

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES



“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL REACTOR
BIOLÓGICO SECUENCIAL DE BIOPELÍCULA DE LA
PLANTA PILOTO - FIARN EN EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA SU REÚSO
EN EL RIEGO DE ÁREAS VERDES”

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

SANDRA MARLENE GARCIA PESANTES
ANGIE STEPHANIE NEYRA MERINO
ARACELY JULISSA RAMÍREZ DÍAZ

ASESOR:

Dr. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA

Callao, Diciembre 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° 012-2018-JEDT-FIARN

Siendo las 11:40 horas del día martes 11 de diciembre 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 DEL REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL DE BIOPELÍCULA DE LA PLANTA PILOTO FIARN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA SU REÚSO EN EL RIEGO DE ÁREAS VERDES”** presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de las Bachilleres: Aracely Julissa Ramírez Díaz, Angie Stephanie Neyra Merino y Sandra Marlene García Pesantes

Contando con la asistencia del Jurado Evaluador y Asesor a fin de dar cumplimiento a la Resolución N° 086-2018-D-FIARN de fecha 03 de diciembre de 2018, los mismos que están integrados por los siguientes docentes:

MsC. María Teresa Valderrama Rojas	Presidenta
Ing. Godofredo León Ramírez	Secretario
Lic. Janet Mamani Ramos	Vocal
Dr. 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** y con ello dar por concluido el proceso de Sustentación de Tesis.

En señal de conformidad firman el Jurado Evaluador y Asesor, siendo las 12:50 horas del día 11 de diciembre de 2018.


MsC. María Teresa Valderrama Rojas
Presidenta


Ing. Godofredo León Ramírez
Secretario


Lic. Janet Mamani Ramos
Vocal


Dr. Máximo Fidel Baca Neglia
Asesor

Callao, 11 DIC 2018 del 20


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Oficina del Rector General


Lic. César Guillermo Jaraque
Secretario General

DEDICATORIA

A Dios, por ser nuestra guía,

A nuestros padres por todo el amor, incondicional apoyo moral, sacrificio y esfuerzo, por darnos una carrera para nuestro futuro y creer en nuestra capacidad.

Y a todas las personas que nos facilitaron su apoyo, para la elaboración de la tesis.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, por ser el impulso día a día para el desarrollo de esta tesis.

Agradecemos con todo el corazón a todos aquellos que de alguna u otra forma se involucraron en esta tesis.

A nuestro asesor Máximo Fidel Baca Neglia, por el apoyo en esta investigación e incondicional ayuda durante todos los baches que se presentaron durante esta tesis.

A Javier Alberto Baca Neglia y amigos por todo su apoyo en la implementación estructural que hicieron posible esta investigación.

Agradecemos a la Universidad Nacional del Callao, en especial a la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales por los conocimientos facilitados y espacio proporcionado para el desarrollo del proyecto.

ÍNDICE

RESUMEN.....	8
ABSTRAC.....	9
CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
1.1. Determinación del problema.....	10
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Objetivos de la investigación.....	12
1.3.1. Objetivo general.....	12
1.3.2. Objetivo específico.....	12
1.4. Justificación.....	13
1.5. Importancia.....	14
1.5.1. Ambiental.....	14
1.5.2. Legal.....	14
1.5.3. Social.....	14
1.5.4. Económico.....	15
CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Antecedentes del Estudio.....	16
2.2. Bases Teórica.....	22
2.2.1. Generalidades del agua.....	23
2.2.2. Características del Agua Residual.....	23
2.2.3. Aguas residuales municipales.....	25
2.2.4. Sistema de Tratamiento Biológicos de aguas residuales.....	26
2.2.5. Pre tratamiento.....	29
2.2.6. Reactor Biológico Secuencial (SBR).....	31
2.2.7. Post tratamiento al SBR.....	45
2.2.8. Características del Diseño y Operación del Sistema de Tratamiento Compacto de la planta piloto FIARN-UNAC.....	48
2.2.9. Biopelícula.....	62
2.2.10. Material de Soporte.....	64
2.3. Marco Legal.....	68
2.3.1. Normas Internacionales.....	68
2.3.2. Normas Nacionales.....	69

2.4. Definición de Términos Básicos	75
CAPÍTULO III : VARIABLES E HIPÓTESIS.....	81
3.1. Variables de la investigación, $y = f(x)$	81
3.1.1. Variables independientes, (X)	81
3.1.2. Variables dependientes, (Y)	81
3.2. Operacionalización de variables	82
3.3. Hipótesis general.....	83
CAPÍTULO IV : METODOLOGÍA.....	84
4.1. Tipo de investigación.....	84
4.2. Diseño de investigación	84
4.3. Población y muestra	84
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	85
4.4.1. Técnicas de recolección de datos	85
4.4.2. Instrumentos de Recolección de datos.....	86
4.5. Procedimiento para la recolección de datos	86
4.5.1. Objetivos	87
4.5.2. Selección de Parámetros	87
4.5.3. Selección de los puntos de muestreo	87
4.5.4. Toma de muestra, mediciones en situ y su frecuencia	87
4.5.5. Selección de los métodos analíticos.....	88
4.5.6. Evaluación de la eficiencia	90
4.6. Procedimiento estadístico y análisis de datos	90
CAPÍTULO V : RESULTADOS	92
5.1. Resultados de las variables dependientes del Sistema	92
5.1.1. Resultado del análisis del Potencial Hidrogeno (pH)	92
5.1.2. Resultado del análisis de la Demanda Química de Oxígeno	93
5.1.3. Resultado del análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	94
5.1.4. Resultado del análisis de los Aceites y Grasas (A y G)	95
5.1.5. Resultado del análisis de los Coliformes Termotolerantes (CT).....	96
5.1.6. Resultado del análisis de la Turbiedad	98
5.1.7. Resultado del análisis del Oxígeno Disuelto (OD)	99

5.1.8. Resultado del análisis de la Conductividad Eléctrica (CE).....	100
5.2. Resultado de los parámetros de control del Sistema.....	101
5.2.1. Resultado del análisis de Temperatura	101
5.3. Evaluación de la calidad de agua	103
CAPÍTULO VI : DISCUSIÓN DE RESULTADOS	105
6.1. Contrastación de la hipótesis con los resultados del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula (SBBR)	105
6.1.1. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	105
6.1.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	106
6.1.3. Turbiedad.....	107
6.1.4. Conductividad Eléctrica (CE).....	108
6.2. Contrastación de los resultados con normativa y otros estudios .	111
6.2.1. Evaluación de la calidad del agua residual doméstica posterior a su tratamiento con el ECA Agua.....	111
6.2.2. Comparación entre el Reactor Biológico Secuencial (SBR) y Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula (SBBR).....	120
CAPÍTULO VII : CONCLUSIONES	127
CAPÍTULO VIII : RECOMENDACIONES	131
CAPÍTULO IX : REFERENCIAS	133
ANEXOS	142
• MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	142
• INFORMES DE LABORATORIO	143

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1	TIPO DE CARRIER AQWISE ABC5.....	14
FIGURA 2.1	VARIACIÓN TÍPICA DEL GASTO, SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y DBO ₅ EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES	26
FIGURA 2.2	SECUENCIA TÍPICA DE UN REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL.....	38
FIGURA 2.3	VISTAS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL EL SISTEMA DE TRATAMIENTO COMPACTO DE LODOS ACTIVADOS SECUENCIALES	50
FIGURA 2.4	PLANO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO COMPACTO DE LODOS ACTIVADOS SECUENCIALES (SBR).....	51
FIGURA 2.5	DIFUSORES DE BURBUJAS FINAS	52
FIGURA 2.6	DIAGRAMA DE ALIMENTACIÓN DE LA TARJETA DE LA PLACA DE CONTROL AUTOMÁTICO.....	55
FIGURA 2.7	TARJETA O PLACA DE CONTROL AUTOMÁTICO.....	56
FIGURA 2.8	DIAGRAMA DE LA TARJETA O DE LA PLACA DE CONTROL AUTOMÁTICO.....	57
FIGURA 2.9	VISTAS DE VÁLVULAS DE SOLENOIDES PARA EL AIRE	59
FIGURA 2.10	VISTA DE LOS DOS SOPLADORES ELECTROMAGNÉTICOS.....	59
FIGURA 2.11	VISTA QUE MUESTRA LAS DOS ELECTROBOMBAS PARA AGUAS CRUDAS	60
FIGURA 2.12	VISTA DEL TABLERO ELÉCTRICO Y DE LA CAJA DE DONDE SE UBICA LA TARJETA DE CONTROL	60
FIGURA 2.13	VISTA ANTERIOR Y POSTERIOR DE LA TARJETA DE CONTROL.....	61
FIGURA 2.14	VISTA DE LAS VALVULAS DE SALIDA DEL EFLUENTE TRATADO	61
FIGURA 2.15	VISTAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO COMPACTO DE LODOS ACTIVADOS DEL TIPO SECUENCIAL	62
FIGURA 4.1	TOMA DE MUESTRA.	88
FIGURA 5.1	RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE PH.....	93
FIGURA 5.2	RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA DQO	94
FIGURA 5.3	RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA DBO ₅	95
FIGURA 5.4	RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE A Y G .	96
FIGURA 5.5	RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS CT.....	97

