

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados generado en un relleno sanitario, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a través de la especie macrófita emergente carrizo (*phragmites australis*)

Por:

Paul Segura Delgado
Wilbert Antony Rocha Vera

Asesores:

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga
Lic. Gina Marita Tito Tolentino

Lima, Julio de 2019

**DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS**

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga y Lic. Gina Marita Tito Tolentino, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:


Que el presente informe de investigación titulado: "EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE LIXIVIADOS GENERADO EN UN RELLENO SANITARIO, MEDIANTE UN BIODIGESTOR Y HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL A TRAVÉS DE LA ESPECIE MACRÓFITA EMERGENTE CARRIZO (*PHRAGMITES*)" constituye la memoria que presenta los Bachilleres Paul Segura Delgado y Wilbert Antony Rocha Vera para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Ambiental ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 10 días del mes de Julio del 2019




Milda Amparo Cruz
Huaranga


Lic. Gina Marita
Tito Tolentino

Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados generado en un relleno sanitario, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a través de la especie macrofita emergente carrizo (*phragmites australis*)

TESIS

Presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR


Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez
Presidente


Ing. Orlando Alan Poma Porras
Secretario


Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio
Vocal


Mg. Joel Hugo Fernández Rojas
Vocal


Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga
Asesora

Lima, 08 de julio de 2019

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios por haberme dado la vida, a toda mi familia, de manera especial a mis padres y hermanos por su apoyo constante e incondicional para lograr un objetivo más en mi vida.

Paul Segura Delgado

Este trabajo está dedicado a mis padres, por su consejo, apoyo y confianza que me permitieron llegar a este momento tan importante en mí formación como persona y profesional.

Wilbert Antony Rocha Vera

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida, por acompañarnos, guiarnos a lo largo de nuestra carrera, por todas sus bendiciones brindándonos paciencia y sabiduría para culminar con éxito nuestras metas.

A nuestra familia por brindarnos su apoyo incondicional en todo momento durante la realización de la presente tesis.

De manera especial a nuestras asesoras Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga y Lic. Gina Marita Tito Tolentino, quienes con su experiencia y conocimiento nos orientaron en la elaboración de este trabajo de titulación.

Al Dr. Noe Benjamin Pampa Quispe por su apoyo, disponibilidad de tiempo en la aplicación, manejo de datos estadísticos y por incentivarnos constantemente en la investigación.

Al Dr. Alex Rubén Huamán De La Cruz por su ayuda, disponibilidad de tiempo en la aplicación y manejo de datos estadísticos.

Al Ing. Reymundo Jaulis Palomino por facilitarnos una parcela para la construcción del proyecto y sus recomendaciones para el éxito del proyecto.

A nuestros amigos con los que compartimos conocimiento dentro y fuera de las aulas que de una u otra manera nos brindaron su colaboración y se involucraron en este proyecto.

Finalmente a nuestra alma mater Universidad Peruana Unión y a todos los profesores quienes compartieron sus conocimientos experiencias durante nuestra formación universitaria, para todos ellos (as) nuestros más sinceros agradecimientos.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xxi
SÍMBOLOS USADOS	xxii
Resumen	xxiii
Abstract	xxiv
CAPITULO I. EL PROBLEMA	1
1.1. Identificación del problema	1
1.2. Objetivos	6
1.2.1. Objetivo general.....	6
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. Justificación de la investigación	7
1.4. Presuposición filosófica.....	8
CAPITULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA	9
2.1. Antecedentes.....	9
2.1.1. A nivel mundial.....	9
2.1.2. A nivel sudamericano	10
2.1.3. A nivel nacional	11

2.2. Marco legal	12
2.2.1. Constitución política del Perú 1993	12
2.2.2. Ley general del ambiente N° 28611	12
2.2.3. Decreto legislativo N°1278.....	12
2.2.4. Reglamento de la ley de gestión integral de residuos sólidos D.S. N° 014-2017-MINAM.....	13
2.2.5. Ley de recursos hídricos N° 29338.....	14
2.2.6. Estándares de calidad ambiental (ECA) para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM	14
2.2.7. Norma OS.090 Planta de tratamiento de aguas residuales	15
2.2.8. Normas y recomendaciones internaciones.....	15
2.3. Relleno sanitario	19
2.3.1. Tipos de relleno sanitario.....	20
2.4. Residuos sólidos.....	20
2.4.1. Clasificación de los residuos sólidos	21
2.4.2. Clasificación por tipo de manejo	22
2.4.3. Composición	23
2.4.4. Gestión integral de los residuos sólidos.....	23
2.4.5. Situación del manejo de los residuos sólidos en el Perú.....	24
2.4.6. Situación del manejo de los residuos sólidos en el Cusco	25
2.4.7. Impactos generados por el manejo inapropiado de los residuos sólidos	26
2.5. Lixiviado.....	29
2.5.1. Factores que influyen en la generación del lixiviado.....	30

2.5.2. Concentración de contaminantes	31
2.5.3. Concentraciones de metales para lixiviados de residuos sólidos municipales	33
2.5.4. Características de los lixiviados	34
2.5.5. Tratamiento de lixiviados	35
2.6. Alternativas de tratamiento de lixiviado	37
2.6.1. Tratamientos fisicoquímicos	37
2.6.2. Procesos biológicos.....	39
2.6.3. Recirculación de lixiviados.....	40
2.6.4. Sistemas de membrana.....	40
2.6.5. Sistemas naturales	41
2.7. Tipos de tratamiento de aguas residuales.....	41
2.7.1. Tratamiento Preliminar	41
2.7.2. Tratamiento Primario	42
2.7.3. Tratamiento Secundario	42
2.8. Botadero Jaquira - Cusco	42
2.8.1. Vías de acceso.....	43
2.8.2. Uso anterior y actual del suelo.....	43
2.8.3. Tipos y toneladas de residuo que maneja	43
2.8.4. Frecuencia del servicio de disposición final de residuos sólidos.....	44
2.8.5. Disposición final de residuos sólidos en el botadero Jaquira	44
2.8.6. Los gases en el botadero de Jaquira	45

2.8.7. Tratamiento de los lixiviados en el botadero Jaquira.....	45
2.8.8. Volumen de lixiviado generado	45
2.8.9. Propiedades organolépticas.....	46
2.9. Biodigestor.....	46
2.9.1. Componentes del biodigestor.....	47
2.10. Digestión anaerobia	47
2.10.1. El proceso microbiológico y bioquímico de la digestión anaerobia	48
2.11. Humedales artificiales.....	49
2.11.1. Ventajas y desventaja de los humedales artificiales	52
2.11.2. Clasificación de los humedales artificiales	52
2.12. Ventajas y desventajas de los humedales de flujo vertical y horizontal.....	56
2.13. Microorganismos	56
2.14. Vegetación	56
2.14.1. Criterios de selección de especies en humedales artificiales	57
2.14.2. Categorización de las plantas macrófitos.....	58
2.14.3. Carrizo (<i>Phragmites Australis</i>).....	60
2.15. Mecanismos de remoción de contaminantes.....	62
2.16. Medio filtrante	66
2.16.1. Criterios para la selección del lecho filtrante.....	66
2.16.2. Sustratos.....	66
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODO.....	68

3.1. Lugar de muestreo de lixiviado.....	68
3.1.1. Ubicación geográfica y política	68
3.1.2. Temperatura	70
3.1.3. Precipitación	70
3.2. Lugar de ejecución del proyecto	71
3.2.1. Ubicación geográfica y política	71
3.2.2. Temperatura	73
3.2.3. Precipitación	74
3.3. Tipo de investigación.....	74
3.4. Diseño de investigación	74
3.5. Descripción general del sistema de tratamiento.....	75
3.6. Muestreo y transporte de lixiviados en el botadero de Jaquira.....	76
3.6.1. Muestreo	76
3.6.2. Transporte del lixiviado al área de trabajo.....	76
3.7. Implementación del sistema de tratamiento.....	76
3.7.1. Zona de captación de agua residual	77
3.7.2. Implementación del tanque de almacenamiento	77
3.7.3. Implementación del biodigestor.....	78
3.7.4. Cálculo del caudal de ingreso al humedal artificial	79
3.7.5. Implementación del humedal artificial subsuperficial horizontal.....	81
3.8. Flujo de agua a través del sistema de tratamiento.....	84

3.8.1. Captación de agua residual	84
3.8.2. Tanque de almacenamiento.....	84
3.8.3. Unidad del biodigestor	84
3.8.4. Dispositivo de control del caudal.....	84
3.8.5. Sistema de humedales artificiales	84
3.9. Puesta en marcha del sistema de tratamiento.....	85
3.9.1. Puesta en marcha con aguas residuales.....	85
3.9.2. Puesta en marcha del lixiviado diluido en agua residual	85
3.10. Pruebas realizadas	86
3.10.1. Pruebas de campo	86
3.10.2. Pruebas de laboratorio.....	87
3.11. Muestreo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológico antes y después del tratamiento	87
3.12. Cálculo para determinar la eficiencia de remoción de contaminantes.....	90
3.13. Comparación de los parámetros con la normativa nacional e internacional.....	90
3.14. Variables de estudio	91
3.14.1. Variables independientes	91
3.14.2. Variables dependientes	91
3.15. Flujo experimental	92
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES	94
4.1. Caracterización de lixiviado del botadero Jaquira	94
4.2. Estimación del caudal	96

4.3. Diseño del HAFSSH.....	97
4.4. Diagrama de cajas (BOX PLOT).....	99
4.5. Eficiencias de remoción de los parámetros fisicoquímicos en el agua residual.....	113
4.6. Eficiencia de remoción de parámetros fisicoquímicos del lixiviado (1%) diluido en agua residual.....	115
4.7. Eficiencia de remoción de parámetros fisicoquímicos del lixiviado (3%) diluido con agua residual.....	117
4.8. Diseño de bloques completos al azar (DBCA).....	119
4.8.1. Análisis de varianza (ANOVA).....	119
4.8.2. Prueba de normalidad antes del tratamiento.....	132
4.8.3. Prueba de normalidad de datos después del tratamiento.....	138
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	146
5.1. Conclusiones.....	146
5.2. Recomendaciones.....	148
REFERENCIAS.....	149
ANEXOS Y APÉNDICES.....	176

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estándar de calidad ambiental para agua	15
Tabla 2. Límites máximos permisibles promedio para las descargas de aguas residuales	17
Tabla 3. LMP por tipo de actividad	18
Tabla 4. LMP para actividades asociadas al tratamiento y disposición de residuos.....	19
Tabla 5. Concentración de contaminantes de los lixiviados	32
Tabla 6. Concentración de metales de los lixiviados	33
Tabla 7. Clasificación de lixiviados de vertedero en relación a la edad	34
Tabla 8. Eficiencias de remoción de contaminantes en sistemas de humedales artificiales aplicados en el tratamiento de lixiviados	37
Tabla 9. Resumen de disposición final de residuos sólidos en Jaquira.....	44
Tabla 10. Ventajas y desventaja de los humedales artificiales	52
Tabla 11. Ventajas y desventajas de los lechos de caña entre el flujo vertical y horizontal...56	
Tabla 12. Especies de vegetación utilizadas en humedales construidos.....	57
Tabla 13. Resumen de las principales funciones de los macrófitas en humedales de tratamiento construidos	60
Tabla 14. Aplicación del carrizo (<i>Phragmites australis</i>) en la remoción de contaminantes del lixiviado	62
Tabla 15. Mecanismos de eliminación de contaminantes en humedales artificiales	63
Tabla 16. Tamaño, porosidad y conductividad hidráulica según el tipo de sustrato.	67
Tabla 17. Materiales utilizados en la construcción del biodigestor	78
Tabla 18. Materiales para la medición de caudal.....	80
Tabla 19. Caracterización del sustrato empleado en el humedal artificial.....	82
Tabla 20. Materiales e instrumentos utilizados en la construcción del humedal artificial	83
Tabla 21. Materiales de muestreo	88

Tabla 22. Materiales y equipos utilizados para el análisis de parámetros fisicoquímicos.....	89
Tabla 23. Resultado del análisis fisicoquímico y microbiológico del lixiviado	94
Tabla 24. Resultado del análisis de metales del lixiviado.....	95
Tabla 25. Eficiencia de remoción de la DBO ₅ antes y después del tratamiento	99
Tabla 26. Eficiencia de remoción de la DQO antes y después del tratamiento	102
Tabla 27. Eficiencia de remoción del nitrógeno total antes y después del tratamiento	104
Tabla 28. Eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes antes y después del tratamiento	107
Tabla 29. Eficiencia de remoción del fósforo total antes y después del tratamiento	109
Tabla 30. Eficiencia de remoción del nitrógeno amoniacal antes y después del tratamiento	111
Tabla 31. Eficiencia de remoción de la turbiedad en el agua residual.....	113
Tabla 32. Eficiencia de remoción del pH en el agua residual.....	113
Tabla 33. Eficiencia de remoción de la conductividad eléctrica en el agua residual.....	113
Tabla 34. Eficiencia de remoción de sólidos disueltos totales en el agua residual.....	114
Tabla 35. Eficiencia de remoción del oxígeno disuelto en el agua residual	114
Tabla 36. Eficiencia de remoción de la temperatura en el agua residual.....	114
Tabla 37. Eficiencia de remoción de la turbiedad en la concentración al 1%	115
Tabla 38. Eficiencia de remoción del pH en la concentración al 1%	115
Tabla 39. Eficiencia de remoción de la conductividad eléctrica en la concentración al 1%	115
Tabla 40. Eficiencia de remoción de sólidos disueltos totales en la concentración al 1% ...	116
Tabla 41. Eficiencia de remoción del oxígeno disuelto en la concentración al 1%	116
Tabla 42. Eficiencia de remoción de la temperatura en la concentración al 1%	116
Tabla 43. Eficiencia de remoción de la turbiedad en la concentración al 3%	117
Tabla 44. Eficiencia de remoción del pH en la concentración al 3%	117

Tabla 45. Eficiencia de remoción de la conductividad eléctrica en la concentración al 3%.	117
Tabla 46. Eficiencia de remoción de sólidos disueltos en la concentración al 3%	118
Tabla 47. Eficiencia de remoción del oxígeno disuelto en la concentración al 3%	118
Tabla 48. Eficiencia de remoción de la temperatura en la concentración al 3%	118
Tabla 49. Análisis de varianza de la turbiedad	119
Tabla 50. Análisis de varianza del pH	122
Tabla 51. Análisis de varianza de la conductividad eléctrica	124
Tabla 52. Análisis de varianza de sólidos disueltos totales	126
Tabla 53. Análisis de varianza del oxígeno disuelto.....	128
Tabla 54. Análisis de varianza de la temperatura	130
Tabla 55. Resumen de los resultados antes y después del sistema de tratamiento en comparación con la normatividad nacional e internacional.....	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista panorámica del botadero de Jaquira.....	43
Figura 2. Componentes del biodigestor	47
Figura 3. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas	53
Figura 4. Representación esquemática de un humedal construido con el flujo de subsuperficial horizontal.....	54
Figura 5. Sistema de humedal construido de flujo vertical.....	55
Figura 6. Forma de vida de macrófitos acuáticos	59
Figura 7. Mecanismos de remoción de contaminantes en humedales artificiales	62
Figura 8. Transferencia de oxígeno desde las raíces	64
Figura 9. Diagrama del metabolismo del nitrógeno en humedales artificiales.....	65
Figura 10. Mapa de ubicación del lugar de muestreo del lixiviado	69
Figura 11. Imagen satelital del lugar de muestreo del lixiviado.....	69
Figura 12. Temperatura del lugar de muestreo del lixiviado	70
Figura 13. Mapa de ubicación del área del proyecto	72
Figura 14. Imagen satelital del área de proyecto	73
Figura 15. Temperatura del área de proyecto	73
Figura 16. Implantación del tanque de almacenamiento	78
Figura 17. Implementación del Biodigestor	79
Figura 18. Lecho filtrante del humedal artificial	82
Figura 19. Plantación del carrizo (<i>Phragmites australis</i>)	83
Figura 20. Flujograma experimental del tratamiento de lixiviados	92
Figura 21. Sistema de tratamiento de lixiviados mediante un biodigestor y humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.....	93
Figura 22. Dimensiones del humedal artificial.....	98

Figura 23. Comparación de la DBO ₅ entre las concentraciones al 1 y 3%.....	100
Figura 24. Comparación de la DQO entre las concentraciones al 1 y 3%	103
Figura 25. Comparación nitrógeno total entre las concentraciones al 1 y 3%.....	105
Figura 26. Comparación de coliformes termotolerantes entre las concentraciones al 1 y 3%	108
Figura 27. . Comparación del fósforo total entre las concentraciones al 1 y 3%	110
Figura 28. Comparación del nitrógeno amoniacal entre las concentraciones al 1 y 3%	112
Figura 29. DBCA de la turbiedad en relación al TR y concentración de lixiviado	120
Figura 30. DBCA del pH en relación al TR y concentración de lixiviado	123
Figura 31. DBCA de la conductividad eléctrica en relación al TR y concentración de lixiviado	125
Figura 32. DBCA de sólidos disueltos totales en relación al TR y concentración de lixiviado	127
Figura 33. DBCA del oxígeno disuelto en relación al TR y concentración de lixiviado	129
Figura 34. DBCA de la temperatura en relación al TR y concentración de lixiviado	131
Figura 35. Prueba de normalidad de la turbiedad antes del tratamiento.....	132
Figura 36. Prueba de normalidad del pH antes del tratamiento.....	133
Figura 37. Prueba de normalidad de la conductividad eléctrica antes del tratamiento.....	134
Figura 38. Prueba de normalidad de sólidos disueltos totales antes del tratamiento.....	135
Figura 39. Prueba de normalidad del oxígeno disuelto antes del tratamiento	136
Figura 40. Prueba de normalidad de la temperatura antes del tratamiento.....	137
Figura 41. Prueba de normalidad de la turbiedad después del tratamiento	138
Figura 42. Prueba de normalidad del pH después del tratamiento	139
Figura 43. Prueba de normalidad de la conductividad eléctrica después del tratamiento	140
Figura 44. Prueba de normalidad de sólidos disueltos totales después del tratamiento	141

Figura 45. Prueba de normalidad del oxígeno disuelto después del tratamiento.....	142
Figura 46. Prueba de normalidad de la temperatura después del tratamiento	143
Figura 47. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lixiviado	179
Figura 48. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes del tratamiento (1%)	180
Figura 49. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos después del tratamiento con un TRH de 5 días (1%)	182
Figura 50. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes del tratamiento (1%)	183
Figura 51. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos después del tratamiento con un TRH de 10 días (1%)	185
Figura 52. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes del tratamiento (1%)	186
Figura 53. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos después del tratamiento con un TRH de 15 días (1%)	188
Figura 54. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes del tratamiento (3%)	189
Figura 55. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos después del tratamiento con un TRH de 5 días (3%)	191
Figura 56. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes del tratamiento (3%)	192
Figura 57. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos después del tratamiento con un TRH de 10 días (3%)	194

Figura 58. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes del tratamiento (3%)	195
Figura 59. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos después del tratamiento con un TRH de 15 días (3%)	197
Figura 60. Certificado de calibración del multiparámetro	198
Figura 61. Certificado de calibración del medidor de turbidez	199
Figura 62. Certificado de calibración del medidor de oxígeno.....	200
Figura 63. Limpieza del terreno.....	201
Figura 64. Área para la implementación del sistema de tratamiento.....	201
Figura 65. Excavación para la instalación del sistema de tratamiento HAFSSH	202
Figura 66. Excavación terminada del sistema de tratamiento mediante HAFSSH	203
Figura 67. Revestimiento del HA con geomembrana.....	204
Figura 68. Materiales utilizados en el lecho filtrante.....	205
Figura 69. Colocación del lecho filtrante con grava fina.....	205
Figura 70. Colocación grava media la zona de entrada y salida.....	206
Figura 71. Llenado del lecho filtrante con arena gruesa.....	206
Figura 72. Instalación de la tubería de aireación	207
Figura 73. Construcción del biodigestor	207
Figura 74. Biodigestor revestido con plástico	208
Figura 75. Instalación del biodigestor.....	208
Figura 76. Instalación de la cámara de lodos.....	209
Figura 77. Rizomas del Carrizo (<i>Phragmites australis</i>)	209
Figura 78. Plantación del carrizo en el HA.....	210
Figura 79. Plantación terminada del carrizo en el HA.....	210
Figura 80. Implementación del tanque de almacenamiento	211

Figura 81. Etapa de adaptación del carrizo.....	211
Figura 82. Puesta en marcha del sistema de tratamiento con aguas residuales	212
Figura 83. Crecimiento de nuevas especies	212
Figura 84. Adaptación competa del carrizo	213
Figura 85. Puesta en marcha del sistema de tratamiento con lixiviado diluido en agua residual.....	213
Figura 86. Muestra para el análisis de fosforo total.....	214
Figura 87. Muestra para el análisis de DBO ₅	214
Figura 88. Muestra para el análisis de nitrógeno amoniacal.....	215
Figura 89. Muestra para el análisis de coliformes termotolerantes	215
Figura 90. Muestra para el análisis de nitrógeno total.....	216
Figura 91. Muestra para el análisis de DQO.....	216
Figura 92. Preservante H ₂ SO ₄	217
Figura 93. Tiras Indicadoras de pH	217
Figura 94. Muestra de lixiviado para la dilución en agua residual.....	218
Figura 95. Transporte de materiales y muestras de lixiviados del laboratorio al área de trabajo	218
Figura 96. Análisis de la temperatura	219
Figura 97. Análisis de la conductividad eléctrica	219
Figura 98. Análisis de solidos disueltos totales	220
Figura 99. Análisis del pH.....	220
Figura 100. Análisis del oxígeno disuelto	221
Figura 101. Análisis de la turbiedad	221
Figura 102. Botadero Jaquira.....	222
Figura 103. Manejo inadecuado del lixiviado en el botadero Jaquira	222

Figura 104. Zona de salida del lixiviado en el botadero Jaquira	223
Figura 105. Punto de muestreo del lixiviado	223

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cadena de custodia - Laboratorio Delta Lab S.A.C.....	176
Anexo 2. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lixiviado del botadero Jaquira – Cusco	177
Anexo 3. Informes de análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lixiviado (1%) diluido en agua residual	180
Anexo 4. Informes de análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lixiviado (3%) diluido en agua residual	189
Anexo 5. Certificado de calibración de equipos del laboratorio de saneamiento ambiental – Universidad Peruana Unión	198
Anexo 6. Construcción del sistema de tratamiento de HAFSSH	201
Anexo 7. Muestreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológico	214
Anexo 8. Análisis de los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio de saneamiento ambiental - UPeU.....	219
Anexo 9. Botadero de residuos sólidos Jaquira - Cusco.....	222

SÍMBOLOS USADOS

AR	Agua residual
C₆H₁₂O₆	Glucosa
DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno al quinto día
DQO	Demanda química de oxígeno
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
HA	Humedal artificial
HAFSSH	Humedal artificial de flujo sub superficial horizontal
m	Metro
mg	Milígramo
mm	Milímetro
m³	Metro cúbico
m²	Metro cuadrado
NT	Nitrógeno total
NH₃	Amoniac
NH₄⁺	Amonio
N-NH₃	Nitrógeno amoniacal
NKT	Nitrógeno Total Kjeldahl
NO₂	Nitrito
NO₃	Nitrato
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial de hidrógeno
PT	Fósforo total
PVC	Policloruro de vinilo
Q	Caudal (m ³ /s)
SDT	Sólidos disueltos totales
T°C	Temperatura (Celsius)
TM	Tonelada métrica
TRH	Tiempo de retención hidráulico

Resumen

El propósito de la investigación fue determinar la eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados diluido con aguas residuales mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal aplicando la especie carrizo (*Phragmites Australis*). El desarrollo de la investigación inició con el muestreo y análisis de la composición fisicoquímica y microbiológica del lixiviado, luego se hizo el diseño e implementación del humedal artificial acorde al caudal de entrada y la demanda biológica de oxígeno, el sistema de tratamiento a escala piloto, consta de un tanque de almacenamiento donde se realizó la dilución del lixiviado en concentraciones de 1 y 3% con 100 litros de agua residual, además está compuesto por un biodigestor y humedales artificiales como tratamiento primario y secundario respectivamente. El muestreo de los parámetros se ejecutó con tiempos de retención de 5, 10 y 15 días para ambas concentraciones. Las dimensiones del humedal se obtuvieron a partir del caudal del ingreso ($0.013 \text{ m}^3/\text{día}$) y la DBO (1485 gr/m^3) obteniéndose 1.96, 0.98 y 0.60 metros de largo ancho y alto respectivamente con una pendiente al 1%. Los resultados de los análisis demuestran que existe diferencias significativas antes y después del tratamiento en los parámetros fisicoquímicos y microbiológico, se determinó eficiencias de remoción de 79, 59, 57% para DBO₅; 85, 99, 99.9% para coliformes termotolerantes en los tiempos de 5, 10, 15 días respectivamente en la concentración de 1%, asimismo se alcanzó 86, 81, 39% para DBO₅; 99, 99, 85% para coliformes termotolerantes en los tiempos de 5, 10, 15 días correspondientemente en la concentración al 3%. Por tanto, existe eficiencia de remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de lixiviados diluido con agua residual mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, demostrando ser una alternativa viable y sostenible para el ambiente.

Palabras Clave: Lixiviado, dilución, agua residual, nitrógeno amoniacal, tiempo de retención, caudal.

Abstract

The purpose of the research was to determine the efficiency of removal of pollutants from leachate diluted with wastewater by means of a biodigester and artificial wetlands of horizontal subsurface flow applying the reed species (*Phragmites Australis*). The development of the research begins with the sampling and analysis of the physicochemical and microbiological composition of the leachate, then the design and implementation of the artificial wetland was made according to the input flow and the biological oxygen demand, the pilot treatment system at a constant scale of a storage tank where the dilution of the leachate was carried out in concentrations of 1 and 3% with 100 liters of residual water, in addition it is composed of a biodigester and artificial wetlands as primary and secondary treatment respectively. The sampling of the parameters was executed with retention times of 5, 10 and 15 days for both concentrations. The dimensions of the wetland were obtained from the income stream (0.013 m³ / day) and the BOD (1485 gr / m³) obtaining 1.96, 0.98 and 0.60 meters long and wide respectively with a slope of 1%. The results of the analyzes show that there are significant differences before and after treatment in the physicochemical and microbiological parameters, removal efficiencies of 79, 59, 57% were determined for BOD₅; 85, 99, 99.9% for thermotolerant coliforms at the times of 5, 10, 15 days respectively at the concentration of 1%, also reached 86, 81, 39% for BOD₅; 99, 99, 85% for thermotolerant coliforms at the times of 5, 10, 15 days correspondingly in the concentration of 3%. Therefore, there is efficient removal of physicochemical and microbiological leachate contaminants diluted with wastewater through a biodigester and artificial wetlands of horizontal subsurface flow, proving to be a viable and sustainable alternative for the environment.

Keywords: Leaching, dilution, residual water, ammoniacal nitrogen, retention time, flow rate.

CAPITULO I. EL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

Desde su origen, el hombre utilizó la naturaleza para sobrevivir y como un lugar para depositar el desperdicio de su actividad. Al principio, los restos sólidos no era un gran problema porque la población era pequeña y el medio ambiente podía asimilar los desechos producidos (Hontoria y Zamorano, 2000).

Los problemas surgieron cuando la población incrementó y comenzó la formación de pueblos y ciudades, donde el consumo de recursos naturales aumentó, generando la producción de residuos; lo que crea problemas de salud ambiental e incluso del espacio. A medida que la sociedad crecía, el desperdicio producido era cada vez más difícil de eliminar, tanto en la cantidad originada, como en la composición del desperdicio (Tchobanoglous, Vigil y Theisen, 1994).

En el mundo se generan anualmente 2010 millones de toneladas de desechos municipales sólidos. De los cuales los metales representan el 4%, vidrios 5%, plástico 12%, papel 17%, alimentos 44%, caucho y cuero 2%, madera 2% y otros 14%. Alrededor del 37% de los residuos se eliminan en rellenos sanitarios (Banco Mundial , 2018).

América latina y el caribe generan 231 millones de toneladas anuales. De los cuales el 45 % no recibe un tratamiento o disposición final adecuada en relleno sanitario y utiliza otras formas, como son el vertedero controlado o a cielo abierto, estos representan uno de los aspectos más contaminantes y perjudiciales para el ambiente y la salud derivados de la mala gestión de los residuos sólidos (Banco Mundial , 2018).

El Perú durante el año 2014 generó un total de 7 497 482 t/año de residuos urbanos municipales, es importante resaltar que el 53,16% de los residuos sólidos son materia orgánica, el 18,64% son residuos no reaprovecharles, el 18,64% pertenece a residuos reaprovecharles y finalmente el 6,83% es compuesto por residuos reciclables. Del total de la generación de

residuos sólidos municipales al 2014 (7 497 482 t/año), sólo 3 309 712 toneladas menos del 50% fueron dispuestos en un relleno sanitario; siendo el remanente dispuesto inadecuadamente en el ambiente. Actualmente, el principal problema del manejo de residuos sólidos en el Perú es la escasez de lugares adecuados destinados a su disposición final (MINAM, 2016).

Corena (2008) menciona que en muchas de las grandes capitales del mundo, el incremento demográfico acelerado provoca un vasto incremento en la demanda de servicios de orden y limpieza, así como la producción de restos sólidos. El volumen y composición de los residuos dependen del grado de desarrollo económico de la región (Kaoser, Barrington y Elektorowicz, 2000).

Los vertederos nacen como respuesta a los problemas generados por la producción de restos sólidos, debido a su alto impacto negativo en los componentes ambientales y la disminución de la calidad de vida (Camargo y Vélez, 2009).

La eliminación de los restos sólidos en los vertederos es una práctica que se utiliza en todo el mundo para disminuir el impacto negativo de estos, enterrando los desechos en áreas alejadas a fin de que por la acción metabólica de las bacterias del suelo sean degradados (Mosquera y Lara, 2012). Esta degradación tiene como subproducto líquidos que con la lluvia, aguas superficiales, subsuperficiales y propias de los desechos, ingresan en contacto y se percolan por medio de ellas, llevando consigo material sólido; estos líquidos son denominados lixiviados (Kadlec y Wallace, 2009).

Los rellenos sanitarios, en la mayoría de los países, son la última etapa más común donde recaen los residuos sólidos domiciliarios de toda la población (Renou, Givaudan, Poulain, Dirassouyan y Moulin, 2008; Lei, Shen, Huang y Wang, 2007; Moraes y Bertazzoli, 2005; Ding, Zhang, Fu y Cheng, 2001). Sin embargo estos vertederos generan impactos ambientales negativos por causa del inadecuado manejo y disposición de sus residuos líquidos (Primo, Rivero y Ortiz, 2007; Karadag et al., 2008; Kurniawan, Lo y Chan, 2006).

Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019) actualmente el Perú cuenta con 37 rellenos sanitarios autorizados y en funcionamiento, de los cuales dos se encuentran en el departamento del Cusco, sin embargo esta cifra no abastece la generación de residuos sólidos de toda la población nacional que generan alrededor de 20 mil toneladas diarias, cuyo destino son los botaderos ilegales. El impacto ambiental más importante en el vertedero de residuos es aquel que está relacionado con el gas y el lixiviado producidos durante la descomposición de los desechos (Pellón, López y Ezpinoza, 2015).

El problema de los lixiviados se ve agravado a causa de que muchos vertederos todavía operan sin una capa impermeable o un sistema eficaz para el acopio y control de lixiviados, esto ha causado numerosos casos de contaminación de suelos, aguas superficiales y subsuperficiales en países a nivel mundial (Tatsi y Zouboulis, 2002).

Varios investigadores estudiaron el tratamiento de lixiviados de relleno sanitario, obteniendo resultados promisorios mediante diferentes procesos de tratamiento. Estos resultados indican que la efectividad de eliminación de contaminantes obtenidas en un lixiviado están influenciadas por la composición química, la cual a su vez está relacionada con las características y grado de estabilización de la basura o la vida del relleno sanitario (Borzacconi, et al., 1996; Enzminger, Robertson, Ahlert y Kosson, 1997).

Los lixiviados se han convertido en un desafío en términos de minimización, disposición y tratamiento, principalmente debido a su variabilidad en el contenido y cantidad de contaminante, así como su alto potencial para afectar negativamente en la salud pública y el medio ambiente, a causa de la contaminación de sistemas acuáticos, debido a su facilidad de percolación (EPA, 2000a).

Los casos de agua contaminada por lixiviados de vertedero también se encuentran en todo el mundo, especialmente en los países europeos, Australia y China. En general, la mejor manera de contrarrestar el deterioro del medio natural por lixiviados es el tratamiento de estos,

para remover sus componentes peligrosos antes de que entre en contacto con los recursos hídricos, cuando el lixiviado se asocia con los cuerpos acuáticos, genera elevados costos de tratamiento debido a su alto potencial contaminante (Huu-Hao, Wenshan y Wen, 2009).

Cada año, millones de personas, la mayoría niños, mueren por enfermedades relacionadas con un abastecimiento de agua, un saneamiento y una higiene inadecuados. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003), mueren alrededor de 1.3 millones de niños al año a causa de la diarrea siendo la enfermedad más importante relacionada con un acceso inadecuado al agua potable que constituye la segunda causa de muerte infantil en el mundo después de las enfermedades respiratorias. Por otro lado según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015) tanto la escasez como la baja calidad del agua y un saneamiento deficiente afectan negativamente a la seguridad de los alimentos, cada vez más las reservas de aguas se contaminan por lo que su protección y depuración se hace necesaria.

Yalcuk y Ugurlu (2009) afirman que existen múltiples tecnologías para la depuración de los lixiviados, así como procesos anaerobios, aerobios y sistemas de membranas, estas técnicas de tratamiento no son viables económicamente tanto en su etapa de construcción y operación. Los sistemas naturales, por el contrario, son alternativas menos costosas en su operación y mantenimiento que se pueden adecuar en las instalaciones de un vertedero (Kadlec y Zmarthie, 2010).

Los humedales artificiales (HA) son tecnologías de tratamiento biológico que tienen sus comienzos como sistemas de depuración de contaminantes de aguas residuales en el continente europeo en la década de los sesenta, utilizados principalmente para reducir el contenido de materia orgánica (Yalcuk y Ugurlu, 2009). No obstante, actualmente tiene numerosas aplicaciones, como la descontaminación de drenaje de minas, los tratamientos de escorrentía pluvial, urbana y agrícola, el tratamiento de lodos, aguas residuales de vertederos entre otros (EPA, 2000a).

Mulamoottil, McBean y Frank (1998) afirman que el uso de humedales construidos para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios, son una tecnología de rápido desarrollo. En algunos lugares, se aplicó esta tecnología donde consiguieron altas eficiencias de remoción de contaminantes. Fue solo un paso para la construcción de HA para el mismo objetivo, son varias zonas hoy en día que emplean esta alternativa de tratamiento.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia de remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de lixiviados del relleno sanitario diluido con aguas residuales, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, aplicando la especie carrizo (*Phragmites Australis*).

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la composición fisicoquímica y microbiológica de lixiviados del botadero Jaquira – Cusco.
- Implementar a escala piloto el sistema de tratamiento, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.
- Determinar la eficiencia de remoción de los contaminantes fisicoquímicos (pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Turbiedad, DBO₅, DQO, SDT, Nitrógeno total, Fósforo total y Nitrógeno Amoniacal) y microbiológico (Coliformes termotolerantes) en los periodos de retención de 5, 10 y 15 días con diluciones al 1 y 3%.
- Determinar la concentración óptima de remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos a diluciones de 1 y 3%.

1.3. Justificación de la investigación

Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios son una problemática ambiental debido a su potencialidad de deteriorar de la calidad del suelo, principalmente del agua superficial y subterránea.

Ante estos problemas ambientales surge la necesidad de favorecer a la sostenibilidad del medio ambiente a través de la implementación de alternativas que contribuyan a la minimización de impactos ambientales negativos; uno de ellos son los sistemas naturales que son una tecnología eficiente, económicamente viable, de gran capacidad de remoción de contaminantes para hacer frente al problema de los lixiviados.

A partir de ello la finalidad de esta investigación es proponer una alternativa de tratamiento que elimine los contaminantes de lixiviados y disminuye su impacto en el medio ambiente, mediante la aplicación de humedales artificiales, que son una tecnología de solución factible económicamente, debido a que no requieren el uso de energía y a su vez tiene bajos costos de operación y mantenimiento frente a los tratamientos convencionales.

Asimismo la investigación aporta teóricamente en cuanto a la aplicación de los humedales en localidades pequeñas y medianas, como una alternativa posible para la depuración de contaminantes de lixiviados generados en vertederos de residuos sólidos.

La realización del presente estudio busca brindar soluciones que mejoran positivamente la calidad de vida de las personas disminuyendo enfermedades asociados con la contaminación del suelo y de agua.

1.4. Presuposición filosófica

Dios creó al hombre a su imagen, conforme a su semejanza, le dio potestad sobre toda tierra (Génesis 1: 26-27).

Dios puso al hombre sobre la tierra para que administre toda su creación, en todo el tiempo el hombre ha utilizado el medio ambiente para satisfacer sus necesidades sin causar efectos negativos en su medio, sin embargo el avance industrial, tecnológico marcó un hito significativo al producir impactos ambientales perjudiciales, y las áreas más vulneradas son la contaminación de los recursos hídricos y el suelo, con el tiempo surgieron nuevas tecnologías de tratamiento que están ayudando en la sostenibilidad ambiental.

CAPITULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes

Los humedales construidos con el propósito de tratar el agua tienen una historia mucho más corta. La difusión mundial de esta tecnología se originó a partir de la investigación llevada a cabo en el Instituto Max Planck en Alemania Occidental, a partir de 1952 (Bastian y Hammer, 1993) y en el hemisferio occidental durante los años setenta. La implementación de la tecnología de humedales se ha acelerado en todo el mundo desde 1985, principalmente porque los humedales de tratamiento, aunque mecánicamente simples, son sistemas biológicamente complejos capaces de lograr altos niveles de tratamiento. Además, los humedales de tratamiento pueden construirse utilizando materiales locales y mano de obra local, lo cual es una ventaja importante en los países en desarrollo (Kadlec y Wallace, 2009).

2.1.1. A nivel mundial

En estados unidos en el año 1999 se realizó una investigación que lleva por título “*Treatment of landfill leachate using an aerated, horizontal subsurface-flow constructed wetland*” con la finalidad de explicar la función de los humedales artificiales; una opción de tratamiento de mínima inversión viable para lixiviado generado en los vertederos pequeños, rurales. El sistema fue equipado con un proceso de aireación para ayudar en la eliminación de altas concentraciones de materia orgánica presentes en el lixiviado. La conclusión de esta investigación menciona que los sistemas naturales de flujo subsuperficial tienen una alternativa de tratamiento viable para los lixiviados de los vertederos. Con el aislamiento y la aireación adecuada, estos sistemas pueden funcionar bien, incluso durante temperaturas de bajo cero. La eficiencia de remoción durante periodos de no aireación fueron inconsistentes y pobres de DBO₅, DQO Y NH₄-N. Sin embargo con un suministro de oxígeno suficiente y sistema de pretratamiento para la eliminación de hierro, la eficiencia del tratamiento para estos parámetros

incremento en gran medida, y fue más alta durante el verano (Nivala, Hoos, Cross, Wallace y Parkin, 2007).

En Eslovenia esta tecnología se aplicó en un vertedero de residuos sólidos que se encontraba en funcionamiento desde 1959, que comprende un terreno de 40 hectáreas, donde se aplicó un sistema híbrido que consta de dos humedales de flujo subsuperficial vertical como horizontal relacionados entre sí. Este sistema abarca una superficie cerca de 310 m², operando con una carga discontinua menor a 0,69 cmd-1. Este sistema se dio con el objetivo de obtener un efluente donde las características sean dispuestas para su uso en el regadío.

Los sistemas están conformadas por procesos naturales, en su larga operación, los lixiviados demuestran mínimas probabilidades de colmatación de los lechos y bajas cargas de materia orgánica, puesto que aminoraría la obligación de un sistema primario anterior a la ejecución de los humedales. Los resultados obtenidos por el uso de esta tecnología es la disminución de la carga contaminante, que favorece el reúso al interior del relleno, siendo que esta minimiza la contaminación visual que se genera en la población. Los resultados demuestran una eficiencia de 33, 50, 59, 51% para SS, DQO, DBO₅, NH₃-N, respectivamente (Mosquera y Lara, 2012).

2.1.2. A nivel sudamericano

En Colombia se aplicó esta tecnología en el relleno sanitario denominado Carrasco, donde se efectúa el desecho de los residuos sólidos, de la plaza de Bucaramanga y más de tres municipalidades vecinas. El tren está compuesto por un tratamiento fisicoquímico seguidamente por una poza de oxidación descargando el efluente al sistema de humedales de 69-74 m² sembrado con Thypha.

Los resultantes de la remoción adquirida son alrededor del 33, 60 y 53% para SST, DQO y DBO₅, correspondientemente, trascurrido el tiempo de adaptación de las vegetaciones

como la creación de comunidades microbianas, se tiene una efectividad del sistema que logra alcanzar resultados óptimos (Bohorquez y Correal, 2004).

2.1.3. A nivel nacional

En el Perú en el año 2010 se realizó un estudio en el Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos - CITRAR-UNI que lleva por título “*tratamiento de lixiviados diluido con aguas residuales en una planta piloto a escala de un sistema de lodos activados con el fin de lograr un efluente óptimo*”, que tiene como objetivo principal determinar la dosis óptima que se debe agregar de lixiviado en una planta piloto a escala, de lodos activados, para no afectar el proceso biológico a su vez determinar las eficiencias máximas de un sistema de lodos activados usando lixiviado y desagüe doméstica. Los resultados de esta indagación indican que diluyendo el lixiviado, en aguas residuales en una concentración de 2% como máximo, se obtiene cargas orgánicas y concentraciones tóxicas que pueden ser tratadas en un sistema de tratamiento por lodos activados, además se observa una eficiencia de 90 a 95% en la remoción de DBO₅ (Ávila y Silva, 2010).

En el mismo centro de investigación mencionado anteriormente se realizó otro estudio titulado “*Tratamiento de lixiviados de relleno sanitario mediante un filtro biológico y humedal artificial*” con el objetivo de desarrollar y evaluar el tratamiento de lixiviado de relleno sanitario diluido con agua residual doméstica empleando una planta de tratamiento piloto conformada por un tanque regulador de caudal, un tanque séptico tipo reactor anaerobio, un filtro biológico y un humedal de flujo superficial con la especie *Eichornia Crassipes* (Jacinto de Agua) como unidad de tratamiento terciario. Es esta investigación se Demostrando la reducción significativa de las concentraciones de DBO₅, Nitrógeno y Coliformes fecales presentes en los lixiviados de rellenos sanitarios diluidos con agua residual (Aliaga y Julca, 2014).

En el Perú no existe un sistema de tratamiento económico, ecológico y eficiente en el tratamiento de lixiviados de los rellenos sanitario, por ello se tiene la necesidad de investigar sobre los humedales artificiales como una estrategia clave para el tratamiento de este efluente.

2.2. Marco legal

El Perú desarrolla leyes, decretos supremos, reglamentos, entre otros que promueven el cuidado y preservación del ambiente, de acuerdo a las múltiples actividades financieras que se desarrollan dentro del territorio nacional. La presente investigación está enmarcada fundamentalmente dentro de la siguiente legislación.

2.2.1. Constitución política del Perú 1993

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que “toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida” (Constitución Política del Perú, 1993).

2.2.2. Ley general del ambiente N° 28611

En la ley general del ambiente el artículo 1, del derecho y deber fundamental, hace mención que “Toda persona tiene derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país” (MINAM, 2005).

2.2.3. Decreto legislativo N°1278

El decreto legislativo que aprueba la “ley de gestión integral de residuos sólidos” dicha legislación hace mención el principio de cuidado ambiental y la salud pública, en donde se menciona que “La gestión integral de residuos sólidos comprende las medidas necesarias para proteger la salud individual y colectiva de las personas, en armonía con el ejercicio pleno del

derecho fundamental a vivir en un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida” Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017).

2.2.4. Reglamento de la ley de gestión integral de residuos sólidos D.S. N° 014-2017-MINAM

Artículo 1.- “El presente dispositivo normativo tiene como objeto reglamentar el Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, a fin de asegurar la maximización constante de la eficiencia en el uso de materiales, y regular la gestión y manejo de residuos sólidos, que comprende la minimización de la generación de residuos sólidos en la fuente, la valorización material y energética de los residuos sólidos, la adecuada disposición final de los mismos y la sostenibilidad de los servicios de limpieza pública” (MINAM, 2017).

Artículo 114.- Las instalaciones del relleno sanitario deben cumplir como mínimo con lo siguiente:

- a) “Impermeabilización de la base y los taludes del relleno para evitar la contaminación ambiental por lixiviados”.
- b) “Drenes de lixiviados con planta de tratamiento o sistema de recirculación interna de los mismos”.
- c) “Sistemas de monitoreo y control de gases y lixiviados”.

Artículo 120.- Recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos

“Para la recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos las municipalidades deben contar con un Plan de Recuperación de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos aprobado por la autoridad competente”.

“El Plan de recuperación debe incluir actividades como: la delimitación del área a recuperar incluye cerco perimétrico, diseño de estabilización del suelo, cobertura y confinamiento final de residuos, manejo de gases, manejo de lixiviados y de aguas pluviales, integración paisajística con el entorno natural”.

Artículo 121.- Reconversión y manejo de áreas degradadas por residuos sólidos

“Para la reconversión y manejo de áreas degradadas por residuos sólidos las municipalidades deben contar un Programa de Reconversión y Manejo de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos aprobado por la autoridad competente”.

“Corresponde la reconversión de áreas degradadas por residuos sólidos cuando se cuente con disponibilidad de área y su construcción se haya realizado sobre la base de un expediente técnico cumpliendo con los criterios técnicos para el diseño y construcción relacionados al manejo, control y/o tratamiento de los lixiviados, implementación de drenes y chimeneas de evacuación y control de gases e impermeabilización de base y taludes de la infraestructura de disposición final de residuos sólidos, pero sin contar con un IGA aprobado”.

2.2.5. Ley de recursos hídricos N° 29338

“La presente Ley regula el uso y gestión de los recursos hídricos, comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable” Autoridad Nacional (ANA, 2009).

La Autoridad Nacional del Agua podrá autorizar el vertimiento de aguas residuales únicamente cuando:

- “Las aguas residuales sean sometidas a un tratamiento previo, que permitan el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles – LMP”.
- “No se transgredan los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, ECA - Agua en el cuerpo receptor, según las disposiciones que dicte el Ministerio del Ambiente para su implementación”.

2.2.6. Estándares de calidad ambiental (ECA) para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM

“La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental

(ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos” (MINAM, 2017).

El objetivo principal de los ECA es “establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente”

Tabla 1. Estándar de calidad ambiental para agua

Parámetro	Unidad de medida	Limite
DBO ₅	mg/L	15
DQO	mg/L	40
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 4
Conductividad eléctrica	μS/cm	2500
Potencial de hidrogeno	Unidad de pH	6.5-8.5
Temperatura	°C	Δ 3
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000*

* Agua para riego no restringido

2.2.7. Norma OS.090 Planta de tratamiento de aguas residuales

El objetivo principal de la norma OS.090 es normar el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales en los niveles preliminar, básico y definitivo”. El numeral 3.116, “hace mención acerca el reúso de aguas residuales debidamente tratadas para un propósito específico” Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2006).

2.2.8. Normas y recomendaciones internacionales

a) Ley del medio ambiente N°1333–1992 – Bolivia

Artículo 77°.- “El diseño de los rellenos sanitarios estará en función de las características y cantidades de los residuos generados en las áreas a servir, sus fluctuaciones temporales y estimaciones para el futuro, conforme a las necesidades, la disponibilidad de

recursos económicos y los requerimientos de la reglamentación ambiental vigente, y sin perjuicio de lo que establezcan otras disposiciones legales”.

Los rellenos sanitarios podrán estar equipados fundamentalmente por:

- Instalaciones para colección, conducción y tratamiento o recirculación de aguas residuales y lixiviados
- Instalaciones para colección, desvío, conducción y tratamiento de las aguas de escurrimiento superficial que de manera natural o artificial ingresen al predio del relleno sanitario.

Artículo 78º.- “Los lixiviados que se originen en las celdas de disposición final de un relleno sanitario deberán colectarse y ser tratados y/o recirculados para evitar la contaminación del ambiente y el deterioro de los ecosistemas. Los métodos para su colección, tratamiento o recirculación deberán ajustarse a las normas técnicas que para ello se expidan Ministerio de Desarrollo Rural, Agropecuario y Medio Ambiente” (MDRAMA, 1992).

b) Norma de vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado.

Especificaciones NC 27:2012 - Cuba

Esta norma se aplica a todas las aguas residuales generadas por las actividades sociales y económicas como son las domésticas, municipales, industriales, agropecuarias y de cualquier otro tipo.

• **Descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores**

Los cuerpos receptores se clasificarán cualitativamente según su uso de la forma siguiente:

Clase (A): Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación de aguas destinadas al abasto público y uso industrial en la elaboración de alimentos. La

clasificación comprende a los cuerpos de aguas situados en zonas priorizadas de conservación ecológica.

Clase (B): Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas donde se captan aguas para el riego agrícola en especial donde existan cultivos que se consuman crudos, se desarrolla la acuicultura y se realizan actividades recreativas en contacto con el agua, así como cuerpos de agua que se explotan para el uso industrial en procesos que necesitan de requerimientos sobre la calidad del agua. La clasificación comprende los sitios donde existan requerimientos menos severos para la conservación ecológica que los comprendidos en la Clase (A)

Clase (C): Ríos, embalses, zonas hidrogeológicas de menor valor desde el punto de vista del uso como: aguas de navegación, riego con aguas residuales, industrias poco exigentes con respecto a la calidad de las aguas a utilizar, riego de cultivos tolerantes a la salinidad y al contenido excesivo de nutrientes y otros parámetros.

Tabla 2. Límites máximos permisibles promedio para las descargas de aguas residuales según la clasificación del cuerpo receptor (Oficina Nacional de Normalización, 2012)

Parámetros	Unidad de Medida	Ríos y Embalses		
		A	B	C
DBO	mg/L	30	40	60
DQO	mg/L	70	90	120
Fosforo total	mg/L	2	4	10
Nitrógeno Total	mg/L	5	10	20
Conductividad Eléctrica	µS/cm	1 400	2 000	3 500
pH	UpH	6.5 – 8.5	6 – 9	6 – 9
Temperatura	°C	40	40	50
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	200	1000	(1)

(1) El límite lo fijará el organismo rector de las aguas terrestres atendiendo al uso, necesidad de conservación y posible riesgo para la salud

c) Reglamento de vertido y reúso de aguas residuales N°33601-Minae-S- Costa Rica

El objetivo del reglamento de vertido y reúso de aguas residuales es la “protección de la salud pública y del ambiente, a través de una gestión ambiental adecuada de las aguas residuales Ministerio de Ambiente y Energía - Ministerio de Salud” (MINAE-S, 2007).

