

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

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



“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA SUPERFICIE DE CONTACTO EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS DE LA PLANTA PILOTO DE LA FIARN-UNAC”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

Bach. CAROLINA MARILU AMARO CABRERA

Bach. LUIS DAVID MONTES BARRERA

ASESOR:

Mg. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA

Callao, Abril 2018

PERÚ

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

COMISION DE GRADOS Y TITULOS

**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
N° 002-2018-JEDT-FIARN**

Siendo las 14:50 horas del día lunes 23 de abril de 2018, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales ubicado en la Av. Juan Pablo II 306-Bellavista-Callao; se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA SUPERFICIE DE CONTACTO EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS DE LA PLANTA PILOTO DE LA FIARN-UNAC" presentada, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de los Bachilleres Luis David Montes Barrera y Carolina Marilú Amaro Cabrera.

Contando con la asistencia del Jurado Evaluador y Asesor a fin de dar cumplimiento a la Resolución N° 010-2018-D-FIARN de fecha 09 de abril de 2018, los mismos que están integrados por los siguientes docentes:

MsC. María Teresa Valderrama Rojas	Presidenta
Blgo. Abelardo Virgilio M. Isla Medina	Secretario
Lic. Janet Mamani Ramos	Vocal
Mg. Máximo Fidel Baca Neglia	Asesor

Terminada la exposición y la absolución de las preguntas del Jurado Evaluador, se invita a los Bachilleres y al público en general se retiren del Auditorio para las deliberaciones del caso.

Luego de las deliberaciones el Jurado Evaluador acuerda **APROBAR POR UNANIMIDAD**, no habiendo observación alguna con el Calificativo de **MUY BUENO** da por terminado el acto de exposición.

En señal de conformidad firman el Jurado Evaluador y Asesor, siendo las 16:00 horas del día 23 de abril de 2018.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
OFICINA DE SECRETARIA GENERAL

EL SECRETARIO GENERAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

MsC. María Teresa Valderrama Rojas *MsC. María Teresa Valderrama Rojas* CERTIFICA: Blgo. Abelardo V. Martin Isla Medina

Presidenta es copia fiel del original. Se expide la presente certificación a solicitud del (a) interesado (a) para los fines que juzgue conveniente

Callao, 14 de AGO 2018 del 20

Janet Mamani Ramos
Lic. Janet Mamani Ramos
Vocal

Máximo Fidel Baca Neglia
Mg. Máximo Fidel Baca Neglia
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Oficina de Secretaría General

Guillermo Laureggi Vinateua
Lic. Cessa Guillermo Laureggi Vinateua
Secretario General

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios y todas las personas que nos han brindado su apoyo, sobre todo en los momentos más difíciles.

En especial a nuestros padres ya que sin ellos no hubiese sido posible el desarrollo de la misma.

Todo esfuerzo tiene su recompensa.
Proverbios 14:23

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por estar siempre con nosotros y a nuestros padres por apoyarnos en todo momento.

A nuestro asesor de tesis Mg. Máximo Fidel Baca Neglia por sus recomendaciones brindadas en las diferentes etapas de esta investigación.

Al Ingeniero Francisco Jesús Morales, quien muy generosamente nos proporcionó el material para llevar a cabo nuestra investigación.

A los técnicos de la Universidad Nacional del Callao; Sr. Reyes y Sr. Conde; quienes siempre estuvieron presentes para ayudarnos a solucionar los problemas que se nos presentaban y a nuestra Alma Máter que nos apoyó durante la etapa experimental dejándonos ingresar en todo momento inclusive los feriados.

ÍNDICE

RESUMEN	11
ABSTRAC	12
CÁPITULO I	
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.1. Identificación del problema.....	13
1.2. Formulación del Problema.....	14
1.3. Objetivos de la Investigación.....	14
1.3.1. Objetivo General.....	14
1.3.2. Objetivo Específicos.....	14
1.4. Justificación e importancia.....	15
1.4.1. Justificación.....	15
1.4.2. Importancia.....	15
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes del Estudio.....	16
2.2.2. Historia del proceso MBBR (Reactor de Biopelícula de Lecho Móvil).-.....	26
2.2.3. Descripción del Proceso o Tecnología MBBR (Reactor de Biopelícula de Lecho Móvil).....	29
2.2.3.1. Carriers utilizados en procesos MBBR.....	33
2.2.4. Configuraciones del Proceso MBBR.....	39
2.2.4.1. MBBR Puro.....	40
2.2.4.3. MBBR como post-tratamiento.....	43
2.2.4.4. Reactores de película fija integrados (IFAS).-.....	43
2.2.5. Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos implementando Superficie de Contacto en la Planta Piloto de la FIARN.....	45
2.2.6. Parámetros de control del Sistema con Superficie de Contacto.....	47
2.2.8. Composición y características típicas de las aguas residuales domésticas.....	60
2.2.9. Desinfección del efluente tratado.....	63
2.2.9.1. Demanda de Cloro, Curva de Cloración y Punto de Ruptura.....	63
2.3. Marco Legal.-.....	65
2.3.1 Normas Internacionales.-.....	65
2.3.2 Normas Nacionales.-.....	67
2.3.3 Definición de términos básicos.....	72

CAPÍTULO III

VARIABLES E HIPÓTESIS	76
3.1. Variables de la investigación.-	76
3.1.1. Variable independiente:.....	76
3.1.3. Variable dependiente.....	76
3.2. Operacionalización de las variables	77
3.3. Hipótesis General	78

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA	79
4.1. Tipo de Investigación.....	79
4.2. Diseño de la investigación.	79
4.3. Población y Muestra.....	80
4.4.2. Instrumentos de recolección de datos.....	81
4.5. Procedimiento de recolección de datos	84
4.5.1. Adquisición de los carriers para su implementación.-	84
4.5.2. Revisión y control para un adecuado funcionamiento del Sistema de tratamiento.....	84
4.5.2.1. Captación del agua residual:.....	85
4.5.3. Adaptabilidad del Sistema para evitar la pérdida de carriers o soportes plásticos	87
4.5.4. Determinación y Cálculo de los Porcentajes Volumétricos de los portadores a utilizar	88
4.5.5. Agregado de los carriers o soportes plásticos en el Sistema de Tratamiento	89
4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos.-.....	102

CAPÍTULO V

RESULTADOS	104
5.1. Evaluación de los indicadores de control del Sistema	105
5.1.1. Evaluación de los indicadores visuales de Control.	105
5.1.2. Evaluación de los indicadores analíticos de control.....	109
5.2. Evaluación de los parámetros de control del Sistema	110
5.2.1. Oxígeno disuelto (mg O ₂ /L).....	110
5.2.2. Tiempo de retención hidráulica (días):.....	111
5.2.3. Temperatura (°C).....	112
5.2.4. Potencial de hidrógeno	113

5.2.5. Carga orgánica.....	114
5.3. Evaluación de los parámetros de modelado del Sistema de Tratamiento	116
5.3.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅):	117
5.3.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO):.....	118
5.3.3. Sólidos Suspendidos Totales (SST):	119
5.3.4. Aceites y Grasas (A & G):	120
5.3.5. Coliformes Termotolerantes:.....	121
5.3.6. Oxígeno Disuelto (OD):.....	122
5.3.7. Temperatura (° C):	123
5.3.8. Potencial de hidrógeno (pH):	124
CAPÍTULO VI	
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	127
6.1. Evaluación de la calidad del agua residual doméstica posterior a su tratamiento	127
6.1.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	129
6.1.2. Demanda Química de Oxígeno (mg/L).....	130
6.1.3. Sólidos Suspendidos Totales (mg/L).....	133
6.1.4. Aceites y Grasas (mg/L).....	134
6.1.5. Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml).....	135
6.1.6. Oxígeno Disuelto (mg O ₂ /L)	136
6.1.7. Temperatura (°C).....	137
6.1.8. Potencial de hidrógeno (pH)	138
6.2. Comparación con el Sistema de Lodos Activados Continuos sin Superficie de Contacto	139
6.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	139
6.2.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	141
6.2.3. Sólidos Suspendidos Totales.....	143
6.2.3. Aceites y Grasas	144
6.3. Eficiencia.....	145
CAPÍTULO VII	
CONCLUSIONES	155
CAPÍTULO VIII	
RECOMENDACIONES	159
CAPÍTULO IX	
REFERENCIAS	161

CAPÍTULO X

APÉNDICE.....	164
---------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº 1.	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO MBBR	17
FIGURA Nº 2.	ESTRUCTURA EXPERIMENTAL	21
FIGURA Nº 3.	PROCESO DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS DE LA FIARN	25
FIGURA Nº 4.	FUNCIONAMIENTO MBBR.....	30
FIGURA Nº 5.	REACTOR MBBR AERÓBICO CON CRECIMIENTO DE BIOPELÍCULA	31
FIGURA Nº 6.	CONFIGURACIÓN TÍPICA DE MBBR PURO PARA ELIMINACIÓN DE DBO Y NITRIFICACIÓN.	41
FIGURA Nº 7.	CONFIGURACIÓN BAS™ TÍPICA.....	42
FIGURA Nº 8.	MBBR DESPUÉS DEL PRE-TRATAMIENTO	43
FIGURA Nº 9.	VARIAS CONFIGURACIONES COMUNES DE HYBAS™ (IFAS).....	44
FIGURA Nº 10.	SISTEMA DE TRATAMIENTO – VISTA SUPERIOR.....	47
FIGURA Nº 11.	SISTEMA DE TRATAMIENTO – VISTA LONGITUDINAL	47
FIGURA Nº 12.	ETAPAS EN EL DESARROLLO DE LA BIOPELÍCULA	49
FIGURA Nº 13.	PH Y ACTIVIDAD BIOLÓGICA	55
FIGURA Nº 14.	TEMPERATURA Y ACTIVIDAD BIOLÓGICA.....	55
FIGURA Nº 15.	CURVA DE CLORACIÓN.....	64
FIGURA Nº 16.	RELACIÓN CAUSA – EFECTO	77
FIGURA Nº 17.	CARRIERS.....	83
FIGURA Nº 18.	MULTIPARÁMETRO (PH Y TEMPERATURA).....	83
FIGURA Nº 19.	MEDIDOR DE OXÍGENO DISUELTO.....	83
FIGURA Nº 20.	NUEVA COMPRESORA DE AIRE.....	87
FIGURA Nº 21.	DIFUSORES DE BURBUJA GRUESA EN TANQUE DE AIREACIÓN	87
FIGURA Nº 22.	TAMIZ EN INGRESO (AFLUENTE).....	88
FIGURA Nº 23.	TAMIZ EN LA SALIDA	88
FIGURA Nº 24.	AGREGADO DE CARRIERS TANQUE DE AIREACIÓN (50%)	90

FIGURA Nº 25. INOCULACIÓN DE LODOS ACTIVADOS	91
FIGURA Nº 26. 91AGREGADO DE CARRIERS (5%)	91
FIGURA Nº 27. RECIPIENTE CON 5% DE CARRIERS	91
FIGURA Nº 28. 93BIOPELÍCULA FORMADA EN EL CARRIER.....	93
FIGURA Nº 29. CURVA DE CLORACIÓN.....	100
FIGURA Nº 30. MUESTRAS DE EFLUENTE TRATADO	101
FIGURA Nº 31. MATERIALES UTILIZADOS	101
FIGURA Nº 32. 101EQUIPO COLORIMÉTRICO DE CLORO	101
FIGURA Nº 33. 108BIOPELÍCULA A 50%.....	108
FIGURA Nº 34. BIOPELÍCULA A 55%.....	108
FIGURA Nº 35. OXÍGENO DISUELTO.....	111
FIGURA Nº 36. TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA.....	112
FIGURA Nº 37. TEMPERATURA (°C).....	113
FIGURA Nº 38. POTENCIAL DE HIDRÓGENO	114
FIGURA Nº 39. CARGA ORGÁNICA	115
FIGURA Nº 40. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	117
FIGURA Nº 41. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	118
FIGURA Nº 42. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.....	119
FIGURA Nº 43. ACEITES Y GRASAS	120
FIGURA Nº 44. COLIFORMES TERMOTOLERANTES	121
FIGURA Nº 45. OXÍGENO DISUELTO EN EL EFLUENTE	122
FIGURA Nº 46. TEMPERATURA EN EL EFLUENTE	123
FIGURA Nº 47. POTENCIAL DE HIDRÓGENO EN EL EFLUENTE.....	124
FIGURA Nº 48. AFLUENTE (AGUA RESIDUAL).....	126
FIGURA Nº 49. EFLUENTE TRATADO EN EL SEDIMENTADOR	126
FIGURA Nº 50. EFLUENTE TRATADO EN EL RECIPIENTE	126
FIGURA Nº 51. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	129
FIGURA Nº 52. PINTURA EN EL TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN	130
FIGURA Nº 53. PINTURA EN EL ALCANTARILLADO	131
FIGURA Nº 54. BALDES DE PINTURA	131
FIGURA Nº 55. 132DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	132
FIGURA Nº 56. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.....	133
FIGURA Nº 57. ACEITES Y GRASAS	134
FIGURA Nº 58. COLIFORMES TERMOTOLERANTES	135

FIGURA Nº 59. OXÍGENO DISUELTO.....	136
FIGURA Nº 60. TEMPERATURA	137
FIGURA Nº 61. POTENCIAL DE HIDRÓGENO	138
FIGURA Nº 62. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	140
FIGURA Nº 63. 142DEMANDA QUIÍMICA DE OXÍGENO	142
FIGURA Nº 64. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.....	143
FIGURA Nº 65. ACEITES Y GRASAS	144
FIGURA Nº 66. COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS CON RESPECTO AL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS	151

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA Nº 1. PTARS MUNICIPALES VÍA ASOCIACIÓN PÚBLICO-PRIVADA.....	26
TABLA Nº 2. MEDIOS DE SOPORTE MANUFACTURADOS	34
TABLA Nº 3. INDICADORES VISUALES DE CONTROL DEL SISTEMA	48
TABLA Nº 4. INDICADORES ANALÍTICOS DE CONTROL DEL SSC ...	51
TABLA Nº 5. PARÁMETROS DE CONTROL DEL SISTEMA	53
TABLA Nº 6. PARÁMETROS DEL MODELADO DEL SSC	57
TABLA Nº 7. COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA	61
TABLA Nº 8. GUÍA SUGERIDAS PARA AGUAS TRATADAS EN EL REUSO AGRÍCOLA.....	66
TABLA Nº 9. DIRECTRICES DE LA OMS (1989) SOBRE CALIDAD PARASITOLÓGICA Y MICROBIOLÓGICA DE AGUASRESIDUALES PARA USO ENAGRICULTURA	67
TABLA Nº 10. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y FÍSICAS DEL SOPORTE EMPLEADO.....	84
TABLA Nº 11. CÁLCULOS PARA DETERMINAR LOS VOLÚMENES A TRAVÉS DEL PESO	89
TABLA Nº 12. CAUDAL DE ALIMENTACIÓN AL SISTEMA DE TRATAMIENTO	92
TABLA Nº 13. RESUMEN DE TOMA DE MUESTRAS PARA EL CONTROL Y EVALUACIÓN DE EFICIENCIA	95
TABLA Nº 14. MÉTODOS DE ANÁLISIS EMPLEADOS POR EL LABORATORIO ACREDITADO.....	96
TABLA Nº 15. TABLA DE DOSIFICACIÓN DE CLORO Y RESULTADOS DE CLORO RESIDUAL.....	98

TABLA N° 16.	TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA	105
TABLA N° 17.	INDICADORES VISUALES DE CONTROL DEL SISTEMA..	106
TABLA N° 18.	INDICADORES ANÁLITICOS DE CONTROL DEL SISTEMA	109
TABLA N° 19.	OXÍGENO DISUELTO (OD)	110
TABLA N° 20.	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH).....	111
TABLA N° 21.	TEMPERATURA (°C).....	112
TABLA N° 22.	POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)	113
TABLA N° 23.	CARGA ORGÁNICA	114
TABLA N° 24.	RESUMEN DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL EVALUADOS.....	115
TABLA N° 25.	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.....	117
TABLA N° 26.	DEMANDA QUIÍMICA DE OXÍGENO	118
TABLA N° 27.	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.....	119
TABLA N° 28.	ACEITES Y GRASAS	120
TABLA N° 29.	COLIFORMES TERMOTOLERANTES	121
TABLA N° 30.	OXÍGENO DISUELTO EN EFLUENTE	122
TABLA N° 31.	TEMPERATURA EN EFLUENTE	123
TABLA N° 32.	POTENCIAL DE HIDRÓGENO EN EFLUENTE	124
TABLA N° 33.	RESUMEN DE RESULTADOS DE 50% Y 55% DE VOLUMEN USADO.....	125
TABLA N° 34.	COMPARACIÓN DEL EFLUENTE CON LOS ECA Y LMP...	128
TABLA N° 35.	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.....	140
TABLA N° 36.	DEMANDA QUIÍMICA DE OXÍGENO	142
TABLA N° 37.	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.....	143
TABLA N° 38.	ACEITES Y GRASAS	144
TABLA N° 39.	EFICIENCIAS DE REMOCIÓN CALCULADAS Y ESTIMADAS.....	146
TABLA N° 40.	COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS CON RESPECTO AL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS	150
TABLA N° 41.	CUADRO COMPARATIVO DE EFICIENCIAS DE DBO ₅ Y DQO CON INVESTIGACIONES MBBR.....	153

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao. Se realizó una modificación en el Sistema de Lodos Activados Continuos al implementar superficie de contacto, mediante la adición de carriers al tanque de aireación, pasando a ser un proceso MBBR (Reactor de Biopelícula de Lecho Móvil).

Para el proceso experimental se usaron los carriers en una concentración de 50% y 55% del volumen total del tanque de aireación aplicados en diferentes periodos de tiempo.

El principal objetivo fue la evaluación de la eficiencia de remoción de los parámetros: Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5) y Demanda química de oxígeno (DQO) y otros adicionales como Sólidos suspendido totales (SST), Aceites y Grasas (A & G) y Coliformes Termotolerantes. Se utilizaron cuatro caudales: 129.6 L/día, 172.8 L/día, 216.0 L/día y 259.2 L/día. Las mayores eficiencias en los parámetros evaluados del Sistema se obtuvieron con un caudal de 172.8 L/día y los resultados fueron >99.23 %, 96.09 %, 95.93% y 98.67 % para la DBO_5 , DQO, A & G y SST respectivamente, mostrando flexibilidad a las variaciones de carga orgánica e hidráulicas e incluso a agentes contaminantes.

Con respecto a los Coliformes Termotolerantes, se aplicó cloración al efluente cumpliendo así con el ECA y LMP.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the Pilot Plant of Domestic Wastewater Treatment of the Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao. A modification was made to the Continuous Activated Sludge system by implementing carriers to the aeration tank, becoming an MBBR process (Moving Bed Biofilm Reactor).

For the experimental process, the carriers were used in a concentration of 50% and 55% of the total volume of the aeration tank applied in different periods of time.

The main objective was the evaluation of the removal efficiency of the following parameters: Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) and Chemical Oxygen Demand (COD) and others such as Total Suspended Solids (TSS), Oils and Fats (A & G) and Thermotolerant Coliforms. Four flow rates were used: 129.6 L / day, 172.8 L / day, 216.0 L / day and 259.2 L / day. The highest efficiencies of the System were obtained with a flow of 172.8 L / day and the results were > 99.23%, 96.09%, 95.93% and 98.67% for the parameters of BOD₅, COD, A & G and SST respectively, showing flexibility to the variations of organic and hydraulic load and even pollutants.

Regarding the Coliform Thermotolerant parameter, chlorination was applied to the effluent thus fulfilling the ECA and LMP.

CÁPITULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema

A nivel nacional, sólo el 69.65% de la población urbana es cubierta por el servicio de alcantarillado brindado por las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS Saneamiento), el resto de población vierte directamente sus aguas residuales sin tratamiento a cuerpos receptores (mar, ríos, quebradas, etc.) generando contaminación ambiental.

Con respecto al tratamiento de aguas residuales urbanas en el Callao, la Municipalidad Provincial del Callao, cuenta con una Planta de Tratamiento ubicada entre la Av. Faucett y el Río Rímac, la cual capta aguas residuales domésticas de la Red de alcantarillado de la EPS-SEDAPAL, obteniendo agua para el riego de las áreas verdes. Sin embargo, sólo es destinada para las vías principales de la Provincia Constitucional del Callao siendo el 15% del total de áreas verdes.

Es decir, el 85 % es regado con agua potable o con agua residual parcialmente tratada, siendo una práctica inadecuada, ya que representa un riesgo para la salud y el ambiente, al no cumplir con los estándares de calidad ambiental.

Además, en la Universidad Nacional del Callao se consume un caudal promedio de agua potable de 2 035,30 m³/mes de los cuales se estima que el 30% se utiliza como agua para riego de las áreas verdes, es decir cerca de 610,6 m³/mes (0,236 L/s). (M. Farfán R., 2015, p. 8).

La presente investigación de tesis tiene como finalidad evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento de Lodos Activados Continuos luego de la implementación

de superficie de contacto, al añadir carriers en el tanque de aireación, de modo que incida favorablemente sobre calidad del agua tratada para su posterior reutilización para el riego de áreas verdes. De esta manera mitigar dos problemas en la Universidad Nacional del Callao: la contaminación de los cuerpos de agua y minimizar el mal uso del agua potable con fines de riego de las áreas verdes.

1.2. Formulación del Problema

¿La implementación de superficie de contacto permitirá mejorar la Eficiencia del Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos de la Planta Piloto de la FIARN-UNAC?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar la eficiencia del Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos al implementar la Superficie de Contacto, con el fin de que cumpla con los Estándares de Calidad Ambiental Categoría III.

1.3.2. Objetivo Específicos

- Determinar el porcentaje de volumen de relleno de carriers a utilizarse en el Sistema de Tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Medir los indicadores y parámetros de control del Sistema de Tratamiento.
- Determinar la Eficiencia del Sistema de Tratamiento añadiendo superficie de contacto (carriers).
- Comparar los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental de Agua Categoría III.

- Comparar la Eficiencia del Sistema de Tratamiento con los resultados obtenidos anteriormente sin uso de superficie de contacto (carriers).

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación

Mejorar la calidad del agua residual tratada para su reutilización en el riego de áreas verdes a través de la implementación de la superficie de contacto en el Sistema de Tratamiento de Lodos Activados.

1.4.2. Importancia

a) Ambiental

Minimizar el consumo de agua potable para el riego de áreas verdes, y mitigar el impacto causado por descargas de aguas residuales a los ecosistemas de agua.

b) Legal

Cumplir con las Normas legales Nacionales que regulen los parámetros para su uso o descarga en los ecosistemas.

c) Social

Dar a conocer a la población Universitaria que es posible la reutilización de las aguas residuales, a través de un tratamiento con el fin de preservar el recurso agua, y de esta forma sensibilizarla.

d) Económico

Realizar un proyecto sostenible que, al mejorar la calidad de agua residual, reduzca el consumo de agua potable generando ahorros y beneficios para la ciudad universitaria.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

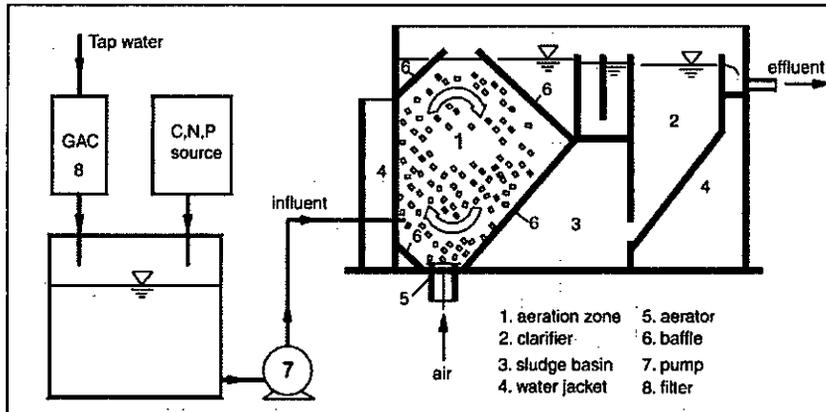
2.1. Antecedentes del Estudio. -

2.1.1. Rong - Chang Wang, Xiang - Huawen, Yi Qian en su artículo **Influencia de la concentración de carriers sobre el rendimiento y las características microbianas de un reactor de biopelícula de carriers suspendidos** nos menciona el uso de:

Un reactor de biopelícula de soporte suspendido renovado por su capacidad de oxidación de carbono y nitrificación. El carrier usado fue cloruro de polivinilo con 2.5 mm de diámetro y 2.5-3.0 mm de altura. La relación de relleno de carriers, que se define como la relación en volumen de carrier en todo el reactor, es un parámetro característico clave para el nuevo reactor. Se llevaron a cabo los experimentos operacionales bajo diferentes proporciones de relleno de portador que varía de 10 a 75%. Mientras tanto, se monitoreó y analizó la tasa de eliminación de contaminantes y el comportamiento de los microorganismos, como la biomasa y la actividad específica de utilización de oxígeno. Los resultados mostraron que cuando el afluente tiene una Demanda Química de Oxígeno y Amoniacó de aproximadamente de 200 y 20 mg/L, el Tiempo de Retención Hidráulica fue de 1 hora, la óptima concentración de carrier fue aproximadamente de 50% con un promedio de tasa de remoción de DQO y amoniacó de 70 y 30 %, respectivamente. Con una concentración incrementada de carriers de 10 a 75%, el porcentaje de remoción de DQO, incrementó de 58.4% a 68.4%

primero y después bajo a 63.3%. La concentración óptima para remover DQO por el tratamiento SCBR (Reactor de Biopelícula en Carriers Suspendidos) es 50%. (2005, p.p 2992-3001)

FIGURA N° 1. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO MBBR



Fuente: Rong-Chang Wang, Xiang-HuaWen, China (2005)

2.1.2. Kadiya Calderón, Jaime Martín-Pascual, José Manuel Poyatos, Belén Rodelas, Alejandro Gonzáles-Martínez, Jesús Gonzáles-López en su artículo Análisis comparativo de la diversidad bacteriana en escala laboratorio reactor biopelícula de lecho móvil (MBBR) aplicado al tratamiento de aguas residuales bajo diferentes condiciones operacionales afirman:

Diferentes tipos de portadores fueron probados como material de soporte en un reactor de lecho móvil de escala de laboratorio (MBBR) utilizado para tratar aguas residuales urbanas en tres condiciones diferentes de tiempo de retención hidráulica (HRT) y relaciones de llenado de portadores (FR). La diversidad bacteriana desarrollada en las biopelículas responsables del tratamiento se estudió utilizando un enfoque independiente del cultivo basado en la cadena de polimerasa (PCR-TGGE). El análisis de conglomerados de huellas dactilares TGGE mostró diferencias

significativas de la estructura de la comunidad en función de las diferentes condiciones operacionales aplicadas. El análisis de redundancia (RDA) se utilizó para determinar la relación entre las condiciones operacionales (tipo de portador, HRT, FR) y la diversidad de biopelículas bacterianas, lo que demuestra un efecto significativo de FR=50%. El análisis filogenético de las bandas de TGGE re amplificadas y secuenciadas por PCR reveló que las poblaciones de Bacteria prevalentes en la biopelícula estaban relacionadas con Betaproteobacteria (46%), Firmicutes (34%), Alphaproteobacteria (14%) y Gammaproteobacteria (9%). (2012, p.p 119-126)

2.1.3. Lapo Calderón Byron en su tesis Estudio de Medios de Soporte para Crecimiento Bacteriano Aplicado al Tratamiento Biológico Aerobio de Aguas Residuales tiene como objetivo:

Determinar los medios de soporte más efectivos para la adherencia y formación de biopelícula en el tratamiento aerobio de aguas residuales. Para la ejecución experimental, se montaron seis reactores a escala laboratorio, en los cuales se estudió el crecimiento de biopelícula en dos diferentes medios de soporte: Polietileno Tereftalato (PET) y Polopropileno (PP), provenientes de botellas de plástico usadas y tela saquilo, respectivamente. Todos los reactores trabajaron en condiciones aerobias; cuyo suministro de aire fue constante a través de motores de aire tipo pecera. El sustrato empleado fue agua residual, proveniente del río Machángar y fortificado con melaza para alcanzar el DQO soluble (DQOs) en el rango 795 a 1420 mg/L. El área específica medida para los materiales PET y PP fue de 654,62 m²/m³ y 882,5 m²/m³ respectivamente. Se logró eficiencias máximas

de remoción de DQOs del 95% y 96% para los materiales PET y PP respectivamente. Por lo tanto, la mejor remoción fue realizada en los reactores de material PP, dado su mayor porcentaje de remoción, así como el tiempo menor para lograrlo. (2014, p. 12).

2.1.4. Jaime Martín-Pascual, José Manuel Poyatos, Ernesto Hontoria en el artículo Mejora de un proceso convencional de fangos activos empleando un sistema híbrido de lechos móviles mencionan:

Las exigencias normativas tras la Directiva 91/271/CEE, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas hacen necesario mejorar la eficiencia de muchas de las plantas de tratamiento de aguas residuales construidas en Europa en las últimas décadas. En este trabajo se estudian los beneficios que supone el empleo de un novedoso sistema de lechos móviles en una depuradora convencional de fangos activos en función de la carga másica de trabajo. La investigación consistió en comparar las diferencias existentes en eliminación de materia orgánica para un agua residual urbana de ambos sistemas en dos plantas semitecnicas iguales con decantador como sistema de separación física: un sistema convencional de fangos activos y un sistema con soportes en donde se adhiere parte de la biomasa en forma de biopelícula. El estudio ha mostrado que en baja carga el sistema de lecho móvil es capaz de eliminar un 43,33% adicional de DBO₅ y un 30,08% adicional de DQO, permitiendo que una posible planta existente de fangos activos de baja carga que no cumpliera la normativa existente pudiera hacerlo al pasar de

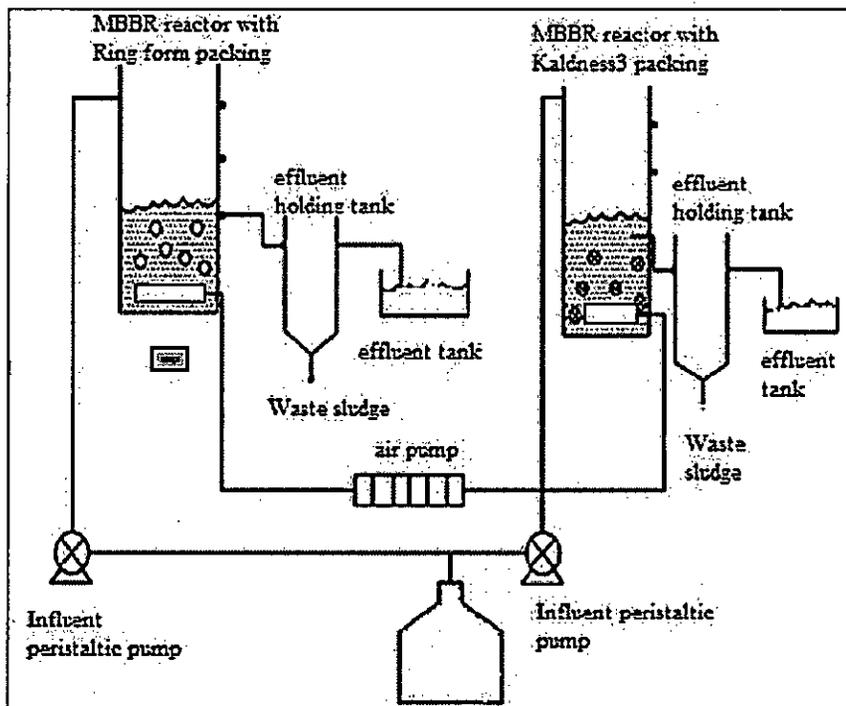
30±5 mgO₂/L de DBO₅ en el fango activo a 17±2 mgO₂/L DBO₅ en el sistema con lecho.” (2015, p.p 256-261)

2.1.5. A.A.L. Zinatizadeh, E. Ghaytooli nos indica en su artículo La eliminación simultánea de nitrógeno y carbono de las aguas residuales en diferentes condiciones operativas en un reactor de lecho biológico de lecho móvil (MBBR): Modelado y optimización de procesos lo siguiente:

En este estudio, se examinó un reactor de lecho móvil (MBBR) removiendo carbono orgánico y nitrógeno de las aguas residuales municipales a través del proceso simultáneo de nitrificación y desnitrificación (SND). Para evaluar el rendimiento del proceso, dos variables numéricas independientes, tiempo de retención hidráulica (TRH) y oxígeno disuelto (OD), y una variable categórica, tipo de medio de relleno, se seleccionaron. Los efectos de las variables numéricas en tres niveles, 4, 8 y 12 h para HRT y 2, 3 y 4 mg / L para OD, mientras que se examinaron dos niveles de la variable categórica (forma de anillo y Kaldnes-3). Los medios de empaque utilizados fueron diferentes en estructura y geometría, pero similares a la superficie específica (500 m²/m³). Los experimentos se llevaron a cabo en dos reactores paralelos. El proceso fue analizado y modelado al monitorear 10 respuestas dependientes. Se encontró que la eficiencia máxima de eliminación de DQO era 85 y 88%, respectivamente, para el sistema con forma de anillo y Kaldnes-3 a HRT de 12 h y OD de 4 mg/l. Los resultados mostraron que el sistema con forma de anillo podría lograr una mayor eficiencia de eliminación TN que la del proceso con Kaldnes -3, lo que

indica que la condición anóxica se ve favorecida con la forma del anillo, debido a su geometría estructural. En todas las condiciones evaluadas, las bacterias oxidantes de nitrito (NOB) fueron las especies dominantes. Como conclusión, la biopelícula en forma de anillo mostró una menor estabilidad en comparación con la del sistema con Kaldnes-3.” (2015, p.p 119-126)

FIGURA N° 2. ESTRUCTURA EXPERIMENTAL



Fuente: Editorial Elsevier, Revista del Instituto de Ingenieros Químicos de Taiwán, Irán (2015).

2.1.6. L.Falletti, M. Pozza, N. Veggo en su estudio Tratamiento de aguas residuales de la industria de bebidas con planta de MBBR de dos etapas menciona:

El estudio del tratamiento de aguas residuales de la industria de bebidas, primero a escala piloto y luego a escala completa, con reactor de biofilm en lecho móvil de dos etapas (MBBR). La planta piloto estaba hecha de una

biopelícula pura aireada MBBR (210 L) con un grado de llenado del 60%, una MBBR aireada híbrida (370 L) con un grado de llenado del 60% y un sedimentador laminar (350 L) con placas inclinadas 60 ° desde horizontal; la superficie específica de los portadores fue de 500 m²/m³. La planta piloto trató 12 L/h de aguas residuales con 5000-10000 mg / L de DQO y eliminó la DQO con una eficiencia promedio del 73%. La planta a escala completa estaba compuesta por dos MBBR aireadas con biofilm puro y paralelo (18 m³ cada una) con un grado de llenado del 60%, dos MBBR aireadas híbridas paralelas (32 m³ cada una) con un grado de llenado del 60%, dos sedimentadores laminares paralelos (7 m³ cada una) con placas inclinadas 60 ° desde la horizontal, y un filtro final de quarzita. La planta a gran escala trató 39-175 m³/d (promedio 70 m³/d) de aguas residuales con 490-4900 mg /L de DQO (promedio de 1793 mg / L) y eliminó la DQO con una eficiencia promedio del 97%; el efluente final respetó siempre los límites de emisión. (2015, p. p54-55).

2.1.7. Anju Francis, K.J. Sosamony en Tratamiento de aguas residuales textiles pre-tratadas usando un reactor de biopelícula de Lecho Móvil afirman:

El control de la contaminación del agua, es un área de investigación científica muy importante hoy en día. La industria textil es una de las principales industrias que causan polución. Los compuestos orgánicos que son coloreados representan una fracción menor de los componentes orgánicos de las aguas residuales, pero su color causa una apariencia indeseable. El tratamiento de aguas residuales textiles utilizando métodos

fisicoquímicos tradicionales es costoso, se generan grandes cantidades de lodo y generalmente se necesitan productos químicos tóxicos. Los efluentes textiles tienen una DQO alta y una DBO baja. Por lo tanto, no es adecuado tratar las aguas residuales textiles utilizando un único método físico-químico o biológico. Entonces, un pre-tratamiento químico seguido de tratamiento biológico es adecuado para aguas residuales textiles. El proceso de oxidación avanzada se elige para el pre-tratamiento. Entre varios procesos avanzados de oxidación, se elige el proceso de lecho fluidizado de Fenton porque el lodo producido es menor en este proceso. Se evalúa la eficacia de MBBR con portadores inoculados con *Microbacterium marinilacus*, aislado del lodo textil después de pretratamiento con Fenton en lecho fluidizado. Los resultados se optimizan utilizando el método Box Behnken. Se elimina 86% de DQO, 81.5% de eliminación de DBO.” (2016, p.p 248-255)

2.1.8. Akashdeep Singh Oberoi, Ligy Philip en su publicación que tiene como título **Evaluación del rendimiento de los reactores de biopelícula adherida para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con hidrocarburos y compuestos fenólicos** refiere:

El presente estudio investigó el rendimiento del reactor biológico de lecho móvil (MBBR) de una sola etapa y filtro biológico aireado sumergido (SABF) para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con hidrocarburos heterocíclicos y homocíclicos junto con compuestos fenólicos comúnmente descargados de plantas de gasificación de carbón y

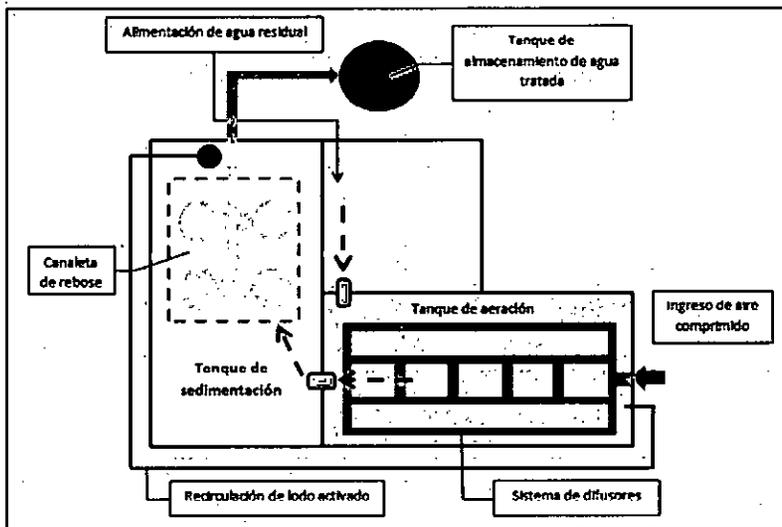
biomasa. La evaluación de rendimiento de ambos biorreactores se llevó a cabo con variando las tasas de carga hidráulica y orgánica (OLR). Se obtuvieron eficiencias de remoción (R.E.) de $90.04 \pm 0.78\%$ y $85.8 \pm 1.96\%$ en MBBR y SABF respectivamente a HRT (Tiempo de Retención Hidráulica) de 24 h y tasas de carga orgánica (OLR) de $2.5 \text{ kg/m}^3/\text{día}$. Incrementando la tasa de carga orgánica (OLR) a $4.77 \text{ kg/m}^3/\text{día}$, resultó en la reducción de las eficiencias de remoción de MBBR y SABF a $86 \pm 0.96\%$ y $77.8 \pm 1.45\%$ respectivamente. MBBR mostró una mejor estabilidad contra cargas hidráulicas y orgánicas de choque en comparación con SABF. (2017, p.p 3852-3864)

2.1.9. Cristopher Allazo Román, Lady Gloria Truenque Sáenz, María Victoria Silvera Bendezú autores de la tesis **Obtención de agua para riego mediante el Sistema de Lodos Activados Continuos en la Planta Piloto FIARN-UNAC** indican:

La presente tesis se desarrolló en el sistema de lodos activados continuos que se encuentra en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UNAC. Los cuatro caudales que se determinaron fueron los siguientes: 129.6, 172.8, 216.0 y 259.2 L/día. El más alto porcentaje de remoción del sistema de tratamiento al comparar la concentración del afluente y efluente, se presentó en la segunda semana de monitoreo, a un caudal de 172.8 L/día y los porcentajes de remoción para los parámetros evaluados fueron los siguientes: 97.17 % para DBO5, 97.87 % para DQO, 98.00 % para SST, 94.84 % para Aceites y Grasas y 37.97 % para Coliformes fecales. El

efluente obtenido cumplió con los valores del ECA y LMP, a excepción de los Coliformes fecales, para el cual se requiere un tratamiento adicional. (2017, p.10).