FIGURA 5.6	RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE POST TRATAMIENTO CON CLORO DE LOS CF	98
FIGURA 5.7	RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA TURBIEDAD	99
FIGURA 5.8	RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE OD ...	100
FIGURA 5.9	RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA CE	101
FIGURA 5.10	RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE TEMPERATURA DEL AGUA	103
FIGURA 6.1	COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO	106
FIGURA 6.2	COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DBO ₅	107
FIGURA 6.3	COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD	108
FIGURA 6.4	COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CE	109
FIGURA 6.5	DISMINUCIÓN DE LA TURBIEDAD.....	110
FIGURA 6.6	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE PH CON EL ECA-AGUA.....	111
FIGURA 6.7	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE DQO CON EL ECA-AGUA.....	112
FIGURA 6.8	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE DBO ₅ CON EL ECA-AGUA.....	113
FIGURA 6.9	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE A Y G CON EL ECA-AGUA.....	114
FIGURA 6.10	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES CON EL ECA-AGUA.....	115
FIGURA 6.11	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE TURBIEDAD CON EL ECA-AGUA	116
FIGURA 6.12	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE OD CON EL ECA-AGUA.....	117
FIGURA 6.13	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE CE CON EL ECA-AGUA.....	118
FIGURA 6.14	GRÁFICO DE TEMPERATURA DEL AGUA DE LA PLANTA PILOTO FIARN-UNAC.....	119
FIGURA 6.15	GRÁFICO DE TEMPERATURA AMBIENTAL MAYO 2018	119
FIGURA 6.16	GRÁFICO DE TEMPERATURA AMBIENTAL JUNIO 2018	120
FIGURA 6.17	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE PH ENTRE SBR Y SBBR	121

FIGURA 6.18	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE DQO ENTRE SBR Y SBBR	122
FIGURA 6.19	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE DBO5 ENTRE SBR Y SBBR	123
FIGURA 6.20	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE A Y G ENTRE SBR Y SBBR	124
FIGURA 6.21	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE TURBIEDAD ENTRE SBR Y SBBR.....	124
FIGURA 6.22	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE OXIGENO DISUELTO ENTRE SBR Y SBBR	125
FIGURA 6.23	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE CE ENTRE SBR Y SBBR	126

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1	VALORES PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS QUE CARACTERIZA EL EFLUENTE MONITOREADO.....	49
TABLA 2.2	VALORES DEL DISEÑO DE LAS CAMARAS	49
TABLA 2.3	VALORES DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE AIREACION ...	52
TABLA 2.4	TIEMPOS PROGRAMADOS.	53
TABLA 2.5	FASES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO COMPACTO DE LODOS ACTIVADOS SECUENCIAL.....	58
TABLA 2.6	REQUISITOS QUE DEBE TENER UN MEDIO DE SOPORTE	65
TABLA 2.7	MEDIOS DE SOPORTE MANUFACTURADOS	66
TABLA 2.8	GUÍA SUGERIDA PARA AGUAS TRATADAS EN EL REUSO AGRICOLA	68
TABLA 2.9	DIRECTRICES DE LA OMS (1989) SOBRE CALIDAD PARASITOLOGÍA Y MICROBIOLÓGIA DE AGUA RESIDUAL PARA USO EN AGRICULTURA.	69
TABLA 4.1	MATERIALES PARA MUESTREO EN LABORATORIO.....	86
TABLA 4.2	MÉTODOS NORMALIZADOS Y EQUIPOS PARA MONITOREO DE AGUAS RESIDUALES.....	89
TABLA 4.3	VALORES DE COMPARACIÓN.....	91
TABLA 5.1	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE PH	93
TABLA 5.2	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE DQO	94
TABLA 5.3	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE DBO ₅	95
TABLA 5.4	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE A Y G	96
TABLA 5.5	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LOS CT ..	97
TABLA 5.6	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA TURBIEDAD	98
TABLA 5.7	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE OD	99
TABLA 5.8	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA CE...	100
TABLA 5.9	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA.....	102
TABLA 5.10	RESUMEN DE LOS RESULTADO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN A LAS CONCENTRACIONES DE CARRIER	104
TABLA 6.1	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO	106
TABLA 6.2	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DBO ₅	107
TABLA 6.3	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD	108
TABLA 6.4	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CE	109

RESUMEN

La investigación se centró en mejorar la calidad del agua tratada por el Reactor Biológico Secuencial (SBR) de la Planta Piloto FIARN – UNAC, añadiendo carrier como superficie de contacto aumentando el desarrollo de biopelícula, pues en el Perú existe la problemática del consumo inadecuado del agua potable usada para el riego de áreas verdes.

Para modo experimental, se evaluó semanalmente, a caudal constante de 800L/día, las concentraciones de carrier de 10%, 15%, 20%, 25% y 30% del volumen total del Reactor Discontinuo Secuencial de Biopelícula (SBBR).

El objetivo principal de la investigación fue evaluar la eficiencia del SBBR a diferentes concentraciones de carrier de 10%, 15%, 20%, 25% y 30%, obteniendo los valores promedios de: pH 6.99, 7.29, 6.83, 6.96 y 6.92; DQO 22.9, 39.7, 23.8, 24.5 y 87.8 mg/L; DBO₅, 8.4, 5.8, 10.4, 7.1 y 38.7 mg/L; Aceites y grasas ≤1.0, ≤1.0, 1.5, 1.1 y 1.3 mg/L; Turbiedad 3.21, 3.34, 0.82, 1.49 y 4.72 NTU; Oxígeno disuelto (OD) 5.53, 5.65, 6.41, 5.20 y 5.05 mg/L y Conductividad eléctrica (CE) 2012.00, 2196.73, 1084.33, 1688.67 y 1416.67μS/cm, respectivamente.

En comparación con el SBR de la Planta Piloto FIARN – UNAC, las concentraciones de 10%, 15%, 20% y 25% lograron obtener mejores resultados, a su vez estos cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua – Categoría III: Agua para riego.

La mejor eficiencia de tratamiento es al 20% de concentración de carrier del SBBR, logrando una remoción de DQO de 91.53%, DBO₅ de 90.80%, CE de 33.61%, Turbiedad de 98.81% y OD de 60.18%.

Finalmente, el aumento en la concentración de carrier generó que la aireación y la eficiencia del tratamiento disminuyan, por lo que se descarta la hipótesis en que a mayor concentración de carrier se obtiene una mejor eficiencia.

ABSTRAC

The research focused on improving the quality of the water treated by the Sequential Batch Reactor (SBR) of the FIARN Pilot Plant – UNAC, adding carrier as a contact surface, increasing biofilm development, because in Peru there is the problem of inadequate consumption of used drinking water for the irrigation of green areas.

For experimental mode, the carrier concentrations of 10%, 15%, 20%, 25% and 30% of the total volume of the Sequential Biofilm Batch Reactor (SBBR) were evaluated weekly at a constant flow rate of 800L/day.

The main objective of the research was to evaluate the efficiency of SBBR at different carrier concentrations of 10%, 15%, 20%, 25% and 30%, obtaining the average values of: pH 6.99, 7.29, 6.83, 6.96 and 6.92; COD 22.9, 39.7, 23.8, 24.5 and 87.8 mg/L; BOD₅, 8.4, 5.8, 10.4, 7.1 and 38.7mg/L; Oils and fats ≤1.0, ≤1.0, 1.5, 1.1 and 1.3 mg/L; Turbidity 3.21, 3.34, 0.82, 1.49 and 4.72 NTU; Dissolved oxygen (DO) 5.53, 5.65, 6.41, 5.20 and 5.05 mg/L and Electrical conductivity (EC) 2012.00, 2196.73, 1084.33, 1688.67 and 1416.67μS/cm, respectively.