El artículo 23 del reglamento detalla los límites máximos permisibles, para tres parámetros seleccionados, por tipo de actividad para aguas residuales vertidas en cuerpos receptores, estas actividades especificadas deberán cumplir los límites establecidos en la tabla 3.

Tabla 3. LMP por tipo de actividad (MINAE-S, 2007)

CIU	Actividad	Límite máximo permisible			Unidad
		DBO	DQO	SST	
90000	Rellenos Sanitarios	300	1000	200	mg/L

d) Resolución N° 0631 del 2015 – MINAM y Desarrollo Sostenible – Colombia

La presente resolución establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Sector: Actividades asociadas con Servicios y otras actividades

Actividad: Tratamiento y disposición de residuos

Incluye:

- Operación de rellenos sanitarios para la disposición de desechos no peligrosos.
- Disposición de desechos no peligrosos mediante combustión o incineración u otros métodos, con o sin producción resultante de electricidad o vapor, combustibles sustitutos, biogás, cenizas u otros subproductos para su utilización posterior, etc.
- Tratamiento de desechos orgánicos para su disposición.
- Producción de compost con desechos orgánicos.

Tabla 4. LMP para actividades asociadas al tratamiento y disposición de residuos

PARÁMETRO	UNIDADES	TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS
Generales		
pH	Unidades pH	6,00 a 9,00
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	2.000,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	800,00
Metales y metaloides		
Aluminio (Al)	mg/L	3,00
Arsénico (As)	mg/L	0,10
Bario (Ba)	mg/L	2,00
Cadmio (Cd)	mg/L	0,05
Cinc (Zn)	mg/L	3,00
Cobre (Cu)	mg/L	1,00
Cromo (Cr)	mg/L	0,50
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01
Níquel (Ni)	mg/L	0,50
Plomo (Pb)	mg/L	0,20
Selenio (Se)	mg/L	0,20
Vanadio (V)	mg/L	1,00

2.3. Relleno sanitario

Recinto y/o establecimiento asignado a la eliminación sanitaria y ambientalmente equipada para el control de restos sólidos. Están ubicados superficialmente o en el subsuelo, y se fundamentan en los principios y metodologías de la ingeniería sanitaria y ambiental Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014).

Rodriguez, Sauri y Peniche (2005) mencionan que estos diseños resultan debido a la problemática que se origina por la obtención de residuos, este tiene un alto impacto negativo sobre los factores y/o elementos ambientales provocando un daño sobre el estilo de vida de las sociedades, que se hace cada vez más preocupante a razón de su incremento acelerado en el sector urbano.

Históricamente, los vertederos se iniciaron con la finalidad de proteger el medio natural y la sociedad, del impacto negativo de sistemas convencionales de eliminación de desechos,

como la incineración a cielo libre, descarga a campo abierto y descarga en aguas marítimas (Senior, 1990).

Si bien los vertederos eliminaron algunos impactos de las prácticas antiguas, surgieron nuevos, principalmente debido a la formación de gases y lixiviados. Además de los peligros potenciales para la salud, estas preocupaciones incluyen incendios y explosiones, daños a la vegetación, olores desagradables, asentamientos de vertederos, Contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire y calentamiento global (Fadel, Findikakis y Leckie, 1997).

2.3.1. Tipos de relleno sanitario

Según el (D.S. N° 014-2017-MINAM, 2017, art. 108) existen tres tipos de relleno sanitario.

a) Relleno sanitario manual

Tiene un volumen de operación diario que no excede las seis toneladas métricas.

b) Relleno sanitario semi-mecanizado

Tiene un volumen de operación diaria mayor de seis y menor de cincuenta (50) toneladas métricas.

c) Relleno sanitario mecanizado

Tiene un volumen de operación diaria mayor a cincuenta (50) toneladas métricas.

2.4. Residuos sólidos

Son aquellos materiales descartados, que comúnmente están falto de valor económico para el común de los hombres y se les denomina particularmente como Basura. También se localiza en esta categoría, los materiales semisólidos como el barro, el lodo, la sanguaza etc. y los derivados por eventos naturales. Cabe mencionar que los efluentes residuales (agua contaminada con sustancias fecales y orina) no se catalogan como restos solidos (OEFA, 2014).

2.4.1. Clasificación de los residuos sólidos

a) Residuos sólidos municipales

Los restos sólidos municipales poseen características físicas y químicas variadas, si muestran un inadecuado manejo, posterior a su generación, ocasionan perjuicios a la salud y deterioro al ambiente.

Rodriguez, Sauri, Peniche, Pacheco y Ramirez (2005) afirman que en mayor parte del mundo, se ha considerado a la producción de desechos municipales como uno de principales focos de contaminación tanto del aire, suelo y agua teniendo como origen los centros poblados, siendo preocupante por su acelerado aumento esto se da con mayor envergadura en las manchas urbanas.

Beffa et al. (1998) reconocen tres fuentes de contaminación en este tipo de residuos:

- Patógenos primarios de origen animal (bacterias, virus, huevos y quistes de parásitos, etc.).
- Formas patogénicas y alergénicas secundarias, principalmente hongos desarrollados durante el proceso de almacenamiento.
- Bacterias y hongos alérgenos.

b) Residuos sólidos industriales

Los residuos industriales mayormente son restos como: lodos, cenizas, desechos metálicos, papel, vidrio, fibras, plásticos, madera, etc., algunos de estos solidos se encuentran combinados con sustancias acidas como alcalinas, caracterizándose así como residuos peligrosos (Dulanto, 2013).

c) Residuos sólidos hospitalarios

Dulanto (2013) afirma que son residuos considerados como peligrosos que son provenientes de fuentes infecciosas, teniendo constituyentes orgánicos, con cargas infecciosas

altas presentando un elevado peligro para la salud, ya que están conformadas por residuos de establecimientos de salud, clínicas, hospitales, etc.

Nilda (2003) menciona que son restos sanitarios, donde se muestran un riesgo significativo, ya que contiene sustancias biológicas en su composición, puesto que tuvieron contacto con los productos líquidos o biológicos y pacientes.

d) Residuos sólidos agropecuarios

Estos residuos son aquellos que proceden mayormente de actividades forestales, avícolas, agrícolas, ganaderas y de centros de faenado de animales Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2012).

e) Residuos sólidos mineros

Están conformados por aquellos residuos que son generados en las operaciones mineras tales como lixiviados como efluentes líquidos, escombros de los depósitos como restos sólidos. Tanto la disposición final y exposición al clima este tipo de residuo puede llegar a generar daños ambientales (Dulanto, 2013).

2.4.2. Clasificación por tipo de manejo

a) Residuos peligrosos

Dulanto (2013) afirma que son residuos que generalmente son considerados como delicados y/o para el medio ambiente como la salud, puesto que llegan a ocasionar daños o alguna enfermedad si estos manejos son inadecuados.

b) Residuos inertes

Son conocidos así, debido a que al entrar en contacto con el ambiente, estos no producen efectos ambientales considerables (Dulanto, 2013).

c) Residuos no peligrosos

Son aquellos que se generan en cualquier lugar durante el desarrollo de la actividad cotidiana, que no muestran riesgo para la salud de las personas o el entorno ambiental (Martínez, 2005).

2.4.3. Composición

a) Residuos biodegradables

Son residuos que pueden ser descompuestos por operación biológica, es decir que esta desintegración puede darse por organismos vivientes ocasionadas por bacterias anaerobias (Dulanto, 2013).

b) Residuos no biodegradables

Dulanto (2013) son residuos que no pueden descomponerse con facilidad por medio biológicos; estos residuos se clasifican en combustibles como no combustibles, estos tienen la posibilidad de arder y no con facilidad.

2.4.4. Gestión integral de los residuos sólidos

La gestión integral de desechos sólidos se precisa como la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de los residuos sólidos de tal manera que armonice con los principios de la salud pública, ingeniería, economía, estética conservación, y de otras contemplaciones ambientales, que su vez responde a las perspectivas de la población, contiene el desempeño administrativo, financiero, legal, de planificación y de ingeniería implicadas en la solución de todas las dificultades de desechos sólidos (Tchobanoglous et al., 1994).

El manejo total de residuos comprende actividades involucradas con la vida de este, desde su existencia hasta su almacenamiento final. Habitualmente es un proceso que consta de varias etapas establecidas en mención: El residuo debe recolectarse, trasladarse, valorar en

cuanto a energía o materia, reciclarse y buscar un tratamiento, con el objeto de situar en un espacio adecuado. Por ello, tanto funciones técnicas siendo la caracterización y la cuantificación de los restos sólidos municipales son actividades significativas en la táctica de manejo (Karak et al., 2012).

Según la “Ley de gestión integral de residuos sólidos” aprobada por el decreto legislativo N°1278, art. 2. La gestión integral de residuos sólidos posee como primer propósito la prevención o minimización de la producción de desechos sólidos en la fuente, anverso a cualquier alternativa. El segundo es en mención a los restos generados, es preferible la valorización material así como también energética y su recuperación de los residuos, dentro de ellos se cuenta el reciclaje, reutilización, compostaje, coprocesamiento, muchas más alternativas, siempre que se avale la seguridad al medio ambiente y la salud. La descarga final de los residuos en el recinto respectivo compone el último recurso del manejo y este corresponderá a realizarse en circunstancias ambientalmente apropiadas (MINAM, 2017).

2.4.5. Situación del manejo de los residuos sólidos en el Perú

Esta actividad en el Perú está reglamentada por la “Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos” aprobada por el D.L. N° 1278 y su reglamento aprobado por el D.S. N° 014-2017-MINAM.

Como consecuencia de la inexistencia de vertederos sanitarios, los residuos son colocados en zonas inapropiadas coloquialmente designados botaderos. En el Perú actualmente existen 37 rellenos autorizados y en funcionamiento (MINAM, 2019). Sin embargo no abastecen para la magnitud de desechos sólidos que genera una población de más de 32 millones de habitantes.

El OEFA, en una supervisión realizada en el año 2018 identificó 1585 botaderos en todo el Perú, dentro de ellos solo 27 fueron catalogados como zonas que se encuentran en condiciones de ser transformados en establecimientos formales para la disposición de restos

sólidos. Áncash (149), Cajamarca (123) y Puno (111) se encuentran entre los departamentos con mayor presencia de botaderos, por otro lado Lambayeque (438 ha), Ica (276 ha) y Piura (201 ha) presentan la mayor extensión de áreas afectadas por botaderos.

Así lo menciona el “inventario nacional de áreas degradadas por residuos sólidos municipales realizado por el OEFA”, organismo adscrito al MINAM, en relación con el D.L. 1278, “Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos”.

Los botaderos son puntos de acopio ilícito de desechos sólidos que afectan de manera adversa, generando focos patógenos de gran extensión para el ambiente y la salud de los individuos. Albergan residuos municipales y no municipal (OEFA, 2014).

2.4.6. Situación del manejo de los residuos sólidos en el Cusco

El departamento del Cusco genera alrededor de 451 474 Kg/día de residuos sólidos de los cuales el 6.15% son residuos domiciliarios peligrosos no reaprovecharles, el 44.84% son restos orgánicos de cocina y preparación de alimentos, el 33.49% pertenece a residuos no peligrosos reaprovechables y el 13.07% está compuesto por residuos no peligrosos no reaprovechables (MINAM , 2014). La ciudad del Cusco cuenta con dos rellenos sanitarios, uno de ellos ubicado en el distrito de Anta y el otro en la provincia de Urubamba, sin embargo estos no abastecen la cantidad de residuos sólidos generados por la población Cusqueña, por lo que estos son vertidos en botaderos a cielo abierto causando impactos negativos en el suelo y los recursos hídricos.

Según el “Inventario Nacional de Áreas degradadas” existen 98 zonas degeneradas por residuos en el departamento del Cusco y a nivel provincial dos áreas degradadas (OEFA, 2018).

Además de ello existe 44.20 Ha de superficie degradadas por residuos sólidos a nivel del departamento del Cusco de la misma forma a nivel provincial se reporta 6.49 Ha de superficie con el mismo problema.

2.4.7. Impactos generados por el manejo inapropiado de los residuos sólidos

a) Impactos a la salud de la población

El deficiente cultura ambiental de la humanidad, es arrojar los residuos sólidos en basureros a suelo abierto, lo que acarrea efectos desfavorables en la calidad de aire, agua y suelo, así como afectar a la salud de los habitantes por las emanaciones de gases que producen malos olores e incendios, la formación de lixiviados que contamina los mantos acuíferos, a esto se suma el incremento de la fauna nociva (Ibarrarán, Cortés y Mayett, 2003).

Las principales preocupaciones de las emisiones de gases son la contaminación del aire y los peligros potenciales para la salud. Se cree que la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) es la causa de los riesgos de cáncer en las comunidades locales y contribuye a la formación de ozono en el ambiente (Shen, Nelson y Schmidt, 1990).

Estos escenarios afectan cuantiosamente a la salud de las personas y el medio natural, especialmente los grupos más vulnerables como: niños, mujeres gestantes, población de tercera edad y población en extrema pobreza (Tovar, Losada y Garcia, 2015).

La naturaleza de los residuos sólidos, puede variar según la clase de vida cotidiana de los individuos de cada localidad. Por consiguiente, la interferencia de la salud de las personas es debido a agentes químicos, físicos y biológicos que contienen los restos sólidos, es la primordial consecuencia de una inadecuada gestión de estos en varios estados de américa latina (Acurio, Rossin , Teixeira y Zepeda, 1997).

b) Impactos en el medio ambiente

La vida útil de los residuos sólidos está pasando por una crítica fase, esto se debe a la carencia de disponibilidad de establecimientos adecuados para tratar y eliminar residuos generados diariamente en las ciudades en su mayoría. La inadecuada gestión de estos causa un impacto adverso en los recursos del medio ambiente y la salud de la población. El manejo de los residuos sólidos requiere de instalaciones apropiadas para sus actividades, esto se vuelve

más costoso y complejo debido al crecimiento continuo y no planificado de los centros urbanos. Las dificultades para proporcionar el nivel deseado de servicio público en los centros urbanos a menudo se atribuyen a la mala situación financiera de las corporaciones municipales de gestión (Sharholy, Ahmad, Mahmood y Trivedi, 2008).

Las dificultades de gestión inapropiada de materiales sólidos, no solo traen efectos en el salud humana, sino que están asociados con la contaminación del aire, del suelo y de todos los sistemas acuáticos. Asimismo el deficiente manejo está ocasionando el deterioro de los centros urbanos y del paisaje natural de diversas ciudades (Acurio et al., 1997).

c) Contaminación de los recursos hídricos

Los principales impactos ambientales potenciales relacionados con los lixiviados de vertederos son la contaminación de recursos hídricos del subsuelo y superficial, la contaminación de las aguas subterráneas es probablemente el efecto adverso ambiental más grave de los rellenos sanitarios, ya que, históricamente, gran parte de estos se construyeron sin capas o revestimientos de ingeniería ni sistemas de recaudación de lixiviados. Más recientemente, las regulaciones en varios estados han requerido la instalación capas impermeables y sistemas de recaudación de lixiviados, así como métodos para el tratamiento de lixiviados (Kjeldsen et al., 1993).

El almacenamiento de cualquier material de desecho en un relleno sanitario plantea problemas potenciales. Un problema es la posible contaminación del suelo, las aguas subterráneas y las aguas superficiales que pueden ocurrir a medida que los lixiviados producidos por el agua o los desechos líquidos que entran o salen del relleno sanitario, migran hacia áreas adyacentes. Este problema es importante especialmente cuando se trata de desechos industriales porque muchas de estas sustancias son resistentes a la degradación biológica o química, y por lo tanto, se espera que persistan en su forma original durante muchos años, tal vez incluso durante siglos (Fatta, Papadopoulos y Loizidou, 1999).

La calidad química de los lixiviados cambian de acuerdo con una serie de factores que incluyen la naturaleza original de los elementos de desecho enterrados y las diversas reacciones químicas y bioquímicas que ocurren a medida que los materiales de desecho se descomponen. Las variaciones espaciales en la constitución del lixiviado reflejan principalmente las diferencias en la composición de los desechos y la penetración de agua por medio de la cubierta superficial del vertedero (Kjeldsen et al., 1993).

Además del lixiviado, el gas de relleno contiene una alta concentración de dióxido de carbono, que según se informa presenta un importante potencial de contaminación del agua subterránea debido a su alta solubilidad (Kaszynski, LaFevers, Beck, Harrington y Kremer, 1981).

d) Contaminación Atmosférica

En el momento de la deposición de desechos en un relleno sanitario, el oxígeno está presente en el espacio vacío, lo que da lugar a una descomposición aeróbica durante la cual reaccionan los materiales orgánicos biodegradables rápidamente con oxígeno para formar dióxido de carbono, agua y otros subproductos (por ejemplo, células bacterianas). Si bien un ecosistema de relleno sanitario sufre una fase inicial de descomposición aeróbica corta, la fase anaeróbica subsiguiente es la fase dominante en su edad y la más importante desde la perspectiva de la formación de gas (Fadel, Findikakis y Leckie, 1997).

Si bien el metano y el dióxido de carbono son los dos componentes principales de los gases emitidos por los rellenos terrestres, existe evidencia de que este gas contiene muchos otros constituyentes en cantidades mínimas lo suficientemente significativas como para causar problemas ambientales y de salud (Lytwynshyn et al., 1982; Young y Parker , 1983; Karimi, 1983; Harkov et al., 1985; Young y Heasman, 1985; Wood y Porter, 1986; Rettenberg, 1984, 1987).

e) Contaminación del suelo

Los lixiviados no tratados pueden penetrar el agua subterránea o mezclarse con los sistemas hídricos, por otro lado contribuir al deterioro del suelo, aguas del subsuelo y las aguas superficiales (Deng y Englehardt, 2006).

f) Amenazas a la flora y fauna

El daño ocurre principalmente debido a la deficiencia de oxígeno en la zona de la raíz como resultado de un desplazamiento directo de oxígeno por el gas de relleno. En ausencia de una medida de control de gas en el relleno, este puede migrar hacia arriba debido a los gradientes de concentración y presión, y escapar a la atmósfera mediante la ventilación a través de la cubierta del relleno. Durante este proceso, el oxígeno se desplaza y los rizomas de la vegetación están expuestas a elevadas dosis de dióxido de carbono y metano, los dos componentes principales del gas de relleno. La ausencia de oxígeno provoca la muerte de plantas (Fadel, Findikakis y Leckie, 1997).

Si bien la exposición directa al metano puede no afectar el crecimiento de las plantas, la oxidación del metano cerca de la superficie por bacterias consumidoras de metano (metanótrofos) es otro factor que contribuye a la deficiencia de oxígeno. La liberación de calor durante la oxidación del metano incrementa la temperatura del sustrato, lo que crea un potencial para la asfixia de la planta (Hewitt y McRae, 1985). La generación de CO₂ desde el inicio de la oxidación de CH₄ y el gas de relleno puede ser perjudicial en el desarrollo de las plantas, particularmente en elevadas concentraciones (30 a 45%) (Fadel et al., 1997).

2.5. Lixiviado

Según la Environmental Protection Agency (EPA) el lixiviado se puede definir como cualquier líquido que se filtra por medio de los residuos almacenados y se emite desde o al interior de un vertedero sanitario. Este recoge materiales suspendidos y solubles que se originan o son productos de la degradación de los residuos. Si se permite que este lixiviado migre desde

el sitio, puede representar una grave amenaza para el medio ambiente circundante y en particular para los regímenes de aguas subterráneas y superficiales (EPA, 2003).

Méndez et al. (2009) mencionan que los lixiviados son la consecuencia de la filtración del líquido por medio de estos residuos en transcurso de estabilización; siendo que los líquidos salen a flote o se permeabiliza. Además se conoce como lixiviado a los líquidos resultantes por medio de la desintegración de fracciones orgánicas de los sólidos que se encuentran interactuando por la infiltración de lluvia ya sea por una mala disposición y almacenamiento; teniendo como resultado la dispersión de compuestos orgánicos o tóxicos (Martínez y Montoya, 2013).

Se considera lixiviados a los líquidos que se percolan por medio de los desechos sólidos que provienen de la disgregación del material orgánico e inorgánico. Contienen altas concentraciones de compuestos orgánicos, metales pesados, nitrógeno amoniacal y sales. Su composición química depende de varios factores tales como la climatología, la edad del relleno, la naturaleza química o física de la basura y la geología del terreno (Droppelmann y Oettinger, 2009).

2.5.1. Factores que influyen en la generación del lixiviado

Según EPA (2003) la protección ambiental efectiva requiere un entendimiento de la composición y los volúmenes de lixiviado para la implementación de medidas de control. La composición del lixiviado dentro de un vertedero es único ya que las características del lixiviado varían dependiendo de los residuos depositados.

Según el EPA (2003) los principales factores que influyen en la producción de lixiviados incluyen:

- Condiciones meteorológicas del área
- Composición de los restos sólidos
- Densidad de los residuos

- Edad del desperdicio
- Profundidad del vertedero
- Contenido del humedal
- Tasa de movimiento del agua
- Sistema de cobertura (si existe)

Álvarez y Suárez (2006) afirman que el lixiviado originado en un vertedero sanitario es a raíz de múltiples factores, tales como: vida útil del relleno, composición de los restos sólidos, diseño y operación de relleno sanitario, balance de agua, solubilidad de los sólidos, etapas de conversión bacteriológica, como química, y el contacto de este efluente con el entorno ambiental.

2.5.2. Concentración de contaminantes

Los lixiviados provenientes de los rellenos sanitarios se caracterizan por tener altas concentraciones en los parámetros de DBO₅ y DQO (Alvarado, 2016; Aliaga y Julca, 2014).

Según la EPA (2003) la composición de lixiviado es variable y depende de una serie de factores que incluyen:

- Edad del vertedero
- Composición de los residuos
- Tasa de descomposición dentro del vertedero
- Cantidad de infiltración de agua
- Temperatura

Tabla 5. Concentración de contaminantes de los lixiviados (McBean y Rovers, 1999)

Constituyentes	Concentración (mg/L)		
	1 años	5 años	15 años
DBO	20000	2000	50
TKN	2000	400	70
Amonio - N	1500	350	60
SDT	20000	5000	2000
Cloruro	2000	1500	500
Sulfato	1000	400	50
Fosfato	150	50	--
Calcio	2500	900	300
Sodio y Potasio	2000	700	100
Hierro y magnesio	700	600	100
Aluminio y Zinc	150	50	---

TKN=Nitrógeno Total Kjeldahl

La composición del lixiviado del relleno sanitario municipal muestra una variación notablemente temporal y específica del sitio, con concentraciones reportadas de contaminantes que varían en varios órdenes de magnitud. Los componentes orgánicos biológicamente refractarios, el amoníaco y los metales pesados en los lixiviados son tres cuestiones principales con respecto al tratamiento y la eliminación. El contenido orgánico en el lixiviado se describe generalmente por la DQO, DBO₅ o el carbono orgánico total (COT) (Calace, Liberatori, Petronio y Pietroletti, 2001; Tchobanoglous y Kreith, 2002).

El contenido de los lixiviados para un vertedero de residuos sólidos determinado, no se puede predecir a partir de los datos de la literatura, debido a que los parámetros que influyen en su calidad no son fáciles de justificar. La investigación ha demostrado que la naturaleza de lixiviados de los rellenos sanitarios, tanto de la mismas o diferentes fuentes, es extremadamente variable (Chian y Dewalle , 1976; Bolton y Evans, 1991).

Existen dos principales contaminantes de utilidad en el control y manejo de los lixiviados, el elevado contenido de materia orgánica y NH₄-N (Amonio) presentes en el almacenamiento de residuos. Los mecanismos más esenciales de tratamiento para la nitrificación y la eliminación aeróbica de compuestos orgánicos son procesos con limitación en oxígeno (Nivala, Hoos, Cross, Wallace y Parkin, 2007).

El amoníaco, quizás presente en concentraciones de hasta 2000 mg/L, puede persistir en el lixiviado con el tiempo y puede ser tóxico para los procesos biológicos para el tratamiento de lixiviados. Por lo tanto, el amoníaco ha sido considerado como el componente más significativo en el lixiviado a largo plazo (Kjeldsen et al., 2002).

Wojciechowska, Gajewska y Obarska-Pempkowiak (2010) mencionan que aparte de los componentes orgánicos, el nitrógeno amoniacal es el contaminante principal en el lixiviado; en los vertederos de lixiviados más antiguos se encuentra presente el nitrógeno amoniacal debido a la hidrólisis y fermentación de las fracciones nitrogenadas de sustratos biodegradables.

2.5.3. Concentraciones de metales para lixiviados de residuos sólidos municipales

Existe una amplia variación en las concentraciones informadas de metales pesados de diferentes vertederos (Tabla 6). No obstante, el contenido de metales son bastante bajas, esto ha sido demostrado por varios estudios en los cuales investigadores han reportado metales. La conclusión final de todos estudios afirma que los metales pesados en el lixiviado de rellenos sanitarios en la actualidad no son de gran preocupación (Reinhart y Grosh, 1998; Kjeldsen y Christophersen, 2001; Christensen et al., 1994; Robinson, 1995).

Tabla 6. Concentración de metales del lixiviado (McBean y Rovers, 1999)

Metales	Concentración (mg/L)	
	2 años	10 años
Hierro (Fe)	500-1000	100-500
Calcio (Ca)	500-1000	100-500
Magnesio (Mg)	135	74-927
Manganeso (Mn)	3.7	0.03-79
Arsénico (As)	0.0135	0.0002-0.98
Cadmio (Cd)	0.0135	0.0007-0.15
Cromo (Cr)	0.06	0.005-1.9
Cobre (Cu)	0.054	0.003-2.8
Mercurio (Hg)	0.006	0.0001-0.009
Níquel (Ni)	0.17	0.02-2.23
Plomo (Pb)	0.063	0.005-1.6
Zinc (Zn)	0.68	0.03-350

Los metales pesados son una preocupación debido a su efecto adverso sobre el medio ambiente, aunque Kjeldsen et al. (2002) reportaron que gran parte de los metales en lixiviados estaban dentro de los estándares de agua para consumo humano de los Estados Unidos.

2.5.4. Características de los lixiviados

Las características químicas y composición de los lixiviados varían de manera significativa en relación de múltiples factores como son: la edad del relleno, el clima, la composición de la basura y la geología del terreno (Karadag et al., 2008; Cabeza, Urriaga, Rivero y Ortiz, 2007; Peng et al., 2008).

La coloración del lixiviado se encuentra en el rango de 2000 a 16000 (Unidades de Color), con tonalidades que varían entre el café, pardo o grisáceo cuando se generan con poco tiempo y color negro viscoso cuando llevan mucho tiempo en descomposición dentro del vertedero.

Así también el hedor es soberanamente pestilentes, mientras sus diferencias fisicoquímicas como el COT y DQO que varían en cantidad de materia orgánica como de sustancias inorgánicas como varios metales pesados teniendo como consecuencia la diferencia del pH (Méndez et al., 2009).

Tabla 7. Clasificación de lixiviados de vertedero en relación a la edad (Alvarez-Vazquez, Jefferson y Judd, 2004; Chian y Dewalle , 1976)

	Reciente	Intermedio	Antiguo
Edad (Años)	< 5	5 – 10	> 10
pH	6.5	6.5 – 7.5	> 7.5
DQO (mg/L)	> 10 000	4 000 – 10 000	< 4 000
DBO ₅ /DQO	> 0,3	0,1 – 0,3	< 0,1
Compuestos Orgánicos	80% de ácidos grasas volátiles (VFA)	5 – 30% VFA + húmico y ácidos fúlvicos	Húmicos y ácidos fúlvicos
Metales pesados	Media- Baja		Bajo
N-NH ₃ (mg/L)	<400	--	>400
Biodegradabilidad	Importante	Medio	Bajo

2.5.5. Tratamiento de lixiviados

Méndez et al. (2009) menciona que las opciones de tratamiento que se emplean a los lixiviados que son provenientes de rellenos sanitarios son métodos fisicoquímicos y biológicos, esto se emplea con la finalidad de prevenir como minimizar la contaminación a acuíferos así como aguas superficiales.

El tratamiento y la eliminación de lixiviados líquidos es uno de los problemas más difíciles asociados con el uso de rellenos sanitarios para la eliminación de residuos sólidos. Los lixiviados se producen cuando la lluvia y el agua subterránea percolada se combinan con desechos degradados orgánicos e inorgánicos. La naturaleza altamente variable de los residuos sólidos, las diferencias en edad y descomposición, y la diversidad de reacciones químicas y biológicas que tienen lugar en los vertederos dan como resultado una amplia gama de calidad química de los lixiviados (Kadlec y Wallace, 2009).

Flotación, coagulación, adsorción y filtración por membranas son los métodos fisicoquímicos más comunes para el tratamiento de lixiviados. Por otro lado, los tratamientos biológicos (aerobios, anaerobios y anóxicos), son muy utilizados para remover los compuestos biodegradables (Astorga, 2018).

Por lo general, debe darse una integración de métodos de tratamiento químicos, físicos y biológicos, se utiliza para el tratamiento eficaz del lixiviado del relleno, puesto que es muy complicado obtener resultados agradables al usar solo uno de estos métodos (El-Gohary y Kamel, 2016).

Yalcuk y Ugurlu (2009) afirman que varias sustancias peligrosas en los efluentes de rellenos sanitarios pueden afectar las tecnologías de tratamiento biológicos de los fluidos residuales. Su tratamiento es difícil y a menudo insuficiente; por lo tanto, ponen en grave peligro la calidad de las fuentes cercanas de agua superficial y subterránea. Por lo general, se

recomienda tratar los lixiviados de vertedero en el sitio, sin embargo también se tratan junto con los líquidos residuales domésticas.

En ocasiones, los lixiviados se tratan conjuntamente con los fluidos residuales de origen municipal en plantas convencionales de descontaminación de aguas residuales. Sin embargo, esto puede causar inconvenientes, a causa de la existencia de componentes dañinos, incluido el nitrógeno amónico, que por lo general está presente en altas concentraciones en vertederos de mediana edad; estas son las razones por las que la combinación de varias técnicas de depuración se aplica generalmente (Zgajnar, Tisler y Zagorc, 2009).

Determinar un tratamiento a los lixiviados es fundamental, ya que se busca evitar la potencial contaminación de aguas subterráneas, por otro lado se pueden categorizar según a diferentes tipologías, por ejemplo, las categorías de depuración que se obtenga, o al contaminante que se desee remover (Giraldo, 2001).

Se han realizado muchas investigaciones con respecto a tratamientos adecuados para los lixiviados; no obstante, debido a mezclas heterogéneas en su composición y a la variabilidad de los volúmenes obtenidos, no se pueden extrapolar directamente los resultados obtenidos con tratamientos de un lixiviado a otro. Cada lixiviado proveniente de un vertedero tiene que ser evaluado individualmente y sometido a pruebas para hallar una metodología de tratamiento conveniente para su control y manejo (Méndez et al., 2009).

Para buscar un sistema de tratamiento, es importante saber la antigüedad del lixiviado, debido a su biodegradabilidad que poseen. Así que, para lixiviados jóvenes, se prefieren usar sistemas biológicos, así mismo que para lixiviados viejos es preferible el uso de sistemas fisicoquímicos debido a su baja descomposición (Najera, 2017).

Tabla 8. Eficiencias de remoción de contaminantes en sistemas de humedales artificiales aplicados en el tratamiento de lixiviados

Tipo de tratamiento	% de remoción					Autores
	DBO	DQO	SST	N-NH ₄	P-total	
FL	57-91	41-81,6	59-60	50	49-94	(Mannarino, Ferreira, Campos y Ritter, 2006) (Sawaittayothin y Polprasert, 2007)
FSV	86-97	27-96	81	49-100	29-100	(Aluko y Sridhar, 2005) (Nivala, Hoos, Cross, Wallace y Parkin, 2007) (Lavrova y Koumanova, 2010) (Yalcuk y Ugurlu, 2009)
FSH	26-98	11-94	17-88	38-78	21-99	(Chiemchaisri, Chiemchaisri, Junsod, Threedeach y Wicranarachchi, 2009) (Yalcuk y Ugurlu, 2009) (Wojciechowska, Gajewska y Obarska-Pempkowiak, 2010)

FL =flujo libre; FSV=Flujo Subsuperficial Vertical; FSH=Flujo Subsuperficial Horizontal

2.6. Alternativas de tratamiento de lixiviado

2.6.1. Tratamientos fisicoquímicos

Los tratamientos fisicoquímicos que se emplean en los lixiviados de vertederos se utilizan además en la secuencia de tratamiento (previo o última purificación) así también para tratar un contaminante específico.

a) Flotación

Hasta la fecha se conoce muy pocos estudios que han utilizado la flotación como un tratamiento de lixiviados de vertederos.

Zouboulis, Jun y Katsoyiannis (2003) mencionan que recientemente se investigaron el uso de la flotación en columna, como un paso posterior al tratamiento con la finalidad de eliminar los ácidos húmicos residuales (compuestos no biodegradables) de los lixiviados de

vertederos simulados, en condiciones optimizadas, casi el 60% de eliminación de los ácidos húmicos se ha alcanzado.

b) Coagulación y floculación

La coagulación y la floculación se pueden usar con éxito en el tratamiento de lixiviados de vertederos estabilizados y viejos (Silva, Dezotti y Sant'Anna Jr., 2004; Kang y Hwang, 2000; Monje y Orta de Velasquez, 2004).

Se usa ampliamente como tratamiento previo (Tatsi, Zouboulis, Matis y Samaras, 2003; Amokrane, Comel y Veron, 1997; Ramírez, Durán, Orta de Velásquez y Monje, 2000), antes de la etapa de ósmosis biológica o inversa, o como una etapa de tratamiento de pulido final para eliminar la materia orgánica no biodegradable.

El sulfato de aluminio, el sulfato ferroso, el cloruro férrico y el cloro-sulfato férrico se utilizan comúnmente como coagulantes (Amokrane, Comel y Veron, 1997; Ehrig, 1984).

c) Adsorción

La adsorción por carbón activado se ha utilizado junto con el tratamiento biológico para el tratamiento eficaz del lixiviado de vertedero (Çeçen y Aktaş, 2004; Çeçen y Aktaş, 2001; Morawe, Ramteke y Vogelpohl, 1995; Çeçen, Erdinçler y Kiliç, 2003). Sustancias orgánicas no biodegradables, DQO inerte y el color pueden reducirse a niveles aceptables para lixiviados de vertederos tratados biológicamente. Rodríguez, Castrillón, Marañón, Sastre y Fernández (2004) estudiaron la eficacia de procesos de adsorción de contaminantes y diferentes resinas en la reducción de materia orgánica no biodegradable de lixiviados de vertederos.

d) Oxidación química

La oxidación química es un método ampliamente estudiado para el tratamiento de efluentes que contienen compuestos refractarios tales como lixiviados de vertedero. El creciente interés se ha centrado recientemente en los procesos de oxidación avanzada (POA) (Renou et al., 2008).

Wang, Smith y El-Din (2003) confirmaron que los procesos de oxidación avanzada adaptada a lixiviados viejos o bien estabilizados, se aplica a:

- Oxidar las sustancias orgánicas a sus estados de oxidación más altos estables siendo el dióxido de carbono y el agua (es decir, para alcanzar la mineralización completa).
- Mejorar la biodegradabilidad de los contaminantes orgánicos recalcitrantes hasta un valor compatible con el posterior tratamiento biológico económico.

2.6.2. Procesos biológicos

Debido a su simplicidad, confiabilidad y mayor rentabilidad, el tratamiento biológico se usa comúnmente para la eliminación de altas concentraciones de DBO que tienen los lixiviados de vertederos, por otro lado, los procesos biológicos han demostrado ser muy eficaces en la eliminación de materia orgánica y nitrogenada de lixiviados inmaduros cuando la relación DBO/DQO tiene un valor mayor de biodegradabilidad ($> 0,5$) (Renou et al., 2008).

Los tratamientos biológicos son generalmente usados para remover la DBO de los lixiviados, en particular si se trata de procesos biológicos aeróbicos estos además, pueden nitrificar el nitrógeno amoniacal (Hoilijoki, Kettunen y Rintala, 2000).

a) Tratamiento aerobio

Un tratamiento aeróbico debe permitir una reducción parcial de los contaminantes orgánicos biodegradables y también debe lograr la nitrificación de nitrógeno amónico (Renou et al., 2008).

b) Tratamiento anaerobio

Un tratamiento de la digestión anaerobia de lixiviados permite terminar el proceso iniciado en la punta, siendo por lo tanto particularmente adecuado para tratar con efluentes orgánicos de alta resistencia, tales como corrientes de los lixiviados de los consejos de jóvenes (Pokhrel y Viraraghavan, 2004).

Contrariamente a los procesos aeróbicos, la digestión anaeróbica conserva energía y produce muy pocos sólidos, pero sufre de bajas velocidades de reacción (Berrueta y Castrillón, 1992).

2.6.3. Recirculación de lixiviados

Ngo, Guo y Xing (2009) indican que la recirculación de los lixiviados (incluida la contención de lixiviados, colección, y la recirculación) es apropiado para vertedero situado en áreas cálidas con baja precipitación, y los beneficios de este método es la simplicidad en los costos de operación. Una técnica generalizada utilizada en muchos vertederos consiste en reciclar los lixiviados a través de la punta porque era una de las opciones menos costosas disponibles (Lema, Mendez y Blazquez, 1988).

El reciclaje de lixiviados no solo mejora la calidad de los lixiviados, sino que también reduce el tiempo requerido para la estabilización de varias décadas a 2-3 años (Reinhart y Basel Al-Yousfi, 1996).

Ledakowicz y Kaczorek (2004) afirman que la recirculación de lixiviados puede conducir a la inhibición de la metanogénesis, ya que puede causar altas concentraciones de ácidos orgánicos ($\text{pH} < 5$) que son tóxicos para los metanógenos.

Por otro lado, si el volumen de lixiviado recirculado es muy alto, pueden surgir problemas como la saturación, la acumulación y las condiciones ácidas (Ledakowicz y Kaczorek, 2004).

2.6.4. Sistemas de membrana

a) Biorreactores con membrana

Los biorreactores de membrana se han aplicado ampliamente a gran escala en el tratamiento de aguas residuales industriales y algunas plantas se han adaptado para el tratamiento de lixiviados (Van Dijk y Roncken, 1997).

Sin embargo, pocos estudios de investigación están relacionados con la purificación de lixiviados en vertederos mediante biorreactores de membrana.

b) Ósmosis inversa

Se considera que es uno de los métodos más prometedores y eficientes entre los nuevos procesos para el tratamiento de lixiviados en vertederos. En el pasado, varios estudios, realizados tanto a escala de laboratorio como industrial, han demostrado los rendimientos de la ósmosis inversa en la separación de contaminantes de lixiviados de vertederos (Bilstad y Madland, 1992; Linde, Jönsson y Wimmerstedt, 1995).

c) Proceso fenton

También se ha aplicado exitosamente el reactivo de fenton en la reducción de DQO de agua residual municipal y subterránea, y en el tratamiento de lixiviados, además es útil como pre-tratamiento de compuestos no biodegradables (Domènech, Jardim y Litter, 2001).

2.6.5. Sistemas naturales

Estas tecnologías, como humedales artificiales y lagunas simulan procesos fisicoquímicos y microbiológicos que existen de forma natural. En el tratamiento de lixiviados, tienen la facilidad de ser sistemas con operación muy simple. Al mismo tiempo, existe la posibilidad de alcanzar niveles diferentes procesos de depuración (Renou et al., 2008; Bulc, 2006).

2.7. Tipos de tratamiento de aguas residuales

2.7.1. Tratamiento Preliminar

Kadlec y Wallace (2009) mencionan que el tratamiento preliminar elimina sólidos más grandes de las aguas residuales y los sólidos minerales más pesados que de otro modo podrían erosionar el equipo mecánico, aguas abajo en la instalación de tratamiento

2.7.2. Tratamiento Primario

El tratamiento primario se considera la primera línea de defensa en la depuración de fluidos residuales porque establece el escenario para la mayoría de las tecnologías de tratamiento biológico que siguen, este proceso consta del cribado, eliminación de arenilla y precipitación primaria, esta última se utiliza para reducir inicialmente la alta concentración de sólidos suspendidos totales (SST). Los sólidos sedimentados se eliminan en forma de lodo para su posterior tratamiento, deshidratación y eliminación (Kadlec y Wallace, 2009).

2.7.3. Tratamiento Secundario

Este procedimiento generalmente consiste en la separación de sólidos del agua residual y contenido orgánico diluida por medio de la absorción y el crecimiento microbiano. Por lo tanto, este tratamiento es fundamentalmente una fase biológica donde se alienta a las bacterias y los hongos a crecer en lagunas, tanques mixtos y estanques, o en superficies fijas. Las principales tecnologías de tratamiento secundario son estanques facultativos, lagunas aireadas y lodos activados (Kadlec y Wallace, 2009).

2.8. Botadero Jaquira - Cusco

- **Denominación:** Botadero de residuos sólidos de Jaquira
- **Municipalidad que administra:** Municipalidad Provincial del Cusco
- **Tiempo de actividad:** 16 años
- **Perímetro (m):** 1108.40
- **Área (Ha):** 6.38
- **Área (m²):** 63761.38

El vertedero sanitario de residuos sólidos empezó a funcionar en el mes de Junio del año 2001, pese haber cumplido su vida útil, se realizó ampliaciones del botadero en el año 2016 para prolongar su funcionamiento por cuatro años más; es decir el botadero funcionará hasta el año 2020. Fue supervisado por el OEFA el 11 de junio del 2016, con la finalidad de corroborar

si se cumplieron con las recomendaciones que se hicieron en el 2015 para aminorar los impactos ambientales.



Figura 1. Vista panorámica del botadero de Jaquira

2.8.1. Vías de acceso

El botadero de Jaquira está ubicado a 7.7 Km de la ciudad imperial del Cusco, en el tramo carretera de Cusco – Ccorcca, al sur Oeste de la ciudad del Cusco, comprendida en la comunidad de Jaquira en el distrito de Santiago, Provincia y departamento del Cusco.

2.8.2. Uso anterior y actual del suelo

La primera actividad realizada en el área del vertedero Jaquira, fue la disposición final de desechos sólidos, dicha actividad comenzó desde el año 2002, administrada por la municipalidad provincial del Cusco, desde entonces hasta la actualidad el lugar fue consignado únicamente como centro de acopio final de residuos sólidos.

2.8.3. Tipos y toneladas de residuo que maneja

- Residuos sólidos domésticos
- Residuos industriales (Mínima cantidad)

- Residuos de establecimientos de centros de salud (Mínima cantidad)

A la fecha el relleno sanitario recibe al día aproximadamente 395 ± 10 toneladas de residuos sólidos y almacena desde la fecha de su funcionamiento más de 1 500 000 toneladas aproximadamente, provenientes de los distritos de Cusco, Santiago, Wanchaq, San Sebastián, San Jerónimo y Saylla, cuya población proyectada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) al 2015 es de 450 095 personas.

Por otro lado estos residuos que comprende este vertedero son manejados inadecuadamente, generando impactos negativos mediante focos infecciosos con gran volumen que entran en contacto con el ambiente y en la vitalidad de las personas; carece de control, porque no se compacta ni se reviste, no hay control ni aprovechamiento de los gases generados, asimismo no tiene un control apropiado de los lixiviados

2.8.4. Frecuencia del servicio de disposición final de residuos sólidos

Estas funciones tienen relación en la disposición final de restos sólidos, se efectúa durante las 24 horas del día en todo el año.

2.8.5. Disposición final de residuos sólidos en el botadero Jaquira

Tabla 9. Resumen de disposición final de residuos sólidos en Jaquira Servicio de Limpieza Pública (SELIP , 2010).

Disposición final de residuos sólidos de distritos (TM Anuales)	Año		
	2008	2009	2010
Cusco	38,390.00	38,957.00	41,520.00
Wanchaq	14,363.50	16,531.50	16,959.00
Santiago	17,612.50	18,555.50	17,085.00
San Sebastián	8,170.00	9,675.50	11,976.50
San Jerónimo	5,589.46	5,946.62	6,192.44
Saylla	0.00	0.00	0.00
Ccorcca	0.00	0.00	0.00
Otros	999.03	2,655.54	1,476.93
Total (TM Anuales)	85,124.49	92,321.66	95,209.87

2.8.6. Los gases en el botadero de Jaquira

La producción de metano es por la acción de microorganismos en condiciones anaerobias que degradan la materia orgánica, liberando el metano y otras sustancias químicas como el dióxido de carbono. Los gases producidos en el botadero de Jaquira constituyen un problema debido a que no tiene un tratamiento adecuado, ocasionando problemas ambientales relacionados a estos subproductos. El metano representa la mayor contribución al efecto invernadero. La canalización adecuada de estos gases puede traer grandes beneficios como la obtención de biogás.

2.8.7. Tratamiento de los lixiviados en el botadero Jaquira

Las pozas de oxidación del botadero de Jaquira son convencionales y la degradación de estos líquidos se hace por medio de estabilización y recirculación, sin embargo, la depuración del material orgánico biodegradable no es eficiente, debido a que técnicamente no cuenta con las condiciones adecuadas.

El botadero de Jaquira cuenta con tres pozas de oxidación. El primero ubicado a la entrada del botadero (parte alta) sirve de distribución y estabilización, el segundo de acopio y estabilización y el tercero de retención de los lixiviados que está ubicado en la zona baja donde son descargados lentamente.

2.8.8. Volumen de lixiviado generado

Según el Ingeniero Dante Vargas Rodríguez, residente de Obras de la municipalidad Provincial del Cusco, el volumen del lixiviado que se genera en el vertedero sanitario Jaquira es de 103.68 m³/día, esto cambia en relación al tipo de restos depositados y a la precipitación que se presenta en la zona.

2.8.9. Propiedades organolépticas

a) Color

El lixiviado presenta un color café pardo el cual está relacionado a la antigüedad y degradación del material orgánico en el vertedero de residuos sólidos.

b) Olor

El lixiviado emana un hedor fétido que se impregna en la ropa y los recipientes que lo contengan por su putrefacción del material orgánico como de la antigüedad.

2.9. Biodigestor

Es un sistema que se usa como tratamiento primario de fluidos residuales domésticos, por medio de un proceso de retención y degradación séptica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. El agua tratada es infiltrada hacia el terreno aledaño mediante una zanja de infiltración, pozo de adsorción y/o humedal artificial según el tipo de terreno, prueba de permeabilidad (Rotoplas, 2018).

El diseño de un biodigestor depende directamente de varios parámetros tales como la temperatura ambiente media del lugar donde se vaya a instalar. La temperatura marcará la actividad de las bacterias, cuanto menor sea la temperatura menor actividad tendrán estas, y por lo tanto requerían de un mayor tiempo de retención (Herrero, 2008).

La tecnología del biodigestor no es vista como necesaria por muchos sectores del territorio nacional. Los motivos pueden ser varios; entre ellos, la falta de exigencia por cumplir con las normas ambientales existentes y, en muchos de los casos, la imposibilidad para comprender que existen tecnologías apropiadas a implementar en pequeñas escalas (Pizarro, 2005).

Según Pizarro (2005) para su funcionamiento, el biodigestor necesita de la formación y del estudio del sustrato que requiere el reactor. La composición de este sustrato, a su vez, depende de la biomasa disponible y de su adecuación.

2.9.1. Componentes del biodigestor



Figura 2. Componentes del biodigestor (Rotoplas, 2018)

2.10. Digestión anaerobia

Esta etapa también conocida como biometanización, siendo un proceso biológico sometido a la ausencia de oxígeno, donde la complejidad de los desechos orgánicos se descompone gracias a la labor de varios grupos de microorganismos (bacterias y arqueas) dando como productos finales un biogás y digerido (residuo estabilizado) (Moreno, Moral, García - Morales , Pascual y Bernal, 2014).

La digestión anaerobia es el proceso biológico mediante el cual la materia orgánica, susceptible de ser biodegradada, es transformada por la actividad metabólica bacteriana en ausencia de oxígeno libre, obteniéndose como productos finales: metano y dióxido de carbono, principalmente, y algunos otros gases en menor cantidad; como resultado de la actividad metabólica se obtiene también un incremento de las células microbianas (Gaspar y Sanchez , 1996).

La digestión anaerobia incluye la ruptura de casi todos los tipos de materia orgánica por la acción concertada de una amplia variedad de microorganismos (principalmente bacterias) en

ausencia de oxígeno u otros agentes oxidantes fuertes. Metano y dióxido de carbono son los principales productos finales, con cantidades menores de N_2 , NH_3 , H_2 , y H_2S (usualmente menos del 1% del volumen total del gas) (Bermúdez, Cánovas, Manjón, Iborra y Howell, 1988).

El proceso anaerobio puede ser aplicado en el tratamiento de cualquier agua residual, prácticamente sin importar la procedencia del desecho. El aumento de su uso se debe a las ventajas que tiene sobre otros procesos biológicos, especialmente a que puede ser utilizado con aguas residuales con elevada concentración de materia orgánica, en las que los sistemas aerobios resultan casi imposibles de aplicarse por los costos que implica su operación (Gaspar y Sanchez, 1996).

2.10.1. El proceso microbiológico y bioquímico de la digestión anaerobia

Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen en cuatro fases o procesos de degradación anaerobia en relación al material orgánico.

- **Hidrólisis**
- **Etapa Fermentativa o Acidogénica**
- **Etapa Acetogénica**
- **Etapa Metanogénica**

La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, hidratos de carbono y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se obtienen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que son fermentados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, a ácidos grasos de cadena corta, dióxido de carbono, alcohol, hidrógeno entre otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de

carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de acético, H₂ y CO₂ (Ortega, 2006).

2.11. Humedales artificiales

Son sistemas de fitodepuración de aguas residuales, este sistema comprende un lecho de grava impermeabilizado sobre el cual se plantan y desarrollan cultivos de macrófitas enraizadas. Esta última desarrolla una cadena de complejas interacciones fisicoquímicas y biológicas a través de estas el fluido afluente es depurada progresiva y lentamente (Delgadillo, Camacho, Perez y Andrade, 2010).

Estos son sistemas no convencionales que dependen de procesos microbiológicos, biológicos, físicos y químicos para la depuración de las aguas residuales y que implican bajos costos. Con un diseño adecuado y preciso, además de una operación y mantenimiento apropiado, se logra convertir al tratamiento de afluentes en un proceso de baja energía. Esto se cumple especialmente en comunidades pequeñas, preferentemente de zonas rurales, donde se dispone de grandes áreas para la instalación de los humedales (Barreto, 2014).

Los ecosistemas de estos humedales consiguen actuar como fuentes, fregaderos, o transformadores de nutrientes y carbono, esta capacidad de los humedales ha dado lugar a un uso generalizado de sistemas naturales y contruidos con el fin de mejorar las propiedad de agua (Brix, 1997).