FIGURA N° 3.
PROCESO DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS DE LA FIARN



Fuente: Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales (2017).

2.2. Bases Teóricas. -

2.2.1. Planta de tratamientos de aguas en el Mundo y el Perú. - En la actualidad hay más de seiscientas plantas de tratamiento de MBBR (Reactor de Biopelícula de Lecho Móvil) municipales e industriales en funcionamiento o en construcción de la compañía AnoxKaldnes™, en más de cincuenta países diferentes en todo el mundo. A pesar de que AnoxKaldnes puede considerarse el proveedor de MBBR más dominante, también hay otros proveedores en este mercado, como Aqwise, Eimco, Brightwater, Siemens, Headworks y Degremont. (A.C. Haandel y J.G.M. Van Der Lubbe, p. 356).

Actualmente en el Perú existen algunas plantas de tratamiento de aguas residuales con un proceso MBBR (Reactor de Biopelícula de lecho móvil), sin embargo, en su mayoría son del sector privado.

Existen cuatro plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas municipales en Lima y Callao, que utilizan el Sistema MBBR que actualmente se encuentran operativas y reutilizan sus efluentes para el riego de parques y jardines de las municipalidades, cumpliendo con los Estándares de Calidad Ambiental. La ubicación de estas PTARs se muestra a continuación (Juan P Méndez V., p. 33).

TABLA N° 1.
PTARS MUNICIPALES VÍA ASOCIACIÓN PÚBLICO - PRIVADA

Gobierno Local	Concesión vía Asociación Público Privada
Municipalidad de la Provincia del Callao	PTAR Aguas del Callao – Playa Rímac
Municipalidad Distrital de Miraflores	PTAR Parque María Reiche
Municipalidad Distrital de San Miguel	PTAR Parque Precursores PTAR Parque Juan Pablo II

Fuente: Juan Pablo Méndez Vega, Tecnologías para el reúso de aguas residuales

2.2.2. Historia del proceso MBBR (Reactor de Biopelícula de Lecho Móvil). -

Los autores A.C. Haandel y J.G.M. van der Lubbe, mencionan en el Manual de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales de la Asociación Internacional del Agua (IWA, 2012, p. 355) lo siguiente:

“El sistema de Lodos Activados Convencionales (desarrollado por primera vez en 1914 en Inglaterra), sigue siendo un proceso muy popular, debido principalmente a su flexibilidad y la posibilidad de cumplir con los estrictos límites de efluentes a costos razonables”.

Sin embargo, también hay varios problemas asociados a este sistema, que están principalmente relacionados con las limitaciones en la etapa de separación sólido/líquido, es decir, el sedimentador final:

- Solo se puede mantener una concentración limitada de biomasa en el reactor, lo que requiere un gran volumen de tratamiento biológico;
- El sedimentador final ocupa una gran área de superficie;
- El rendimiento final del sedimentador es vulnerable a las alteraciones del proceso, como los caudales máximos y la acumulación de lodo, que pueden comprometer la calidad del efluente.

Por lo tanto, durante mucho tiempo ha habido una búsqueda de configuraciones de sistema alternativos que permitan la operación a concentraciones de biomasa más altas y/o que reemplacen la etapa final de separación sólido-líquido. (IWA, 2012, p. 355)

Un medio alternativo para lograr un aumento en la concentración de biomasa es cambiar a un **proceso de biopelícula**, donde la biomasa crece como una película adherida a un medio de soporte.

Además de este beneficio, existen otras **ventajas** como:

- Existe una mayor flexibilidad en la selección del método de separación de sólidos suspendidos del efluente (es decir, sedimentación compacta, flotación o filtración), ya que la concentración de biomasa suspendida a separar es, generalmente, diez veces menor que en un sistema de lodo activado convencional, además el caudal también puede ser menor, debido a que no requiere recirculación de lodo.

- La biomasa adherida puede volverse más especializada y activa, dando como resultado una mayor concentración de organismos relevantes en el proceso, porque no hay retorno de biomasa y porque el entorno protegido de la biopelícula permite el desarrollo de organismos que requieren una alta edad del fango.

Varios tipos de sistemas de biopelícula han existido durante mucho tiempo, como: filtros percoladores, contactores biológicos giratorios, biofiltros sumergidos de medios fijos, biofiltros de medios granulares, reactores de lecho fluidizado, etc. Todos estos tienen sus ventajas, pero también desventajas (significativas), por las cuales ninguna de estas tecnologías se ha vuelto realmente popular (IWA, 2012, págs. 355-356):

- El filtro de goteo puede ser una solución económica, pero tiene una baja capacidad de tratamiento volumétrico y es propenso al bloqueo del lecho del filtro, la canalización y los problemas de olor;

- Los contactores biológicos giratorios a menudo experimentan fallas mecánicas y son más adecuados para aplicaciones a pequeña escala;

- En los biofiltros sumergidos de medios fijos, es difícil obtener una distribución equilibrada de la carga sobre toda la superficie del portador y, nuevamente, el bloqueo/canalización es un problema;

- Los biofiltros de medios granulares tienen que ser operados discontinuamente debido a la necesidad de retrolavado;

- Los reactores de lecho fluidizado muestran inestabilidad hidráulica y son notoriamente difíciles de operar.

De ahí la necesidad de configuraciones mejoradas de biopelícula. El Reactor de Biopelícula de lecho móvil o MBBR, fue inventado en Noruega por el profesor H. Ødegaard en la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU) a finales de la década de 1980 y se desarrolló más en principios de la década de 1990 (Ødegaard y otros, 1994, Ødegaard y otros, 1999) (IWA, 2012, p. 356).

El concepto fue comercializado por Kaldnes Miljøteknologi y más tarde por compañía AnoxKaldnes, actualmente parte del Grupo Veolia Water Solutions & Technologies (IWA, 2012, p. 356).

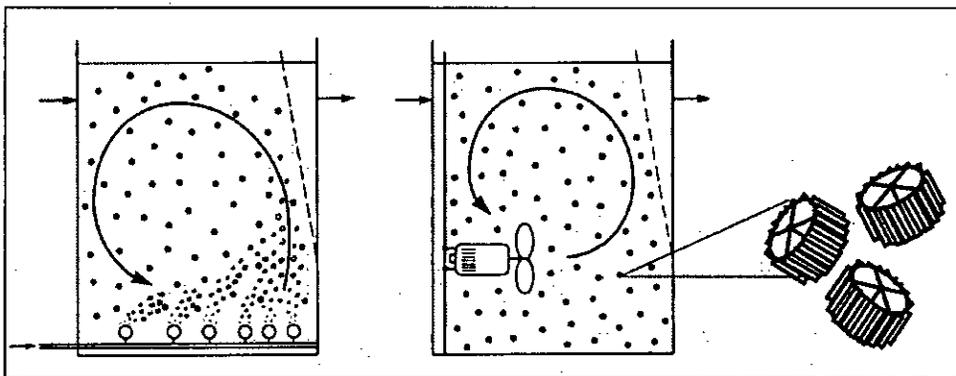
El Proceso MBBR prescinde de los problemas de obstrucción, canalización y distribución de influente cuando el medio portador se suspende en un reactor completamente mezclado y, como tal, se permite que se mueva libremente.

2.2.3. Descripción del Proceso o Tecnología MBBR (Reactor de Biopelícula de Lecho Móvil). - El MBBR se desarrolló y patentó originalmente como un reactor de biopelícula puro, es decir, sin recirculación de lodo y, por lo tanto, sin una concentración significativa de biomasa suspendida en el reactor.

El sistema MBBR se basa en el uso de una biopelícula que se adhiere al área de superficie de portadores específicamente diseñados de polietileno o polipropileno con una densidad cercana a la del agua. Los transportadores están diseñados para ofrecer una gran superficie protegida para el crecimiento bacteriano. El volumen del reactor se llena con portadores hasta un valor máximo del 67%. Debido a que

su densidad es similar a la del agua y el hecho que solo una parte del volumen del reactor está lleno de portadores, el lecho puede moverse libremente en el reactor como se puede observar en la siguiente figura, de ahí el nombre de reactor de biopelícula de lecho móvil. Se aplica una aireación o mezcla con burbujas medianas mediante mezcladores de baja velocidad para mantener los portadores en suspensión y también para controlar el espesor de la biopelícula. (IWA, 2012, p. 357).

FIGURA N° 4.
FUNCIONAMIENTO MBBR



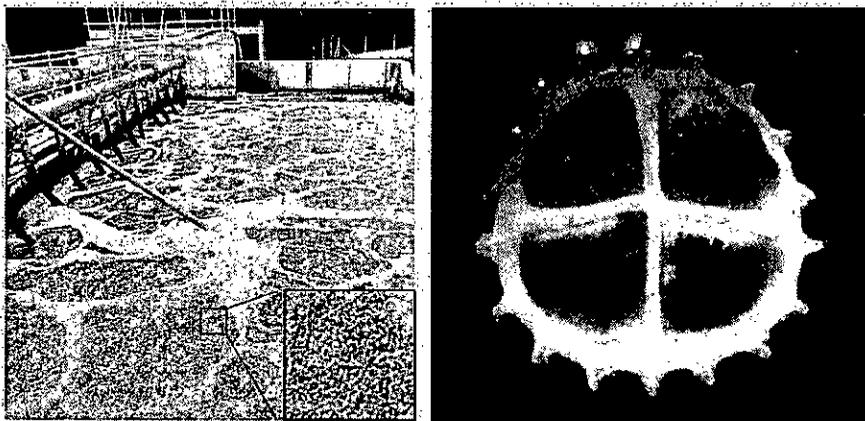
Fuente: IWA, Manual de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales (H. Ødegaard)

Se usan tamices o rejillas para retener los portadores en el reactor y, como se mencionó anteriormente, no hay recirculación de lodo desde la etapa final de separación de sólidos hasta los reactores biológicos. Por lo tanto, aparte de la biopelícula, habrá una baja concentración de sólidos en suspensión en el reactor, principalmente originada por la biopelícula. Se pueden usar varios reactores en serie para desarrollar bacterias especializadas en cada etapa, ya que, dependiendo de los requerimientos, el reactor puede usarse para procesos aeróbicos, anóxicos o anaeróbicos. Se ha demostrado (Ødegaard y otros, 2000) que la superficie de

biopelícula disponible es el parámetro clave en el diseño de procesos de biopelícula, ya que define la capacidad de tratamiento del reactor (IWA, 2012, p. 357).

Como en todo proceso de biopelícula, la difusión de compuestos dentro y fuera de la biopelícula es también importante, por consiguiente, el grosor de la biopelícula efectiva (la profundidad de la biopelícula a la que han penetrado los sustratos) es significativa. Como la profundidad de la penetración total del sustrato es normalmente inferior a 100 μm , la película biológica ideal es delgada y está distribuida uniformemente sobre la superficie del portador. Para garantizar que se cumpla esta condición, es importante que se introduzca suficiente turbulencia en el reactor, para transportar los sustratos a la biopelícula y para mantener un espesor bajo de la biopelícula. Como se puede observar en la siguiente figura, existe una cantidad significativamente menor de biomasa en el exterior de los portadores, que en el interior (protegido). Esto se debe al hecho de que la abrasión, resultante de las colisiones de portadores, limita el espesor de la biopelícula. (IWA, 2012, págs. 357-358).

FIGURA N° 5.
REACTOR MBBR AERÓBICO CON CRECIMIENTO DE BIOPELÍCULA



Lado derecho (Biopelícula claramente visible en la superficie del portador sumergido)

Fuente: IWA, Manual de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales (H. Ødegaard)

Varias investigaciones han demostrado que la concentración típica de biomasa en reactores MBBR, es del orden de 2-8 kg SST/m³ (Rusten y otros, 1995 y 1998), que es aproximadamente el mismo o más alto que se encuentra típicamente en los sistemas de lodos activados convencionales por crecimiento suspendido. Sin embargo, la tasa de remoción volumétrica observada en el proceso de biopelícula en lecho móvil puede ser varias veces mayor (Rusten y otros, 1995a), por lo cual, la biomasa presente en el MBBR debe ser mucho más viable, activa y específica que en un proceso similar de lodo activado. (IWA, 2012, pg. 358-359).

La figura muestra un ejemplo de un reactor aeróbico MBBR. También se muestra una imagen de un portador (tomada bajo el agua) con biopelícula adherida. Se puede observar que la mayor parte de la biomasa está creciendo en la superficie interna protegida del portador. El espesor de la biopelícula depende principalmente de la intensidad de la mezcla y, por lo tanto, los reactores altamente cargados pueden tener una biopelícula relativamente delgada, si existe una alta intensidad de aireación.

Como no hay recirculación de lodo, solo la biomasa excedente producida en el reactor MBBR más el material particulado que estaba presente en las aguas residuales tendrá que separarse del efluente. (IWA, 2012, pg. 358-359).

Además, la carga hidráulica a la etapa de separación también se reducirá, ya que el caudal a esta unidad será mucho menor debido a la ausencia de un flujo de reciclado de lodo (es decir, $Q_i < Q_i + Q_r$). A medida que se reducen tanto la carga hidráulica como la de sólidos, se puede seleccionar una unidad de separación más pequeña, lo que es una ventaja considerable sobre el sistema de lodo activado convencional.

2.2.3.1. Carriers utilizados en procesos MBBR. - Un aspecto importante en la selección de un tipo de carrier adecuado (también denominado "medio") para el proceso de MBBR es que debería ofrecer una elevada área de superficie protegida por unidad de volumen del mismo. Además, la estructura del carrier debería ser lo suficientemente "abierto" para permitir una alta tasa de transferencia de masa, tanto de sustrato como de oxígeno, y para evitar la obstrucción del portador con biomasa, lo que eventualmente reduciría significativamente las tasas de transferencia de masa.

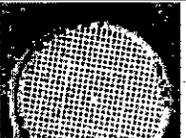
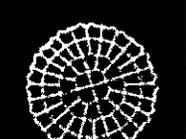
Finalmente, el material utilizado debe ser duradero para poder soportar el desgaste debido a las constantes colisiones de los carriers o también denominados soportes plásticos o portadores.

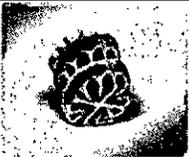
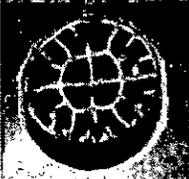
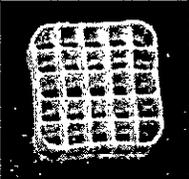
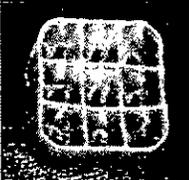
El primer carrier de biopelícula (Kaldnes K1) está hecho de polietileno de alta densidad con una densidad que varía entre $0.95 + 0.02 \text{ g/cm}^3$, que tiene la forma de un cilindro pequeño con una cruz en el interior del cilindro y "aletas" en la parte externa. (IWA, 2012, págs. 358-359).

La tabla recopila datos de los medios de soporte o también denominados carriers que se pueden encontrar en el mercado internacional, cuyas fábricas han sido los principales desarrolladores de la tecnología MBBR.

Se muestra además del fabricante, el modelo, área específica y dimensiones (Byron Lapo, 2014, p. 29):

TABLA N° 2.
MEDIOS DE SOPORTE MANUFACTURADOS

Fabricante	Nombre	Área específica a m ² /m ³	Dimensiones (fondo; diámetro) mm	Fotografía
Veolia Inc.	AnoxKaldnes ^T M K1 or K1 Heavy	500	7; 10	
	AnoxKaldnes ^T M K3	500	12; 25	
	AnoxKaldnes ^T M K5	800	4; 25	
	AnoxKaldnes ^T M Biofilm Chip (M)	1200	2; 48	
	AnoxKaldnes ^T M Biofilm Chip (P)	900	3; 45	
	AnoxKaldnes ^T M MatrixTM Sol	800	4; 25	
Headworks BIO (*Licenciado por Infilco Degremont Inc.	ActiveCell TM 515*	485	15; 22	
	ActiveCell TM 920*	680	15X15X10 (LXAXD)	

Fabricante	Nombre	Área específica a m ² /m ³	Dimensiones (fondo; diámetro) mm	Fotografía
AqWise	ABC4™	600	14;14	
	ABC5™	650	12;12	
Entex Technologies Inc	Bioportz™	589	14;18	
Siemens Water Technologies Corp.	CM-10D™	750	9;13	
Biowater Technology	BWT15™	828	15x15x15 (LxAxD)	
	BWT15™	640	15x15x10 (LxAxD)	

Fuente: Byro Lapo, Estudio de Medios de soporte para crecimiento bacteriano aplicado al tratamiento biológico aerobio de aguas residuales, pg. 29-30 (James P. McQuarrie y otros).

El aumento del área de la superficie específica, permite que se mantenga la misma masa de biopelícula a costos de inversión significativamente más bajos.

El Biofilm Chip M está específicamente diseñado para organismos de crecimiento lento, como nitrificadores y bacterias Anammox, ya que ofrece una superficie específica extremadamente alta. Sin embargo, debido a la forma muy plana, las

características de mezcla y la velocidad de transferencia de oxígeno de este tipo de soporte son más pobres, por lo que se requiere una mayor entrada de energía para la mezcla y un mayor flujo de aire.

Considerando que la densidad del agua es de aproximadamente 1.0 g/cm^3 y levemente menor cuando se airea, y dependiendo de la temperatura; el efecto de la selección de un material con una densidad ligeramente menor que el agua (0.96 kg/m^3 en el caso de los portadores de Polietileno de alta densidad o HDPE) permite que el lecho de los portadores sea fácil de mezclar, ya que los portadores tienden a "flotar". Se pueden usar altas tasas de llenado de hasta 70%, aunque en general la fracción de llenado está en el rango de 50-65%. En reactores no aireados, se prefieren carriers con una densidad ligeramente superior, en general, portadores K1 o K3 con una densidad de $0,98 \text{ g/cm}^3$, con el fin de proporcionar un régimen de mezcla óptimo en condiciones no acondicionadas.

Una de las ventajas importantes del reactor de biopelícula de lecho móvil es que la fracción de llenado del transportador en el reactor es flexible y solo depende del área superficial del biopelícula requerida, siempre que no se exceda la fracción de llenado máxima recomendada. (IWA, 2012, p. 359-360).

2.2.3.2. Sistema de Aireación. - Debido a la presencia de portadores en el reactor, es importante que el sistema de aireación sea robusto y proporcione una distribución uniforme del aire sobre el área superficial del reactor. Se debe introducir suficiente energía para mantener los portadores en suspensión, lo que explica por qué generalmente se aplica aireación con burbujas medianas y no aireación con burbujas finas. Sin embargo, incluso con un sistema difusor de burbuja media, parece que la

transferencia de oxígeno en una MBBR no es inferior a la de un sistema difusor de burbuja fina en lodo activado. Esto se debe al hecho de que las burbujas de aire tienden a unirse durante un período de tiempo a los portadores en movimiento, lo que aumenta el tiempo medio de retención de las burbujas de aire en la fase acuosa. Además, las burbujas de aire también se dividen en partes más pequeñas cuando entran en contacto con los portadores. Ambos fenómenos aumentan la eficiencia de la transferencia de oxígeno. Una prueba llevada a cabo con portadores K3 con un 50% de llenado del reactor demostró que la eficiencia de transferencia de oxígeno en agua limpia era un 42% mayor con los portadores que sin ella (Le Noir, 2009) (IWA, 2012, p.361).

2.2.3.3. Ventajas adicionales de los procesos MBBR. - La ventaja más importante del proceso MBBR es la compacidad resultante de la alta capacidad de tratamiento volumétrico que se puede lograr. Esta característica permite una fácil actualización de las plantas de tratamiento de aguas residuales ya que los tanques existentes se pueden convertir en reactores MBBR. Debido al aumento en la capacidad de tratamiento volumétrico, se puede aplicar una mayor carga sin la necesidad de ampliar la planta de tratamiento. Además, a menudo no es necesario llenar el reactor MBBR hasta la fracción de llenado máximo con material portador. Por lo tanto, si en una etapa posterior se requiere expandir la capacidad de tratamiento, esto se puede hacer fácilmente agregando más carriers.

Por supuesto, el sistema de aireación y la disposición del tamiz tendrían un tamaño lo suficientemente grande como para poder acomodar la futura expansión de la capacidad. (IWA, 2012, págs. 359-361).

Como la biomasa está unida al soporte plástico o carrier, esta se encuentra parcialmente protegida del ambiente en la biopelícula, por consiguiente, el proceso MBBR es relativamente insensible a variaciones temporales de pH y temperatura o a eventos tóxicos. La concentración de biomasa que se puede mantener en el MBBR no depende de las características de sedimentación del lodo, sino que depende del área superficial disponible y, por lo tanto, de la cantidad de portadores añadidos al reactor. Debido a la existencia de gradientes de sustrato y oxígeno (o nitrato), la parte interna de la biopelícula participa solo a una tasa baja en el proceso de conversión. Como tal, puede considerarse como un "reservorio" de biomasa, que debe invocarse cuando las capas externas de biomasa están sobrecargadas. Esto permite la utilización cuando pueden esperarse grandes variaciones en la carga.

En sistemas MBBR puros, no se requiere reciclaje de biomasa y se reducen los sólidos y la velocidad de carga hidráulica a la etapa de separación de sólidos. Los flujos máximos temporales tienen el efecto en los sistemas convencionales de lodos activados de que parte de la biomasa (típicamente hasta 20-30%) puede transferirse al sedimentador final, lo que reduce la capacidad de tratamiento biológico. Siempre que los tamices de salida se hayan dimensionado adecuadamente, los flujos máximos pueden manejarse sin problemas por los reactores MBBR ya que los portadores se mantienen en el reactor. (IWA, 2012, págs. 360-362).

De las ventajas mencionadas anteriormente se puede concluir que MBBR, debería ser siempre la solución preferida, sin embargo, esto no siempre es el caso, principalmente debido a los costos de los medios de soporte (alrededor de 500 a 1500 dólares por metro cúbico de volumen de medios, dependiendo del tipo de

carrier seleccionado), que ampliamente puede compensar los menores costos de inversión resultantes de la reducción en el volumen de tratamiento.

Por lo tanto, si se requiere una nueva planta de tratamiento y la disponibilidad de espacio no es un problema, entonces en muchos casos el proceso convencional de lodo activado requerirá menores costos de inversión que una MBBR. Sin embargo, el MBBR es ciertamente competitivo si las plantas existentes se deben actualizar debido a requisitos más estrictos (por ejemplo, eliminación de nutrientes) o a un aumento en la carga aplicada. Esto generalmente se puede hacer sin la necesidad de nuevos tanques.

En cuanto a la construcción de nuevas plantas de tratamiento, MBBR ciertamente puede ser competitivo si se requiere un espacio más pequeño, como suele ser el caso para aplicaciones industriales o cuando hay grandes variaciones en la carga esperada en el tiempo. Además, los sistemas MBBR son relativamente sencillos de operar, ciertamente cuando se los compara con otros procesos. (IWA, 2012, págs. 363).

2.2.4. Configuraciones del Proceso MBBR. - El MBBR se puede usar de varias maneras para el tratamiento de aguas residuales.

Las configuraciones de proceso más comunes son:

- MBBR puro, donde los reactores MBBR en serie son seguidos por una unidad de separación de lodo;
- Un MBBR de pre-tratamiento de alta carga seguido de una planta de lodo activado existente;

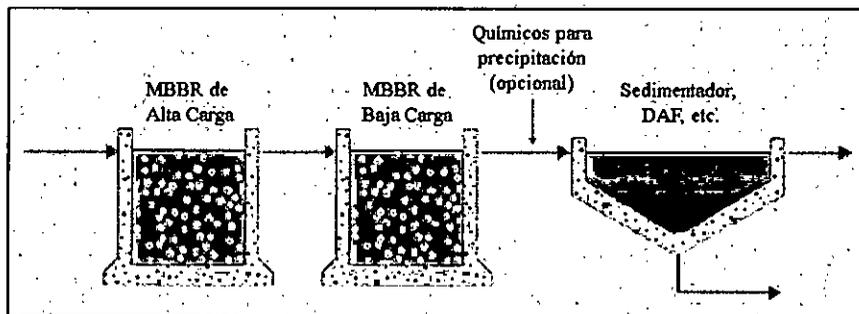
- Procesos integrados de película fija (IFAS), una configuración híbrida donde MBBR y Lodos Activados Convencionales (CAS) se combinan en uno o más reactores en una planta de tratamiento;

- MBBR como paso posterior al tratamiento después de otro tipo de proceso de pre-tratamiento, como un reactor anaeróbico, un sistema de lodo activado existente o una laguna;

2.2.4.1. MBBR Puro. - El MBBR se desarrolló como un sistema de biopelícula puro en el que los reactores MBBR en serie son seguidos por una unidad de separación de biomasa. No hay recirculación de lodos porque casi toda la biomasa se fija en los portadores y solo los sólidos suspendidos no retenidos más el crecimiento neto de biomasa (es decir, igual a la producción de lodo en exceso) tendrán que separarse del efluente de MBBR. Debido a la ausencia de recirculación de lodos, en cada uno de los reactores MBBR se desarrollará una biomasa altamente especializada, con una actividad varias veces mayor que la de una masa equivalente de biomasa suspendida "total" de un sistema de lodo activado. (IWA, 2012, págs. 364-365).

Los reactores aeróbicos y anóxicos se pueden usar en arreglos flexibles, lo que permite la eliminación de nutrientes. La configuración que se muestra en la siguiente figura: es una configuración simple de dos etapas, con una etapa de alta carga para la eliminación de DQO seguida de una etapa de nitrificación de baja carga.

**FIGURA N° 6.
CONFIGURACIÓN TÍPICA DE MBBR PURO PARA ELIMINACIÓN DE
DBO Y NITRIFICACIÓN.**



Fuente: IWA, Manual de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales (AnoxKaldnes AB)

Un MBBR puro generalmente se selecciona cuando existen una o más de las siguientes condiciones o requisitos:

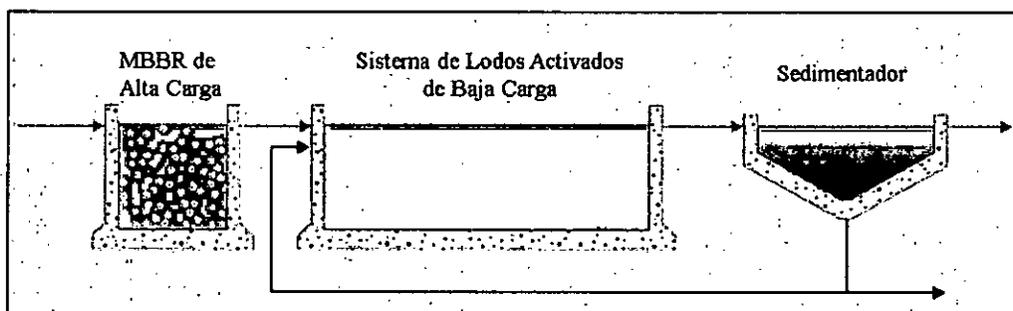
- Se necesita una planta muy compacta;
- Existen grandes variaciones en la velocidad y composición del flujo de aguas residuales.
- Se requiere robustez para tratar las variaciones de temperatura, carga, pH o alguna toxicidad que podría presentarse en las aguas residuales. (IWA, 2012, págs. 365).

2.2.4.2. MBBR como pre-tratamiento.- A medida que fue creciendo el uso del MBBR, también se utilizó para la mejora de las plantas de lodo activado, ya sea utilizando un MBBR altamente cargado como paso de pre-tratamiento antes de la planta de lodo activado (un ejemplo es el lodo activado con biopelícula o BAS™ de Anox Kaldnes) o agregar carriers a los reactores existentes (IFAS), que se discutirán en la siguiente sección.

En el caso de MBBR para pretratamiento, una gran parte de la carga orgánica en las aguas residuales ahora se eliminará en el MBBR de alta carga, lo que permite el desarrollo de la nitrificación en el reactor convencional existente se muestra en la

figura. En el MBBR, típicamente, el 50-70% de la carga de DQO biodegradable se elimina a gran velocidad en un volumen pequeño. Por lo tanto, la carga en el sistema de lodo activado posterior se reduce de dos a tres veces menos. Además, como la mayoría de los compuestos orgánicos fácilmente biodegradables se eliminan de las aguas residuales antes de que entren en el reactor de lodo activado, se minimizan los problemas de acumulación o bulking (bacterias filamentosas), con la baja variante de F/M de los lodos. El sistema de lodo activado de baja carga elimina la materia orgánica biodegradable (lentamente) restante, así como una gran parte del exceso de biomasa del MBBR, lo que reduce la producción total de lodo de este sistema. De esta forma, se puede lograr un aumento significativo de la edad del lodo, lo que aumenta la eficiencia general de eliminación de DQO y podría permitir el desarrollo de la nitrificación. (IWA, 2012, pg. 365-366).

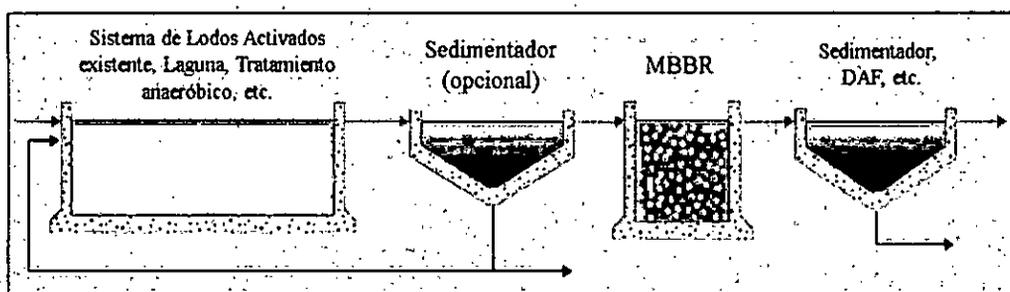
**FIGURA N° 7.
CONFIGURACIÓN BAS™ TÍPICA**



Fuente: IWA, Manual de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales (AnoxKaldnes AB)

2.2.4.3. MBBR como post-tratamiento.- En este caso, se coloca un MBBR después de la unidad de tratamiento de aguas residuales existente, como se muestra en la siguiente figura. El MBBR elimina la carga residual de amonio y proporciona una eliminación adicional de DQO. En la biopelícula se desarrollarán bacterias especializadas que pueden eliminar parte de la llamada DQO "dura" o recalcitrante que queda después del tratamiento previo. Esta aplicación se utiliza principalmente para plantas municipales de tratamiento de aguas residuales y para la industria de la celulosa y el papel.

**FIGURA N° 8.
MBBR DESPUÉS DEL PRE-TRATAMIENTO**



Fuente: IWA, Manual de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales (AnoxKaldnes AB)

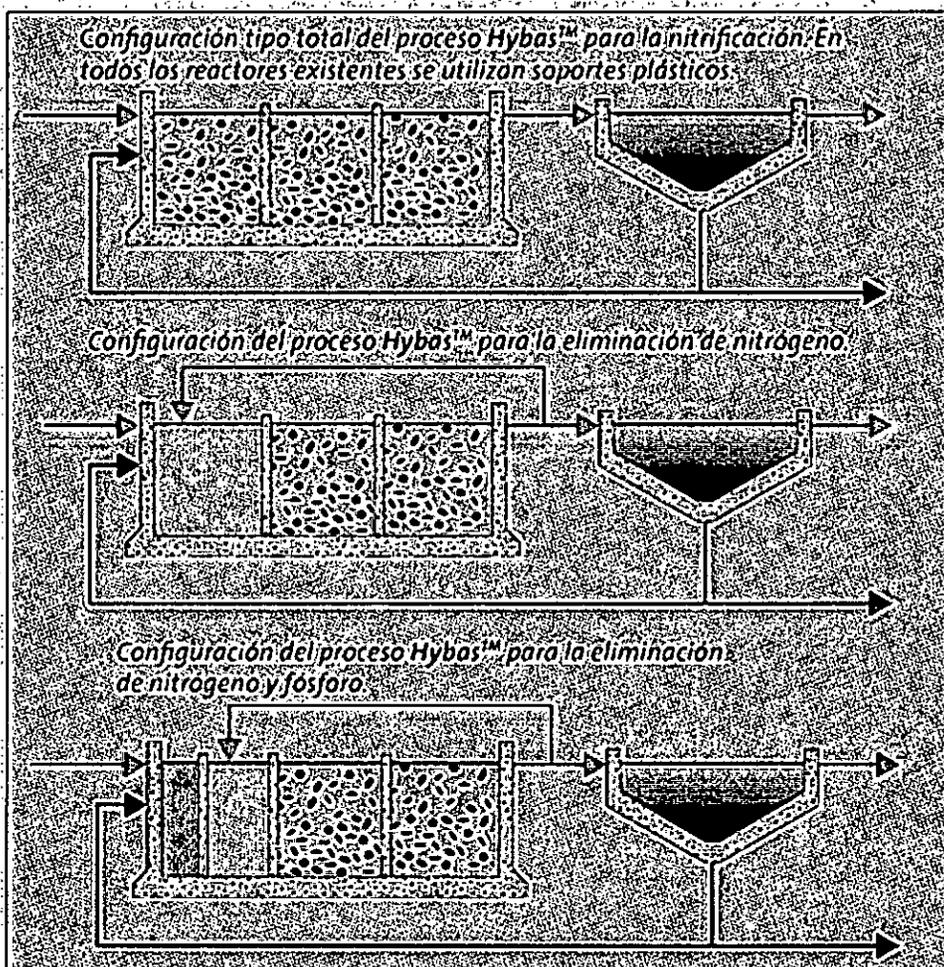
2.2.4.4. Reactores de película fija integrados (IFAS).-

Una forma alternativa de actualizar un proceso de lodos activados utilizando carriers de biopelícula es el denominado proceso integrado de lodos fijos de película fija (IFAS) (un ejemplo es el Híbrido Lodos Activados Biopelícula o Hybas Proceso), donde la capacidad de la planta de lodo activado es mejorado al introducir los portadores a una parte (o la totalidad) del volumen de lodo activado y así establecer dos tipos diferentes de biomasa: uno en suspensión y otro unido a los carriers. (IWA, 2012, pg. 366-367).

Este concepto se ha vuelto bastante popular y ahora se usa con frecuencia para actualizar las plantas de tratamiento secundario para lograr la nitrificación y/o eliminación de nutrientes. En muchas de estas plantas, este objetivo se ha logrado sin la necesidad de expandir el volumen del sistema de lodo activado existente.

En los procesos de IFAS, los portadores solo se agregan a las zonas de nitrificación y la zona de post-desnitrificación, lo que reduce significativamente los costos de inversión requeridos. El lodo suspendido está presente en todos los reactores y se recircula sobre los reactores. (IWA, 2012, p. 367).

FIGURA N° 9.
VARIAS CONFIGURACIONES COMUNES DE HYBAS™ (IFAS)



Fuente: IWA, Manual de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales (AnoxKaldnes AB)

2.2.5. Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos implementando Superficie de Contacto en la Planta Piloto de la FIARN.- En el Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos (SLAC) de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, específicamente en el tanque de aireación se le añadieron carriers de elevada superficie específica ($650 \text{ m}^2/\text{m}^3$), para formación de biopelícula, con fines de optimización de la eficiencia de remoción del sistema, luego de una adaptación del medio pasó a ser un MBBR (Reactor de Biopelícula de Lecho Móvil).

El Sistema de Tratamiento con Superficie de Contacto (SSC) se divide en dos secciones:

- El tanque de aireación o MBBR
- El tanque de sedimentación

Estas están fabricadas de acero y se encuentran conectadas por una tubería de PVC.

- **Tanque de aireación o MBBR**

En este tanque ingresa el agua residual para ser tratada, aquí se encuentran en constante movimiento los carriers, en los cuales se forma la biopelícula en su superficie, estos se encuentran flotando debido a su baja densidad y al constante ingreso de aire a través de los difusores suministrado por una compresora de uso continuo. La biopelícula está constituida por una diversidad de microorganismos los cuales realizan la degradación de los contaminantes del agua residual, sobre todo la materia orgánica. Este tanque tiene un volumen total de 325 L y un volumen útil de 300L.