Compared with the SBR of the FIARN Pilot Plant - UNAC, the concentrations of 10%, 15%, 20% and 25% achieved better results, in turn these comply with the Environmental Quality Standards for Water - Category III: Water for irrigation.

The best treatment efficiency is at 20% carrier concentration of the SBBR, achieving a removal of COD removal of 91.53%, BOD₅ of 90.80%, CE of 33.61%, Turbidity of 98.81% and DO of 60.18%.

Finally, the increase in carrier concentration caused the aeration and the efficiency of the treatment to decrease, so the hypothesis is discarded that a higher carrier concentration results in better efficiency.

CAPÍTULO I PLANTEANIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Determinación del problema.- Entre los años 2000-2012 se recopiló información de la calidad de los recursos hídricos. Los resultados determinaron que los parámetros coliformes termotolerantes, arsénico, plomo y cadmio asociados a las descargas de Aguas Residuales Domésticas (ARD), pasivos ambientales mineros, minería informal y características hidrogeológicas muestran niveles de afectación a la calidad de los recursos hídricos para fines de riego (en las tres vertientes) y para uso poblacional (vertientes del Pacífico y Amazonas). Además, los parámetros DBO₅, cadmio, arsénico y plomo en la vertiente del Pacífico muestran niveles de afectación a la calidad de los recursos hídricos con fines de conservación del ambiente acuático (Autoridad Nacional del Agua, 2016, págs. 24-25).

Un estudio realizado por la Autoridad Nacional del Agua (2013) determina que, según datos del 2009, de 786 MMC de ARD vertidas a la red de alcantarillado a nivel nacional, 511 MMC no recibieron tratamiento antes de su disposición, 325 MMC de estas aguas corresponde a Lima y Callao. Además, en el estudio se indica que de un total de 143 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTAR), solo 7 plantas se encontraban operando de forma óptima.

Hasta el 1 de julio de 2014, las Empresas Prestadoras de Servicio de Saneamiento (EPS) reportaron el reúso para riego, de una parte o el total del efluente de 78 PTAR, pero solo 3 PTAR en operación cuentan con autorización (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, Cooperación Alemana, 2015).

Para concluir, Moscoso (2011) menciona en su estudio que de las 3'700 ha de áreas verdes recreativas de Lima se están regando con 2'300 L/s, de los cuales 1'200 L/s son agua de río, 700 L/s de agua potable y subterránea, así como 400 L/s de aguas residuales tratadas. Frente a esta situación del mal uso del agua potable directamente para su uso en el riego de parque y jardines, e indirectamente al utilizarse agua del río (agua que dejó de llegar a la planta de potabilización para convertirse en agua potable) además de utilizar agua subterránea otra fuente importante de agua potable, y de otro lado el uso inadecuado que se hace a nivel de las viviendas que utilizan el agua potable para regar sus propios jardines, todo esto justifico que el Ing. Baca Neglia, (2017) planteara el diseño de un Sistema Compacto de Tratamiento de lodos Activados del tipo Secuencial que permitiera su uso en las propias viviendas o conjunto habitacionales con el fin de utilizar aguas domesticas tratadas, logrando demostrar la viabilidad de su propuesta, frente a esta propuesta, presentamos la nuestra con el afán de mejorar la

precedente, por lo que planteamos en forma de pregunta la formulación del problema.

1.2. Formulación del problema.-

¿A mayor concentración de Carrier será más eficiente el uso del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula en el tratamiento de aguas residuales domésticas para su reúso en el riego de áreas verdes de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales (FIARN) de la Universidad Nacional del Callao (UNAC)?

1.3. Objetivos de la investigación.-

1.3.1. Objetivo general.- Evaluar la eficiencia a diferentes concentraciones de Carrier en el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula ubicado en la Planta Piloto FIARN - UNAC, en el tratamiento de aguas residuales domésticas para su reúso en el riego de áreas verdes de la FIARN.

1.3.2. Objetivo específico.-

- Caracterizar las aguas residuales domésticas previo a su tratamiento.
- Caracterizar el agua tratada al final del proceso, según los parámetros de: potencial Hidrógeno (pH), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Aceites y grasas, Coliformes Termotolerantes, Turbiedad y Conductividad.

- Evaluar los resultados de la calidad del agua tratada con el ECA Agua.
- Comparar los resultados entre el Reactor Biológico Secuencial y Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula de la Planta Piloto FIARN - UNAC.
- Analizar la eficiencia del tratamiento a partir de los resultados obtenidos para las diferentes concentraciones de Carrier.
- Plantear un post tratamiento para el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula.

1.4. Justificación.- Existe un problema en el riego de las áreas verdes de la Universidad Nacional del Callao, como en muchos casos en Lima y Callao, se utiliza agua potable para su mantenimiento. En esta investigación se tratará el ARD hasta llevarla a los parámetros del ECA Agua, usando el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula con el uso de empaques móviles o carrier (ver la Figura 1.1. "Tipo de Carrier AQWISE ABC 5) para aumentar la superficie de contacto, así el uso de carrier aumente la eficiencia del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula, por lo que las aguas tratadas podrán ser usadas en el riego de áreas verdes de la FIARN, con el fin de disminuir el uso de agua potable en su mantenimiento.

**FIGURA 1.1.
TIPO DE CARRIER AQWISE ABC5.**



Fuente: Propia.

1.5. Importancia

1.5.1. Ambiental.- El tratamiento de las aguas residuales domesticas servirá para el reúso en el riego de áreas verdes, contribuyendo así con la disminución del consumo de agua potable. Los procesos SBBR optiman el diseño original de los SBR a través de un mejoramiento del mecanismo biológico para la eliminación de elementos o componentes contaminantes que pueden afectar el medio ambiente.

1.5.2. Legal.- El cumplimiento de la normativa ambiental vigente correspondiente a las aguas residuales y su disposición final.

1.5.3. Social.- La acumulación de las aguas residuales en el medio ambiente, como en los cuerpos de agua, genera malos olores y

gases dañinos, además de ser fuentes transmisoras de enfermedades, ocasionando alteraciones en la salud de las personas.

1.5.4. Económico.- El tratamiento permite el reúso de las aguas residuales en los casos donde no es necesario el uso de agua potable, tales como el riego de áreas verdes.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Estudio

2.1.1. Farfán Reyes (2015); Evaluación de la eficiencia del Tratamiento de las Aguas Residuales Domesticas para el riego de Áreas Verdes en el Sistema de Lodos Activados de la Planta Piloto de la FIARN-UNAC; Perú.-

“En el trabajo se estudió la capacidad remocional biológica de la materia orgánica del agua residual doméstica empleando un sistema de lodos activados secuenciales a escala piloto para la obtención de agua para riego de áreas verdes.

El estudio fue dividido en tres pruebas principalmente, en las que se modificó la carga orgánica y la duración de las etapas, considerando una concentración de lodos de 21.6%.

Durante las tres pruebas se operó el sistema a diferentes tiempos de tratamiento (120 min, 170 min y 200 min), las concentraciones finales de DBO₅ en las tres pruebas fueron 67 mg/L, 58 mg/L y 34,8 mg/L. los valores de DQO fueron 317,3 mg/L, 356,9 mg/L y 192,1 mg/L, de Solidos suspendidos totales fueron 41,1 mg/L y 33.0 mg/L; aceites y grasas fueron 4.33 mg/L, 6,43 mg/L y 5.09 mg/L; de Coliformes fecales en cantidades de <1,8 NMP/100 mL. 7,9x10 NMP/100 mL y 4,6x10⁷ NMP/100 mL, por último del pH fueron de 8,4, 8,5 y 7,8 unidades de pH respectivamente.

Se obtuvo como máxima eficiencia para DBO₅ de 82% (170 min), DQO de 49,09% (120 min), SST de 72,23% (170 min) y aceites y grasas de 75,29% (200 min).

Los resultados obtenidos comparados con la normativa ambiental vigente en su momento, se afirma que las concentraciones del efluente para los parámetros estudiados fueron superiores a la categoría III del ECA agua.”

2.1.2. Baca Neglia, Máximo Fidel (2017); Evaluación de un Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial para los Efluentes Domésticos y su Reúso en el Riego de Áreas Verdes y Jardines, Callao - Perú.-

“Esta evaluación permitió demostrar que el sistema de Lodos Activados de Tipo Secuencial satisface las necesidades para tratar efluentes del tipo domésticos obteniendo un producto que cumple con los ECA para su reúso como agua de riego de áreas verdes y jardines de viviendas y/o conjuntos habitacionales, para demostrar la hipótesis de investigación, hubo la necesidad de diseñar, construir, operar y evaluar el sistema de tratamiento compacto de lodos activados del tipo secuencial (capacidad de 800 L/día), el que previamente fue validado para utilizarse como herramienta de trabajo, durante toda la parte experimental, se operó y evaluó en las instalaciones de la Universidad Nacional del Callao, utilizándose los efluentes generados en la ciudad universitaria.