Los humedales Artificiales efectúan los métodos de degradación de contaminantes, por medio de procesos químicos, físicos así como los biológicos que se desarrollan en este, siendo que se da un ambiente con oxígeno como sin oxígeno en el medio filtrante (Yalcuk y Ugurlu, 2009).

Méndez et al. (2009) afirman que algunas propuestas como opción en el tratamiento de estos lechos originarios de los rellenos sanitarios, pueden ser sistemas naturales como: lagunas y humedales artificiales; que tienen la cualidad positiva como facilidad en su operación con la

finalidad de obtener un óptimo tratamiento, a partir un pretratamiento inclusive un tratamiento terciario dependiendo al resultado obtenido.

Por otro lado estos sistemas se vienen estudiando a partir de los años 50 como una ecotecnologías con el propósito de tratar las aguas residuales de múltiples puntos tales como, aguas residuales industriales, escorrentía urbana, origen agropecuario, aguas residuales domésticas, lixiviados de relleno sanitario, entre otros (Vymazal, 2011; Yalcuk y Ugurlu, 2009 ;Kadlec y Wallace, 2009).

Cooper (1999) menciona que los humedales construidos tuvieron inicios en Europa alrededor de veinte cinco años atrás, en donde se sigue manejando con normalidad, por otro lado Martinez-Lopez et al., 2014 afirman que el desarrollo de los humedales para tratar los lixiviados es reciente, puesto que ya se puso en marcha en Europa principalmente y Estados Unidos.

Así también los sistemas naturales, lagunas y humedales construidos, se propusieron como opciones para tratar los lixiviados de vertederos, teniendo a favor la sencillez en su manipulación, y el propósito de obtener varios niveles de tratamiento, desde un pre-tratamiento, hasta un tratamiento tercero en caso de ser necesario (Martinez-Lopez et al., 2014).

Romero, Colín, Sánchez y Ortiz (2009) fundamentan que los humedales artificiales diseñados y construidos correctamente, logran remover contaminantes de las aguas de origen municipal, industrial y de precipitación, principalmente tienen alta efectividad en la descontaminación de los recursos hídricos, como es el caso de fosforo, nitrógeno, sólidos suspendidos, metales e hidrocarburos. Los HA son alternativas efectivas y seguras para tratar y recircular el agua si son mantenidas y operadas debidamente (Miranda, 2000).

Bohórquez (2015) afirma que los HA requieren extensas áreas para la depuración, no obstante tienen facilidad en el mantenimiento y operación. Estos son una de las tecnologías sostenibles más estudiadas por constituir una alternativa viables económicamente que

remueven efectivamente los contaminantes que se encuentran en las aguas residuales procedentes de diferentes actividades (Brix y Arias, 2003; Mena, 2008).

Sánchez (2010) menciona que los humedales artificiales son construidos para la depuración de materia degradable y sólidos suspendidos en aguas residuales, de la misma forma, influye en la degradación de contaminantes como patógenos, nitrógeno, fósforo y metales pesados.

Los humedales construidos desarrollan procedimientos de depuración de contaminantes, similares a los mecanismos que realizan los humedales naturales, por ende se crean condiciones anaeróbicas o aeróbicas. Se clasifican dependiendo del flujo con el que se trabaje, entre estos están, el flujo subsuperficial y superficial o libre. Sus principales elementos son: agua, lecho filtrante (medio de soporte), flora y microorganismos (Mosquera y Borrero, 2012).

En el tratamiento con humedales artificiales, el afluente pasa por diferentes procesos de eliminación de contaminantes, como: precipitación, sedimentación, filtración, volatilización, adsorción, absorción por plantas y procesos microbianos; estos se desarrollan de forma directa o indirecta, ya que son influenciados por condiciones del medio, como la lluvia, la temperatura y la evapotranspiración (Wang, Zhang, Dong y Tan, 2017).

Los humedales construidos facilitan un método alternativo para la manipulación y tratamiento de lixiviado de vertederos, de costos accesibles, facilidad de manejo y tiene la ventaja de eliminar no solo compuestos orgánicos de carbono nitrógeno, sino también los xenobioticos y metales pesados (Ye, Baker, Wong y Willis, 1997; Peeverly, Surface y Wang, 1995).

2.11.1. Ventajas y desventaja de los humedales artificiales

Tabla 10. Ventajas y desventaja de los humedales artificiales (Mosquera y Lara, 2012)

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Tratamientos de alta sostenibilidad	<ul style="list-style-type: none">• Grandes necesidad de áreas de terreno
<ul style="list-style-type: none">• Disminución de costos en la implementación	<ul style="list-style-type: none">• No remueve los contaminantes en su totalidad
<ul style="list-style-type: none">• Bajo costo de operación y mantenimiento	<ul style="list-style-type: none">• La eficiencia es dependiente de factores ambientales
<ul style="list-style-type: none">• No presenta problemas en la colmatación de sustrato	<ul style="list-style-type: none">• Necesita de una tratamiento primario para una mayor eficiencia
<ul style="list-style-type: none">• Alternativas con alta viabilidad	
<ul style="list-style-type: none">• Mayor vida útil	

2.11.2. Clasificación de los humedales artificiales

Delgadillo et al. (2010) indica que la clasificación de los HA pueden con respecto al tipo de macrófitas que utilicen en su operación: Macrófitas fijadas en el medio de soporte (enraizados) y macrófitas flotantes.

Con respecto al tipo de vida de estas macrófitas, los humedales construidos se clasifican de la siguiente manera:

- Macrófitas sumergidas
- Macrófitas enraizadas emergentes
- Macrófitas de hojas flotantes

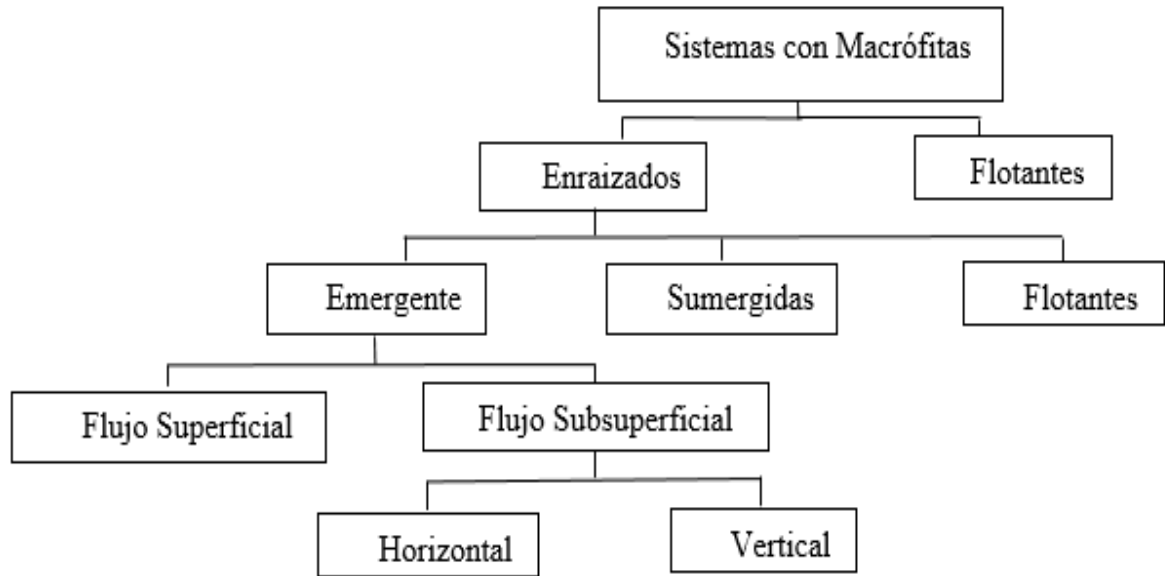


Figura 3. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas (Delgadillo et al., 2010)

a) Humedales artificiales de flujo superficial

Este flujo es aquel donde la circulación del fluido por medio de los tallos de la vegetación y esta en contacto directo con el ambiente. pueden implementarse en zonas turísticas y en lugares de investigaciones multidisciplinarias, por las complejas interacciones biológicas que se generan y establecen, es por ello que este sistema es muy recomendado debido a su capacidad de albergar múltiples especies de anfibios, aves y peces (Delgadillo et al., 2010).

Mosquera y Lara (2012) menciona que los humedales siendo de flujo superficial o flujo sub superficial, brindan alternativas para el tratamiento de estos líquidos que son procedentes de vertederos, con la posibilidad de atenuar las diferencias del líquido a tratar, dependiendo del período de retención que tendrá este efluente.

b) Humedal artificial de flujo subsuperficial

La circulación del agua en los sistemas de flujo subsuperficial, se caracterizan por realizarse por medio de un sustrato (subterráneo), aproximadamente con 0.6 m de profundidad. Asimismo las especies vegetativas son colocadas en el medio de soporte, donde el fluido entra

en contacto con las raíces y rizomas de las plantas. Este humedal se clasifica: con respecto a la forma de aplicación de agua al sistema, humedales de flujo subsuperficial vertical y humedales de flujo subsuperficial horizontal (Delgadillo et al., 2010).

Chiemchaisri (2009) menciona que los estudios desarrollados utilizaron este tipo de tratamiento reportan que los humedal subsuperficial tuvo como resultado una remoción del 27 - 98%, 11,1 - 96% y 17,3 - 88% para DBO, DQO Y SST correspondientemente.

- **Humedales subsuperficial de flujo horizontal**

Consiste en una cama rectangular plantado con la caña común (*Phragmites Australis*), forrado con una membrana impermeable, las fluidos residuales se alimenta por la entrada (Inflow) y pasa lentamente a través del medio de filtración al interior la superficie de la cama, en un recorrido horizontal llegando alcanzar el punto de salida (Outflow) donde se recoge antes de la descarga (Vymazal, 2005).

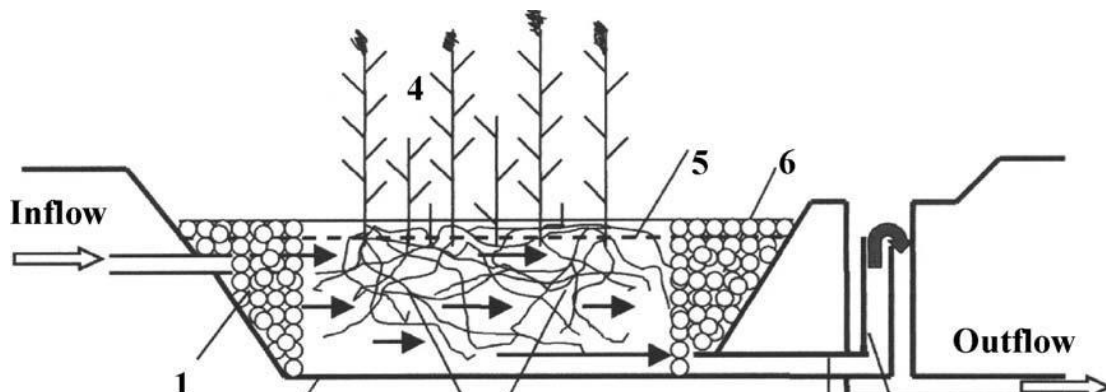


Figura 4. Representación esquemática de un humedal construido con el flujo de subsuperficial horizontal (Vymazal, 2005)

1, zona de distribución lleno de piedras grandes; 2, el revestimiento impermeable; 3, el medio de filtración (grava, piedra triturada); 4, la vegetación; 5, el nivel de agua en el lecho; 6, zona de recogida lleno de piedras grandes; 7, el tubo de drenaje de recogida; 8, estructura de salida para el mantenimiento del nivel de agua en el lecho. Las flechas indican solamente un patrón de flujo general.

Vymazal (2005) afirma que los HA de flujo subsuperficial horizontal son una solución viable para descontaminación de aguas residuales para pequeñas fuentes de contaminación especialmente cuando sólidos en suspensión y orgánicos son el objetivo del tratamiento. La remoción de material orgánico (DBO₅ y DQO) y los sólidos suspendidos es muy alta y constante durante el tiempo de operación. La eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo) es baja y no supera el 50% para las aguas residuales municipal.

- **Humedales subsuperficial de flujo vertical**

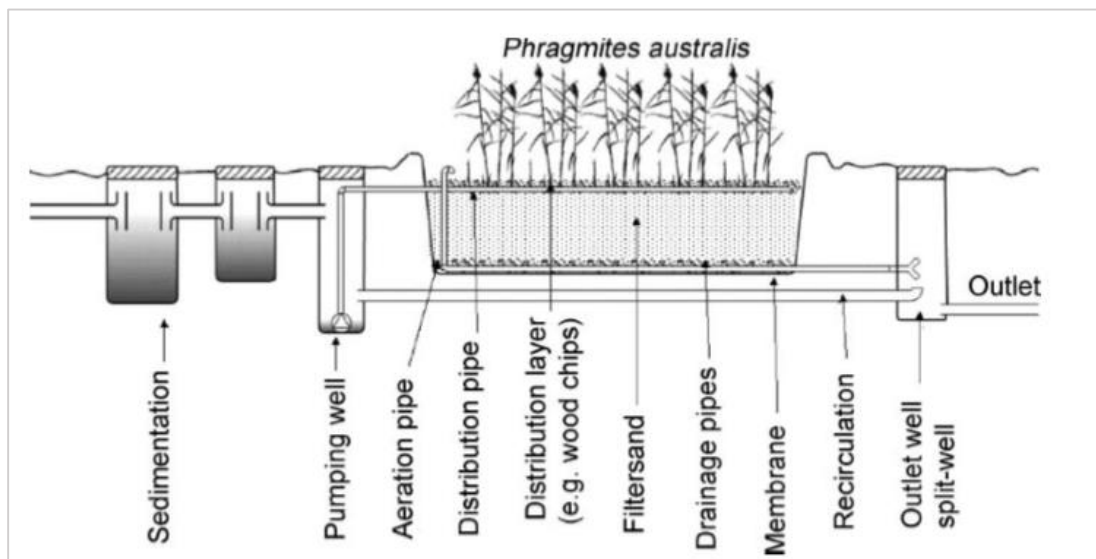


Figura 5. Sistema de humedal construido de flujo vertical (Brix y Arias, 2005)

2.12. Ventajas y desventajas de los humedales de flujo vertical y horizontal

Tabla 11. Ventajas y desventajas de los lechos de caña entre el flujo vertical y horizontal (Luederitz, Lange- Weber, Lange, Gersberg y Eckert, 2001)

	Ventajas	Desventajas
Flujo Vertical	<ul style="list-style-type: none">• Menor demanda de la zona• Buena oxigenación, alta nitrificación la hidráulica sencilla• Alto rendimiento de purificación desde el principio.	<ul style="list-style-type: none">• Distancia corta de flujo• Pobre desnitrificación• Mayores exigencia técnicas• Perdida de rendimiento en la eliminación de P (Saturación)
Flujo Horizontal	<ul style="list-style-type: none">• Largas distancias de fluido• Posibilidad de nitrificación y desnitrificación• Formación de ácidos húmicos para la eliminación de N y P.• Ciclo de vida más largo	<ul style="list-style-type: none">• Mayor demanda de área• Cálculo cuidadoso de la hidráulica necesaria para un óptimo suministro de O₂• El suministro de agua residual igual es complicado

2.13. Microorganismos

La parte de mayor importancia en el funcionamiento de los humedales construidos son los microorganismos, dependerá de ellos la eficiencia en la eliminación de contaminantes (Romero, et al., 2009).

2.14. Vegetación

Existen plantas de varias especies y formas de enraizarse en el medio de soporte, entre los más importantes oficios se encuentran el suministro de oxígeno, la absorción de nutrientes, la relación simbólica que se establece con las bacterias presentes, y la filtración de contaminantes (Brix, Arias y Bubba, 2001).

La importancia de la variedad de especies de plantas acuáticas que se usen, radica en que estos juegan un papel importante en su capacidad de descontaminación del agua residual, en la eliminación de contaminantes específicos, de compuestos traza y de sustancias con potencial tóxico, como metales pesados (Gopal, 1999).

La aplicación de algunos géneros de vegetación fueron común y generalmente admitidas en la utilización de humedales artificiales, como es el caso del *Phragmites australis*, *typha latifolia*, *Typha angustifolia*. La mayor parte de estos no son oriundas de áreas cálidos y en ciertos casos son considerados especímenes invasoras (Kulmatiski, Beard, Meyerson, Gibson y Mock, 2010).

Variedades típicas son la caña común (*Phragmites communis* y *Phragmites australis*), de crecimiento rápido, vía rizomas; se extienden lateralmente y forman una capa muy densa en un año, con plantas espaciadas cada 0,6 m. Las raíces pueden penetrar en grava aproximadamente 0,4 m (Aliaga y Julca, 2014).

Tabla 12. Especies de vegetación utilizadas en humedales construidos (Stottmeister et al., 2003)

Nombre científico	Nombre Común
<i>Phragmites australis</i>	Caña Común
<i>Juncus</i> spp.	Juncos
<i>Scirpus</i> spp.	Juncos
<i>Typha angustifolia</i> L.	Espadaña de hoja estrecha
<i>Typha latifolia</i> L.	Espadaña de hoja ancha
<i>Pseudacorus Iris</i> L.	Bandera Amarilla
<i>Acorus calamus</i> L.	Cálamo
<i>Glyceria máximos</i> (Hartm.) Holmb	Carrizales
<i>Carex</i> spp.	Juncias

2.14.1. Criterios de selección de especies en humedales artificiales

Según Luna-Pabello y Aburto-Castañeda (2014) la selección de las especies en el humedal artificial se lleva a cabo considerando su función estética (ornato) y capacidad para remover contaminantes (depuradora). A continuación se señalan los criterios de selección:

- Tolerancia a los niveles de sedimentos y calidad del agua que presenta
- Adaptabilidad a los medios de soporte con concentración mineral.
- Profundidad de la raíz adecuada (entre 0.40 y 0.60 m).

- Fuerza de empuje moderada de crecimiento en raíz.
- Resistencia a un amplio intervalo de temperatura, en particular a los registrados en el lugar.
- Tolerancia a exposición prolongada a los rayos directos del sol.
- Resistencia a concentraciones variables de contaminantes.
- Compatibilidad con la biopelícula de microorganismos.
- Sencillez de manipulación.
- Facilidad de propagación.
- Disponibilidad a lo largo del año.
- Estética (color, talla y tamaño).
- Facilidad de mantenimiento, transporte y compra.

2.14.2. Categorización de las plantas macrófitos

Tres grupos de macrófitos acuáticos (Figura 6) pueden distinguirse sobre una base de la morfología y la fisiología (Wetzel, 2001).

I. Las macrófitas emergentes crecen en suelos saturados de agua o sumergidos desde donde el nivel freático está a unos 0,5 m al interior de la superficie del suelo hasta donde el sedimento se cubre con aproximadamente 1,5 m de agua, por ejemplo, *Acorus calamus*, *Carex rostrata*, *Phragmites australis*, *Schoenoplectus (Scirpus) lacustris*, *Typha latifolia*).

II. Las macrófitas de hojas flotantes están enraizadas en sedimentos sumergidos en profundidades de agua de aproximadamente 0,5 a 3 m y poseen hojas flotantes o ligeramente aéreas, por ejemplo, *Nymphaea odorata*, *Nuphar luteum*).

III. Las macrófitas sumergidas ocurren en todas las profundidades dentro de la zona fótica. Las angiospermas vasculares, por ejemplo, *Myriophyllum spicatum*, *Ceratophyllum demersum*) ocurren solo hasta aproximadamente 10 m (presión hidrostática 1 atm) de la altura del agua y las macroalgas no vasculares ocurren hasta el límite inferior de la zona fótica (hasta 200 m, por ejemplo, *Rhodophyceae*).

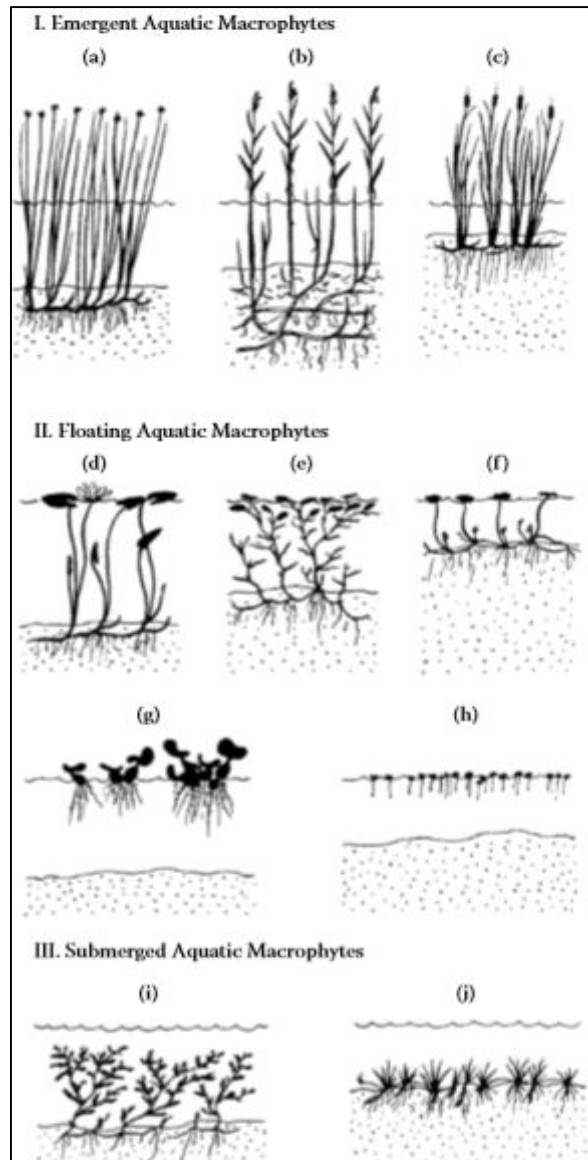


Figura 6. Forma de vida de macrófitas acuáticas (Brix y Schierup, 1989)

Las especies ilustradas son (a) *Scirpus (Schoenoplectus) lacustris*, (b) *Phragmites australis*, (c) *Typha latifolia*, (d) *Nymphaea alba*, (e) *Potamogeton gramineus*, (f) *Hydrocotyle*

vulgaris, (g) *Eichhornia crassipes*, (h) *Lemna minor*, (i) *Potamogeton crispus*, (j) *Littorella uniflora* (Brix y Schierup , 1989).

Tabla 13. Resumen de las principales funciones de los macrófitas en humedales de tratamiento construidos (Brix, 1997)

Propiedad Macrofitas	Papel en el proceso de tratamiento
Tejido de la planta aérea	<ul style="list-style-type: none"> • Atenuación de la luz → la reducción del crecimiento del fitoplancton • Influencia sobre el microclima → aislamiento durante el invierno • Disminución de la velocidad del viento → reducción del riesgo de resuspensión • La apariencia estética agradable del sistema • El almacenamiento de nutrientes
Tejido vegetal en el agua	<ul style="list-style-type: none"> • Efecto de filtrado → Expulsa residuos de gran tamaño • Reducir la velocidad de la corriente → aumentar la tasa de sedimentación, reduce el riesgo de resuspensión • Proporcionar un área de superficie para biopelículas adjuntas • La excreción de oxígeno fotosintético → aumenta la degradación aeróbica • La absorción de nutrientes
Raíces y rizomas en el sedimento	<ul style="list-style-type: none"> • La estabilización de la superficie del sedimento → menos erosión • Evita que el medio de la obstrucción en los sistemas de flujo vertical • La liberación de oxígeno aumento degradación (y nitrificación) • La absorción de nutrientes • La liberación de los antibióticos

2.14.3. Carrizo (*Phragmites Australis*)

El *Phragmites Australis*, conocida como la caña común, es una gran hierba perenne encuentra en muchos ecosistemas acuáticos a lo largo de las regiones templadas y tropicales del mundo (Aysu, 2014).

Bonanno y Pavone (2016) afirman que el *phragmites australis* pertenece a la familia poaceae y vive en aguas eutróficas y estancamiento, con tallos y corredores horizontales de hasta 2-6m y 6-10m respectivamente, y hojas lanceoladas, 20-60cm de largo y 2,3cm de ancho.

El *phragmites australis* se adapta a una amplia gama de condiciones del suelo y puede prosperar en pantanos, marismas de marea, a lo largo de lagos y ríos. Puede tolerar condiciones anaeróbicas en el suelo, una variedad de condiciones de nutrientes y puede sobrevivir a un intervalo de pH de 3.7 – 8.7 (Tilley y St Jhon, 2012).

Aparte de su uso en un humedal construido, *phragmites australis* es una de las especies de plantas que comúnmente se encuentra creciendo de forma natural en un ambiente contaminado, como zonas industriales y mineras, las cañas comunes a nivel mundial fueron evaluados que crecen en tales ambientes en presencia de contaminantes (Bananno, 2013).

Bello, Tawabini, Khalil, Boland y Saleh (2018) afirman que el *phragmites australis* puede ser considerado adecuado para la fitorremediación en la acumulación de contaminantes principalmente metales pesados almacenándolos en sus raíces, brotes y en sus hojas entre ellos se obtiene cadmio como plomo bajo pH neutro y el estado de agua dulce, así también la fitorremediación de níquel bajo condiciones de pH básico (pH 10) y la condición de agua salina (agua subterránea).

Las plantas de los humedales tienen la capacidad para adsorber, tomar y concentrarse o metabolizar contaminantes, así como para liberar exudados de la raíz que mejoran la biotransformación compuesto y la degradación microbiana (Haberl et al., 2003; Amaya et al., 2006; Imfeld et al., 2009).

Las macrófitas emergentes como el *phragmites australis* y la *thypha latifolia*, son utilizados generalmente en estos métodos para tratar los lixiviados de rellenos sanitarios (Wang et al., 2017). La alta salinidad del lixiviado puede alterar algunas plantas acuáticas, aunque de acuerdo con informes de la literatura, la planta comúnmente más utilizada en estos sistemas de humedales construidos son las *phragmites australis* (Weis, Glover y Weis, 2004; Choi, Ro y Chang, 2005; Lissner y Schierup, 1997).

Tabla 14. Aplicación del carrizo (*Phragmites australis*) en la remoción de contaminantes del lixiviado

Especie	Autores
Carrizo (<i>Phragmites australis</i>)	(Sanford, 1999) (Sun y Austin, 2007) (Lavrova y Koumanova, 2010) (Peveryly y Surface, 1995)

En la tabla 14, muestra la aplicación del carrizo por varios autores en la descontaminación del lixiviado ya sea a escala piloto o real. La plantación del *phragmites australis* ha demostrado que estas se pueden desarrollar presentando un buen crecimiento durante la operación del sistema de tratamiento, especialmente cuando son plantadas sobre grava gruesa de diámetro de partícula de 4 centímetros (Peveryly et al., 1995).

2.15. Mecanismos de remoción de contaminantes

Según la ONU-HABITAT (2008) menciona que un humedal construido es una red compleja de aguas residuales, lecho filtrante y plantas, asimismo de una selección de bacterias. La descontaminación en los humedales se consigue a través de diferentes complejos procedimientos fisicoquímicos y biológicos, como se muestra en figura 7. Las plantas cumplen un rol primordial, debido a que facilita una superficie y un entorno adecuado tanto para el desarrollo de los microorganismos como para la filtración.

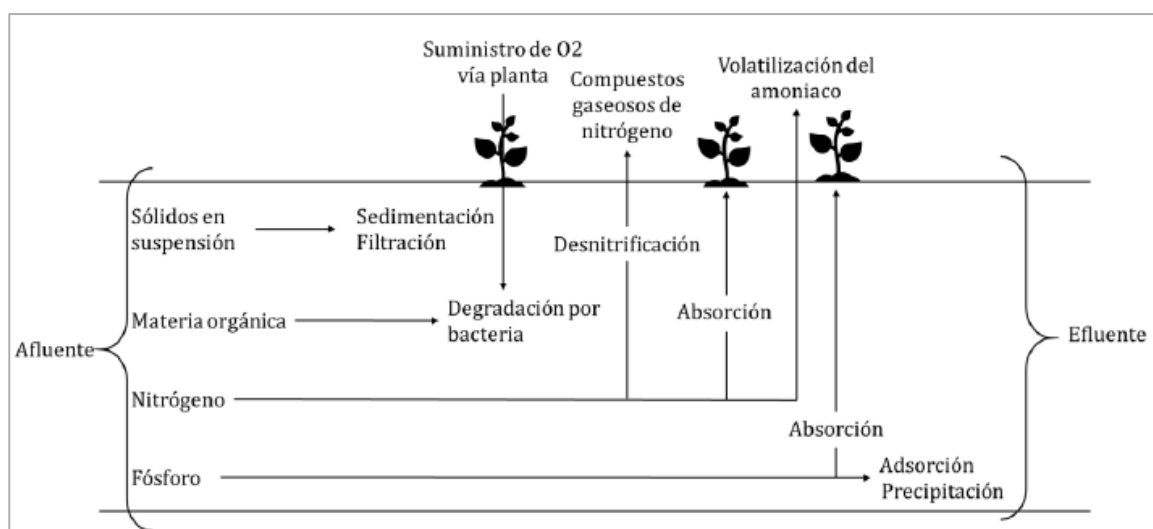


Figura 7. Mecanismos de remoción de contaminantes en humedales artificiales (Arias y Brix, 2003).

Tabla 15. Mecanismos de eliminación de contaminantes en humedales artificiales (Cooper , Job , Green y Shutes , 1996)

Componentes de las aguas residuales	Mecanismos de remoción
Sólidos en suspensión	Sedimentación Filtración
Orgánicos solubles	Degradación microbiana aeróbica Degradación microbiana anaeróbica
Fósforo	Adsorción de la matriz Absorción por la planta
Nitrógeno	Amonificación seguida por nitrificación microbiana Desnitrificación Absorción por la planta Adsorción de la matriz Volatilización del amoníaco (Principalmente en sistemas de flujo superficial)
Metales	Adsorción e intercambio catiónico Complexación Precipitación Absorción por la planta Oxidación/ Reducción microbiana
Patógenos	Sedimentación Filtración Degradación natural Depredación Irradiación UV (Sistema de flujo superficial) Excreción de antibióticos por las raíces de los micrófitos.

El humedal artificial por medio de la filtración y sedimentación remueve de forma positiva los sólidos en suspensos como los sedimentados que no fueron removidos en el anterior tratamiento. El crecimiento y desarrollo bacteriano en suspensión, como adherido, es encargado de la eliminación de componentes orgánicos solubles, que son descompuestos biológicamente, de forma anaeróbica como aeróbica. La degradación aeróbica requiere de oxígeno, lo cual es brindado de manera directa desde la atmósfera por difusión o por liberación desde las raíces de las plantas hacia la rizosfera, sin embargo, la transmisión de oxígeno desde raíz es mínima (ONU-HABITAT, 2008).

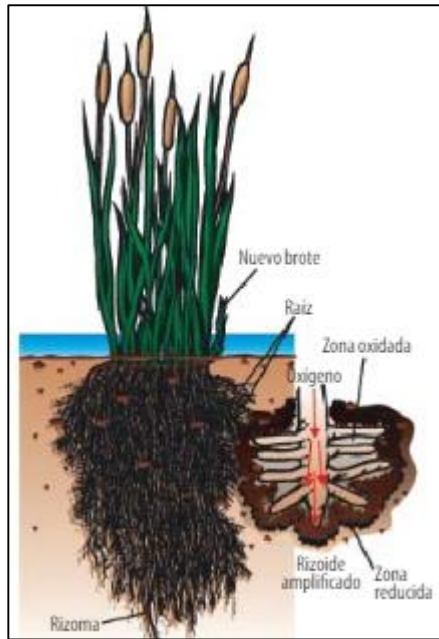
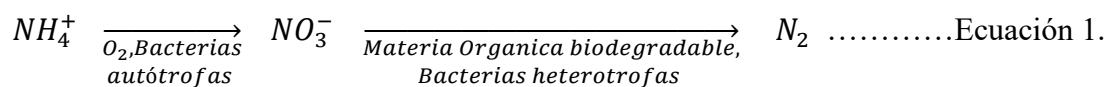


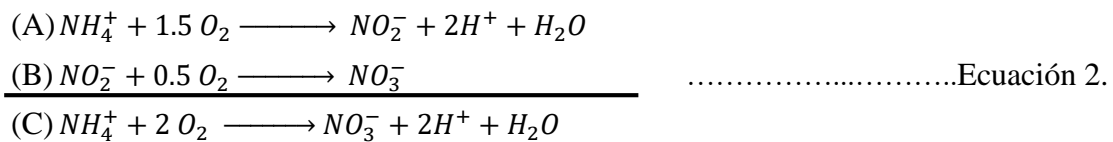
Figura 8. Transferencia de oxígeno desde las raíces (Wetlands International, 2003)

La precipitación, adsorción, el almacenamiento, la absorción por la planta y la asimilación biótica, son mecanismos para la eliminación del fósforo en los humedales construidos (Watson, Reed, Kadlec, Knight y Whitehouse, 1989).

La eliminación del nitrógeno en los humedales artificiales se da mediante mecanismos que constan de la nitrificación/desnitrificación, volatilización, amonificación, absorción por la vegetación y la adsorción de la matriz (Figura 9). El mecanismo de remoción más importante en gran parte de estos sistemas es la nitrificación/desnitrificación microbiano. El amoniaco se oxida y se convierte en nitrato por acción de microorganismos nitrificantes en presencia de oxígeno. El nitrato se transforma en nitrógeno gaseoso, a través de microorganismos desnitrificantes en zonas anaeróbicas y anóxicas como se muestra en la ecuación 1 (Wang et al., 2017).



En primer lugar la ecuación 2 muestra las reacciones A, B y C donde la nitrificación ocurre mediante la oxidación del amonio por bacterias autótrofas a nitritos, y luego a nitratos en presencia de oxígeno, se requieren 4 mg de O₂ para oxidar 1 mg de amoniaco a nitratos (Cooper et al., 1996).



En segundo lugar la ecuación 3 muestra la desnitrificación, donde el nitrato es reducido por bacterias heterótrofas a nitrógeno molecular gas en ausencia de oxígeno y presencia de carbono orgánico (glucosa), considerado un proceso de remoción de nitrógeno total, se puede representar como se muestra en la reacción D.

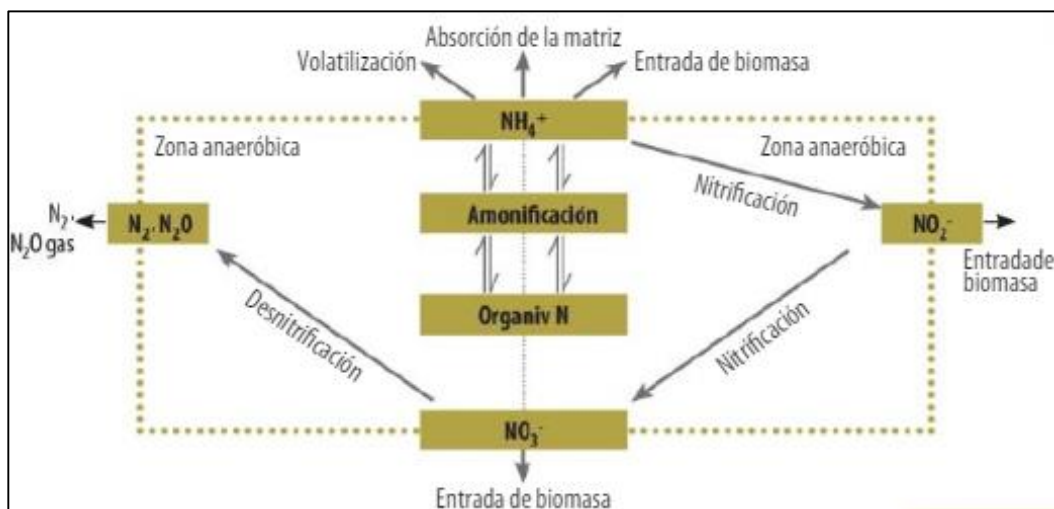
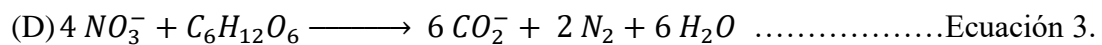


Figura 9. Diagrama del metabolismo del nitrógeno en humedales artificiales (Cooper et al., 1996)

La adsorción, sedimentación, filtración, precipitación, intercambio catiónico, absorción por la planta y las reacciones mediante los microbios, especialmente la oxidación, constituyen procesos de eliminación de metales en los humedales construidos (Watson et al., 1989).

Algunos tipos de humedales disponen de una alta capacidad para la adsorción directa de metales. La adsorción involucra la agrupación de iones de metal a la superficie matriz o a la vegetación, puesto que las bacterias producen la precipitación de sulfuros y óxidos de metal dentro de estos sistemas.

Durante el paso de las aguas residuales, los patógenos son removidos a través del sistema, especialmente por medio de la filtración adsorción por biomasa y sedimentación. Después que estos organismos son retenidos dentro del humedal, reduce enseguida su cantidad, a razón de procesos de descomposición natural y depredación (Cooper et. al, 1996).

2.16. Medio filtrante

El lecho filtrante también denominado como sustrato, medio granular o medio poroso, juegan un rol importante en el funcionamiento de humedales de flujo sub-superficial entre estos, promover la sedimentación como la filtración de contaminantes, dar soporte a las plantas, y permitir que los microorganismos se adhieran (Li et al., 2010).

2.16.1. Criterios para la selección del lecho filtrante

La característica fundamental requerida para el material del lecho filtrante es su resistencia al desgaste provocado por las aguas residuales, la cual debe garantizar que el lecho no se deteriore con el transcurso del tiempo; la granulometría del material tiene una influencia directa sobre la eficiencia del tratamiento y la capacidad hidráulica del humedal. Por tal razón, la elección del diámetro de partícula debe realizar con el objetivo de lograr un equilibrio entre la capacidad hidráulica y la eficacia de eliminación del humedal (Villarroel, 2012).

2.16.2. Sustratos

Un excelente medio de filtración es la arena, forman como base de sistemas de filtros para tratamiento de agua para consumo humano e inclusive para el tratamiento terciario de aguas residuales. Fundamentalmente, es un material comprendido en la superficie terrestre, que tiene un diámetro de 60 μm a 2 mm (Kadlec y Wallace, 2009).

Así también la grava es otro material utilizado en estos sistemas, proviene comúnmente de los lechos de los ríos y conocida como canto rodado, así mismo puede ser originaria de los depósitos de roca o canteras. La dimensión es alrededor de 2 a 64 mm (Kadlec y Wallace, 2009). Los poros son más grandes por el tamaño de la partícula, por ende el agua drena con facilidad, lo que indica que no se satura fácilmente (García et al., 2010).

Tabla 16. Tamaño, porosidad y conductividad hidráulica según el tipo de sustrato (Reed, Crites y Middlebrooks, 1995).

Tipo de sustrato	Tamaño efectivo D_{10} (mm)	Porosidad n (%)	Conductividad hidráulica K_s ($m^3/m^2/d$)
Arena gruesa	2	28-32	100-1.000
Arena gravosa	8	30-35	500-5.000
Grava fina	16	35-38	1.000-10.000
Grava media	32	36-40	10.000-50.000
Roca gruesa	128	38-45	50.000-250.000

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODO

La investigación que se desarrolló es un sistema de tratamiento a escala piloto que consta de un Biodigestor y Humedales Artificiales de Flujo Sub Superficial Horizontal (HAFSSH) plantada con carrizo (*Phragmites Australis*), para ello se utilizaron diferentes materiales y método durante la ejecución del proyecto.

3.1. Lugar de muestreo de lixiviado

La zona de muestreo del lixiviado fue desarrollada en el botadero de Jaquira ubicado en el departamento del Cusco.

3.1.1. Ubicación geográfica y política

- **Ubicación Geográfica**

Coordenada Este: 822848 m E

Coordenada Norte: 8499907.00 m S

Zona: 18 L

Latitud: 13°31'21" S

Longitud: 71°58'2.4" O

Altitud: 3369 m.s.n.m.

- **Ubicación Política**

Localidad: Jaquira

Distrito: Santiago

Provincia: Cusco

Departamento: Cusco

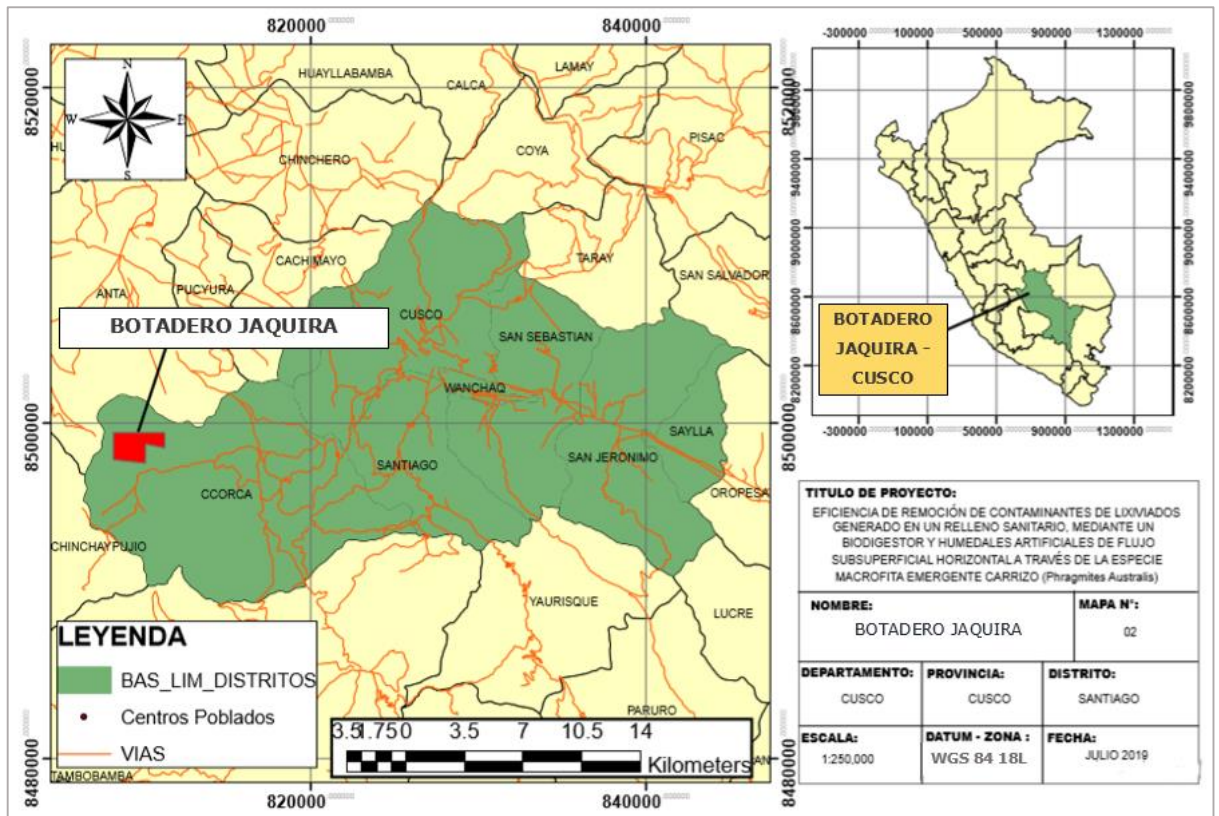


Figura 10. Mapa de ubicación del lugar de muestreo del lixiviado



Figura 11. Imagen satelital del lugar de muestreo del lixiviado (Google Earth, 2019)

3.1.2. Temperatura

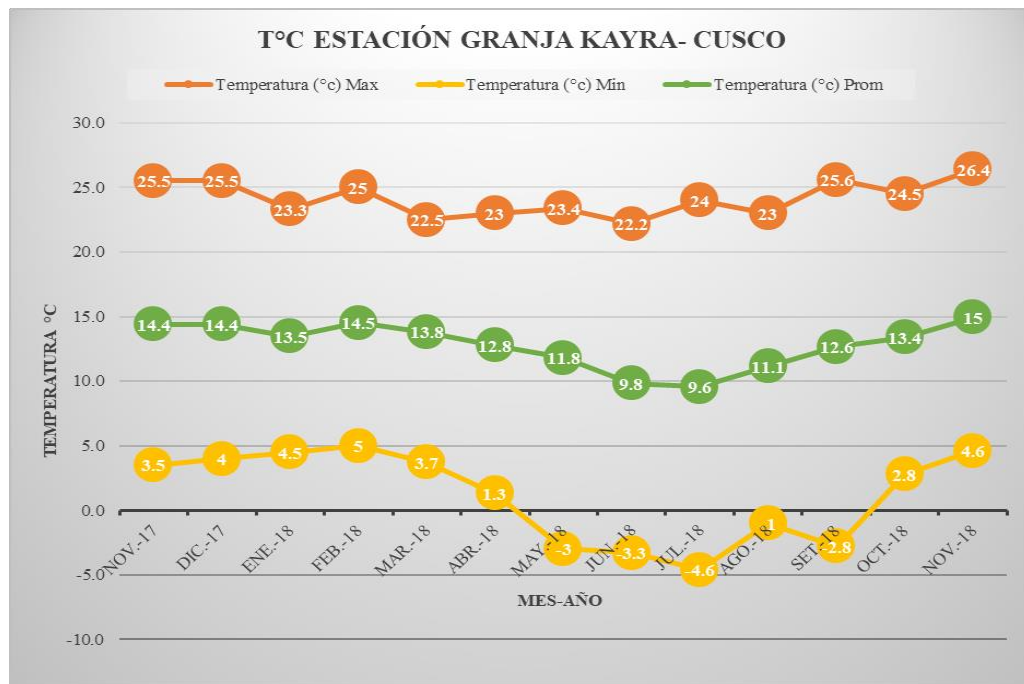


Figura 12. Temperatura del lugar de muestreo del lixiviado (SENAMHI, 2019)

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) “Estación Kayra” la temperatura en el departamento del Cusco fue en promedio 12.7 °C. El mes de julio tuvo la temperatura promedio más baja del año, fue de 9.6 °C, mientras que el mes de noviembre presentó la temperatura promedio más alta con 15 °C.

3.1.3. Precipitación

La precipitación es de 693 mm al año, el mes más seco fue junio, con 3 mm con un promedio de 154 mm, la mayor precipitación se mostró en enero, la diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso fue de 151 mm (SENAMHI, 2019).

3.2. Lugar de ejecución del proyecto

La zona del proyecto de investigación está ubicado en la Asociación “los Víquez” Mz. B Lt. 1 Carapongo – Lurigancho – Lima – Lima (Figura 13).

Los análisis de los parámetros (DBO₅, DQO, fósforo total, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal y coliformes fecales) fueron desarrollados por el Laboratorio de ensayo DELTA LAB S.A.C. Acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL DA-Perú, con registro N° LE- 077 ubicado en la Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. “A” Lt.6 – Asociación Nuestra Sra. De la Merced – Ate Vitarte - Lima.

Los siguientes parámetros (conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez, pH, temperatura y sólidos disueltos totales) fueron ensayados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental perteneciente a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, con dirección Km 19.5 Carretera central Ñaña, Lurigancho Chosica - Lima - Lima.

3.2.1. Ubicación geográfica y política

- **Ubicación Geográfica**

Coordenada Este: 297327.72 m E

Coordenada Norte: 8672906.19 m S

Zona: 18 L

Latitud: 11°59'14.8" S

Longitud: 76°50'31" O

Altitud: 543 m.s.n.m.

- **Ubicación Política**

Departamento: Lima

Provincia: Lima

Distrito: Lurigancho – Chosica

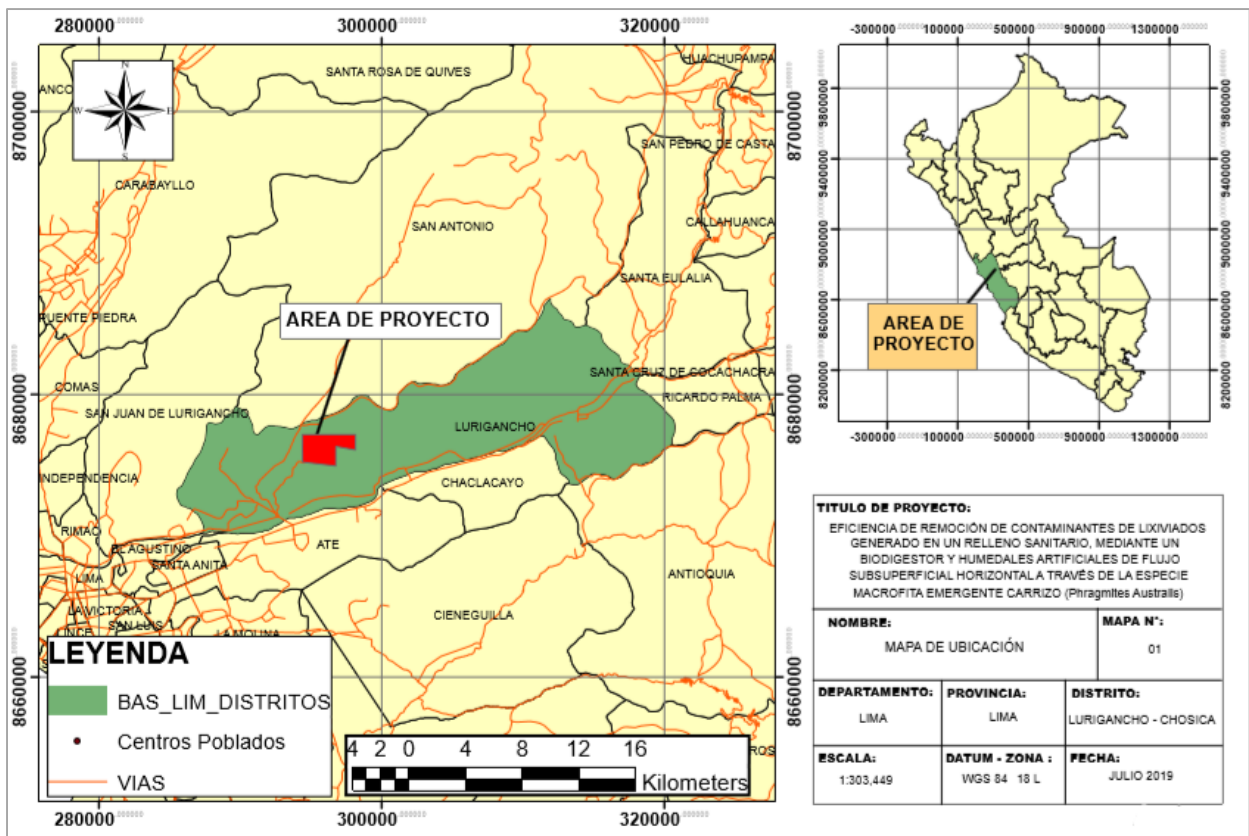


Figura 13. Mapa de ubicación del área del proyecto



Figura 14. Imagen satelital del área de proyecto (Google Earth, 2019)

3.2.2. Temperatura

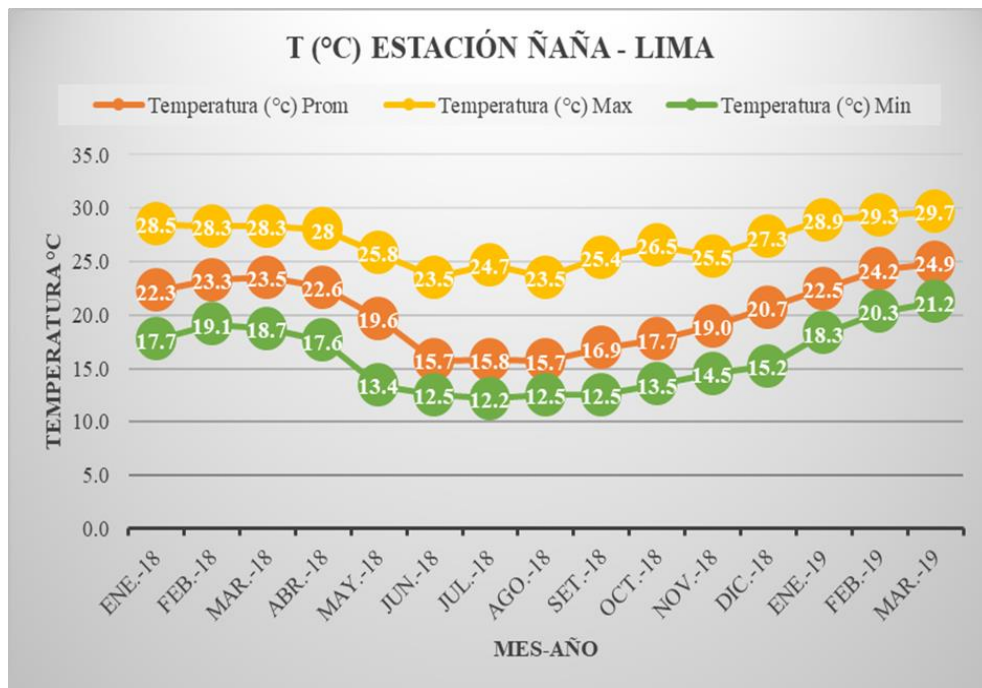


Figura 15. Temperatura del área de proyecto (SENAMHI, 2019)

Según el SENAMHI, En la estación ñaña del departamento de Lima se reportó una temperatura promedio de 19.4 °C. El mes de agosto tuvo la temperatura promedio más baja del

año, siendo de 15.7 ° C, mientras que el mes de marzo presentó la temperatura promedio más alta con 24.9 °C.