- **Tanque de sedimentación:**

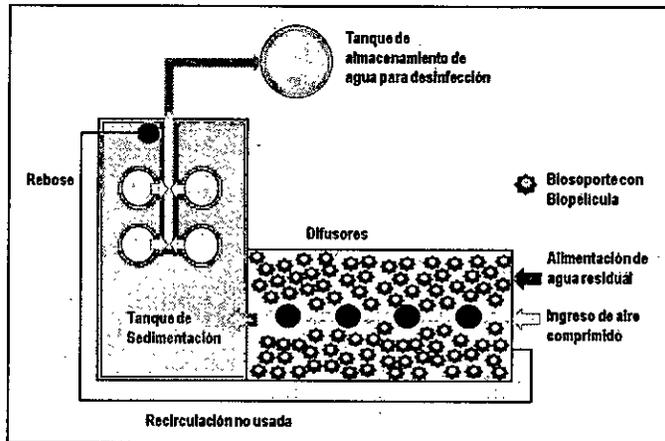
En este tanque se desarrolló el proceso de separación del agua tratada y el lodo, que es generado en el tanque de aireación. El volumen de lodo generado por el tanque de aireación, es mucho menor que en un Sistema de Lodos Activados Convencionales, debido a que la biomasa se encuentra adherida a los carriers en forma de biopelícula.

El efluente a través de rebose ingresa a cuatro vertederos circulares de 4 pulgadas de diámetro, y estos conducen a un tanque de almacenamiento, en donde a través de desinfección se eliminan los Coliformes que aún contiene el efluente, para el posterior riego de áreas verdes.

El agregado de carriers al tanque de aireación, mejoró el control de concentración de biomasa, al encontrarse adherida y no suspendida, por consiguiente, no fue necesaria la recirculación de lodos del tanque sedimentación al tanque de aireación. Además, también no hubo problemas de bulking (bacterias filamentosas). El tanque de sedimentación almacena un volumen aproximado de 230 L.

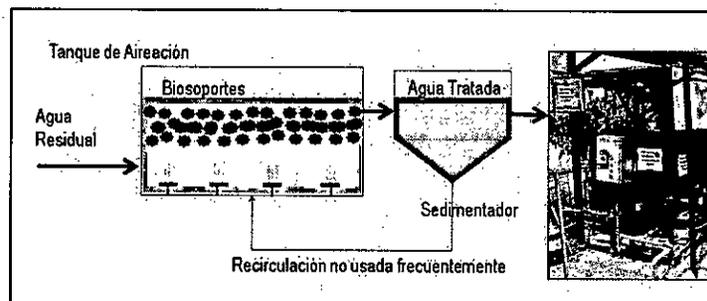
En las siguientes figuras se muestran una vista superior y longitudinal del Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos, luego de la implementación de Superficie de Contacto (SSC) mediante portadores de biopelícula en el tanque de aireación, de la Planta Piloto de Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales.

FIGURA N° 10.
SISTEMA DE TRATAMIENTO – VISTA SUPERIOR



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 11.
SISTEMA DE TRATAMIENTO – VISTA LONGITUDINAL



Fuente: Elaboración propia

2.2.6. Parámetros de control del Sistema con Superficie de Contacto. - Para lograr un adecuado funcionamiento del Sistema de tratamiento y en consecuencia obtener unos resultados significativos con respecto a la eficiencia de remoción es muy importante el control del mismo.

Antes de la determinación de los parámetros de control, se establecieron indicadores, para esto se usaron los siguientes métodos (IMTA, 2009, pg. 153-159):

- Método Visual
- Método Analítico

A. **Método Visual.** - Este método está basado en la observación in situ, se identificaron los siguientes indicadores, de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA N° 3. INDICADORES VISUALES DE CONTROL DEL SISTEMA

Indicadores Visuales	
✓	Biopelícula
✓	Rocío en aireadores
✓	Color
✓	Olor
✓	Turbiedad del efluente
✓	Bulking
✓	Funcionamiento de equipos

Fuente: Elaboración propia

Los indicadores visuales utilizados para el Control del Sistema se describen a continuación:

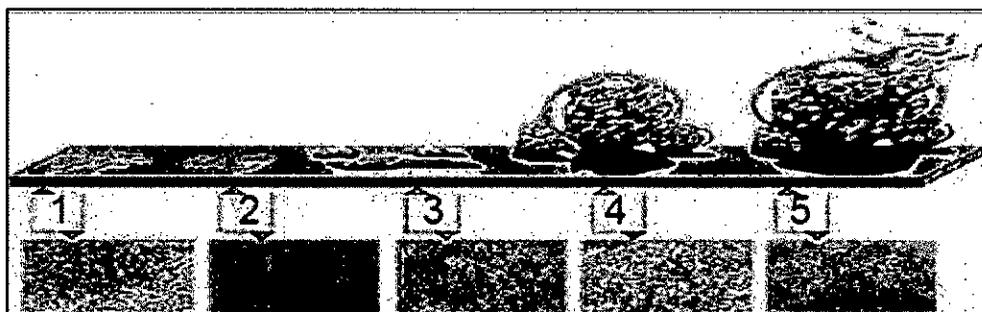
✓ **Biopelícula.** - Este indicador es muy trascendental, puesto que nos manifiesta la presencia de microorganismos adheridos en la superficie de los carriers suspendidos. Estos microorganismos cumplen la función de remoción de los contaminantes del Sistema de Tratamiento, a través de la asimilación del sustrato contenido en el agua residual.

La formación de una biopelícula comienza con la acumulación de nutrientes en una superficie debido a la propiedad del material, a las interacciones electrostáticas, a fenómenos de adsorción y a factores electroquímicos, que permiten un aumento en la concentración de nutrientes (Benetton, 2007).

Hay cinco etapas en el desarrollo de la biopelícula tal como la muestra la figura (Byron Lapo, 2012, p. 33):

1. Fijación inicial
2. Fijación irreversible
3. Maduración I
4. Maduración II
5. Dispersión

FIGURA N° 12. ETAPAS EN EL DESARROLLO DE LA BIOPELÍCULA



Fuente: Byro Lapo, Estudio de Medios de soporte para crecimiento bacteriano aplicado al tratamiento biológico aerobio de aguas residuales, pg. 33 (Kaplan y otros, 2003)

Durante la etapa experimental se realizó la observación de la formación de biopelícula, teniendo un registro fotográfico de la misma, el cual se muestra en el Capítulo V: Resultados.

- ✓ **Rocío de difusores.** - El sistema de tratamiento es aerobio, por lo tanto es importante el correcto funcionamiento del sistema de aireación, en este caso difusores de burbuja gruesa fijos en el fondo del tanque de aireación, para mantener las concentraciones de oxígeno disuelto adecuadas para la formación de la biopelícula y para el movimiento constantes de los biosoportes (carriers).
- ✓ **Color.**- El sistema con superficie de contacto (SSC), en el tanque de aireación MBBR, presenta estabilidad cuando se observa que al extraer una pequeña

cantidad de volumen del tanque de aireación, hay ausencia de color, es decir transparencia del recipiente, puesto que en su mayoría la biomasa se adhiere en los portadores formando una biopelícula en los mismos y es mínima la proporción de biomasa que se encuentran suspendida en el tanque, en comparación con el Sistema de Lodos Activados convencionales.

- ✓ **Olor.** - Si el sistema se encuentra trabajando adecuadamente, este presenta ausencia de Olor. Cuando presenta algún olor, es por condiciones desfavorables, tales como, falta de oxígeno disuelto, altos incrementos de carga hidráulica o lo más probable es por factores externos, como por ejemplo presencia de contaminantes en el agua residual.
- ✓ **Turbiedad del efluente.** - Durante la etapa de formación de biopelícula, el Sistema puede presentar turbiedad, debido a que se encuentra en una etapa de estabilización. Sin embargo, posterior a esta etapa, existe ausencia de turbiedad en el efluente, incluso ante un incremento de la carga hidráulica y orgánica puede presentar ligera turbiedad que conforme pasa el periodo de estabilización (de 3 a 7 días), desaparecerá. Solo puede haber presencia de turbiedad ante excesivas variaciones de las condiciones favorables del Sistema o por presencia de agentes contaminantes externos.
- ✓ **Bulking o Acumulación de Lodo.** - Una buena señal de que el Sistema está funcionando adecuadamente, es la ausencia de Bulking. Este es el Fenómeno que sucede cuando hay predominio de microorganismos de naturaleza filamentosa, las cuales no decantan bien, permaneciendo en suspensión, lo que genera un incremento del lodo. En el Sistema de Tratamiento con Superficie de

Contacto, debido a la muy baja concentración de biomasa suspendida, en su mayoría se encuentra adherida, normalmente hay ausencia de este.

- ✓ **Funcionamiento de equipos.** - Se realizó una inspección del funcionamiento adecuado de los equipos, en caso se tenga que realizar un mantenimiento preventivo o correctivo de los mismos. Los equipos más importantes del Sistema fueron la compresora como suministro de aire continuo y las bombas centrífugas de agua como suministro de agua residual.

B. Método Analítico. - Este método es la principal herramienta para la supervisión del funcionamiento del sistema, para obtener una eficiencia óptima de tratamiento y también para resolver problemas de operación.

Para la operación del Sistema con Superficie de Contacto (SSC), los indicadores analíticos más importantes son los siguientes, de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA N° 4.
INDICADORES ANALÍTICOS DE CONTROL DEL SSC

Indicadores Analíticos	
✓	Porcentaje de Relleno
✓	Superficie Específica
✓	Caudal
✓	Oxígeno disuelto (OD)
✓	Potencial de Hidrógeno

Fuente: Elaboración propia

- ✓ **Porcentaje de Relleno de carriers.** - Es el porcentaje (%) de volumen que ocupan los soportes plásticos (portadores de biopelícula) en el tanque de

aireación. Este indicador es fundamental, porque influye directamente en la eficiencia del Sistema de Tratamiento.

- ✓ **Superficie específica.** - El valor de la superficie específica hace referencia a la cantidad de área (m^2) que brinda el carrier para la formación de la biopelícula, por cada m^3 de volumen del mismo.

El aumento del valor de la superficie específica (m^2/m^3), permite incrementar la concentración de biopelícula (biomasa adherida) a través del incremento de la superficie de contacto (m^2), además se puede aumentar la carga orgánica del Sistema de Tratamiento, sin necesidad de modificación del volumen de tratamiento. Este indicador influye de manera directa en la Eficiencia del Sistema de Tratamiento.

- ✓ **Caudal.** - Para la determinación tiempo de retención hidráulica (TRH) y cargas orgánicas es importante la medición de este indicador.

- ✓ **Oxígeno disuelto (OD).** - Este indicador analítico está relacionado al rocío de aire brindado por los difusores, son directamente proporcionales.

El sistema no necesita concentraciones muy bajas, de lo contrario se inhibirá la actividad microbiana, por consiguiente, la remoción de materia orgánica se reducirá, y menos aún concentraciones muy altas, porque generaría desprendimiento de la biopelícula afectando negativamente en la sedimentación secundaria.

- ✓ **Potencial de hidrógeno (pH).** - Este se debe mantener ni muy ácido ni alcalino, en un rango neutro de 6.5 y 8.5, puesto que a estas condiciones es favorable para la actividad microbiana en el tanque de aireación.

- ✓ **Temperatura.** - En sistemas de tratamiento biológico la temperatura afecta la actividad microbiana, puesto que influye en la velocidad de reacción enzimática. A altas temperaturas, aumenta la actividad de los microorganismos, sin embargo, por encima a los 35° C, las enzimas son destruidas, reduciendo la eficiencia del sistema. (IMTA, p. 163).

Las épocas estacionales están ligadas directamente en la temperatura ambiente y estas condiciones pueden favorecer o desfavorecer el desarrollo microbiológico, más específicamente en su metabolismo. En condiciones de invierno el metabolismo celular se ve reducido, y en consecuencia la estabilización tomará más tiempo de lo planeado. (IMTA; p. 209).

- C. Parámetros de control del Sistema de tratamiento.** - Después de calcular el valor de los indicadores analíticos, a partir de estos se determinaron los parámetros de control, los cuales son importantes para la evaluación del comportamiento del Sistema Tratamiento con Superficie de Contacto (SSC).

**TABLA N° 5.
PARÁMETROS DE CONTROL DEL SISTEMA**

Parámetros de Control
✓ Oxígeno disuelto (OD)
✓ Potencial de hidrógeno (pH)
✓ Temperatura
✓ Tiempo de retención hidráulica (TRH)
✓ Carga orgánica

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe cada parámetro mencionado:

- ✓ **Oxígeno Disuelto (OD).** - Se registró diariamente las concentraciones de oxígeno disuelto en el tanque de aireación MBBR, con el objetivo de que las condiciones aeróbicas en el Sistema de Tratamiento Biológico sean las adecuadas.

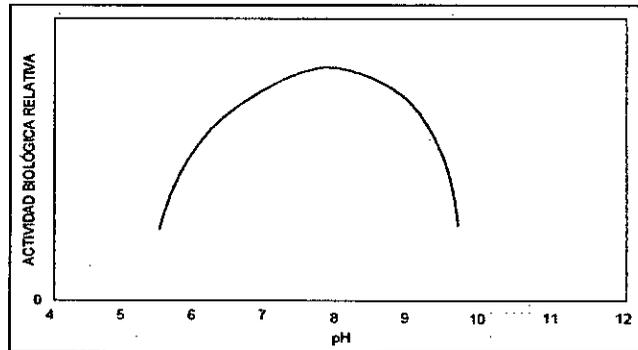
Se mantuvieron las concentraciones en un rango, tomando en consideración que para el desarrollo de la actividad microbiana y posterior formación de la biopelícula se debe tener concentraciones mayores a 2 mg/L.

Es importante mencionar que al disminuir la temperatura genera la disminución de la actividad microbiana y por consecuencia aumento en la concentración de oxígeno disuelto, debiéndose reducir la dosis de aireación (IMTA, pg. 129). Las concentraciones de Oxígeno disuelto no pueden ser muy altas, puesto que generaría un desprendimiento total de la biopelícula de los soportes.

- ✓ **Potencial de Hidrógeno (pH).** - En el presente trabajo se midió y verificó que el pH se mantenga en un rango en el tanque de aireación, para mantener a los microorganismos saludables y activos en el sistema de tratamiento. Las bacterias pueden sobrevivir en el rango de pH entre 5.0 y 10.0 y reproducirse entre los valores de pH de 6.5 y 8.5. Abajo de 6.5, los hongos predominan sobre las bacterias y se tendrá una baja remoción de materia orgánica y una pobre sedimentación.

A valores altos de pH, los nutrientes como el fósforo empiezan a precipitar, y ya no puede ser utilizado por las bacterias; esto da como resultado una baja remoción de materia orgánica. (IMTA, p. 129).

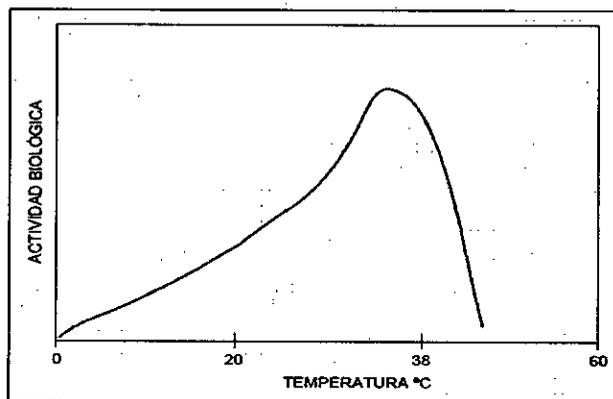
FIGURA N° 13. PH Y ACTIVIDAD BIOLÓGICA



Fuente: Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Lodos Activados, IMTA 2009, p. 130

- ✓ **Temperatura.** - También se tuvo un control de este parámetro, debido a su importancia. La temperatura afecta directamente el nivel de actividad de los microorganismos en el Sistema. A mayor temperatura aumenta la actividad microbiana. El rango óptimo de temperatura para la actividad bacteriana aerobia es entre 25°C y 35°C. A altas temperaturas las bacterias se vuelven más activas, inversamente a menor temperatura menor actividad microbiana (IMTA, pg. 131). Las tasas de crecimiento se doblan por cada aumento de 10 °C de la temperatura hasta alcanzar el valor óptimo. (IMTA, pg. 163).

**FIGURA N° 14.
TEMPERATURA Y ACTIVIDAD BIOLÓGICA**



Fuente: Operación y Mantenimiento de PTAR de Lodos Activados, IMTA 2009, p. 130

- ✓ **Tiempo de retención hidráulica (TRH).** - El Sistema de Tratamiento requiere de un tiempo de retención hidráulica para que los microorganismos puedan degradar la materia orgánica contenida en el agua residual. Este es el tiempo que una unidad de fluido permanece en el tanque de aireación, es decir el tiempo que transcurre desde que ingresa hasta que sale del reactor.

Tomando como referencia los caudales diferentes utilizados de la Tesis Obtención de Agua para Riego Mediante el Sistema de Lodos Activados Continuos en la Planta Piloto de la FIARN-UNAC (C. Allazo y otros, 2017, p. 10) se calcularon los tiempos de retención hidráulica del Sistema.

Estos fueron determinados a partir de la siguiente relación:

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

Donde:

TRH = Tiempo de retención hidráulica, variable

V = Volumen del reactor tanque de aireación, constante

Q = Caudal del afluente al sistema de tratamiento, variable

- ✓ **Carga orgánica.** - Para un control efectivo del Sistema es necesario conocer las cargas de contaminantes. La carga de DBO₅ (S₀) es particularmente importante, puesto que con este parámetro se determina la cantidad de alimento que entra al sistema y que será asimilado por los microorganismos en el tanque de aireación. (IMTA, pg. 168).

$$Carga = Gasto \times Concentración \quad Carga \text{ orgánica} = Q \times S_0$$

2.2.7. Parámetros de modelado del Sistema de Tratamiento. - Se realizó la toma de muestras tanto en el afluente (agua residual) del sistema y del efluente (agua tratada), para determinar la eficiencia del Sistema de Tratamiento. Posteriormente estas muestras se llevaron a un laboratorio para su análisis respectivo.

La eficiencia de remoción de los parámetros se determinó a partir de las concentraciones de los resultados del laboratorio. Se midieron in situ los Parámetros: Oxígeno disuelto, Potencial de Hidrógeno y Temperatura.

Todos los parámetros fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de agua del D.S. N° 004-2017-MINAM.

El laboratorio está acreditado por INACAL de acuerdo a la NTP ISO/IEC 17025:2006 y los parámetros de modelado del sistema analizados fueron los siguientes:

**TABLA N° 6.
PARÁMETROS DEL MODELADO DEL SSC**

Parámetros de Modelado
✓ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)
✓ Demanda Química de Oxígeno (DQO)
✓ Sólidos Suspendidos Totales (SST)
✓ Aceites y Grasas
✓ Coliformes Termotolerantes
✓ Oxígeno Disuelto
✓ Potencial de Hidrógeno
✓ Temperatura (°C)

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe cada uno de los parámetros evaluados en el Sistema:

✓ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).** - Es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por el agua residual durante la oxidación (vía biológica) de la materia orgánica Biodegradable presente en el agua residual. Para el control de los procesos de depuración suele adoptarse la DBO₅ a los 5 días y a 20 °C (DBO₅), cuyo valor se aproxima al valor asintótico de la DBO₅ correspondiente al ciclo del carbono. Para determinar este parámetro es necesario que el agua se encuentre a un pH entre 6,50 y 8,30. (M. Baca, 2012, p. 21).

✓ **Demanda Química de Oxígeno (DQO).** - Es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por el agua residual (por vía química) provocada por un agente químico, fuertemente oxidante. La oxidación es activa sobre las sales minerales oxidables, así como sobre la materia orgánica biodegradable, que existe en el agua analizada.

La relación encontrada entre la DBO₅ y la DQO indicará la importancia de los vertidos industriales y sus posibilidades de biodegradabilidad. (M. Baca, 2012, p. p. 22).

✓ **Sólidos Suspendidos Totales (SST).** - Materia en suspensión que existe en el líquido y que se retiene en un filtro de fibra de vidrio 1.58 µm. Estos sólidos también se clasifican en SSV (Sólidos suspendidos volátiles) y SSF (Sólidos suspendidos fijos), cuando los SST se queman a a 550°C (IMTA, p. 259).

✓ **Aceites y Grasas.** - Las grasas y aceites afectan negativamente la transferencia de alimento en los microorganismos, así como la sedimentación de sólidos.

Cantidades excesivas de grasas y aceites empujarán los flóculos a la superficie en los clarificadores. (IMTA, p. 163)

- ✓ **Coliformes.** - Bacterias Gram negativas no esporuladas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, en 24 horas, se denominan coliformes denominadas coliformes termotolerantes. (Norma OS.090, p. 5)

Para la remoción de este parámetro se requiere de un tratamiento químico o terciario posterior, puesto que el Sistema de Tratamiento al ser biológico, necesita de los microorganismos para la remoción de otros parámetros, por ende el crecimiento de los Coliformes es exponencial y se encuentran en grandes cantidades en el agua residual doméstica.

- ✓ **Oxígeno disuelto (OD).** - La variación temporal de la demanda de oxígeno en el sistema hace que se tenga también una variación en la cantidad de oxígeno que se debe proporcionar, y mantener así la concentración en los valores deseados. (IMTA, p. 129).

Este parámetro se midió sólo en el efluente (agua tratada), puesto que el Sistema no realiza su remoción, este incrementa posterior al tratamiento. Este es proporcionado por el sistema en el tanque de aireación.

- ✓ **Potencial de Hidrógeno (pH).**- Las aguas urbanas tienen un pH próximo al valor de 7, es decir son adecuadas para los microorganismos neutrófilos. Es necesario controlar el pH para garantizar los procesos biológicos, que no generan problemas de inhibición. (M. Baca, 2012, p. 24)

Este parámetro se midió sólo en el efluente (agua tratada), puesto que el Sistema no realiza su remoción, para este el rango adecuado es de 6.5-8.5 de acuerdo a los Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles para Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

- ✓ **Temperatura.** - La temperatura es un parámetro importante por su efecto en otras propiedades, por ejemplo, aceleración de reacciones químicas, reducción en la solubilidad de los gases, intensificación de sabores y olores. (IMTA, p. 25).

La temperatura afecta la solubilidad del oxígeno en el agua, a la actividad microbiana. La condición crítica se alcanza en épocas de altas temperaturas en las que el consumo de oxígeno es elevado y su disponibilidad reducida. (IMTA, p. 21). Este parámetro se midió sólo en el efluente (agua tratada), puesto que el Sistema no realiza su remoción.

2.2.8. Composición y características típicas de las aguas residuales domésticas.

- La composición de las aguas residuales está referida a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residuales.

La siguiente tabla muestra datos típicos de los constituyentes encontrados en el agua residual doméstica. En función de los constituyentes, el agua residual se puede clasificar como concentrada (fuerte), media o débil. Tanto los constituyentes como sus concentraciones presentan variaciones en función de la hora del día, el día de la semana, el mes del año y otras condiciones locales.

TABLA N° 7.
COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

Parámetro	Unidad	Concentración (mg/L)		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos Totales (ST)	mg/l	350	720	1200
Disueltos totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	ml/l	5	10	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO₅)	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno (total en forma N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoniacal libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros	mg/l	30	50	100
Sulfato	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	50	100	200
Grasa	mg/l	50	100	150
Coliformes totales	n.º/100 ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	ug/l	<100	100-400	>400

Fuente: Ingeniería de aguas residuales, Metcalf y Eddy, 1995, p. 125

Para aguas residuales domésticas típicas, el cociente DBO₅/DQO se encuentra en el intervalo 0.4 a 0.8, o DQO/DBO₅ en un intervalo 1.25 a 2.5 (Metcalf y Eddy, 1995, p. 95).

La relación es una indicación de biodegradabilidad, al no encontrarse dentro entonces es probable que el agua residual contenga algunos componentes tóxicos o

hay una deficiencia de nutrientes o micronutrientes que restringe la actividad biológica. La presencia de impurezas en las aguas residuales (especialmente sustancias activas de superficie, como detergentes) reduce la velocidad de transferencia de oxígeno y la solubilidad del oxígeno.

La DQO se divide en dos: DQO no biodegradable y DQO biodegradable., incluso existe un fraccionamiento de este parámetro de acuerdo a la Asociación Internacional de Calidad de agua: IAWQ (John Fredy, UNAD, págs. 21-22):

- DQO fácilmente biodegradable (DQOfb). Esta fracción, que se asimila a la DQO soluble en el agua, es la que la biomasa consume más rápidamente (en pocos minutos), generando una rápida y elevada demanda de oxígeno. Los compuestos que conforman esta fracción son sustancias solubles, de bajo peso molecular, como es el caso de los azúcares, alcoholes y ácidos grasos.
- DQO lentamente biodegradable (DQOlB). Esta fracción se relaciona con la DQO biodegradable no soluble, o particulada, y habitualmente es la fracción biodegradable mayoritaria. Está formada por moléculas solubles de elevado peso molecular, sustancias coloidales y partículas sólidas. Todas ellas tienen en común que no son de fácil degradación por la biomasa. Antes, deben ser hidrolizadas por las enzimas segregadas por los microorganismos y convertidas en moléculas solubles, de bajo peso molecular y, por tanto, de fácil asimilación para las células. La etapa de hidrólisis es lenta, es la etapa que controla el proceso y lleva asociadas tasas de consumo de oxígeno mucho más bajas que las de consumo de la DQO fácilmente biodegradable.

- DQO soluble no biodegradable (DQOsnb). Esta fracción no se ve alterada por el contacto con la biomasa, no sufre ningún tipo de variación durante el tratamiento y sale con el efluente. Si esta fracción es mayoritaria en el efluente, los procesos biológicos quedan directamente descartados.
- DQO particulada no biodegradable (DQOpnb). Esta fracción, aunque no es consumida por la biomasa, gran parte decanta junto a los lodos, reduciéndose la concentración a la salida en relación a la entrada.

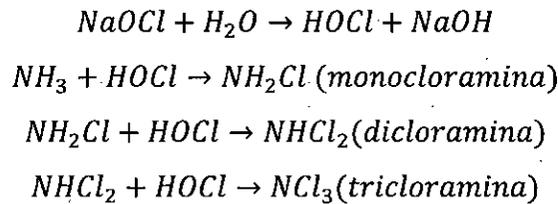
2.2.9. Desinfección del efluente tratado. - De todos los desinfectantes empleados, el cloro es quizás el más utilizado. La razón de este hecho es que satisface la mayoría de los requisitos planteados como desinfectante ideal. Los compuestos de cloro más comúnmente empleados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son el cloro gas (Cl_2), el hipoclorito de sodio (NaOCl), el hipoclorito de calcio [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$], y el dióxido de cloro (ClO_2), (Metcalf y Eddy, 1995, págs. 377-378).

2.2.9.1. Demanda de Cloro, Curva de Cloración y Punto de Ruptura. - A continuación, se describirá el comportamiento del cloro al ser añadido como desinfectante y la cloración hasta llegar al punto de ruptura (breakpoint) a través de una gráfica de tendencia (Metcalf y Eddy, 1995, págs.380-381).

El grupo de tesis consideró importante realizar un muestreo del efluente tratado posterior a la desinfección con la finalidad de lograr la remoción de los Coliformes Termotolerantes. Para esto se utilizó Hipoclorito de Sodio (NaOCl) o comercialmente denominado Lejía.

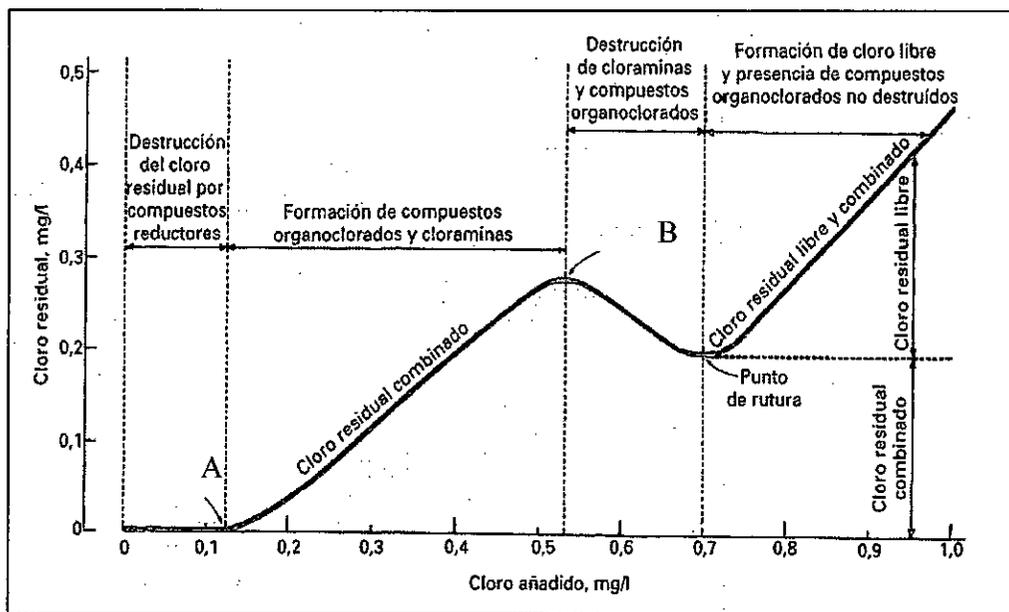
El efluente procedente de la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales contiene cantidades significativas de nitrógeno, generalmente en forma

de amoníaco. Dado a que el desinfectante es oxidante de gran actividad, reaccionará rápidamente con el amoníaco presente para formar tres tipos de cloraminas:



Los fenómenos que resultan de añadir cloro a un agua residual que contenga amoníaco se pueden explicar a partir de la siguiente figura (Curva de Cloración):

FIGURA N° 15.
CURVA DE CLORACIÓN



Fuente: Ingeniería de aguas residuales, Metcalf y Eddy, 1995, p. 381

La curva de cloración se divide en las siguientes zonas:

Zona de 0 a A: Al añadir cloro, este reacciona con la materia orgánica y lo reduce a ión cloruro.

Zona de A a B: Es una zona ascendente, en donde el cloro reacciona con el amoníaco (NH_3), formando monocloraminas (NH_2Cl).

Zona de B a al Punto de Ruptura: Es una zona decreciente, en donde la concentración de cloro comienza a disminuir debido a la formación de dicloraminas (NHCl_2) y tricloraminas o tricloruros de nitrógeno (NCl_3). Estos se caracterizan por la presencia de malos olores.

Zona desde Punto de ruptura hacia delante: Parte creciente de la curva y posterior al punto de ruptura en donde el cloro ha reaccionado con todo el amoníaco, por consiguiente, el cloro dosificado tiene valores similares al cloro residual siendo directamente proporcionales.

La razón principal para añadir suficiente cloro como para obtener cloro residual libre radica en que se asegura que se alcanzará la desinfección.

La cantidad de cloro que se debe añadir para alcanzar un nivel de cloro residual de punto de ruptura recibe el nombre de demanda de cloro. (Metcalf y Eddy, págs. 380-381).

2.3. Marco Legal. -

2.3.1 Normas Internacionales. -

- **FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura**

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) publicó en 1999 la guía sugerida para aguas tratadas en el reúso agrícola y sus requerimientos de tratamiento.

TABLA N° 8.
GUÍA SUGERIDAS PARA AGUAS TRATADAS EN EL REUSO
AGRÍCOLA

Tipos de reuso agrícola	Calidad del agua residual	Opción de tratamiento
Reúso agrícola de cultivos que se consumen y no se procesan comercialmente	pH 6,5 - 8,4 DBO < 10 mg.L ⁴ < 2 UNT < 14 NMP coli fecal/100 mL < 1 huevos/L (nematodos intestinales)	Secundario Filtración desinfección
Reúso agrícola en cultivos que se consumen y se procesan comercialmente	pH 6,5 - 8,4 < 30 mg.L ⁴ DBO < 30 mg.L ⁴ SS < 200 NMP coli fecal/100 mL pH 6,5 - 8,4	Secundario desinfección
Reúso agrícola en cultivos que no se consumen	< 30 mg.L ⁴ DBO < 30 mg.L ⁴ SS < 200 NMP coli fecal/100 mL	Secundario desinfección

Fuente: FAO, 1999 (C. Barzola, 2010, p. 15)

- **OMS – Organización Mundial de la Salud.**- Las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS), son las principales guías que regulan el reuso de las aguas residuales domésticas, relacionadas a la calidad microbiológica, en la siguiente tabla se muestran:

TABLA N° 9.
DIRECTRICES DE LA OMS (1989) SOBRE CALIDAD
PARASITOLÓGICA Y MICROBIOLÓGICA DE AGUAS RESIDUALES
PARA USO EN AGRICULTURA

Categoría	Condiciones de reutilización	Grupo expuesto	Nematodos intestinales	Coliformes fecales
			(promedio aritmético de huevos/L)	(promedio geométrico/100 mL)
A	Irrigación de cultivos probablemente consumidos crudos. Campos deportivos, parques públicos.	Agricultores consumidores, público.	≤ 0.1	$\leq 10^3$
B	Irrigación de cereales. Cultivos industriales, forrajes, pastos y árboles.	Agricultores, pero no niños <15 años, y comunidades cercanas	≤ 1 Riego por aspersión	$\leq 10^5$
			≤ 1 Riego por aspersión	$\leq 10^3$
			≤ 1 Riego por aspersión	$\leq 10^3$
C	Irrigación localizada de cultivos en la categoría B, si no están expuestos los trabajadores y el público.	Ninguno	No aplicable	No aplicable

Fuente: Organización Mundial de la Salud (Adaptado de Blumenthal y otros, 2000).

2.3.2 Normas Nacionales. -

- **Constitución Política del Perú:**

Artículo 66.- Los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento. Por ley orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares. La concesión otorga a su titular un derecho real, sujeto a dicha norma legal.

- **RM N° 176-2010-VIVIENDA – Lineamientos de Política para la Promoción del Tratamiento para el Reúso de las Aguas Residuales Domésticas y Municipales en el Riego de Áreas Verdes Urbanas y Periurbanas**

Lineamiento 2:

4.2.1. Promover tecnologías de tratamiento de las aguas residuales domésticas y municipales que permitan la eficiente remoción de gérmenes patógenos y otros contaminantes, a fin de proteger la salud de las personas que tienen contacto con las áreas verdes irrigadas.

4.2.2. Promover tecnologías de tratamiento de las aguas residuales municipales y domésticas que permitan bajos costos de inversión, operación y mantenimiento, considerando las características de los efluentes a tratar, de tal forma que se logre efectivamente sustituir el agua potable utilizada actualmente para el riego de las áreas verdes urbanas y periurbanas.

- **Ley 28611 – Ley General del Ambiente:**

Artículo 67.- Del Saneamiento básico.- Las autoridades públicas de nivel nacional, sectorial, regional y local priorizan medidas de saneamiento básico que incluyan la construcción y administración de infraestructura apropiada; la gestión y manejo adecuado del agua potable, las aguas pluviales, las aguas subterráneas, el sistema de alcantarillado público, el reúso de aguas servidas, la disposición de excretas y los residuos sólidos, en las zonas urbanas y rurales, promoviendo la universalidad, calidad y continuidad de los servicios de saneamiento, así como el establecimiento de tarifas adecuadas y consistentes con el costo de dichos servicios, su administración y mejoramiento.

Artículo 120.- De la protección de la calidad de las aguas. - El Estado, a través de las entidades señaladas en la Ley, está a cargo de la protección de la calidad del recurso hídrico del país. El Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de su reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reuso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán.

Artículo 121.- Del vertimiento de aguas residuales.- El Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes.

Artículo 122.- Del tratamiento de residuos líquidos. - Corresponde a las entidades responsables de los servicios de saneamiento la responsabilidad por el tratamiento de los residuos líquidos domésticos y las aguas pluviales. El sector Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la vigilancia y sanción por el incumplimiento de LMP en los residuos líquidos domésticos, en coordinación con las autoridades sectoriales que ejercen funciones relacionadas con la descarga de efluentes en el sistema de alcantarillado público.

Las empresas o entidades que desarrollan actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que generen aguas residuales o servidas, son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles

compatibles con los LMP, los ECA y otros estándares establecidos en instrumentos de gestión ambiental, de conformidad con lo establecido en las normas legales vigentes. El manejo de las aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser efectuado directamente por el generador, a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes a través de terceros debidamente autorizados a o a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento, con sujeción al marco legal vigente sobre la materia.

- **D.L. N° 1055 – Decreto Legislativo que modifica la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente:**

Artículo 32.- Del Límite Máximo Permisible:

32.1 El Límite Máximo Permisible–LMP, es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio.

- **Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos:**

Artículo 82.- Reutilización de agua residual. - La Autoridad Nacional, a través del Consejo de Cuenca, autoriza el reúso del agua residual tratada, según el fin para el que se destine la misma, en coordinación con la autoridad sectorial competente y, cuando corresponda, con la Autoridad Ambiental Nacional. El titular de una

licencia de uso de agua está facultado para reutilizar el agua residual que genere siempre que se trate de los mismos fines para los cuales fue otorgada la licencia. Para actividades distintas, se requiere autorización. La distribución de las aguas residuales tratadas debe considerar la oferta hídrica de la cuenca.

- **Decreto Supremo N° 001-2010-AG – Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos:**

Artículo 148.- Autorizaciones de reúso de aguas residuales tratadas. - Podrá autorizarse el reúso de aguas residuales únicamente cuando se cumplan con todas las condiciones que se detallan a continuación:

- a. Sean sometidos a los tratamientos previos y que cumplan con los parámetros de calidad establecidos para los usos sectoriales, cuando corresponda.
- b. Cuenten con la certificación ambiental otorgada por la autoridad ambiental sectorial competente, que considere específicamente la evaluación ambiental de reúso de las aguas.
- c. En ningún caso se autorizará cuando ponga en peligro la salud humana y el normal desarrollo de la flora y fauna o afecte otros usos.

- **Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM – Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua:**

Artículo 1.- Modificación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. - Modifíquese los parámetros y valores de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, detallados en el Anexo de la presente norma.

- **Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM – Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias:**

Artículo 1.- Objeto de la norma. - 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 en 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.