Se obtuvieron los siguientes resultados promedios, para el caso de la DBO₅ se obtuvo una eficiencia del orden del 92.14% (salida 11.57mg/L), para la DQO se logró remoción del orden de 89.37% (salida 34.50 mg/L), para el caso de Aceites y Grasas se alcanzó una remoción del orden de 93.60 (salida 1.63 mg/L), para el caso de los Coliformes Fecales este no es significativo solo 66.25%, para el caso de la CE se obtuvo un valor final de 2307.28 μ S/cm, el Potencial hidrógeno promedio a la salida fue de 7.25 unidades, el valor del OD a la salida fue de 5.05 mg/L, en el caso de los STD el valor alcanzo a la salida de la unidad 741.30 mg/L, mientras la turbiedad alcanzo el valor promedio de 6.68 NTU, en todos los casos cada una de los parámetros cumplió con las exigencias de los ECAs para la Categoría III, agua para riego.”

2.1.3. S. Venkata Mohan, N. Chandrasekhara Rao, & P.N. Sarma (2007), Low-biodegradable composite chemical wastewater treatment by biofilm configured sequencing batch reactor (SBBR).-

“Se evaluó el reactor discontinuo secuencial configurado con biofilm por lotes para el tratamiento de aguas residuales químicas compuestas de baja biodegradabilidad (baja relación DBO / DQO ~ 0.3, alto contenido de sulfato: 1.75 g/L) en la función metabólica aeróbica. Reactor fue operado en condiciones de microambiente anóxico-aeróbico-anóxico con un ciclo total de 24 h [llenado: 15 min;

reacción: 23 h (aireación junto con recirculación); sedimentación: 30 minutos; decantación: 15 min] y el rendimiento del sistema se estudió a tasas de carga orgánica de 0.92, 1.50, 3.07 y 4.76 kg DQO/día. La utilización de sustrato mostró un aumento constante con el aumento de la tasa de carga orgánica y el rendimiento del sistema sostenido a mayor tasa de carga. Se observó la utilización máxima no acumulativa del sustrato después de 4 h de la operación del ciclo. La eficiencia de eliminación de sulfato del 20% fue observado debido a las condiciones anóxicas inducidas que prevalecen durante la operación de la fase de secuencia del reactor y las zonas anóxicas internas existentes en la matriz de biopelícula. El reactor discontinuo secuencial configurado con biofilm (SBBR) mostró una eficiencia comparativamente mayor para los sistemas configurados correspondientes al de crecimiento suspendido (SBR) y carbón activado estudiados con las mismas aguas residuales. Operación de los reactores de biofilm dan como resultado una distribución más uniforme de la biomasa en todo el reactor y pudieron tratar grandes cargas de choque que el proceso de flujo continuo (MBBR). El SBBR impone variaciones regulares en la concentración de sustrato en los organismos del biofilm. Como resultado, los organismos en toda la película alcanzan tasas de crecimiento máximas que resultan en una mejoría potencial de reacción que conduce a un sistema estable y

robusto que es muy adecuado para tratar desechos altamente variables.”

2.1.4. Maslon & Tomaszek (2015); A study on the use of the BioBall® as a biofilm carrier in a sequencing batch reactor.-

“En este estudio se describen experimentos para evaluar la eliminación de carga orgánica y nutrientes del agua residual sintética mediante un reactor de biofilm discontinuo secuencial (MBSBBR o SBBR) utilizando carrier BioBall® como medio para el crecimiento de biopelícula. El trabajo con un modelo MBSBBR demostró que el sistema de tratamiento de aguas residuales se basó en procesos bioquímicos que tienen lugar con lodos activados y microorganismos biofilm que se desarrollan en la superficie de los Carrier de BioBall®. La nitrificación y desnitrificación clásicas y el proceso de eliminación de fósforo biológico mejorado típico se lograron en el reactor analizado, que operaba con una carga orgánica volumétrica de 0.84 - 0.978 g DQO/L-día. Las eficiencias de eliminación promedio para DQO, nitrógeno total y fósforo total se encontraron en $97.7 \pm 0.5\%$, $87.8 \pm 2.6\%$ y $94.3 \pm 1.3\%$, respectivamente. La eficiencia de la nitrificación alcanzó niveles en el rango 96.5-99.7%.”

2.1.5. Nava Urrego, Gasperin Sanchez, Duran Moreno; et. al (2013); Comparación de un reactor de biomasa suspendida y un

reactor de biomasa adherida para la biodegradación de compuestos tóxicos presentes en aguas residuales de refinerías de petróleo; México.-

“Esta investigación comprende un estudio de tratamiento de aguas residuales de una refinería utilizando dos reactores biológicos discontinuos secuenciales construidos en acrílico con un volumen efectivo de 5 L cada uno. El primer reactor SBR corresponde al reactor de biomasa suspendida y el segundo a un reactor de biomasa adherida utilizando soportes plásticos tipo Kaldnes K1, la densidad de estos soportes es de 0.95 g/cm^3 y el área específica para el desarrollo de la biopelícula fue de $300 \text{ m}^2/\text{m}^3$, lo que corresponde a un porcentaje de llenado del 60 % del volumen del reactor.

Fue necesario aclimatar los microorganismos para garantizar una buena degradación de los compuestos difícilmente biodegradables o recalcitrantes debido a la diversidad y complejidad de las aguas residuales de refinerías. Esta se realizó en un reactor por lotes con un volumen efectivo de 3 L, inoculado con lodos activados provenientes de una planta de tratamiento de aguas residual municipal (cerro de la Estrella, México) con una concentración de 6gSST/L . Se utilizó la estrategia de eficiencias fijas en ciclos de 24h. El reactor por lotes se alimentó con agua desflemada diluida con agua destilada a diferentes concentraciones (25, 50, 75 y 100 %V/V)

y una solución de nutrientes necesaria para el crecimiento adecuado de la biomasa.

Los reactores operaron durante 45 días empleando ciclos de 24 h (llenado (15 min), fase de reacción (23 h), sedimentación (25 min), vaciado (15 min), tiempo muerto (5 min)). La carga orgánica volumétrica aplicada a los reactores varió entre 0.44 - 0.54 kg DQO/m³-d; las cargas orgánicas superficiales oscilaron entre 1.56 - 1.80 g DQO/m²-d para el reactor de biomasa adherida.

El desempeño de los reactores discontinuos secuenciales se evaluó mediante las eficiencias de remoción de DQO, COD y fenoles, obteniendo porcentajes de remoción de 75, 73 y 99 % en el reactor de biomasa suspendida, mientras que en el reactor de biomasa adherida se alcanzaron porcentajes de remoción de 77, 81 y 99 %, respectivamente. La concentración de sólidos suspendidos totales en el reactor de biomasa suspendida fue de aproximadamente 2200 mg SST/L mientras que en el reactor de biomasa adherida se registró entre 450 y 560 mg SST/L.

2.2. Bases Teórica

2.2.1. Generalidades del agua.- El agua durante su empleo doméstico o industrial se contamina y se carga de materiales en suspensión y en solución. La permanencia de estas impurezas exige su tratamiento a fin de hacerlas aptas para su reutilización o disposición final a cuerpos de agua. (Azuaje M. & Rhené A., 2006).

2.2.2. Características del Agua Residual.- El estudio de las características químicas de las aguas residuales abarca, la materia orgánica y su medición. Principalmente existen dos tipos de análisis para la estimación del contenido de materia orgánica presente en el agua residual, los cuales son: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Estos parámetros son empleados por la normativa vigente para indicar los valores permisibles de descarga a cuerpos de agua y se definen según Azuaje M. y Rhené A. (2006) a continuación:

a. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)- El parámetro de contaminación orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅), la cual es una medida del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica. La medida del DBO₅ es importante en el tratamiento de aguas residuales, ya que indica la cantidad de materia orgánica que se desea remover del agua residual, y para

la gestión técnica de la calidad del agua porque se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requiere para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. (Metcalf & Eddy., 1986).

De manera práctica se define como la cantidad de oxígeno por unidad de volumen necesaria para realizar una oxidación de la materia orgánica por parte de los microorganismos. Sus unidades son mg/L. La medida de este parámetro se realiza incubando un volumen determinado del agua cuya DBO_5 se desea conocer en presencia de microorganismos y con oxígeno en exceso, de modo que durante el experimento no sea el factor limitante. (Azuaje M. & Rhené A., 2006).

