF-H1-L2	EF-H1-L3			
COORDENADAS:	E:0344978	E:0344978	E:0344978	E:0344978			
UTM WGS 84:	N:8556360	N:8556360	N:8556360	N:8556360			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Doméstica	Agua Residual Doméstica	Agua Residual Doméstica	Agua Residual Doméstica			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	18-05-2023 11:21	18-05-2023 12:14	18-05-2023 12:35	18-05-2023 12:45			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA.	1,8	7 000 000,0	920 000,0	46 000,0	16 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	389,2	134,6	290,2	119,2
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	2,0	5,0	837,7	288,7	624,1	257,6

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-9047

N° Id.: 0000077235

ITEM	5	6	7	8			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-25140	M-23-25141	M-23-25142	M-23-25143			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	EF-H1-L4	EF-H2-L1	EF-H2-L2	EF-H2-L3			
COORDENADAS:	E:0344978	E:0344978	E:0344978	E:0344978			
UTM WGS 84:	N:8556360	N:8556360	N:8556360	N:8556360			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Doméstica	Agua Residual Doméstica	Agua Residual Doméstica	Agua Residual Doméstica			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	18-05-2023 12:56	18-05-2023 13:08	18-05-2023 13:17	18-05-2023 13:24			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	540 000,0	350 000,0	2 200 000,0	350 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	170,1	212,0	259,0	213,7
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	2,0	5,0	366,3	456,4	558,9	459,5

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<="= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<="= Menor que el L.D.M.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-9047

N° Id.: 000077235

ITEM	9			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-25144			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	EF-H2-L4			
COORDENADAS:	E:0344978			
UTM WGS 84:	N:8556360			
PRODUCTO:	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Doméstica			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :	18-05-2023 13:34			

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA.	1,8	350 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	384,1
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	2,0	5,0	825,9

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-9466

N° Id.: 0000077654

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) [□]	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 24th Ed. 2022.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Demanda Bioquímica de Oxígeno [□]	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. 2022.	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno [□]	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method

SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

□ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA

Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA

COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA

Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-9466

N° Id.: 0000077654

ITEM				9
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-23-28267
CÓDIGO DEL CLIENTE:				EF-H2-L4
COORDENADAS:				E:0344978
UTM WGS 84:				N:8556360
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Agua Residual Doméstica
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				24-05-2023 12:13
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA.	1,8	9 200 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	158,8
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	2,0	5,0	412,9

Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.
 L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0756
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA

Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0636
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA

COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
 Arequipa
 Telf.: (+054) 616 843
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA

Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
 Castilla - Piura
 Telf.: (+073) 542 335
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

**INFORME DE JUICIO DE EXPERTO DEL
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN**

I. DATOS GENERALES

Apellidos y Nombres experto: Vigo Roldán Abner Josué

Institución donde labora : FIARN-UNAC

Instrumentos de evaluación : Ficha de características de diseño, Ficha de registro de datos de campo, Ficha de registro de cadena de custodia, Ficha de reporte de resultados de monitoreo

Autor del instrumento: Aldoradin Quispe Ricardo Elwin, Quispe Macavilca Luis Angel

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Indicadores	Criterios	Deficiente 1 - 20	Regular 21 - 40	Buena 41 - 60	Muy Buena 61 - 80	Excelente 81 - 100
1. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado.					x
2. Objetividad	Está de acuerdo a las leyes y necesidades de la investigación.				x	
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología.					x
4. Organización	Existe una organización lógica entre variables e indicadores.				x	
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en calidad y cantidad.				x	
6. Consistencia	Consistencia entre la formulación de problema, objetivos e hipótesis.					x
7. Coherencia	De indicadores y dimensiones.				x	
8. Metodología	La estrategia responde al propósito de la investigación.				x	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- Los instrumentos cumplen con los requisitos para su aplicación.
- Los instrumentos no cumplen con los requisitos para su aplicación.

x

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

Muy buena

Lugar y fecha: Bellavista, 23 de mayo del 2023

N° DNI: 08085074

Teléfono: 994411952



.....
Mtro. Ing. Abner Josué Vigo Roldán

CIP: 97618

**INFORME DE JUICIO DE EXPERTO DEL
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN**

I. DATOS GENERALES

Apellidos y Nombres experto: *Najarro Copcho Edson Amad Emerson*

Institución donde labora : *Empa Canete S.A.*

Instrumentos de evaluación : Ficha de características de diseño, Ficha de registro de datos de campo, Ficha de registro de cadena de custodia, Ficha de reporte de resultados de monitoreo

Autor del instrumento: Aldoradin Quispe Ricardo Elwin, Quispe Macavilca Luis Angel

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Indicadores	Criterios	Deficiente 1 - 20	Regular 21 - 40	Buena 41 - 60	Muy Buena 61 - 80	Excelente 81 - 100
1. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado.				80	
2. Objetividad	Está expresado en conductas observables.				80	
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología.				80	
4. Organización	Existe una organización lógica entre variables e indicadores.				80	
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en calidad y cantidad.				80	
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de la inteligencia emocional.				80	
7. Consistencia	Consistencia entre la formulación de problema, objetivos e hipótesis.				78	
8. Coherencia	De indicadores y dimensiones.				72	
9. Metodología	La estrategia responde al propósito de la investigación.				79	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- Los instrumentos cumplen con los requisitos para su aplicación.
- Los instrumentos no cumplen con los requisitos para su aplicación.

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

78.8

Lugar y fecha: *Son Vicente, 17-05-2023*

N° DNI: *43671987*

Teléfono: *967265323*


 Ing. *Edson Najarro Copcho*
 CIP: *161440*

**INFORME DE JUICIO DE EXPERTO DEL
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN**

I. DATOS GENERALES

Apellidos y Nombres experto: Sánchez Contreras Gustavo Adolfo

Institución donde labora : Nakamura Conusultores S.A.C.

Instrumentos de evaluación : Ficha de características de diseño, Ficha de registro de datos de campo, Ficha de registro de cadena de custodia, Ficha de reporte de resultados de monitoreo

Autor del instrumento: Aldoradin Quispe Ricardo Elwin, Quispe Macavilca Luis Angel

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Indicadores	Criterios	Deficiente	Regular	Buena	Muy Buena	Excelente
		1 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
1. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado.				75	
2. Objetividad	Está adecuado a las leyes y necesidades de la investigación.				75	
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología.				75	
4. Organización	Existe una organización lógica entre variables e indicadores.				75	
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en calidad y cantidad.					95
6. Consistencia	Consistencia entre la formulación de problema, objetivos e hipótesis.					95
7. Coherencia	De indicadores y dimensiones.					95
8. Metodología	La estrategia responde al propósito de la investigación.				80	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- Los instrumentos cumplen con los requisitos para su aplicación.
- Los instrumentos no cumplen con los requisitos para su aplicación.

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

83

Lugar y fecha: Lima, 01 de junio de 2023

N° DNI: 43406865

Teléfono: 942076327:



Mg. Ing. Gustavo A. Sánchez Contreras
CIP: 219604