3.2.3. Precipitación

La precipitación promedio en el departamento de Lima fue de 16 mm al año, la menor cantidad de lluvia se reportó en marzo el promedio de este mes es 0 mm. En julio la precipitación alcanzó su pico, con un promedio de 3 mm, la variación en la precipitación entre los meses más secos y más húmedos fue de 3 mm (SENAMHI, 2019).

3.3. Tipo de investigación

El presente trabajo es de tipo pre experimental, la característica principal de este tipo de estudio es que se pueden hacer mediciones antes y después de aplicar las variables independientes (Lerma, 2016).

Arias (1999) afirma que la investigación experimental consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones (Variable independiente), para observar los efectos que se producen (Variable dependiente). En este estudio se manipulan variables independientes, como la dosis de lixiviado y el tiempo de retención con el fin de medir su efecto en las variables dependientes.

El presente estudio tiene un enfoque cualitativo y cuantitativo, según Hernandez, Fernandez y Baptista (2006) usa la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

3.4. Diseño de investigación

Los resultados fueron analizados utilizando el software estadístico R para evaluar si existen diferencias significativas antes y después del tratamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos aplicando el diagrama de cajas (box plots).

El diagrama de cajas se utiliza con frecuencia para comparar datos en un tratamiento, una ventaja de este tipo de gráfico es que compara la distribución de una misma variable para diferentes grupos, en dicho diagrama, la caja se encuentra limitada en su parte superior por el cuartil tercero, y en su parte inferior por el primero, la línea horizontal incluida dentro de la caja representa la mediana, los bigotes simbolizan los valores de la variable máxima (superior) y mínima (inferior), si existe alguno que esta fuera de los límites inferior o superior de la caja se le denomina atípico (outliers) (Rahlf, 2017).

Asimismo mediante Software Statistica 13.4 se aplicó un diseño de bloques completos al azar (*DBCA*), este se utiliza cuando se quieren comparar ciertos tratamientos o estudiar el efecto de un factor, esta estrategia es la más recomendable que permite tener resultados de una comparación, cada medición será el resultado del efecto de una variable en el tratamiento (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

Además se realizó la prueba normalidad mediante la prueba de *Shapiro-Wilk*, ya que es utilizado para comprobar si unos determinados datos han sido extraídos de una población normal, en esta prueba los parámetros a trabajar son la media y la desviación típica, y dicha prueba es aplicable para muestras menores que 50 ($n < 50$) (Shapiro y Wilks , 1965).

3.5. Descripción general del sistema de tratamiento

El tratamiento de lixiviados se realizó mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo sub superficial horizontal utilizando la especie Carrizo (*Phragmites Australis*), como tratamiento primario y secundario respectivamente, a su vez, se acondicionaron otras instalaciones, como la captación de aguas residuales, tanque de almacenamiento, controlador de caudal, cámara de lodos y tubería de aireación.

Asimismo, se realizó la dilución de la concentración de 1% (1 litro) de lixiviado en 100 litros de agua residual, este proceso tuvo un periodo de funcionamiento de 15 días, donde se

recogieron muestras y se analizaron en tres tiempos de retención de 5, 10 y 15 días, de la misma manera se desarrolló para la concentración de 3% (3 litros) de lixiviado.

3.6. Muestreo y transporte de lixiviados en el botadero de Jaquira

3.6.1. Muestreo

El lixiviado utilizado es proveniente del botadero de residuos sólidos de Jaquira, ubicado en el departamento del Cusco. Para determinar la composición fisicoquímica y microbiológica del lixiviado se realizó el muestreo correspondiente tomando como guía el “Protocolo nacional para el monitoreo de calidad de los recursos hídricos superficiales” estandarizado por la ANA, y lo establecido por la Agencia de Protección del medio ambiente (EPA). Los materiales utilizados durante el muestreo se exponen en la tabla 21.

3.6.2. Transporte del lixiviado al área de trabajo

Las muestras fueron enviadas vía terrestre al departamento de Lima para el análisis correspondiente en el laboratorio Delta Lab. S.A.C. ubicado en la Carretera Central km 9.3, Mz. A - Lt. 6, av. Ntra. Sra. de la Merced-Ate, Lima. Se transportaron en un Cooler refrigerados y preservados.

Asimismo, se transportó en un envase un total 12 litros de lixiviado que fueron conservados en el laboratorio mencionado anteriormente, a partir de ello se utilizaron progresivamente para las concentraciones de 1 y 3% durante el desarrollo de la investigación.

3.7. Implementación del sistema de tratamiento

La implementación del sistema de tratamiento tiene que proporcionar condiciones óptimas para que el proyecto funcione apropiadamente y se logren eficiencias máximas de remoción. El sistema está compuesto por un tratamiento primario (Biodigestor) y un tratamiento secundario (HAFSSH).

Kadlec y Wallace (2009) mencionan que el tratamiento primario con procesos convencionales suele ser recomendable antes de la descarga en un humedal debido a la posible

sobrecarga de los sólidos o la demanda de oxígeno que podría crear condiciones molestas dentro de un humedal que recibe aguas residuales crudas o tratadas inadecuadamente.

El tratamiento secundario generalmente consiste en la eliminación de sólidos de aguas residuales y materia orgánica disuelta, es el nivel mínimo de tratamiento que se requiere antes de la descarga en la mayoría de las aguas receptoras (Kadlec y Wallace, 2009).

3.7.1. Zona de captación de agua residual

Para la conducción y recolección de las aguas residuales se instaló una manguera de 15 metros, desde el punto donde se encuentra canal de riego, hasta el tanque de almacenamiento, esta zona tuvo un desnivel de aproximadamente 10 metros entre estos puntos, esto facilitó la captación del agua por medio de la gravedad.

3.7.2. Implementación del tanque de almacenamiento

Básicamente es un tanque de plástico que tiene una capacidad de 140 litros, donde se realizó las diluciones de cada concentración en 100 litros de agua residual. El tanque de almacenamiento tuvo una pendiente de 1% respecto al biodigestor logrando de esta manera que el líquido fluya por gravedad.

El tanque cuenta con un orificio de 1" de diámetro en la base, donde se instaló la tubería de 1" para la salida del efluente hacia el siguiente proceso. Entre el tanque de almacenamiento y el biodigestor se colocó una llave de paso de 1" para regular el ingreso del agua al sistema anaerobio.

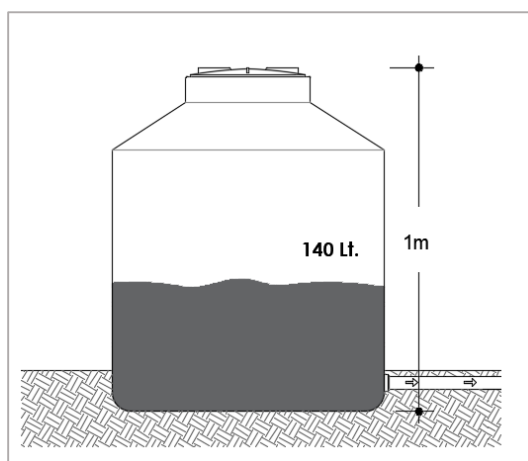


Figura 16. Implantación del tanque de almacenamiento

3.7.3. Implementación del biodigestor

Los materiales utilizados para la construcción del biodigestor a escala piloto se enumeran a continuación en la tabla 17.

Tabla 17. Materiales utilizados en la construcción del biodigestor

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR		
1.1	Bidón	20L	1
1.2	Envase hermético	2L	1
1.3	Aros PETS	Unidad	100
1.4	Tubería de 1"	m	5
1.5	Tubería de ½"	m	2
1.6	Reducción de 1" a ½"	Unidad	1
1.7	Codo ½" de 90°	Unidad	1
1.8	T de ½"	Unidad	1
1.9	Unión de 1"	Unidad	1
1.10	Llave de paso 1"	Unidad	2
1.11	Llave de paso ½"	Unidad	1
1.12	Pegamento de tubería	Pomo	1
1.13	Teflón ½" x 0.075 x 12	Unidad	2
1.14	Soldimix	Unidad	2
1.15	Plástico negro	m	2
1.16	Cinta adhesiva	Unidad	1
1.17	Ladrillos	Unidad	10
1.18	Tacho	Unidad	1

Para la construcción del biodigestor se utilizó un bidón de plástico con una capacidad de 20 litros de una forma cónica que favoreció en la acumulación de lodos, a este envase se le realizó dos orificios, de entrada y salida ambos 1" de diámetro, y un orificio de ½" para la extracción de lodos.

A esta unidad se le incorporó un recipiente plástico hermético de dos litros, en el cual se ubicó los aros pets. Después de construir el biodigestor, se realizó una excavación de 0.50m de diámetro con una profundidad de 0.60m donde se instaló el biodigestor.

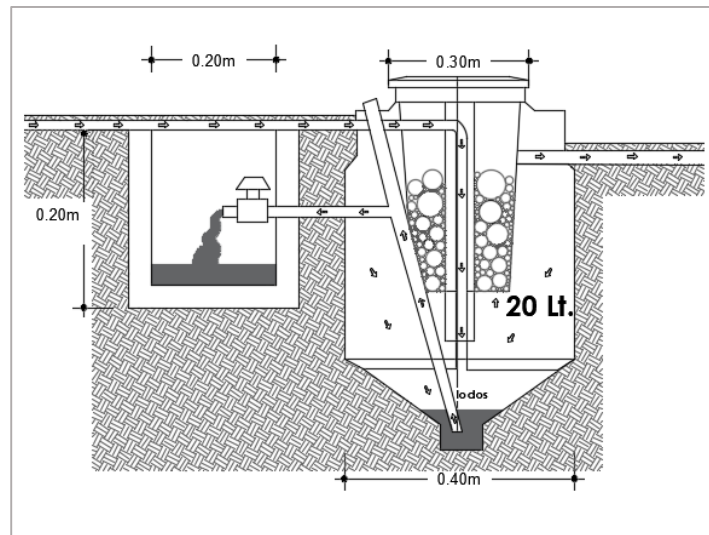


Figura 17. Implementación del Biodigestor

3.7.4. Cálculo del caudal de ingreso al humedal artificial

El cálculo del caudal de entrada al humedal artificial se realizó siguiendo los procedimientos del “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos superficiales” RJ N°010-2010-ANA. Los materiales utilizados para el aforo del caudal de detallan en la tabla 18.

Tabla 18. Materiales para la medición de caudal

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	MATERIALES PARA LA MEDICIÓN DEL CAUDAL		
1.1	Balde	4 Litros	1
1.2	Guantes	Unidad	2
1.3	Cronómetro	Unidad	1
1.4	Bata	Unidad	2
1.5	Calculadora	Unidad	1
1.6	Lapicero	Unidad	1
1.7	Cuaderno	Unidad	1

Para el cálculo del caudal se aplicó el método volumétrico, esta metodología se usa para medir el flujo en una tubería y no tiene aplicabilidad para cuerpos de agua, el cual se ejecutó de la siguiente manera.

a) Medición del tiempo (T).

- Se utilizó un balde de 4 litros para coleccionar el agua que permitió conocer el caudal.
- Un cronómetro
- Se calculó el tiempo que toma llenar el volumen de agua en el balde graduado.

b) Medición del volumen (V).

- El volumen del recipiente fue de 4 litros.

c) Cálculo del caudal

Para obtener el caudal, se dividió la cantidad de agua recolectada en el recipiente entre el tiempo que toma recolectar respectivo volumen.

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

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

T = Tiempo (seg).

V = Volumen (m³)

3.7.5. Implementación del humedal artificial subsuperficial horizontal

La implementación del humedal artificial inicia con la limpieza del terreno, retirando malezas, basura. Posterior a ello se realizó la excavación de la cama del humedal en forma rectangular, las dimensiones de este se determinaron mediante la demanda bioquímica de oxígeno y el caudal de ingreso, siendo sus medidas de 1.96m y 0.98m de largo y ancho respectivamente con una profundidad de 0.60m.

Luego el HA fue revestido con una geomembrana para impermeabilizar la excavación, este cuenta con un lecho filtrante dividida en tres sustratos que fueron ubicados por capas.

La primera capa ubicada a la base fue de grava fina de 20 mm con una altura de 0.15 metros, encima de ello se ubicó la arena gruesa de 2 mm con una altura de 0.15 metros, finalmente en la parte superficial se puso la grava media de 40 mm con una altura de 0.10 metros, además de ello en la zona lateral de entrada y salida del efluente se puso grava media de 40 mm con una altura de 0.40m para facilitar el paso del agua residual. A esta unidad se le adecuó una pendiente de 1%, para mantener la gradiente hidráulica necesaria para que el sistema opere por gravedad.

Finalmente se realizó una prueba hidráulica para ver el funcionamiento del humedal, el cual consistió en agregar agua residual a todo el proceso, para detectar fugas o estancamiento.

Los materiales utilizados durante la implementación del humedal artificial se muestran en la tabla 20.

a) Composición del lecho filtrante utilizado en el humedal artificial

El tamaño, porosidad y conductividad hidráulica del sustrato utilizado se caracterizó según la tabla 19.

Tabla 19. Caracterización del sustrato empleado en el humedal artificial

Tipo de sustrato	Tamaño efectivo (mm)	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica K_s ($m^3/m^2/d$)
Arena gruesa	2	28-32	100-1 000
Grava fina	20	35-38	1 000-10 000
Grava media	40	36-40	10 000-50 000

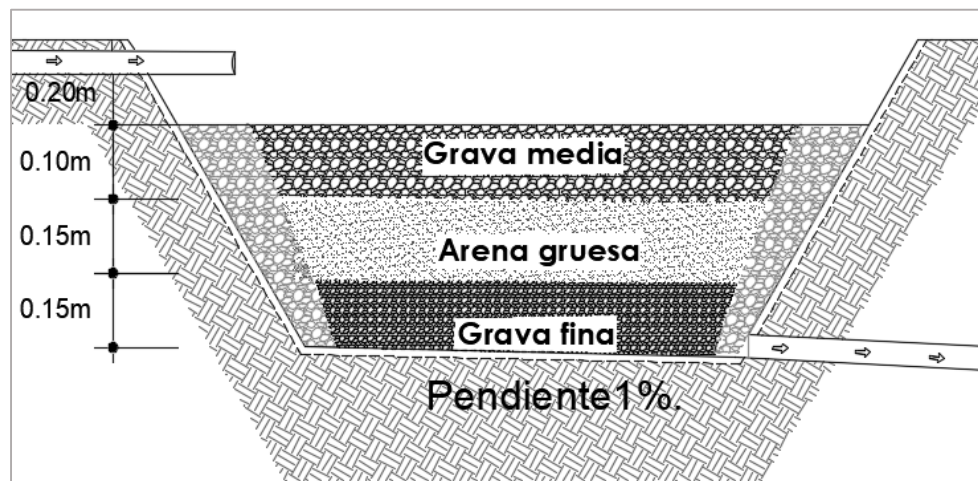


Figura 18. Lecho filtrante del humedal artificial

b) Implementación de la tubería de aireación

El suministro de oxígeno en el sistema de humedales artificiales se realizó mediante una tubería de 4" de diámetro, este se encargó de distribuir el aire dentro del sistema natural, se ubicó en la parte central del HA en forma vertical, logrando de esta manera la ventilación uniforme dentro del sistema.

c) Plantación del carrizo

El carrizo crece en la misma zona del proyecto por lo que facilitó el trasplante de estos hacia el humedal artificial. El sistema fue plantado con un total de 18 plantaciones en un área de $2 m^2$, tres y seis plantas de ancho y largo respectivamente con una separación de 0.20m entre cada rizoma.

Las plantas utilizadas tuvieron un tamaño inicial promedio de 1.20 m, con un diámetro de 1 cm y una antigüedad de 3 a 4 meses. Al final del tratamiento la vegetación tuvo una altura de 1.80 m, con un diámetro de 2 cm, teniendo un crecimiento de 60 cm en 5 meses.

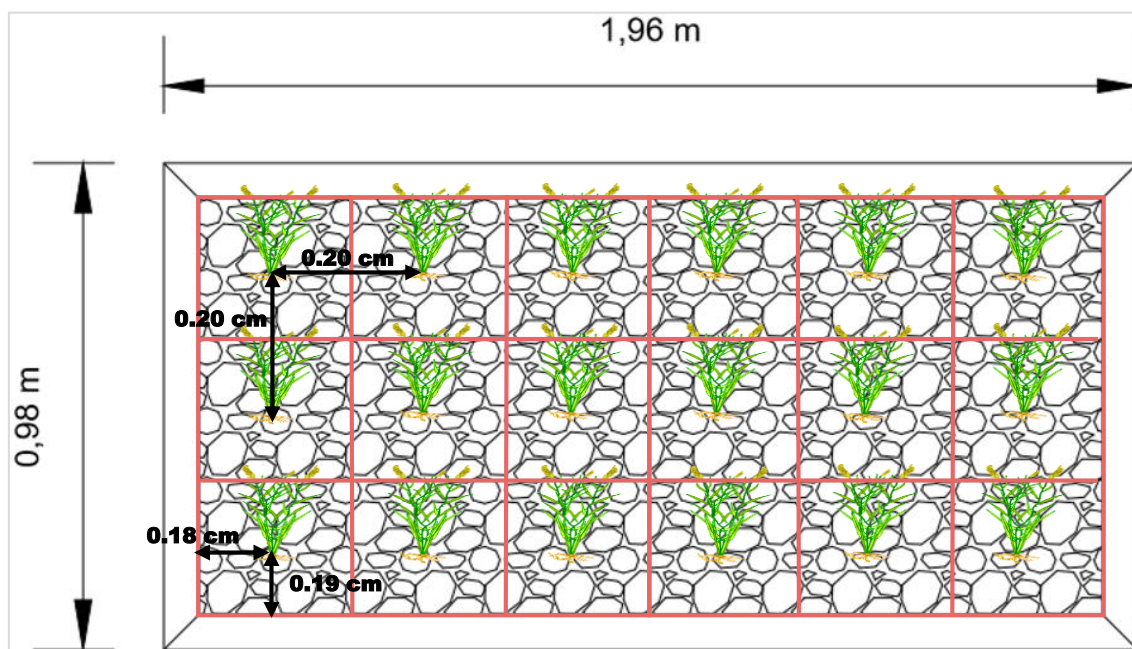


Figura 19. Plantación del carrizo (*Phragmites australis*)

Tabla 20. Materiales e instrumentos utilizados en la construcción del humedal artificial

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HAFSSH		
1.1	Geomembrana	m	10
1.2	Tubería de 4"	m	3
1.3	Malla filtrante	m	1/2
1.4	Grava media	m ³	1
1.5	Grava fina	m ³	1
1.6	Arena gruesa	m ³	1
1.7	Reducción de 4" a 2"	Unidad	1
1.8	Ladrillos	Unidad	10
2	INSTRUMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HAFSSH		
2.1	Pico	Unidad	1
2.2	Pala	Unidad	1
2.3	Barreta	Unidad	1
2.4	Guantes de construcción	Unidad	1
2.5	Wincha	Unidad	1
2.6	Cierra	Unidad	1

3.8. Flujo de agua a través del sistema de tratamiento

3.8.1. Captación de agua residual

El agua residual que se utilizó como parte del tratamiento para la dilución del lixiviado fue captada del canal de riego ubicado en la misma zona del proyecto, estas aguas residuales pasan previamente por una reja gruesa que impide el paso de objetos de gran tamaño, posteriormente pasa al tanque de almacenamiento.

3.8.2. Tanque de almacenamiento

El agua proveniente de la zona de captación se dispuso en el tanque de almacenamiento, esta unidad se ubicó con una pendiente de 1% respecto al biodigestor, el cual le dará la altura de presión necesaria para facilitar que el lixiviado diluido con el agua residual fluya con facilidad al siguiente proceso.

3.8.3. Unidad del biodigestor

En esta unidad llega el flujo proveniente del tanque de almacenamiento, el nivel del agua dentro del biodigestor se mantuvo por encima de la tubería de salida para que tenga un flujo de salida continuo, a su vez se mantuvo el biodigestor hermetizado y sin fugas por ser un sistema anaerobio.

3.8.4. Dispositivo de control del caudal

Este dispositivo (Llave de paso) se instaló después del biodigestor, el cual se encargó de regular el flujo de agua que pasa hacia el humedal artificial. Además el caudal de agua se mantuvo constante durante el tiempo de estudio, para no alterar el sistema de tratamiento.

3.8.5. Sistema de humedales artificiales

El efluente de salida del biodigestor se dispuso en el humedal artificial, esta es la etapa más importante dentro de todo el sistema de tratamiento puesto que fue básicamente la investigación.

3.9. Puesta en marcha del sistema de tratamiento

La puesta en marcha del sistema de tratamiento se realizó en dos fases, la primera solo con aguas residuales y la segunda con concentraciones de lixiviado al 1 y 3%.

Dichas fases se detallan a continuación:

3.9.1. Puesta en marcha con aguas residuales

Esta fase del sistema de tratamiento operó básicamente con aguas residuales durante un periodo de 3 meses, donde se realizó el proceso formación y adecuación microorganismos dentro del biodigestor como en el humedal artificial, estos microorganismos fueron encargados del tratamiento en el sistema, su formación y presencia fue vital para que el sistema funcione eficientemente, es por eso que esta etapa es importante durante la investigación, donde se tuvo el control de los distintos parámetros de funcionamiento como el caudal de entrada y el suministro de oxígeno dentro del humedal.

Se realizaron monitoreos continuos de los siguientes parámetros (pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, solidos disueltos totales) estos se analizaron cada cinco días. Además de ello se observó continuamente el crecimiento y adecuación del carrizo (*phragmites Australis*) al sistema de tratamiento.

Esta etapa finalizó cuando el sistema alcanzó su máxima eficiencia de remoción de los parámetros mencionados anteriormente, donde los valores se mantuvieron constantes, es decir los resultados de los análisis no variaron significativamente, a su vez cuando el sistema y la especie emergente carrizo (*phragmites Australis*) se adecuaron completamente.

3.9.2. Puesta en marcha del lixiviado diluido en agua residual

La segunda fase de la puesta en marcha del sistema, fue cuando este empezó a operar con concentraciones de lixiviado al 1 y 3%, una vez que todo el sistema de tratamiento y el carrizo (*phragmites Australis*) se adecuaron completamente.

El tratamiento del lixiviado inició con la concentración de 1%, se hizo la dilución de 1 litro de lixiviado con 100 litros de agua residual en el tanque de almacenamiento, seguidamente esta solución inicio su recorrido a través de las tuberías al biodigestor y finalmente fue dispuesta al humedal construido, con un tiempo de retención hidráulico de 15 días.

Después de finalizar el tratamiento del lixiviado con la concentración de 1%, se realizó el lavado del todo el sistema con agua residual durante 10 días, con la finalidad de eliminar la acumulación de contaminantes de la primera concentración y este no influya en la siguiente dilución.

Después de concluir con el periodo de lavado se inició con la concentración de 3%, se hizo la dilución de 3 litros de lixiviado con 100 litros de agua residual en el tanque de almacenamiento, seguidamente esta solución inicio su recorrido a través de las tuberías al biodigestor y finalmente fue dispuesta al humedal construido con un TRH de 15 días.

El caudal de salida del biodigestor hacia el humedal fue graduado para que la solución de 100 litros abasteciera a todo el sistema de tratamiento durante 7.5 días, por lo que se hizo el procedimiento de dilución en dos ocasiones para cada concentración, puesto que el sistema de tratamiento duró 15 días por cada concentración de lixiviado.

3.10. Pruebas realizadas

3.10.1. Pruebas de campo

Se considera a aquella que se realizó en la misma zona de investigación.

a) Prueba hidráulica

Esta prueba se realizó con el objetivo de verificar si existen fugas en todo el sistema de tratamiento y garantizar la minimización de pérdidas de la cantidad de agua a tratar. Para la ejecución de este procedimiento se llenó con agua residual todas las unidades por un día, logrando de esta manera que el sistema funcione eficientemente.

3.10.2. Pruebas de laboratorio

Son los análisis que se realizaron en el laboratorio de saneamiento ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión. Asimismo se llevaron muestras al laboratorio Delta Lab S.A.C. para su análisis respectivo.

a) Determinación de Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica y SDT

Los parámetros en mención se midieron con de un multiparámetro, se colocó la muestra en un vaso precipitado de 100ml y se procedió a analizar. Se analizó tres veces cada uno de estos parámetros por cada cinco días, durante todo el tiempo que duró la parte experimental de la investigación.

b) Determinación de Turbiedad

Este parámetro se determinó utilizando el medidor de turbiedad, se requirió 30ml de muestra para este estudio. Se analizó en tres oportunidades por cada cinco días, durante todo el tiempo que duró la experimentación de la investigación.

c) Determinación de Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto se obtuvo a través del oxímetro, se utilizó un vaso precipitado de 250ml, este parámetro así como los anteriores, fue medido tres veces por cada cinco días durante todo el tiempo que duró la parte experimental del estudio.

3.11. Muestreo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológico antes y después del tratamiento

Se consideró como referencia el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” estandarizado por la ANA. Los materiales utilizados durante el muestreo de detallan en la tabla 21.

Tabla 21. Materiales de muestreo

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	MATERIALES DE MUESTREO		
1.1	Cooler	Unidad	1
1.2	Guantes	Par	12
1.3	Mascara Quirúrgica	Unidad	2
1.4	Bata	Unidad	2
1.5	Balde	10 Litros	2
1.6	Hielo	Ice Pack	3
1.7	Botella DBO	1L	13
1.8	Botella DQO	1/2L	13
1.9	Botella Nitrógeno total	1/4L	13
1.10	Botella Coliformes Fecales	1/4 L	13
1.11	Botella Nitrógeno Amoniacal	1L	13
1.12	Botella Fosforo total	1/4L	13
1.13	Preservante H ₂ SO ₄ 1:1	Frasco	1
1.14	Tiras indicadoras de pH	Cajetilla	1

Según el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” se tiene que seguir el siguiente procedimiento de muestreo (Ana y Minagri, 2016).

- Durante el muestreo de la demanda biológica de oxígeno se utilizó una botella de plástico de 1000ml para el respectivo análisis del parámetro.
- Para el muestreo de la demanda química de oxígeno se utilizó un frasco de plástico de 500ml, la muestra fue preservado con H₂SO₄ hasta obtener un pH < 2.
- Para el muestreo de parámetros microbiológicos (Coliformes Termotolerantes) se utilizó de un frasco de plástico de 250ml debidamente esterilizado. Durante la toma de muestras, el frasco debe destaparse el menor tiempo posible, evitando el ingreso de sustancias extrañas que pudieran alterara los resultados. También requieren dejar un espacio libre para la homogenización de las muestra, aproximadamente 3/4 del volumen del frasco, para evitar acelerar la mortandad de bacterias.

- Para el muestreo del nitrógeno amoniacal (NH₃-N) se utilizó de un frasco de plástico de 1000ml, la muestra fue preservado con H₂SO₄ hasta obtener un pH < 2.
- Para el muestreo del fosforo total se utilizó un frasco de 250ml, la muestra fue preservado con H₂SO₄ hasta obtener un pH < 2.
- Para el muestreo del Nitrógeno total se utilizó un frasco de 250ml, la muestra fue preservado con H₂SO₄ hasta lograr un pH < 2.
- Finalmente se utilizó una botella de 1000ml para el análisis de los parámetros fisicoquímicos como: Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto, Temperatura, Turbiedad, pH y Solidos disueltos totales.

Al término del muestreo de los parámetros fisicoquímicos (DBO₅, DQO, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, fósforo total) y microbiológico (coliformes termotolerantes), las muestras fueron conservadas en un cooler y transportadas al laboratorio Delta Lab SAC, para el respectivo análisis.

A su vez, los parámetros fisicoquímicos (conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura, turbiedad, pH, solidos disueltos totales) fueron analizados en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión – Lima. Los materiales y equipos utilizados durante el procedimiento se mencionan en la tabla 22:

Tabla 22. Materiales y equipos utilizados para el análisis de parámetros fisicoquímicos

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	MATERIALES DE ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS		
1.1	Vaso Precipitado	250 ml	2
1.2	Vaso Precipitado	150 ml	2
1.3	Agua Destilada	Frasco	1
2	EQUIPOS DE ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS		
2.1	Oxímetro Hanna	Unidad	1
2.2	Turbidímetro Hanna	Unidad	1
2.3	Multiparámetro Hanna	Unidad	1

3.12. Cálculo para determinar la eficiencia de remoción de contaminantes

Para calcular la eficiencia en los tratamientos y observar los porcentajes de remoción de cada parámetro se empleó la siguiente ecuación (Chung, Wu, Tam y Wong, 2008).

$$R = \left[\frac{(C_e - C_s)}{C_e} \right] * 100$$

Donde:

C_e: Concentración del afluente residual

C_s: Concentración del efluente residual.

3.13. Comparación de los parámetros con la normativa nacional e internacional

En el Perú no existe una normativa peruana sobre el vertimiento de lixiviados, por esa razón la composición del lixiviado puro fue comparado con el reglamento de vertido y reúso de aguas residuales N°33601-Minae - S - 2007 - Costa Rica, de la misma manera con la resolución N° 0631 del 2015 – MINAM y Desarrollo Sostenible – Colombia que establecen límites máximos permisibles para actividades asociadas al tratamiento y disposición de residuos de un relleno sanitario.

Sin embargo los resultados de los parámetros físico, químico y microbiológico a diluciones 1 y 3% se compararon con el estándar de calidad ambiental para agua D.S. 004-2017-MINAM, categoría 3 riego de vegetales, además los parámetros que no aplica en dicha normativa se comparó con la norma cubana NC 27:2012 que establece límites máximos permisibles promedio para las descargas de aguas residuales según la clasificación del cuerpo receptor.

3.14. Variables de estudio

3.14.1. Variables independientes

- Concentración de lixiviado
- Tiempo de retención hidráulico

3.14.2. Variables dependientes

- DBO₅
- DQO
- Nitrógeno Total
- Fósforo Total
- Nitrógeno Amoniacal
- Coliformes Termotolerantes
- Turbiedad
- Sólidos Disueltos Totales
- pH
- Conductividad Eléctrica
- Oxígeno Disuelto
- Temperatura

3.15. Flujo experimental

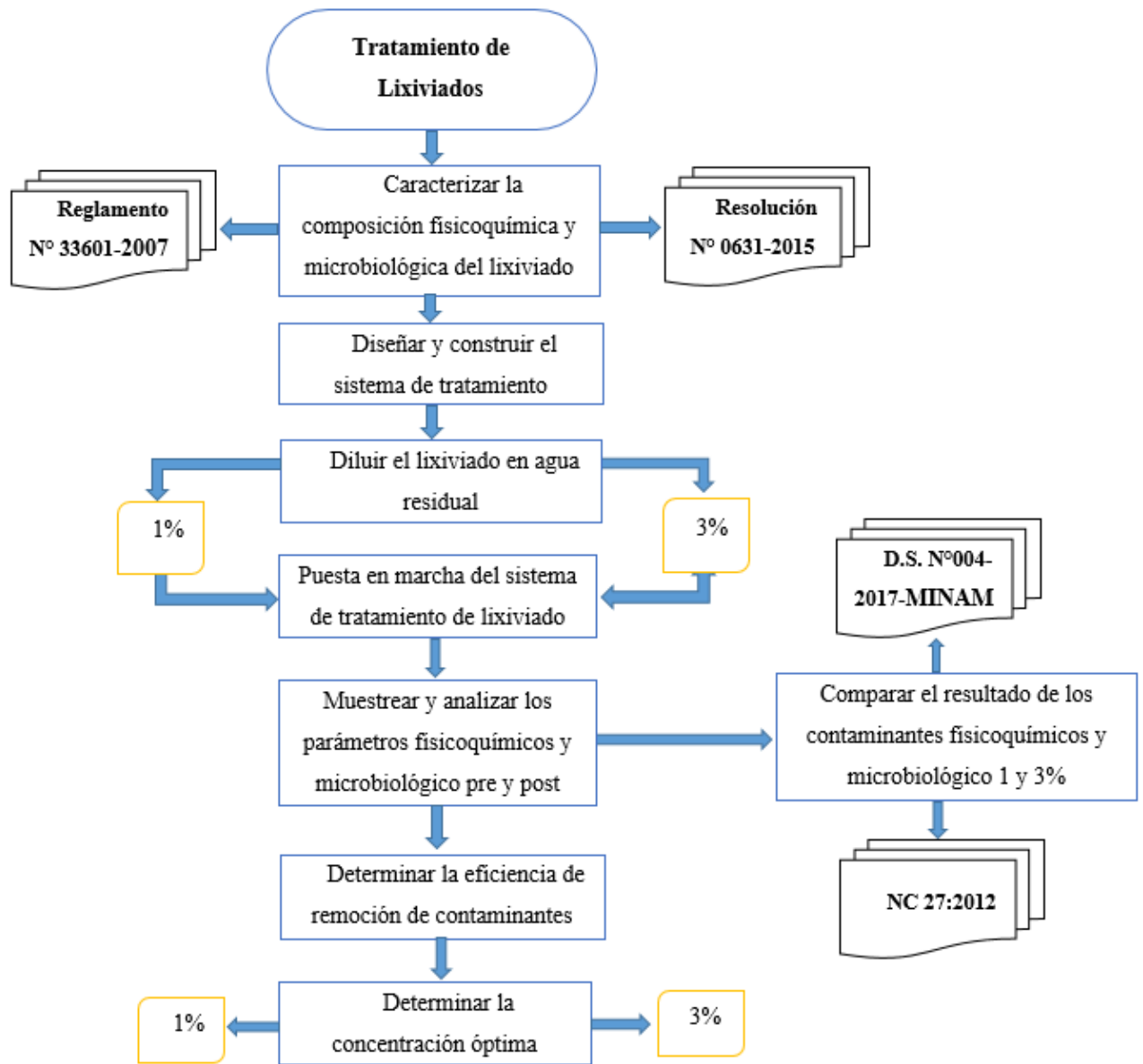


Figura 20. Flujograma experimental del tratamiento de lixiviados

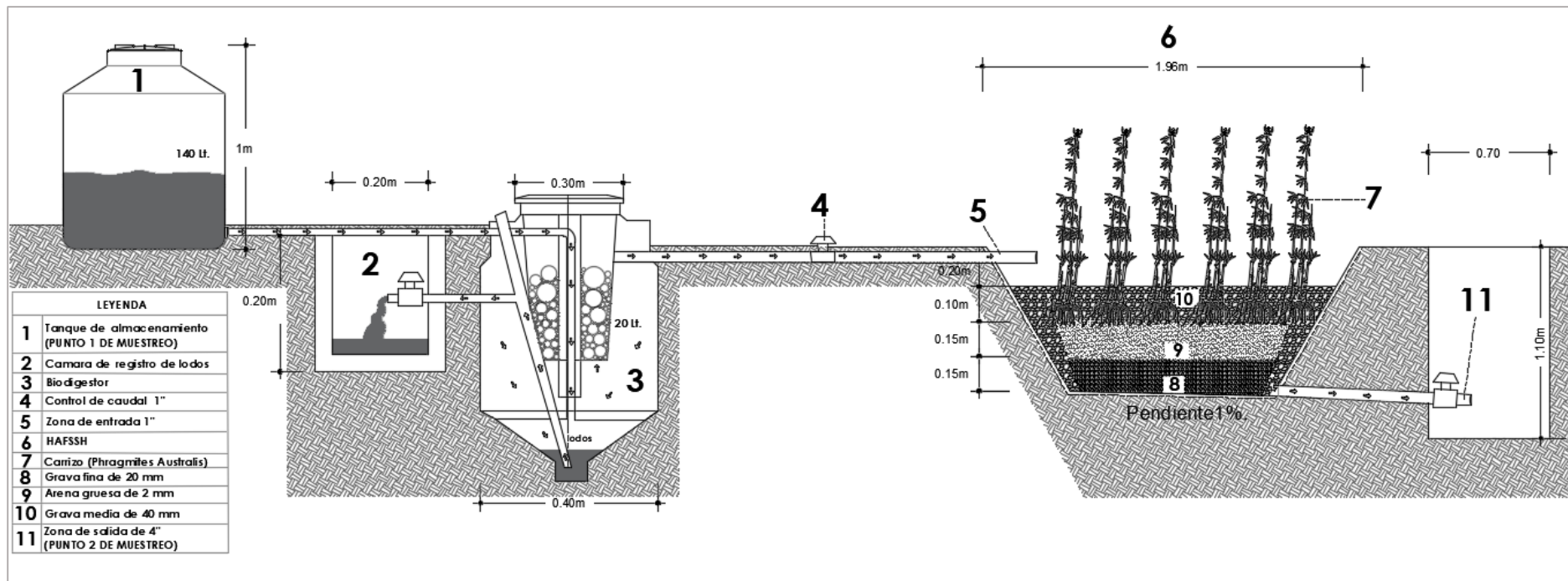


Figura 21. Sistema de tratamiento de lixiviados mediante un biodigestor y humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Caracterización de lixiviado del botadero Jaquira

Tabla 23. Resultado del análisis fisicoquímico y microbiológico del lixiviado

Parámetro	Unidad de medida	Resultado
Físicos y Químicos		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	1485
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	2601
Fósforo Total	mg/L	18.48
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	>250
Nitrógeno Total	mg/L	509.7
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	5260
Turbidez	UNT	550
Oxígeno Disuelto	mg/L	<0.5
Temperatura	(°C)	23.1
Conductividad Eléctrica	umho/cm a 25°C	11227
Potencial de Hidrógeno (pH)	UpH	8.7
Microbiológico		
Numeración de Coliformes Fecales	NMP/100 mL	1100

La tabla 23 muestra los resultados del análisis de la composición fisicoquímica y microbiológica del lixiviado del botadero Jaquira. Debido a que en el Perú no existe una legislación que controle el vertimiento de lixiviados generados en los rellenos sanitarios, se realizó la comparación con el reglamento de vertido y reúso de aguas residuales N° 33601-MINAE-S-2007 Costa Rica, el cual detalla los límites máximos permisibles (LMP) para las actividades relacionadas con los rellenos sanitarios (Tabla 3) entre ellas la producción de lixiviados, donde el LMP para la DBO₅ y DQO es 300 y 1000 mg/L respectivamente; asimismo en comparación con la resolución colombiana N° 0631-2015-Ministerio del ambiente y desarrollo sostenible donde el LMP para la DBO₅ y DQO es 800 y 2000 mg/L correspondientemente para actividades asociadas al tratamiento y disposición de residuos sólidos (Tabla 4). Por consiguiente la composición de la DBO₅ y DQO del lixiviado en estudio supera lo establecido por las normativas internacionales.

Los lixiviados derivados de los rellenos sanitarios se caracterizan por poseer altas concentraciones en los parámetros de DBO5, DQO y nitrógeno amoniacal (Nivala, Hoos, Cross, Wallace y Parkin, 2007). Los estudios demostraron que la naturaleza de lixiviados de los rellenos sanitarios, tanto de la mismas o diferentes fuentes, son muy variables (Chian y Dewalle, 1976; Bolton y Evans, 1991).

Tabla 24. Resultado del análisis de metales del lixiviado

Parámetro	Unidad de medida	Resultado
Aluminio	mg/L	0.3382
Antimonio	mg/L	<0.0015
Arsénico	mg/L	<0.001
Bario	mg/L	0.6248
Berilio	mg/L	<0.0002
Boro	mg/L	0.909
Cadmio	mg/L	<0.00005
Calcio	mg/L	84.84
Cerio	mg/L	<0.0096
Cobalto	mg/L	<0.0007
Cobre	mg/L	<0.0005
Cromo	mg/L	0.1837
Estaño	mg/L	<0.0026
Estroncio	mg/L	3.75
Fosforo	mg/L	15.13
Hierro	mg/L	3.829
Litio	mg/L	<0.0006
Magnesio	mg/L	39.29
Manganeso	mg/L	0.6013
Molibdeno	mg/L	<0.0018
Níquel	mg/L	0.0681
Plata	mg/L	<0.0014
Plomo	mg/L	<0.0004
Potasio	mg/L	1085
Selenio	mg/L	<0.001
Silicio	mg/L	8.932
Sodio	mg/L	638.9
Talio	mg/L	<0.0002
Titanio	mg/L	0.3903
Uranio	mg/L	<0.007
Vanadio	mg/L	0.057
Zinc	mg/L	0.3341
Mercurio Total	mg/L	<0.0001

Según la EPA (2003) la composición de lixiviado es variable y depende de una serie de factores que incluyen la edad del vertedero, composición de residuos, cantidad de infiltración de agua y la temperatura.

En la tabla 24 se muestra la composición de metales del lixiviado del botadero Jaquira. Debido a que en el Perú, no existe una legislación que controle el vertimiento de lixiviados generados en los rellenos sanitarios, se compararon con la normativa Colombiana Resolución 0631 de 2015 en donde se detalla límites máximos permisibles asociadas al tratamiento y disposición de residuos (Tabla 4), en efecto se menciona que todos los metales estudiados se encuentran por debajo de los LMP establecidos en dicha normativa.

La concentración de metales es baja, esto ha sido demostrado por varios estudios, en los cuales investigadores han reportado metales. Las investigaciones realizadas afirman que los metales pesados en lixiviados de vertederos en la actualidad no son de gran preocupación debido a que se encuentran en mínimas concentraciones (Reinhart y Grosh, 1998; Kjeldsen y Christophersen, 2001; Christensen et al., 1994; Robinson, 1995).

4.2. Estimación del caudal

Datos:

Volumen = 4 Litros

$T_1 = 26502s$, $T_2 = 26496s$, $T_3 = 26503s$, $T_4 = 26498s$, $T_5 = 26501s$

a) Determinación del tiempo promedio (T)

$$T = \frac{26502s + 26496s + 26503s + 26498s + 26501s}{5}$$

$$T = 26500s$$

b) Determinación del caudal (Q)

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

$$Q = \frac{4L}{26500s}$$

$$Q = 1.5 \times 10^{-4} \approx 0.00015 \text{ L/s}$$

$$Q = 0.00015 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ dia}}$$

$$Q = 0.0129 \approx 0.013 \text{ m}^3/\text{dia}$$

4.3. Diseño del HAFSSH

Datos:

$$Q = 0.013 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$DBO = 1485 \text{ gr}/\text{m}^3$$

a) Determinación la carga orgánica (C)

$$C = Q \times DBO$$

$$C = 0.013 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 1485 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}$$

$$C = 19.305 \frac{\text{gr}}{\text{dia}}$$

b) Cálculo de área superficial (As)

$$Ks = 10 \frac{\text{gr}}{\text{m}^2 \times \text{dia}} \text{ ----- Carga Hidraulica}$$

$$As = \frac{C}{Ks}$$

$$As = \frac{19.305 \frac{\text{gr}}{\text{dia}}}{10 \frac{\text{gr}}{\text{m}^2 \times \text{dia}}}$$

$$As = 1.9305 \text{ m}^2$$

c) **Dimensionamiento del humedal**

- Ancho

$$A = \left(\frac{As}{2}\right)^{0.5}$$

$$A = \left(\frac{1.9305 \text{ m}^2}{2}\right)^{0.5}$$

$$A = 0.98\text{m}$$

- Largo

$$L = 2A$$

$$L = 2(0.98\text{m})$$

$$L = 1.96\text{m}$$

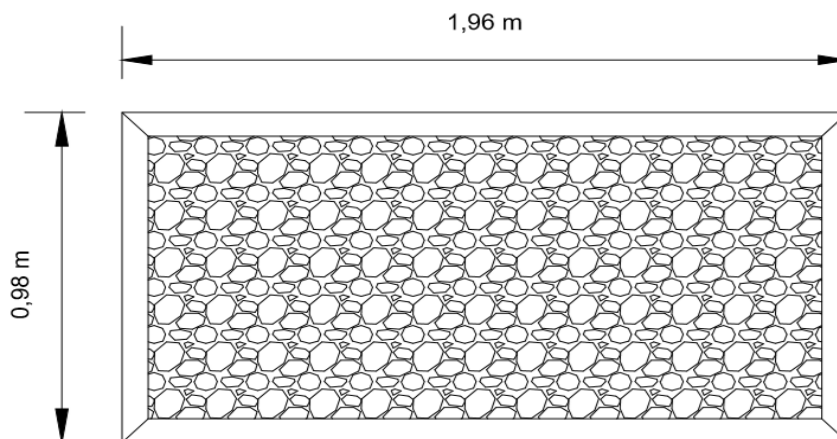


Figura 22. Dimensiones del humedal artificial

4.4. Diagrama de cajas (BOX PLOT)

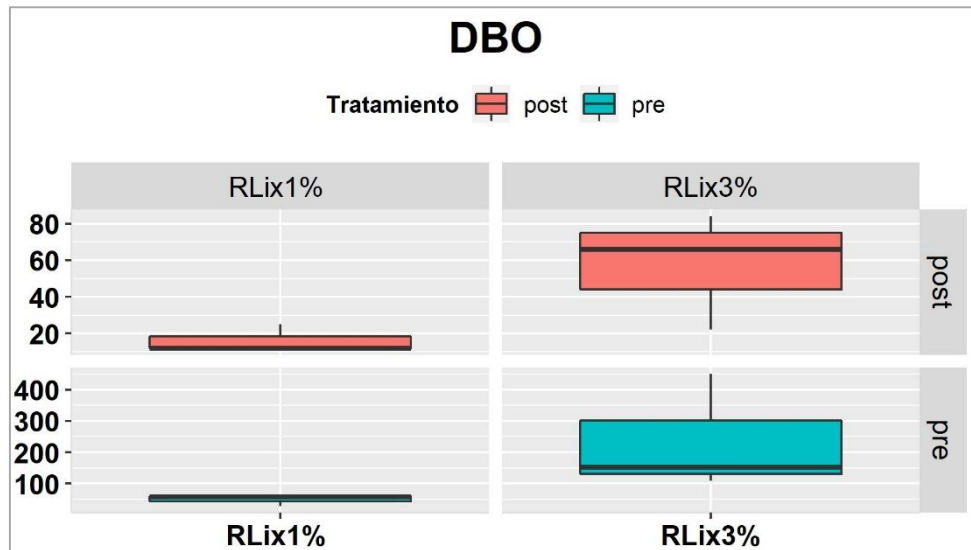
- **Demanda bioquímica de oxígeno DBO₅ (mg/L)**

Tabla 25. Eficiencia de remoción de la DBO₅ antes y después del tratamiento

TR (Días)	AR + Lixiviado (1%)			AR + Lixiviado (3%)		
	Pre	Post	Eficiencia (%)	Pre	Post	Eficiencia (%)
5	57	12	79	153	22	86
10	61	25	59	450	84	81
15	28	12	57	109	66	39

La tabla 25 muestra la eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) del lixiviado diluido con agua residual (AR) en concentraciones de 1 y 3% en relación a los tiempos de retención (TR) antes y después de ingresar al sistema de tratamiento. En la primera concentración hubo eficiencias de remoción de 79, 59 y 57%; de la misma manera para la segunda concentración se obtuvo eficiencias de remoción de 86, 81 y 39% para los tiempos de retención de 5, 10 y 15 días respectivamente.

Asimismo los resultados del post tratamiento de la concentración 1% en los días 5 y 15 cumplen con los estándares de calidad ambiental para agua establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM categoría 3 riego de vegetales (15 mg/l), en cambio en el día 10 excede en dicho parámetro, por otro lado los valores post de la concentración 3% superan la normativa en los 3 TR, por lo tanto se afirma que la primera concentración es la óptima debido a que cumple con el ECA.



R=Agua residual, Lix= Lixiviado, RLix=Agua residual + Lixiviado

Figura 23. Comparación de la DBO₅ entre las concentraciones al 1 y 3%

En la figura 23 se observa el diagrama de cajas (box plot) donde se muestra la variabilidad antes (Pre) y después (Post) de ingresar al sistema de tratamiento del lixiviado diluido con agua residual en las dos concentraciones 1 y 3%.

Los resultados de RLix (1%) pre y post indican que hubo una eficiencia de remoción promedio de 65%, además existe menor variabilidad, es decir los datos se asemejan entre sí, sin embargo en la concentración de RLix (3%) se observa una eficiencia de remoción promedio de 69%, asimismo existe mayor variabilidad en los resultados.

La remoción de materia orgánica se realiza principalmente mediante la biodegradación aeróbica o anaeróbica. Una pequeña porción también es removida por procesos físicos como la sedimentación y filtración. La biodegradación es realizada por los microorganismos, los cuales están adheridos a la planta, en particular a las raíces y a la superficie de los sedimentos (Kadlec et al., 2000).