- **Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM- Límites Máximos Permisibles de efluentes de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas o Municipales:**

Artículo 1.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR). - Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

2.3.3 Definición de términos básicos (Norma OS. 090 págs. 1-16)

- **Aeración:** Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).
- **Aeración mecánica:** Introducción de oxígeno del aire en un líquido por acción de un agitador mecánico.
- **Afluente:** Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.
- **Agua residual:** Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.
- **Agua residual domestica:** Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.
- **Biodegradación:** Transformación de la materia orgánica en compuestos menos complejos, por acción de microorganismos.
- **Biopelícula:** Película biológica adherida a un medio sólido y que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica.
- **Carga superficial:** Caudal o masa de un parámetro por unidad de área que se usa para dimensionar un proceso del tratamiento.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual,

usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.

- **Depuración de aguas residuales:** Purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales; se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos.
- **Difusor:** Placa porosa, tubo u otro artefacto, a través de la cual se inyecta aire comprimido u otros gases en burbujas, a la masa líquida.
- **Digestión aeróbica:** Descomposición biológica de la materia orgánica, del lodo que produce una mineralización, licuefacción y gasificación parcial.
- **Eficiencia del tratamiento:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje.
- **Efluente:** Líquido que sale de un proceso de tratamiento.
- **Indicador:** Conjunto de elementos que señalan de manera cuantitativa sus características presentadas al momento del monitoreo.
- **Lodo activado:** Lodo constituido principalmente de biomasa con alguna cantidad de sólidos inorgánicos que recircula del fondo del sedimentador secundario al tanque de aeración en el tratamiento con lodos activados.
- **Muestreo:** Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va analizar.
- **Parámetro:** Datos que se toman como necesario al momento de realizar la comparación con los valores obtenidos del monitoreo.

- **pH:** Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.
- **Planta de tratamiento:** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales.
- **Planta piloto:** Planta de tratamiento a escala, utilizada para la determinación de las constantes cinéticas y parámetros de diseño del proceso.
- **Proceso biológico:** Asimilación por bacterias y otros microorganismos de la materia orgánica del desecho, para su estabilización.
- **Requisito de oxígeno:** Cantidad de oxígeno necesaria para la estabilización aerobia de la materia orgánica y usada en la reproducción o síntesis celular y en el metabolismo endógeno.
- **Sedimentación secundaria:** Proceso de separación de la biomasa en suspensión producida en el tratamiento biológico.
- **Portador o carrier:** Material de plástico de baja densidad, el cual se encuentra diseñado con las características necesarias, para la adherencia de biomasa en su superficie (biopelícula). Cuenta con una alta área superficial lo que asegura concentraciones altas de microorganismos en el tanque de aireación para la remoción de materia orgánica en el Sistema. (Ødegaard y otros, Influencia del tamaño y forma de carrier en Proceso MBBR).

CAPÍTULO III

VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables de la investigación. -

3.1.1. Variable independiente:

X= Sistema de Tratamiento de Lodos activados Continuos al implementar superficie de contacto

a) **Definición conceptual:** Proceso biológico utilizado para la depuración de las aguas residuales domésticas.

b) Indicadores:

- | | |
|---|----------------|
| ➤ Caudal (L/día) | X ₁ |
| ➤ Porcentaje de relleno (L) | X ₂ |
| ➤ Superficie específica (m ² /m ³) | X ₃ |
| ➤ Oxígeno disuelto (mg O ₂ /L) | X ₄ |
| ➤ Potencial de hidrógeno | X ₅ |
| ➤ Temperatura (°C) | X ₆ |
| ➤ Tiempo de retención hidráulica | X ₇ |
| ➤ Carga orgánica | X ₈ |

3.1.3. Variable dependiente

Y = Eficiencia del Sistema de Tratamiento con Superficie de contacto

a) **Definición conceptual:** Porcentaje de eficiencia de remoción del Sistema de tratamiento

b) **Definición operacional:** Determinado a partir del muestreo del afluente y efluente del Sistema de tratamiento

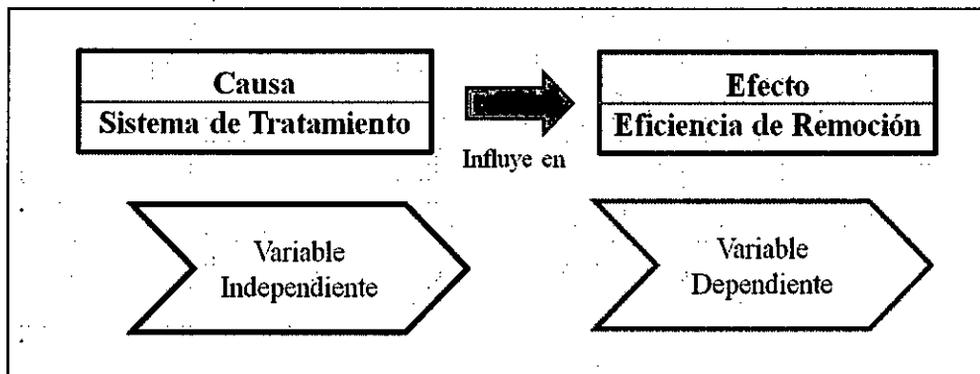
c) Indicadores:

- Eficiencia de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) Y₁
- Eficiencia de Demanda química de oxígeno (DQO) Y₂
- Eficiencia de Sólidos Suspendidos Totales (SST) Y₃
- Eficiencia de Aceites y Grasas (A & G) Y₄
- Eficiencia de Coliformes Termotolerantes Y₅
- Variación de Eficiencia con respecto al Sistema sin Superficie de contacto Y₆

3.2. Operacionalización de las variables

La presente investigación es netamente experimental, en ese sentido existe una relación del tipo Causa – Efecto entre las variables, como se muestra en la siguiente figura.

FIGURA N° 16. RELACIÓN CAUSA – EFECTO



Fuente: Elaboración propia

Mediante la Operacionalización de las variables y de los indicadores de cada una, la hipótesis fue demostrada.

Para la determinación de las eficiencias de cada indicador de la variable dependiente, se realizó la toma de muestra del afluente y efluente del Sistema de

Tratamiento de Lodos Activados Continuos implementando Superficie de contacto, con cuatros diferentes valores del indicador de la variable independiente X_1 : Caudal.

Las muestras de agua fueron llevadas a un Laboratorio acreditado para su respectivo análisis. Para el Control del Sistema de Tratamiento se mantuvo fijos o a condiciones óptimas las variables intervinientes.

Posteriormente, con los resultados obtenidos brindados por el laboratorio, se procedió al cálculo de los porcentajes de Eficiencia de cada indicador:

- %Eficiencia de Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- %Eficiencia de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
- %Eficiencia de Aceites y Grasas (A y G)
- %Eficiencia de Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- %Eficiencia de Coliformes Termotolerantes

Finalmente, se determinó el último indicador de la variable independiente:

Porcentaje de Variación de la Eficiencia comparando resultados obtenidos con respecto al Sistema de Tratamiento sin Superficie de contacto, en otros términos, Sistema de Lodos Activos Continuos convencionales.

3.3. Hipótesis General

“La Implementación de la Superficie de contacto permitirá mejorar la Eficiencia en el Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos, además de obtener agua que cumpla con los ECAs Categoría III y LMPs de PTARs domésticas”

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Tipo de Investigación. - La presente investigación es de tipo experimental y se llegó a esta deducción al consultar con el artículo *Tipos, Métodos y Estrategias de Investigación Científica* (docentes de la Universidad Ricardo Palma y Universidad Nacional Agraria La Molina). Este artículo realizó una elaboración de una propuesta estandarizada de clasificación de tipos y métodos de investigación.

4.2. Diseño de la investigación. - El Sistema de Lodos Activados Continuos luego de la implementación de Superficie de Contacto, mediante la adición de carriers, fue manipulado por los investigadores, por consiguiente, el diseño del proyecto se basó en la investigación experimental, y este método se subdivide en tres sub métodos:

- Pre-experimental
- Cuasi-experimental
- Experimentos verdaderamente puros

De los submétodos mencionados, debido a que no existe un grupo control, el proyecto corresponde al sub método Pre-Experimental.

Este sub método de investigación Pre-Experimental comprende dos etapas:

A. Etapa Pre Prueba:

- ✓ Necesidad de evaluar un proceso para el cual se realiza una revisión bibliográfica.
- ✓ Identificación y definición del problema.
- ✓ Definición de hipótesis, variables y la operacionalización de las mismas.

✓ Elaboración del Programa de Monitoreo.

B. Etapa Pos Prueba:

✓ Mantenimiento y operación del proceso.

✓ Medición de los indicadores de la variable dependiente.

✓ Procesamiento de datos.

✓ Prueba de confiabilidad de los datos.

✓ Determinación de la Eficiencia del Proceso.

4.3. Población y Muestra. - Las aguas residuales domésticas generadas en la Universidad Nacional del Callao y vertidas al alcantarillado representaron la población de la investigación, la cual corresponde a un caudal estimado de 1,220.85 m³/día de aguas residuales domésticas (0.047 L/s) (M. Farfán, 2015, p. 8)

La muestra tuvo un caudal mínimo de 130 L/día y un caudal máximo de 260 L/día aproximadamente, los cuales fueron captados del alcantarillado ubicado en el ingreso de la Planta Piloto de Tratamiento de aguas residuales domésticas de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, conducidos hasta el Sistema de Tratamiento de los Lodos Activados Continuos con Superficie de Contacto (SSC), las muestras fueron tomadas de forma aleatoria, antes y después del tratamiento de forma semanal, y en el tanque de aireación de forma diaria.

4.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos. -

4.4.1. Técnicas de recolección de datos. - Se utilizaron las siguientes técnicas para recolección de datos:

a) **Técnicas de revisión y análisis documental.** - La información es recolectada de fuentes como tesis, libros, revistas, artículos científicos, etc.

- b) **Técnicas observacionales.** - Consisten en la observación de las dos secciones o tanques del Sistema, tanto el de aireación como el de sedimentación con el fin de verificar el correcto funcionamiento a condiciones favorables, revisión de la calidad del efluente a través de la turbiedad, de manera visual a diferentes tiempos de retención hidráulica.
- c) **Técnicas de laboratorio o in situ.** - Consisten en la toma de muestras antes y después del tratamiento, agua residual y el efluente respectivamente, enviadas al laboratorio acreditado y toma de muestras durante el tratamiento, in situ en el tanque de aireación.
- d) **Técnicas estadísticas.** - Se realizó un análisis de los resultados obtenidos de los muestreos por cada parámetro, como datos cuantitativos; y de los gráficos de tendencia, gráficos de comparación con las normativas ambientales y con resultados anteriores en el programa de Microsoft Excel.

4.4.2. Instrumentos de recolección de datos. - Se utilizaron los siguientes instrumentos para la recolección de datos cuantitativos y cualitativos:

a) Materiales:

- Carriers o también denominados soportes plásticos, los cuales fueron agregados al Sistema, específicamente al tanque de aireación.
- Doce recipientes de plástico de 1 litro para la toma de muestra de DBO₅, doce recipientes de plástico de 250 mililitros para la toma de muestra de DQO, ocho recipientes de vidrio ámbar de 1 litro para la toma de muestra de Aceites y Grasas, dos recipientes de plástico de 250 ml para Coliformes termotolorantes y preservante H₂SO₄ para todas las muestras de DQO y Aceites y grasas.

- Dos coolers de plásticos con ice packs, para el transporte de las muestras.
- Ocho Cadenas de custodia, en donde se registra todas las incidencias correspondientes a los muestreos realizados, marcador indeleble para el rotulado con etiquetas de los recipientes.
- Galoneras para el transporte de 30 L de Lodos Activados procedentes de la PTAR Aguas del Callao – Playa Rímac, que se usaran para incrementar la actividad microbiana en el tanque de aireación, con el fin de acelerar la formación de la biopelícula.
- Un recipiente de plástico de 0.5 Litros graduada para la medición del caudal diario del afluente del sistema.
- Una balanza analítica y normal para el cálculo de volumen de carriers.

b) Equipos:

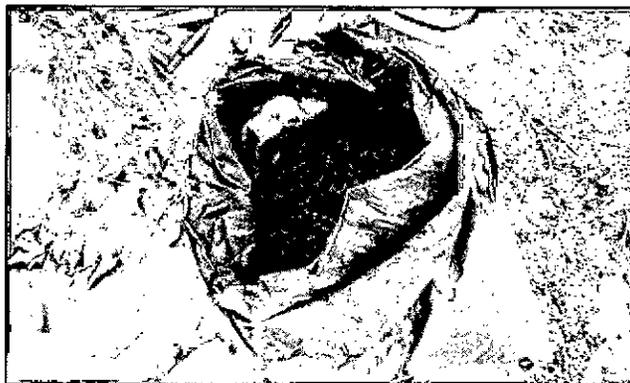
- Un Multiparámetro de Marca Water Quality Monitor para medir el pH y temperatura. (Serie PHT-026).
- Un Medidor de oxígeno disuelto de Marca Shenzhen Laesent Technology (Serie AZ-8401).
- Compresora - Bomba de aire Electromagnética Marca Resun (Serie ACO-006) para suministrar aire al tanque reactor lecho móvil.
- Cronómetro para medir el caudal del afluente al sistema.
- Cámara fotográfica para obtener el registro de todo el sistema de tratamiento.

c) Indumentaria de protección:

- Un paquete de guantes de latex y un paquete de mascarillas
- Dos Mandiles Blancos

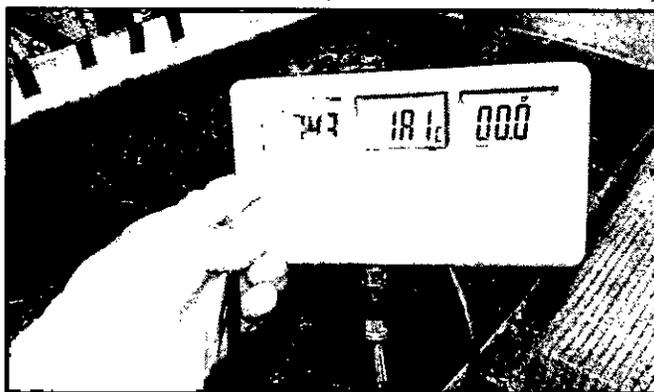
Las imágenes de los instrumentos más importantes se aprecian a continuación:

**FIGURA N° 17.
CARRIERS**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 18.
MULTIPARÁMETRO (PH Y TEMPERATURA)**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 19.
MEDIDOR DE OXÍGENO DISUELTO**



Fuente: Elaboración propia

4.5. Procedimiento de recolección de datos. -

4.5.1. **Adquisición de los carriers para su implementación.** - Nuestro grupo de tesis, tomando en consideración la recomendación brindada por nuestro asesor de tesis, realizó una visita técnica a la Planta de Tratamiento de Aguas residuales Domésticas para riego de parques y jardines, Aguas del Callao – Playa Rímac, ubicada en Faucett. Posteriormente a esta visita, se contactó con el Ingeniero Químico Francisco de la empresa CAPITAL WATER S.A.C., quien generosamente nos proporcionó, con fines de investigación, el volumen necesario para el desarrollo experimental de esta tesis.

Las características del carrier o soporte de plástico brindado son las siguientes:

**TABLA N° 10.
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y FÍSICAS DEL SOPORTE
EMPLEADO**

Fabricante	Nombre	Área específica m^2/m^3	Dimensiones (fondo; diámetro) mm
AqWise	ABC5™	650	12; 12
Densidad g/cm^3	Unidades por m^3	Peso por unidad en mg	Fotografía
0.92-0.96	308 000	370	

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. **Revisión y control para un adecuado funcionamiento del Sistema de tratamiento.** - Se realizó una verificación del Sistema en su totalidad, desde la captación hasta el almacenamiento final del efluente tratado.

4.5.2.1. Captación del agua residual: Se verificó el correcto funcionamiento del desbaste, parte fundamental para la remoción de los sólidos de mayor tamaño del flujo de agua residual que pasa por el alcantarillado.

4.5.2.2. Tanque de Homogenización: El agua residual es almacenado por gravedad en un tanque de homogenización y almacenamiento de 700 L ubicado por debajo del nivel del suelo.

4.5.2.3. Bombas de agua: Se realizó un mantenimiento y revisión periódica de tres bombas centrífugas. Dos de estas bombas se encontraban ubicadas al costado del tanque de homogenización. La bomba principal de 1 hp transporta agua a dos tanques elevados de 250 L cada uno, estos ubicado a 3 metros sobre el nivel del suelo; y la segunda bomba de 0.5 hp transporta agua a un tanque de reserva por debajo del nivel del suelo, ubicado a 3 metros de distancia del tanque de homogenización. Al costado del tanque de reserva se encuentra ubicada la tercera bomba de 1 hp, se construyó un tejado protector contra la lluvia para evitar un cortocircuito y dañar la bomba.

Sin embargo, para las dos primeras bombas no fue suficiente con el mantenimiento y revisión periódica, porque sucedió una inundación como factores externos, por ende, como medida preventiva se elevó el nivel de estas dos bombas y se volvieron a instalar nuevas, en caso volviera a suceder otra inundación, la cual sucedió, lo cual es muy inusual.

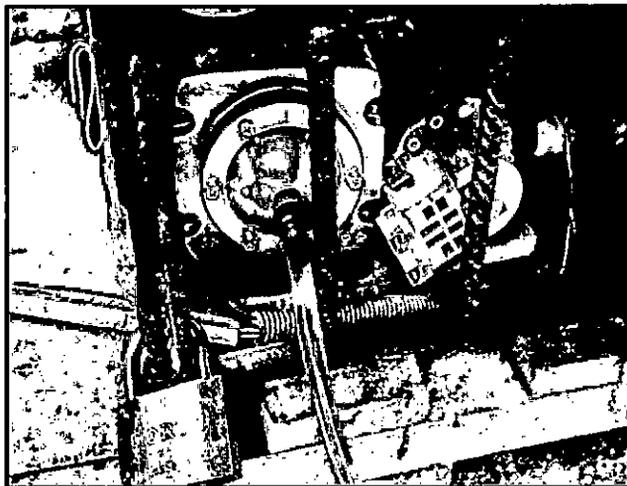
La instalación de bombas sumergibles, sería la mejor medida a futuro, por un tema de presupuesto, no se realizó esta medida.

4.5.2.4.Sistema de aireación: Se realizó un mantenimiento de las compresoras de aire que alternaban el suministro de aire hacia el tanque de aireación, sin embargo, debido al tiempo de vida, estas dejaron de funcionar. Por esto se decidió comprar nuevas compresoras de aire de las mismas características, sin embargo, al final se llegó a la deducción que estas no son para un uso continuo, sólo se pueden utilizar máximo 8 horas al día, a pesar de rotar entre estas (16 horas al día), por consiguiente, siempre se recalentaban dañándose el motor o las piezas internas, además del engorroso control diario, el ruido que generaban y el llenado de aceite periódico que se les tenía que realizar.

Tomando en consideración una gran recomendación de nuestro asesor se compró una compresora de aire diferente, la cual funciona todo el año. Esta es una bomba de aire electromagnética, en otras palabras, no se recalienta, no necesita adicionar aceite, además de no generar ruido. Esto permitió tener un mejor control del sistema de tratamiento en general. Además, se implementaron difusores de burbuja gruesa, debido a que los anteriores difusores de pecera se obstruyeron.

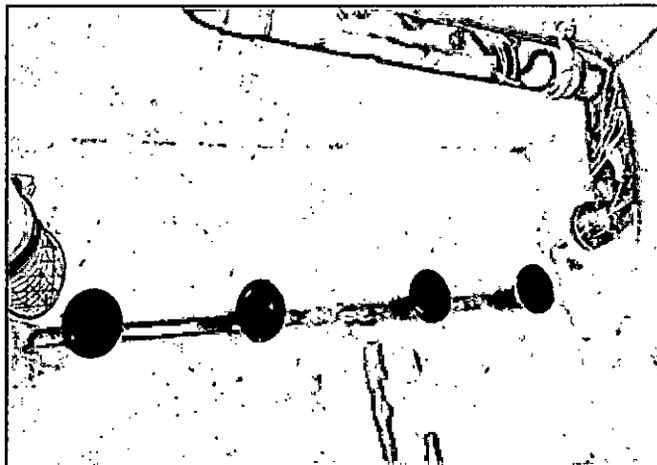
A continuación, se presenta algunas imágenes del Sistema de Tratamiento:

FIGURA N° 20.
NUEVA COMPRESORA DE AIRE



Fuente: Elaboración propia

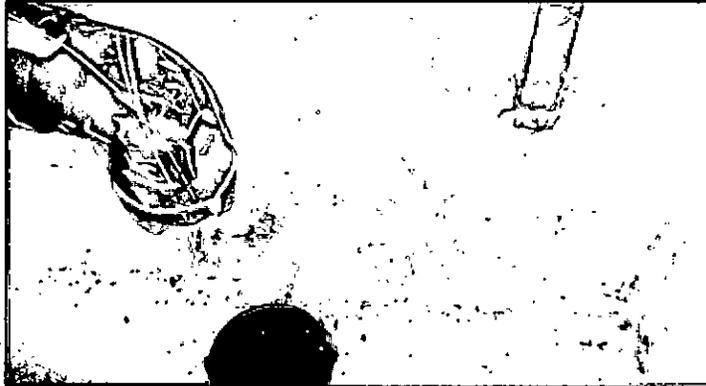
FIGURA N° 21.
DIFUSORES DE BURBUJA GRUESA EN TANQUE DE AIREACIÓN



Fuente: Elaboración propia

4.5.3. Adaptabilidad del Sistema para evitar la pérdida de carriers o soportes plásticos. - Se agregó específicamente en el tanque de aireación 2 rejillas o tamices de orificios menores de 12 mm, tanto al ingreso como en la salida del mismo, para evitar el traspaso de los soportes de plásticos al tanque de sedimentación o a la tubería de ingreso del caudal de agua residual.

FIGURA N° 22.
TAMIZ EN INGRESO (AFLUENTE)



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 23.
TAMIZ EN LA SALIDA



Fuente: Elaboración propia

4.5.4. Determinación y Cálculo de los Porcentajes Volumétricos de los portadores a utilizar. - Se determinó utilizar dos porcentajes volumétricos de portadores: 50% y 55% del volumen del tanque de aireación, el cual tiene un volumen útil de 300 L.

Una vez determinada los volúmenes se procedió a realizar el cálculo matemático de los mismos. Tomando en cuenta las características físicas de los carriers

mencionados anteriormente, a través del peso, se pudo obtener el volumen, los cálculos realizados se muestran a continuación en la siguiente tabla:

TABLA N° 11.
CÁLCULOS PARA DETERMINAR LOS VOLÚMENES

Si:	Entonces :
<p><i>Peso por unidad = 370mg</i> Se confirmó usando una balanza analítica. <i>Unidades por m³ = 308000</i></p>	<p><i>Peso de 1 m³ = 308 000 × 370 mg</i> <i>Peso de 1 m³ = 113960 g</i> <i>Peso de 1 m³ = 113.96 kg</i></p>
Luego:	Además:
<p><i>El 50 % de 300 L = 150 L</i> <i>El 5 % de 300 L = 15 L</i> Si: 1 m³ → 133.96 kg</p>	<p>Entonces: 1 m³ → 133,96 kg 150 L → X 15 L → y X = 17.094 kg y = 1.7094 kg</p>
	Finalmente se tiene la siguiente relación:
	<p>50 % → 150 L → 17.094 kg 5 % → 15 L → 1.7094 kg 55% → 165 L → 18.8034 kg</p>

Fuente: Elaboración propia

Una vez conocidos los pesos se procedió a realizar el pesaje de los portadores para esto se utilizó una balanza normal.

4.5.5. Agregado de los carriers o soportes plásticos en el Sistema de Tratamiento. - El desarrollo experimental se dividió en dos periodos de tiempo de muestreo:

El primer periodo de muestreo se trabajó con un porcentaje de volumen de relleno de 50%, es decir 150 L de carriers, este no se añadió al tanque de aireación de manera inmediata. Se agregó de forma gradual, 50 L el primer día, 50 L el segundo

día, y 50 L el tercer día, para no generar una saturación o aumento excesivo del nivel del agua del reactor.

Además, se inocularán 30 L de Lodos Activados procedente de la PTAR Aguas del Callao – Playa Rímac, para incrementar la actividad de crecimiento y desarrollo de los microorganismos y de esta forma agilizar el proceso de formación de biopelícula en los carriers, estos también fueron agregados gradualmente, el primer día, 10 L en la mañana y 10 L en la tarde, y el segundo día los 10 L restantes.

En el segundo periodo de muestreo se trabajó con un porcentaje de volumen de relleno de 55 %, es decir 165 L. Para ahorrar tiempo, debido a que la formación de biopelícula, dura aproximadamente de 3 a 4 semanas se acondicionó el 5 % (15L de carriers) en un recipiente más pequeño de 40 L como si fuera un tanque de aireación a menor escala, para esto se le añadió difusores en el fondo, y también se le realizó un control diario de alimentación de agua residual y medición de oxígeno disuelto. Para que posteriormente este porcentaje sea agregado al reactor o tanque de aireación de 300 L y así poder llegar al porcentaje deseado 55% de la segunda parte experimental.

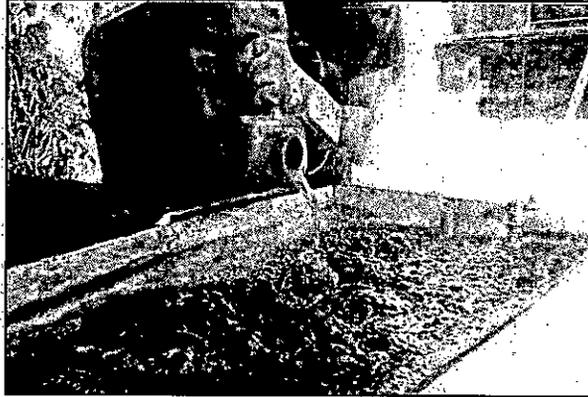
Algunas imágenes del agregado de carriers se muestran a continuación:

FIGURA N° 24.
AGREGADO DE CARRIERS TANQUE DE AIREACIÓN (50%)



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 25.
INOCULACIÓN DE LODOS ACTIVADOS**



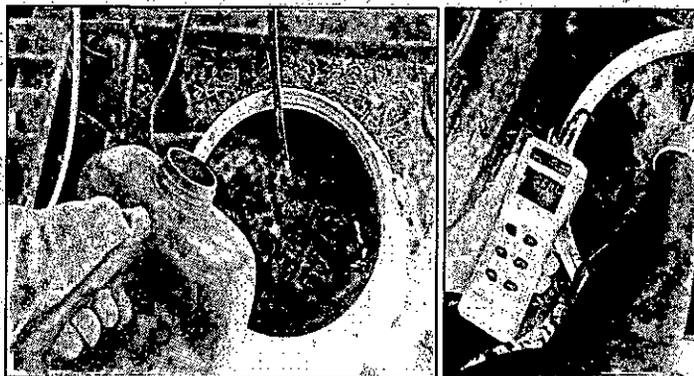
Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 26.
AGREGADO DE CARRIERS (5%)**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 27.
RECIPIENTE CON 5% DE CARRIERS**



Fuente: Elaboración propia

4.5.6. Supervisión de las etapas de formación de biopelícula y Estabilidad del Sistema. - Para la formación de la biopelícula que dura de 3 a 4 semanas aproximadamente, es fundamental mantener el sistema en condiciones favorables, para esto es importante tres factores correspondientes a la variable independiente:

4.5.6.1. Caudal (Q) de alimentación de agua residual. - Para la medición del caudal de ingreso de agua residual al tanque de aireación, se realizó a través del método volumétrico, utilizando un cronometro y un recipiente graduado de 500 ml. Para el cálculo del caudal se aplicó la siguiente relación:

$$Q = \frac{V \text{ en ml}}{t \text{ en min}}$$

Para mantener constante el caudal, se realizó el aforo diariamente. Se determinó evaluar el sistema con cuatro caudales diferentes, se tomó como referencia los caudales utilizados en la Tesis Obtención de Agua para Riego Mediante el Sistema de Lodos Activados Continuos en la Planta Piloto de la FIARN-UNAC (C. Allazo, L. Truenque y M. Silvera, 2017, p. 10).

**TABLA N° 12.
CAUDAL DE ALIMENTACIÓN AL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

SEMANA	CAUDAL	
	(ml/min)	(L/día)
Primera	90	129.6
Segunda	120	172.8
Tercera	150	216.0
Cuarta	180	259.2

Fuente: Sistema de Lodos Activados Continuos FIARN (C. Allazo, L. Truenque y M. Silvera, 2017, p. 10).

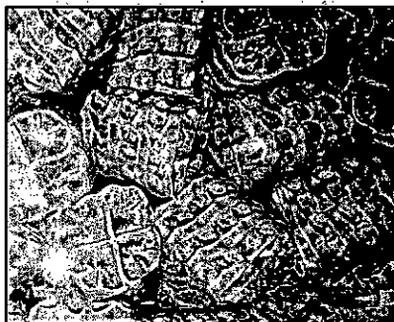
4.5.6.2. Concentración de oxígeno disuelto (OD) relacionado al suministro de aire. - Para la formación de biopelícula, el tanque de aireación se mantuvo a concentraciones mayores a 2 mg/L, tomando como referencia todas las investigaciones revisadas, dentro de un rango de 3 a 4 mg/L.

Durante la experimentación, se pudo observar que este rango es adecuado, puesto que durante 3 semanas a concentraciones superiores como por ejemplo 6, 7 y 8 mg/L no se observaba la formación de la biopelícula en los carriers, debido a que un exceso de aireación, generaba desprendimiento de la biomasa adherida.

A concentraciones muy bajas, por ejemplo, menores a 2 mg/L, se reduciría las condiciones aeróbicas inhibiendo la actividad microbiana. Incluso se generaría un crecimiento excesivo de biopelícula, no ideal para el tratamiento (IWA, 2012, p. 358).

Por todo lo mencionado se reguló el suministro de aire a través de una llave de paso, para que al realizar la medición del oxígeno disuelto tuviéramos concentraciones dentro del rango mencionado. El resultado fue un crecimiento adecuado de biopelícula como se pueden apreciar en la siguiente imagen:

**FIGURA N° 28.
BIOPELÍCULA FORMADA EN EL CARRIER**



Fuente: Elaboración propia

4.5.6.3. Presencia de microorganismos. - Al tanque de aireación se agregó 30 L de lodos activados para incrementar la actividad microbiana. La presencia de microorganismos en los Lodos Activados añadidos acelera la formación de biopelícula.

Para la formación de biopelícula se utilizó un caudal promedio (194.4 L/día) de los cuatros caudales utilizados (129.6 L/día, 172.8 L/día, 216 L/día y 259.2 L/día) para que cuando se inicie la evaluación del Sistema se adapte más rápido a las variaciones.

4.5.7. Medición de los indicadores y parámetros de Control del Sistema y

Evaluación de la eficiencia del Sistema. -Se realizó la identificación de los indicadores, como la formación de biopelícula, medición de parámetros de control como el oxígeno disuelto, temperatura, potencial de hidrógeno diariamente in situ.

Para poder evaluar la eficiencia de remoción del Sistema de Tratamiento con Superficie de Contacto, de diferentes parámetros, se tomaron muestras en el afluente y efluente, las cuales fueron enviadas a un laboratorio acreditado. Todos los parámetros fueron muestreados por el grupo de tesis.

A continuación, se muestra un cuadro resumen.

TABLA N° 13.
RESUMEN DE TOMA DE MUESTRAS PARA EL CONTROL Y
EVALUACIÓN DE EFICIENCIA

Control del Sistema de Tratamiento					
Parámetros	Afluente	Tanque de Aireación	Efluente	Muestreado por	Analizado
Caudal		X		Grupo de Tesis	In Situ
Oxígeno disuelto		X			
Potencial de Hidrógeno		X			
Temperatura		X			
Presencia de Biopelícula		X			
Evaluación de eficiencia del Sistema					
Demanda bioquímica de oxígeno	X		X	Grupo de Tesis	Laboratorio acreditado Inspectorate Services Perú S.A.C.
Demanda química de oxígeno	X		X		
Sólidos suspendidos totales	X		X		
Aceites y grasas	X		X		
Coliformes termotolerantes	X		X		

Fuente: Elaboración propia

El laboratorio fue Inspectorate Services Perú S.A.C. y este se encuentra acreditado por INACAL de acuerdo NTP ISO/IEC 17 025: 2006; de ésta forma se garantizó la confiabilidad del análisis de las muestras.

La siguiente tabla muestra los métodos de análisis empleados para los parámetros evaluados.

TABLA N° 14.
MÉTODOS DE ANÁLISIS EMPLEADOS POR EL LABORATORIO ACREDITADO

Parámetro	Unidad	Método
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B. 22nd Ed
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	SMEWW-APHA-AWW-WEF Part 5220 C.
Aceites y grasas	mg/L	EPA 1664 Rev A
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D,
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E. 22st Ed.

Fuente: Inspectorate Services Perú S.A.C.

4.5.8. Desinfección (Cloración) del efluente tratado para remoción de Coliformes Termotolerantes. - Los sistemas de Tratamiento biológicos, no remueven significativamente los microorganismos, y es debido a que estos son fundamentales para la biodegradación de otros contaminantes relacionados a la materia orgánica. Es por esto que se tomó en consideración las recomendaciones brindadas por tesis anteriores (C. Allazo, y otros, págs. 105-106) y (M. Farfán, p. 61) y se decidió realizar un muestreo del efluente tratado luego de un proceso de desinfección, con la finalidad de lograr el cumplimiento del estándar de calidad ambiental (ECA) para el parámetro Coliformes Termotolerantes y confirmar la posibilidad de uso del efluente tratado para el riego de áreas verdes. Además de generar un conocimiento adicional al grupo de investigación.

4.5.8.1. Determinación de la Demanda de Cloro, Curva de Cloración y

Punto de Ruptura. - Se determinó la demanda de cloro a utilizar en el efluente a partir de la elaboración de la Curva de Cloración - Dosis de Cloro total vs Cloro Residual - (Metcalf y Eddy, 1995, p. 381). Para esto se obtuvieron las concentraciones de Cloro Residual Libre de diferentes muestras de agua tratada con la finalidad de poder generar la Curva de Cloración.

Se consideró como suficiente la medición de 18 muestras de efluente tratado, mediante el método colorimétrico DPD (N, N Dietil Parafenileno Diamina).

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Equipo Colorímetro de bolsillo para Prueba de Cloro Marca Hach
- 3 vasos de precipitado de 1 litro
- 2 litros del efluente tratado
- 1 pipeta graduada de 20 ml
- 1 lejía o hipoclorito de sodio (NaOCl) marca Clorox
- 20 sobres de reactivo DPD para identificación visual de cloro residual libre
- 2 litros de agua destilada

Se llevaron a cabo los siguientes pasos para la generación de la Curva de Cloración:

- En un vaso de precipitado se preparó una solución de 1 litro a una concentración de 18.88 ppm de cloro como solución principal (añadiendo 1ml de lejía a 1 litro de agua destilada), puesto que se utilizaría para aplicar diferentes dosis de cloro a las 18 muestras de efluente, para luego medir las diferentes concentraciones de cloro residual en cada una.

- Antes de proceder a la medición de cloro residual de cada muestra. Se comprobó que la concentración de cloro contenida en la lejía era correcta. Para esto se preparó una solución en un matraz de Erlenmeyer de 100 ml con una concentración de 0.188 ppm (añadiendo 1ml con una pipeta de la solución principal a 100 ml de agua destilada), usando el equipo colorimétrico y el reactivo DPD obteniendo un valor de 0.19 ppm.
- Una vez confirmada la concentración de la lejía, se añadieron diferentes volúmenes de la solución principal (concentración 0.188 ppm de cloro) a 18 muestras diferentes, las cuales tenían cada una un volumen de 100 ml del efluente tratado en matraces Erlenmeyer. Los volúmenes añadidos a cada muestra, las dosis de cloro en concentraciones de cloro total, y los resultados de cloro residual obtenidos a través del equipo colorimétrico de cada una de las 18 muestras se muestran en la siguiente tabla:

TABLA N° 15.
TABLA DE DOSIFICACIÓN DE CLORO Y RESULTADOS DE CLORO RESIDUAL

Solución de 1 L a concentración 18.8 mg/L o ppm			
N° muestras del efluente tratado	Volumen adicionado	Cloro Total (mg/L)	Cloro Residual (mg/L)
1	1 ml	0.19	0.09
2	2 ml	0.38	0.22
3	3 ml	0.56	0.43
4	4 ml	0.75	0.49
5	5 ml	0.94	0.55
6	6 ml	1.13	0.67
7	7 ml	1.32	0.89
8	8 ml	1.51	0.96
9	9 ml	1.69	1.05
10	10 ml	1.88	1.19

Solución de 1 L a concentración 18.8 mg/L o ppm			
Nº muestras del efluente tratado	Volumen adicionado	Cloro Total (mg/L)	Cloro Residual (mg/L)
11	11 ml	2.07	1.24
12	12 ml	2.26	0.96
13	13 ml	2.45	0.95
14	14 ml	2.63	1.10
15	15 ml	2.82	1.20
16	16 ml	3.01	1.27
17	17 ml	3.20	1.30
18	18 ml	3.39	1.50

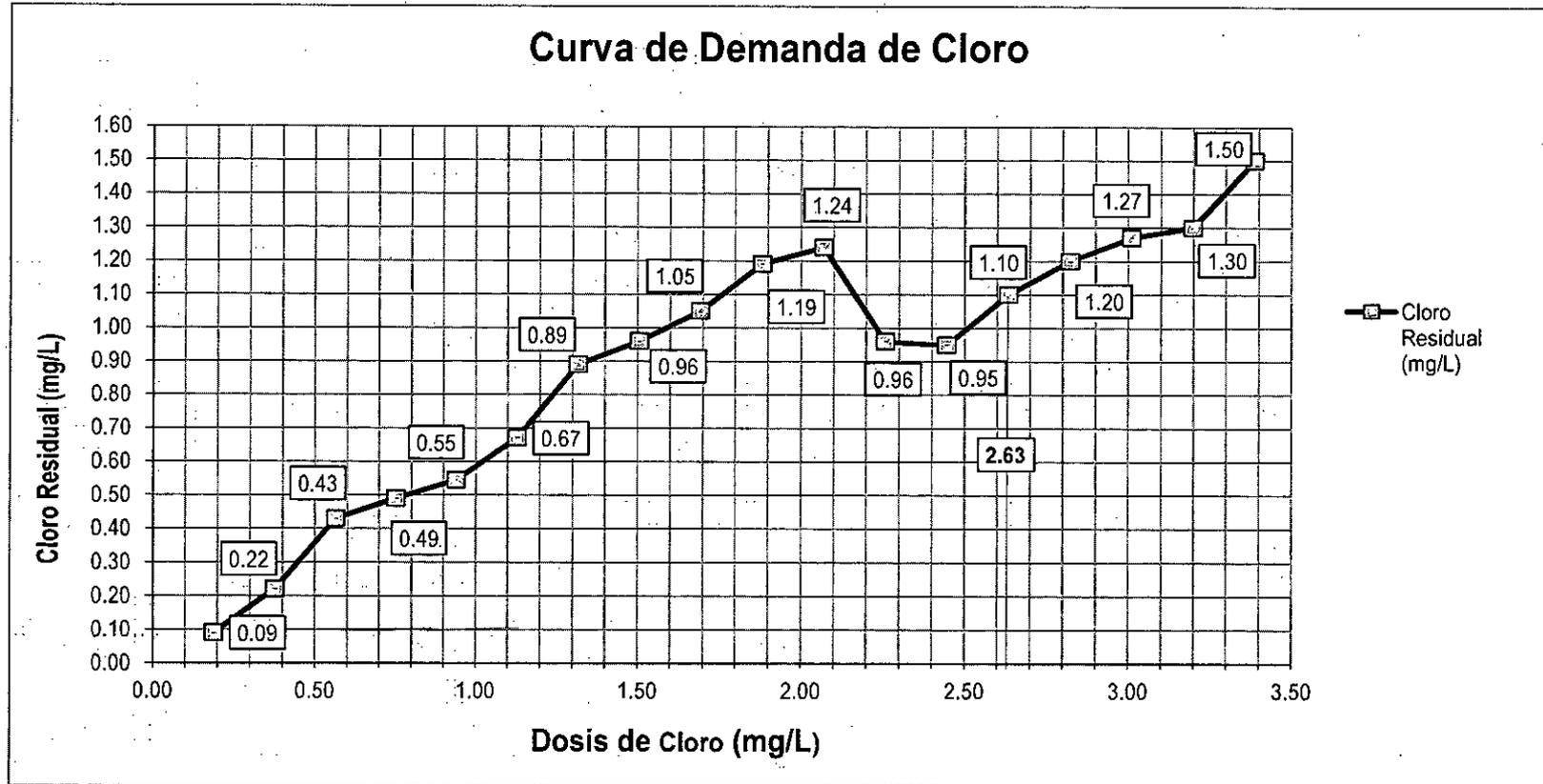
Fuente: Elaboración propia

El punto de ruptura o breakpoint se encontró en la muestra N° 14, a una concentración de cloro residual de 1.10 mg/L.