- b. Demanda Química de Oxígeno (DQO).**- El ensayo de la DQO se utiliza para determinar el contenido de materia orgánica químicamente oxidable, presente en un agua residual. La determinación se lleva a cabo utilizando un oxidante fuerte (dicromato de potasio) en medio ácido y a temperatura elevada. Esta prueba se lleva a cabo al momento en que se toma la muestra y tiene una duración de digestión entre 2 y 3 horas para tener un estimado del oxígeno requerido para oxidación química. (Aguamarket, 2006).

La DQO de un agua residual es, por lo general, mayor que su DBO, ya que es mayor el número de compuestos que pueden

ser oxidados por vía química, que aquellos que pueden serlo biológicamente a través de acción de organismos. (Azuaje M. & Rhené A., 2006).

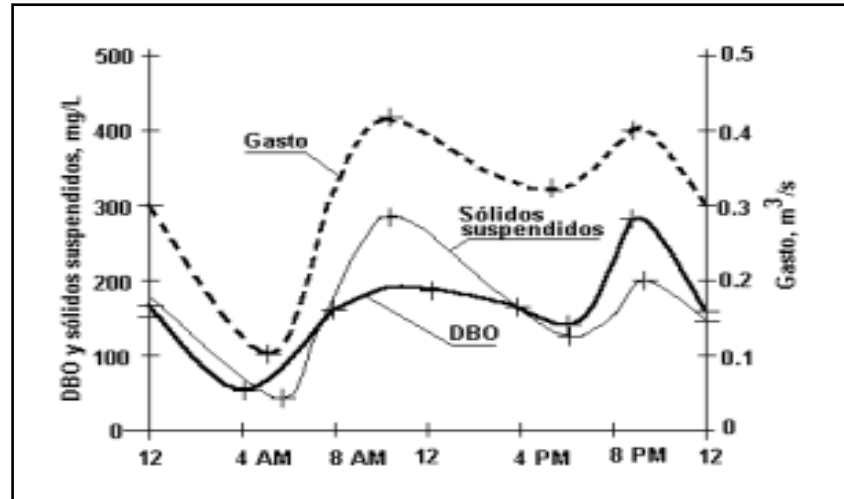
2.2.3. Aguas residuales municipales.- El agua residual municipal fresca y aerobia tiene olor a queroseno y color gris. El agua residual con más tiempo de haber sido generada es séptica y pestífera; su olor característico es a sulfhídrico, similar al de los huevos podridos. El agua residual séptica es de color negro.

La temperatura del agua residual es mayor que la del agua potable, varía entre 10 y 20°C esto se debe a que se añade calor al agua en los sistemas de plomería de las edificaciones.

El agua colectada en los sistemas de alcantarillado municipal corresponde a una amplia variedad de usos.

El gasto y la composición de las aguas residuales de un sistema de alcantarillado reflejan los diferentes usos del agua potable. Dicha composición puede cambiar ligeramente de acuerdo con la estación del año, pero incluso es posible observar fluctuaciones diarias. La Figura 2.1. muestra las fluctuaciones diarias del gasto, sólidos suspendidos y DBO₅. En general, los sistemas de localidades pequeñas con uso homogéneo del agua experimentan mayores fluctuaciones en la composición de las aguas residuales. (Metcalf y Eddy, 1995).

FIGURA 2.1
VARIACIÓN TÍPICA DEL GASTO, SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y DBO₅
EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES



Fuente: Metcalf & Eddy, Inc.

2.2.4. Sistema de Tratamiento Biológicos de aguas residuales.-

El tratamiento biológico, también llamado tratamiento secundario, es un proceso de oxidación (a excepción de algunos procesos anaerobios como las lagunas de estabilización), en donde la materia orgánica biodegradable es descompuesta con ayuda de biomasa en un medio controlado aeróbico, dando como resultado compuestos estables de composición más sencilla.

Los complejos orgánicos, en especial prótidos y glúcidos normalmente presentes en aguas residuales, son transformados en dióxido de carbono, agua y compuestos simples nitrogenados (NH_3 y NO_x). (Metcalf y Eddy, 1995).

a. Función de los Microorganismos.- Para proyectar correctamente un Reactor Biológico Secuencial con las debidas garantías de buen funcionamiento, es necesario comprender la

importancia de los microorganismos dentro del sistema, estos microorganismos tienen un papel importante en estos sistemas porque son los encargados de descomponer la materia orgánica en el reactor y parte de esas bacterias del tipo facultativas o aeróbicas se encargarán de tomar energía y sintetizar el resto de la materia orgánica y transformarla en nuevas células. En este proceso solo una porción del residuo original es oxidada a compuestos de bajo contenido energético, tales como el: NO_3 ; SO_4 ; CO_2 ; el resto es transformado a tejido celular. (Metcalf y Eddy, 1995).

Según García, D. A. (2008), existen diversos tipos de organismos presentes en sistemas de tratamiento biológico. Las condiciones específicas que se dan en el interior del reactor seleccionan el crecimiento de especies determinadas. Los principales grupos de organismos que se encuentran dentro de los procesos de depuración son:

- Bacterias. Organismos procariotas, autótrofos y heterótrofos, constituyen normalmente el 95% de la biomasa de los reactores biológicos (lodos activados) e intervienen en múltiples procesos.
- Protozoos. Son organismos eucariotas, heterótrofos, la mayoría aerobios o anaerobios facultativos. Representan aproximadamente un 5% de la biomasa de los lodos

activados. Se les considera buenos indicadores del estado del proceso de depuración porque son fácilmente identificables en el microscopio y muy sensibles tanto a los compuestos tóxicos como a los cambios en las condiciones de operación.

- Metazoos. Son organismos pluricelulares, heterótrofos y aerobios. En los lodos activados representan el escalón más elevado de la pirámide trófica.
- Hongos. Son organismos pluricelulares, heterótrofos y en su mayoría aerobios. En los sistemas de depuración biológica pueden competir con las bacterias por la materia orgánica disuelta. Si las condiciones de operación son adecuadas, su presencia en la biomasa es mínima.
- Algas. Son organismos fotoautótrofos, es decir, capaces de sintetizar compuestos orgánicos a partir de sustancias inorgánicas con ayuda de luz solar como fuente de energía.

El medioambiente de las bacterias es muy importante para su supervivencia; el pH debe estar preferiblemente entre 6.5 y 7.5; la temperatura puede fluctuar entre -2°C y 75°C de acuerdo con el rango para la supervivencia: criofílicas de 2 -20 °C, mesofílicas de 20 – 45°C, y termofílicas de 45 - 75 °C (Orozco, A., 2005).

La biodegradación es llevada a cabo por microorganismos, los cuales pueden transformar la materia orgánica nitrogenada en CO₂ y lodo, en condiciones aerobias. La presencia de bacterias como Nitrosomas y Nitrobacter realizan el proceso de nitrificación, las Nitrosomas convierten el amonio en nitritos y posteriormente los Nitrobacter transforman los nitritos en nitratos; ambas especies usan CO₂ y N como fuente de energía; además de requerir condiciones de temperatura, pH, concentración de amoniaco y de biomasa óptimas para la actividad microbiana. Hoilijoki, T. H., Kettunen, R. H., & Rintala, J. A. (2000).

2.2.5. Pre tratamiento.- En esta etapa se procede a la eliminación de los sólidos de gran tamaño que llegan a la planta de tratamiento de agua. Estos materiales, si no son eliminados eficazmente, pueden producir serias averías en los equipos. Las piedras, arena, latas, etc. producen desgaste de las tuberías y de las conducciones, así como de las bombas. Los aceites y grasas que puedan llegar también son eliminados en esta etapa con el fin de evitar que el tratamiento biológico se ralentice, su rendimiento disminuya, así como la calidad del efluente. Se emplean para ello tanto operaciones físicas como mecánicas. (Condorchem Envitech, 2018).