La remoción de la DBO₅ particulada sucede rápidamente por sedimentación y filtración de partículas en los espacios entre la grava y las raíces. La DBO₅ soluble es eliminada por las bacterias que crecen en la superficie de la grava, raíces y rizomas de las plantas. La degradación

de la materia orgánica es aerobia en micro sitios de la superficie de las raíces de las plantas, pero en el resto del lecho sumergido ocurre por vías anaerobias (EPA, 2000c).

Al analizar la eficiencia de remoción de DBO₅ contra el tiempo de retención (Tabla 25) se observa que a menor TR (5 días) se obtienen eficiencias entre 70 a 90% para ambas concentraciones, valores que son comparables a las experiencias reportadas por la bibliografía Vymazal y Kröpfelová, 2008; Maltby y Barke (2009) donde obtuvieron porcentajes de remoción similares. De igual manera estudios realizados en USA indican que la DBO₅ es eliminada rápidamente a la entrada del humedal, siendo suficiente un tiempo de retención de aproximadamente 2 días (EPA, 2000c).

La eliminación de DBO₅ ocurre rápidamente durante los primeros cinco días (Lavrova y Koumanova, 2010). Sin embargo, suele ser baja durante el procedimiento de arranque de los sistemas, y generalmente durante los dos primeros meses, los cuales están asociados a la generación y estabilización de los consorcios microbianos (Yalcuk y Ugurlu, 2009). Es por ello que en esta investigación el sistema de tratamiento tuvo un periodo de adaptación y arranque de 3 meses solo con agua residual.

Por otro lado, se han reportado en sistemas de humedales artificiales operados en flujo subsuperficial horizontal remociones aproximadamente del 27-98% para DBO, en este sentido, la variación de dichas eficiencias depende principalmente del tipo de flujo, de su configuración, tren de tratamiento, así como de las condiciones climáticas de la zona en la que opere (Chiemchaisri, Chiemchaisri, Junsod, Threedeach y Wicranarachchi, 2009). A su vez la variación presentada en las eficiencias de remoción se debe a que la composición del AR donde se hizo la dilución del lixiviado fue diferente para cada tratamiento.

Entre mayor sea la velocidad del caudal del influente, será necesario un periodo de tratamiento más prolongado y se presentarán mejores eficiencias de remoción con un menor

periodo de tratamiento especialmente en DBO₅, NH₄, DQO y Fósforo (Lavrova y Koumanova, 2010)

En climas relativamente cálidos, la remoción de DBO₅ observada durante los primeros días es muy rápida, la remoción subsiguiente está más limitada y se cree que está influida por la producción de DBO₅ residual debido a la descomposición de los residuos de las plantas y otra materia orgánica natural presente en el humedal (Lara, 1999).

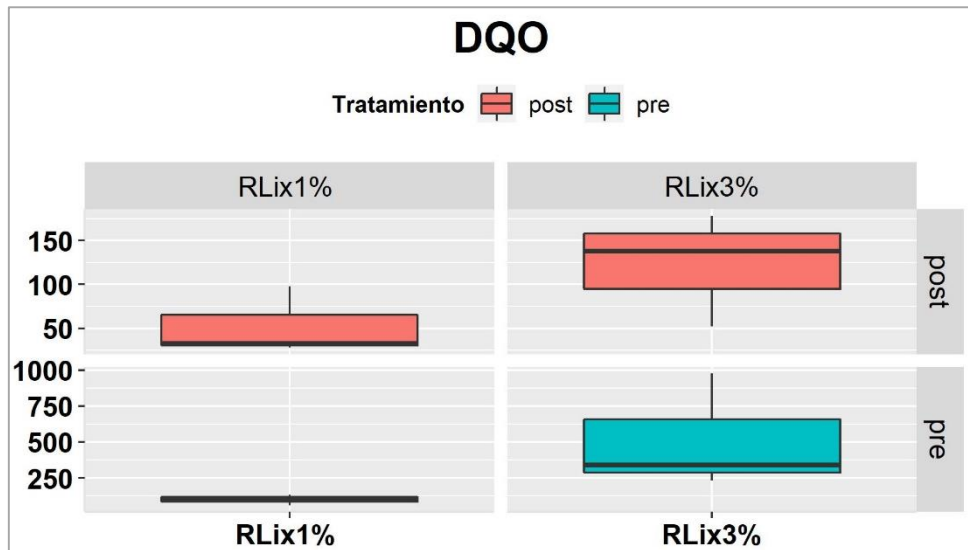
- **Demanda química de oxígeno DQO (mg/L)**

Tabla 26. Eficiencia de remoción de la DQO antes y después del tratamiento

TR (Días)	AR + Lixiviado (1%)			AR + Lixiviado (3%)		
	Pre	Post	Eficiencia (%)	Pre	Post	Eficiencia (%)
5	106	33	69	342	52	85
10	134	98	27	975	178	82
15	61	28	54	232	138	41

La tabla 26 muestra la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) del lixiviado diluido con agua residual (AR) en concentraciones de 1 y 3% en relación a los tiempos de retención (TR) antes y después de ingresar al sistema de tratamiento. En la primera concentración hubo eficiencias de 69, 27 y 54%; de la misma manera para la segunda concentración se obtuvo eficiencias de remoción de 85, 82, 41% para los tiempos de retención de 5, 10 y 15 días respectivamente.

Además los resultados del post tratamiento de la concentración 1% en los días 5 y 15 cumplen con los estándares de calidad ambiental para agua establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM categoría 3 riego de vegetales (40 mg/l), no obstante en el día 10 excede en dicho parámetro, por otro lado los valores post de la concentración 3% superan la normativa en los 3 TR, por lo tanto se afirma que la primera concentración es la óptima debido a que cumple con el ECA.



R=Agua residual, Lix= Lixiviado, RLix=Agua residual + Lixiviado

Figura 24. Comparación de la DQO entre las concentraciones al 1 y 3%

En la figura 24 se observa el diagrama de cajas (box plot) donde se muestra la variabilidad antes (Pre) y después (Post) de ingresar al sistema de tratamiento del lixiviado diluido con agua residual en las dos concentraciones 1 y 3%.

Los resultados de RLix (1%) pre y post indican que hubo una eficiencia de remoción promedio de 50%, además existe menor variabilidad, es decir los datos se asemejan entre sí, sin embargo en la concentración de RLix (3%) se observa una eficiencia de remoción promedio de 70%, Asimismo existe mayor variabilidad en los resultados.

Estudios que utilizan la combinación de arena y grava en capas separadas muestran eficiencias de remoción de materia orgánica entre 80% - 95% (Du, Xu, Li y Zheng, 2014; Fan, et al., 2013; Jia, Zhang, Wu, Xie y Zhang, 2010; Langergraber y Haberl, 2012)

Se han reportado en sistemas de humedales artificiales operados en flujo subsuperficial horizontal remociones aproximadamente 11 - 96% para DQO (Yalcuk y Ugurlu, 2009).

En los humedales artificiales, la capacidad de remoción de la demanda química de oxígeno se debe a los efectos combinados entre el tiempo de retención hidráulica, la acción filtrante del sustrato para retener sólidos suspendidos del agua, la actividad biológica del

sistema (Rodríguez-Momroy y Durán-de Bazúa, 2006), a su vez por la absorción de las plantas para su crecimiento (Kadlec, 2003).

Los compuestos no volátiles, no tóxicos, de tipo orgánico, son medidos como DBO5 y DQO, debido al consumo de oxígeno necesario para su degradación. Los mecanismos por los cuales se reducen estos contaminantes en los HA, son principalmente oxidación y digestión anaerobia (Kadlec, 1999).

En los humedales con las condiciones aeróbicas prevalecientes, la materia orgánica es oxidada por organismos que utilizan oxígeno como aceptor de electrones (respiración aeróbica). En sistemas con condiciones anóxicas, la materia orgánica es oxidada por organismos aeróbicos que puede usar nitrato como aceptor de electrones (desnitrificación) además de oxígeno (Metcalf y Eddy, 2003).

- **Nitrógeno total (mg/L)**

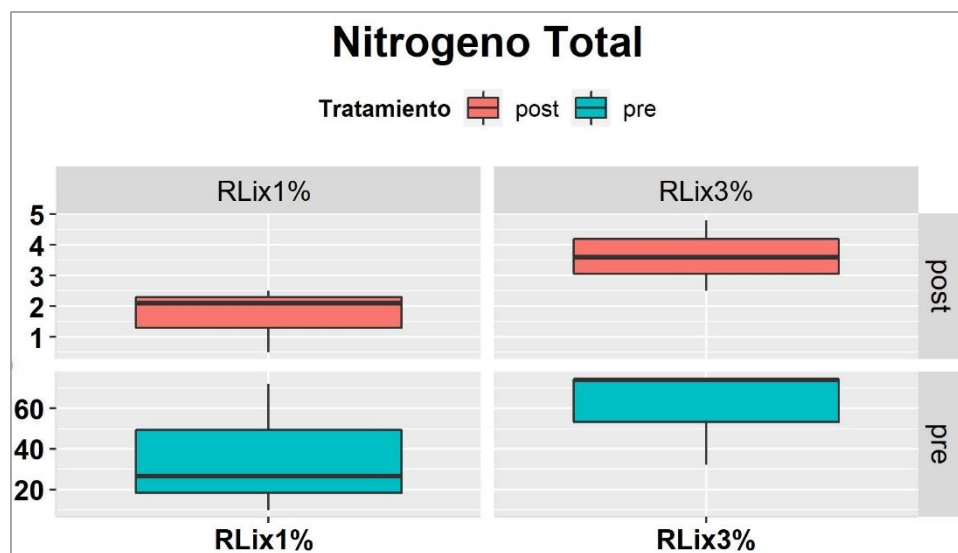
Tabla 27. Eficiencia de remoción del nitrógeno total antes y después del tratamiento

TR (Días)	AR + Lixiviado (1%)			AR + Lixiviado (3%)		
	Pre	Post	Eficiencia (%)	Pre	Post	Eficiencia (%)
5	9.8	0.5	95	32.1	2.5	92
10	72.1	2.5	97	74.9	3.6	95
15	26.7	2.1	92	74.3	4.8	94

La tabla 27 muestra la eficiencia de remoción del nitrógeno total del lixiviado diluido con agua residual (AR) en concentraciones de 1 y 3% en relación a los tiempos de retención (TR) antes y después de ingresar al sistema de tratamiento. En la primera concentración hubo eficiencias de remoción de 95, 97 y 92%; de la misma manera para la segunda concentración se obtuvo eficiencias de remoción de 92, 95 y 94% para los tiempos de retención de 5, 10 y 15 días respectivamente.

Los estándares de calidad ambiental para agua establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM categoría 3 riego de vegetales, no aplica para el nitrógeno total. No obstante se obtuvo eficiencias mayores al 90%.

Sin embargo se realizó la comparación con la norma cubana NC 27:2012 (Tabla 2) donde los LMP de nitrógeno total para uso en riego agrícola es 10 mg/L, por lo tanto los resultados post en ambas concentraciones cumplen con la legislación mencionada, indicando que la concentraciones óptima es de 1% debido a que en ella se obtuvieron valores mínimos de este parámetro.



R=Agua residual, Lix= Lixiviado, RLiX=Agua residual + Lixiviado

Figura 25. Comparación nitrógeno total entre las concentraciones al 1 y 3%

En la figura 25 se observa el diagrama de cajas (box plot) donde se muestra la variabilidad antes (Pre) y después (Post) de ingresar al sistema de tratamiento del lixiviado diluido con agua residual en las dos concentraciones 1 y 3%.

Los resultados de RLiX (1%) pre y post indican que hubo una eficiencia de remoción promedio de 95%, además existe menor variabilidad, es decir los datos se asemejan entre sí, sin embargo en la concentración de RLiX (3%) se observa una eficiencia de remoción promedio de 94%, asimismo existe mayor variabilidad en los resultados.

Se observa que las eficiencias de remoción de nitrógeno total superan el 90%, esto se debe a que se implementó un sistema anaerobio y aerobio debido a que los humedales construidos en una sola etapa no pueden lograr una alta eliminación de nitrógeno total debido a su incapacidad para proporcionar condiciones aeróbicas y anaeróbicas al mismo tiempo. Los humedales construidos con flujo horizontal proporcionan buenas condiciones para la desnitrificación, pero la capacidad de estos sistemas para nitrificar el amoníaco es muy limitada (Vymazal, 2007; Vymazal, 2005). Es por ello que el biodigestor proporciona condiciones anaerobias para cumplir esta función, y obtener eficiencias altas de remoción.

Estudios realizados por Sawaitayothin y Polprasert (2007) presentaron remociones superiores al 90% en humedales de flujo subsuperficial, con tiempos de retención entre 5 y 8 días, obteniéndose eficiencias de remoción similares en esta investigación.

Asimismo los microorganismos son encargados de la degradación de los compuestos nitrogenados, ya sean orgánicos e inorgánicos, en las diferentes etapas o componentes del ciclo del nitrógeno, las bacterias se adaptan al medio agreste que presentan los lixiviados (Sawaitayothin y Polprasert, 2007).

Los mecanismos que ocurren dentro de los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno son múltiples, la eliminación de nitrógeno en humedales construidos de flujo horizontal ocurre principalmente por acción de la nitrificación y desnitrificación (Vymazal, 1999; García et al., 2010).

La asimilación del nitrógeno por las plantas solo explica alrededor del 10% de la eliminación. La nitrificación y la desnitrificación son reacciones microbianas que dependen del tiempo de retención y la temperatura y se llevan a cabo alrededor de las raíces de las plantas. (Scholz y Lee, 2005; Vymazal, 2000).

La nitrificación es un proceso microbiológico en el que el amonio es oxidado por bacterias autótrofas a nitrato en presencia de oxígeno y carbono orgánico, luego, este nitrato es

reducido por bacterias heterótrofas a nitrógeno molecular en ausencia de oxígeno y presencia de carbono orgánico donde el nitrógeno gaseoso es liberado a la atmosfera en un proceso llamado desnitrificación (Wang et al., 2017).

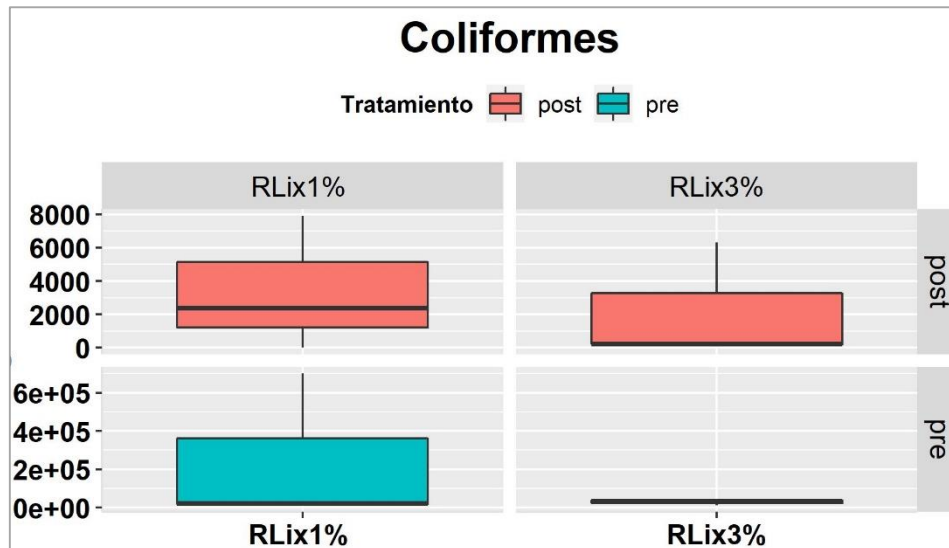
- **Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)**

Tabla 28. Eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes antes y después del tratamiento

TR (Días)	AR + Lixiviado (1%)			AR + Lixiviado (3%)		
	Pre	Post	Eficiencia (%)	Pre	Post	Eficiencia (%)
5	16000	2400	85	13000	140	99
10	700000	7900	99	35000	240	99
15	24000	13	99.9	43000	6300	85

La tabla 28 muestra la eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes del lixiviado diluido con agua residual (AR) en concentraciones de 1 y 3% en relación a los tiempos de retención (TR) antes y después de ingresar al sistema de tratamiento. En la primera concentración hubo eficiencias de remoción de 85, 99 y 99.9%; de la misma manera para la segunda concentración se obtuvo eficiencias de remoción de 99, 99 y 85%) para los tiempos de retención de 5, 10 y 15 días respectivamente.

El resultado del post tratamiento de la concentración 1% en el día 15 cumplen con los estándares de calidad ambiental para agua establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM categoría 3 riego de vegetales (1000 NMP/100 ml), mientras en los días 5 y 10 exceden en dicho parámetro, por otro lado los valores post de la concentración 3% en los días 5 y 10 se encuentran dentro de la normativa, puesto que en el día 15 supera, por lo tanto se afirma que la primera concentración es la óptima debido a que en ella se obtuvo el valor mínimo de este parámetro.



R=Agua residual, Lix= Lixiviado, RLix=Agua residual + Lixiviado

Figura 26. Comparación de coliformes termotolerantes entre las concentraciones al 1 y 3%

En la figura 26 se observa el diagrama de cajas (box plot) donde se muestra la variabilidad antes (Pre) y después (Post) de ingresar al sistema de tratamiento del lixiviado diluido con agua residual en las dos concentraciones, Agua Residual + Lixiviado (RLix (1%) y RLix (3%)).

Los resultados de RLix (1%) pre y post indican que hubo una eficiencia de remoción promedio de 95%, además existe menor variabilidad, es decir los datos se asemejan entre sí, sin embargo en la concentración de RLix (3%) se observa una eficiencia de remoción promedio de 94%, además existe mayor variabilidad en los resultados.

Los humedales artificiales son en general capaces de una reducción de coliformes fecales entre uno a dos logaritmos con tiempos de retención hidráulica de 3 a 7 días, para obtener mayores resultados es necesario tiempos de retención superiores a 14 días. La mayoría de los sistemas utilizan alguna forma de desinfección final (Lara, 1999).

Los organismos patógenos en los humedales artificiales se remueven por procesos de adsorción, sedimentación y muerte debido a la exposición a los rayos UV de la luz solar y a temperaturas poco favorables (Haller, Amedegnata, Poté, & Wildi, 2009).

Kadleck et al. (2000) reportaron remoción de bacterias (coliformes fecales) y enterobacterias en varios humedales en la República Checa, siendo la eficiencia de remoción entre 98% a 99% para estos indicadores bacterianos. En los casos en que se registraron las tasas más bajas, fue debido a tiempos de retención menores.

Hagendorf y Hahn (1994) estudiaron la eficiencia de varios humedales en Alemania, observaron los mejores resultados en sistemas con una mezcla de arena y grava. Los sistemas horizontales no fueron en modo algunos tan eficientes, aunque aquellos con suelo arenoso fino a mediano permitieron una mejor reducción de gérmenes. Sin embargo, los sistemas con suelos de grano pequeño a menudo causaron problemas hidráulicos (obstrucciones que conducen al flujo de la superficie), lo que redujo drásticamente la eficiencia.

Por otra parte Tanaka, Jinadasa, Werellagama, Mowjood y Ng (2006) encontraron un 94.8% de eficiencia en la remoción de coliformes fecales al usar un sistema subsuperficial con especies emergentes.

- **Fósforo total**

El fósforo total fue analizado una sola vez por cada concentración, para verificar el comportamiento de este parámetro dentro del sistema, el análisis no cuenta con repeticiones, por lo que no sigue un diseño estadístico.

Tabla 29. Eficiencia de remoción del fósforo total antes y después del tratamiento

TR (Días)	AR + Lixiviado (1%)			AR + Lixiviado (3%)		
	Pre	Post	Eficiencia (%)	Pre	Post	Eficiencia (%)
5	0.216	0.1	54	-	-	-
15	-	-	-	0.505	0.07	86

La tabla 29 muestra la eficiencia de remoción de fósforo total del lixiviado diluido con agua residual (AR) en concentraciones de 1 y 3% en relación al tiempo de retención (TR) antes y después de ingresar al sistema de tratamiento. En la primera concentración hubo una

eficiencia de remoción de 54% en un TR de 5 días, y en la segunda concentración se obtuvo una eficiencia de remoción 86% en un TR de 15 días.

Asimismo los estándares de calidad ambiental para agua establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM categoría 3 riego de vegetales, no aplica para el fósforo total, no obstante se obtuvieron eficiencias mayores al 50%.

Sin embargo se realizó la comparación con la norma cubana NC 27:2012 (Tabla 2) donde los LMP de fósforo total para uso en riego agrícola es 4 mg/L, por lo tanto los resultados post en ambas concentraciones cumplen con la legislación mencionada, indicando que la concentraciones óptima es de 3% debido a que en ella se obtuvieron valores mínimos de este parámetro.

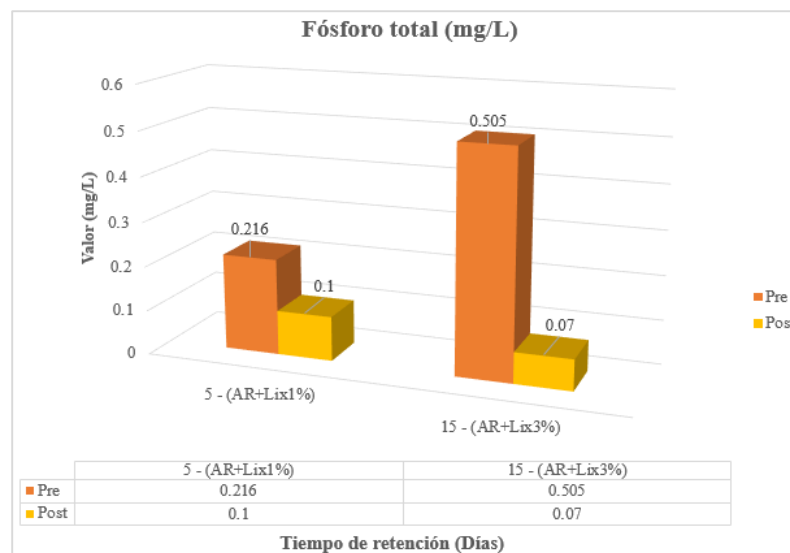


Figura 27. . Comparación del fósforo total entre las concentraciones al 1 y 3%

El principal problema que causa la abundancia de fósforo es la eutrofización de los cuerpos de agua que lo reciben (Vymazal, 2000; Scholten et al., 2005; Carey Migliaccio, 2009).

Los principales procesos de eliminación de fósforo ocurren por mecanismos de precipitación, adsorción, absorción del sustrato y las plantas, así también por transformaciones

biológicas (Watson et al., 1989). La eliminación del fósforo en todos los tipos de humedales construidos es baja, a menos que se utilicen sustratos especiales con una alta capacidad de absorción, la eliminación del fósforo total varía entre 40 y 60% en todos los tipos de humedales construidos (Vymazal, 2007; Yalcuk y Ugurlu, 2009; Zhang, 2012).

Vymazal, 2000; Scholten et al., 2005; Carey Migliaccio (2009) mencionan que la remoción del fósforo depende del tiempo de retención. Los mecanismos disponibles de eliminación del fósforo en todos los tipos de humedales artificiales requieren largos periodos de retención para producir niveles bajos de fósforo (EPA, 2000b). Se observa en la figura 27 que a mayor tiempo de retención y concentración de lixiviado se obtiene una alta eficiencia de remoción.

- **Nitrógeno amoniacal**

El nitrógeno amoniacal fue analizado una sola vez por cada concentración, para verificar el comportamiento de este parámetro dentro del sistema, el análisis no cuenta con repeticiones, es por ello que no sigue un diseño estadístico.

Tabla 30. Eficiencia de remoción del nitrógeno amoniacal antes y después del tratamiento

TR (Días)	AR + Lixiviado (1%)			AR + Lixiviado (3%)		
	Pre	Post	Eficiencia (%)	Pre	Post	Eficiencia (%)
5	8.8	0.5	94	-	-	-
15	-	-	-	26.5	2.5	91

La tabla 30 muestra la eficiencia de remoción de nitrógeno amoniacal del lixiviado diluido con agua residual (AR) en concentraciones de 1 y 3% en relación al tiempo de retención (TR) antes y después de ingresar al sistema de tratamiento. En la primera concentración hubo una eficiencia de remoción de 94% en un TR de 5 días, y en la segunda concentración se obtuvo una eficiencia de remoción de 91% en un TR de 15 días.

Asimismo los estándares de calidad ambiental para agua establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM categoría 3 riego de vegetales, no aplica para el nitrógeno

amoniaco, no obstante se obtuvieron eficiencias mayores al 90%. Por lo tanto la concentración óptima es de 1% debido a que en ella se obtuvieron valores mínimos de este parámetro.

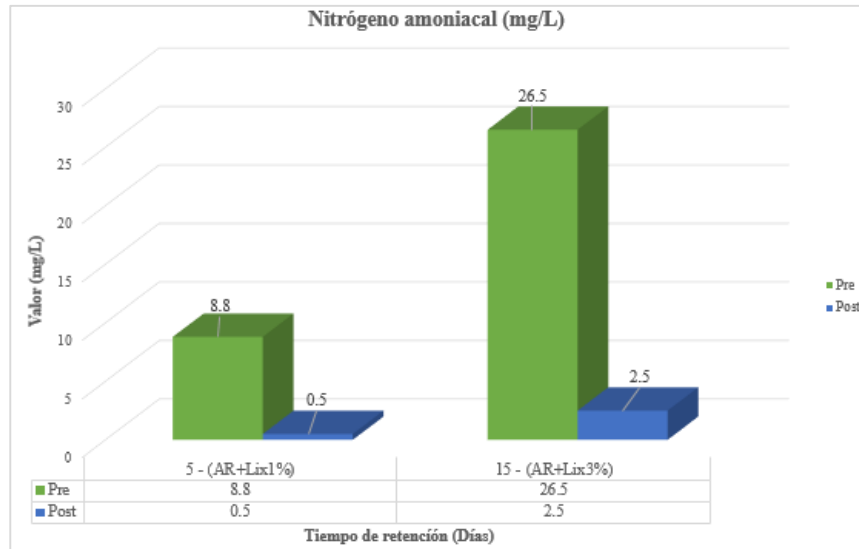


Figura 28. Comparación del nitrógeno amoniacal entre las concentraciones al 1 y 3%

La eliminación del nitrógeno amoniacal tuvo una eficiencia aproximadamente de 90 a 95% (Tabla 30). Esto indica que hubo un proceso de nitrificación eficaz (Wojciechowska, Gajewska y Obarska-Pempkowiak, 2010), debido a que se implementó tuberías de aireación en el HA, favoreciendo al proceso de nitrificación, logrando así eficiencias altas de remoción del $\text{NH}_3\text{-N}$.

La remoción del nitrógeno se da más efectivamente en procesos biológicos aeróbicos, donde se nitrifica el nitrógeno amoniacal (Droppelmann y Oettinger, 2009).

4.5. Eficiencias de remoción de los parámetros fisicoquímicos en el agua residual

- **Turbiedad (UNT)**

Tabla 31. Eficiencia de remoción de la turbiedad en el agua residual

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento pre	Tratamiento post	Eficiencia promedio (%)
Turbiedad (UNT)	5	70	4.2	94
		68	3.7	
		73	4.5	
	10	80	5.7	93
		82	6.1	
		78	5.5	
		75	4.9	
	15	70	4	94
		73	4.4	

- **Potencial de hidrógeno**

Tabla 32. Eficiencia de remoción del pH en el agua residual

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento pre	Tratamiento post	Eficiencia promedio (%)
pH	5	8	7.7	100
		8.2	7.8	
		7.9	7.4	
	10	7.9	7.6	
		7.8	7.3	
		8.1	7.7	
		8.2	7.8	
	15	8	7.7	
		7.9	7.4	

- **Conductividad eléctrica (uS/cm)**

Tabla 33. Eficiencia de remoción de la conductividad eléctrica en el agua residual

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento pre	Tratamiento post	Eficiencia promedio (%)
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	5	370	149	60
		375	144	
		368	148	
	10	390	160	59
		395	165	
		391	162	
		410	195	
	15	415	200	52
		411	197	

- **Sólidos disueltos totales (mg/L)**

Tabla 34. Eficiencia de remoción de sólidos disueltos totales en el agua residual

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento pre	Tratamiento post	Eficiencia promedio (%)
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	5	180	68	62
		185	70	
		182	71	
	10	190	81	57
		192	83	
		189	80	
		200	93	
	15	205	95	54
		202	94	

- **Oxígeno disuelto (mg/L)**

Tabla 35. Eficiencia de remoción del oxígeno disuelto en el agua residual

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento pre	Tratamiento post	Eficiencia promedio (%)
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5	10.7	5.6	49
		10.4	5.2	
		10.6	5.5	
	10	9.8	3.9	61
		9.5	3.5	
		9.7	3.8	
		10.1	5.5	
	15	9.8	5	47
		10	5.3	

- **Temperatura (°C)**

Tabla 36. Eficiencia de remoción de la temperatura en el agua residual

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento pre	Tratamiento post	Eficiencia promedio (%)
Temperatura (°C)	5	23.6	24.4	100
		23.3	24.1	
		23.7	24.3	
	10	24	25.1	
		24.1	25.4	
		24.3	25.5	
		22.9	24.7	
	15	22.7	24.3	
		22.8	24.6	

4.6. Eficiencia de remoción de parámetros fisicoquímicos del lixiviado (1%) diluido en agua residual

- **Turbiedad (UNT)**

Tabla 37. Eficiencia de remoción de la turbiedad en la concentración al 1%

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento pre	Tratamiento post	Eficiencia promedio (%)
Turbiedad (UNT)	5	89	4.7	95
		85	4.1	
		87	4.5	
	10	98	5.9	94
		96	5.7	
		93	5.3	
		102	6.8	
	15	99	6.6	93
		97	6.3	

- **Potencial de hidrógeno**

Tabla 38. Eficiencia de remoción del pH en la concentración al 1%

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento pre	Tratamiento post	Eficiencia promedio (%)	
pH	5	7.2	7.7	100	
		7.5	7.9		
		7.1	7.6		
	10	7.5	7.9		100
		7.2	7.7		
		7.6	8		
		7.7	8.2		
	15	7.4	7.9		100
		7.8	8.1		

- **Conductividad eléctrica (uS/cm)**

Tabla 39. Eficiencia de remoción de la conductividad eléctrica en la concentración al 1%

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento pre	Tratamiento post	Eficiencia promedio (%)
Conductividad Eléctrica (μS/cm)	5	580	213	63
		585	217	
		581	214	
	10	640	294	54
		644	298	
		649	300	
		593	250	
	15	598	257	58
		596	252	

- **Sólidos disueltos totales (mg/L)**

Tabla 40. Eficiencia de remoción de sólidos disueltos totales en la concentración al 1%

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento pre	Tratamiento post	Eficiencia promedio (%)		
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	5	270	102	62		
		275	104			
		278	107			
	10	310	143	53		
		316	149			
		312	145			
		282	114			
		15	287		117	60
			281		112	

- **Oxígeno disuelto (mg/L)**

Tabla 41. Eficiencia de remoción del oxígeno disuelto en la concentración al 1%

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento pre	Tratamiento post	Eficiencia promedio (%)		
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5	7.9	3.9	51		
		7.4	3.5			
		7.6	3.8			
	10	6.9	4	39		
		7.3	4.5			
		7.5	4.7			
		8.5	4.2			
		15	8.1		3.7	52
			8.4		4.1	

- **Temperatura (°C)**

Tabla 42. Eficiencia de remoción de la temperatura en la concentración al 1%

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento pre	Tratamiento post	Eficiencia promedio (%)	
Temperatura (°C)	5	24	27.3	100	
		24.3	27.9		
		24.1	27.2		
	10	22.8	24.8		
		22.4	24.3		
		22.7	24.7		
		25.7	26.9		
		15	25.2		26.4
			25.6		26.8

4.7. Eficiencia de remoción de parámetros fisicoquímicos del lixiviado (3%) diluido en agua residual

- **Turbiedad (UNT)**

Tabla 43. Eficiencia de remoción de la turbiedad en la concentración al 3%

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento	Tratamiento	Eficiencia promedio (%)
		pre	post	
Turbiedad (UNT)	5	119	7.7	94
		114	7.1	
		120	7.9	
	10	127	8.7	93
		125	8.5	
		122	8.2	
		130	9.3	
	15	135	9.9	93
		131	9.4	

- **Potencial de hidrógeno**

Tabla 44. Eficiencia de remoción del pH en la concentración al 3%

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento	Tratamiento	Eficiencia promedio (%)
		pre	post	
pH	5	8.2	7.7	100
		7.7	7.3	
		8.1	7.6	
	10	7.6	8.2	
		7.1	7.8	
		7.7	8.3	
		8.4	8.1	
	15	8	7.7	
		8.3	8	

- **Conductividad eléctrica (uS/cm)**

Tabla 45. Eficiencia de remoción de la conductividad eléctrica en la concentración al 3%

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento	Tratamiento	Eficiencia promedio (%)
		pre	post	
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	5	815	345	58
		812	340	
		810	338	
	10	910	440	52
		907	435	
		912	442	
		835	350	
	15	842	358	58
		837	352	

- **Sólidos disueltos totales (mg/L)**

Tabla 46. Eficiencia de remoción de sólidos disueltos en la concentración al 3%

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento pre	Tratamiento post	Eficiencia promedio (%)
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	5	400	164	60
		397	160	
		395	158	
	10	440	215	51
		437	211	
		443	217	
	15	410	170	58
		416	177	
		412	172	

- **Oxígeno disuelto**

Tabla 47. Eficiencia de remoción del oxígeno disuelto en la concentración al 3%

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento pre	Tratamiento post	Eficiencia promedio (%)
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5	7.4	3.6	52
		6.8	3.2	
		7.3	3.5	
	10	6.2	4.8	24
		5.7	4.1	
		6.1	4.7	
	15	7.2	4	42
		7.6	4.7	
		7.3	4.1	

- **Temperatura (°C)**

Tabla 48. Eficiencia de remoción de la temperatura en la concentración al 3%

Parámetro	TR (Días)	Tratamiento pre	Tratamiento post	Eficiencia promedio (%)
Temperatura (°C)	5	24.2	26.9	100
		23.6	26.7	
		24.1	27.2	
	10	23.2	23.8	
		23	23.4	
		23.1	23.5	
	15	25.2	26.5	
		25.7	26.9	
		25.3	27	

4.8. Diseño de bloques completos al azar (DBCA)

4.8.1. Análisis de varianza (ANOVA)

d) Formulación de hipótesis

H₀: No existe efecto del tiempo de retención y concentración de lixiviado, en la remoción de los parámetros fisicoquímicos mediante el sistema de tratamiento de HAFSSH.

H_a: Si existe efecto del tiempo de retención y concentración de lixiviado, en la remoción de los parámetros fisicoquímicos mediante el sistema de tratamiento de HAFSSH.

- **Turbiedad**

Tabla 49. Análisis de varianza de la turbiedad

Effect	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	P
Intercept	145974.4	1	145974.4	45263.38	0.000000
Tratamiento	112833.3	1	112833.3	34987.07	0.000000
AR+L (%)	6740.1	2	3370.0	1044.98	0.000000
TR (Días)	329.9	2	164.9	51.14	0.000000
Tratamiento*AR+L (%)	4966.4	2	2483.2	769.99	0.000000
Tratamiento*TR(Días)	180.1	2	90.1	27.93	0.000000
AR+L(%)*TR(Días)	138.2	4	34.6	10.72	0.000008
Tratamiento*AR+L(%)*TR(Días)	70.6	4	17.6	5.42	0.001516
Error	116.1	36	3.2		

En la tabla 49 se muestra el análisis de varianza de la turbiedad donde el valor-p en todos los efectos de variabilidad es $< \alpha = 0.05$ indicando que si existe significancia al 95% de nivel de confianza. Por lo tanto se rechaza la H₀ y se acepta la H_a, afirmando que si hubo efecto del tiempo de retención y concentración del lixiviado en la remoción de los parámetros fisicoquímicos mediante el sistema de tratamiento de HAFSSH.

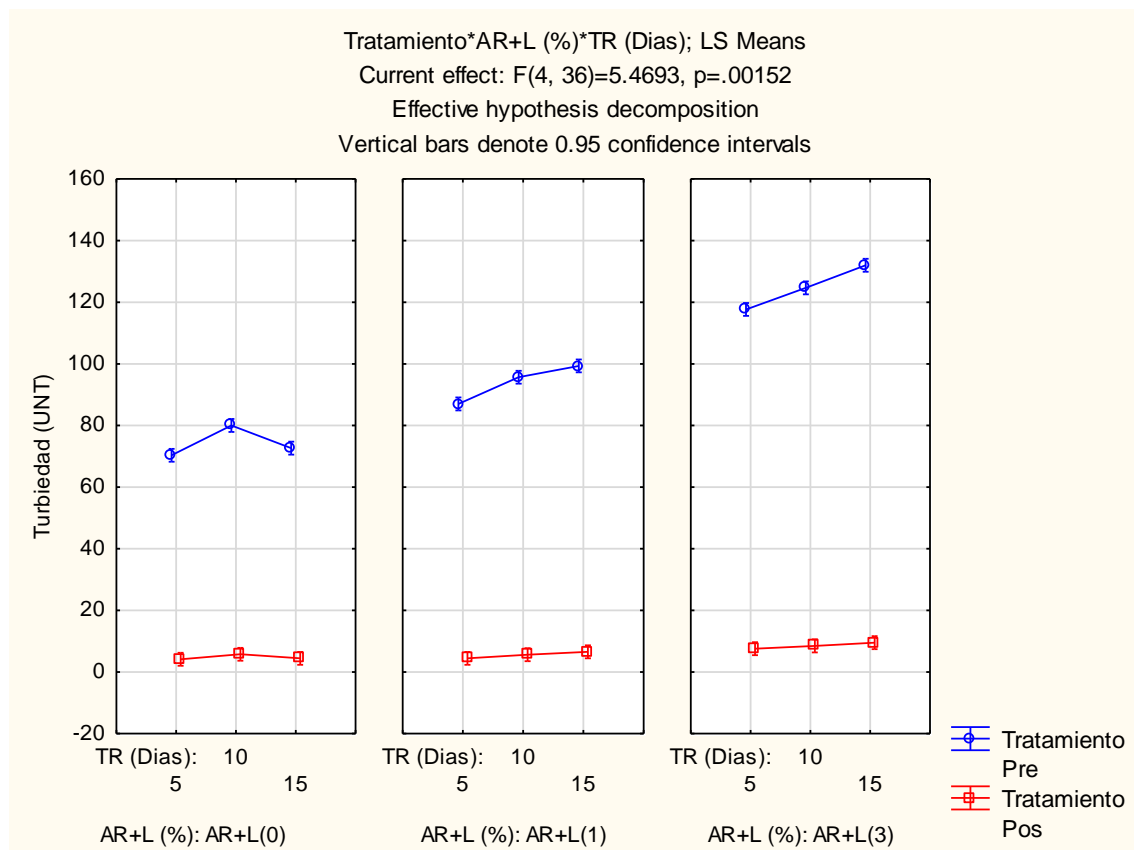


Figura 29. DBCA de la turbiedad en relación al TR y concentración de lixiviado

En la figura 29 se presenta la remoción de la turbiedad antes y después del tratamiento con respecto al tiempo de retención (TR) y concentración de lixiviado (%). Se observa una reducción significativa, logrando una eficiencia de remoción promedio de 94, 94, 93%, para AR+L (0%), AR+L (1%) y AR+L (3%) respectivamente. Por consiguiente se menciona que a concentración de 1% de lixiviado en un TR 5 días se obtienen mejores resultados.

Asimismo los estándares de calidad ambiental para agua establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM categoría 3 riego de vegetales, no aplica para la turbiedad, no obstante se obtuvo eficiencias mayores al 90%.

En los HA, la capacidad de remoción se debe a los efectos combinados entre el tiempo de retención hidráulica, la acción filtrante del sustrato para retener sólidos suspendidos del agua y la actividad biológica del sistema (Rodríguez-Momroy y Durán-de Bazúa, 2006).

El sustrato es un material importante ya que cumple con varias funciones como ser el medio de soporte de las bacterias y de las plantas, aparte de funcionar como medio filtrante para retener los sólidos suspendidos que se depositan en la superficie del sustrato, para luego ser degradados por los microorganismos (Fenoglio, 2000).

La mayoría de los sólidos suspendidos y sedimentables son removidos en el tratamiento previo, los humedales filtran y sedimentan los remanentes, complementando esta remoción. En efecto, las raíces de las mácrófitas y el sustrato reducen la velocidad del agua, favoreciendo ambos procesos. El tratamiento previo es muy importante para evitar obstrucciones y la rápida colmatación del humedal (Delgadillo et al., 2010).

En la presente investigación se determinó que a mayor tiempo de retención alrededor de 15 días el agua comenzó a tornarse de color oscuro y un olor a descomposición de materia orgánica. El color en aguas residuales es causado por los sólidos en suspensión, material coloidal y sustancias en solución (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Asimismo, el color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual, el gris claro indica que el agua que ha sufrido algún grado de descomposición y que ha permanecido poco tiempo en los sistemas de recolección, de la misma manera el color gris oscuro o negro menciona que el agua residual han sufrido una fuerte descomposición por bacterias bajo condiciones anaerobias (sin oxígeno) (Delgadillo et al., 2010).

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

Tabla 50. Análisis de varianza del pH

Effect	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	P
Intercept	3269.779	1	3269.779	76106.91	0.000000
Tratamiento	0.000	1	0.000	0.00	1.000000
AR+L (%)	0.410	2	0.205	4.78	0.014466
TR (Días)	0.539	2	0.270	6.28	0.004589
Tratamiento*AR+L (%)	1.618	2	0.809	18.83	0.000003
Tratamiento*TR(Días)	0.338	2	0.169	3.93	0.028565
AR+L(%)*TR(Días)	0.252	4	0.063	1.47	0.232964
Tratamiento*AR+L(%)*TR(Días)	0.718	4	0.179	4.18	0.007019
Error	1.547	36	0.043		

En la tabla 50 se muestra el análisis de varianza del pH donde el valor-p en la mayoría de los efectos de variabilidad es $< \alpha = 0.05$ indicando que si existe significancia al 95% de nivel de confianza, en consecuencia se rechaza la H_0 y se acepta la H_a , afirmando que si hubo efecto del tiempo de retención y concentración del lixiviado en la remoción de los parámetros fisicoquímicos mediante el sistema de tratamiento de HAFSSH en la mayoría de los efectos de variabilidad. Sin embargo en el factor de tratamiento (tratamiento) y en el factor bloque (AR+L (%)*TR (Días)) los valores p son $> \alpha = 0.05$ por lo tanto en estos tratamientos no hubo efecto significativo.

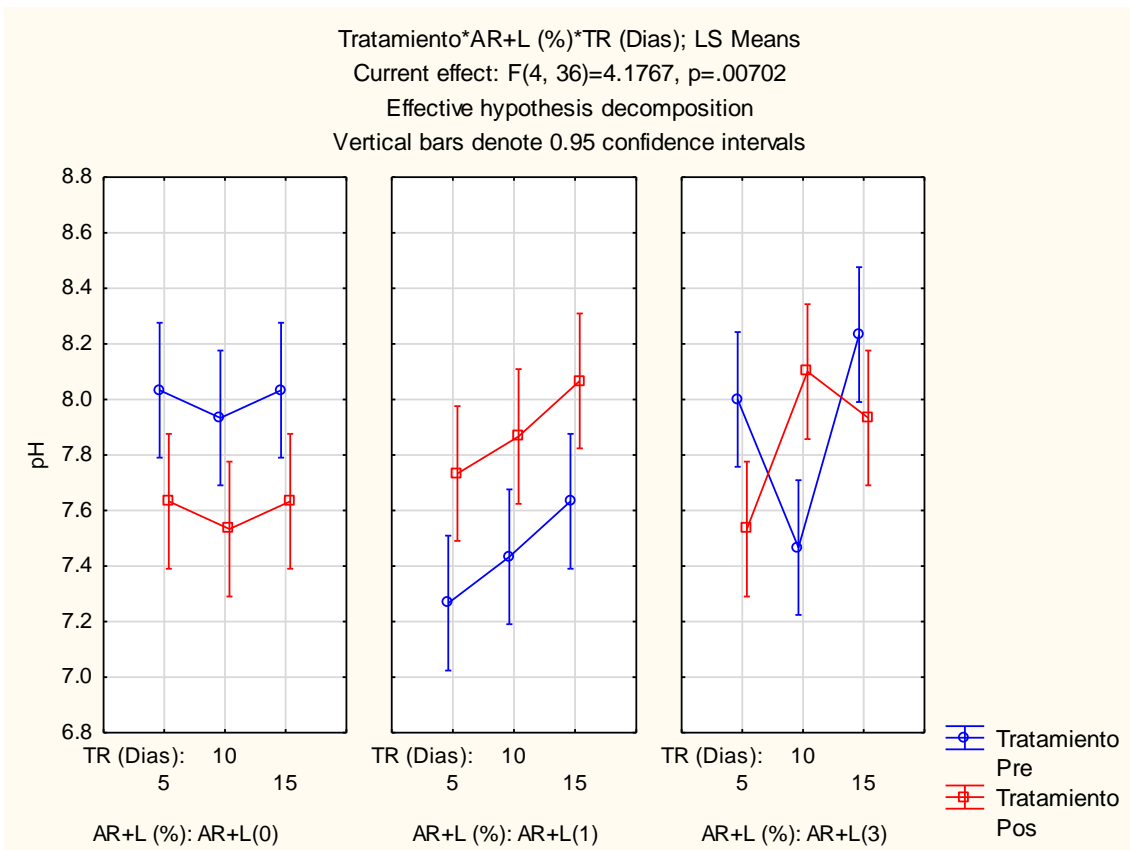


Figura 30. DBCA del pH en relación al TR y concentración de lixiviado

En la figura 30 se presenta la remoción del pH antes y después del tratamiento con respecto al tiempo de retención (TR) y concentración de lixiviado (%). Se observa una reducción significativa, logrando una eficiencia de remoción de 100%, para AR+L (0%), AR+L (1%) y AR+L (3%). Por consiguiente se afirma que en los 3 casos el pH presenta variaciones mínimas.

Los resultados del post tratamiento de las concentraciones 1 y 3% en los días 5, 10 y 15 cumplen con los estándares de calidad ambiental para agua establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM categoría 3 riego de vegetales (6.5-8.5), por esa razón se menciona los valores se mantienen dentro del rango establecido por el ECA.

Una variable ambiental que también puede influir en la desnitrificación es el potencial de hidrogeno. A valores de pH ligeramente alcalinos, el nitrato es convertido en N₂ (Thomsen,

Geest y Cox, 1994). Todos los resultados del pH se encuentran mayor a 7, esto favorece en la remoción del nitrógeno.

El pH relativamente alto, comparado con otros lixiviados, puede explicarse por la elevada alcalinidad, producida fundamentalmente por la presencia de amonio, lo que le otorga una gran capacidad buffer a pesar de la elevada concentración de ácidos volátiles (Borzacconi et al., 1996).

Para reducir al máximo la producción de sulfuro indeseable es necesario mantener el pH alrededor de 7.5 para el buen desempeño del sistema, si permanece por debajo de 6.5 o por encima de 8.5 se puede configurar la producción excesiva de sulfuro (Arango, 2013).

- **Conductividad eléctrica**

Tabla 51. Análisis de varianza de la conductividad eléctrica

Effect	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	P
Intercept	10565574	1	10565574	1080570	0.000000
Tratamiento	1655851	1	1655851	169348	0.000000
AR+L (%)	1015067	2	507534	51907	0.000000
TR (Días)	35486	2	17743	1815	0.000000
Tratamiento*AR+L (%)	143797	2	71899	7353	0.000000
Tratamiento*TR(Días)	115	2	58	6	0.006141
AR+L(%)*TR(Días)	19223	4	4806	491	0.000000
Tratamiento*AR+L(%)*TR(Días)	764	4	191	20	0.000000
Error	352	36	10		

En la tabla 51 se muestra el análisis de varianza de la conductividad eléctrica donde el valor-p en todos los efectos de variabilidad es $< \alpha = 0.05$ indicando que si existe significancia al 95% de nivel de confianza. Por consiguiente se rechaza la H_0 y se acepta la H_a , afirmando que si hubo efecto del tiempo de retención y concentración del lixiviado en la remoción de los parámetros fisicoquímicos mediante el sistema de tratamiento de HAFSSH.

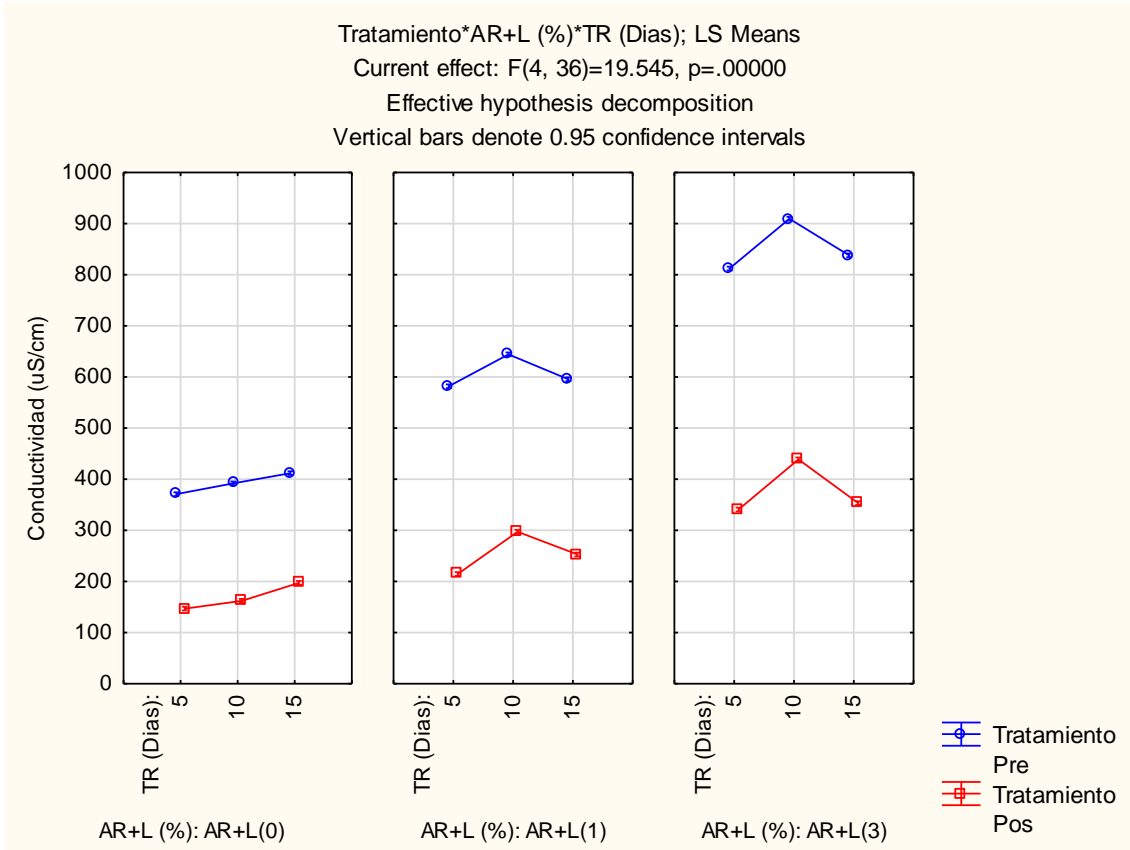


Figura 31. DBCA de la conductividad eléctrica en relación al TR y concentración de lixiviado

En la figura 31 se presenta la remoción de la conductividad eléctrica antes y después del tratamiento con respecto al tiempo de retención (TR) y concentración de lixiviado (%). Se observa una reducción significativa, logrando una eficiencia de remoción promedio de 57, 58, 56%, para AR+L (0%), AR+L (1%) y AR+L (3%) respectivamente. Por consiguiente se afirma que a concentración de 1% de lixiviado en un TR 5 días se obtienen mejores resultados.