La dosis de cloro necesaria a aplicar en el efluente para una adecuada desinfección es 2.63 mg/L, asegurando una significativa remoción de los Coliformes termotolerantes. En proporciones por cada Litro de efluente tratado por el Sistema se puede añadir aproximadamente 3 gotas de lejía para su desinfección.

A partir de estos resultados de cloro total y residual de cada muestra se generó la siguiente Curva de cloración:

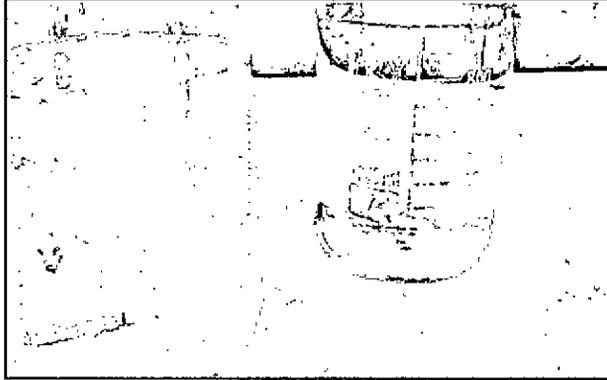
FIGURA N° 29. CURVA DE CLORACIÓN



Fuente: Elaboración propia

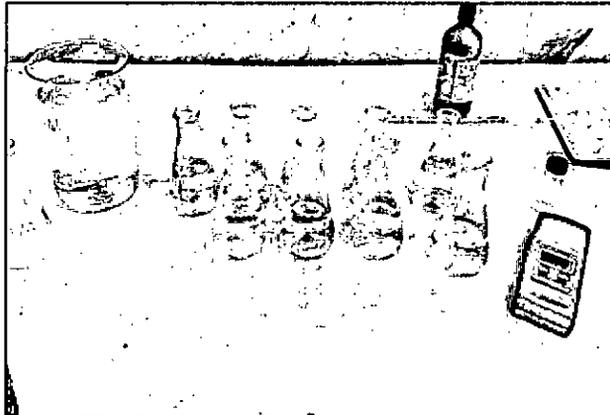
A continuación, se muestran imágenes registradas durante el proceso de determinación de la curva:

FIGURA N° 30.
MUESTRAS DE EFLUENTE TRATADO



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 31.
MATERIALES UTILIZADOS



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 32.
EQUIPO COLORIMÉTRICO DE CLORO



Fuente: Elaboración propia

4.5.9. Comparación de Resultados Obtenidos con las normativas respectivas.

- Los resultados obtenidos del Efluente tratado, fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental del D.S. N° 004-2017-MINAM y con los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 003-2010-MINAM.

4.5.10. Comparación de los resultados obtenidos con respecto al Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos sin Superficie de Contacto.-

Además se realizará una comparación con los resultados obtenidos para los mismos caudales de la Tesis de Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos convencionales.

4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos.- Los datos obtenidos durante todas las mediciones de muestreo fueron procesados mediante gráficos de tendencia y analizados. Además para determinar la eficiencia de remoción de cada parámetro se aplicó la siguiente ecuación.

$$E = \frac{S_i - S_f}{S_i} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

(1)Metcalf y Eddy (1995, p. 444).

Donde:

E=Eficiencia de remoción

S_i=Concentración antes del tratamiento (inicial)

S_f=Concentración después del tratamiento (final)

Los resultados obtenidos de los muestreos fueron comparados con la normativa ambiental vigente:

- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.
- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas o municipales.

CAPITULO V

RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados del Sistema de Tratamiento con Superficie de Contacto (SSC), los cuales fueron obtenidos para dos porcentajes de carriers adicionados: 50 % (150 L) y 55 % (165 L) del volumen útil del tanque de aireación (300 L).

Estos porcentajes se agregaron en diferentes periodos de muestreo y se utilizaron cuatro diferentes caudales tomados como referencia de la Tesis de Lodos Activados Continuos sin uso de soportes plásticos (L. Truenque et al. 2017 p. 10)

Los tiempos de retención hidráulica se determinaron a través de la siguiente ecuación:

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

Donde:

TRH = Tiempo de retención hidráulica variable

V = Volumen del tanque aireación del lecho móvil, el cual es constante

Q = Caudal del afluente variable

Estos se muestran a continuación:

**TABLA N° 16.
TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA**

Porcentaje de volumen de carriers (%)	Número de mediciones	Caudal muestreado (ml/min)	Caudal (L/día)	Volumen del tanque de aireación (L)	Tiempo de retención hidráulica (días)
50	01	90	129.6	300	2.31
	02	120	172.8		1.74
	03	150	216.0		1.39
	04	180	259.2		1.16
55	01	90	129.6	300	2.31
	02	120	172.8		1.74
	03	150	216.0		1.39
	04	180	259.2		1.16

Fuente: Elaboración propia

5.1. Evaluación de los indicadores de control del Sistema. - Comprende tanto la determinación de la evaluación de los indicadores visuales, los cuales se pueden calificar cualitativamente a través de la observación de los investigadores y los indicadores analíticos, los cuales requieren de pruebas adiciones de medición y/o análisis de laboratorio.

5.1.1. Evaluación de los indicadores visuales de Control. - Los indicadores visuales evaluados en el Sistema con Superficie de Contacto, fueron los siguientes: Biopelícula, rocío en difusores, color, olor, turbiedad del efluente, bulking, equipos.

Se realizó un control diario, la tabla muestra el resumen de las evaluaciones realizadas:

TABLA N° 17.
INDICADORES VISUALES DE CONTROL DEL SISTEMA

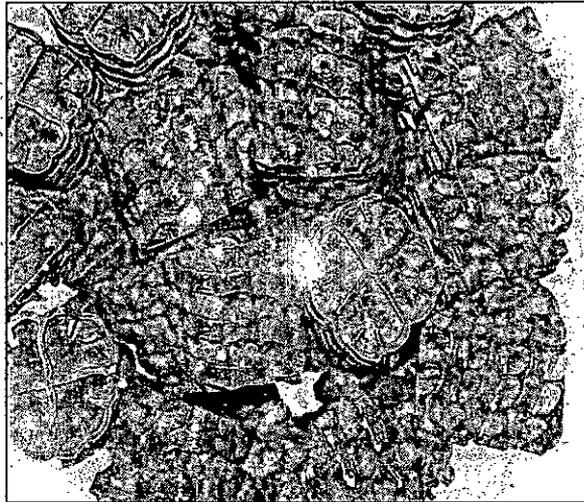
Porcentaje de Carriers (%)	Muestreo	Biopelícula	Rocío en difusores	Color	Olor	Turbiedad del efluente	Bulking	Funcionamiento de equipos
50	Periodo de Adaptación	Presencia	Adecuado	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Correcto
05	Periodo de Adaptación	Presencia	Adecuado	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Correcto
50	01	Presencia	Adecuado	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Inundación, reemplazo de bomba
	02	Presencia	Adecuado	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Correcto
	03	Desprendimiento o ligero	Adecuado	Ligeramente amarillo	Ligeramente a químico	Ligeramente amarillo, por presencia de pintura en afluente.	Ausencia	Correcto
	04	Muy delgada	Adecuado	Ligeramente amarillo	Ligeramente a químico	Ligeramente amarillo, por presencia de pintura en afluente.	Ausencia	Correcto

Porcentaje de Carriers (%)	Muestreo	Biopelícula	Rocío en difusores	Color	Olor	Turbiedad del efluente	Bulking	Funcionamiento de equipos
55	01	Presencia	Adecuado	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Correcto
	02	Delgada	Ligeramente alto	Ausencia	Ausencia	Ligeramente amarillo, presencia de detergentes u otros agentes oxidantes en el afluente.	Ausencia	Correcto
	03	Presencia	Adecuado	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Inundación, solucionado inmediatamente
	04	Presencia	Adecuado	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Correcto

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran imágenes de la biopelícula durante los muestreos realizados:

**FIGURA N° 33.
BIOPELÍCULA A 50%**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 34.
BIOPELÍCULA A 55%**



Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Evaluación de los indicadores analíticos de control.- Los indicadores analíticos evaluados en el Sistema de Tratamiento fueron:

- Porcentaje de volumen de relleno de carriers
- Superficie específica
- Caudal
- Oxígeno disuelto
- Potencial de hidrógeno
- Temperatura

Estos indicadores analíticos fueron evaluados, durante todo el periodo de muestreo, todos están relacionados al tanque de aireación.

El resultado obtenido de estos se utilizó para la determinación de los parámetros de control del Sistema de Tratamiento. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de los indicadores analíticos

**TABLA N° 18.
INDICADORES ANALÍTICOS DE CONTROL DEL SISTEMA**

Muestreo	Tanque de Aireación					
	Porcentaje de carriers (%)	Superficie específica (m ² /m ³)	Caudal (L/día)	Oxígeno Disuelto (mg O ₂ /l)	Potencial de hidrógeno	Temperatura
Adaptación	50	650	194.4	3.00	7.40	21.3
Adaptación	05	650	25.92	3.00	7.40	21.3
01	50	650	129.6	3.13	7.36	20.1
02			172.8	3.10	7.22	19.8
03			216.0	3.24	6.55	19.3
04			259.2	3.35	6.51	18.8
01	55	650	129.6	3.52	6.77	18.4
02			172.8	3.77	6.58	17.4
03			216.0	3.55	7.04	17.6
04			259.2	3.39	7.44	18.1

Fuente: Elaboración propia

5.2. Evaluación de los parámetros de control del Sistema. - Los parámetros de control del Sistema evaluados fueron los siguientes:

- Oxígeno disuelto
- Tiempo de retención hidráulica (días)
- Temperatura
- Potencial de hidrógeno
- Carga orgánica

Para obtener resultados significativos, se necesita un adecuado funcionamiento del Sistema de tratamiento, mediante de la evaluación de los parámetros de control del Sistema. Se realizaron mediciones diarias para mantener un adecuado control del sistema durante todos los muestreos realizados y también para verificar el comportamiento y respuesta del Sistema de Tratamiento.

Los resultados obtenidos y las curvas de tendencias de cada parámetro de control se muestran a continuación:

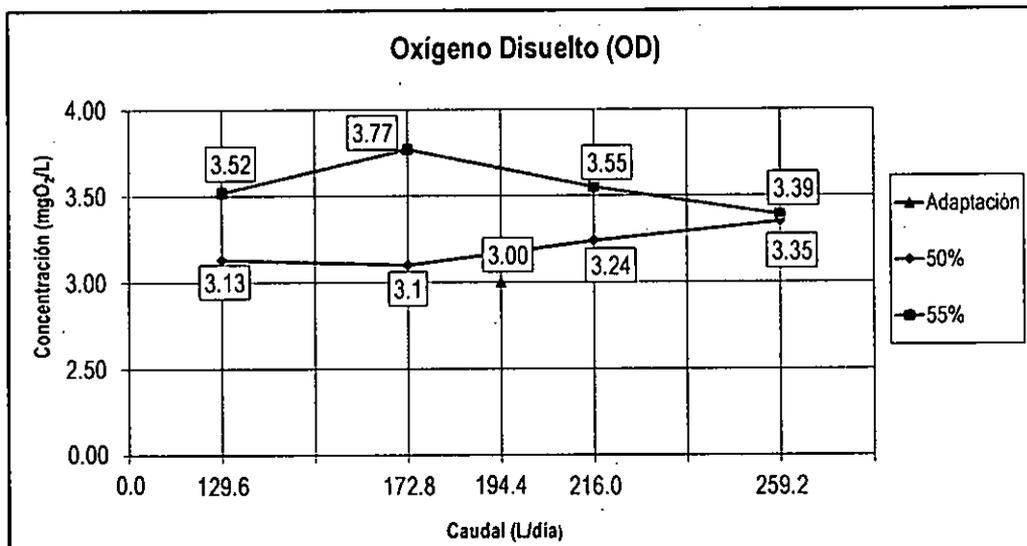
5.2.1. Oxígeno disuelto (mg O₂/L). - La medición de este parámetro de control se realizó diariamente. Las concentraciones de oxígeno disuelto en el Sistema de Tratamiento, se mantuvieron en un rango de 3 a 4 mg O₂/L, adecuado para la formación de la biopelícula.

**TABLA N° 19.
OXÍGENO DISUELTO (OD)**

Porcentaje de carriers (%)	Parámetros	Muestreo				
		Adaptación	01	02	03	04
	Caudal	194.4	129.6	172.8	216.0	259.20
50	Oxígeno disuelto (mg O ₂ /L)	3.00	3.13	3.10	3.24	3.35
55			3.62	3.77	3.55	3.39

Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 35.
OXÍGENO DISUELTO**



Fuente: Elaboración propia

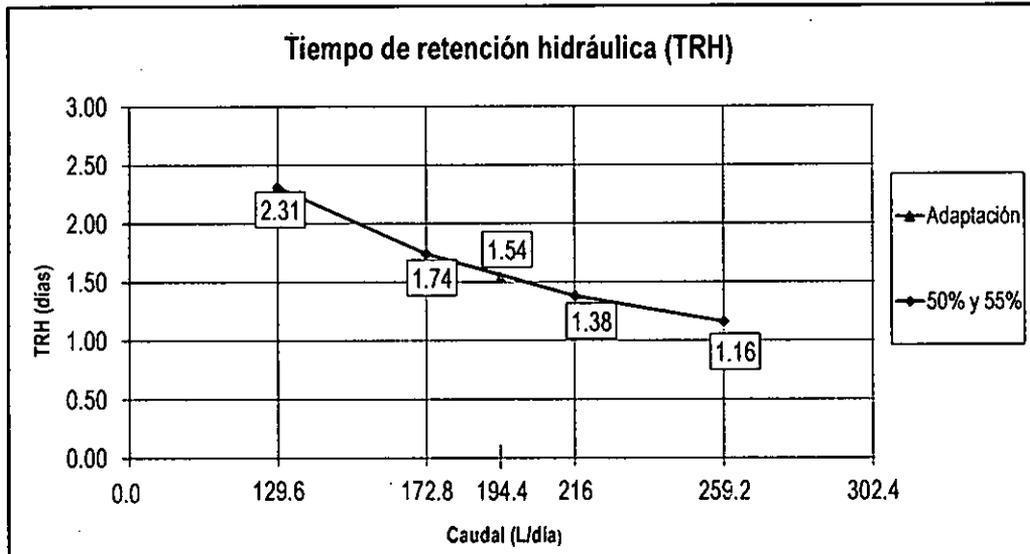
5.2.2. Tiempo de retención hidráulica (días). - Se realizó una medición volumétrica diaria de los caudales para que estos se mantengan constantes durante todos los muestreos y de esta forma mantener constantes los tiempos de retención hidráulica. Este se calcula al dividir el volumen útil constante (300 L) del tanque aireación entre los caudales utilizados. Para este parámetro, el valor mínimo fue 1.16 días y el valor máximo fue 2.31 días.

**TABLA N° 20.
TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH)**

Porcentaje de carriers (%)	Parámetros	Muestreo				
		Adaptación	01	02	03	04
	Caudal	194.4	129.6	172.8	216.0	259.20
50	Tiempo de retención hidráulica (días)	1.54	2.31	1.74	1.38	1.16
55						

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 36.
TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA



Fuente: Elaboración propia

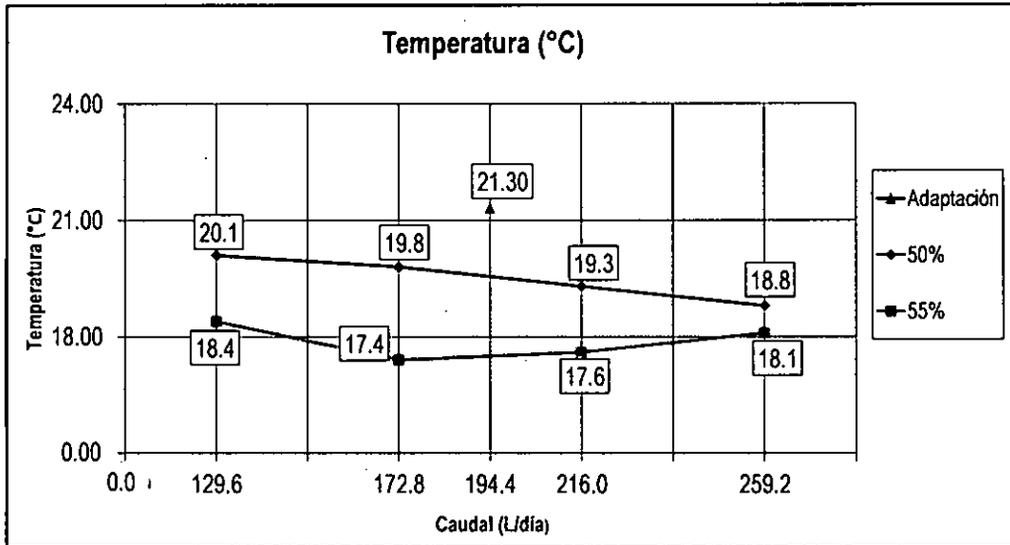
5.2.3. Temperatura (°C). - Se realizó un muestreo diario de este parámetro, los resultados obtenidos promedio de temperatura en el tanque de aireación, estuvieron muy próximos a la temperatura ambiental, siendo más alta debido a la actividad microbiana. La temperatura máxima es 21.3 °C y la temperatura mínima 17.4 °C, esto es debido a la disminución de la temperatura ambiental originada por el cambio de estación, de otoño a invierno.

TABLA N° 21.
TEMPERATURA (°C)

Porcentaje de carriers (%)	Parámetros	Muestreo				
		Adaptación	01	02	03	04
	Caudal	194.4	129.6	172.8	216.0	259.20
50	Temperatura (°C)	21.3	20.1	19.8	19.3	18.8
55			18.4	17.4	17.6	18.1

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 37.
TEMPERATURA (°C)



Fuente: Elaboración propia

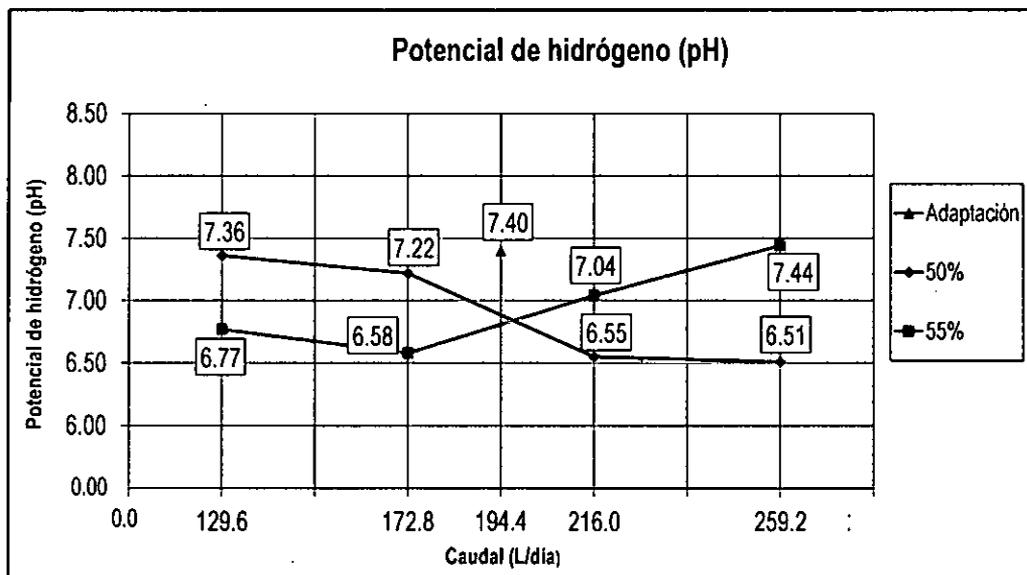
5.2.4. Potencial de hidrógeno. - Se realizó un muestreo diario de este parámetro. Lo ideal para el sistema de tratamiento biológico es que el pH se encuentre en un rango de 6.5 y 8.5 para beneficiar la actividad microbiana. Diariamente estuvo en este rango a pesar de disminuir en algunos días. El valor máximo de PH fue 7.44 y el valor mínimo fue 6.51. Los resultados promedios se muestran en la siguiente tabla:

TABLA N° 22.
POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)

Porcentaje de carriers (%)	Parámetros	Muestreo				
		Adaptación	01	02	03	04
	Caudal	194.4	129.6	172.8	216.0	259.20
50	Potencial de hidrógeno (pH)	7.40	7.36	7.22	6.55	6.51
55			6.77	6.58	7.04	7.44

Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 38.
POTENCIAL DE HIDRÓGENO**



Fuente: Elaboración propia

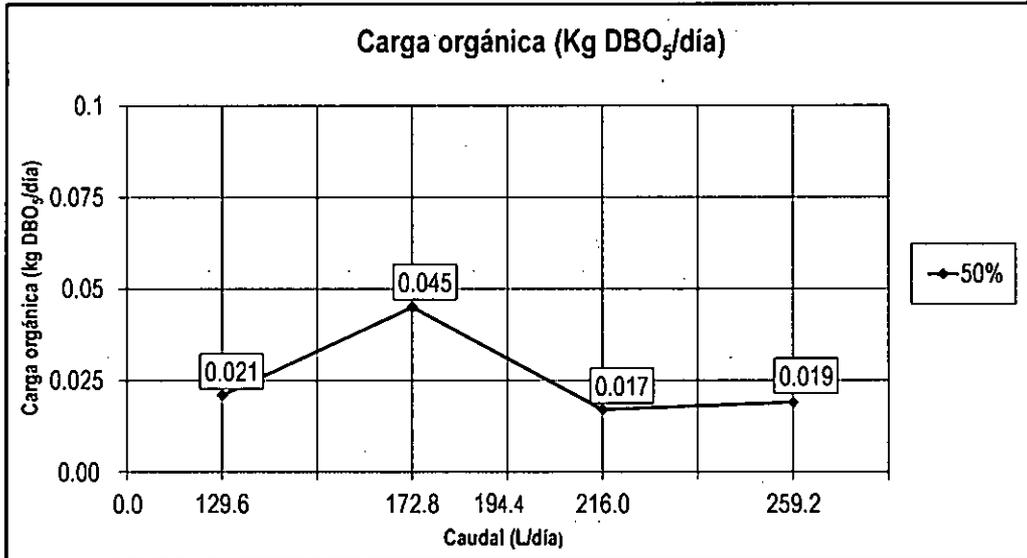
5.2.5. Carga orgánica.- Se realizó el cálculo de las cargas orgánicas del parámetro DBO₅, estas determinaron del producto de dos los caudales utilizados y las concentraciones de DBO₅, en cada muestreo. Las mayores cargas orgánicas se presentaron en el segundo muestreo y las menores en el tercero. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**TABLA N° 23.
CARGA ORGÁNICA**

Porcentaje de carriers (%)	Parámetros	Muestreo			
		01	02	03	04
	Caudal	129.6	172.8	216.0	259.20
50	Carga orgánica (kg DBO ₅ /día)	0.021	0.045	0.017	0.019

Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 39.
CARGA ORGÁNICA**



Fuente: Elaboración propia

El resumen de los resultados obtenidos de los parámetros de control del Sistema de Tratamiento se muestra en la siguiente tabla:

**TABLA N° 24.
RESUMEN DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL EVALUADOS**

Carrier s (%)	Muestreo	Caudal (L/día)	OD (mg O ₂ /L)	TRH (días)	Temperatura (°C)	pH	Carga orgánica (kg DBO ₅ /día)
50	Adaptación	194.4	3.00	1.54	21.3	7.40	-
50	01	129.6	3.13	2.31	20.1	7.36	0.021
	02	172.8	3.10	1.74	19.8	7.22	0.045
	03	216.0	3.24	1.38	19.3	6.55	0.017
	04	259.2	3.35	1.16	18.8	6.51	0.019
55	01	129.6	3.62	2.31	18.4	6.77	-
	02	172.8	3.77	1.74	17.4	6.58	-
	03	216.0	3.55	1.38	17.6	7.04	-
	04	259.2	3.39	1.16	18.1	7.44	-

Fuente: Elaboración propia

5.3. Evaluación de los parámetros de modelado del Sistema de Tratamiento.-

Los parámetros de modelado fueron los siguientes:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- Aceites y Grasas (A&G)
- Coliformes Termotolerantes
- Oxígeno disuelto (OD)
- Temperatura
- Potencial de hidrógeno (pH)

Los parámetros DBO₅, DQO, SST, A&G y Coliformes Termotolerantes, fueron muestreados en el afluente y el efluente del Sistema de tratamiento con la finalidad de determinar la eficiencia de remoción de cada parámetro.

Se midieron in situ en el efluente los parámetros oxígeno disuelto, temperatura y potencial de hidrógeno.

Asimismo, se realizó comparación de los resultados de los efluentes de todos los parámetros con los valores establecidos en el ECA Agua Categoría 3, Subcategoría D1, agua para riego no restringido de vegetales.

Estas mediciones se realizaron para ambos porcentajes de volumen de relleno de carriers 50 % y 55%.

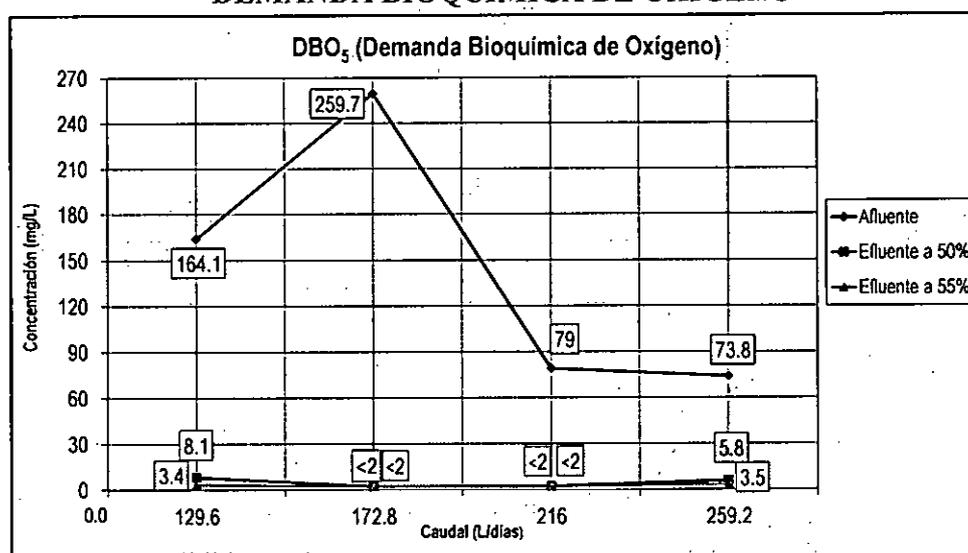
5.3.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): El valor máximo para el afluente fue 259.7 mg/L y el valor mínimo fue 73.8 mg/L. Para los porcentaje de 50% y 55% de carriers, se obtuvieron valores máximos de 8.1 mg/L y 3.5 mg/L respectivamente, y para ambos porcentajes se obtuvieron valore mínimos (<2 mg/L), incluso por debajo del límite de cuantificación de laboratorio para el segundo y tercer muestreo.

**TABLA N° 25.
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO**

Porcentaje de carriers (%)	Parámetros	Muestreo			
		01	02	03	04
	Caudal (L/día)	129.6	172.8	216.0	259.2
	TRH (días)	2.31	1.74	1.39	1.16
	DBO ₅ (mg/L) Afluente	164.1	259.7	79	73.8
50	DBO ₅ (mg/L) Efluente	8.1	<2	<2	5.8
55	DBO ₅ (mg/L) Efluente	3.4	<2	<2	3.5

Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 40.
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO**



Fuente: Elaboración propia

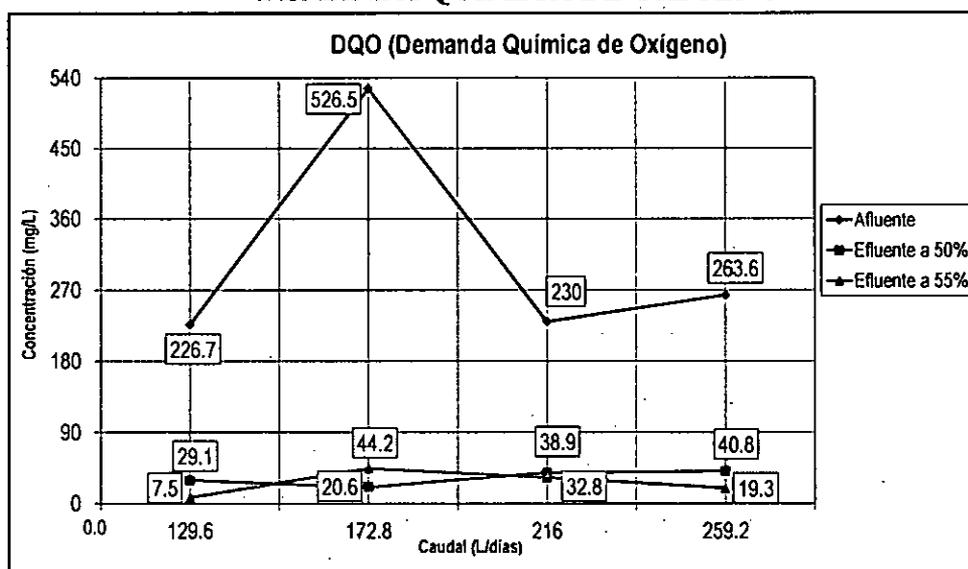
5.3.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO): El valor máximo para el afluente fue 526.5 mg/L y el valor mínimo fue 226.7 mg/L. Para el porcentaje de 50%, el valor máximo para efluente fue 40.8 mg/L y el valor mínimo fue 20.6 mg/L. Para el porcentaje de 55% el valor máximo para efluente fue 44.2 mg/L y el valor mínimo fue 7.5 mg/L.

**TABLA N° 26.
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO**

Porcentaje de carriers (%)	Parámetros	Muestreo			
		01	02	03	04
	Caudal (L/día)	129.6	172.8	216.0	259.2
	TRH (días)	2.31	1.74	1.39	1.16
	DQO (mg/L) Afluente	226.7	526.5	230	263.6
50	DQO (mg/L) Efluente	29.1	20.6	38.9	40.8
55	DQO (mg/L) Efluente	7.5	44.2	32.8	19.3

Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 41.
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO**



Fuente: Elaboración propia

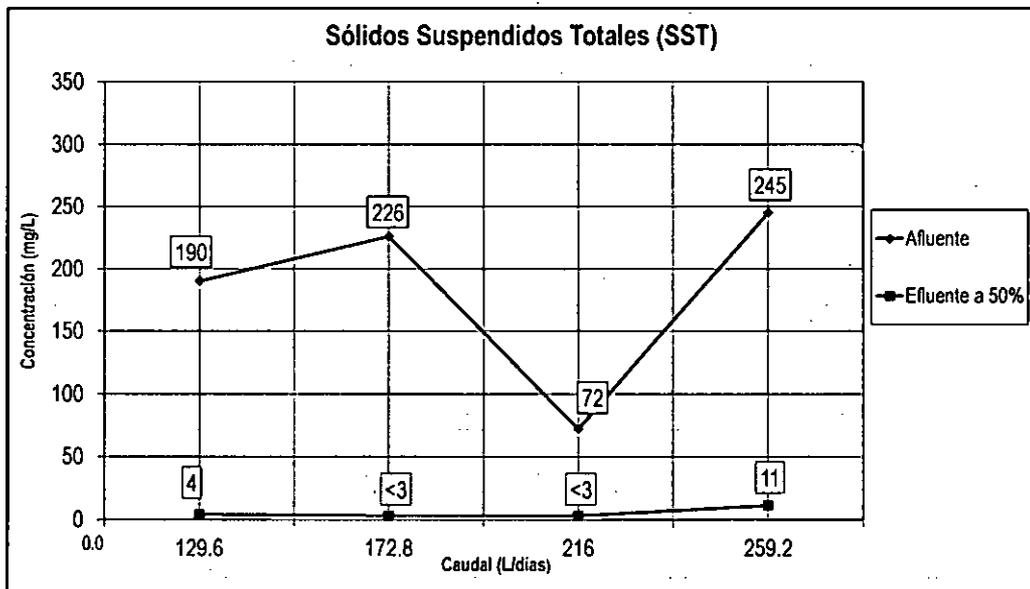
5.3.3. Sólidos Suspendidos Totales (SST): El valor máximo para el afluente fue 245 mg/L y el valor mínimo fue 72 mg/L. El valor máximo para efluente fue 11 mg/L y el valor mínimo fue <3 mg/L, incluso menor al límite de cuantificación para el segundo y tercer muestreo.

TABLA N° 27.
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Porcentaje de carriers (%)	Parámetros	Muestreo			
		01	02	03	04
50	Caudal (L/día)	129.6	172.8	216.0	259.2
	TRH (días)	2.31	1.74	1.39	1.16
	SST (mg/L) Afluente	190	226	72	245
	SST (mg/L) Efluente	4	<3	<3	11

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 42.
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES



Fuente: Elaboración propia

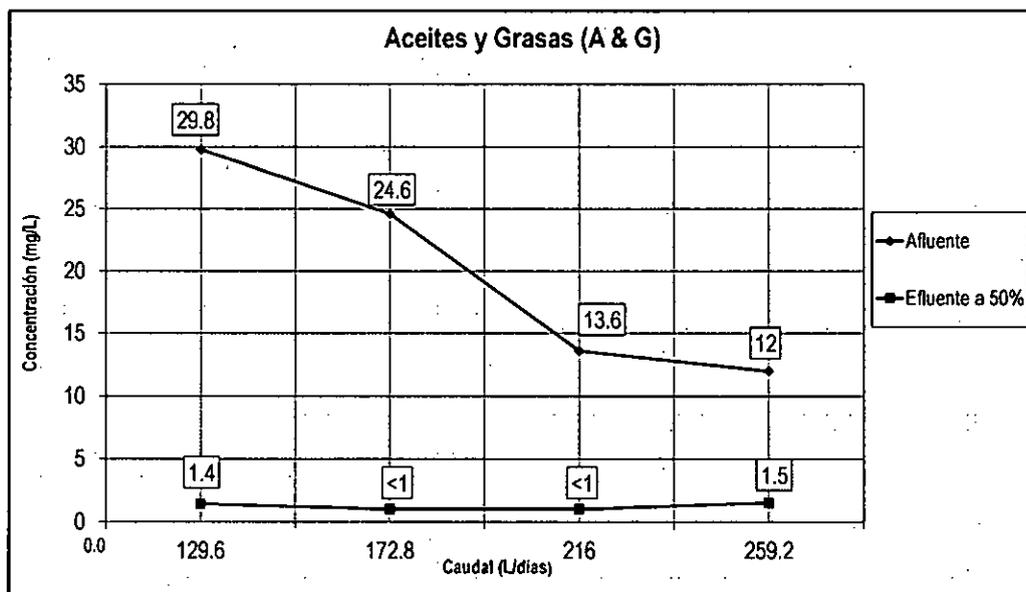
5.3.4. Aceites y Grasas (A & G): El valor máximo para el afluente fue 245 mg/L y el valor mínimo fue 226 mg/L. El valor máximo para el efluente fue 11 mg/L y el valor mínimo fue <1 mg/L, incluso menor al límite de cuantificación del laboratorio para el segundo y tercer muestreo.