Las principales operaciones que pueden emplearse, en función de la procedencia del agua residual a tratar, de su calidad o de los tratamientos posteriores son:

- a. **Separación de grandes sólidos.-** Siempre que las aguas a tratar puedan contener sólidos de gran tamaño se emplea este sistema que consiste en un pozo situado a la entrada del colector que permita concentrar los sólidos y las arenas decantadas en una zona específica donde se puedan extraer de una forma eficaz. (Condorchem Envitech, 2018).
- b. **Desbaste.-** Esta operación evita obstrucciones de partes posteriores de la instalación por la llegada masiva de grandes sólidos. Consiste en el uso de rejillas con distintas separaciones entre barrotes que permiten separar los sólidos según su tamaño. (Condorchem Envitech, 2018).
- c. **Tanque de homogenización.-** Son tanques que sirven para regular o disminuir los efectos de la variación del flujo o de la concentración de las aguas residuales. Un tanque de homogenización es un depósito de cualquier forma con capacidad suficiente para contener el flujo de agua que sobrepasa un determinado valor. El procedimiento de cálculo se basa en establecer un balance de masa a intervalos regulares de tiempo. Estos tanques son indispensables en el tratamiento de las aguas residuales industriales y a veces se

utilizan en las instalaciones municipales. Su objetivo es regular o disminuir los efectos de la variación del flujo o de la concentración de las aguas residuales, mediante tanques de forma arbitraria o irregular con capacidad suficiente para contener el flujo de agua que sobrepasa un determinado valor. (Jaimes, 2014).

2.2.6. Reactor Biológico Secuencial (SBR).- Un Reactor Biológico Secuencial, por sus siglas en inglés Sequencing Batch Reactor – SBR, se puede definir como un sistema de lodos activados, cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de llenado y vaciado. Los procesos unitarios que intervienen son similares a los de un proceso convencional de lodos activados. Ambos sistemas intervienen la mezcla, reacción y sedimentación, pero entre ambos existe una diferencia importante, ya que, en las plantas convencionales, los procesos se llevan a cabo simultáneamente en tanques separados, mientras que en un SBR los procesos tienen lugar en el mismo tanque. (Dautan, R., Pérez, M. L., Contreras, A., Marzana, A. & Rincones, B., 1988).

En contraste con el sistema de lodos activados continuo, el agua se introduce al reactor en un tiempo establecido previamente, la degradación de la materia orgánica y la sedimentación se realizan en el mismo tanque. Las etapas del proceso son secuenciales y se repiten periódicamente, además de que se emplea aireación

(proceso aerobio) o no (proceso anaerobio), para conseguir la degradación de la materia orgánica y la eliminación de nitrógeno y de fósforo. (Dautan, R., Pérez, M. L., Contreras, A., Marzana, A. & Rincones, B., 1988).

Los sistemas de reactores discontinuos tienen en común 4 etapas, las cuales se llevan a cabo en secuencia: etapa de llenado, para la adición de sustrato al reactor; etapa de reacción, en la cual el reactor se somete o no a aireación; dependiendo de las necesidades del tratamiento (aerobio o anaerobio), etapa de sedimentación que permite la separación de sólidos para lograr un sobrenadante clarificado como efluente; y etapa de vaciado, cuyo propósito es la extracción del agua clarificada del reactor. (Cárdenas, C., Perruolo, T., Tarre, Y., Flores, K., Trujillo, A., Saules, L., Araujo, I. & Yabroudi, S., 2006).

Hay que mencionar, que los SBR fueron usados originalmente para la eliminación de demanda química de oxígeno (DQO) y fosfatos de las aguas residuales. La regulación en las descargas resultó en la modificación de estos sistemas para lograr la nitrificación y desnitrificación, junto con la eliminación de DQO y de fosfatos (Tchobanoglous, G. & Crites, R., 2003). Algunos autores como Casellas, M. Dgot, C. & Baudu, M. (2006), y Arun, V., Mino, t. & Mastsuo, T. (1988) sostienen que la eliminación biológica de nutrientes y de materia orgánica se obtiene gracias a la combinación

de ciclos de reacción aerobios y anóxicos, dependiendo de las necesidades del tratamiento sostienen que la eliminación biológica de nutrientes y de materia orgánica se obtiene gracias a la combinación de ciclos de reacción aerobios y anóxicos, dependiendo de las necesidades del tratamiento.

El SBR ha sido utilizado con éxito para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria química, para el tratamiento de estiércol de cerdo, aguas residuales salinas y suelos contaminados entre otros efluentes (Casellas, M. Dgot, C. & Baudu, M., 2006), (Mohan, S.V., Rao N.C., Prasad, K.K., Madhavi, B.T.V. & Sharma, P.N., 2005), (Zhang, Z., Zhu, J., King, J. & Li, W., 2006), (Uygur, 2006), (Mohan, S.V. Rao, N.C., & Sama, P.N., 2007). Además de permitir el manejo de un amplio espectro de compuestos orgánicos, y con la incorporación de etapas anaeróbicas/ anóxicas, se puede lograr la remoción conjunta de materia orgánica (MO), nitrógeno (N) y fósforo (P) (Pavšelj, N., Hvala, N., Kocijan, J., Roš, M., šubelj, M., Mušic, G. & Strmcnik, S., 2001).

Con la introducción de la fase anaerobia se produce la liberación de fósforo por parte de los microorganismos; en la fase aerobia tiene lugar la nitrificación, consumo de oxígeno y de fósforo; mientras que la desnitrificación ocurre en la siguiente fase anóxica. Debido a que en la operación de un SBR el sustrato orgánico soluble es consumido por los microorganismos en la fase aerobia, se deben efectuar

mediciones para asegurar suficiente sustrato orgánico soluble para la desnitrificación (Cárdenas, C., Perruolo, T., Tarre, Y., Flores, K., Trujillo, A., Saules, L., Araujo, I. & Yabroudi, S., 2006).

La intensidad en la aireación durante la fase aerobia en este tipo de reactores influye en el desempeño del proceso global. Para optimizar el desempeño y mejorar el control del proceso se deben implementar estrategias de control y realizar mediciones de parámetros en tiempo real. Algunos de los más utilizados son el potencial de oxidoreducción (ORP, por sus siglas en inglés), pH y el oxígeno disuelto (OD) (Kishida, N., Kim, J.H., Chen, M., Sasaki, H. & Sudo, R., 2003), (Andreottola, G, Foladori, P, Ragazzi, M., 2000).

Muchos de estos sistemas se construyeron en Australia, Estados Unidos y Japón. En países como Alemania y Japón se han realizado avances significativos en sistemas que emplean este tipo de reactores, y existe gran cantidad de información sobre técnicas de diseño y parámetros de operación para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales (Castelló E., Barcia R., Passeggi M. & Borzaccioni L., Noviembre 2006). En los últimos años se ha evolucionado en el tratamiento con **reactores secuenciales discontinuos de biopelícula**, los cuales tienen la ventaja de remover nitrógeno y fósforo en un solo reactor (Fu, Z., Yang, F., An, Y. & Xue, Y., 2009), (Wilderer, P.A. & McSwain, B.S., 2004).

Estos sistemas han demostrado su eficiencia y flexibilidad en el tratamiento de aguas residuales con carga orgánica alta debido a que se caracterizan por presentar una **mayor concentración de biopelícula en el reactor**; actividad metabólica elevada atribuida a la alta concentración de nutrientes adheridos a la biopelícula y a las diferentes interacciones entre especies microbianas; mejor resistencia a la toxicidad, principalmente por el efecto protector de la matriz extracelular, la cual puede reducir la concentración de sustancias tóxicas en la biopelícula (Cohen, 2001). En este tipo de reactores las bacterias se adhieren a la superficie del material mediante la producción de sustancias poliméricas extracelulares (SPE) que actúan como pegamento y permiten el crecimiento de la biopelícula.

En cuanto a los reactores de biopelícula, éstos permiten que la presencia de una zona anóxica facilite la nitrificación y la desnitrificación simultánea durante la fase aerobia. En este caso, la nitrificación ocurre en la superficie de la biopelícula y la desnitrificación ocurre en las capas internas debido al gradiente de oxígeno (Rittmann, B.E. & Langeland, W.E., 1985). Por otro lado, estos reactores ofrecen ventajas como ahorro de espacio y energía, mayor concentración de biomasa, operación flexible, menor sensibilidad a la toxicidad, baja producción de lodo y cargas volumétricas altas (Rodgers, M. & Zhan, X.-M., 2004). Además, en estos sistemas la biomasa adherida (formación de biopelícula) al

medio de soporte es la que gobierna el proceso de tratamiento. Sin embargo, cuando se incrementa el espesor de la biopelícula pueden aparecer regiones aerobias y anaerobias, permitiendo la remoción simultánea de DBO y de nitrógeno (Rittman, B.E. & McCarty P.L., 2004).