Los resultados del post tratamiento de la concentración 1 y 3 % en los días 5, 10 y 15 cumplen con los estándares de calidad ambiental para agua establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM categoría 3 riego de vegetales (2500 uS/cm). La eficiencia de remoción más alta se obtuvo en la primera concentración (Tabla 39), en consecuencia se afirma que la concentración 1% en el día 5 es la óptima.

La corriente eléctrica es transportada por iones en solución, por lo tanto el aumento de la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Teniendo en cuenta que la medición de la conductividad eléctrica está relacionada con el contenido de iones en el agua residual, estos al pasar por un sistema tratamiento disminuyen su contenido debido a los mecanismos de remoción en humedales por parte del lecho filtrante (Brix, 1997).

- **Sólidos disueltos totales**

Tabla 52. Análisis de varianza de sólidos disueltos totales

Effect	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	P
Intercept	2473840	1	2473840	329845.3	0.000000
Tratamiento	394241	1	394241	52565.4	0.000000
AR+L (%)	240963	2	120481	16064.2	0.000000
TR (Días)	9587	2	4793	639.1	0.000000
Tratamiento*AR+L (%)	34629	2	17315	2308.6	0.000000
Tratamiento*TR(Días)	92	2	46	6.1	0.005075
AR+L(%)*TR(Días)	4468	4	1117	148.9	0.000000
Tratamiento*AR+L(%)*TR(Días)	94	4	24	3.1	0.025852
Error	270	36	7		

En la tabla 52 se muestra el análisis de varianza de sólidos disueltos totales donde el valor-p en todos los efectos de variabilidad es $< \alpha = 0.05$ indicando que si existe significancia al 95% de nivel de confianza. Por lo tanto se rechaza la H_0 y se acepta la H_a , afirmando que si hubo efecto del tiempo de retención y concentración del lixiviado en la remoción de los parámetros fisicoquímicos mediante el sistema de tratamiento de HAFSSH.

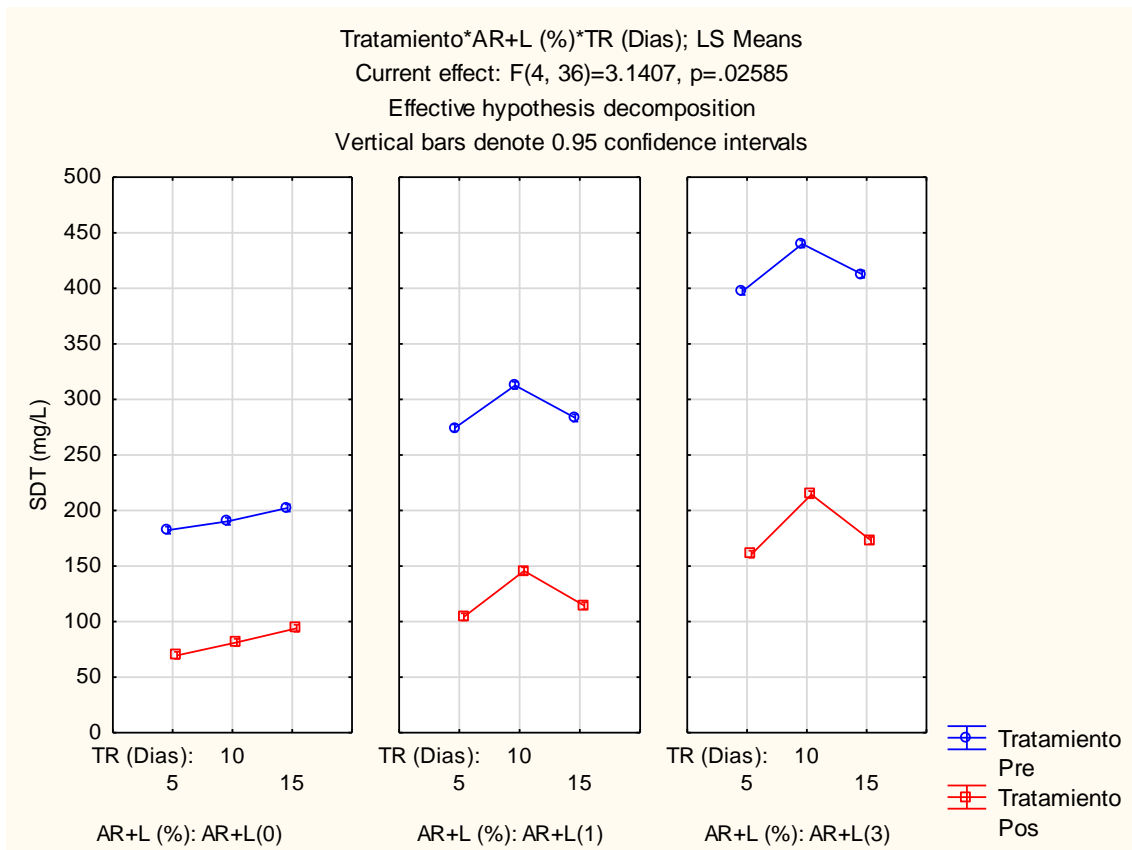


Figura 32. DBCA de sólidos disueltos totales en relación al TR y concentración de lixiviado

En la figura 32 se presenta la remoción de sólidos disueltos totales antes y después del tratamiento con respecto al tiempo de retención (TR) y concentración de lixiviado (%). Se observa una reducción significativa, logrando una eficiencia de remoción promedio de 58, 58, 56%, para AR+L (0%), AR+L (1%) y AR+L (3%) respectivamente. Por consiguiente se afirma que a concentración de 1% de lixiviado en un TR 5 días se obtienen mejores resultados.

Asimismo los estándares de calidad ambiental para agua establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM categoría 3 riego de vegetales, no aplica para sólidos totales, no obstante se obtuvo eficiencias mayores al 55%.

Los sólidos disueltos están compuestos por moléculas orgánicas e inorgánicas, e iones en disolución en el agua. Los sólidos disueltos tienen un tamaño menor a 0,00001 mm. Se

relacionan con el grado de mineralización del agua ya que son iones de sales minerales que el agua ha disuelto a su paso (Delgadillo et al., 2010).

Los procesos de oxidación biológica y adsorción pueden eliminar no sólo partículas suspendidas, sino también sólidos disueltos. Existen reportes de experiencias exitosas de remociones de materia orgánica en muchos tipos de aguas residuales, así como tratamiento de lixiviados de vertederos (Yoo, Cho y Ko, 2001; Lau, Wang y Fang, 2001; Xiao et al., 2002; Kargi y Pamukoglu, 2004; Kargi y Pamukoglu, 2003; Lopes y Peralta, 2005; Rivas, Beltrán, Carvalho, Gimeno y Frades, 2005).

- **Oxígeno disuelto**

Tabla 53. Análisis de varianza del oxígeno disuelto

Effect	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	P
Intercept	2118.134	1	2118.134	31509.43	0.000000
Tratamiento	205.725	1	205.725	3060.37	0.000000
AR+L (%)	38.983	2	19.491	289.95	0.000000
TR (Días)	3.414	2	1.707	25.39	0.000000
Tratamiento*AR+L (%)	14.249	2	7.125	105.99	0.000000
Tratamiento*TR(Días)	1.738	2	0.869	12.93	0.000059
AR+L(%)*TR(Días)	3830	4	0.957	14.24	0.000000
Tratamiento*AR+L(%)*TR(Días)	5.327	4	1.332	19.81	0.000000
Error	2.420	36	0.067		

En la tabla 53 se muestra el análisis de varianza del oxígeno disuelto donde el valor-p en todos los efectos de variabilidad es $< \alpha = 0.05$ indicando que si existe significancia al 95% de nivel de confianza. Es por eso que se rechaza la H_0 y se acepta la H_a , afirmando que si hubo efecto del tiempo de retención y concentración del lixiviado en la remoción de los parámetros fisicoquímicos mediante el sistema de tratamiento de HAFSSH.

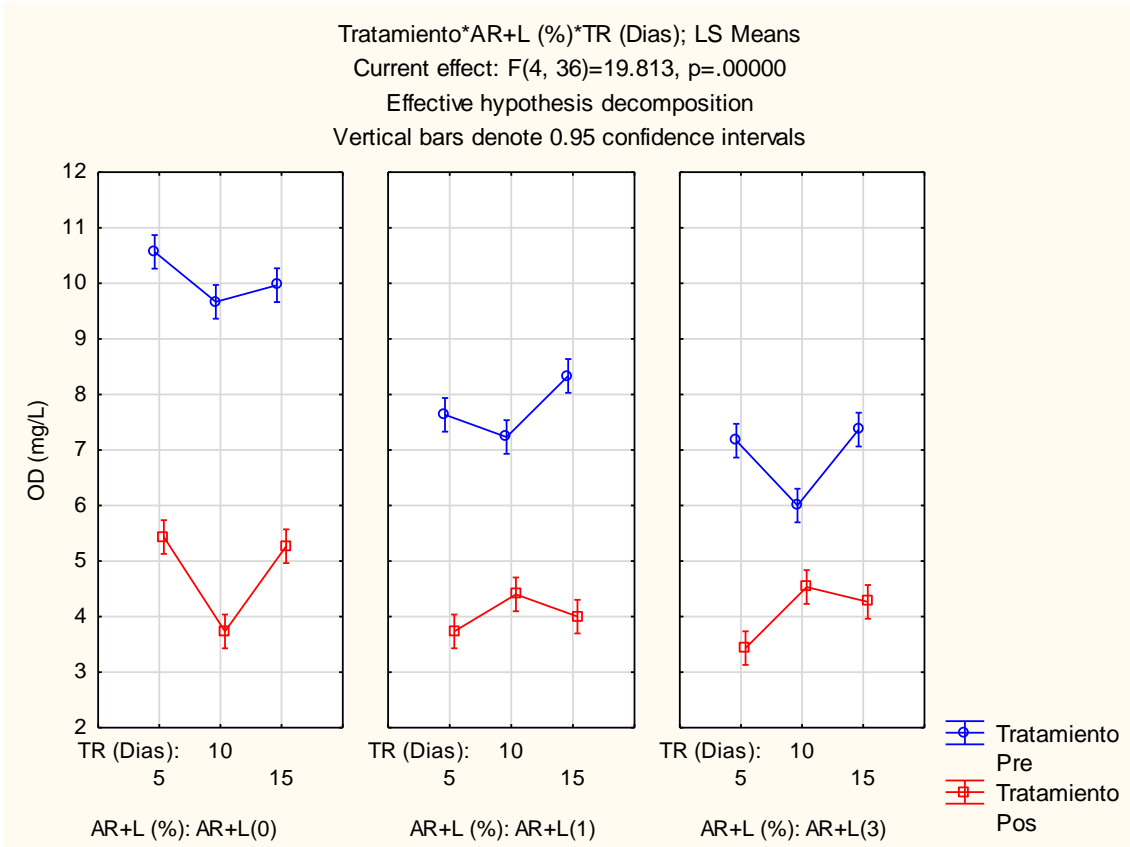


Figura 33. DBCA del oxígeno disuelto en relación al TR y concentración de lixiviado

En la figura 33 se presenta la remoción de oxígeno disuelto antes y después del tratamiento con respecto al tiempo de retención (TR) y concentración de lixiviado (%). Se observa una reducción significativa, logrando una eficiencia de remoción promedio de 52, 47, 40%, para AR+L (0%), AR+L (1%) y AR+L (3%) respectivamente. Por lo tanto se afirma que a concentración de 3% de lixiviado en un TR 10 días se obtienen mejores resultados.

Los resultados del post tratamiento de las concentraciones 1 y 3% en los días 10 y 15 cumplen con los estándares de calidad ambiental para agua establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM categoría 3 riego de vegetales (≥ 4), sin embargo en el día 5 en ambas dosis los valores son inferiores a lo establecido, por lo tanto se menciona que en las concentraciones 1 y 3% se obtienen mayores cantidades de oxígeno en el día 10.

El oxígeno en los humedales de flujo subsuperficial es limitada, por ser un sistema anaerobio, a su vez esto disminuye la capacidad de remoción de amoníaco por nitrificación biológica es por ello que se requieren tiempos largos de retención en un área extensa de humedal para producir los niveles bajos de nitrógeno a menos que se adopten algunas modificaciones al sistema (EPA, 2000b). Por ese motivo se implementó una tubería de aireación al HA mediante tuberías con la finalidad de suministrar oxígeno al medio.

La mayoría del agua contenida en los humedales de flujo subsuperficial es anóxica, limitando el potencial de nitrificación del amoníaco. El aumento del tamaño del humedal y el tiempo de retención puede hacerse como compensación, pero puede no ser eficiente en términos económicos (EPA, 2000b).

Existe un potencial muy limitado para las condiciones aeróbicas y anóxicas en los humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal debido a las fuertes condiciones reductoras que prevalecen. Por lo tanto, los sistemas horizontales generalmente se consideran sistemas de tratamiento anaeróbico (García et al., 2004; García et al., 2005; Marahatta, 2005). Es posible que los efluentes de los procesos de desnitrificación se vuelvan a airear para cumplir con los requisitos de descarga de oxígeno disueltos (EPA, 2000a).

- **Temperatura**

Tabla 54. Análisis de varianza de la temperatura

Effect	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	P
Intercept	33063.53	1	33063.53	615665.7	0.000000
Tratamiento	37.50	1	37.50	698.3	0.000000
AR+L (%)	11.61	2	5.81	108.1	0.000000
TR (Días)	20.02	2	10.01	186.4	0.000000
Tratamiento*AR+L (%)	2.03	2	1.01	18.9	0.000002
Tratamiento*TR(Días)	3.22	2	1.61	30.0	0.000000
AR+L(%)*TR(Días)	30.91	4	7.73	143.9	0.000000
Tratamiento*AR+L(%)*TR(Días)	5.82	4	1.45	27.1	0.000000
Error	1.93	36	0.05		

En la tabla 54 se muestra el análisis de varianza de la temperatura donde el valor-p en todos los efectos de variabilidad es $< \alpha = 0.05$ indicando que si existe significancia al 95% de nivel de confianza. Por esa razón se rechaza la H_0 y se acepta la H_a , afirmando que si hubo efecto del tiempo de retención y concentración del lixiviado en la remoción de los parámetros fisicoquímicos mediante el sistema de tratamiento de HAFSSH.

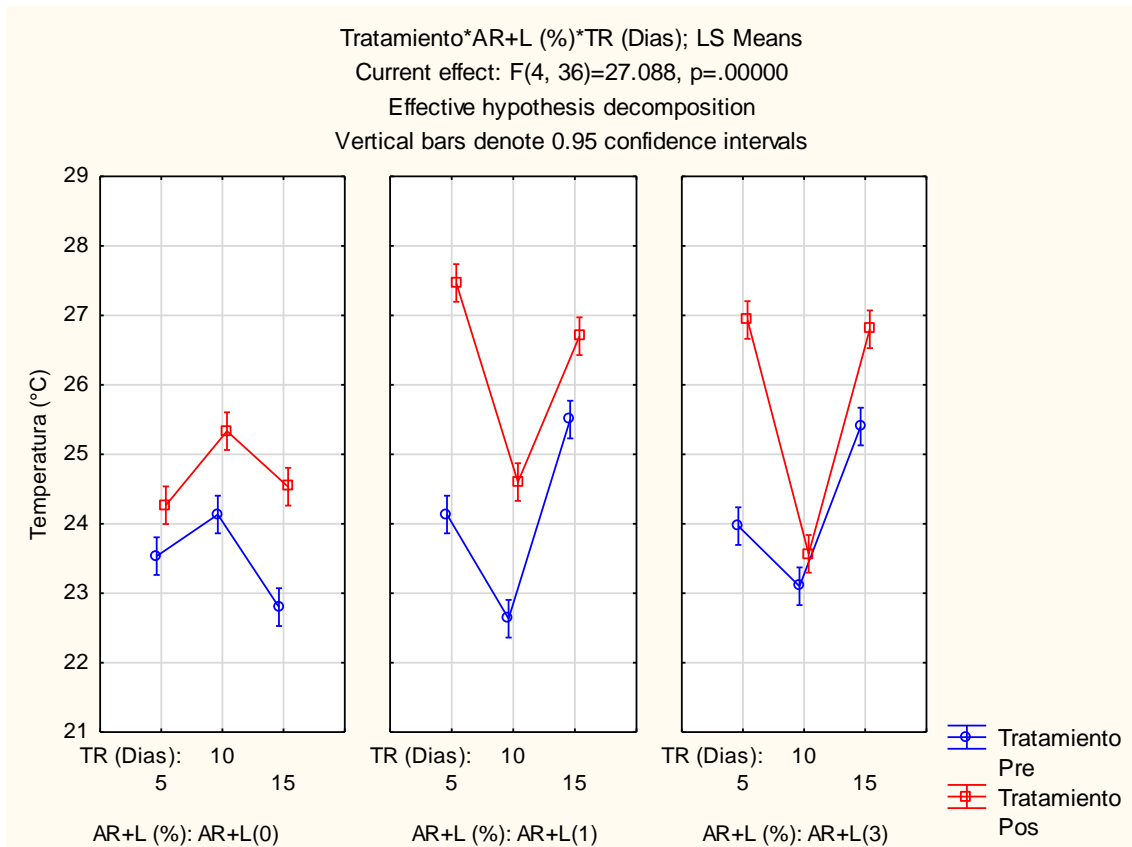


Figura 34. DBCA de la temperatura en relación al TR y concentración de lixiviado

En la figura 34 se presenta la remoción de la temperatura antes y después del tratamiento con respecto al tiempo de retención (TR) y concentración de lixiviado (%). Se observa una reducción significativa, logrando una eficiencia de remoción de 100%, para AR+L (0%), AR+L (1%) y AR+L (3%). Por consiguiente se afirma que a concentración de 1% de lixiviado en un TR 5 días se obtienen mejores resultados.

Los resultados del post tratamiento de las concentraciones 1 y 3% en los días 5, 10 y 15 cumplen con los estándares de calidad ambiental para agua establecido por el Decreto

Supremo N° 004-2017-MINAM categoría 3 riego de vegetales ($\Delta 3$), por esa razón se mencionan los valores se mantienen dentro del rango establecido por el ECA.

La remoción de DBO_5 y de varias formas de nitrógeno, dependen de la temperatura, en climas fríos las bajas temperaturas durante el invierno reducen la tasa de remoción de DBO_5 , NH_3 y NO_3 . Un aumento en el tiempo de retención puede compensar por la disminución de las tasas pero el incremento en el tamaño de los humedales en climas extremadamente fríos puede no ser factible desde el punto de vista económico o técnico (EPA, 2000b).

De acuerdo con los resultados obtenidos y con otros autores, se puede mencionar que las condiciones ambientales bajo las cuales opero el sistema fueron favorables, ubicada en el rango óptimo para la ocurrencia eficiente de procesos bioquímicos de 20 a 35°C (Kadlec y Wallace, 2009).

4.8.2. Prueba de normalidad antes del tratamiento

- **Turbiedad**

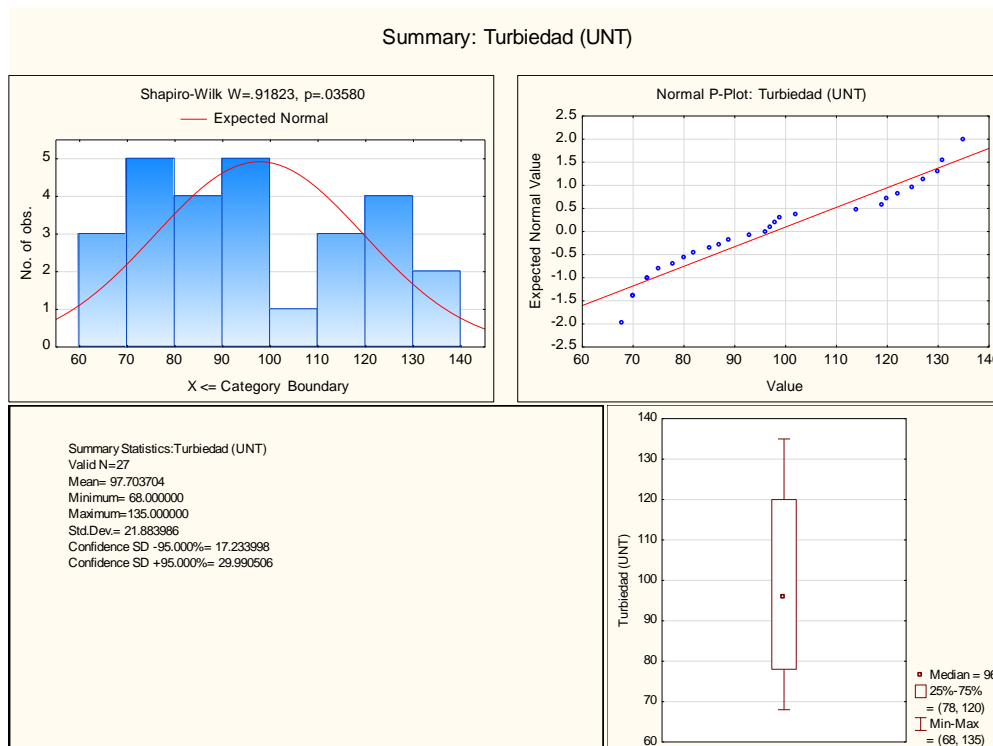


Figura 35. Prueba de normalidad de la turbiedad antes del tratamiento

En la figura 35 se observa que el P-valor de Shapiro-Wilk es 0.03580, siendo $< \alpha=0.05$, indicando que no existe una distribución normal en los resultados pre de la turbiedad. Además, en el gráfico de Normal P-Plot se observa que algunos puntos experimentales se encuentran dispersos de la línea roja, lo cual indica que los datos no siguen una distribución normal.

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

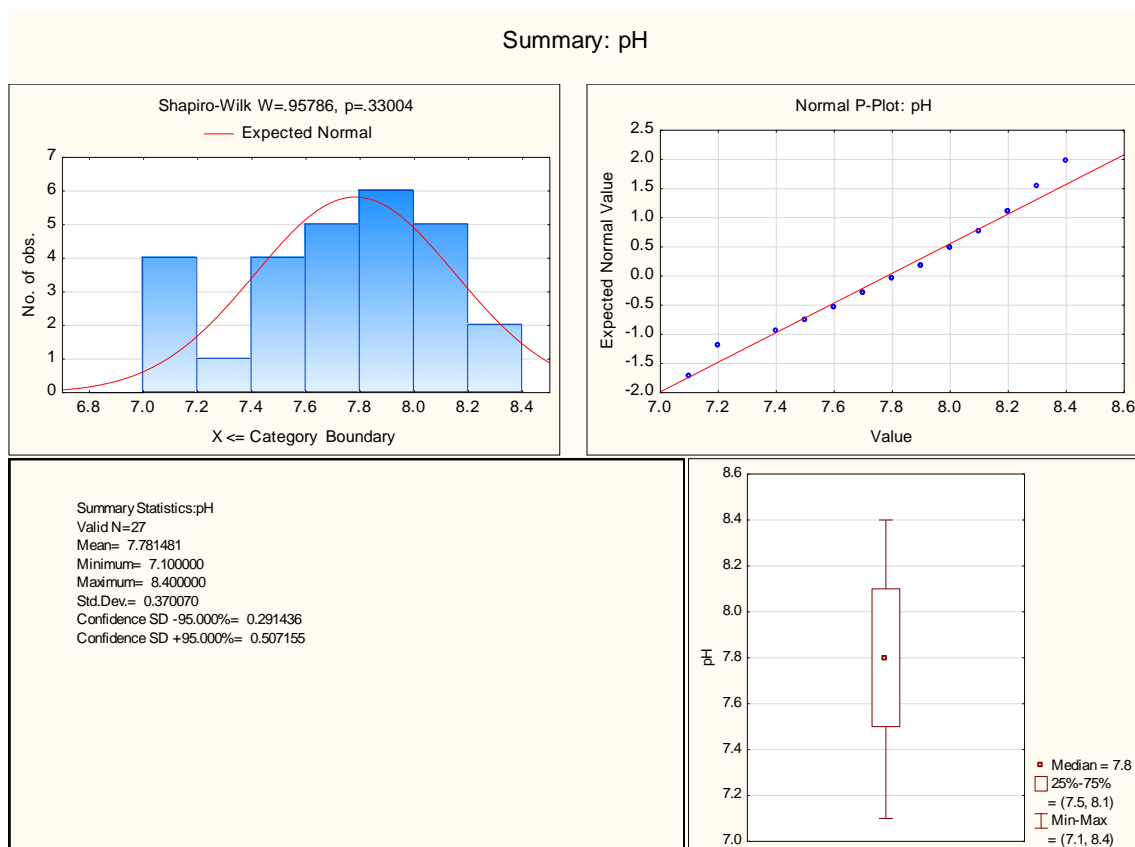


Figura 36. Prueba de normalidad del pH antes del tratamiento

En la figura 36 se observa que el P-valor de Shapiro-Wilk es 0.33004, siendo $> \alpha=0.05$, indicando que si existe una distribución normal en los resultados pre del pH. Asimismo, en el gráfico de Normal P-Plot se observa que algunos puntos experimentales se encuentran cerca de la línea roja, lo cual indica que los datos siguen una distribución normal.

- **Conductividad eléctrica**

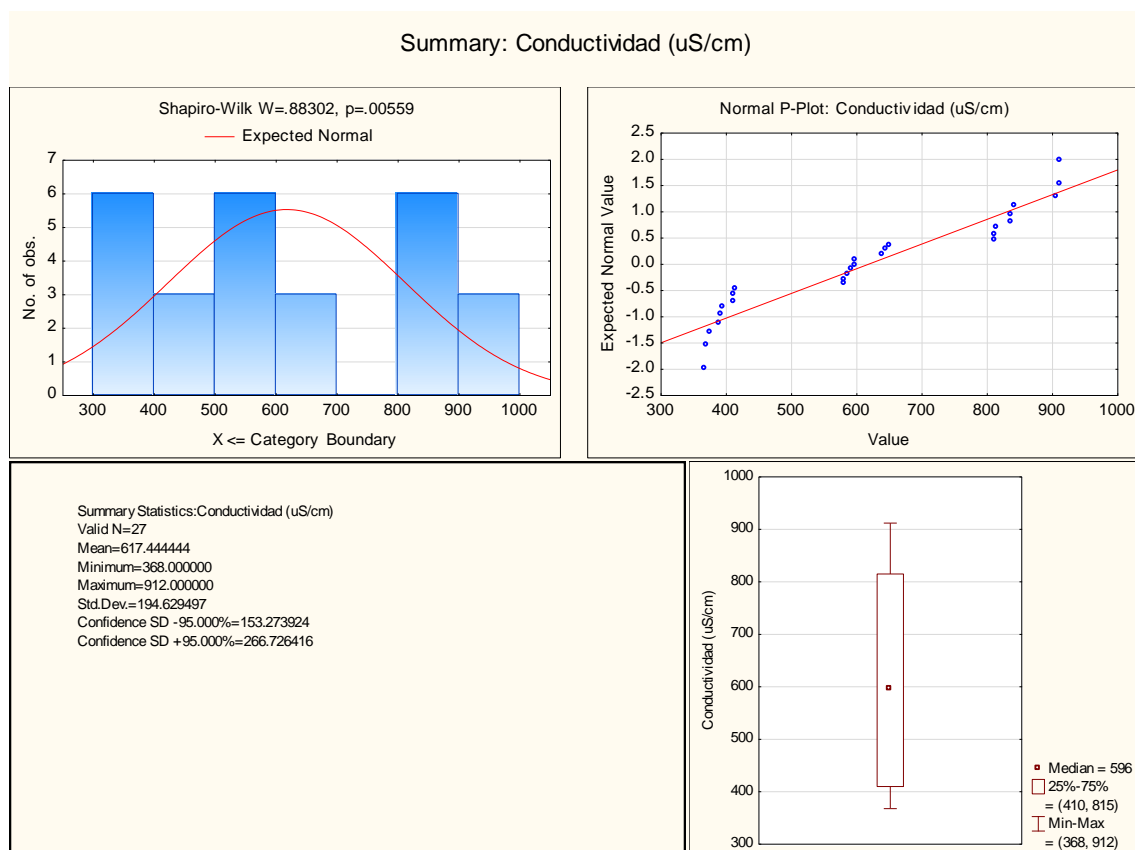


Figura 37. Prueba de normalidad de la conductividad eléctrica antes del tratamiento

En la figura 37 se observa que el P-valor de Shapiro-Wilk es 0.00559, siendo $< \alpha=0.05$, indicando que no existe una distribución normal en los resultados pre de la conductividad eléctrica. Asimismo, en el gráfico de Normal P-Plot se observa que algunos puntos experimentales se encuentran dispersos de la línea roja, lo cual indica que los datos no siguen una distribución normal.

- **Sólidos disueltos totales**

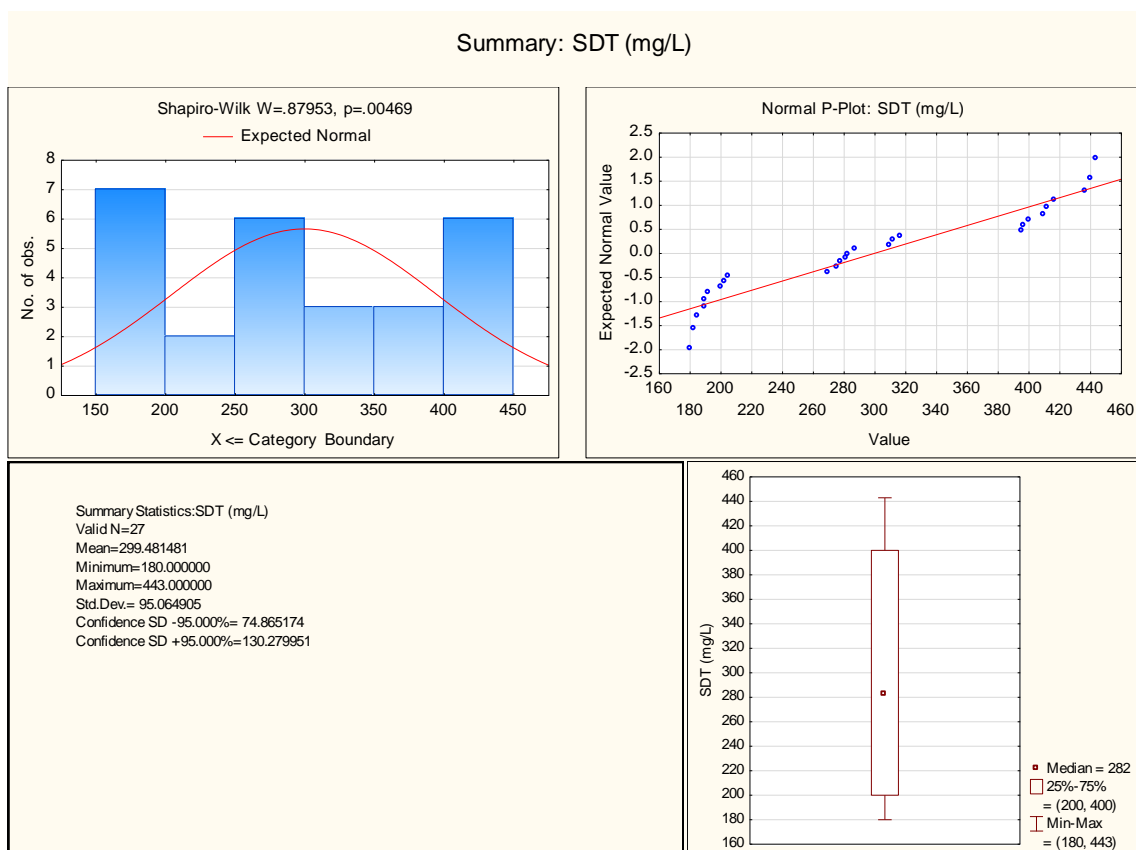


Figura 38. Prueba de normalidad de sólidos disueltos totales antes del tratamiento

En la figura 38 se observa que el P-valor de Shapiro-Wilk es 0.00469, siendo $< \alpha=0.05$, indicando que no existe una distribución normal en los resultados pre de sólidos disueltos totales. Asimismo, en el gráfico de Normal P-Plot se observa que algunos puntos experimentales se encuentran dispersos de la línea roja, lo cual indica que los datos no siguen una distribución normal.

- Oxígeno disuelto

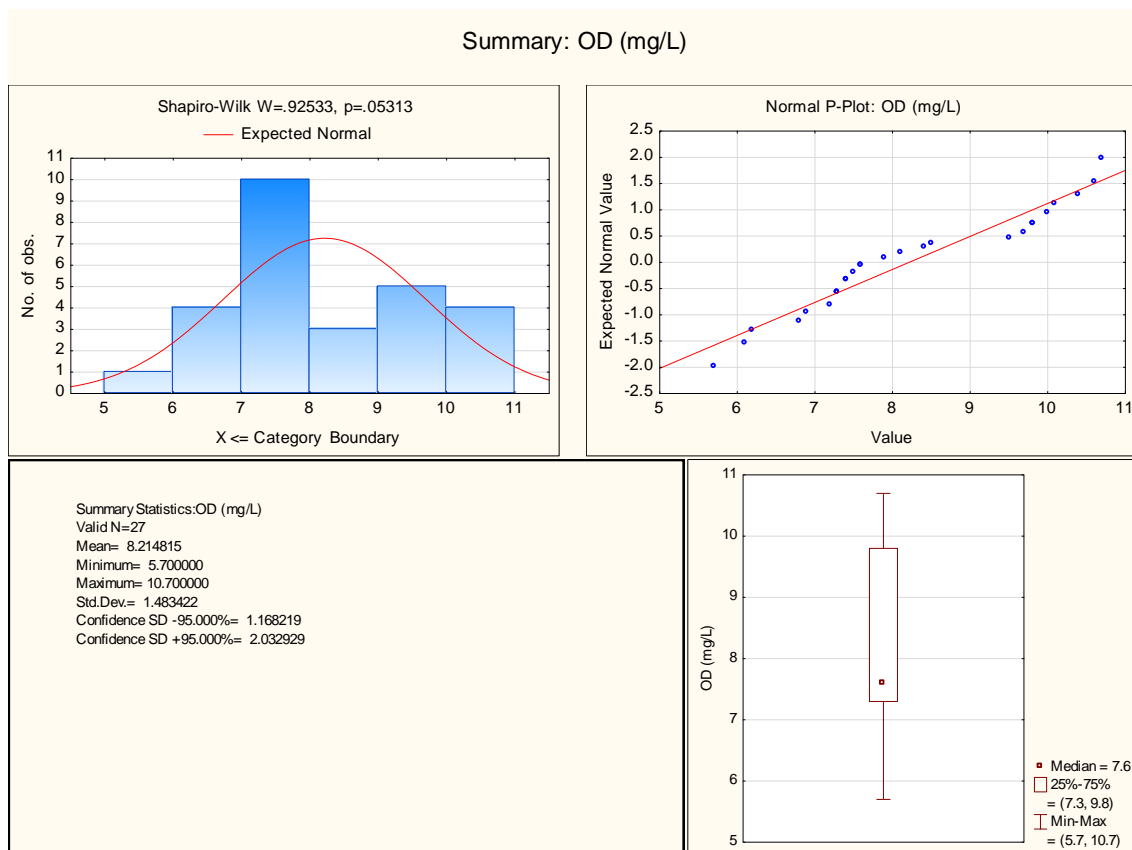


Figura 39. Prueba de normalidad del oxígeno disuelto antes del tratamiento

En la figura 39 se observa que el P-valor de Shapiro-Wilk es 0.05313, siendo $> \alpha=0.05$, indicando que si existe una distribución normal en los resultados pre del oxígeno total. Asimismo, en el gráfico de Normal P-Plot se observa que los puntos experimentales se encuentran cerca de la línea roja, lo cual indica que los datos siguen una distribución normal.

- **Temperatura**

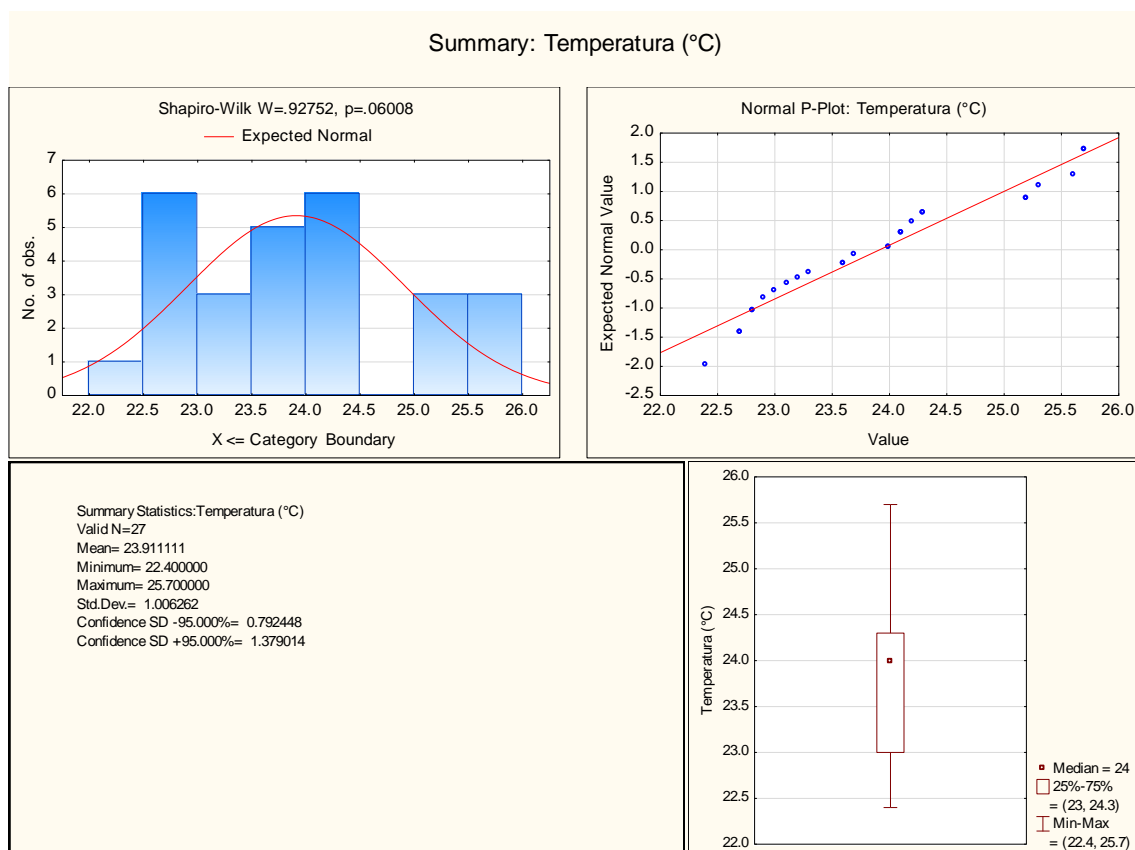


Figura 40. Prueba de normalidad de la temperatura antes del tratamiento

En la figura 40 se observa que el P-valor de Shapiro-Wilk es 0.06008, siendo $> \alpha=0.05$, indicando que si existe una distribución normal en los resultados pre de la temperatura. Asimismo, en el gráfico de Normal P-Plot se observa que los puntos experimentales se encuentran cerca de la línea roja, lo cual indica que los datos siguen una distribución normal.

4.8.3. Prueba de normalidad después del tratamiento

- **Turbiedad**

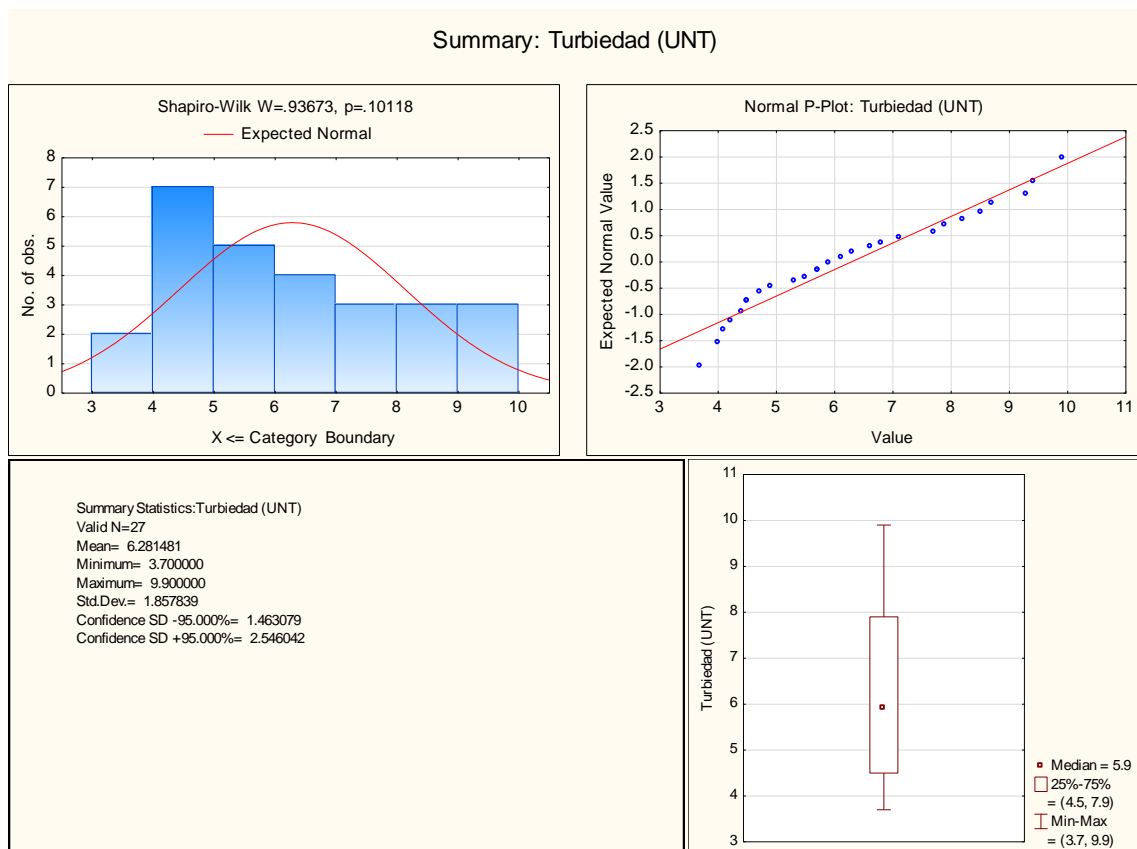


Figura 41. Prueba de normalidad de la turbiedad después del tratamiento

En la figura 41 se observa que el P-valor de Shapiro-Wilk es 0.10118, siendo $> \alpha=0.05$, indicando que si existe una distribución normal en los resultados post de la turbiedad. Asimismo, en el gráfico de Normal P-Plot se observa que los puntos experimentales se encuentran cerca de la línea roja, lo cual indica que los datos siguen una distribución normal.

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

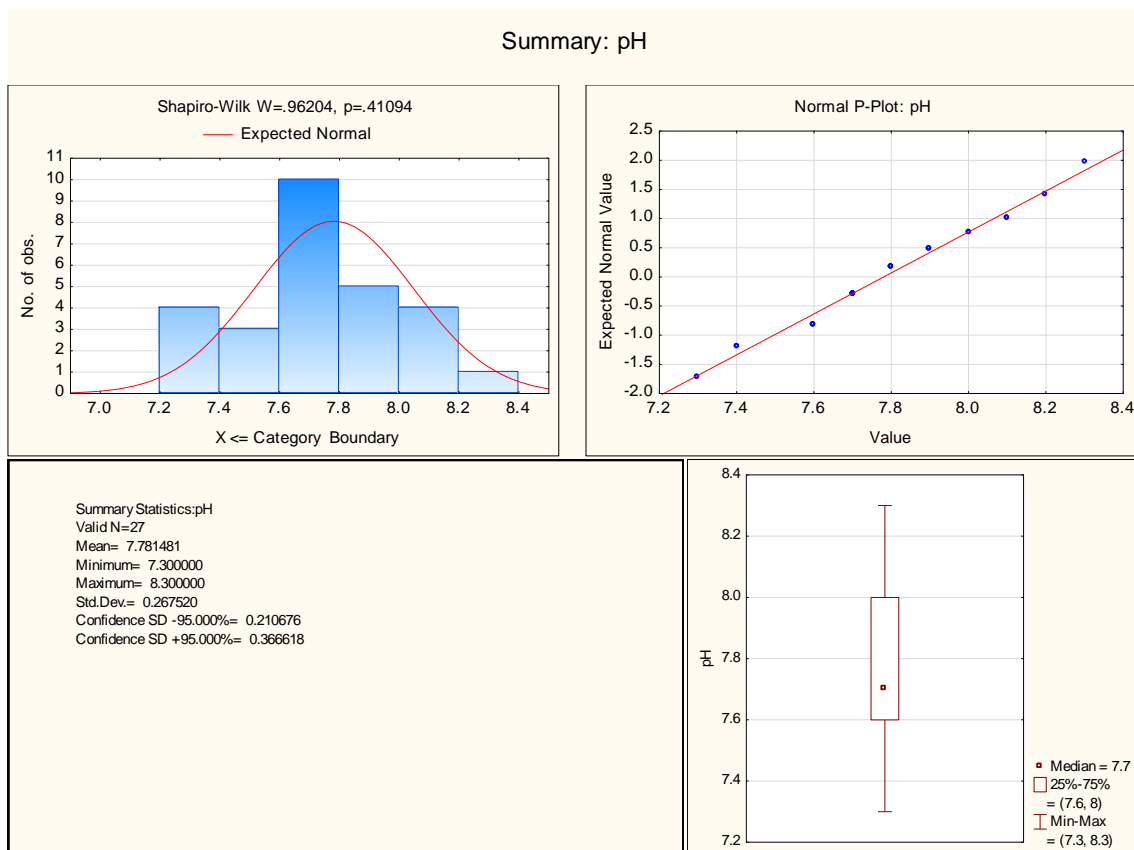


Figura 42. Prueba de normalidad del pH después del tratamiento

En la figura 42 se observa que el P-valor de Shapiro-Wilk es 0.41094, siendo $> \alpha=0.05$, indicando que si existe una distribución normal en los resultados post del pH. Asimismo, en el gráfico de Normal P-Plot se observa que los puntos experimentales se encuentran cerca de la línea roja, lo cual indica que los datos siguen una distribución normal.

- **Conductividad eléctrica**

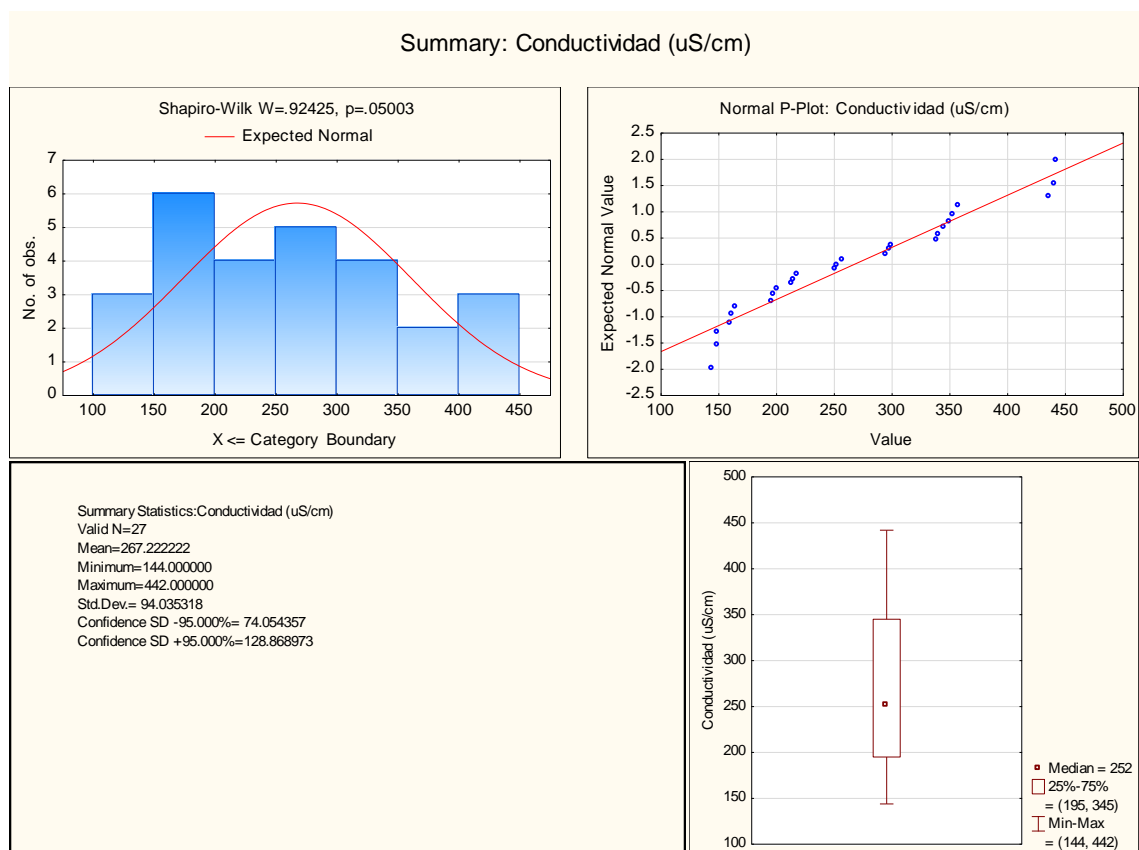


Figura 43. Prueba de normalidad de la conductividad eléctrica después del tratamiento

En la figura 43 se observa que el P-valor de Shapiro-Wilk es 0.05003, siendo $> \alpha=0.05$, indicando que si existe una distribución normal en los resultados post de la conductividad eléctrica. Asimismo, en el gráfico de Normal P-Plot se observa que los puntos experimentales se encuentran cerca de la línea roja, lo cual indica que los datos siguen una distribución normal.