TABLA N° 28.
ACEITES Y GRASAS

Porcentaje de carriers (%)	Parámetros	Muestreo			
		01	02	03	04
50	Caudal (L/día)	129.6	172.8	216.0	259.2
	TRH (días)	2.31	1.74	1.39	1.16
	A&G (mg/L) Afluente	29.8	24.6	13.6	12
	A&G (mg/L) Efluente	1.4	<1	<1	1.5

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 43.
ACEITES Y GRASAS



Fuente: Elaboración propia

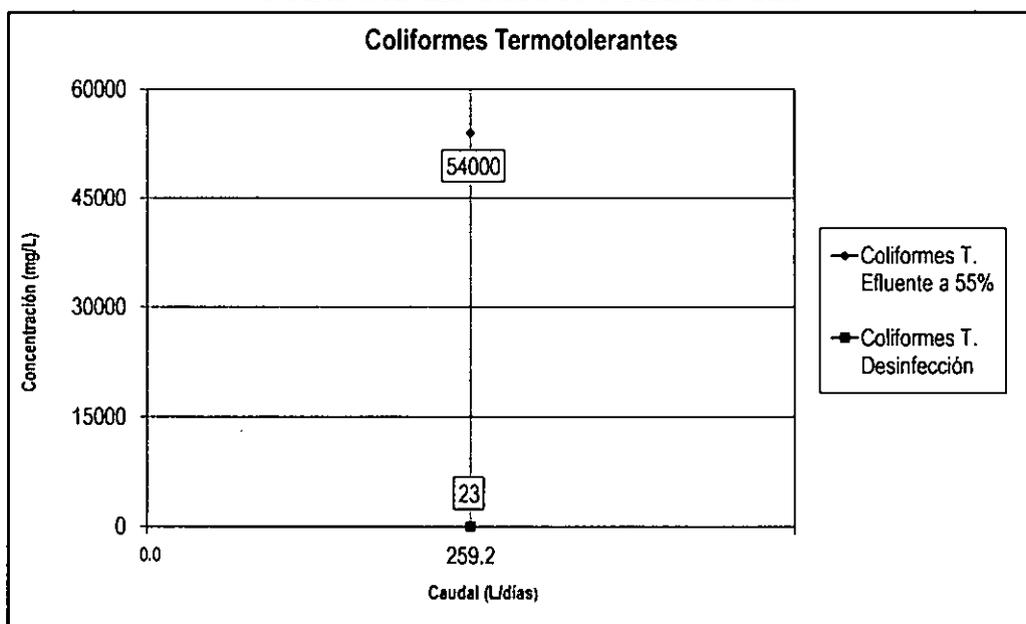
5.3.5. Coliformes Termotolerantes: A un porcentaje de 50% de volumen de relleno de carriers. El efluente tuvo un valor de 54000 NMP/100 ml y el efluente posterior a un proceso de desinfección por cloración se redujo considerablemente a un valor de 23 mg/L.

**TABLA N° 29.
COLIFORMES TERMOTOLERANTES**

Porcentaje de carriers (%)	Parámetros	Muestreo
		04
55	Caudal (L/día)	259.2
	TRH (días)	1.16
	Coliformes T. (mg/L) Efluente	54000
	Coliformes T. (mg/L) Efluente Posterior a la Desinfección	23

Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 44.
COLIFORMES TERMOTOLERANTES**



Fuente: Elaboración propia

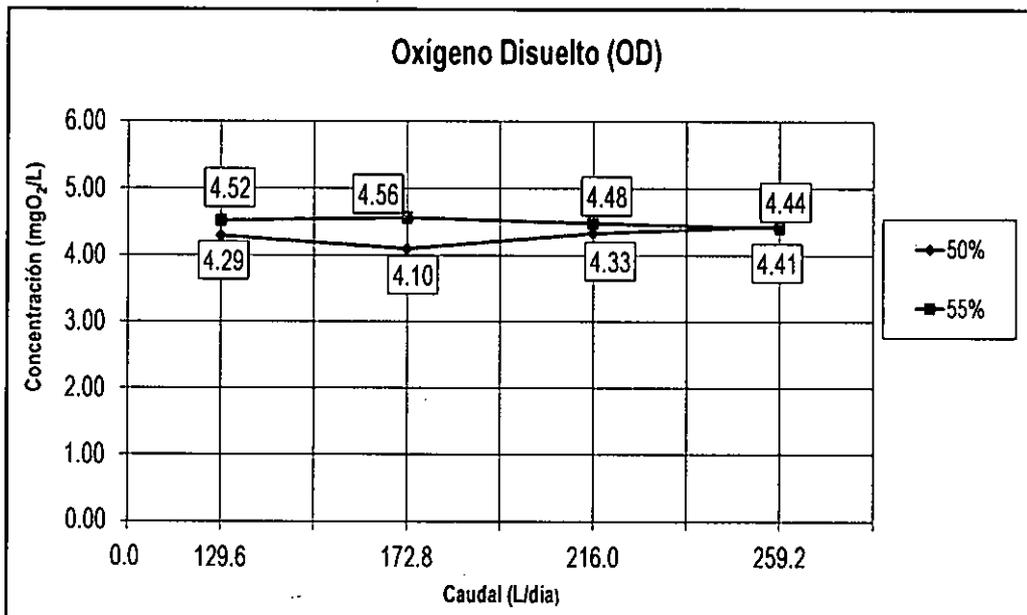
5.3.6. Oxígeno Disuelto (OD): El valor máximo de oxígeno disuelto fue 4.56 mg/L y el valor mínimo fue 4.10 mg/l. Los valores promedio para cada muestreo obtenidos en los diferentes porcentajes de volumen usados fueron los siguientes:

TABLA N° 30.
OXÍGENO DISUELTO EN EFLUENTE

Porcentaje de carriers (%)	Parámetros	Muestreo			
		01	02	03	04
	Caudal (L/día)	129.6	172.8	216.0	259.2
	TRH (días)	2.31	1.74	1.39	1.16
50	OD (mg O ₂ /L) Efluente	4.29	4.10	4.33	4.44
55	OD (mg O ₂ /L) Efluente	4.52	4.56	4.48	4.41

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 45.
OXÍGENO DISUELTO EN EL EFLUENTE



Fuente: Elaboración propia

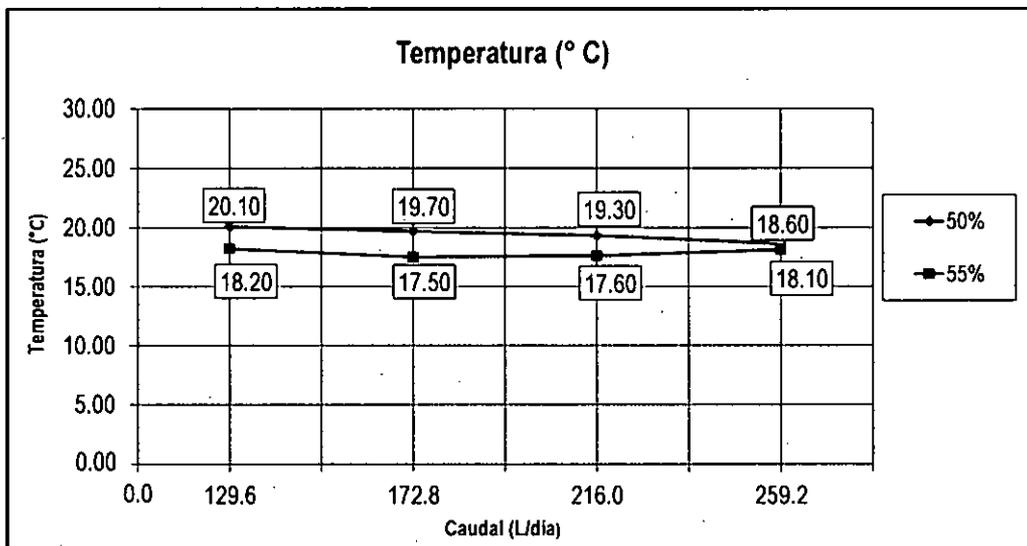
5.3.7. Temperatura (° C): El valor máximo de temperatura fue 20.1 mg/L y el valor mínimo fue 17.4 mg/l. Los valores promedio para cada muestreo obtenidos en los diferentes porcentajes de volumen usados fueron los siguientes.

TABLA N° 31.
TEMPERATURA EN EFLUENTE

Porcentaje de carriers (%)	Parámetros	Muestreo			
		01	02	03	04
	Caudal (L/día)	129.6	172.8	216.0	259.2
	TRH (días)	2.31	1.74	1.39	1.16
50	Temperatura (° C) Efluente	20.1	19.7	19.3	18.6
55	Temperatura (° C) Efluente	18.2	17.5	17.6	18.1

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 46.
TEMPERATURA EN EL EFLUENTE



Fuente: Elaboración propia

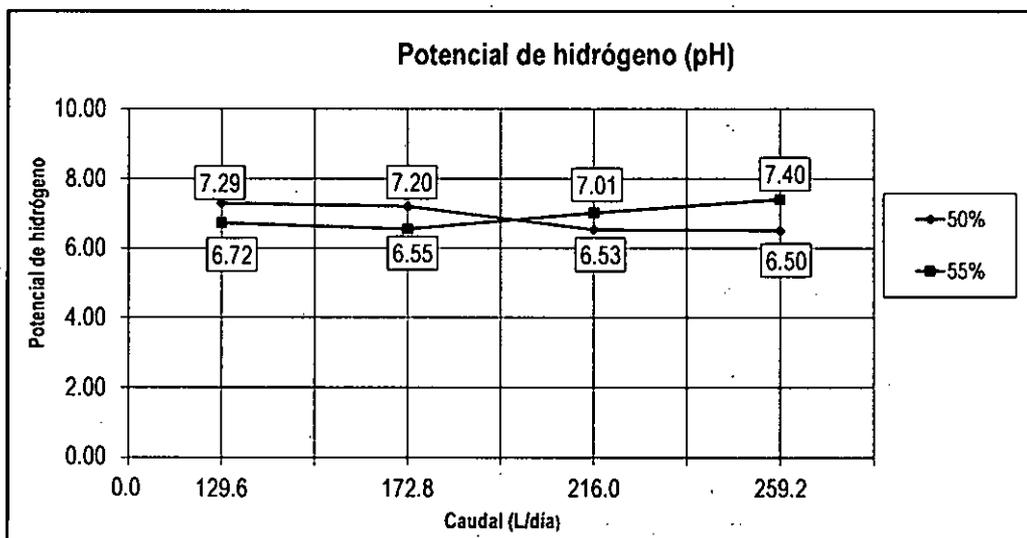
5.3.8. Potencial de hidrógeno (pH): El valor máximo fue de 7.4 mg/L y el valor mínimo fue 6.5 mg/l. Los valores promedio para cada muestreo obtenidos en los diferentes porcentajes de volumen usados fueron los siguientes.

**TABLA N° 32.
POTENCIAL DE HIDRÓGENO EN EFLUENTE**

Porcentaje de carriers (%)	Parámetros	Muestreo			
		01	02	03	04
	Caudal (L/día)	129.6	172.8	216.0	259.2
	TRH (días)	2.31	1.74	1.39	1.16
50	Potencial de hidrógeno (pH) Efluente	7.29	7.20	6.53	6.50
55	Potencial de hidrógeno (pH) Efluente	6.72	6.55	7.01	7.40

Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 47.
POTENCIAL DE HIDRÓGENO EN EL EFLUENTE**



Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra un resumen de los resultados obtenidos de los parámetros de modelo del Sistema de tratamiento:

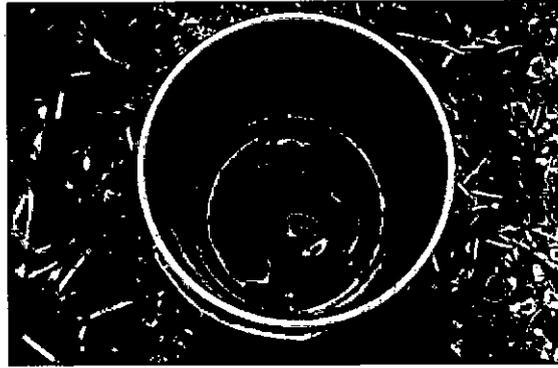
TABLA N° 33.
RESUMEN DE RESULTADOS DE 50% Y 55% DE VOLUMEN USADO

Analizados en Laboratorio Acreditado																	
Parámetros Físico químicos	Unidad	Porcentaje de carriers a 50 %								Porcentaje de carriers a 55 %							
		Muestras								Muestras							
		N° 01 (13/06/17)		N° 02 (30/06/17)		N° 03 (11/07/17)		N° 04 (31/07/17)		N° 01 (07/08/17)		N° 02 (14/08/17)		N° 03 (21/08/17)		N° 04 (31/08/17)	
		Caudales (L/día)								Caudales (L/día)							
		129.6		172.8		216.0		259.2		129.6		172.8		216.0		259.2	
		Tiempos de Retención Hidráulica (días)								Tiempos de Retención Hidráulica (días)							
		2.31		1.74		1.39		1.16		2.31		1.74		1.39		1.16	
		A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	E	E	E	E		
DBO ₅	mg/L	164.1	8.1	259.7	<2	79	<2	73.8	5.8	3.4	<2	<2	3.5				
DQO	mg/L	226.7	29.1	526.5	20.6	230	38.9	263.6	40.8	7.5	44.2	32.8	19.3				
SST	mg/L	190	4	226	<3	72	<3	245	11	Parámetro Microbiológico		Unidad	(14/09/17)				
										Coliformes Termotolerantes		NMP/100	54000				
Aceites y grasas	mg/L	29.8	1.4	24.6	<1	13.6	<1	12	1.5	Coliformes T. posterior a la desinfección		ml	23				
Medidos In Situ																	
Parámetros	Unidad	Porcentaje de carriers a 50%								Porcentaje de carriers a 55%							
		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E				
Oxígeno disuelto	mgO ₂ /L	4.29	4.10	4.33	4.44	4.52	4.56	4.48	4.41								
Temperatura	°C	20.1	19.7	19.3	18.6	18.2	17.5	17.6	18.1								
Potencial de hidrógeno	-	7.29	7.20	6.53	6.50	6.72	6.55	7.01	7.40								

A: Afluente, E: Efluente, Fuente: Elaboración propia

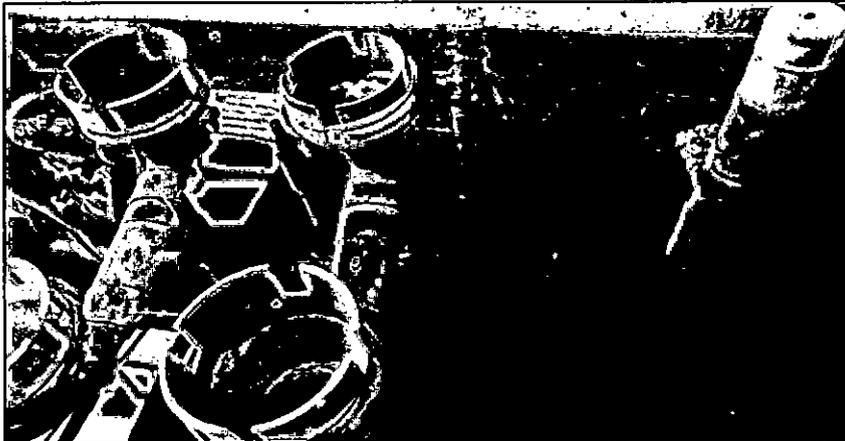
A continuación se muestran imágenes sobre la mejora de la calidad del agua del efluente tratado por el Sistema:

FIGURA N° 48. AFLUENTE (AGUA RESIDUAL)



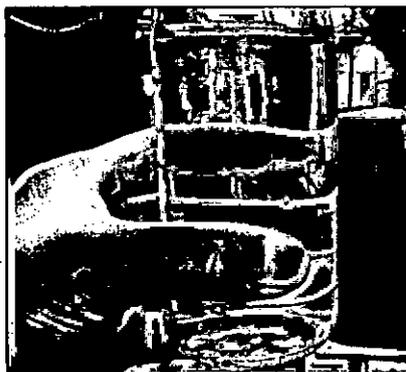
Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 49. EFLUENTE TRATADO EN EL SEDIMENTADOR



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 50. EFLUENTE TRATADO EN EL RECIPIENTE



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta un análisis detallado e interpretación de los resultados obtenidos durante el periodo de muestreo, además de una comparación de estos con la normativa ambiental vigente y también con los resultados de la Tesis del Sistema de Lodos Activados continuos sin uso de Superficie de Contacto (C. Allazo, et al. págs. 71-98); y además con otros trabajos de investigación similares, con la finalidad de contrastación de la hipótesis

Es importante aclarar que la presente investigación no se enfoca en el diseño o construcción del Sistema de Tratamiento, sino en la evaluación de la Eficiencia del Sistema de Lodos Activados Continuos con Superficie de Contacto, ubicado en la planta pilo de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales.

6.1. Evaluación de la calidad del agua residual doméstica posterior a su tratamiento

Se realizó la comparación de los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 3, Subcategoría D1, agua para riego no restringido de vegetales del D.S. N° 004-2017 MINAM, y con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluente de Planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Domésticas o Municipales del D.S. N° 003-2010 MINAM, con el propósito de que el fluente tratado cumpla con las características mínimas para el uso en riego de áreas verdes y para una PTAR respectivamente. La siguiente tabla resume los resultados de los parámetros evaluados en el efluente, a diferentes caudales (C. Allazo, et al. 2017, p. 10):

TABLA N° 34. COMPARACIÓN DEL EFLUENTE CON LOS ECA Y LMP

Parámetros Físico Químico	Unidad	Resultados 50% de volumen de carriers				Resultados a 55% de volumen de carriers				ECA ⁽¹⁾	LMP ⁽²⁾
		N° 01 (13/06/17)	N° 02 (30/06/17)	N° 03 (11/07/17)	N° 04 (31/07/17)	N° 01 (07/08/17)	N° 02 (14/08/17)	N° 03 (21/08/17)	N° 04 (31/08/17)		
		Caudales (L/día)				Caudales (L/día)					
		129.6	172.8	216.0	259.2	129.6	172.8	216.0	259.2		
		Tiempos de Retención Hidráulica (días)				Tiempos de Retención Hidráulica (días)					
2.31	1.74	1.39	1.16	2.31	1.74	1.39	1.16				
DBO ₅	mg/L	8.1	<2	<2	5.8	3.4	<2	<2	3.5	15	100
DQO	mg/L	29.1	20.6	38.9	40.8	7.5	44.2	32.8	19.3	40	200
SST	mg/L	4	<3	<3	11	-				-	150
A & G	mg/L	1.4	<1	<1	1.5	-				5	20
Parámetro Microbiológico	NMP / 100 ml	Coliformes Termotolerantes							54000	1000	10000
		Coliformes T. Posterior a la desinfección (14/09/17)							23		
Oxígeno disuelto	mg O ₂ /L	4.29	4.10	4.33	4.44	4.52	4.56	4.48	4.41	≥4	-
Temperatura	°C	20.1	19.7	19.3	18.6	18.2	17.4	17.5	18.1	Δ 3*	<35
Potencial de hidrógeno	-	7.29	7.20	6.53	6.50	6.72	6.55	7.01	7.40	6.5-8.5	6.5-8.5

(1)D.S. N° 004-2017-MINAM, (2) D.S. N° 003-2010-MINAM

* Δ 3: Significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

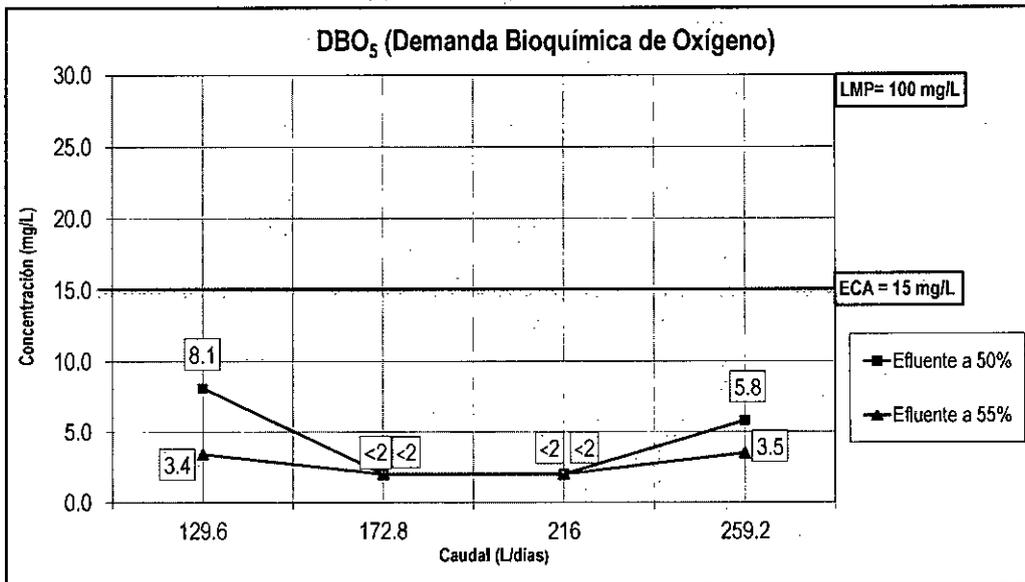
Fuente: Elaboración propia

6.1.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)

Para ambos porcentajes de volumen de relleno de carriers de 50% y 55%, todos los resultados obtenidos a diferentes tiempos de retención hidráulica, se encontraron por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (15 mg/L) y el Límite Máximo Permisible (100 mg/L), incluso para el segundo y tercer muestreo se obtuvo para ambos un valor por debajo del límite de cuantificación del laboratorio <2 mg/L.

A pesar del incremento de los caudales, y por consiguiente reducción de los tiempos de retención hidráulica, el Sistema de Tratamiento presentó flexibilidad y estabilidad en sus resultados.

FIGURA N° 51. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO



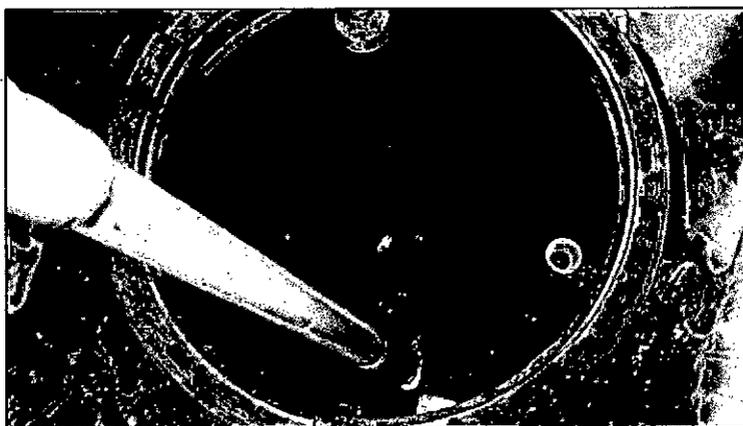
Fuente: Elaboración propia

6.1.2. Demanda Química de Oxígeno (mg/L)

Para un 50% de volumen de carriers, todos los resultados obtenidos a diferentes tiempos de retención hidráulica, se encontraron por debajo del Límite Máximo Permisible (200 mg/L). Con respecto al Estándar de Calidad Ambiental (40 mg/L), solo el cuarto muestreo lo superó ligeramente con un valor de 40.8 mg/L.

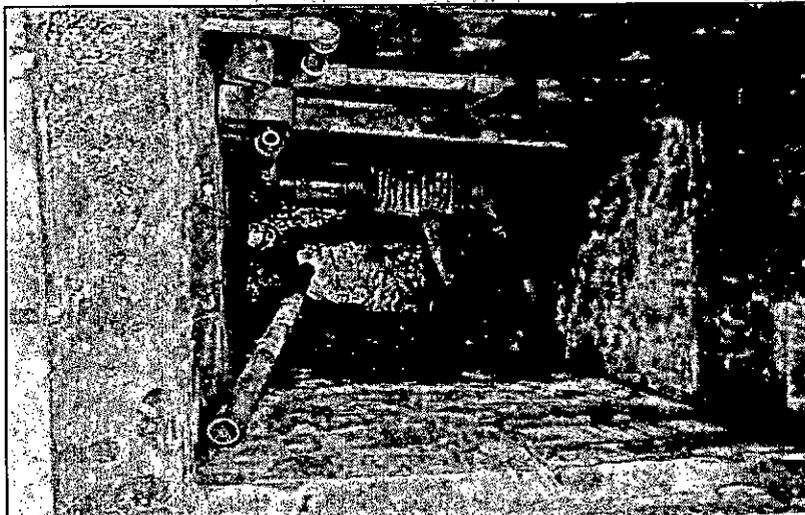
Cabe mencionar que para el tercer y cuarto muestreo, la relación DBO_5/DQO de los resultados obtenidos del afluente (agua residual que ingresa al Sistema) se encontraron por debajo del intervalo 0.4 a 0.8 para aguas residuales domésticas típicas (Metcalf y Eddy, 1995, p. 95) con valores de 0.34 y 0.28 respectivamente. Esto es ratificado, puesto que durante el periodo de tiempo de estos dos muestreos (desde el 01 al 31 de Julio), se observó la presencia en el afluente de agentes contaminantes externos al Sistema de Tratamiento, proveniente de vertimientos químicos al alcantarillado, producto de la limpieza de los utensilios utilizados para el pintado de las edificaciones de toda la Universidad Nacional del Callao (UNAC). Las evidencias de lo mencionado se muestran a continuación:

FIGURA N° 52.
PINTURA EN EL TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 53.
PINTURA EN EL ALCANTARILLADO



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 54.
BALDES DE PINTURA



Fuente: Elaboración propia

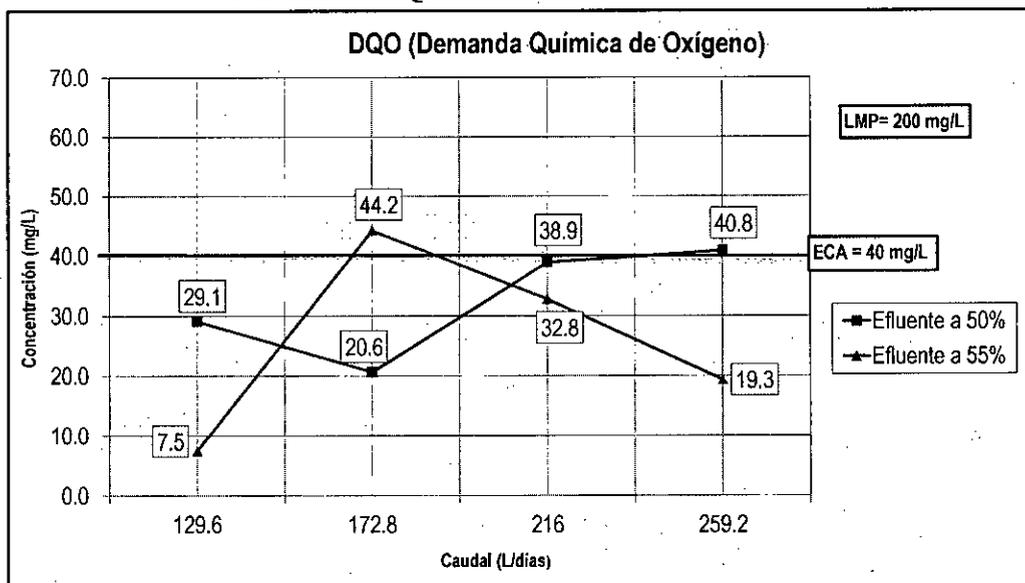
Entonces los valores de DQO que ingresaron al Sistema eran en su mayoría eran no biodegradables, y como se ha mencionado un Sistema de Tratamiento Biológico solo remueva materia orgánica biodegradable.

Para un 55% de volumen de carriers, todos los resultados obtenidos a diferentes tiempos de retención hidráulica, se encontraron por debajo del Límite Máximo Permisible (200 mg/L). Con respecto al Estándar de Calidad Ambiental (40 mg/L), solo el cuarto muestreo lo superó con un valor de 44.2 mg/L.

El resultado obtenido para este muestreo, pudo haberse sido influenciado directamente, por la presencia de detergentes u otros agentes oxidantes no biodegradables en el afluente, usados para la limpieza de la mayoría de los servicios, comedores e interiores de la UNAC, puesto que la fecha de muestreo (14 de agosto del 2017) coincide con el inicio de clases de los estudiantes del segundo semestre.

A pesar de la presencia de contaminantes externos en ambos porcentajes de carriers, el sistema tuvo un comportamiento resistente, debido a la capacidad de protección de la biopelícula, reflejado en los resultados obtenidos.

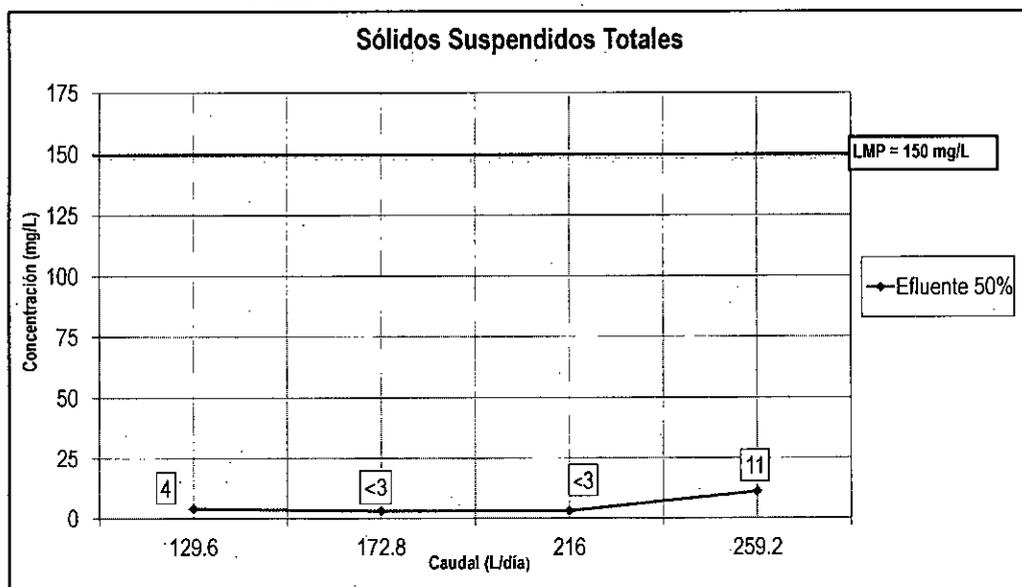
FIGURA N° 55.
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO



Fuente: Elaboración propia

6.1.3. Sólidos Suspendidos Totales (mg/L).- Para ambos porcentajes de volumen de relleno de carriers de 50% y 55%, todos los resultados obtenidos a diferentes tiempos de retención hidráulica, se encontraron por debajo del Límite Máximo Permisible (150 mg/L), incluso para el segundo y tercer muestreo se obtuvo para ambos, un valor por debajo del límite de cuantificación del laboratorio <3 mg/L. El Sistema de Tratamiento presentó flexibilidad antes las variaciones de tiempos de retención hidráulica y estabilidad en sus resultados.

FIGURA N° 56.
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

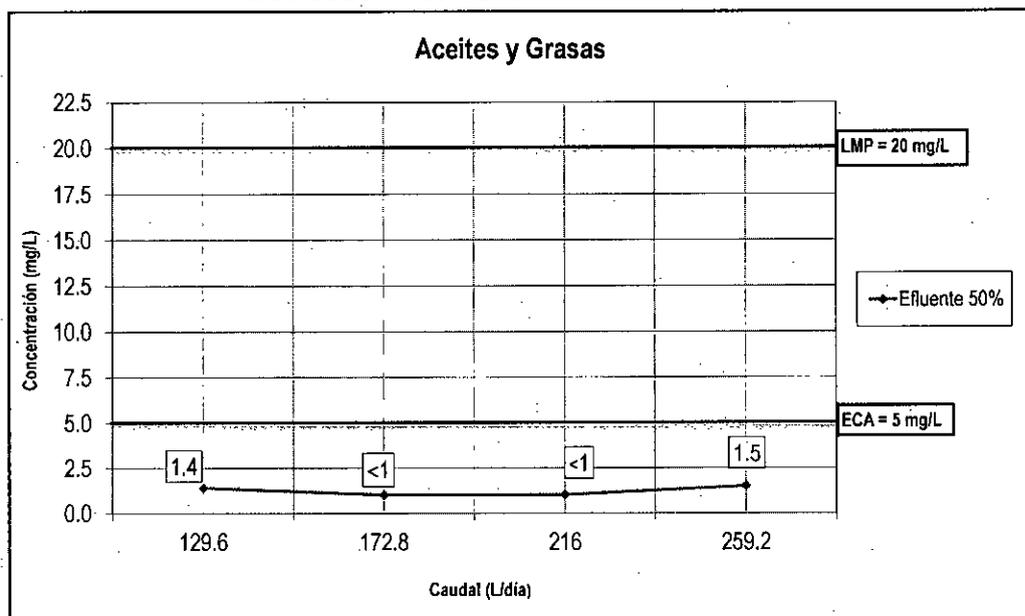


Fuente: Elaboración propia

6.1.4. Aceites y Grasas (mg/L).- Para ambos porcentajes de volumen de relleno de carriers de 50% y 55%, todos los resultados obtenidos a diferentes tiempos de retención hidráulica, se encontraron por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (5 mg/L) y el Límite Máximo Permissible (20 mg/L), incluso para el segundo y tercer muestreo se obtuvo para ambos, un valor por debajo del límite de cuantificación del laboratorio <1 mg/L.

El Sistema de Tratamiento presentó flexibilidad antes las variaciones de tiempos de retención hidráulica y estabilidad en sus resultados.

FIGURA N° 57. ACEITES Y GRASAS

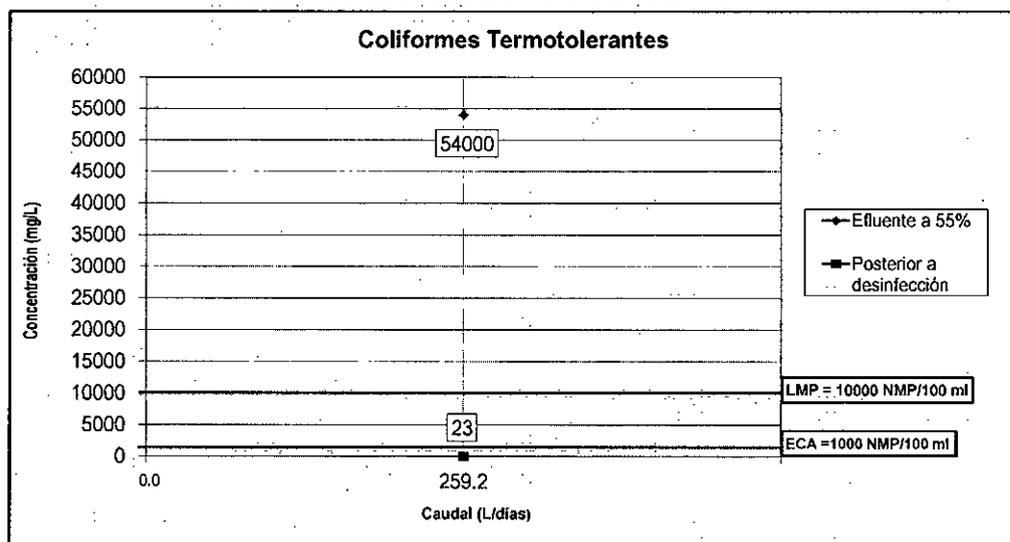


Fuente: Elaboración propia

6.1.5. Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml).- Tomando referencia de los resultados obtenidos de este parámetro, en las anteriores tesis (M. Farfán, 2015, p. 45) y (C. Allazo et al. 2017, p. 87), se consideró realizar un solo muestreo del efluente tratado, puesto que el Sistema de Tratamiento al ser biológico, no tiene una remoción significativa. Además tomando en cuenta las recomendaciones brindadas (C. Allazo et al. p. 105-106) y (M. Farfán, p. 61), se decidió realizar un muestreo adicional aplicando cloración al efluente tratado, detallado en el Capítulo IV: Metodología.

Para un porcentaje de 55%, el resultado del efluente tratado tiene un valor de 54000 NMP/100 ml, el cual no cumple el LMP (10000 NMP/100 ml) y menos aún el ECA (1000 NMP/100 ml). El efluente posterior a la etapa de desinfección, obtuvo un resultado óptimo con un valor de 23 NMP/100 ml el cual cumple con el Estándar de Calidad Ambiental (1000 NMP/100 ml) y el Límite Máximo Permisible (10000 NMP/100 ml).

FIGURA N° 58.
COLIFORMES TERMOTOLERANTES

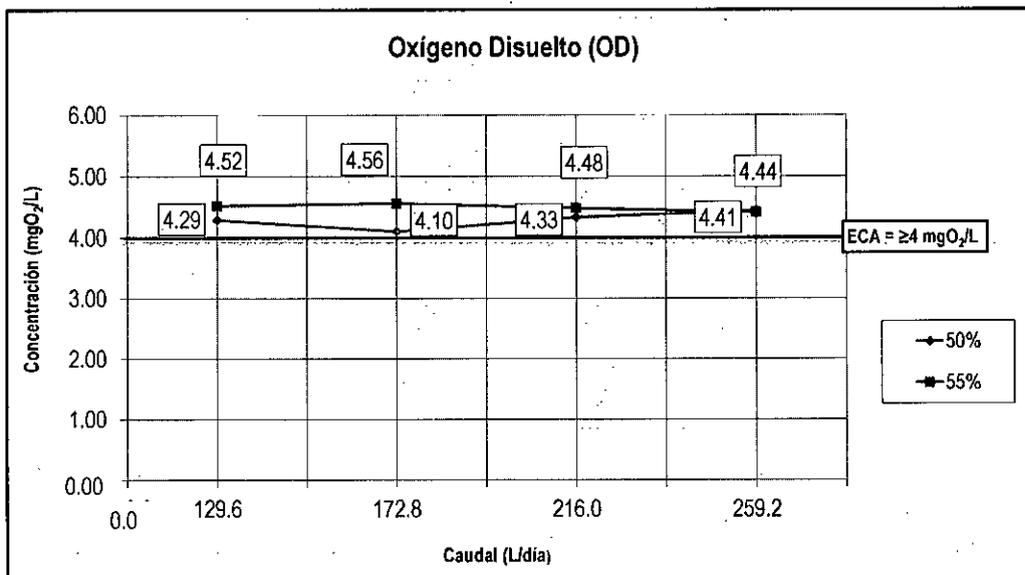


Fuente: Elaboración propia

6.1.6. Oxígeno Disuelto (mg O₂/L).- Para ambos porcentajes de carriers 50% y 55%, los resultados obtenidos del oxígeno disuelto en el efluente tratado cumplieron con el Estándar de Calidad Ambiental (≥ 4 mg/L).