Según Ødegaard et al. (1994), **los reactores de biomasa adherida** (biopelícula) presentan las siguientes ventajas con respecto al sistema de lodos activados: 1) el proceso es más compacto debido a la disponibilidad de mayor área de superficie específica; 2) no se requiere la recirculación de lodos para mantener concentraciones de biomasa altas; 3) se presentan tasas de nitrificación y desnitrificación altas debido a la coexistencia de actividad metabólica anóxica y aerobia dentro del mismo reactor.

a. Operación de SBR.- Los reactores SBR fundamentan su funcionamiento en un sistema de llenado y vaciado. Todos los procesos se llevan a cabo en un solo reactor y siguen una secuencia de llenado, reacción, sedimentación y vaciado (Figura 2.2).

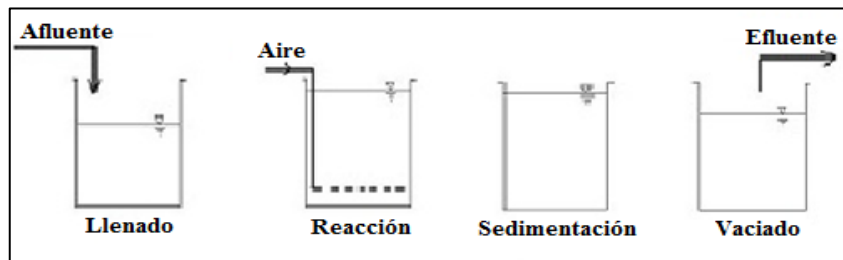
Con fundamento en lo planteado por Broch (2008), la configuración del ciclo depende de las características del agua residual y los requisitos legales a cumplir, y sigue fundamentalmente las siguientes etapas:

- **Etapa de llenado:** esta etapa puede ser estática, mezclada o aireada, dependiendo de los objetivos que se tengan previstos para el tratamiento del agua residual. En el llenado estático resulta una entrada mínima de energía y una concentración alta de sustrato al final de la misma. Puede presentarse desnitrificación con la presencia de nitratos y generar condiciones propicias para la remoción del fósforo. Con respecto al llenado aireado, se genera al comienzo de las reacciones aerobias y mantiene bajas concentraciones de sustrato, situación importante cuando existen elementos tóxicos en el agua residual. En cualquier caso, la fase de alimentación puede ser simple o múltiple dependiendo de los objetivos del tratamiento (Puig S., Vives M. T., Corominas L. Balaguer M. D. & Colprim, J., 2004).
- **Etapa de reacción:** generalmente se proveen condiciones de mezcla, en las que se permite el consumo de sustrato en condiciones ambientales controladas que pueden ser aerobias, anaerobias o anóxicas, dependiendo de la secuencia de tratamiento elegida. En las investigaciones asociadas a los procesos SBR se explica que en la fase de reacción anaerobia esencialmente se propicia la liberación del fósforo en forma de ortofosfatos; en la aerobia se llevan a cabo la oxidación de la materia orgánica y la nitrificación; y en condiciones anóxicas se

presenta la desnitrificación y asimilación de fósforo (Cárdenas, C., Perruolo, T., Tarre, Y., Flores, K., Trujillo, A., Saules, L., Araujo, I. & Yabroudi, S., 2006).

- **Etapas de sedimentación:** la obtención del lodo es otro paso importante en la operación de este tipo de reactores, que afecta en gran medida el rendimiento según Metcalf & Eddy (2003). Su objetivo es la regulación de la concentración de sólidos en el lodo en el reactor. Este lodo podría obtenerse al final de la fase de reacción o durante la fase de sedimentación. Los sólidos se dejan separar del líquido en condiciones de quietud, lo que resulta en un sobrenadante clarificado que puede ser descargado como efluente. El tiempo de asentamiento puede durar entre 0,5 y 1,5 h, y previene que el manto de sólidos flote debido a la acumulación de gas (Singh, M. & Srivastava, R.K., 2011).
- **Etapas de vaciado:** el sobrenadante clarificado se descarga del reactor como efluente, mediante un mecanismo que debe ser diseñado y operado de manera que se evite que el material flotante sea descargado. El exceso de lodo activado residual también se remueve, empleando un tiempo que puede variar desde un 5 a un 30 % del tiempo total.

FIGURA 2.2
SECUENCIA TÍPICA DE UN REACTOR BIOLÓGICO
SECUENCIAL



Fuente: Metcalf & Eddy, 2003.

El proceso llevado a cabo en un SBR puede ofrecer muchas características ventajosas para aplicaciones en investigación: el control de las condiciones de funcionamiento es más fiable, preciso y versátil, la recolección de datos por medio de sensores de toma de muestras y en línea se hace más fácil y los resultados son más representativos (Stricker, A. & Béland, M., 2006).

De igual manera, la operación en un mismo tanque permite el ahorro en costos de capital y cuenta con ventajas tales como la posibilidad de ajustar y cambiar la duración de las diferentes etapas de tratamiento, control final de cada reacción biológica, así como también de la calidad del efluente (Romero Rojas, 2004).

El resurgimiento del interés en el estudio de los SBR se limitó inicialmente a aplicaciones de tratamiento de los pequeños generadores de aguas residuales.

Sin embargo, la necesidad de una mayor eficiencia en la eliminación de nutrientes, bajo límites cada vez más estrictos se ha traducido en la adopción de la tecnología SBR en

instalaciones tan grandes como las que tratan 660 L/s (Wang, L.K., Shammas, N.K., & Hung, Y.T., 2009).

b. Factores que inciden en la Operación de un SBR.- En esta sección se tratan de forma general los factores que inciden en la operación de un Reactor Biológico Secuencial, según Raigosa Piragauta (2007) los principales factores son:

- **Control de Oxígeno Disuelto.-** La medición de los niveles de oxígeno disuelto en un SBR son una parte importante en el control del proceso, ya que tienen un efecto profundo sobre muchos de los procesos que se realizan al interior del reactor, incluyendo la eliminación de DBO, nitrificación, desnitrificación y eliminación de fósforo.

En general, se recomiendan concentraciones de O.D entre 2 mg/l y 4 mg/l en el reactor durante los periodos de aireación es decir en las fases de llenado reacción y reacción según Metcalf y Eddy (Ingeniería de las Aguas Residuales, 1995).

Si se quiere la desnitrificación y eliminación de fósforo, entonces se recomienda una concentración de OD cercana a cero durante las fases de llenado mezcla y llenado reacción.

Con el fin de determinar la concentración de OD en el reactor se recomienda que el operador realice un perfil de OD que permita un rastreo de la concentración de OD con respecto al tiempo.

- **Nitrificación.-** El Reactor Discontinuo Secuencial está diseñado para realizar la nitrificación y desnitrificación. La nitrificación se define como la oxidación de amoníaco a nitrato. Las bacterias denominadas Nitrosomonas y Nitrobacterias que son autotróficas realizan la reacción de nitrificación en los ciclos aireados es decir fases de llenado reacción y reacción donde la concentración de O.D Debe ser mínimo de 2 mg/l. (AquaAerobics, 1999).

Los factores que inciden en el Proceso de Nitrificación son la Temperatura, que es un factor que determina la velocidad de nitrificación en el sistema pero es un factor en el cual el operador no tiene el control. Las bacterias nitrificantes se reproducen más lentamente y son menos activas conforme las temperaturas del agua residual disminuyen. Si la temperatura del agua disminuye por debajo de los 10° C, es posible que se pierda parte de la población nitrificadora mientras se recupera una temperatura entre los 10°C y 35°C; y el Potencial hidrogeno, pH, donde las velocidades óptimas de nitrificación ocurren en el rango de pH de 7.5 a 9.0 unidades. A valores fuera de este rango no es posible que ocurra nitrificación.

- **Desnitrificación.-** La desnitrificación es un proceso que se define como la conversión de nitrato a gas nitrógeno. La desnitrificación se realiza bajo condiciones anóxicas en donde la concentración

de OD debe estar entre 0.5 y 1 mg/l. Este proceso es desarrollado por muchas de las bacterias heterotróficas que realizan la eliminación carbónica en el sistema de lodos activados. Las condiciones anóxicas se definen como aquellas donde el nitrógeno oxidado está presente, pero sin presencia de oxígeno. Luego entonces las bacterias facultativas utilizan el nitrato como una fuente de oxígeno.

La desnitrificación deberá ocurrir después de que se ha llevado a cabo la nitrificación, por lo tanto, el sistema de suministro de oxígeno durante las fases de llenado mezclado y llenado reacción se ajustan para tener periodos de prendido y apagado de la aireación creando condiciones aeróbicas y anóxicas. Se recomienda realizar toda la desnitrificación en estas dos fases ya que el reactor se encuentra completamente mezclado y la fuente de carbono y nitratos están presentes a la vez, además el proceso de desnitrificación genera burbujas de gas nitrógeno que pudieran unirse a las partículas floculadas y causar la elevación del lodo activado durante las fases de sedimentación.