- **Sólidos disueltos totales**

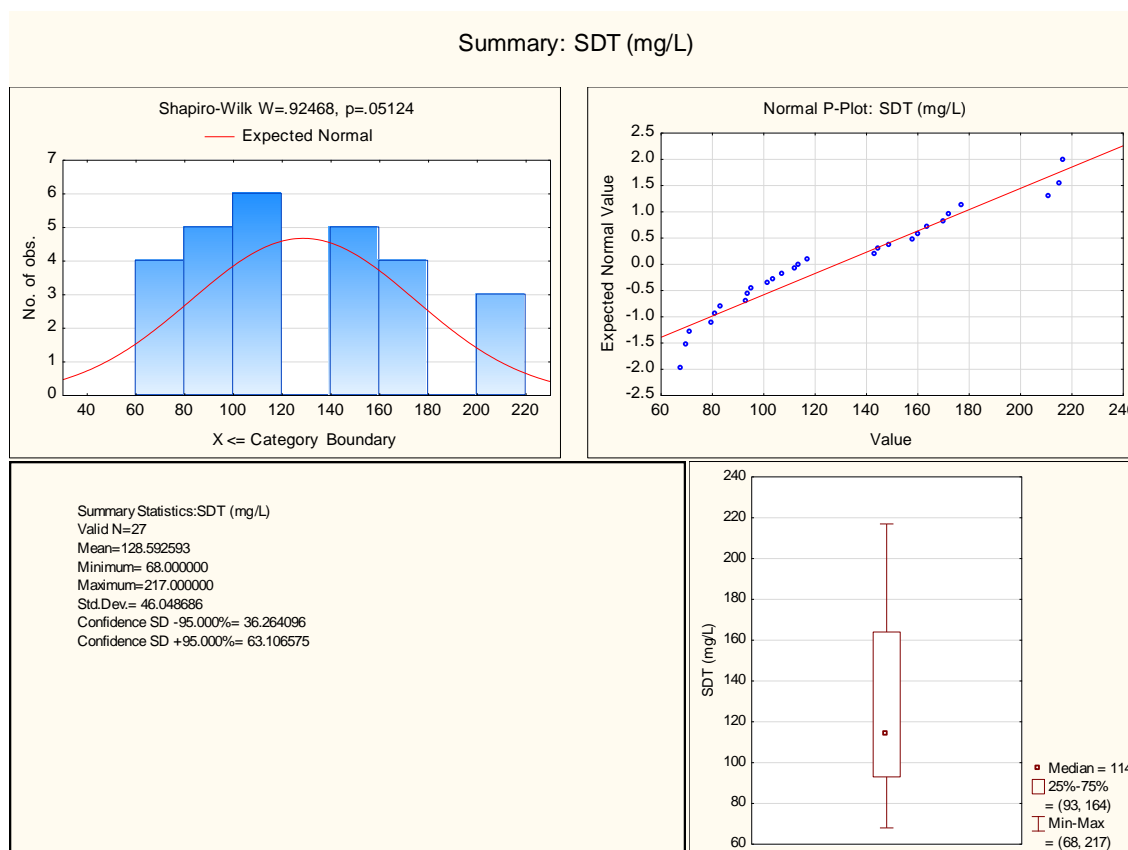


Figura 44. Prueba de normalidad de sólidos disueltos totales después del tratamiento

En la figura 44 se observa que el P-valor de Shapiro-Wilk es 0.05124, siendo $> \alpha=0.05$, indicando que si existe una distribución normal en los resultados post de sólidos disueltos totales. Asimismo, en el gráfico de Normal P-Plot se observa que los puntos experimentales se encuentran cerca de la línea roja, lo cual indica que los datos siguen una distribución normal.

- Oxígeno disuelto

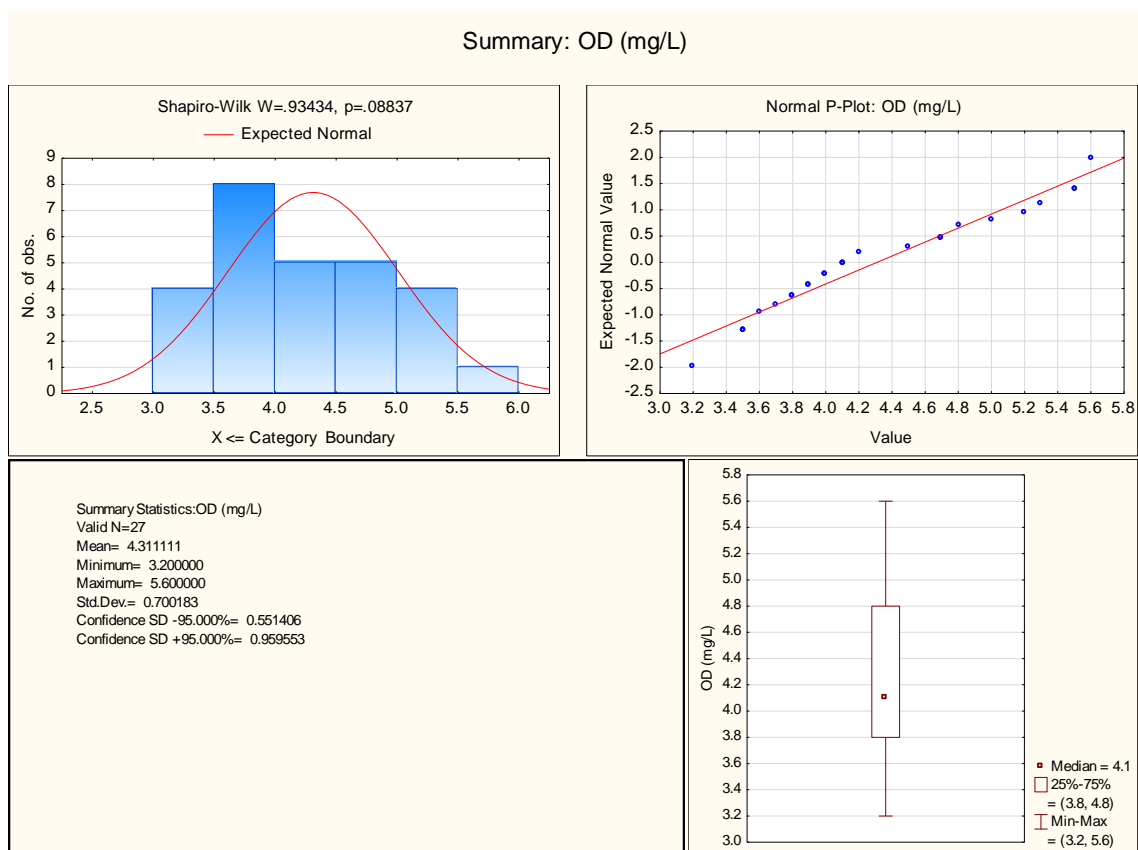


Figura 45. Prueba de normalidad del oxígeno disuelto después del tratamiento

En la figura 45 se observa que el P-valor de Shapiro-Wilk es 0.08837, siendo $> \alpha=0.05$, indicando que si existe una distribución normal en los resultados post del oxígeno disuelto. Asimismo, en el gráfico de Normal P-Plot se observa que los puntos experimentales se encuentran cerca de la línea roja, lo cual indica que los datos siguen una distribución normal.

- **Temperatura**

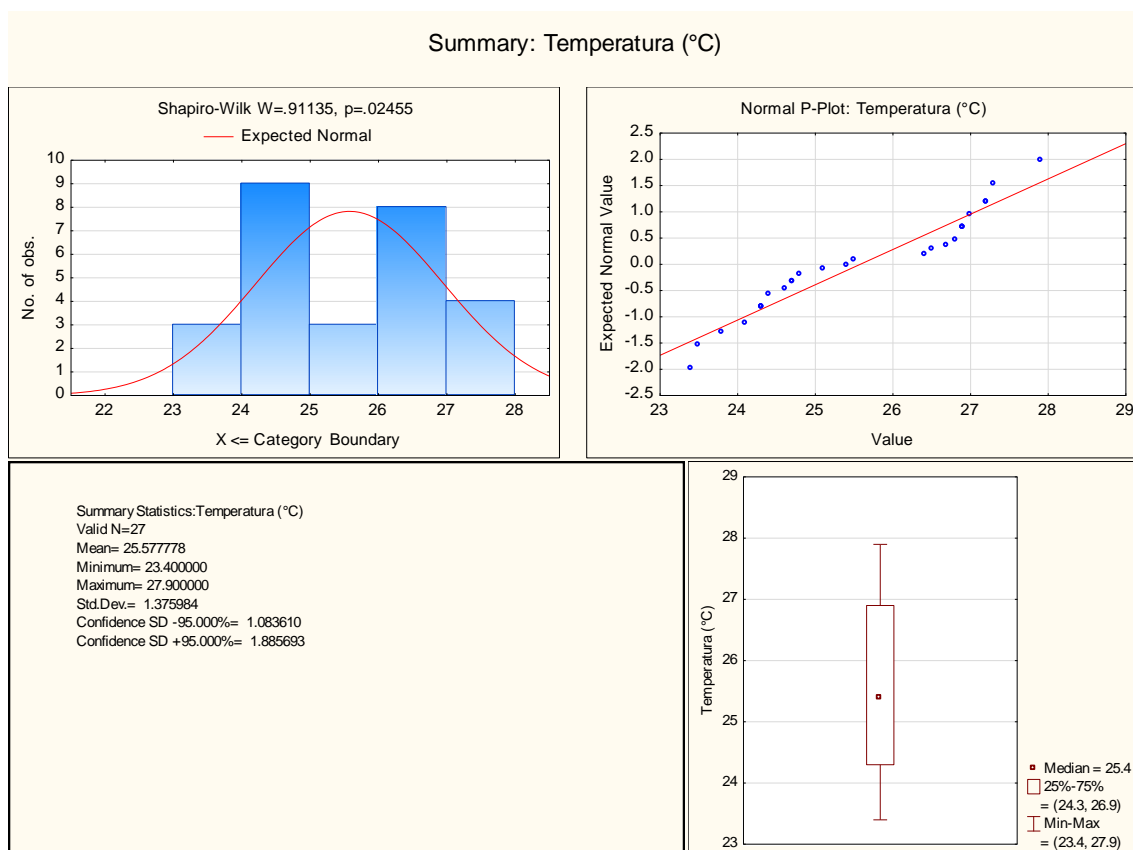


Figura 46. Prueba de normalidad de la temperatura después del tratamiento

En la figura 46 se observa que el P-valor de Shapiro-Wilk es 0.02455, siendo $< \alpha=0.05$, indicando que no existe una distribución normal en los resultados post de la temperatura. Asimismo, en el gráfico de Normal P-Plot se observa que algunos puntos experimentales se encuentran dispersos de la línea roja, lo cual indica que los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 55. Resumen de los resultados antes y después del sistema de tratamiento en comparación con la normatividad nacional e internacional

Parámetro	Lixiviado puro	Regla. N° 33601-Minae-S-2007 Costa Rica	Res. N° 0631-2015 Minam y D.S. Colombia	Dilución 1%		Eficiencia de remoción	Dilución 3%		Eficiencia de remoción	D.S. N° 003-2010-MINAM LMP	D.S. N° 004-2017-MINAM Cat.3	NC 27:2012 Cuba	Cumple Si o No	
				Pre	Post		Pre	Post					1%	3%
DBO ₅ (mg/L)	1485	300	800	28	12	57%	109	66	39%	100	15	---	Si	No
DQO (mg/L)	2061	1000	2000	61	28	54%	232	138	41%	200	40	---	Si	No
Fosforo total (mg/L)	18.48	---	---	0.216	0.1	54%	0.505	0.07	86%	---	---	4	Si	Si
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	>250	---	---	8.8	0.5	94%	26.5	2.5	91%	---	---	---	---	---
Nitrógeno Total (mg/L)	509.7	---	---	26.7	2.1	92%	74.3	4.8	94%	---	---	10	Si	Si
Solidos Disueltos Totales (mg/L)	5260	---	---	283	114	60%	413	173	58%	---	---	---	---	---
Turbiedad (UNT)	550	---	---	99	6.6	93%	132	9.5	93%	---	---	---	---	---
Oxígeno Disuelto (mg/L)	<0.5	---	---	8.3	4	52%	7.4	4.3	42%	---	≥ 4	---	Si	Si
Conductividad Eléctrica (μS/cm)	11227	---	---	596	253	58%	838	353	58%	---	2500	2000	Si	Si
Potencial de Hidrogeno (UpH)	8.7	---	6.00 – 9.00	7.6	8.1	---	8.2	7.9	---	6.5 – 8.5	6.5-8.5	6-9	Si	Si
Temperatura (°C)	23.1	---	---	25.5	26.7	---	25.4	26.8	---	< 35	Δ 3	40	Si	Si
Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)	1100	---	---	24000	13	99.9%	43000	6300	85%	10 000	1000	1000	Si	No

La Tabla 55 muestra en resumen los resultados de la caracterización del lixiviado puro y el tratamiento de lixiviados diluido con aguas residuales a concentraciones 1 y 3%.

La caracterización del lixiviado puro fue comparado con la normativa de Costa Rica Reglamento N° 33601-Minaes-S-2007 y con la norma Colombiana Resolución 0631-2015-Ministerio del ambiente y desarrollo sostenible, los resultados obtenidos demuestran que la composición del lixiviado puro excede los límites máximos permisibles asociadas al tratamiento y disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios que establecen ambas legislaciones.

Los resultados obtenidos después del tratamiento en ambas concentraciones son del tiempo de retención hidráulico a los 15 días, estos fueron comparados con la normativa nacional, Estándares de Calidad Ambiental para agua D.S. N° 004-2017-MINAM Categoría 3 riego de vegetales., asimismo los parámetros que no aplica dicha normativa (Nitrógeno total y Fósforo total) se compararon con la Norma Cubana NC 27:2012 para uso en riego agrícola.

Respecto a las eficiencias obtenidas se muestra que en la dilución 1% se obtuvieron mayores eficiencias de remoción en la mayoría de los parámetros. Además de ello cumple con los valores establecidos por ambas normativas en comparación a la dilución de 3% que exceden en cuanto a la DBO₅, DQO y coliformes termotolerantes.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se determinó la eficiencia de remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de lixiviados diluido con agua residual mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, alcanzando para la concentración al 1% en promedio de los tres tiempos: 65% de DBO₅; 50% de DQO; 95% de nitrógeno total; 95% de coliformes termotolerantes; 54% de fósforo total; 94% de nitrógeno amoniacal; 94% de turbiedad; 47% de oxígeno disuelto; 58% de conductividad eléctrica; 58% solidos disueltos totales; se obtuvo un pH de 7.9, con una temperatura de 26.3 °C. De la misma manera una eficiencia de remoción en la concentración al 3%: 69% de DBO₅; 69% de DQO; 94% de nitrógeno total; 95% de coliformes termotolerantes; 86% de fósforo total; 91% de nitrógeno amoniacal; 93% de turbiedad; 40% de oxígeno disuelto; 56% de conductividad eléctrica; 56% solidos disueltos totales, se obtuvo un pH de 7.9, con una temperatura de 25.7 °C. Por lo tanto se demuestra que el sistema tuvo una eficiencia de 71 y 75 % para la concentración 1 y 3%, alcanzando una eficiencia final del 73% en el sistema de tratamiento.
- Se caracterizó la composición fisicoquímica y microbiológica de lixiviado el cual demostró 1485 mg/L de DBO, 2601 mg/L de DQO, 509.7 mg/l de nitrógeno total, 1100 NMP/100ml de coliformes termotolerantes, 18.48 mg/L de fósforo total, >250 mg/L de nitrógeno amoniacal, 8.7 de pH, 23.1 °C de temperatura, 550 UNT de turbiedad, <0.5 mg/L de oxígeno disuelto, 11227 umho/cm de conductividad eléctrica y 5260 mg/L de sólidos disueltos totales, además este demostró que existe presencia de metales en concentraciones mínimas.
- Se implementó el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal; las dimensiones se obtuvieron a partir del caudal de entrada al humedal artificial (0.013 m³/día) y la

demanda biológica de oxígeno del lixiviado puro (1485 gr/m³) determinando 1.96 m de largo, 0.98 m de ancho con una altura de 0.60 m y una pendiente de 1%.

- Se determinó la eficiencia de remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de lixiviados en los periodos de retención, alcanzando para la primera concentración eficiencias de 79, 59 y 57% de DBO₅; 69, 27 y 54% de DQO; 95, 97 y 92% de nitrógeno total; 85, 99 y 99.9% de coliformes termotolerantes; 95, 94 y 93% de turbiedad; 51, 39 y 52% de oxígeno disuelto; 63, 54 y 58% de conductividad eléctrica; 62, 53 y 60% de solidos disueltos totales; para los TRH de 5, 10 y 15 días respectivamente; por otro lado se obtuvo una eficiencia de remoción de 54% de fosforo total en el día 5 y 94% de nitrógeno amoniacal en el día 15, se obtuvo un pH de 7.7, 7.9 y 8.1, con una temperatura de 27.5, 24.6 y 26.7°C para cada TRH mencionado. En la concentración 3% se alcanzaron eficiencias de remoción de 86, 81 y 39% de DBO₅; 85, 82 y 41% de DQO; 92, 95 y 94% de nitrógeno total; 99, 99 y 85% de coliformes termotolerantes; 94, 93 y 93% de turbiedad; 52, 24 y 42% de oxígeno disuelto; 52, 52 y 58% de conductividad eléctrica, 60, 51 y 58% de solidos disueltos totales, para los tiempos de retención de 5, 10 y 15 días respectivamente, por otro lado se obtuvo una eficiencia de remoción de 86% de fosforo total en el día 5 y 91% de nitrógeno amoniacal en el día 15; se obtuvo pH de 7.5, 8.1 y 7.9; con temperaturas de 26.9, 23.6 y 26.8°C para cada TRH anteriormente mencionado.
- La concentración óptima de remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos fue al 1% de lixiviado en el TRH de 15 días, donde se obtuvieron resultados de 12 mg/L de DBO₅, 28 mg/L de DQO; 0.1 mg/L de fósforo total; 0.5 mg/L de nitrógeno amoniacal; 2.1 mg/L de nitrógeno total; 114 mg/L de solidos disueltos totales; 6.6 UNT de turbiedad; 4 mg/L de oxígeno disuelto; 253 mg/L de conductividad eléctrica; 8.1 de pH; 26.7 °C de temperatura y 13 NMP/100ml de coliformes

termotolerantes, debido a que se obtuvieron valores mínimos de cada parámetro que lograron estar dentro de los estándares de calidad ambiental para agua categoría 3 riego de vegetales.

5.2. Recomendaciones

- Almacenar el agua residual en un tanque para tener un disolvente con las mismas características durante el tiempo de duración de la investigación.
- Realizar un estudio de la vegetación para detectar la capacidad de retención de contaminantes.
- Realizar análisis del lecho filtrante para determinar el tamaño, porosidad y conductividad hidráulica.
- Realizar un tratamiento de desinfección con hipoclorito de sodio al final del proceso en caso requiera para eliminar la presencia de microorganismos patógenos.
- Realizar el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la salida del tratamiento primario (Biodigestor) para determinar la eficiencia de este.
- Realizar estudios en sistemas híbridos de humedales artificiales de flujo horizontal y vertical, con el fin de proporcionar condiciones aerobias y anaerobias para obtener eficiencias altas de remoción de contaminantes.
- Realizar estudios en épocas de invierno para demostrar si la eficiencia de remoción del sistema aumenta, disminuye o se mantiene en comparación con la época de verano.

REFERENCIAS

- Acurio, G., Rossin , A., Teixeira, P. F., & Zepeda, F. (1997). *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en américa latina y el caribe*. Washington, D.C.: Publicación conjunta del Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana.
- Aliaga, C. C., & Julca, R. Y. (2014). *Tratamiento de lixiviado de relleno sanitario municipal mediante filtro biológico y humedal artificial*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería .
- Aluko, O. O., & Sridhar, M. K. (2005). Application of constructed wetlands to the treatment of leachates from a municipal solid waste landfill in Ibadan, Nigeria. *Journal of environmental health*, 67-58.
- Alvarado, A. N. (2016). *Tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del Cantón Tena provincia de Napo mediante reaccion fenton y microorganismos eficientes*. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Álvarez, C. A., & Suárez, G. J. (2006). Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario "El Guayabal" de la ciudad San José de Cúcuta. *Ingeniería y Desarrollo*, 95-105.
- Alvarez-Vazquez, H., Jefferson, B., & Judd, J. S. (2004). Membrane bioreactors vs conventional biological treatment of landfill leachate: a brief review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 1043-1049.

- Amaya, C. A., Martinez, T. L., Lopez, L. E., & Galar, M. M. (2006). Methyl parathion toxicity to and removal efficiency by *Typha latifolia* in water and artificial sediments. *Scencedirect*, 1124-1129.
- Amokrane, A., Comel, C., & Veron, J. (1997). Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation. *Water research*, 2775-2782.
- Ana & Minagri. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima: Biblioteca Nacional del Peru.
- Autoridad Nacional del agua (ANA). (31 de Marzo de 2009). Ley De Recursos Hídricos Ley N° 29338. Lima, Perú: Autoridad Nacional del Agua.
- Arango, R. P. (Abril de 2013). *Evaluación de alternativas para el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Antanas del Municipio de San Juan de Pasto en Colombia*. Buenos Aires: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Arias, F. G. (1999). *El Proyecto de Investigación - Guía para su elaboración 3ª Edición*. Caracas: Episteme.
- Arias, I., C. A., & Brix, H. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 17-24.
- Astorga, D. C. (2018). *Tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario: propuesta y evaluación de un sistema de humedales artificiales*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Ávila, A. D., & Silva, V. C. (2010). *tratamiento de lixiviados diluido con aguas residuales en una planta piloto a escala de un sistema de lodos activados con el fin de lograr un efluente optimo*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

- Aysu, T. (2014). The Effect of Boron Minerals on Pyrolysis of Common Reed (*Phragmites australis*) for Producing Bio-oils. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2511-2518.
- Bananno, G. (2013). Comparative performance of trace element bioaccumulation and biomonitoring in the plant species *Typha domingensis*, *Phragmites australis* and *Arundo donax*. *Ecotoxicology and environmental safety*, 124-130.
- Banco Mundial . (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington: International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank .
- Barreto, A. G. (2014). *Humedal artificial - Tratamiento de aguas residuales domesticas por fitodepuracion*. Asunción: Editorial Academica Española.
- Bastian , R. K., & Hammer , D. A. (1993). The use of constructed wetlands for wastewater treatment and recycling. En G. A. Moshiri, *Constructed wetlands for water quality improvement* (págs. 59-68). Florida : CRC Press.
- Beffa, T., Staib, F., Lott Fisher, J., Lyon, P., Gumowski, P., Marfenina, O., . . . Latgé, J. (1998). Mycological Control and Surveillance of Biological Waste and Compost. *Medical Mycology*, 137-145.
- Bello, A. O., Tawabini, B. S., Khalil, A. B., Boland, C. R., & Saleh, T. A. (2018). Phytoremediation of cadmium-, lead- and nickel-contaminated water by *Phragmites australis* in hydroponic systems. *Ecological Engineering*, 126-133.
- Bermúdez, J., Cánovas, M., Manjón, A., Iborra, J., & Howell, J. (1988). *La Digestión Anaerobia* . Murcia: Universidad de Murcia .

- Berrueta, J., & Castrillón, L. (1992). Anaerobic treatment of leachates in UASB reactors. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 33–37.
- Bilstad, T., & Madland, M. (1992). Leachate minimization by reverse osmosis. *Water Science and Technology*, 117-120.
- Bohorquez , C., & Correal , A. (2004). *Sistema piloto de humedal artificial para el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario El Carrasco en la ciudad de Bucaramanga*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Bohórquez, B. E. (2015). *Efectos del medio filtrante y la frecuencia de alimentación en humedales contruidos de flujo vertical para tratamiento de aguas residuales domésticas en condiciones tropicales*. Lima: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Bolton , K. A., & Evans , L. J. (1991). Elemental composition and speciation of some landfill leachates with particular reference to cadmium. *Water, Air, and Soil Pollution*, 43-53.
- Bonanno, G., & Pavone, P. (2015). The leaves of phragmites australis as potential atmospheric biomonitors of Platinum Group Elements. *Ecotoxicology and environmental safety*, 31-37.
- Borzacconi, L., López, I., Arcia, E., Cardelino, L., Castagna, A., & Viñas, M. (1996). Comparación de tratamientos aerobios y anaerobios aplicados a lixiviado de relleno sanitario. *Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental* , 1-8.
- Brix, H. (1997). Do Macrophytes Play a Role In Constructed Treatment Wetlands? *Pergamon*, 11-17.
- Brix, H., & Arias, A. C. (2005). Danish guidelines for small-scale constructed wetland systems for onsite treatment of domestic sewage. *Water Science & Technology*, 1-9.

- Brix, H., & Arias, I. C. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 17-24.
- Brix, H., & Schierup, H. H. (1989). The Use of Aquatic Macrophytes in Water - Pollution Control. *Ambio*, 100-107.
- Brix, H., Arias, C., & Bubba, M. (2001). Media selection for sustainable phosphorus removal in subsurface flow constructed wetlands. *Water Science and Technology*, 47-54.
- Bulc, T. G. (2006). Long term performance of a constructed wetland for landfill leachate treatment. *ecological engineering*, 365-374.
- Cabeza, A., Urtiaga, A., Rivero, M. J., & Ortiz, I. (2007). Ammonium removal from landfill leachate by anodic oxidation. *Journal of Hazardous Materials*, 715-719.
- Calace, N., Liberatori, A., Petronio, B. M., & Pietroletti, M. (2001). Characteristics of different molecular weight fractions of organic matter in landfill leachate and their role in soil sorption of heavy metals. *Environmental Pollution* 113, 331-339.
- Camargo, Y., & Vélez, A. (2009). EMISIONES DE BIOGAS PRODUCIDAS EN RELLENOS SANITARIOS . *Universidad del Magdalena*, 1-12.
- Carey, R., & Migliaccio, k. (2009). Contribution of wastewater treatment plant effluents to nutrient dynamics in aquatic systems: A Review. *Environmental Management*, 205-217.
- Çeçen, F., & Aktaş, Ö. (2001). Effect of PAC addition in combined treatment of landfill leachate and domestic wastewater in semi-continuously fed batch and continuous-flow reactors. *Water Sa*, 177-188.
- Çeçen, F., & Aktaş, Ö. (2004). Aerobic co-treatment of landfill leachate with domestic wastewater . *Environmental Engineering Science*, 303-312.

- Çeçen, F., Erdinçler, A., & Kiliç, E. (2003). Effect of powdered activated carbon addition on sludge dewaterability and substrate removal in landfill leachate treatment. *Advances in Environmental Research*, 707–713.
- Chian, E. S., & Dewalle, F. B. (1976). Sanitary Landfill Leachates and Their Leachate Treatment. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 411-431.
- Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Junsod, J., Threedeach, S., & Wicranarachchi, P. N. (2009). Leachate treatment and greenhouse gas emission in subsurface horizontal flow constructed wetland. *Bioresource technology*, 3808-3814.
- Choi, W.-J., Ro, H.-M., & Chang, S. X. (2005). Carbon isotope composition of Phragmites australis in a constructed saline wetland. *Aquatic Botany*, 27–38.
- Christensen, T. H., Kjeldsen, P., Albrechtsen, H. J., Heron, G., Nielsen, P. H., Bjerg, P. L., & Holm, P. E. (1994). Attenuation of Landfill Leachate Pollutants in Aquifers. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 24 (2), 119-202.
- Chung, A. K., Wu, Y., Tam, N. F., & Wong, M. H. (2008). Nitrogen and phosphate mass balance in a sub-surface flow constructed wetlands for treating municipal wastewater. *Ecological Engineering*, 32, 81-89. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857407001851>
- Constitución Política del Perú. (29 de Diciembre de 1993). Lima, Perú.
- Cooper, P. (1999). A review of the design and performance of vertical flow and hybrid reed bed treatment systems. *Water Science and Technology*, 1-9.
- Cooper, P. F., Job, G. D., Green, M. B., & Shutes, R. B. (1996). *Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. UK: Swindon: WRc Publications.

- Corena, L. M. (2008). *Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en*. Sucre: Universidad de Sucre.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales: para núcleos pequeños y descentralizados*. Bogotá: McGraw-Hill.
- De Feo, G. (2007). Performance of vegetated and non-vegetated vertical flow reed beds in the treatment of diluted leachate. *Journal of Environmental Science and Health*, 1013-1020.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Perez, F. L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).
- Deng, Y., & Englehardt, J. D. (2006). Treatment of landfill leachate by the Fenton process. *Water Research* 40, 3683– 3694.
- DIGESA. (11 de Setiembre de 2007). *Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los recursos Hídricos Superficiales*. Obtenido de Ministerio de Salud:
[http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/Protocolo-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales-\(continentales\).pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/Protocolo-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales-(continentales).pdf)
- Ding, A., Zhang, Z., Fu, J., & Cheng, L. (2001). Biological control of leachate from municipal landfills . *Chemosphere*, 1-8.
- Domènech, X., Jardim, W. F., & Litter, M. I. (2001). Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. Eliminación de contaminantes por fotocátalisis heterogénea. Buenos Aires: CONICET.
- Droppelmann, C. V., & Oettinger, M. (2009). Tratamiento en Lodo Activado del Lixiviado de un Relleno Sanitario. *Información Tecnológica*, 11-19.

- Du, X., Xu, Z., Li, J., & Zheng, L. (2014). Characterization and removal of dissolved organic matter in a vertical flow constructed wetland. *Ecological Engineering*, 610–615.
- Dulanto, T. A. (2013). *Asignación de competencias en materia de residuos sólidos de ámbito municipal y sus impactos en el ambiente*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ehrig, H. (1984). Treatment of sanitary landfill leachate: biological treatment. *Waste Management & Research*, 131–152.
- El-Gohary, F. A., & Kamel, G. (2016). Characterization and biological treatment of pre-treated landfill leachate. *Ecological Engineering*, 1-7.
- Environmental Protection Agency (EPA). (Enero de 2000a). *Development Document for Final Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Landfills Point Source Category*. Obtenido de U.S. EPA Web Site: <https://www.epa.gov/>
- Environmental Protection Agency (EPA). (Septiembre de 2000b). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo subsuperficial*. Obtenido de U.S. EPA Web Site: <https://www.epa.gov/>
- Environmental Protection Agency (EPA). (Septiembre de 2000c). *Manual Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters*. Obtenido de U.S. EPA Web Site: <https://www.epa.gov/>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2003). *Landfill Manuals, Landfill Monitoring*. United States: Environmental Protection Agency.
- Enzminger, J., Robertson, D., Ahlert, R., & Kosson, D. (1997). Treatment of landfill leachates. 83-101.

- Fadel, M. E., Findikakis, A. N., & Leckie, J. O. (1997). Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling. *Journal of Environmental Management*, 1-25.
- Fan, J., Wang, W., Zhang, B., Guo, Y., Ngo, H. H., Guo, W., & Zhang, J. (2013). Nitrogen removal in intermittently aerated vertical flow constructed wetlands: Impact of influent COD/N ratios. *Bioresource Technology*, 461–466.
- Fatta, D., Papadopoulos, A., & Loizidou, M. (1999). A Syudy On The Landfill Leachate And Its Impact On The Groundwater Quality Of The Greater Area. *Environmental Geochemistry and Health*, 175-190.
- Fenoglio, L. (2000). *Bases de diseño para la construcción de un reactor biológico experimental basado en los sistemas de humedales de flujo vertical*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, J., Aguirre, P., Barragan, J., Mujeriego, R., Matamoros, V., & Bayona, J. M. (2005). Effect of key design parameters on the efficiency of horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 405-418.
- García, J., Aguirre, P., Mujeriego, R., Huang, Y., Ortiz, L., & Bayona, J. M. (2004). Initial contaminant removal performance factors in horizontal flow reed beds used for treating urban wastewater. *Water Research*, 1669-1678.
- García, J., Diederik, P., Morato, J., Lesage, E., Matamoros, V., & Bayona, J. (2010). Contaminant Removal Processes in Subsurface-Flow Constructed Wetlands: A Review. *Environmental Science and Technology*, 561–661.
- Gaspar, M., & Sanchez, M. (1996). *Digestión Anaerobia*. Mérida Yucatán: Universidad Autónoma de Yucatán.

- Giraldo, E. (22 de Agosto de 2001). *Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios: Avances Recientes*. Obtenido de en línea:
<https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/538>
- Google Earth. (Marzo de 2019). *Google Earth*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/@-12.0077506,-76.8882537,406.2555727a,1030.71417201d,35y,0h,0t,0r>
- Gopal, B. (1999). Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: potentials and problems. *Water science and technology*, 27-35.
- Gutiérrez, P. H., & De la Vara, S. R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Haberl, R., Griego, S., Langergraber, G., Kadlec, R. H., Cicalini, A. R., Dias, S. M., . . . H., T. (2003). Constructed wetlands for the treatment of organic pollutants. *ScienceDirect*, 109-124.
- Hagendorf, U., & Hahn, J. (1994). Untersuchungen zur umwelt-und seuchenhygienischen Bewertung naturnaher Abwasserbehandlungssysteme. *Umweltbundesamt*, 60-94.
- Haller, L., Amedegnata, E., Poté, J., & Wildi, W. (2009). Influence of freshwater sediment characteristics in persistence of fecal indicators bacteria. *Water Air Soil Pollut*, 217-227.
- Harkov, R., Gianti, S. J., Bozelli, J. W., & LaRegina, J. E. (1985). Monitoring volatile organic compounds at hazardous and sanitary landfills in New Jersey. *Journal of Environmental Science and Health*, 491-501.
- Hernandez, S. R., Fernandez, C. C., & Baptista, L. P. (2006). *Metodología de la investigación* (Cuarta ed.). México: McGraw-Hill.

- Herrero, J. M. (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. La Paz: Cooperación Técnica Alemana .
- Hewitt, A. ., & McRae, S. G. (1985). The Effects of Gases Emitted From Landfills on Soils and Crops. *Martinus Nijhoff Publishers*, 251-253.
- Hoilijoki, T. H., Kettunen, R. H., & Rintala, J. A. (2000). Nitrification of Anaerobically Pretreated Municipal Landfill Leachate At Low Temperature. *Water Research*, 1435-1446.
- Hontoria, G. ., & Zamorano, T. M. (2000). *Fundamentos del manejo de los residuos urbanos*. Granada: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Colección Senior.
- Huu-Hao, N., Wenshan, G., & Wen, X. (2009). Applied Technologies In Municipal Solid Waste Landfill Leachate Treatment. En V. Saravanamuthu, *Waste Water Treatment Technologies - Volume II* (págs. 199-258). Oxford, United Kingdom: Eolss Publishers/ Unesco.
- Ibarrarán, V. M., Cortés, I. I., & Mayett, C. . (2003). Valoración económica del impacto ambiental del manejo de residuos sólidos municipales: Estudio de caso. *Gaceta Ecologica*, 69-81.
- Imfeld, G., Braeckevelt, M., Kusch, P., & Richnow, H. (2009). Monitoring and assessing processes of organic chemicals removal in constructed wetlands. *Chemosphere*, 349-362.
- Jia, W., Zhang, J., Wu, J., Xie, H., & Zhang, B. (2010). Effect of intermittent operation on contaminant removal and plant growth in vertical flow constructed wetlands: A microcosm experiment. *Desalination*, 202–208.

- Jones, M., & Muthuri, F. (1985). The structure of the cover and the microclimate of papyrus (*Cyperus Papiro*) swamps. *J. Eco.* 73, 481- 491.
- Kadlec , R., & Wallace, S. (2009). *Treatment Wetlands Second Edition*. New York: CRC Press- Taylor & Francis Group.
- Kadlec, R. H. (1999). Constructed wetlands for treating landfill leachate. En G. Mulamootil, E. A. McBean, & F. Rovers, *Constructed wetlands for the treatment of landfill leachates* (págs. 17-46). Washington D.C.: Lewis Publishers.
- Kadlec, R. H. (2003). The limits of phosphorus removal wetlands. *Wetlands ecology*, 165-175.
- Kadlec, R. H., & Zmarthie, L. A. (2010). Wetland treatment of leachate from a closed landfill. 946-957, *Ecological Engineering*.
- Kadlec, R., Knight, R., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P., & Haberl, R. (2000). *Constructed wetlands for pollution control : process, performance, design and operation*. London, UK: IWA Publishing.
- Kang, Y. W., & Hwang, K. Y. (2000). Effects of reaction conditions on the oxidation efficiency in the Fenton process. *Water research*, 2786-2790.
- Kaoser, S., Barrington, S., & Elektorowicz, M. (2000). Compartments for the management of municipal solid waste. *Soil and Sediment Contamination*, 503-522.
- Karadag, D., Tok, S., Akgul, E., Turan, M., Ozturk, M., & Demir, A. (2008). Ammonium removal from sanitary landfill leachate using natural Göordes clinoptilolite. *Journal of Hazardous Materials*, 60–66.

- Karak, T., Bhagat , R., & Bhattacharyya, P. (2012). Municipal Solid Waste Generation, Composition, and Management: The World Scenario. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1509-1630.
- Kargi, F., & Pamukoglu, M. Y. (2003). Powdered activated carbon added biological treatment of pre-treated landfill leachate in a fed-batch reactor. *Biotechnology Letters*, 695-699.
- Kargi, F., & Pamukoglu, M. Y. (2004). Repeated fed-batch biological treatment of pre-treated landfill leachate by powdered activated carbon addition. *Enzyme and Microbial Technology*, 422-428.
- Karimi, A. A. (1983). *Studies of emission and control of volatile organics in hazardous waste landfills*. Los Angeles : University of Southern California.
- Kaszynski, G. M., LaFevers, J. R., Beck, R. L., Harrington, K. L., & Kremer, F. (1981). *Environmental impacts, institutional problems, and research needs of sanitary landfill methane recovery*. United States: Argonne National Lab., IL (EE. UU.).
- Kjeldsen, P., & Christophersen, M. (2001). Composition of leachate from old landfills in Denmark. *Waste Management & Research*, 249-256.
- Kjeldsen, P., Bjerg, P. L., Winther, P., Ruge, K., Pedersen, J. K., Skov, B., . . . Christensen, T. H. (1993). Assessing the Variability in Leachate Migration from an Old Municipal Landfill. *CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre*, 1519-1531.
- Kjeldsen, P., Morton , A. B., Rooker, A. P., Anders, B., Ledin, A., & Christensen, T. H. (2002). Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 297-336.

- Kulmatiski, A., Beard, K. H., Meyerson, L. A., Gibson, J. R., & Mock, K. E. (2010). Nonnative *Phragmites australis* invasion into Utah wetlands. *Utah State University*, 541-552.
- Kurniawan, T. A., Lo, W.-h., & Chan, G. Y. (2006). Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 80–100.
- Langergraber, G., & Haberl, R. (2012). Constructed Wetland Technology in Austria-History, current practices and new developments. *Sciences Eaux & Territoires*, 32-35.
- Lara, B. J. (1999). *Depuración de las aguas residuales municipales con humedales artificiales*. Barcelona: Instituto Catalán de Tecnología.
- Lau, I. W., Wang, P., & Fang, H. H. (2001). Organic removal of anaerobically treated leachate by Fenton coagulation. *Journal of Environmental Engineering*, 666-669.
- Lavrova, S., & Koumanova, B. (2010). Influence of recirculation in a lab-scale vertical flow constructed wetland on the treatment efficiency of landfill leachate. *Bioresource Technology*, 1756-1761.
- Ledakowicz, S., & Kaczorek, K. (2004). Laboratory simulation of anaerobic digestion of municipal solid waste. *Journal of Environmental Science and Health*, 859-871.
- Lei, Y., Shen, Z., Huang, R., & Wang, W. (2007). Treatment of landfill leachate by combined aged-refuse bioreactor and electro-oxidation. *Water Research*, 2417 – 2426.
- Lema, J. M., Mendez, R., & Blazquez, R. (1988). Characteristics of landfill leachates and alternatives for their treatment: a review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223-250.
- Lerma, G. H. (2016). *Metodología de la investigación: Propuesta, anteproyecto y proyecto* (Quinta ed.). Bogotá: Ecoe.

- Li, M., Zhou, Q., Tao, M., Wang, Y., Jiang, L., & Wu, Z. (2010). Comparative study of microbial community structure in different filter media of constructed wetland. *Journal of Environmental Sciences*, 127-133.
- Linde, K., Jönsson, A.-S., & Wimmerstedt, R. (1995). Treatment of three types of landfill leachate with reverse osmosis. *Desalination*, 21-30.
- Lissner, J., & Schierup, H.-H. (1997). Effects of salinity on the growth of *Phragmites australis*. *Aquatic Botany*, 247-260.
- Lopes, D. M., & Peralta, Z. P. (2005). Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. *Journal of Hazardous Materials*, 181-186.
- Luederitz, V., Lange-Weber, M., Lange, A., Gersberg, R. M., & Eckert, E. (2001). Nutrient removal efficiency and resource economics of vertical flow and horizontal flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 157-171.
- Luna-Pabello, V. M., & Aburto-Castañeda, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 32-55.
- Lytwynyshyn, G. R., Zimmerman, R. E., Flynn, N. W., Wingender, R., & Olivieri, V. (1982). *Landfill methane recovery part II: gas characterization*. Illinois, Usa: Institute Chicago.
- Maltby, E., & Barker, T. (2009). *The Wetlands Handbook*. USA: John Wiley & Sons.
- Mannarino, C. F., Ferreira, J. A., Campos, J. C., & Ritter, E. (2006). Wetlands para tratamento de lixiviados de aterros sanitários: experiências no aterro sanitário de Pirai

- e no aterro metropolitano de Gramacho (RJ). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 108-112.
- Marahatta , R. C. (2005). *Multi-scale modeling of a vegetated submerged bed system with application in organic matter removal and clogging*. Lincoln-Nebraska: The University of Nebraska-Lincoln.
- Martínez, J. (2005). *Guia para la gestion integral de los residuos peligrosos*. Montevideo: Centro Coordinador del Convenio de Basilea para America Latina y el Caribe.
- Martínez, S. J., & Montoya, G. N. (2013). Preliminary analysis of the feasibility to obtain bioethanol from the organic fraction of municipal solid waste. *Producción + Limpia*, 72-84.
- Martinez-Lopez, A. G., Padrón-Hernández, W., Rodríguez-Bernal, O., Chiquito-Coyotl, O., Escarola-Rosas, M. A., Hernández-Lara, J., . . . Martínez-Castillo, J. (2014). Alternativas actuales del manejo de lixiviados. *Avances en Química*, 37-47.
- McBean, E., & Rovers, F. (1999). Landfill leachate characteristics as inputs for the design of wetlands used as treatment systems. *Annapolis: Lewis Publisher*, 1-16.
- Mena, S. J. (2008). Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: ventajas de los sistemas híbridos. *Alquimia Soluciones Ambientales*, 1-25.
- Méndez, N. R., Castillo, B. E., Sauri, R. M., Quintal, F. C., Giacoman, V. G., & Jimenez, C. B. (2009). Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. *Contaminacion Ambiental*, 133-145.
- Metcalf , & Eddy. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. New York: McGraw-Hill.

MINAM . (15 de Julio de 2005). *Ley General Del Ambiente . Ley N° 28611* . Lima, Perú: El Peruano .

MINAM . (2014). *Sexto informe nacional de residuos sólidos de la gestión del ámbito municipal y no municipal 2013*. Lima: Ministerio del Ambiente .

MINAM . (7 de Junio de 2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. *DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM*. Lima, Perú: El Peruano .

MINAM. (2016). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024*. Lima: Ministerio del Ambiente.

MINAM. (21 de Diciembre de 2017). Aprueban Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. *Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM*. Lima, Perú: El Peruano .

MINAM. (24 de Abril de 2017). Decreto Legislativo Que Aprueba La Ley De Gestión Integral De Residuos. *Decreto Legislativo N° 1278*. Lima, Perú: El Peruano.

MINAM. (13 de Junio de 2019). *Sistema Nacional de Información Ambiental*. Obtenido de Sinia: <https://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/listado-de-rellenos-sanitarios-a-nivel-nacional/>

MINAGRI. (14 de Noviembre de 2012). Reglamento de Manejo de los Residuos Sólidos del Sector Agrario. *Decreto Supremo N° 016-2012-AG*. Lima, Lima, Perú: El Peruano.

Ministerio de Ambiente y Energia - Ministerio de Salud (MINAE-S). (19 de Marzo de 2007). Decreto Supremo N° 33601. *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales*. San Jose , Costa Rica: La Gaceta 55.

Ministerio de Desarrollo Rural, Agropecuario y Medio Ambiente. (27 de Abril de 1992). Ley de Medio Ambiente. *Ley 1333*. La Paz, Bolivia .

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (8 de Junio de 2006). Reglamento Nacional De Edificaciones (DS N° 011-2006-VIVIENDA). *Norma OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales*. Lima, Perú: El Peruano.

Miranda, R. (2000). *Desarrollo, situación actual y aplicaciones potenciales de los humedales artificiales de flujo horizontal de México*. Mexico : Universidad Nacional Autónoma de México.

Monje Ramirez, I., & Orta de Velasquez, M. T. (2004). Removal and transformation of recalcitrant organic matter from stabilized saline landfill leachates by coagulation–ozonation coupling processes. *Water Research*, 2359–2367.

Moraes, P. B., & Bertazzoli, R. (2005). Electrodegradation of landfill leachate in a flow electrochemical reactor. *Chemosphere*, 41–46.

Morawe, B., Ramteke, D. S., & Vogelpohl, A. (1995). Activated carbon column performance studies of biologically treated landfill leachate. *Chemical Engineering and Processing*, 299–303.

Moreno, J., Moral, R., Garcia - Morales , J., Pascual, J., & Bernal, M. (2014). *De Residuo a Recurso, El camino hacia la sostenibilidad: Aspectos biológicos de la digestión anaeróbica* . Madrid: Mundi-Prensa.

Mosquera, B. ., & Lara, B. J. (2012). Tratamiento de lixiviados mediante humedales artificiales: Revisión del estado del arte. *Tumbaga*, 73-99.

Mulamoottil, G., McBean, E. A., & Frank , R. (1998). *Constructed Wetlands for the Treatment of Landfill Leachates*. Romulus, Míchigan: CRC Press.

- Najera, A. H. (24 de Agosto de 2017). *Lixiviados ¿Qué son, cómo se clasifican?* Obtenido de en línea: https://www.unicach.mx/_/ambiental/descargar/Gaceta4/Lixiviados.pdf
- Ngo, H.-H., Guo, W., & Xing, W. (2009). Applied technologies in municipal solid waste landfill leachate treatment. *Waste Water Treatment Technologies*, 199.
- Nilda, G. A. (2003). *Residuos Patogénicos: Tratamiento, Métodos y Legislación*. Buenos Aires: Ciudad Argentina .
- Nivala, J., Hoos, M. B., Cross, C., Wallace, S., & Parkin, G. (2007). Treatment of landfill leachate using an aerated, horizontal subsurface-flow constructed wetland. *Science of the Total Environment*, 19-27.
- OEFA. (2014). *La fiscalización ambiental en residuos sólidos*. Lima : Biblioteca Nacional del Perú.
- OEFA. (27 de Octubre de 2018). Inventario Nacional de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos Municipales. *Resolución N° 026-2018-OEFA/CD*. Lima, Perú: El Peruano.
- Oficina Nacional de Normalización. (2012). Norma de vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. *Norma Cubana 27*. La Habana, Cuba: NC.
- ONU-HABITAT. (2008). *Manual de Humedales Artificiales*. Nepal : Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos.
- Organizacion de las Naciones Unidas (ONU). (9 de Junio de 2015). *Decenio Internacional para la Acción El agua, fuente de vida 2005-2015*. Obtenido de OMS - Hoja informativa sobre agua y saneamiento: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/>

- Organización Mundial de la Salud (OMS). (7 de Abril de 2003). *Ambientes saludables para los niños*. Obtenido de OMS - Documento de antecedentes N° 3:
<https://www.who.int/world-health-day/previous/2003/backgrounder/es/>
- Ortega, N. M. (2006). *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process*. Boca Raton, Florida : Dissertation.
- Otero, M. J. (Abril de 2015). Empleo de la lixiviación bacteriana en la metalurgia extractiva. *Trabajo de la asignatura “Aleaciones Metálicas Especiales” Master en nuevos materiales*.
- Pellón, A. A., López, T. ., & Ezpinoza, L. M. (2015). Propuesta para tratamiento de lixiviados en un vertedero. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 3-16.
- Peng, Y., Zhang, S., Zeng, W., Zhenga, S., Mino, T., & Satoh, H. (2008). Organic removal by denitrification and methanogenesis and nitrogen removal by nitrification from landfill leachate. *Water Research*, 883 – 892.
- Peeverly, J. H., Surface, J. M., & Wang, T. (1995). Growth and trace metal absorption by *Phragmites australis* in wetlands constructed for landfill leachate treatment. *Ecological Engineering*, 21-35.
- Pizarro, S. (2005). *Biodigestor* . Buenos Aires: Instituto Nacional de Educación Tecnología.
- Pokhrel, D., & Viraraghavan, T. (2004). Leachate generation and treatment - a review. *Fresenius Environmental Bulletin*, 223-232.
- Primo, O., Rivero, M. J., & Ortiz, I. (2007). Photo-Fenton process as an efficient alternative to the treatment of landfill leachates. *Journal of Hazardous Materials*, 834–842.
- Rahlf , T. (2017). *Data Visualisation With R*. New York: Springer International Publishing.

- Ramírez Zamora, R. M., Durán Moreno, A., Orta de Velásquez, M. T., & Monje Ramírez, I. (2000). Treatment of landfill leachates by comparing advanced oxidation and coagulation-flocculation processes coupled with activated carbon adsorption. *Water science and technology*, 231-235.
- Reed, S. C., Crites, R. W., & Middlebrooks, E. J. (1995). *Natural systems for waste management and treatment 2nd edition*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Reinhart, D. R., & Basel Al-Yousfi, A. (1996). The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics. *Waste Management & Research*, 337-346.
- Reinhart, D. R., & Grosh, C. J. (1998). *Analysis of Florida MSW landfill leachate quality*. Gainesville, Florida: Florida; University of Central Florida / CEED.
- Renou, S., Givaudan, J., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 468-493.
- Rettenberg, G. (1984). Trace compounds in landfill gas. In *Recycling International, Proceedings of the International Congress*, (págs. 217-221). Berlin.
- Rettenberg, G. (1987). Trace composition of landfill gas. In *Process, Technology, and Environmental Impact on Sanitary Landfill, Proceedings of the International Symposium*, (págs. 1-14). Cagliari, Sardinia, Italy.
- Rivas, F., Beltrán, F., Carvalho, F., Gimeno, O., & Frades, J. (2005). Study of different integrated physical-chemical + adsorption processes for landfill leachate remediation. *Industrial & engineering chemistry research*, 2871-2878.