Para un porcentaje de 55%, presentó mayores concentraciones en el primer, segundo y tercer muestreo debido a la reducción de la temperatura ambiental, lo que generó menor temperatura en el tanque de aireación, esto se debe a la relación inversamente proporcional que tienen estos dos parámetros. Durante el segundo muestreo el incremento de OD generó un desprendimiento ligero de la biopelícula adherida, siendo también un factor influyente en el resultado del parámetro DQO.

**FIGURA N° 59.
OXÍGENO DISUELTO**

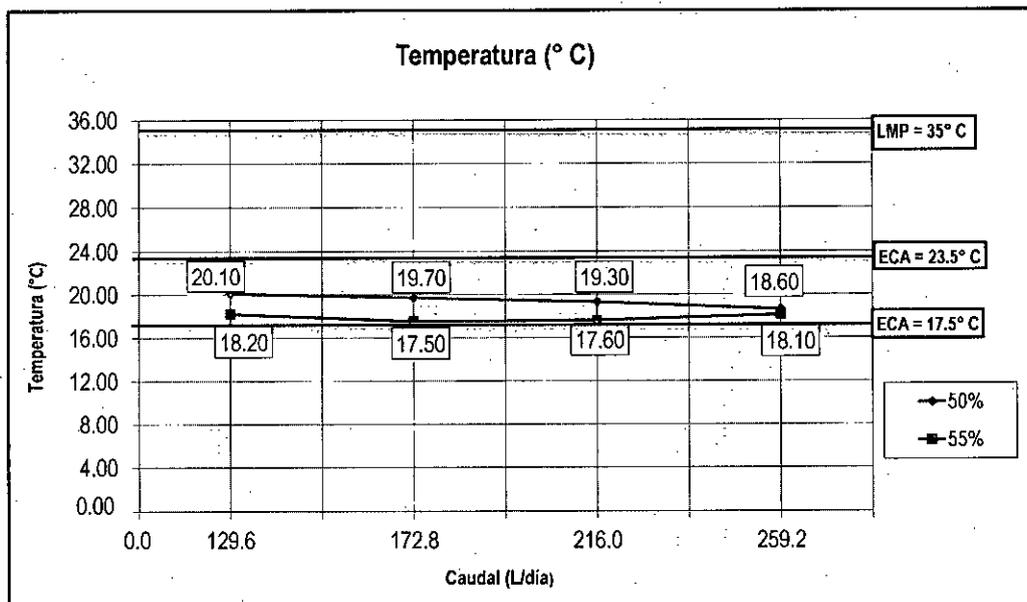


Fuente: Elaboración propia

6.1.7. Temperatura (°C).- La temperatura promedio mensual multianual del área evaluada fue 20.5 °C. Por lo tanto para ambos porcentajes de 50% y 55% de carriers, los resultados obtenidos se encontraron dentro del rango 17.5 °C y 23.5 °C, de acuerdo a la variación de 3° C cumpliendo lo establecido por el Estándar de Calidad Ambiental, los resultados también cumplen con el Límite Máximo Permissible, al ser menores a 35 °C.

Para un porcentaje de 55%, se presentó una disminución en la temperatura del efluente, debido a la disminución de la temperatura ambiental durante el periodo de muestreo (estación invierno), lo cual generó un incremento de oxígeno disuelto en todo el Sistema.

**FIGURA N° 60.
TEMPERATURA**



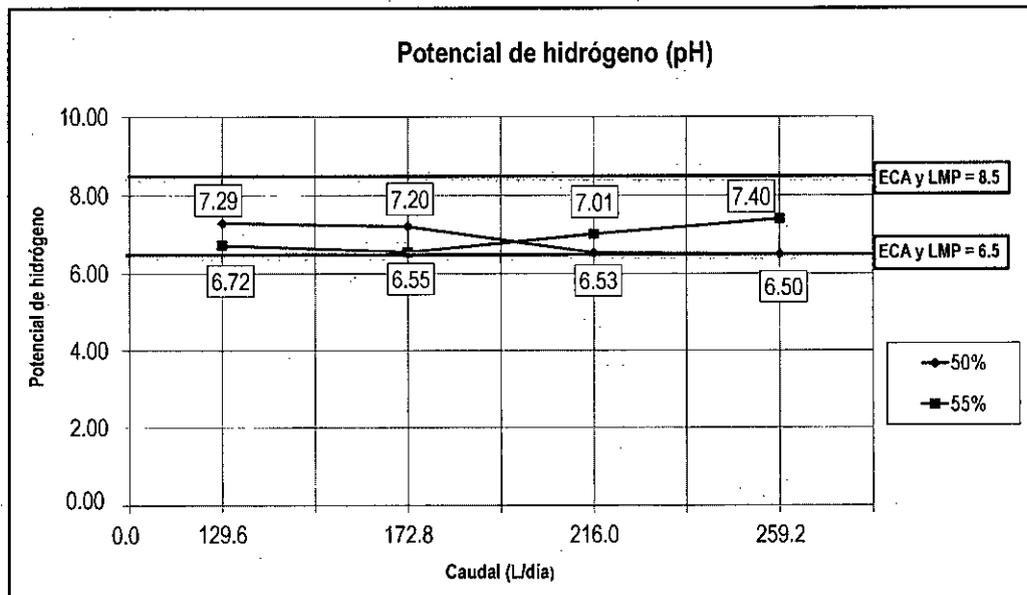
Fuente: Elaboración propia

6.1.8. Potencial de hidrógeno (pH).- Para ambos porcentajes 50% y 55%, los resultados obtenidos de Potencial de hidrógeno cumplieron con el Estándar de Calidad Ambiental y el Límite Máximo Permissible, puesto que se encuentran dentro del rango 6.5 a 8.5.

Para un porcentaje de 50%, se presentó una disminución de Potencial de Hidrógeno en el tercer y cuarto muestreo, y esto se debió al ingreso de un agente contaminante (vertimiento de pintura), factor externo al Sistema de Tratamiento.

Para un porcentaje de 55%, se presentó una disminución de Potencial de hidrógeno en la segunda muestreo, posiblemente por la presencia de detergentes no biodegradables en el afluente.

**FIGURA N° 61.
POTENCIAL DE HIDRÓGENO**



Fuente: Elaboración propia

6.2. Comparación con el Sistema de Lodos Activados Continuos sin Superficie de Contacto.- Tomando como referencia la Tesis, en donde se evaluó el Sistema de Lodos Activados Continuos sin Superficie de Contacto (Obtención de Agua para Riego Mediante el Sistema de Lodos Activados Continuos en la Planta Piloto de la FIARN-UNAC, 2017, Cristopher Allazo, Lady Truenque y María Silvera, p. 87), se realizó una comparación con los resultados que se obtuvieron del efluente para los parámetros DBO₅, DQO, SST y Ay G con respecto a los de esta investigación.

6.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).- El Sistema de tratamiento con Superficie de Contacto (SSC) para este parámetro presentó resultados de efluente más bajos que los del Sistema de Lodos Activados Continuos (SLAC), incluso con un resultado por debajo del límite de cuantificación de laboratorio acreditado <2 mg/L, para ambos porcentajes de relleno 50% y 55%, con caudales de 172.8 L/día y 216.0 L/día y tiempos de retención hidráulica 1.74 días y 1.39 días respectivamente.

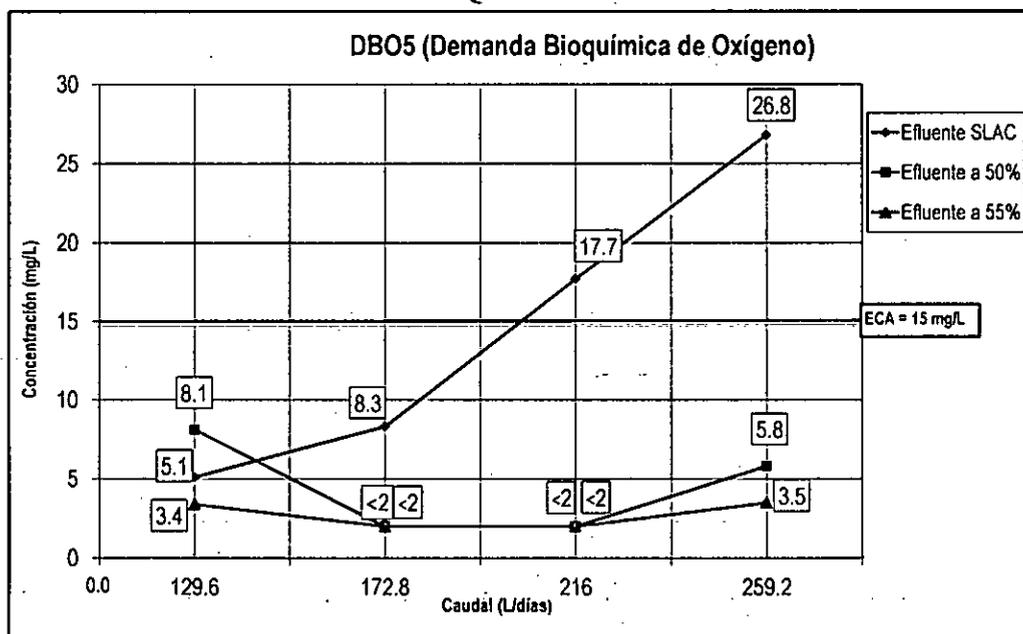
Además, el Sistema SSC presentó mayor flexibilidad a la disminución del tiempo de retención hidráulica, presentando en todos sus resultados, valores muy por debajo del Estándar de calidad Ambiental (15 mg/L).

TABLA N° 35.
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Sistema de Tratamiento	Parámetros	Muestreo				ECA ⁽¹⁾ (mg/L)
		01	02	03	04	
	Caudal (L/día)	129.6	172.8	216.0	259.2	
TRH (días)		2.31	1.74	1.39	1.6	
50% de carriers	DBO ₅ (mg/L) Efluente	8.1	<2	<2	5.8	15
55% de carriers	DBO ₅ (mg/L) Efluente	3.4	<2	<2	3.5	
Lodos Activados Continuos	DBO ₅ (mg/L) Efluente	5.10	8.30	17.7	26.8	

⁽¹⁾D.S. N° 004-2017-MINAM
Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 62.
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO



Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO).- El Sistema con Superficie de Contacto, con un 55% de relleno carriers para un caudal de 129.6 L/día y un tiempo de retención hidráulica 2.31 días, presentó un resultado más bajo con un valor de 7.5 mg/L en el efluente, al incrementar el caudal a 172.8 L/día, a un TRH de 1.74 días, el Sistema de Lodos Activados Continuos, presentó un resultado más bajo con un valor de 15.2 mg/L.

Sin embargo, al reducir más el tiempo de retención hidráulica, el Sistema con Superficie de Contacto, tuvo mayor flexibilidad, a la variación de carga, que el del Sistema de Lodos Activados Continuos, puesto que obtuvo resultados más bajos, mientras que este presentó un incremento considerable.

Además también con uso de carriers se presenta mayor estabilidad en los resultados, puesto que el rango de variación de DQO fue 36.7 mg/L, menor que el rango de variación de Lodos Activados el cual fue 40.5 mg/L.

Para el parámetro DQO, tal vez no exista una diferencia tan notoria como para el parámetro DBO₅, pero es importante mencionar que en el afluente se presentaron factores externos al sistema (vertimientos de pintura y detergentes no biodegradables). A pesar de estos el Sistema tuvo resistencia, puesto que tuvo en su mayoría, resultados por debajo del ECA (40 mg/L).

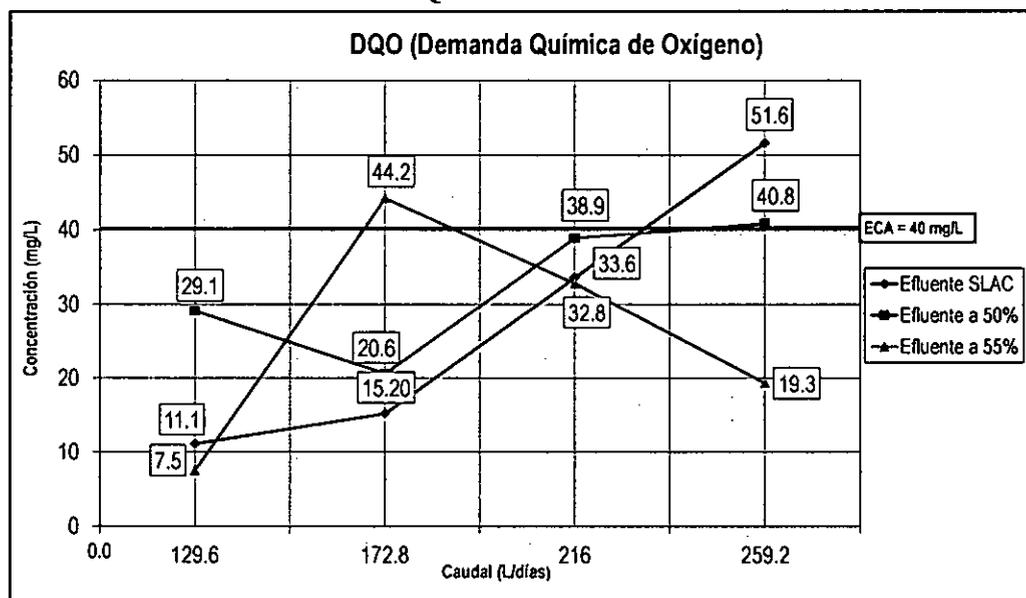
TABLA N° 36.
DEMANDA QUIÍMICA DE OXÍGENO

Sistema de Tratamiento	Parámetros	Muestreo				ECA ⁽¹⁾ (mg/L)
		01	02	03	04	
	Caudal (L/día)	129.6	172.8	216.0	259.2	
TRH (días)	2.31	1.74	1.39	1.6		
50% de carriers	DQO (mg/L) Efluente	29.1	20.6	38.9	40.8	40
55% de biosoportos	DQO (mg/L) Efluente	7.5	44.2	32.8	19.3	
Lodos Activados Continuos	DQO (mg/L) Efluente	11.10	15.2	33.6	51.6	

⁽¹⁾ D.S. N° 004-2017-MINAM

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 63.
DEMANDA QUIÍMICA DE OXÍGENO



Fuente: Elaboración propia

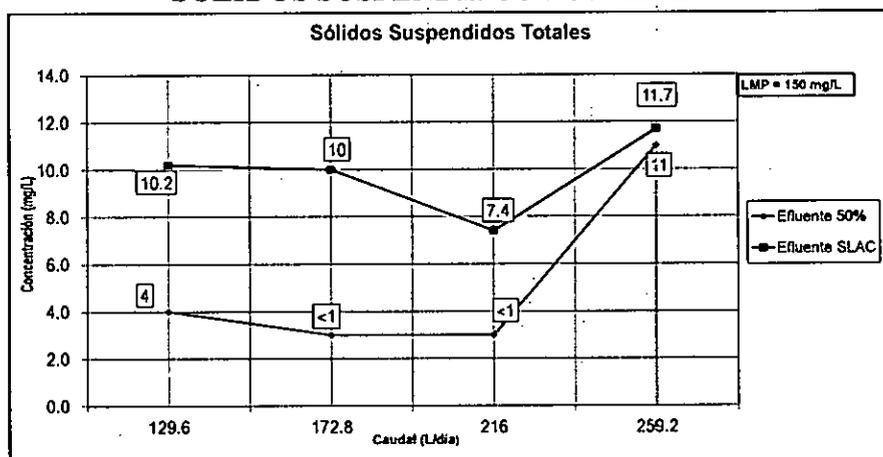
6.2.3. Sólidos Suspendidos Totales.- El Sistema con Superficie de Contacto (SSC), para este parámetro, presentó resultados de efluente más bajos que el SALC, incluso con un resultado por debajo del límite de cuantificación de laboratorio acreditado <3 mg/L, para ambos porcentajes de relleno 50% y 55%, con caudales de 172.8 L/día y 216.0 L/día y tiempos de retención hidráulica 1.74 días y 1.39 días respectivamente. Además, el Sistema SSC presentó mayor flexibilidad a la disminución del TRH, con resultados muy por debajo del Límite Máximo Permisible (150 mg/L).

**TABLA N° 37.
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**

Sistema de Tratamiento	Parámetros	Muestreo				LMP ⁽¹⁾ (mg/L)
		01	02	03	04	
	Caudal (L/día)	129.6	172.8	216.0	259.2	
TRH (días)	2.31	1.74	1.39	1.6		
50% de carriers	SST (mg/L) Efluente	4	<3	<3	11	150
Lodos Activados Continuos	SST (mg/L) Efluente	10.20	10	7.4	11.7	

⁽¹⁾ D.S. N° 003-2010-MINAM
Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 64.
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**



Fuente: Elaboración propia

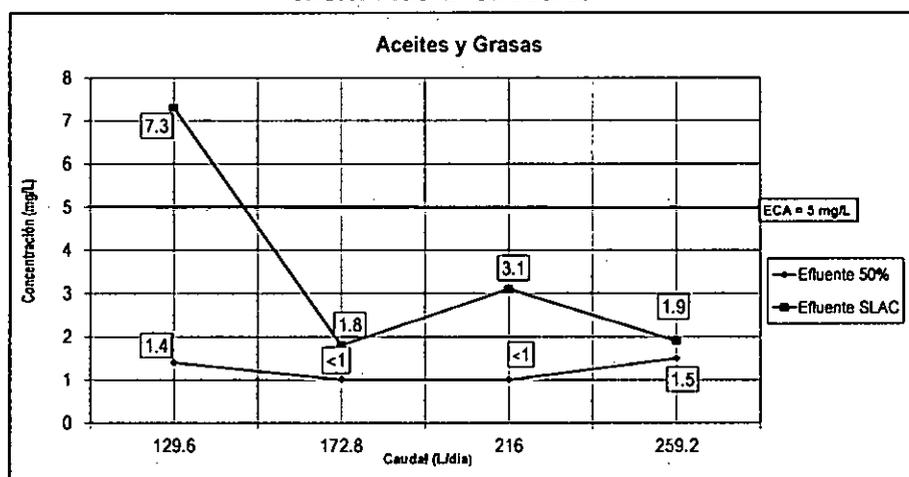
6.2.3. Aceites y Grasas.- El Sistema con Superficie de Contacto, para este parámetro, presentó resultados de efluente más bajos que el SALC, incluso con un resultado por debajo del límite de cuantificación de laboratorio acreditado <1 mg/L, para ambos porcentajes de relleno 50% y 55%, con caudales de 172.8 L/día y 216.0 L/día y TRHs de 1.74 días y 1.39 días respectivamente. Además, el Sistema SSC presentó mayor flexibilidad a la disminución del TRH, con resultados muy por debajo del Estándar de calidad Ambiental (5 mg/L).

**TABLA N° 38.
ACEITES Y GRASAS**

Sistema de Tratamiento	Parámetros	Muestreo				ECA ⁽¹⁾ (mg/L)
		01	02	03	04	
	Caudal (L/día)	129.6	172.8	216.0	259.2	
TRH (días)	2.31	1.74	1.39	1.6		
50% de carriers	A & G (mg/L) Efluente	1.4	<1	<1	1.5	5
Lodos Activados Continuos	A & G (mg/L) Efluente	7.30	1.8	3.1	1.9	

⁽¹⁾D.S. N° 004-2017-MINAM
Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 65.
ACEITES Y GRASAS**



Fuente: Elaboración propia

6.3. Eficiencia. - A partir de los resultados obtenidos en el afluente y efluente del Sistema de Tratamiento, se pudo determinar la eficiencia de remoción de los parámetros evaluados.

Mediante la siguiente ecuación se obtuvo la Eficiencia de Remoción de cada parámetro para todos los muestreos:

$$E = \frac{S_i - S_f}{S_i} \times 100$$

Donde:

S_i = Concentración antes del tratamiento (inicial)

S_f = Concentración después del tratamiento (final)

El resumen de los resultados obtenidos de las eficiencias de remoción se muestra en la siguiente tabla:

TABLA N° 39.
EFICIENCIAS DE REMOCIÓN CALCULADAS Y ESTIMADAS

Parámetros Físico Químicos	Unidad	Muestras a 50% de volumen de carriers				Muestras a 55% de volumen de carriers			
		N° 01 (13/06/17)	N° 02 (30/06/17)	N° 03 (11/07/17)	N° 04 (31/07/17)	N° 01 (07/08/17)	N° 02 (14/08/17)	N° 03 (21/08/17)	N° 04 (31/08/17)
		Caudales (L/día)				Caudales (L/día)			
		129.6	172.8	216.0	259.2	129.6	172.8	216.0	259.2
		Tiempos de Retención Hidráulica (días)				Tiempos de Retención Hidráulica (días)			
		2.31	1.74	1.39	1.16	2.31	1.74	1.39	1.16
		Porcentajes de remoción calculadas (%)				Porcentajes estimados de remoción (%)*			
DBO ₅	mg/L	95.06	>99.23	>97.47	92.14	97.41	>97.29	>98.48	97.33
DQO	mg/L	87.16	96.09	83.09	84.52	96.69	83.23	85.53	91.49
SST	mg/L	97.89	>98.67	>95.83	95.51	-			
A & G	mg/L	95.30	>95.93	>92.65	87.50	-			
Parámetro Microbiológico	NMP/100 ml	Coliformes Termotolerantes							58.46
		Porcentajes de remoción calculada (%)							
		Coliformes T. Posterior a la desinfección (14/09/17)							99.96

*Utilizando Afluentes mínimos (DBO₅:131.2 mg/L para el 1er, 3er y 4to muestreo y 73.8 mg/L para el 2do muestreo; DQO: 226.7 mg/L para el 1er, 3er y 4to muestreo y 263.6 mg/L para el 2do muestreo) tomados como referencias esta tesis y anteriores tesis (Christopher Allazo, y otros, 2017 p. 87) y (Farfán Reyes, 2015, pg. 44).

De acuerdo a los resultados de eficiencia de remoción se puede mencionar lo siguiente:

Con 50% de volumen de carriers

- Para el parámetro DBO₅, la eficiencia máxima de remoción fue muy alta, siendo >99.23 % y sucedió en el segundo muestreo con un caudal de 172.8 L/día y un TRH de 1.74 días, la eficiencia mínima de remoción fue de 92.14 % y sucedió en el cuarto muestreo con un caudal máximo de 259.2 L/día y por consiguiente un TRH mínimo de 1.16 días.
- Para el parámetro DQO, la eficiencia máxima de remoción fue 96.09 % y sucedió en el segundo muestreo con un caudal de 172.8 L/día y un TRH de 1.74 días, la eficiencia mínima de remoción fue de 83.09 % y sucedió en el tercer muestreo con un caudal máximo de 259.2 L/día y un TRH mínimo de 1.16 días.
- Para el parámetro SST, la eficiencia máxima de remoción fue >98.67 % y sucedió en el segundo muestreo con un caudal de 172.8 L/día y un TRH de 1.74 días, la eficiencia mínima de remoción fue de 95.51 % y sucedió en el cuarto muestreo con un caudal máximo de 259.2 L/día y un TRH mínimo de 1.16 días.
- Para el parámetro A & G, la eficiencia máxima de remoción fue >95.93% y sucedió en el segundo muestreo con un caudal de 172.8 L/día y un TRH de 1.74 días, la eficiencia mínima de remoción fue de 87.50 % y sucedió en el cuarto muestreo con un caudal máximo de 259.2 L/día y un TRH mínimo de 1.16 días.

- Es importante añadir que la presencia contaminantes externos no biodegradables (pintura) en el afluente durante el tercer y cuarto muestreo, influyó directamente en el porcentaje de remoción.

Con 55% de volumen de carriers

- Para el parámetro DBO₅, la eficiencia estimada de remoción máxima fue >98.48 % y sucedió en el primer muestreo con un caudal de 129.6 L/día y un TRH de 2.31 días y la eficiencia estimada de remoción mínima fue 97.33% en el cuarto muestreo con un caudal máximo de 259.2 L/día y un TRH mínimo de 1.16 días.
- Para el parámetro DQO, la eficiencia estimada de remoción máxima fue 96.69 % y sucedió en el primer muestreo con un caudal de 129.6 L/día y un TRH de 2.31 días y la eficiencia estimada de remoción mínima fue 83.23% en el segundo muestreo con un caudal máximo de 172.8 L/día y un TRH de 1.74 días.
- Cabe mencionar, que el vertimiento de detergentes y otros agentes oxidantes no biodegradables al alcantarillado y posterior presencia en el afluente, durante el segundo muestreo, pueden influenciar en el porcentaje de remoción.
- Para el parámetro Coliformes termotolerantes se consideró el resultado obtenido en el afluente de la tesis de Lodos Activados Continuos para un caudal 259.2 L/día (Christopher Allazo, y otros, 2017 p. 87), obteniendo una eficiencia de remoción estimada de 58.46 %, confirmando el Sistema de tratamiento no realiza una remoción significativa de microorganismos, puesto que son esenciales para la remoción de otros parámetros.
- Siguiendo las recomendaciones brindadas en tesis anteriores (Christopher y otros, págs. 105-106) y (Miriam Farfán, p. 61), se analizó el efluente tratado

luego de una etapa de desinfección, aplicando la dosis adecuada de cloro usando Hipoclorito de Sodio (Lejía), obteniendo como resultado una alta remoción de 99.95 % de Coliformes termotolerantes.

En General

- Tomando en consideración las 4 mediciones a diferentes tiempos de retención hidráulica, usando 50% de carriers, para DBO₅ la eficiencia de remoción varió en un 7.09%, para DQO varió en un 13% (influenciado por contaminantes externos no biodegradables), para SST la varió en un 3.16% y para el parámetro A & G varió en 8.43%.
- Usando 55% de carriers, para DBO₅ la eficiencia de remoción solo varió en un 1.19% y para el parámetro DQO la eficiencia de remoción solo varió en un 13.46% (influyendo el DQO no biodegradable).

6.4. Comparación de eficiencias de remoción con el Sistema de Lodos Activados Continuos sin uso de Superficie de Contacto

Tomando como referencia las eficiencias de remoción de la tesis del Sistema de Lodos Activados Continuos sin uso de carriers (C. Allazo, et al: 2117, p. 97), se realizó una comparación con respecto a esta investigación, la cual se puede apreciar en la siguiente tabla:

TABLA N° 40.
COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS CON RESPECTO AL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS

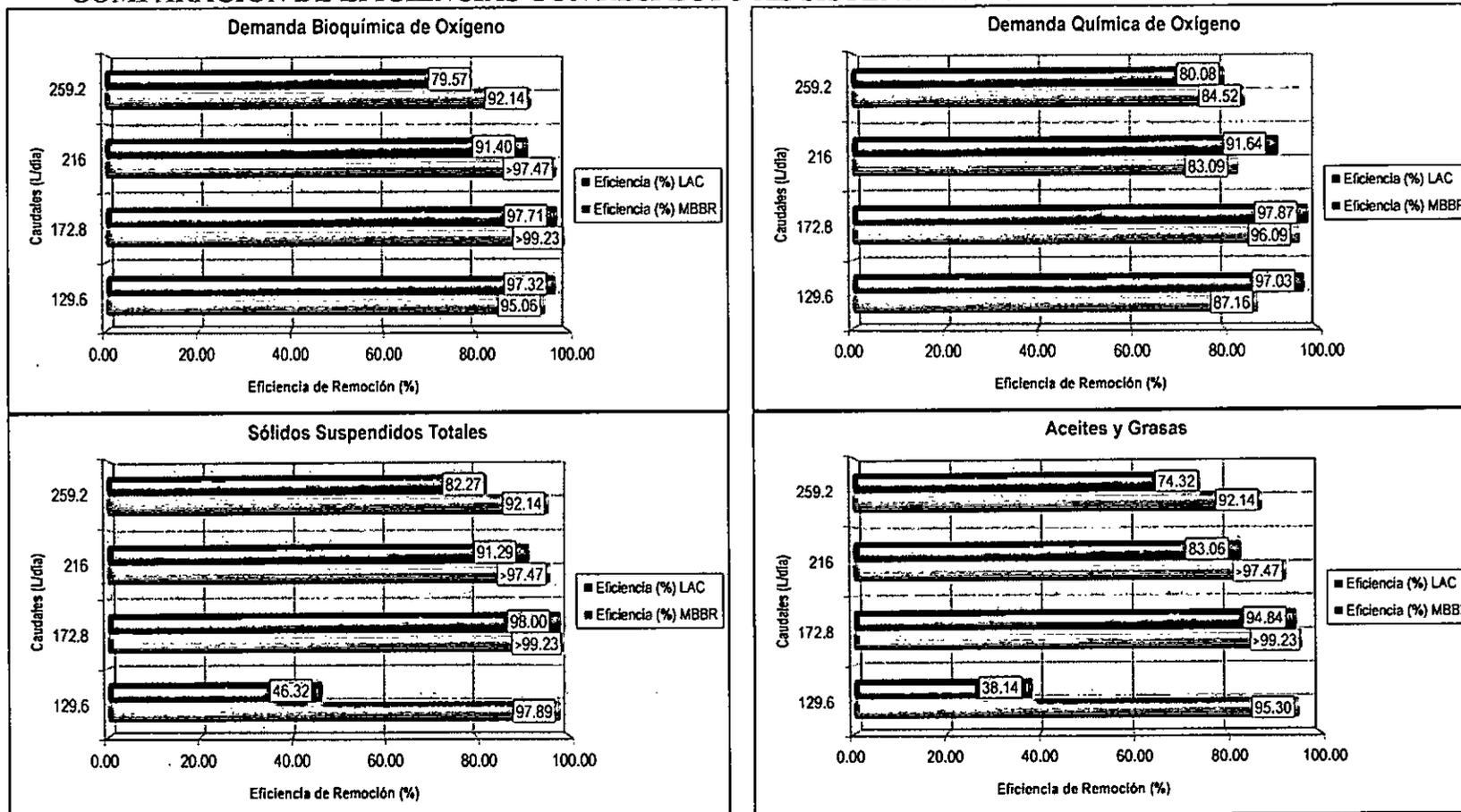
Parámetros	Unidad	Sistema a 50% de volumen de carriers				Sistema de Tratamiento de Lodo Activados				Comparación			
		N° 01 (07/08/17)	N° 02 (14/08/17)	N° 03 (21/08/17)	N° 04 (31/08/17)	N° 01 (08/11/16)	N° 02 (15/11/16)	N° 03 (22/11/16)	N° 04 (28/11/16)	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
		Caudales (L/día)				Caudales (L/día)				Variación de porcentaje de Eficiencia de remoción (%) ⁽¹⁾			
		129.6	172.8	216.0	259.2	129.6	172.8	216.0	259.2				
		Tiempos de Retención Hidráulica (días)				Tiempos de Retención Hidráulica (días)							
		2.31	1.74	1.39	1.16	2.31	1.74	1.39	1.16				
Porcentajes de remoción calculadas (%)				Porcentajes de remoción calculadas (%)									
DBO₅	mg/L	95.06	>99.23	>97.47	92.14	97.32	97.71	91.4	79.57	↓2.26	↑>1.52	↑>6.07	↑12.6
DQO	mg/L	87.16	96.09	83.09	84.52	97.03	97.87	91.64	80.08	↓9.87	↓1.78	↓8.55	↑4.44
SST	mg/L	97.89	>98.67	>95.83	95.51	46.32	98.00	91.29	82.27	↑21.6	↑>0.67	↑>4.54	↑13.2
A y G	mg/L	95.30	>95.93	>92.65	87.50	38.14	94.84	83.06	74.32	↑57.16	↑>1.09	↑>9.59	↑13.2

⁽¹⁾ Diferencia de porcentajes de Eficiencia de Remoción

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 66.

COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS CON RESPECTO AL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS



Fuente: Elaboración propia

- **Comparación con respecto al parámetro DBO₅:** El Sistema con Superficie de Contacto (SSC), presentó mayores porcentajes de remoción para los 3 últimos muestreos con incrementos de eficiencia >1.52%, >6.07 % y 12.6 % respectivamente, lo que demuestra la flexibilidad y estabilidad del sistema a pesar del incremento de la carga orgánica.
- **Comparación con respecto al DQO:** El Sistema con Superficie de Contacto solo presentó un mayor porcentaje de remoción en el cuarto muestreo con un incremento de 4.4%, sin embargo, presenta mayor flexibilidad a los incrementos de carga orgánica y estabilidad en los resultados, en comparación con el Sistema de Lodos activados Continuos, puesto que su rango de variación de la eficiencia es 11.57%, menor a la de Lodos que tuvo 17.79%. Además, mostró resistencia a agentes externos no biodegradables (pinturas y detergentes).
- **Comparación con respecto al SST:** El SSC, presentó mayores porcentajes de remoción para los cuatro muestreos con incrementos de eficiencia de 21.6%, >0.67 %, >4.54 % y 13.2 % respectivamente, lo que demuestra la flexibilidad del sistema a pesar del incremento de la carga orgánica.
- **Comparación con respecto A y G:** El SSC presentó mayores porcentajes de remoción para los cuatro últimos muestreos con incrementos de eficiencia de 57.16%, >1.09 %, >9.59 % y 13.2 % respectivamente, lo que demuestra la flexibilidad del sistema a pesar del incremento de la carga orgánica.

TABLA N° 41.
CUADRO COMPARATIVO DE EFICIENCIAS DE DBO₅ Y DQO CON INVESTIGACIONES MBBR

INVESTIGACIONES	DESCRIPCIÓN	CONDICIONES DE EVALUACIÓN	Porcentajes de remoción (%)		
			DBO ₅	DQO	
ESTA TESIS	Eficiencia del Sistema de Tratamiento de Lodos Activados implementado Superficie de Contacto en la Planta Piloto de la FIARN	Tipo de carrier: AQWISE ABC5 Superficie específica: 650 m ² /m ³ TRH: 1.74 días: 41.76 horas Caudal: 172.8 L/día Volumen de carriers: 50% DBO ₅ afluente: 259.7 mg/L DQO afluente: 526.5 mg/L Carga orgánica: 0.045 kg DBO ₅ /día Carga orgánica superficial: 0.93 g DDO/m ² día Oxígeno disuelto 3-4 mgO ₂ /L	>99.23	96.09	
ESTUDIO 1	Influencia de la concentración de carriers sobre el rendimiento y las características microbianas de un reactor de biopelícula de carriers suspendidos (Rong-Chang Wang y otros)	Tipo de carrier: Cilindro de cloruro de polivinilo (diámetro: 2.5mm y altura: 2.5-3 mm) DQO afluente: 200 mg/L TRH: 1 hora Volumen de carriers: 50% Temperatura 18-23 °C Oxígeno disuelto 3 - 5.6 mg/L	-	70	
ESTUDIO 2	Análisis comparativo de la diversidad bacteriana en escala laboratorio reactor biopelícula de lecho móvil (MBBR) aplicado al tratamiento de aguas residuales bajo diferentes condiciones operacionales (Kadiya Calderón y otros)	Tipo de carrier: AQWISE ABC5 Superficie específica: 650 m ² /m ³ Volumen de carrier: 50% Volumen reactor: 3 L TRH: 15 horas DQO afluente: 166±32	-	56.97±5.95	
ESTUDIO 3	Estudio de Medios de Soporte para Crecimiento Bacteriano Aplicado al Tratamiento Biológico Aerobio de Aguas Residuales (Lapo Calderón Byron)	DQO afluente: 795-1420 mg/L Carga orgánica: 0.01-0.13 g DQO/m ² día Volumen carriers: 70%	Tipo de carrier: PET Superficie específica: 654.62 m ² /m ³	-	95
			Tipo de carrier: PP Superficie específica: 882.5 m ² /m ³	-	96

INVESTIGACIONES	DESCRIPCIÓN	CONDICIONES DE EVALUACIÓN		Porcentajes de remoción (%)	
				DBO5	DQO
ESTUDIO 4	Mejora de un proceso convencional de fangos activos empleando un sistema híbrido de lechos móviles (Jaime Martín-Pascual y otros)	Tipo de Carrier: AQWISE ABC5 Volumen de carriers: 20% Volumen: 1500 L DQO afluente: 906 ±303 mg/L DBO ₅ afluente: 571±164 mg/L TRH: 29-48 horas		96.82±0.84	89.35±3.17
ESTUDIO 5	La eliminación simultánea de nitrógeno y carbono de las aguas residuales en diferentes condiciones operativas en un reactor de lecho biológico de lecho móvil (MBBR): Modelado y optimización de procesos (A.A.L. Zinatizadeh y otros).	Tipo de carrier: Kaldnes -3 Superficie específica: 500 m ² /m ³ Volumen: 2.2 L, TRH: 12 horas Volumen de carriers: 50% DQO afluente: 300-500 mg/L BOD ₅ afluente: 150-250 mg/L Oxígeno disuelto: 4 mg/L		-	88
ESTUDIO 6	Tratamiento de aguas residuales de la industria de bebidas con planta de MBBR de dos etapas (L. Falletti y otros)	Superficie específica: 500 m ² /m ³ Volumen de carriers: 60%	Planta Piloto (2 etapas) Volumen MBBR Puro: 210 L Volumen MBBR híbrida: 370 L Caudal: 12 L/h: 288 L/día DQO afluente: 5000-10000 mg/L	-	73
			Planta a gran escala (2 etapas): MBBR Puro Caudal: 70 m ³ /día DQO afluente: 1793 mg/L Volumen MBBR Puro: 18 m ³ Volumen MBBR Híbrido: 32 m ³ DBO ₅ afluente: 811 mg/L	97	97
ESTUDIO 7	Tratamiento de aguas residuales textiles pre-tratadas usando un reactor de biopelícula de Lecho Móvil (Anju Francis y otros)	Volumen: 11.25 L (70%): 7.875 L DQO afluente: 780 mg/L DBO ₅ afluente: 198 mg/L Tipo de carrier: cilindros corrugados de PVC Volumen de biosoportres: 67.07% Tiempo de retención hidráulica: 2.25 días		81.5	86

Fuente: Elaboración propia

CÁPITULO VII

CONCLUSIONES

7.1. Tomando en consideración, que la fracción de llenado del proceso aplicado está en el rango de 50-65%". (IWA, 2012, p. 359-360). Para esta tesis, se determinó utilizar dos porcentajes de carriers: 50% y 55% del volumen del tanque de aireación, el cual tiene un volumen útil de 300 L, siendo el primero el óptimo de acuerdo a la mayoría de investigaciones y el segundo una pequeña variación. Los resultados obtenidos se pueden observar en la página 133 de esta tesis.