- Robinson, H. D. (1995). *A review of the composition of leachates from domestic wastes in landfill sites : report prepared for the UK Department of the Environment*. London : Wastes Technical Division, Dept. of the Environment.
- Rodriguez, G. S., Sauri, R. M., Peniche, A. I., Pacheco, A. J., & Ramirez, H. J. (2005). Aerotransportables viables en el área de tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales de Mérida, Yucatán. *Ingenieria Revista Academica*, 19-20.
- Rodríguez, J., Castrillón, L., Marañón, E., Sastre, H., & Fernández, E. (2004). Removal of non-biodegradable organic matter from landfill leachates by adsorption . *Water Research*, 3297-3303.
- Rodríguez-Momroy, J., & Durán-de Bazúa, C. (2006). Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 25-33.
- Romero, A. M., Colín, C. A., Sánchez, S. E., & Ortiz, H. L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Rev. Int. Contaminación Ambiental*, 157-167.
- Rotoplas. (2018). *Grupo Procon S.R.L.* Obtenido de <http://www.proconsrl.com/pdfs/3.pdf>
- Sánchez, F. D. (Septiembre de 2010). *Depuración de aguas residuales de una población mediante humedales artificiales*. Barcelona : Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona - Enginyeria Industrial. Obtenido de UPCCommons: <http://hdl.handle.net/2099.1/10034>
- Sanford, W. E. (1999). Substrate type, flow characteristics and defention times related to landfill leachate treatment efficiency in constructed wetlands in Constructed wetlands for the treatment of landfill leachates. En G. Mulamoottil, E. A. McBean, & F.

- Rovers, *Constructed Wetlands for the Treatment of Landfill Leachates* (págs. 47-56). Annapolis: Lewis Publisher.
- Sawaittayothin, V., & Polprasert, C. (2007). Nitrogen mass balance and microbial analysis of constructed wetlands treating municipal landfill leachate. *Bioresource Technology*, 565-570.
- Scholten, M., Foekema, E., Dokkum, H., Kaag, N., & Jak, R. (2005). *Eutrophication Management and Ecotoxicology*. Berlin : Springer .
- Scholz, M., & Lee, B.-H. (2005). Constructed wetlands: a review. *International Journal of Environmental Studies*, 421-447.
- SELIP . (2010). *Servicio de Limpieza Publica del Cusco*. Cusco.
- Senior, E. (1990). *Microbiology of landfill sites*. Boca Ratón: CRC Press.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (Marzo de 2019). Recuperado el Martes 07 de Noviembre de 2017, de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Shapiro, S. S., & Wilks , M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, 591-611.
- Sharholy, M., Ahmad, K., Mahmood, G., & Trivedi, R. C. (2008). Municipal solid waste management in Indian cities – A review. *Waste Management*, 459–467.
- Shen, T. T., Nelson, T. P., & Schmidt, C. E. (1990). Assessment and control of VOC emissions from waste disposal facilities. *CRC Critical Reviews in Environmental Control*, 43-76.

- Silva, A. C., Dezotti, M., & Sant'Anna Jr., G. L. (2004). Treatment and detoxification of a sanitary landfill leachate. *Chemosphere*, 207-214.
- Stottmeister, U., Wiebner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Kastner, M., Bederski, O., . . . Moorman, H. (2003). Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnology Advances*, 93-117.
- Sun, G., & Austin, D. (2007). A mass balance study on nitrification and deammonification in vertical flow constructed wetlands treating landfill leachate. *Water Science and Technology*, 117-123.
- Tanaka, N., Jinadasa, K., Werellagama, D., Mowjood, M., & Ng, W. (2006). Constructed tropical wetlands with integrated submergent-emergent plants for sustainable water quality management. *Journal Of Environmental Science And Health Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 2221–2236.
- Tatsi, A., & Zouboulis, A. (2002). A field investigation of the quantity and quality of leachate from a municipal solid waste landfill in a Mediterranean climate (Thessaloniki, Greece). *Advances in Environmental Research* , 207-219.
- Tatsi, A., Zouboulis, A., Matis, K., & Samaras, P. (2003). Coagulation–flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere*, 737-744.
- Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). *Handbook of Solid Waste Management, second edition*. New York: McGraw-Hil.
- Tchobanoglous, G., Vigil, S., & Theisen , H. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos* . Madrid : McGraw-Hill Interamericana de España.

- Thomsen , J. K., Geest , T., & Cox , R. P. (1994). Mass Spectrometric Studies of the Effect of pH on the Accumulation of Intermediates in Denitrification by *Paracoccus* denitrificans. *Applied and Environmental Microbiology*, 536–541.
- Tilley, D., & St Jhon, L. (2012). Plant Guide for Common Reed (*Phragmites australis*). *USDA-Natural Resources Conservation Service*.
- Tovar, A. M., Losada, S. G., & Garcia, T. F. (2015). Impacto en la salud por el inadecuado manejo de los residuos peligrosos. *Ing. USBMed*, 46-50.
- Van Dijk, L., & Roncken, G. (1997). Membrane bioreactors for wastewater treatment: the state of the art and new developments. *Water Science and Technology*, 35-41.
- Villarroel, C. J. (2012). *Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante humedales artificiales en la comunidad de Rumichaca*. Lima : Universidad Nacional Agraria La Molina .
- Vymazal , J. (1999). Nutrient cycling and retention in natural and constructed wetlands. *Backhuys Publishers*, 1-17.
- Vymazal , J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of The Total Environment*, 48-65.
- Vymazal, J. (2000). Algae and element cycling in wetlands. *Lewis Publishers*, 138-140.
- Vymazal, J. (2005). Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. *Ecological Engineering*, 478-490.
- Vymazal, J. (2011). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Five Decades of Experience. *Environmental Science & Technology*, 61-69.

- Vymazal, J., & Kröpfelová, L. (2008). *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. Netherlands: Springer Science & Business Media.
- Wang, F., Smith, D., & El-Din, M. G. (2003). Application of advanced oxidation methods for landfill leachate treatment - A review. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 413-427.
- Wang, M., Zhang, D. Q., Dong, J. W., & Tan, S. K. (2017). Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climate - A review. *Journal of Environmental Sciences*, 293-311.
- Watson, J., Reed, S., Kadlec, R., Knight, R., & Whitehouse, A. (1989). *Performance Expectations and Loading Rates for Constructed Wetlands*. Michigan: Constructed Wetlands for Wastewater Treatment.
- Weis, J. S., Glover, T., & Weis, P. (2004). Interactions of metals affect their distribution in tissues of *Phragmites australis*. *Environmental Pollution*, 409e415.
- Wetlands International. (2003). *The use of constructed wetlands for wastewater treatment*. Selangor Malasia: Conservation & Environmental Grants.
- Wetzel, R. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. California : Academic Press.
- Wojciechowska, E., Gajewska, M., & Obarska-Pempkowiak, H. (2010). Treatment of Landfill Leachate by Constructed Wetlands: Three Case Studies. *Polish Journal of Environmental*, 643-650.
- Wood, J. A., & Porter, M. L. (1986). Hazardous pollutants in Class II landfills. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 609-615.
- Xiao, Y., Wang, G., Liu, H., Zhao, H., Zhang, J., Sun, C., & Wu, M. (2002). Treatment of H-acid wastewater by photo-Fenton reagent combined with a biotreatment processes: a


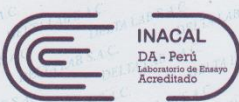
- study on optimum conditions of pretreatment by a photo-Fenton process. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 430-435.
- Yalcuk, A., & Ugurlu, A. (2009). Comparison of horizontal and vertical constructed wetland systems for landfill leachate treatment. *Bioresource Technology*, 2521-2526.
- Ye, Z. H., Baker, A. J., WONG, M. H., & Willis, A. J. (1997). Zinc, Lead and Cadmium Tolerance, Uptake and Accumulation by the Common Reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. *Annals of Botany*, 363-370.
- Yoo, H.-C., Cho, S.-H., & Ko, S.-O. (2001). Modification of coagulation and Fenton oxidation processes for cost-effective leachate treatment. *Journal of Environmental Science and Health*, 39-48.
- Young, P. J., & Heasman, L. A. (1985). An assessment of the odor and toxicity of the trace components of landfill gas. In *Landfill Gas, Proceedings of the 8th International Landfill Gas Symposium*, (pág. 23). San Antonio, Texas.
- Young, P., & Parker, A. (1983). Vapors, Odors, and Toxic Gases from Landfills. En L. P. Jackson, A. R. Rohlik, & R. A. Conway, *Hazardous and Industrial Waste Management and Testing: Third Symposium* (págs. 24-41). Philadelphia: ASTM Internacional .
- Zgajnar, G. A., Tisler, T., & Zagorc, K. J. (2009). Comparison of different treatment strategies for industrial landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 1446-1456.
- Zhang, Y. (2012). Design of a Constructed Wetland for Wastewater Treatment and Reuse in Mount Pleasant, Utah. *Utah State University*.
- Zouboulis, A. I., Jun, W., & Katsoyiannis, I. A. (2003). Removal of humic acids by flotation . *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 181-193.

ANEXOS Y APÉNDICES

Anexo 1. Cadena de custodia - Laboratorio Delta Lab S.A.C

CADENA DE CUSTODIA										F02 P-LAB-08 Revisión: 05 Fecha: 2018-05-14 Página 1 de 1						
DATOS DEL CLIENTE					CADENA DE CUSTODIA N° :					VERSIÓN:		Hoja: /				
CLIENTE:					CONTACTO:					CORREO:		TELÉFONO:				
DIRECCIÓN:					DISTRITO:					PROVINCIA:		DEPARTAMENTO:				
DATOS DEL MUESTREO					MUESTREADO POR: DELTA LAB S.A.C. <input type="checkbox"/>					CLIENTE: <input type="checkbox"/>		ORDEN DE TRABAJO (1):				
LUGAR DE MUESTREO:					DISTRITO:					PROVINCIA:		DEPARTAMENTO:				
DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO					ENSAYO (S) SOLICITADO (S)					REFERENCIA / PROYECTO:		EQUIPOS UTILIZADOS:				
Dentro de alcance de la Acreditación (A) / Fuera del Alcance de la Acreditación (N) / Subcontrato (S) (2)																
Filtrada (Marcar con X) Ácido Nítrico HNO ₃ Ácido Sulfúrico H ₂ SO ₄ Hidróxido de Sodio NaOH 5N Hidróxido de Sodio NaOH 1N Acetato de Zinc (CH ₃ COO) ₂ Zn Sulfato de Amonio (NH ₄) ₂ SO ₄																
										PARÁMETROS EN CAMPO		Procedimiento				
ESTACIÓN DE MUESTREO	CODIGO DE LABORATORIO (1)	TIPO DE MATRIZ (2)	MUESTREO		N° DE ENVASES	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO	Coordenadas Geográficas (UTM - WGS84)	Altitud (m.s.n.m.) Zona (17,18,19)	pH (Unidad de pH)	Cloro Total (mg/L)	Cloro Libre (mg/L)		Temperatura (°C)	Oxig. Dis (mg/L)	Turbidez (mg/L)	Caudal
			FECHA (aa-mm-dd)	HORA (24:00)												
							E:									
							N:									
							E:									
							N:									
							E:									
							N:									
							E:									
							N:									
							E:									
							N:									
							E:									
							N:									
							E:									
							N:									
(1) Uso exclusivo para el Laboratorio					N° Total de Envases:					OBSERVACIONES DE CAMPO:						
(2) AN = Agua Natural AR = Agua Residual AS = Agua de Bebida ASA = Agua Salobre Su = Suelo AS = Agua Superficial ARD = Agua Residual Doméstica AP = Agua Potable AM = Agua de Mar Se = Sedimento ASUB = Agua Subterránea ARI = Agua Residual Industrial API = Agua de Piscina H = Aire L = Lodos APRO = Agua de Proceso AC = Agua para uso y Consumo Humano ASL = Agua Salina F = Filtro O = Otros:																
Responsable del Muestreo					Cliente (Supervisor)					Recepción de Muestras (1)						
Nombre y Apellidos:					Nombre y Apellidos:					Recepcionado por:						
Firma:					Firma:					Firma:						
Fecha y Hora:					Fecha y Hora:					Fecha y Hora:						
OBSERVACIONES:					Correctamente Preservado:		Refrigerado:		Fecha de entrega informe (1)							
					Volumen y Recipiente adecuado:		Dentro del tiempo de almacenamiento:									

Anexo 2. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lixiviado del botadero Jaquira – Cusco

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077

Pág. 1/3

INFORME DE ENSAYO N° 1902018

Cliente	: PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
Domicilio legal	: Km. 19 Carretera Central Ñaña, Lurigáncho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual
Referencia del cliente	: No Indica.
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Mini Relleno Sanitario Jaquira, Santiago – Cusco – Cusco.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2019/02/10
Fecha de inicio del ensayo	: 2019/02/10
Fecha de término del ensayo	: 2019/02/18

Código de Laboratorio:	Estación de Muestreo: BOTADERO HAQUIRA	Fecha de Muestreo: 2019/02/10
1902018-1		Hora: 18:00
		Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	1 485	mg/L
APHA 5220 B	Demanda Química de Oxígeno	5	20	2 601	mg/L
APHA 4500-P E(*)	Fosforo Total	0,004	0,01	18,48	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,1	1,1 x 10 ²	NMP/100 mL
APHA 4500-NH ₃ C	Nitrógeno Amoniacal	---	5	> 250	mg/L
APHA 4500-NH ₃ C (*)	Nitrógeno Total	---	5	509,7	mg/L
APHA 2540 C	Sólidos Totales Disueltos	2	8	5 260	mg/L
APHA 2130 B (*)	Turbidez	1	3	550	NTU
APHA 4500-O C (*)	Oxígeno Disuelto	0,5	2	< 0,5	mg/L
APHA 2550 B (*)	Temperatura	---	---	23,1	°C
APHA 2510 B (*)	Conductividad	---	---	11 227	µmho/cm a 25°C
APHA 4500-H+B (*)	pH	---	---	8,7	UpH

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Demanda Bioquímica de Oxígeno:	SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno:	SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 B, 23rd d Ed. 2017. Open Reflux Method.
Fosforo total:	SMEWW – APHA-AWWA-WEF. 4500-P E. 23rd Edition 2017. Phosphorus: Ascorbic Acid Method.
Numeración de Coliformes Fecales (NMP):	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221.E-1, 23rd Edition 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
Nitrógeno Amoniacal:	SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 4500-NH ₃ C. 23rd Ed 2017. Titrimetric Method.
Nitrógeno Total:	SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 4500-NH ₃ C. 23rd Ed 2017. Titrimetric Method.
Sólidos Totales Disueltos:	SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part 2540 C. 23rd Ed 2017. Total Dissolved Solids Dried at 180°C.
Turbidez:	SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 2130 B. 23rd Ed. 2017. Turbidity: Nephelometric Method.
Oxígeno Disuelto:	SMEWW - APHA - AWWA - WEF 4500-O C, 23rd Edition. 2017. Oxigen (Dissolved). Azide Modification.
Temperatura:	SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part 2550 B. (Excepto parte 2), 23rd Ed. 2017. Laboratory and Field Methods
Conductividad:	SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part 2510 B. 23rd Ed 2017. Conductivity. Laboratory Method.
pH:	SMEWW –APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed 2017. pH Value: Electrometric Method

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

INFORME DE ENSAYO N° 1902018

Código de Laboratorio: 1902018-1 Estación de Muestreo: BOTADERO HAQUIRA Fecha de Muestreo: 2019/02/10 Hora: 18:00 Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
	Metales Totales				
	Aluminio	0,0077	---	0,3382	mg/L
	Antimonio	0,0015	---	< 0,0015	mg/L
	Arsénico	0,001	---	< 0,001	mg/L
	Bario	0,0004	---	0,6248	mg/L
	Berilio	0,0002	---	< 0,0002	mg/L
	Boro	0,0012	---	0,9090	mg/L
	Cadmio	0,00005	---	< 0,00005	mg/L
	Calcio	0,0035	---	84,84	mg/L
	Cerio	0,0096	---	< 0,0096	mg/L
	Cobalto	0,0007	---	< 0,0007	mg/L
	Cobre	0,0005	---	< 0,0005	mg/L
	Cromo	0,0023	---	0,1837	mg/L
	Estaño	0,0026	---	< 0,0026	mg/L
	Estroncio	0,0002	---	3,750	mg/L
EPA 200.7 Rev. 4.4 (1994) (1)	Fósforo	0,0237	---	15,13	mg/L
	Hierro	0,0052	---	3,829	mg/L
	Litio	0,0006	---	< 0,0006	mg/L
	Magnesio	0,0107	---	39,29	mg/L
	Manganeso	0,0004	---	0,6013	mg/L
	Molibdeno	0,0018	---	< 0,0018	mg/L
	Níquel	0,0015	---	0,0681	mg/L
	Plata	0,0014	---	< 0,0014	mg/L
	Plomo	0,0004	---	< 0,0004	mg/L
	Potasio	0,0463	---	1 085	mg/L
	Selenio	0,001	---	< 0,001	mg/L
	Silicio	0,0051	---	8,932	mg/L
	Sodio	0,0074	---	638,9	mg/L
	Talio	0,0002	---	< 0,0002	mg/L
	Titanio	0,0021	---	0,3903	mg/L
	Uranio (2)	0,007	---	< 0,007	mg/L
	Vanadio	0,0005	---	0,0570	mg/L
	Zinc	0,0009	---	0,3341	mg/L
APHA 3112 B	Mercurio total (Hg)	0,0001	0,0003	< 0,0001	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Metales Totales por ICP-AES: EPA Method 200.7; Rev. 4.4., 1994 Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry (Al, As, Cu, Fe, Mn, Pb, Na, and Zn)
 Mercurio: EPA Method 245.1; Rev.3, 1994. Determination of mercury in water by cold vapor atomic absorption spectrometry

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

INFORME DE ENSAYO N° 1902018

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno para ensayos fisicoquímicos y frascos esterilizados para ensayos microbiológicos.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (*): Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
- (1) Los Métodos indicados han sido acreditados por el INACAL-DA, para el Laboratorio Subcontratado.
- (2) Los Métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA, para el Laboratorio Subcontratado.
- (4) El resultado del método de ensayo indicado se encuentra fuera del alcance de acreditación otorgada por INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

Lima, 22 de febrero del 2019.



DELTA LAB S.A.C.
WILDER CONDOR CASTRO
JEFE DE LABORATORIO DE FISICO QUIMICA




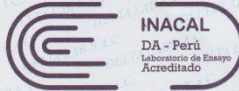
DELTA LAB S.A.C.
RAQUEL ROSALES TORRES
SUB GERENTE DE LA CALIDAD
CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
Teléfono: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

Figura 47. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lixiviado

Anexo 3. Informes de análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lixiviado (1%) diluido en agua residual

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077

Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1902069

Cliente: PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
Domicilio legal: Km. 19 Carretera Central Naña, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto: Agua Residual
Referencia del cliente: No Indica.
Procedencia de las muestras: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez Mz. B Lt 1 Carapongo Lurigancho – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo: No Aplica
Procedimiento de muestreo: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras: 2019/02/28
Fecha de inicio del ensayo: 2019/02/28
Fecha de término del ensayo: 2019/03/06

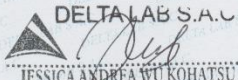
Código de Laboratorio: 1902069-1 **Estación de Muestreo:** PUNTO 1 **Fecha de Muestreo:** 2019/02/28
Hora: 09:00
Tipo de muestra: Agua Residual


Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	57	mg/L
APHA 5220 B	Demanda Química de Oxígeno	5	20	106	mg/L
APHA 4500-P E(*)	Fosforo Total	0,004	0,01	0,216	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,1	1,6 x 10 ⁴	NMP/100 mL
APHA 4500-NH ₃ C	Nitrógeno Amoniacal	---	5	8,8	mg/L
APHA 4500-NH ₃ C (*)	Nitrógeno Total	---	5	9,8	mg/L


Ensayo: Descripción del Método de Referencia:
 Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.
 Demanda Química de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 B, 23rd d Ed. 2017. Open Reflux Method.
 Fosforo total: SMEWW – APHA-AWWA-WEF. 4500-P E. 23rd Edition 2017. Phosphorus: Ascorbic Acid Method.
 Numeración de Coliformes Fecales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221.E-1, 23rd Edition 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
 Nitrógeno Amoniacal: SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 4500-NH₃ C. 23rd Ed 2017. Titrimetric Method.
 Nitrógeno Total: SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 4500-NH₃ C. 23rd Ed 2017. Titrimetric Method.

Notas:
 ▪ Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
 ▪ Las muestras llegaron en frascos de polietileno para ensayos fisicoquímicos y frascos esterilizados para ensayos microbiológicos.
 ▪ Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
 ▪ Toda corrección o emienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración “Suplemento al informe de ensayo”
 ▪ Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 ▪ El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
 ▪ (*): Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Lima, 06 de marzo del 2019.


JESSICA ANDREA WU KOHATSU
JEFE DE LAB DE HIDROBIOLOGIA Y MICROBIOLOGIA


WILDER CONCHA CASTRO
JEFE DE LABORATORIO DE FISICO QUIMICA


RAQUEL ROSALES TORRES
SUB GERENTE DE LA CALIDAD
CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

Figura 48. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes del tratamiento (1%)

INFORME DE ENSAYO N° 1903033

Cliente : PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
Domicilio legal : Km. 19 Carretera Central Naña, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto : Agua Residual
Referencia del cliente : No Indica.
Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez Mz. B Lt 1 Carapongo Lurigancho – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo : No Aplica
Procedimiento de muestreo : No Aplica
Fecha de recepción de las muestras : 2019/03/06
Fecha de inicio del ensayo : 2019/03/06
Fecha de término del ensayo : 2019/03/12

Código de Laboratorio:
1903033-1

Estación de Muestreo: PUNTO 2

Fecha de Muestreo: 2019/03/06
Hora: 11:30

Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	12	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	< 50	mg/L
APHA 4500-P E(*)	Fosforo Total	0,004	0,01	0,100	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,1	2,4 x 10 ³	NMP/100 mL
APHA 4500-NH ₃ C	Nitrógeno Amoniacal	---	5	< 5	mg/L
APHA 4500-NH ₃ C (*)	Nitrógeno Total	---	5	< 5	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. DQO, Closed Reflux. Colorimetric Method.
Fosforo total: SMEWW – APHA-AWWA-WEF. 4500-P E. 23rd Edition 2017. Phosphorus: Ascorbic Acid Method.
Numeración de Coliformes Fecales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 23rd Edition 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
Nitrógeno Amoniacal: SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 4500-NH₃ C. 23rd Ed 2017. Titrimetric Method.
Nitrógeno Total: SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 4500-NH₃ C. 23rd Ed 2017. Titrimetric Method.

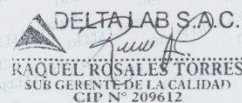
Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno para ensayos fisicoquímicos y frascos esterilizados para ensayos microbiológicos.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (*): Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Lima, 13 de marzo del 2019.


JESSICA ANDREA WU KOHATSU
 JEFE DE LAB DE HIDROBIOLOGIA Y MICROBIOLOGIA


WILDER CONZORI CASTRO
 JEFE DE LABORATORIO DE FISICO QUIMICA


RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefaxis: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com



DELTA LAB S.A.C.

Pág. 1/1

ANEXO DEL INFORME DE ENSAYO N° 1903033

Cliente : PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
Domicilio legal : Km. 19 Carretera Central Ñaña, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto : Agua Residual
Referencia del cliente : No Indica.
Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez Mz. B Lt 1 Carapongo Lurigancho – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo : No Aplica
Procedimiento de muestreo : No Aplica
Fecha de recepción de las muestras : 2019/03/06

DATOS DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

Estación	Hora	Fecha	Nitrógeno Amoniacal	Nitrógeno Total
PUNTO 2	11:30	2019/03/06	0,5	0,5

Nota:
 ■ Resultados reportados fuera del alcance del método.

Lima, 13 de marzo del 2019.


DELTA LAB S.A.C.
RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada
 Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

Figura 49. Informe de análisis de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos después del tratamiento con un TRH de 5 días (1%)

INFORME DE ENSAYO N° 1904034

Código de Laboratorio: 1904034-1
Estación de Muestreo: PUNTO 1
Fecha de Muestreo: 2019/04/12
Hora: 11:30
Tipo de muestra: Agua Residual

Cliente: PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
Domicilio legal: Km. 19 Carretera Central Ñaña, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto: Agua Residual
Referencia del cliente: No Indica.
Procedencia de las muestras: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez Mz. B Lt 1 Carapongo Lurigancho – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo: No Aplica
Procedimiento de muestreo: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras: 2019/04/12
Fecha de inicio del ensayo: 2019/04/12
Fecha de término del ensayo: 2019/04/17

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	61	mg/L
APHA 5220 B	Demanda Química de Oxígeno	5	20	134	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	7 x 10 ⁵	NMP/100 mL
APHA 4500-NH ₃ C (*)	Nitrógeno Total	---	5	72,1	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 B, 23rd Ed. 2017. Open Reflux Method.
Numeración de Coliformes Fecales (NMP): Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
Nitrógeno Total: SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 4500-NH₃ C, 23rd Ed 2017, Titrimetric Method.

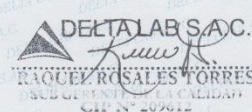
Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno para ensayos fisicoquímicos y frascos esterilizados para ensayos microbiológicos.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (*): Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Lima, 17 de abril del 2019.


JESSICA ANDREA WU KOHATSU
 JEFE DE LAB DE MICROBIOLOGIA Y MICROBIOLOGIA


WILDER COMA ALCASTRO
 JEFE DE LABORATORIO DE FISIQUIMICA


RAQUEL ROSALES TORRES
 JEFE DE CONTROL DE CALIDAD
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada
 Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefaxis: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

Figura 50. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes del tratamiento (1%)

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-077**

Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1904040

Cliente : PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
 Domicilio legal : Km. 19 Carretera Central Naña, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
 Producto : Agua Residual
 Referencia del cliente : No Indica.
 Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez
 Mz. B Lt 1 Carapongo Lurigancho – Lima – Lima.
 Referencia del plan de muestreo : No Aplica
 Procedimiento de muestreo : No Aplica
 Fecha de recepción de las muestras : 2019/04/16
 Fecha de inicio del ensayo : 2019/04/16
 Fecha de término del ensayo : 2019/04/22

Código de Laboratorio: 1904040-1 Estación de Muestreo: PUNTO 2 Fecha de Muestreo: 2019/04/16
 Hora: 13:00
 Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	25	mg/L
APHA 5220 B	Demanda Química de Oxígeno	5	20	98	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	7,9 x 10 ³	NMP/100 mL
APHA 4500-NH ₂ C (*)	Nitrógeno Total	---	5	< 5	mg/L


Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.
 Demanda Química de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 B, 23rd Ed. 2017. Open Reflux Method.
 Numeración de Coliformes Fecales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221.E-1, 23rd Edition 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
 Nitrógeno Total: SMEWW - APHA - AWWA - WEF Part 4500-NH₂C, 23rd Ed 2017. Titrimetric Method.

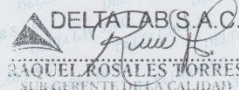
Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno para ensayos fisicoquímicos y frascos esterilizados para ensayos microbiológicos.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (*): Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Lima, 23 de abril del 2019.


JESSICA ANDREA WU KOHATSU
 JEFE DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA Y MICROBIOLOGIA


WILDER COMPAGNONE
 JEFE DE LABORATORIO DE FISICO QUIMICA


RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

ANEXO DEL INFORME DE ENSAYO N° 1904040

Cliente	: PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
Domicilio legal	: Km. 19 Carretera Central Ñaña, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual
Referencia del cliente	: No Indica.
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez Mz. B Lt 1 Carapongo Lurigancho – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2019/04/16

DATOS DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

Estación	Hora	Fecha	Nitrógeno Total
PUNTO 2	13:00	2019/04/16	2,5

Nota:

- Resultado reportado fuera el alcance del método.

Lima, 23 de abril del 2019.


DELTA LAB S.A.C.
RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

Figura 51. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos después del tratamiento con un TRH de 10 días (1%)

INFORME DE ENSAYO N° 1904039

Cliente : PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
Domicilio legal : Km. 19 Carretera Central Naña, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto : Agua Residual
Referencia del cliente : No Indica.
Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez Mz. B Lt 1 Carapongo Lurigancho – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo : No Aplica
Procedimiento de muestreo : No Aplica
Fecha de recepción de las muestras : 2019/04/16
Fecha de inicio del ensayo : 2019/04/16
Fecha de término del ensayo : 2019/04/22

Código de Laboratorio: 1904039-1 **Estación de Muestreo:** PUNTO 1 **Fecha de Muestreo:** 2019/04/16
Hora: 13:00
Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	28	mg/L
APHA 5220 B	Demanda Química de Oxígeno	5	20	61	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	2,4 x 10 ⁴	NMP/100 mL
APHA 4500-NH ₃ C (*)	Nitrógeno Total	---	5	26,7	mg/L

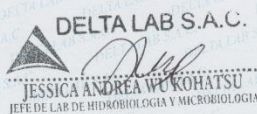
Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

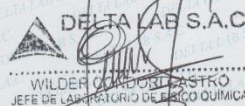
Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 B, 23rd Ed. 2017. Open Reflux Method.
Numeración de Coliformes Fecales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221.E-1, 23rd Edition 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
Nitrógeno Total: SMEWW - APHA - AWWA - WEF Part 4500-NH₃C, 23rd Ed 2017. Titrimetric Method.

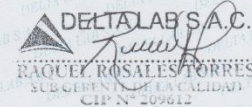
Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno para ensayos fisicoquímicos y frascos esterilizados para ensayos microbiológicos.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (*): Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Lima, 23 de abril del 2019.


 JESSICA ANDREA WUKOHATSU
 JEFE DE LAB DE HIDROBIOLOGIA Y MICROBIOLOGIA


 WILDER CONDORI CASTRO
 JEFE DE LABORATORIO DE FISICO QUIMICA


 RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefaxis: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

Figura 52. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes del tratamiento (1%)

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077

Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1904046

Cliente : PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
Domicilio legal : Km. 19 Carretera Central Ñaña, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto : Agua Residual
Referencia del cliente : No Indica.
Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez Mz. B Lt 1 Carapongo Lurigancho – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo : No Aplica
Procedimiento de muestreo : No Aplica
Fecha de recepción de las muestras : 2019/04/20
Fecha de inicio del ensayo : 2019/04/20
Fecha de término del ensayo : 2019/04/25

Código de Laboratorio: 1904046-1 **Estación de Muestreo:** PUNTO 2 **Fecha de Muestreo:** 2019/04/20
Hora: 10:00
Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	12	mg/L
APHA 5220 B	Demanda Química de Oxígeno	5	20	28	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	1,3 x 10	NMP/100 mL
APHA 4500-NH ₃ C (*)	Nitrógeno Total	---	5	< 5	mg/L

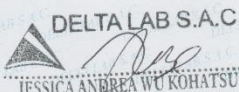
Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 B, 23rd Ed. 2017. Open Reflux Method.
Numeración de Coliformes Fecales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221.E-1, 23rd Edition 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
Nitrógeno Total: SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 4500-NH₃ C, 23rd Ed 2017. Titrimetric Method.

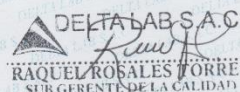
Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno para ensayos fisicoquímicos y frascos esterilizados para ensayos microbiológicos.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (*): Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Lima, 25 de abril del 2019.


DELTA LAB S.A.C.
 JESSICA ANBRÉA WU KOHATSU
 JEFE DE LAB DE MICROBIOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA


DELTA LAB S.A.C.
 WILDER CONCHA
 JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICOQUÍMICA


DELTA LAB S.A.C.
 RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada
 Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

ANEXO DEL INFORME DE ENSAYO N° 1904046

Cliente : PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
Domicilio legal : Km. 19 Carretera Central Ñaña, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto : Agua Residual
Referencia del cliente : No Indica.
Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez
 Mz. B Lt 1 Carapongo Lurigancho – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo : No Aplica
Procedimiento de muestreo : No Aplica
Fecha de recepción de las muestras : 2019/04/20

DATOS DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

Estación	Hora	Fecha	Nitrógeno Total
PUNTO 2	10:00	2019/04/20	2,1

Nota:
 ■ Resultado reportado fuera el alcance del método.

Lima, 25 de abril del 2019.

DELTA LAB S.A.C.
 RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

Figura 53. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos después del tratamiento con un TRH de 15 días (1%)

INFORME DE ENSAYO N° 1903089

Cliente : PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
Domicilio legal : Km. 19 Carretera Central Ñaña, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto : Agua Residual
Referencia del cliente : No Indica.
Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez Mz. B Lt 1 Carapongo Lurigancho – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo : No Aplica
Procedimiento de muestreo : No Aplica
Fecha de recepción de las muestras : 2019/03/27
Fecha de inicio del ensayo : 2019/03/27
Fecha de término del ensayo : 2019/04/03

Código de Laboratorio:
1903089-1

Estación de Muestreo: PUNTO 2

Fecha de Muestreo: 2019/03/27
Hora: 12:00

Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	22	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	52	mg/L
APHA 4500-P E(*)	Fosforo Total	0,004	0,01	0,070	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,1	1,4 x 10 ²	NMP/100 mL
APHA 4500-NH ₃ C	Nitrógeno Amoniacal	---	5	< 5	mg/L
APHA 4500-NH ₃ C (*)	Nitrógeno Total	---	5	< 5	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. DQO, Closed Reflux. Colorimetric Method.
Fosforo total: SMEWW – APHA-AWWA-WEF. 4500-P E. 23rd Edition 2017. Phosphorus: Ascorbic Acid Method.
Numeración de Coliformes Fecales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221.E-1, 23rd Edition 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
Nitrógeno Amoniacal: SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 4500-NH₃ C. 23rd Ed 2017. Titrimetric Method.
Nitrógeno Total: SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 4500-NH₃ C. 23rd Ed 2017. Titrimetric Method.

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno para ensayos fisicoquímicos y frascos esterilizados para ensayos microbiológicos.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (*): Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Lima, 03 de abril del 2019.


 WILDER CONCHA CASTRO
 JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICO QUÍMICA


 RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefaj (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

ANEXO DEL INFORME DE ENSAYO N° 1903089

Cliente	: PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
Domicilio legal	: Km. 19 Carretera Central Ñaña, Lurigancho Chosica - Lima - Lima.
Producto	: Agua Residual
Referencia del cliente	: No Indica.
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2019/03/27

DATOS DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

Estación	Hora	Fecha	Nitrógeno Amoniacal	Nitrógeno Total
PUNTO 2	12:00	2019/03/27	2,5	2,5

Nota:

- Resultados reportados fuera del alcance del método.

Lima, 03 de abril del 2019.



DELTA LAB S.A.C.
 RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

Figura 55. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos después del tratamiento con un TRH de 5 días (3%)

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-077**

Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1904048

Cliente : PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
Domicilio legal : Km. 19 Carretera Central Naña, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto : Agua Residual
Referencia del cliente : No Indica.
Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez
 Mz. B Lt 1 Carapongo Lurigancho – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo : No Aplica
Procedimiento de muestreo : No Aplica
Fecha de recepción de las muestras : 2019/04/22
Fecha de inicio del ensayo : 2019/04/22
Fecha de término del ensayo : 2019/04/27

Código de Laboratorio:
1904048-1

Estación de Muestreo: PUNTO 1

Fecha de Muestreo: 2019/04/22

Hora: 11:30

Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	450	mg/L
APHA 5220 B	Demanda Química de Oxígeno	5	20	975	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	3,5 x 10 ⁴	NMP/100 mL
APHA 4500-NH ₃ C (*)	Nitrógeno Total	---	5	74,9	mg/L

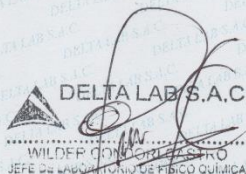
Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 B, 23rd Ed. 2017. Open Reflux Method.
Numeración de Coliformes Fecales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221.E-1, 23rd Edition 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
Nitrógeno Total: SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 4500-NH₃ C, 23rd Ed 2017. Titrimetric Method.

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno para ensayos fisicoquímicos y frascos esterilizados para ensayos microbiológicos.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (*): Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Lima, 29 de abril del 2019.



WILDEF CONCHA CASTRO
 JEFE DE LABORATORIO DE FISICOQUIMICA



DELTA LAB S.A.C.
 RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

Figura 56. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes del tratamiento (3%)

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077

Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1904057

Cliente : PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
Domicilio legal : Km. 19 Carretera Central Naña, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto : Agua Residual
Referencia del cliente : No Indica.
Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez Mz. B Lt 1 Carapongo Lurigancho – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo : No Aplica
Procedimiento de muestreo : No Aplica
Fecha de recepción de las muestras : 2019/04/26
Fecha de inicio del ensayo : 2019/04/26
Fecha de término del ensayo : 2019/05/02

Código de Laboratorio: 1904057-1 **Estación de Muestreo:** PUNTO 2 **Fecha de Muestreo:** 2019/04/26
Hora: 11:00
Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	84	mg/L
APHA 5220 B	Demanda Química de Oxígeno	5	20	178	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	2,4 x 10 ²	NMP/100 mL
APHA 4500-NH ₃ C (*)	Nitrógeno Total	---	5	< 5	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 B, 23rd Ed. 2017. Open Reflux Method.
Numeración de Coliformes Fecales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221.E-1, 23rd Edition 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
Nitrógeno Total: SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 4500-NH₃ C, 23rd Ed 2017. Titrimetric Method.

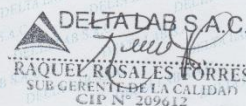
Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno para ensayos fisicoquímicos y frascos esterilizados para ensayos microbiológicos.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (*): Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Lima, 03 de mayo del 2019.



DELTA LAB S.A.C.
 WILDER CONDON CASTRO
 JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICO QUÍMICA



DELTA LAB S.A.C.
 RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada
 Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

ANEXO DEL INFORME DE ENSAYO N° 1904057

Cliente	: PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
Domicilio legal	: Km. 19 Carretera Central Ñaña, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual
Referencia del cliente	: No Indica.
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2019/04/26

DATOS DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

Estación	Hora	Fecha	Nitrógeno Total
PUNTO 2	11:00	2019/04/26	3,6

Nota:

- Resultado reportado fuera el alcance del método.

Lima, 03 de mayo del 2019.



DELTA LAB S.A.C.
RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

Figura 57. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos después del tratamiento con un TRH de 10 días (3%)

INFORME DE ENSAYO N° 1904058

Cliente : PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
 Domicilio legal : Km. 19 Carretera Central Ñaña, Lurigancho Chosica - Lima - Lima.
 Producto : Agua Residual
 Referencia del cliente : No Indica.
 Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez Mz. B Lt 1 Carapongo Lurigancho - Lima - Lima.
 Referencia del plan de muestreo : No Aplica
 Procedimiento de muestreo : No Aplica
 Fecha de recepción de las muestras : 2019/04/26
 Fecha de inicio del ensayo : 2019/04/26
 Fecha de término del ensayo : 2019/05/02

Código de Laboratorio: 1904058-1 Estación de Muestreo: PUNTO 1 Fecha de Muestreo: 2019/04/26
 Hora: 11:00
 Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	109	mg/L
APHA 5220 B	Demanda Química de Oxígeno	5	20	232	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	4,3 x 10 ⁴	NMP/100 mL
APHA 4500-NH ₃ C (*)	Nitrógeno Total	---	5	74,3	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.
 Demanda Química de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 B, 23rd Ed. 2017. Open Reflux Method.
 Numeración de Coliformes Fecales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 23rd Edition 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
 Nitrógeno Total: SMEWW - APHA - AWWA - WEF Part 4500-NH₃ C, 23rd Ed 2017, Titrimetric Method.

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno para ensayos fisicoquímicos y frascos esterilizados para ensayos microbiológicos.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Lima, 03 de mayo del 2019.



WILDER CONCHA CASTRO
 JEFE DE LABORATORIO DE FISICO QUIMICA



RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209612

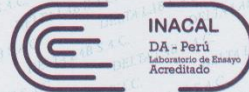
Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C. Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

Figura 58. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes del tratamiento (3%)



DELTA LAB S.A.C.



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 077

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077

Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1904073

Cliente : PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
 Domicilio legal : Km. 19 Carretera Central Ñaña, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
 Producto : Agua Residual
 Referencia del cliente : No Indica.
 Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez Mz. B Lt 1 Carapongo Lurigancho – Lima – Lima.
 Referencia del plan de muestreo : No Aplica
 Procedimiento de muestreo : No Aplica
 Fecha de recepción de las muestras : 2019/04/30
 Fecha de inicio del ensayo : 2019/04/30
 Fecha de término del ensayo : 2019/05/06

Código de Laboratorio:
1904073-1

Estación de Muestreo: PUNTO 2

Fecha de Muestreo: 2019/04/30

Hora: 11:00

Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	66	mg/L
APHA 5220 B	Demanda Química de Oxígeno	5	20	138	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	6,3 x 10 ³	NMP/100 mL
APHA 4500-NH ₃ C (*)	Nitrógeno Total	---	5	<5	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.
 Demanda Química de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 B, 23rd Ed. 2017. Open Reflux Method.
 Numeración de Coliformes Fecales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221.E-1, 23rd Edition 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
 Nitrógeno Total: SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 4500-NH₃ C. 23rd Ed 2017. Titrimetric Method.

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno para ensayos fisicoquímicos y frascos esterilizados para ensayos microbiológicos.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o emienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (*): Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Lima, 06 de mayo del 2019.

DELTA LAB S.A.C.
 WILBER ANTONY CASTRO
 JEFE DE LABORATORIO QUÍMICA

DELTA LAB S.A.C.
 RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

ANEXO DEL INFORME DE ENSAYO N° 1904073

Cliente : PAUL SEGURA DELGADO/ WILBERT ANTONY ROCHA VERA
Domicilio legal : Km. 19 Carretera Central Ñaña, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto : Agua Residual
Referencia del cliente : No Indica.
Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Asociación Los Viquez Mz. B Lt 1 Carapongo Lurigancho – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo : No Aplica
Procedimiento de muestreo : No Aplica
Fecha de recepción de las muestras : 2019/04/30

DATOS DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

Estación	Hora	Fecha	Nitrógeno Total
PUNTO 2	11:00	2019/04/30	4,8

Nota:
 ■ Resultado reportado fuera el alcance del método.

Lima, 06 de mayo del 2019.



DELTA LAB S.A.C.
RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

Figura 59. Informe de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos después del tratamiento con un TRH de 15 días (3%)

Anexo 5. Certificado de calibración de equipos del laboratorio de saneamiento ambiental – Universidad Peruana Unión



INLAD S.A.C.
ASEGURAMIENTO METROLÓGICO
INDUSTRIAS & LABORATORIOS AL DIA S.A.C.
Empresa de Servicios Metrologicos



**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
CON PATRONES TRAZABLES
INDECOPI - INACAL.**



SNM
Servicio Nacional de Metrología
INACAL
METROLOGIA NACIONAL

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LE-363-2018

Página 1 de 2

FECHA DE EMISIÓN	2018-08-28	<p>La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.</p> <p>Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición a reglamentaciones vigentes.</p> <p>INLAD S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p>
EXPEDIENTE	ILD-1879-2018	
1. SOLICITANTE	UNIVERSIDAD PERUANA UNION	
DIRECCIÓN:	CAR. CENTRAL KM. 19 VILLA UNION-NANA LIMA - LIMA - EURIGANCHO	
2. EQUIPO DE MEDICIÓN	MULTIPARAMETRO	
MARCA	HANNA INSTRUMENTS	
MODELO	C 214 (C 99)	
NÚMERO DE SERIE	H92587	
PROCEDENCIA	RUMANA	
IDENTIFICACIÓN	3072	
UBICACIÓN	LABORATORIO	

DESCRIPCIÓN	ALCANCE DEL EQUIPO
ALCANCE DE INDICACIÓN	6.5 - 8.5 pH
RESOLUCIÓN	0.1 pH
TIPO	DIGITAL

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2018-08-28

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN
La calibración se realizó por comparación de la indicación del instrumento con valores asignados a materiales de referencia de pH certificados, tomando como referencia el procedimiento PC-020 "Procedimiento para la Calibración de Medidores de pH", primera edición del SNM-INDECOPI.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN
La calibración se realizó en el laboratorio de INLAD S.A.C.


Ing. Ernesto Rodríguez Moron
 Jefe de Metrología



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE INDUSTRIAS LABORATORIOS AL DIA S.A.C.

Av 28 de Julio Mz. V1-Et 17 - alt. Cdra. 15 de Angélica Gamarra - Los Olivos. Lima - Lima

Teléfonos 531 0003, Nextel (.946480783.51*648*783), Claro (965305195), Movistar (939295001)

E-mail: metrologia@inladsac.com

web site: www.inladsac.com

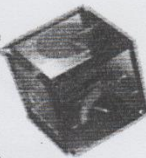
Figura 60. Certificado de calibración del multiparámetro



INLAD S.A.C.

ASEGURAMIENTO METROLÓGICO

INDUSTRIAS & LABORATORIOS AL DIA S.A.C.
Empresa de Servicios Metroológicos



**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
CON PATRONES TRAZABLES
INDECOPI - INACAL.**



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LE-370-2018

Página 1 de 2

FECHA DE EMISIÓN : 2018-08-28

EXPEDIENTE : ILD-1879-2018

1. SOLICITANTE : UNIVERSIDAD PERUANA UNION

DIRECCIÓN : CAR. CENTRAL KM. 19 VILLA UNION-NAÑA- LIMA
LIMA - LURIGANCHO

2. EQUIPO DE MEDICIÓN : MEDIDOR DE TURBIDEZ

MARCA : HANNA INSTRUMENTS

MODELO : HI 93703

NÚMERO DE SERIE : D0000495

PROCEDENCIA : RUMANIA

IDENTIFICACIÓN : NO INDICA

UBICACIÓN : LABORATORIO

DESCRIPCIÓN	ALCANCE DEL EQUIPO
ALCANCE DE INDICACIÓN	0,00 a 50,00 FTU 50 a 1000 FTU
RESOLUCIÓN	0,01 FTU 1 FTU
TIPO	DIGITAL

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2018-08-28

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Determinación del error de indicación por medición directa con soluciones primarias estándar de 0 FTU, 10 FTU y 500 FTU.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó en el laboratorio de INLAD S.A.C.

Ing. Ernesto Rodríguez Miron
Jefe de Metrología



La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %. Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual es en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

INLAD S.A.C. no responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Figura 61. Certificado de calibración del medidor de turbidez



INLAD S.A.C.

ASEGURAMIENTO METROLÓGICO

INDUSTRIAS & LABORATORIOS AL DIA S.A.C.
Empresa de Servicios Metroológicos



**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
CON PATRONES TRAZABLES
INDECOPI - INACAL.**



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LE-373-2018

Página 1 de 2

FECHA DE EMISIÓN : 2018-08-28

EXPEDIENTE : ILD-1879-2018

1. SOLICITANTE : UNIVERSIDAD PERUANA UNION

DIRECCIÓN : CAR. CENTRAL KM. 19 VILLA UNIÓN-NANA- LIMA - LIMA - LURIGANCHO.

2. EQUIPO DE MEDICIÓN : MEDIDOR DE OXIGENO

MARCA : HANNA INSTRUMENTS

MODELO : HI 9142

NÚMERO DE SERIE : 312020

PROCEDENCIA : RUMANIA

IDENTIFICACIÓN : NO INDICA

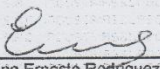
UBICACIÓN : LABORATORIO

DESCRIPCIÓN	ALCANCE DEL EQUIPO
ALCANCE DE INDICACIÓN	0,0 mg/L a 19,9 mg/L
RESOLUCIÓN	0,1 mg/L
TIPO	DIGITAL

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2018-08-28

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN
del error de indicación por medición directa con solución estándar de 0 % DO.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN
La calibración se realizó en el laboratorio de INLAD SAC.


Ing. Ernesto Rodríguez Morón
Jefe de Metrología

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición y a las regulaciones vigentes.

INLAD S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.



Av 28 de Julio Mz. V1 Lt 17 al. Casa 15 de Angélica Gamarrá Los Olivos, Lima, Lima
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE INDUSTRIAS & LABORATORIOS AL DIA S.A.C.
Teléfonos 531 0003, Nextel (946480783 51*648*783), Claro (965305195), Movistar (939295001)
E-mail: metrologia@inladsac.com web site: www.inladsac.com

Figura 62. Certificado de calibración del medidor de oxígeno

Anexo 6. Construcción del sistema de tratamiento de HAFSSH



Figura 63. Limpieza del terreno



Figura 64. Área para la implementación del sistema de tratamiento



Figura 65. Excavación para la instalación del sistema de tratamiento HAFSSH



Figura 66. Excavación terminada del sistema de tratamiento mediante HAFSSH



Figura 67. Revestimiento del HA con geomembrana



Figura 68. Materiales utilizados en el lecho filtrante



Figura 69. Colocación del lecho filtrante con grava fina



Figura 70. Colocación grava media la zona de entrada y salida



Figura 71. Llenado del lecho filtrante con arena gruesa



Figura 72. Instalación de la tubería de aireación



Figura 73. Construcción del biodigestor



Figura 74. Biodigestor revestido con plástico



Figura 75. Instalación del biodigestor



Figura 76. Instalación de la cámara de lodos



Figura 77. Rizomas del Carrizo (*Phragmites australis*)



Figura 78. Plantación del carrizo en el HA



Figura 79. Plantación terminada del carrizo en el HA



Figura 80. Implementación del tanque de almacenamiento



Figura 81. Etapa de adaptación del carrizo



Figura 82. Puesta en marcha del sistema de tratamiento con aguas residuales



Figura 83. Crecimiento de nuevas especies



Figura 84. Adaptación competitiva del carrizo



Figura 85. Puesta en marcha del sistema de tratamiento con lixiviado diluido en agua residual

Anexo 7. Muestreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológico



Figura 86. Muestra para el análisis de fósforo total



Figura 87. Muestra para el análisis de DBO₅



Figura 88. Muestra para el análisis de nitrógeno amoniacal



Figura 89. Muestra para el análisis de coliformes termotolerantes



Figura 90. Muestra para el análisis de nitrógeno total



Figura 91. Muestra para el análisis de DQO



Figura 92. Preservante H_2SO_4



Figura 93. Tiras Indicadoras de pH



Figura 94. Muestra de lixiviado para la dilución en agua residual



Figura 95. Transporte de materiales y muestras de lixiviados del laboratorio al área de trabajo

Anexo 8. Análisis de los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio de saneamiento ambiental - UPeU



Figura 96. Análisis de la temperatura



Figura 97. Análisis de la conductividad eléctrica



Figura 98. Análisis de solidos disueltos totales



Figura 99. Análisis del pH



Figura 100. Análisis del oxígeno disuelto



Figura 101. Análisis de la turbiedad

Anexo 9. Botadero de residuos sólidos Jaquira - Cusco



Figura 102. Botadero Jaquira



Figura 103. Manejo inadecuado del lixiviado en el botadero Jaquira



Figura 104. Zona de salida del lixiviado en el botadero Jaquira



Figura 105. Punto de muestreo del lixiviado