Utilizando 50% de carriers

7.2. Se obtuvieron los mejores resultados en el segundo muestreo con un caudal de 172.8 L/día y un TRH de 1.74 días, para los parámetros DBO₅, DQO, SST y A & G con eficiencias de remoción de >99.23%, 96.09%, >98.67% y >95.93% respectivamente, además de cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental y los Límite Máximo Permisible. Presentando incluso valores por debajo del límite de cuantificación del laboratorio, para los parámetros DBO₅, SST y A & G con valores <2 mg/L, <3 mg/L y <1 mg/L respectivamente. Precisamente para este muestreo se obtuvo una mayor carga orgánica con un valor de 0.045 kg DBO₅/día.

7.3. La mayoría de resultados obtenidos de todos los parámetros, a diferentes TRH cumplieron con la normativa, a excepción del cuarto muestreo (TRH de 1.16 días), el cual supero ligeramente el ECA del parámetro DQO (40 mg/L), con un valor de 40.8 mg/L, sin embargo si cumplió con el LMP. Es importante mencionar que la relación DBO₅/DQO del afluente para el tercer y cuarto muestreo obtuvieron

valores de 0.34 y 0.27 respectivamente, no encontrándose dentro del rango (0.4-0.8) para aguas residuales típicas domésticas (Metcalf y Eddy, 1995, p. 95). Esto se debió a la presencia de sustancias químicas en el afluente, puesto que durante el periodo de muestreo, se observó pintura en el tanque de homogenización, lo que incrementó el DQO no biodegradable, influyendo directamente en los resultados obtenidos en el efluente tratado.

Utilizando 55% de carriers

7.4. Para el parámetro DBO_5 , se obtuvo la mayor eficiencia estimada de remoción $>98.48\%$, en el tercer muestreo con un caudal de 216.0 L/día y un TRH de 1.39 días. Para el parámetro DQO, se obtuvo la mayor eficiencia estimada de remoción 96.69% , en el primer muestreo con un caudal de 129.6 L/día y un TRH de 2.31 días, además de cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental y los Límite Máximo Permisible. Presentando incluso para el DBO_5 , un valor por debajo del límite de cuantificación del laboratorio <2 mg/L.

7.5. La mayoría de resultados obtenidos de todos los parámetros, a diferentes TRH cumplieron con la normativa, a excepción del segundo muestreo (TRH de 1.74 días), el cual supero el ECA del parámetro DQO (40 mg/L), con un valor de 44.2 mg/L, sin embargo si cumplió con el LMP. Cabe añadir, que el resultado pudo haber sido afectado por la presencia de detergentes y otras sustancias químicas u oxidantes no biodegradables en el afluente, producto de la limpieza de los servicios de la Universidad Nacional del Callao, tomando en cuenta que el día de muestreo (14 de agosto del 2017) se inició las clases del segundo semestre.

7.6. Para el parámetro Coliformes termotolerantes, se obtuvo como eficiencia estimada de remoción 58.46%, con un resultado de 54000 NMP/100 ml, encontrándose por encima del Estándar de Calidad Ambiental (1000 NMP/100 ml) y del Límite Máximo Permisible (10000 NMP/100 ml). Tomando en consideración las recomendaciones brindadas en investigaciones anteriores, para este parámetro se realizó un muestreo adicional del efluente después de un proceso de desinfección mediante una dosis adecuada de cloro, obteniendo una mayor eficiencia de remoción 99.96%, con un resultado de 23 NMP/100 ml, cumpliendo con el ECA y el LMP.

En general

7.7. Usando ambos porcentajes de relleno de carriers 50% y 55% de carriers, para el parámetro Oxígeno Disuelto, Temperatura y Potencial de Hidrógeno, todos los resultados cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental (≥ 4 mg/L, $\Delta 3$ °C de la temperatura promedio multianual del área evaluada y rango 6.5-8.5) y Límites Máximos Permisibles (ninguno, < 35 °C y rango 6.5-8.5).

7.8. El Sistema de Tratamiento con Superficie de Contacto (SSC), con la tecnología MBBR, tuvo un excelente comportamiento de resistencia ante contaminantes externos y agentes químicos no biodegradables. Asimismo presentó flexibilidad antes las variaciones de cargas orgánicas e hidráulicas en comparación con el Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos.

7.19. El efluente obtenido por el Sistema de Tratamiento con Superficie de Contacto, tiene una muy buena calidad, puesto que cumple en su mayoría con todos

los Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, a excepción del parámetro Coliformes Termotolerantes. Sin embargo, mediante el proceso de desinfección se puede lograr un efluente adecuado para el riego de áreas verdes, de acuerdo a la evaluación realizada.

CAPÍTULO VIII

RECOMENDACIONES

8.1. Implementar como medida preventiva ante futuras investigaciones en la Planta Piloto, el uso de bombas sumergibles en el área donde se encuentra el tanque de homogenización, puesto que mientras se realizaba el proyecto, se presentaron problemas externos, como es el caso de dos inundaciones que conllevaron al retraso del mismo y al deterioro de las bombas centrífugas que se encontraban en ese lugar.

8.2. Seguir con el uso de la bomba electromagnética de aire implementada, la cual proporcionar oxígeno al sistema de Tratamiento, puesto que no necesita un mantenimiento periódico de aceite y puede estar en constante funcionamiento los 365 días del año, en lugar de las compresoras normales de pintura las cuales se sobrecalientan cuando tienen un uso continuo, además de generar mucho ruido.

8.3. Seguir con el uso de difusores de burbuja gruesa implementados, para que no existan problemas de obstrucción en los mismos, con el lodo activado añadido (para agilizar la formación de biopelícula en los soportes) en el tanque de aireación, ante un posible parada del Sistema de Tratamiento.

8.4. Implementar un mantenimiento periódico de los equipos del Sistema de Tratamiento, para evitar algún inconveniente que pueda afectar el correcto funcionamiento y en consecuencia, siga obteniendo excelentes resultados de eficiencia de remoción en el efluente.

8.5. Seguir con la medición volumétrica del caudal del ingreso al Sistema de Tratamiento para que este se mantenga constante y no perjudique la adecuada

eficiencia de remoción del sistema, así como seguir con la medición de todos los parámetros de control (oxígeno disuelto, temperatura y pH).

8.6. Seguir con la línea de investigación, en general referente al Tratamiento de agua residuales y en específico al Sistema de Tratamiento con Superficie de Contacto usando un Proceso MBBR (Reactor de Biopelícula de Lecho Móvil) o al Proceso de Lodos Activados Continuos de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales.

CAPÍTULO IX

REFERENCIAS

- 9.1. BACA NEGLIA, Máximo Fidel. **Tratamiento de los Efluentes Domésticos Mediante Humedales Artificiales para el Riego de Áreas Verdes en el Distrito de San Juan de Marcona, Tesis Maestro en Investigación y Docencia Universitaria, con Mención en Docencia Universitaria.** Perú. 2012
- 9.2. CALDERÓN Kadiya y otros. **Análisis comparativo de la diversidad bacteriana en escala laboratorio reactor biopelícula de lecho móvil (MBBR) aplicado al tratamiento de aguas residuales bajo diferentes condiciones operacionales,** Publicación Científica en Revista Tecnología Bioambiental, Volumen 121, Páginas 119-126. España. 2012
- 9.3. CHANG WANG Rong, y otros. **Influencia de la concentración de carriers sobre el Rendimiento y las características microbianas de un reactor de Biopelícula de carriers suspendidos,** Publicación Científica en Revista Procesos de Bioquímica Número 9, pg. 2992-3001. China 2005.
- 9.4. FALLETTI L., y otros. **Tratamiento de aguas residuales de la industria de bebidas con planta de MBBR de dos etapas,** en Revista Internacional de Investigación en Ingeniería y Ciencia, Volumen 3, Número 2, Páginas 54-55. Italia. 2015.
- 9.5. FRANCIS ANJU, SOSAMONY K.J. **Tratamiento de aguas residuales textiles pre-tratadas usando un reactor de biopelícula de Lecho Móvil,** en Revista Tecnología Procedia, Volumen 24, Páginas 248-255. India 2016

- 9.6. (IMTA) INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA. **Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Lodos Activados.** Edición Tecnológica Educativa. Séptima edición. México. 2009.
- 9.7. LAPO CALDERÓN Byron Gonzalo. **Estudio de Medios de Soporte para Crecimiento Bacteriano Aplicado al Tratamiento Biológico Aerobio de Aguas Residuales.** Tesis Título de Máster (MSc.) en Ingeniería Ambiental. Ecuador 2014.
- 9.8. MENDEZ VEGA Juan. **Tecnologías para el reúso de aguas residuales.** Perú 2016.
- 9.9. METCALF Y EDDY. **Ingeniería de las Aguas Residuales.** Editorial McGraw-Hill. Vol.1 y 2. España. 1995.
- 9.10. MIRIAM ELIZABETH FARFÁN REYES. **Evaluación del Tratamiento de las aguas residuales domésticas para el riego de áreas verdes en el Sistema de Lodos Activados de la Planta de la FIARN-UNAC.** Tesis Título. Perú. 2015.
- 9.11. MORANT JONH. **Análisis de las Fracciones de DQO en las Aguas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).** Tesis Título. Colombia. 2017.
- 9.12. NORMA TÉCNICA PARA EDIFICACIÓN OS.090, **Planta de Tratamiento de Agua residual.** Perú 2006.
- 9.13. (OEFA) ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL. **Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales.** Perú. Abril 2014.

- 9.14. PASCUAL JAIME MARTIN y otros. Mejora de un proceso convencional de fangos activos empleando un sistema híbrido de lechos móviles, en Revista Afinidad, Volumen 72, Páginas 256-261. España. 2015**
- 9.15. SINGH Ahashdeep, PHILIP Ligy. Evaluación del rendimiento de los reactores de biopelícula adherida para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con hidrocarburos y compuestos fenólicos, en Revista de Ingeniería Química Ambiental, Volumen 5, Número 4, Páginas 3852-3864. India. 2017.**
- 9.16. TAM MÁLAGA y Otros. Tipos, Métodos y Estrategias de Investigación Científica, en Revista de la Escuela de Postgrado: Pensamiento y Acción. Perú. 2008.**
- 9.17. TRUENQUE Lady, ALLAZO Cristopher, SILVERA María. Obtención de Agua para Riego Mediante el Sistema de Lodos Activados Continuos en la Planta Piloto de la FIARN –UNAC. Tesis Título. Perú. 2017.**
- 9.18. Van Haandel A.C. y Van der Lubbe J.G.M. Manual de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales, Diseño y Optimización de Sistemas de Lodos Activados, Reino Unido. Editorial Asociación Internacional del Agua: IWA. Segunda Edición. 2012.**
- 9.19. ZINATIZADEH A.A.L., GHAYTOOLI E. La eliminación simultánea de nitrógeno y carbono de las aguas residuales en diferentes condiciones operativas en un reactor de lecho biológico de lecho móvil (MBBR): Modelado y optimización de procesos, en Revista del Instituto de Ingenieros Químicos de Taiwan, Volumen 121, Páginas 119-126. España 2015**

**CAPÍTULO X
APÉNDICE**

10.1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA						
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	HIPOTESIS DE INVESTIGACION	OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES			METODO A EMPLEAR
			VARIABLE	INDICADOR	INDICE	
¿La implementación de superficie de contacto permitirá mejorar la Eficiencia del Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos de la Planta Piloto de la FIARN-UNAC?	<p>Objetivo General:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la eficiencia del Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos al implementar la Superficie de Contacto, con el fin de que cumpla con los Estándares de Calidad Ambiental Categoría III. <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar el porcentaje de volumen de relleno de carriers a utilizarse en el Sistema de Tratamiento de aguas residuales domésticas. • Añadir soportes de plásticos (carriers) en el sistema de Tratamiento de lodos activados continuos. • Medir los indicadores y parámetros de control del Sistema de Tratamiento. • Determinar la Eficiencia del Sistema de Tratamiento añadiendo superficie de contacto (carriers). • Comparar los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental de Agua Categoría III. • Comparar la Eficiencia del Sistema de Tratamiento con los resultados obtenidos anteriormente sin uso de superficie de contacto (carriers). 	<p>“La implementación de la Superficie de contacto permitirá mejorar la Eficiencia en el Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos, además de obtener agua que cumpla con los ECAs Categoría III y LMPs de PTARs domésticas”</p>	<p>Independiente X:</p> <p>Sistema de Tratamiento de lodos activados Continuos con Superficie de Contacto.</p> <p>Dependiente Y:</p> <p>Eficiencia del Sistema de Tratamiento con Superficie de contacto</p>	*Caudal (ml/min)	90-180	Volumétrico
				*Porcentaje volumétrico de relleno	50-55%	Pesaje
				*Superficie Específica (m ² /m ³)	650	Carrier
				*Oxígeno disuelto (mg O ₂ /L)	3-4	In situ
				*Potencial de Hidrógeno (pH)	6.5-8.5	In situ
				*Temperatura (°C)	17.5-23.5	In situ
				*TRH (días)	1.16-2.31	Cálculo
				*Carga orgánica (kg DBO ₅)	0.02-0.05	Cálculo
				*Demanda Bioquímica de Oxígeno	15	5210-B
				*Demanda Química de Oxígeno	40	5220-B
*Sólidos Suspendidos Totales	150	2540-D				
*Aceites y Grasas	5	EPA 1664				
*Coliformes Termotolerantes	1000	9221-E				

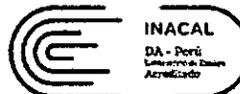
Fuente: Elaboración propia

10.2. INFORMES DE LABORATORIO



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



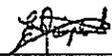
Regimen NLE - C1

Pág. 1/3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 67415L/17-MA

CLIENTE : Luis David Montes Barrera
DIRECCIÓN : Jr. Lambayeque 201 - La Perla
PRODUCTO : Agua residual
MATRIZ : Agua residual doméstica
NÚMERO DE MUESTRAS : 8
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico, Frascos de vidrio ámbar
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No Aplica
FECHA DE MUESTREO : 2017-06-13
LUGAR DE MUESTREO : Universidad Nacional del Callao - Bellavista
REFERENCIA DEL CLIENTE : Evaluación Eficiencia Superficie Contacto
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2017-06-13
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2017-06-13
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017-06-20
ORDEN DE SERVICIO : 06028-17/LMA

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company


INC. EVELYN F. QUIPE LARROSA
C.I.P. 19322
LABORATORIO MEDIO AMBIENTE

Callao, 30 de Junio de 2017

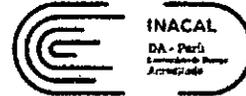
Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
"Valor" significa no cuantificado inferior al límite de cuantificación indicado.
"Valor" significa no cuantificado superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependen del laboratorio que realice el análisis.
Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax : (511) 628-8016
www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE-031

Pág. 2/3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 67415L/17-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo		SSC-E	SSC-A		
Fecha de Muestreo		2017-08-13	2017-08-13		
Hora de Muestreo		11:50	12:30		
Código de Laboratorio		00030	00036		
Matríz		00001	00002		
		ARD	ARD		
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.		
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	81	184.1
Acidez y Grasa	mg/L	1.0	0.6	14	29.6
Sólidos Totales Suspendedos	mg/L	3.0	1.3	40	190.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	29.1	226.7

Este informe no podrá ser reproducido por otro medio sin autorización de Inspectorate Servicios Perú S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra analizada.
 No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificación del sistema de gestión de la entidad que lo produce.
 "Valor" significa un resultado inferior al límite de cualificación indicado.
 "Mayor" significa un resultado superior al límite inferior de cualificación indicado, cuando sea aplicable.
 A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependen del laboratorio que realice el análisis.
 Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Ceballos - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-8016
 www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031



INACAL DA - Perú

Registre N° LE - 031

Pág. 3/3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 67415L/17-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Demanda Biológica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 22nd Ed. 2012. Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5-Day BOD Test
Acidos y Grasas	EPA 1854 Rev B, Febrero 2010. N-Hexane Extractable Material (HEM, IM and Grease) and Solid Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM, Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry
Sólidos Totales Suspensivos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-106°C
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2520 C, 22nd Ed 2012. Closed Reflux, Titrimetric Method

MATRICES

MATRI	DESCRIPCIÓN
ARD	Agua residual doméstica

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en cooler, con refrigerante y preservadas

"L.C." significa Límite de cuantificación

"L.D." significa Límite de detección

Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente sin la autorización de Inspectorate Services Perú, S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
 No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como evidencia del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 "valor" significa no cuantificable menor al límite de cuantificación indicado.
 "menor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
 A excepción de los productos perechibles los tiempos de custodia (dependiendo del laboratorio que realice el análisis)
 Este tiempo varía desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-9016
www.inspectorate.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

INSPECTORATE

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 68136L/17-MA

RESULTADOS DE ANALISIS

Estación de Muestreo	SSCE - 68136L
Fecha de Muestreo	2017-06-30 a 2017-06-30
Hora de Muestreo	06:00 a 06:30
Código de Laboratorio	00001 a 00001
Muestra	ARD a ARD

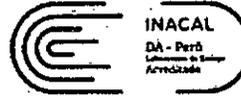
Elemento	Unidad	Resultado	LC	ULC	Valor
Densidad Química de Origen	mg/L O ₂	2.0	1.6	2.0	75.7
Azúcar y Grasa	mg/L	1.0	0.6	1.0	24.6
Color Total Suspensión	mg/L	3.0	1.3	3.0	228.6
Densidad Química de Origen	mg/L O ₂	2.0	1.0	2.0	206.5

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Saneamiento Perú S.A.C.
Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
No deben ser utilizados como una declaración de conformidad con normas de producto o como parámetro del sistema de calidad de la empresa que lo produce.
Este valor significa no es comparable inferior al límite de cuantificación indicado.
Este valor significa no es comparable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perechables los tiempos de custodia dependen del laboratorio que realiza el análisis.
Este tiempo valdrá desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 - Callao - Perú // Central: (511) 613-8080 - Fax: (511) 628-9010
www.inspectorate.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Región S.L.E. - C3

Pág. 3/3

INSPECTORATE

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 68136L/17-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012, Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test.
Aceites y Grasas	EPA 1664 Rev B, February, 2010, N-Hexane Extractable Material (HEM, Oil and Grease) and Slick Oil Treated N-Hexane Extractable Material (SOT-HEM), Non-polar Material by Extraction and Gravimetry.
Sólidos Totales Suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012 Solids, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5270 C, 22nd Ed 2012, Closed Reflux, Titrimetric Method.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
ARD	Agua residual doméstica

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en cooler, con refrigerante y preservadas.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Saneamiento Perú S.A.C.
Los resultados presentados corresponden únicamente a la muestra indicada.
No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
"Valor" significa un resultado inferior al límite de cuantificación indicado.
"Valor" significa un resultado superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perechables los tiempos de validez de resultados dependen del laboratorio que realice el análisis.
Este tiempo vence desde 7 días hasta 3 meses según aplica.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-6080 Fax: (511) 628-9016
www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 78706L/17-MA

CLIENTE : MONTES BARRERA LUIS DAVID
DIRECCIÓN : Jr. Lambayeque Nro. 201 (Av. Haya de L. Torre) Prov. Const. del Callao - La Perla
PRODUCTO : Agua residual
MATRIZ : Agua residual doméstica
NÚMERO DE MUESTRAS : 8
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico, Frascos de vidrio ámbar
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No Aplica
FECHA DE MUESTREO : 2017-07-11
LUGAR DE MUESTREO : Bellavista - Callao - Lima
REFERENCIA DEL CLIENTE : Evaluación eficiencia Superficie Contacto
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2017-07-11
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2017-07-11
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017-07-18
ORDEN DE SERVICIO : 07045-17/LMA

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

EVAL. YANIS MORALES R.
C.L.P. 133922
JEFE DE LABORATORIO MEDIO AMBIENTE

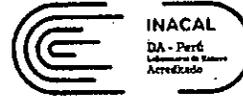
Callao, 18 de Julio de 2017

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
"Residual" significa no cuantificable (frente al límite de cuantificación indicado).
"Mayor" significa no cuantificable superior al 20% del máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecederos los tiempos de validez dependerán del laboratorio que realice el análisis.
Este tiempo varará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-8016
www.inspectorate.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

INSPECTORATE

Reglamento N° 012 - 031

Pág. 2/3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 78706L/17-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

				SSC-E	SSC-A
Estación de Muestreo				2017-07-11	2017-07-11
Fecha de Muestreo				11:00	10:30
Hora de Muestreo				06799	06799
Código de Laboratorio				00001	00002
Matriz				ARD	ARD
Ensayo	Unidad	L.C.	L.O.		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0	<2.0	79.0
Acidez y Grases	mg/L	1.0	0.6	<1.0	13.8
Sólidos Totales Suspensivos	mg/L	3.0	1.3	<3.0	72.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0	36.0	230.0

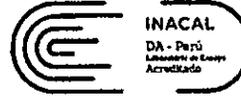
Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Servicios Perú S.A.C.
Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
"Valor" significa el cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
"Mayor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los métodos penales los tiempos de entrega de resultados del laboratorio que realiza el análisis.
Este tiempo varía desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Ay. Elmer Faucett N° 444, Callao - Perú / Central: (511) 613-6080 Fax : (511) 628-8016
www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 78706L/17-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Demanda Biológica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test.
Aceites y Grasas	EPA 1664 Rev B, Febrero, 2010. N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Solids Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SOT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.
Sólidos Totales Suspendedos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012 Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 22nd Ed 2012. Closed Reflux, Titrimetric Method

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
ARD	Aguas residual doméstica

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en cooler, con refrigerante y preservadas.
 "L.C." significa Límite de cuantificación.
 "L.D." significa Límite de detección.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra(s) indicada(s).
 No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 "Valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
 "Mayor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
 A excepción de los productos perecibles los tiempos de espera en dependencias del laboratorio que realice el análisis.
 Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Eimer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8030 Fax: (511) 628-8016
 www.inspectorate.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 031



INSPECTORATE

Perú N° LE 031

Perú N° LE 031

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 79491/L/17-MA

CLIENTE: MONTES BARRERA LUIS DAVID
 DIRECCION: Jr. Lambayeco Nro. 201 (Av. Haya de la Torre) Prov. Const. del Callao - La Perla
 PRODUCTO: Agua residual
 MATRIZ: Agua residual domestica
 NUMERO DE MUESTRAS: 8
 PRESENTACION DE LAS MUESTRAS: Frascos de plástico, Frascos de vidrio ambar
 PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS: Muestras enviadas por el cliente
 PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: No Aplica
 FECHA DE MUESTREO: 2017-07-31
 LUGAR DE MUESTREO: Bellavista - Callao (UNAC) - Lima
 REFERENCIA DEL CLIENTE: Evaluación eficiencia superficie contacto
 FECHA DE RECEPCION DE LAS MUESTRAS: 2017-07-31
 FECHA DE EJECUCION DE ENSAYO: 2017-07-31
 FECHA DE TERMINO DE ENSAYO: 2017-08-07
 ORDEN DE SERVICIO: 07045-17/LMA

Inspectorate Servicios Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

ING. YANI MORALES R.
CIP: 119927
JEFE DE LABORATORIO MEDIO AMBIENTE

Callao, 07 de Agosto de 2017

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Servicios Perú S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada.
 El valor reportado no garantiza ni asegura la conformidad con normas de producto o como parámetro del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce.
 El valor reportado no garantiza ni asegura el límite máximo de contaminación indicado, cuando sea aplicable.
 La excepción de los productos prohibidos los grupos de usuarios disponibles en el laboratorio que aplica al análisis.
 Este campo deberá llenarse 7 días antes o 3 meses antes máximo.

Av. Elmor Faucett N° 444 - Callao - Perú - Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-9016
 www.inspectorate.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL S.A.
CON REGISTRO N° LE-031



INSPECTORATE

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N°: 79491U/17-MA

RESULTADOS DE ANALISIS

Estado de Muestra	SSCE	SSCA
Fecha de Muestreo	2017-07-31	2017-07-31
Hora de Muestreo	11:30	11:00
Código de Laboratorio	0746	07407
Muestra	00001	00002
Matriz	ARD	ARD

Densidad Química de Oxígeno	mg / 100	2.0	1.0	5.0	17.0
Acidez y Gravedad	mg	11.0	0.5	1.5	12.0
Condición Total Suspended	mg	3.0	1.5	11.0	24.0
Densidad Química de Oxígeno	mg / 100	2.0	1.0	5.0	17.0

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Servicios Perú S.A. C. Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada. Este informe no debe ser utilizado como una declaración de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de gestión de la empresa que proporciona los datos. "Valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado. "Valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable. La validez de los resultados por encima del tiempo de caducidad depende del laboratorio que realizó el análisis. Este informe tendrá validez desde 7 días hasta 3 meses desde su emisión. Av. Elmor Faucón N° 444 - Callao - Perú. Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 620-5016 www.inspectorate.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 3031



INSPECTORATE

Version 17.12.12

Página 3/3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 79491/L/17-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012; Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD
Aceites y Grasas	EPA 1664 Rev B, Febrero, 2010; N-Hexano Extracción Materia (HEM, Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexano Extracción Materia (SGT-HEM, Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry
Sólidos Totales Suspendidos	SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012; Solids, Total Suspended Solids Dried at 100-105°C
Demanda Química de Oxígeno	SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 22nd Ed 2012; Closed Reflux, Titrimetric Method

MATRICES

DESCRIPCIÓN DE LA MATRIZ	DESCRIPCIÓN DE LA MATRIZ
Agua residual doméstica	Agua residual doméstica

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en estado líquido y transparente.
 L.C. significa Límite de Cuantificación.
 L.D. significa Límite de Detección.

Este informe es válido por reproducción parcial o total, con autorización de Inspectorate Control Perú S.A.C.

Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.

Los resultados no significan un diagnóstico de contaminación, sino un diagnóstico de calidad de agua.



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 89732L/17-MA

CLIENTE : MONTES BARRERA LUIS DAVID
DIRECCIÓN : Jr. Lambayeque Nro. 201 (Av. Haya de L Torre) Prov. Const. del Callao - La Perla
PRODUCTO : Agua residual
MATRIZ : Agua residual doméstica
NÚMERO DE MUESTRAS : 2
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No Aplica
FECHA DE MUESTREO : 2017-08-07
LUGAR DE MUESTREO : Bellavista - Callao (UNAC) - Lima
REFERENCIA DEL CLIENTE : Evaluación Eficiencia Superficie de Contacto
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2017-08-07
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2017-08-07
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017-08-14
ORDEN DE SERVICIO : 08052-17/LMA

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

ING. EVELYN P. QUISPE LLORCA
C.I.P. 98232
LABORATORIO MEDIO AMBIENTE

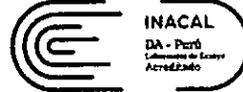
Callao, 14 de Agosto de 2017

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
No deben ser utilizadas como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
"<value>" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
">value>" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de validez dependen del laboratorio que realiza el análisis.
Este tiempo varía desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-6080 Fax : (511) 628-9016
www.inspectorate.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

INSPECTORATE

Reglamento LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 89732L/17-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

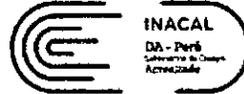
Estación de Muestreo					SSC-E
Fecha de Muestreo					2017-06-07
Hora de Muestreo					11:00
Código de Laboratorio					07657
Código de Laboratorio					00001
Método					ARD
Ensayo	Unidad	L.C.	L.O.		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0	3.4	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0	7.6	

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
"valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
"valor" significa no cuantificable superior al límite mínimo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perechibles los tiempos de validez dependerán del laboratorio que realice el análisis.
Este tiempo varía desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-9016
www.inspectorate.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 3

INSPECTORATE

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 89732L/17-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

MUESTRA	NORMA DE REFERENCIA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 5210 B, 22nd Ed. 2012. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 5220 C, 22nd Ed 2012. Closed Reflux, Titrimetric Method.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
ARD	Agua residual doméstica.

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en cooler, con refrigerante y preservadas.
"L.C." significa Límite de cuantificación.
"L.D." significa Límite de detección.

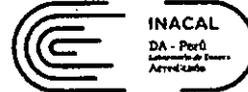
Este informe se presta en reproducción por cualquier medio en su totalidad por el Inspectorate Services Perú S.A.C.
Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra evaluada.
No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
"Valor" significa no cuantificable por encima del límite de cuantificación indicado.
"Mayor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perechables los tiempos de custodia dependen del laboratorio que remite el análisis.
Este tiempo varía desde 7 días hasta 3 meses desde el inicio.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax : (511) 628-8016
www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 90069L/17-MA

CLIENTE : MONTES BARRERA LUIS DAVID

DIRECCIÓN : Jr. Lambayeque Nro. 201 (Av. Haya de L Torre) Prov. Const. del Callao - La Perla

PRODUCTO : Agua residual

MATRIZ : Agua residual doméstica

NÚMERO DE MUESTRAS : 2

PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico

PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No Aplica

FECHA DE MUESTREO : 2017-08-14

LUGAR DE MUESTREO : Bellavista - Callao (UNAC) - Lima

REFERENCIA DEL CLIENTE : Estación eficiencia superficie de contacto

FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2017-08-14

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2017-08-14

FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017-08-19

ORDEN DE SERVICIO : 08052-17/LMA

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

INÉS ZEILA D. LOPE SALAZAR
C.I.P. 190287
LABORATORIO MEDIO AMBIENTE

Callao, 19 de Agosto de 2017

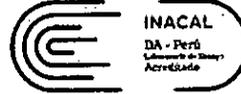
Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra analizada.
No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de proceso o como certificaciones del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
"valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
"valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de validez dependerán del laboratorio que realice el análisis.
Este tiempo varará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-9016
www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 90069L/17-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

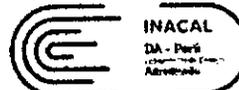
Estación de Muestreo	SSC-E			
Fecha de Muestreo	2017-06-14			
Hora de Muestreo	16:00			
Código de Laboratorio	07921			
Matriz	ARD			
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	<2.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	<4.2

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Servicios Perú S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
 No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 "Valor" significa no cuantificado inferior al límite máximo de cuantificación indicado.
 ">valor" significa no cuantificado superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
 A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis.
 Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-9016
www.inspectorate.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 3/3

INSPECTORATE

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 90069L/17-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Demanda Química de Oxígeno	SMEYW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno	SMEYW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 G, 22nd Ed 2012. Closed Reflux, Titrimetric Method.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
ARD	Agua residual doméstica

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en color, con refrigerante y preservadas.
"L.C." significa Límite de cuantificación.
"L.D." significa Límite de detección.

Este informe no podrá ser reproducido por terceros sin la autorización de Inspectorate Services Peru, S.A.C.
Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como participación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
"Valor" significa no cuantificable inferior al L.C. = Límite de Cuantificación establecido.
"Mayor" significa no cuantificable superior al L.C. = Límite de Cuantificación establecido, cuando sea aplicable.
A excepción de los procedimientos previstos las muestras de muestra destruyeron por laboratorio que realiza el análisis.
(Este tiempo varía desde 7 días hasta 3 meses como máximo).

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-8016
www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 031



INACAL DA PERU

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 90330L/17-MA

CLIENTE: MONTES BARRERA LUIS DAVID
 DIRECCION: J. Lambayaque Nro. 201 (Av. Haya de La Torre) Prov. Const. del Callao - La Perla
 PRODUCTO: Agua residual
 MATRIZ: Agua residual domestica
 NUMERO DE MUESTRAS: 2
 PRESENTACION DE LAS MUESTRAS: Frascos de plastico
 PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS: Muestras enviadas por el cliente
 PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: No Aplica
 FECHA DE MUESTREO: 2017-08-21
 LUGAR DE MUESTREO: Bellavista - Callao (UNAC) - Lima
 REFERENCIA DEL CLIENTE: Evaluacion eficiencia superficie de contacto
 FECHA DE RECEPCION DE LAS MUESTRAS: 2017-08-21
 FECHA DE EJECUCION DE ENSAYO: 2017-08-21
 FECHA DE TERMINO DE ENSAYO: 2017-08-28
 ORDEN DE SERVICIO: 08052-17/LMA

Inspectorate General of the Environment
 Director General: Ing. YANIS BRUNO RIVERA
 Director: Ing. YANIS BRUNO RIVERA
 Ing. YANIS BRUNO RIVERA
 C.E.P. 110022
 JEFE DE LABORATORIO MEDIO AMBIENTE

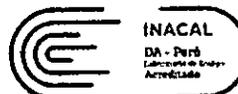
Callao, 28 de Agosto de 2017

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización del Inspectorate General de Medio Ambiente.
 El presente informe es válido para los resultados presentados con respecto a los ítems indicados.
 No deberá ser utilizado como una declaración de conformidad con normas de productos o como certificación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 "Bueno" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
 "Malo" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
 A diferencia de los productos químicos los tiempos de custodia (disponibilidad) del laboratorio no se refieren al método.
 El presente informe es válido por un periodo de 3 meses desde la fecha de emisión.
 Av. Elmer Faucett N° 444 - Callao - Perú | Central: (511) 613-8080 | Fax: (511) 628-8016
 www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

PÁG. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 90330L/17-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo				SSC-E
Fecha de Muestreo				2017-08-21
Hora de Muestreo				12:30
Código de Laboratorio				08158
Matriz				00001
				ARD
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0	<2.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0	32.8

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Servicios Peru S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
 No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicada.
 ">valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicada, cuando sea aplicable.
 A excepción de los productos perecibles las muestras de Custodia expirarán en el laboratorio que realice el análisis.
 Este Servicio vencerá desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-9016
www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 90330L/17-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

MUESTRA	MÉTODOS DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEYW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012, Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test.	
Demanda Química de Oxígeno	SMEYW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 22nd Ed 2012, Closed Reflux, Titrimetric Method.	

MATRICES

ID	MATRIZ	DESCRIPCIÓN
ARD		Agua residual doméstica

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en cooler, con refrigerante y preservadas.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Servicios Perú S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
 No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
 "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
 A excepción de los productos perechibles los tiempos de validez dependerán del laboratorio que realice el análisis.
 Este tiempo varía desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Cellaio - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-9016
www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 1/3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 90809L/17-MA

CLIENTE : MONTES BARRERA LUIS DAVID

DIRECCIÓN : Jr. Lambayeque Nro. 201 (Av. Haya de L Torre) Prov. Const. del Callao - La Perla

PRODUCTO : Agua residual

MATRIZ : Agua residual doméstica

NÚMERO DE MUESTRAS : 2

PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico

PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No Aplica

FECHA DE MUESTREO : 2017-08-31

LUGAR DE MUESTREO : Bellavista - Callao - UNAC - Lima

REFERENCIA DEL CLIENTE : Evaluación de la Superficie de Contacto

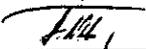
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2017-08-31

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2017-08-31

FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017-09-07

ORDEN DE SERVICIO : 08052-17/LMA

Inspectorate Servicios Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company


 INC. YANI MORALES R.
 C.E.P. 03922
 JEFE DE LABORATORIO MEDIO AMBIENTE

Callao, 07 de Setiembre de 2017

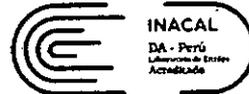
Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Servicios Perú S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
 No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 "Valor" significa no cuantificado inferior al límite de cuantificación indicado.
 "Mayor" significa no cuantificado superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
 A excepción de los productos perechibles los tiempos de custodia dependen del laboratorio que recibe el análisis.
 Este tiempo varía desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax : (511) 628-9016
www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No: 90809L/17-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo		ESC-E		
Fecha de Muestreo		2017-08-31		
Hora de Muestreo		09:00		
Código de Laboratorio		0554		
Matriz		00001		
		ARD		
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0	3.5
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0	19.3

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Servicios Perú S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
 No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 «Valor» significa no cuantificado inferior al límite de cuantificación indicado.
 «Valor» significa no cuantificado superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
 A excepción de los productos perechibles los tiempos de validez dependerán del laboratorio que realice el análisis.
 Este tiempo valdrá desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-9016
www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 90809L/17-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

MÉTODO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012, Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 22nd Ed 2012, Closed Reflux, Titrimetric Method

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
ARD	Agua residual doméstica

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en cooler, con refrigerante y preservadas.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Este Informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
 No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 >"valor" significa no cuantificación inferior al límite de cuantificación indicado.
 >"valor" significa no cuantificación superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
 A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis.
 Este tiempo varía desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-8016
www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 1/3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 91437L/17-MA-MB

CLIENTE : MONTES BARRERA LUIS DAVID

DIRECCIÓN : Jr. Lambayeque Nro. 201 (Av. Haya de L Torre) Prov. Const. del Callao - La Perla

PRODUCTO : Agua residual

MATRIZ : Agua residual doméstica

NÚMERO DE MUESTRAS : 2

PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico estéril

PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No Aplica

FECHA DE MUESTREO : 2017-09-14

LUGAR DE MUESTREO : Bellavista - Callao - Lima

REFERENCIA DEL CLIENTE : Evaluación Eficiencia Superficie Contacto

FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2017-09-14

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2017-09-14

FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017-09-21

ORDEN DE SERVICIO : OS/L-17-09057

Callao, 21 de Setiembre de 2017

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

B.D.A. TERESA ZACARAS CANO
C.B.P. 1183
JEFE DE LABORATORIO MICROBIOLOGIA

ING. YAN MORALES H.
C.I.P. 133922
JEFE DE LABORATORIO MEDIO AMBIENTE

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
"Valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
"Valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis.
Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-9016
www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031



Registro INACAL - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 91437L/17-MA-MB

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo		SSC-E	SSC-E-CI
Fecha de Muestreo		2017-09-14	2017-09-14
Hora de Muestreo		11:00	11:20
Código de Laboratorio		00001	00002
Matriz		ARD	ARD
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1,8	-
			54x10 ³ 23

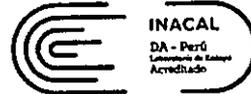
Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
 No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 "Valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicada.
 A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis.
 Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-9016
www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 031

Pág. 3/3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 91437L/17-MA-MB

MÉTODOS DE ENSAYO

MÉTODO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Coliformes Fecales	SS/EFWW-JPHA-AWWA-WEF Part. 8221 E, 22nd Ed. 2012. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure, 1, Thermotolerant Coliform Test (EC Medium).

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
ARD	Agua residual doméstica

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en cooler, con refrigerante.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
 No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producción o como verificación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 "No detectado" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
 "Mayor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
 A excepción de los productos perechibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis.
 Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-9016
www.inspectorate.com.pe