Los factores que inciden en el Proceso de desnitrificación son la Temperatura, se recomienda que permanezca entre los 10°C y 35°C, y el Potencial hidrogeno, pH, donde las velocidades de

desnitrificación son más rápida en un rango de pH de 7.0 a 7.5 unidades.

c. Ventajas de utilizar la tecnología de los reactores biológicos secuenciales (SBR).-

Entre las principales ventajas de utilizar la tecnología de los reactores biológicos secuencial según publicación de Aguas Industriales (2015) son:

- Efluente de gran calidad y menor cantidad de sólidos en suspensión, debido, a la decantación estática y controlada que permite el sistema, influyendo en una reducción directa en otros parámetros de control de calidad del efluente.
- Mayor resistencia frente a variaciones bruscas de temperatura, ya que nos permite controlar los ciclos de carga de agua bruta, estableciendo criterios de cómo, cuanto y cuando realizarlos.
- Una vez establecidos los parámetros de funcionamiento del sistema, ante la diversidad de vertidos que puedan existir en una industria, es sencilla y automática el control de la operación del sistema.
- Bajo requerimiento de espacio, debido a que se requiere un solo tanque para realizar todo el proceso. Evitamos los procesos de decantación convencionales y reactores auxiliares de desnitrificación.
- Se logra una mayor estabilidad y flexibilidad. Este tipo de tecnología es ideal, por su capacidad de adaptación y

tolerancia a las variaciones de carga orgánica, para aquellos casos donde existen condiciones de carga y volumen que varían constantemente. Se puede variar los tipos de ciclos, así como los tiempos.

- Consigue la eliminación eficiente de: DBO₅, Nitrógeno y fósforo. Ideal para el control y la eliminación de nutrientes.
- Permiten mayor control sobre el crecimiento de microorganismos filamentosos y problemas de decantación.
- Los costes de inversión son menores ya que no requieren de los típicos decantadores secundarios.
- El diseño compacto es una solución ideal para aquellas industrias que no dispongan de suficiente espacio. Un SBR requiere mucho menos espacio que los sistemas convencionales como lodos activados, además de poder alcanzar alturas importantes en los reactores, favoreciendo la transferencia de oxígeno como consecuencia de elevar la columna de agua con la configuración del reactor biológico.

d. Desventajas de utilizar la tecnología de los reactores biológicos secuenciales (SBR).- Entre las desventajas de utilizar la tecnología de los reactores biológicos secuenciales según publicación de según la página web “Aguas Industriales” (2015) son:

- Los reactores biológicos secuenciales requieren una mayor capacitación técnica del personal que va a explotarlo, debido a la exigencia de cambio de parametrización en el funcionamiento del sistema ante cambios de calidad de vertido de la industria.
- Son sistemas que necesitan mayores inversiones en el sistema de aireación y mayor demanda de energía puntualmente, debido a la alimentación discontinua del sistema.
- Es muy importante tener un buen dimensionamiento y con margen de seguridad, en el sistema de aireación.
- Es una tecnología que no es aplicable a todo tipo de efluente orgánico, la presencia de compuestos tóxicos puede afectar negativamente el desempeño de este tratamiento, favorecidos los impactos tóxicos por la alimentación puntual.

2.2.7. Post tratamiento al SBR.- En función de la calidad del efluente obtenido, del destino final del mismo y de la legislación vinculada en cada caso, se puede aplicar un post-tratamiento al mismo, con el fin de eliminar la carga orgánica residual y aquellas otras sustancias contaminantes no eliminadas en el tratamiento, como, por ejemplo, los nutrientes, fósforo y nitrógeno. Según Condorchem Envitech (2018), puede usarse cualquier combinación de proceso, desde tratamientos físicos, químicos o biológicos. Generalmente serán:

- Procesos de filtración: microfiltración, ultrafiltración
- Intercambio iónico
- Ósmosis inversa
- Adsorción
- Membrana
- Desinfección: La desinfección consiste en eliminar o inactivar los microorganismos patógenos o cualquier otro microorganismo vivo con el fin de asegurar la reutilización del agua tratada. Los principales procesos de desinfección son:
 - Cloración
 - Ozonización
 - Electrodesinfección
- **Cloración.-** La cloración del agua es uno de los métodos de desinfección **más comunes y eficaces**, pues elimina gran parte de las bacterias, mohos y otros microorganismos peligrosos como las trazas fecales, la *escherichia coli* y la *legionella* (Evohogar, 2014).

Como respuesta a estas preocupaciones, la desinfección se ha convertido en uno de los mecanismos principales para la desactivación o destrucción de los organismos patógenos. Para que la desinfección sea efectiva, el agua residual debe ser tratada adecuadamente.

El cloro es el desinfectante más usado para el tratamiento del agua residual doméstica porque destruye los organismos a ser inactivados mediante la oxidación del material celular. El cloro puede ser suministrado en muchas formas que incluyen el gas de cloro, las soluciones de hipoclorito y otros compuestos clorinados en forma sólida o líquida.

Cuando el gas de cloro y las sales de hipoclorito se añaden al agua, se produce la hidrólisis y la ionización para formar ácido hipocloroso (HClO) e iones de hipoclorito (ClO^-), también conocidos como cloro libre disponible. El cloro libre reacciona rápidamente con el amoníaco en efluentes no nitrificados para formar compuestos combinados de cloro, principalmente monocloramina, la cual es la forma de cloro que predomina en la práctica.

Para su desempeño óptimo, un sistema de desinfección con cloro debe operar con flujo en pistón y ser muy turbulento para lograr una mezcla inicial en menos de un segundo. El objetivo de un mezclado apropiado es el fomentar la desinfección al iniciar una reacción entre el cloro libre en la corriente de solución de cloro con el nitrógeno amoniacal. Esto previene que concentraciones elevadas de cloro persistan y formen otros compuestos clorinados. Otro proceso importante que contribuye a una desinfección óptima es el contacto. La

cámara de contacto debe ser diseñada con vértices redondeados para prevenir áreas sin circulación y deflectores que minimicen el flujo en corto circuito. Este diseño proporciona un tiempo de contacto adecuado entre los microorganismos y el cloro a una concentración mínima durante un periodo de tiempo específico.

El grado de desinfección requerido de cualquier sistema de desinfección por cloración puede ser obtenido mediante la variación de la dosis y el tiempo de contacto. La dosis de cloro varía con base en la demanda de cloro, las características del agua residual y los requisitos de descarga del efluente. La dosis generalmente tiene un rango de 5 a 20mg/L.

Hay otros factores que aseguran condiciones óptimas de desinfección; estos incluyen la temperatura, la alcalinidad y el contenido de nitrógeno (United States Environmental Protection Agency, 1999).

2.2.8. Características del Diseño y Operación del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuenciales de la planta piloto FIARN-UNAC.- Se tomó en cuenta el muestreo del efluente del tipo doméstico en las instalaciones de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Callao (en la tabla 2.1. se muestra los valores promedios de los parámetros de la caracterización del efluente monitoreado), específicamente en el

Buzón, el mismo que se ubica en el jardín posterior del edificio donde funciona la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales – FIARN, donde se ubica el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuenciales según el informe de investigación de Baca Neglia (2017).

**TABLA 2.1
VALORES PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS QUE
CARACTERIZA EL EFLUENTE MONITOREADO**

PARAMETRO	UNIDAD
Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO ₅	206.50 mg/L
Demanda Química de Oxígeno – DQO	317.30 mg/L
Solidos Suspendidos Totales – SST	113.55 mg/L

Fuente: Baca Neglia M., 2017.

- a. **Diseño de las cámaras del reactor de la planta piloto FIARN – UNAC:** Los valores de diseño de las cámaras del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuenciales determinados del proyecto de investigación de Baca Neglia (2017), se muestran en Tabla 2.2.

**TABLA 2.2
VALORES DEL DISEÑO DE LAS CAMARAS**

PARAMETRO	UNIDAD
Vs aplicado	0.24 Kg de DBO ₅ /m ³ .dia
Caudal (Q)	0.8 m ³ /día
Volumen del reactor	0.535 m ³
Volumen de cada cámara	0.178 m ³
Profundidad útil de la cámara	0.85 m
Largo de la cámara	0.972 m
Ancho de la cámara	0.648 m

Fuente: Baca Neglia M., 2017.

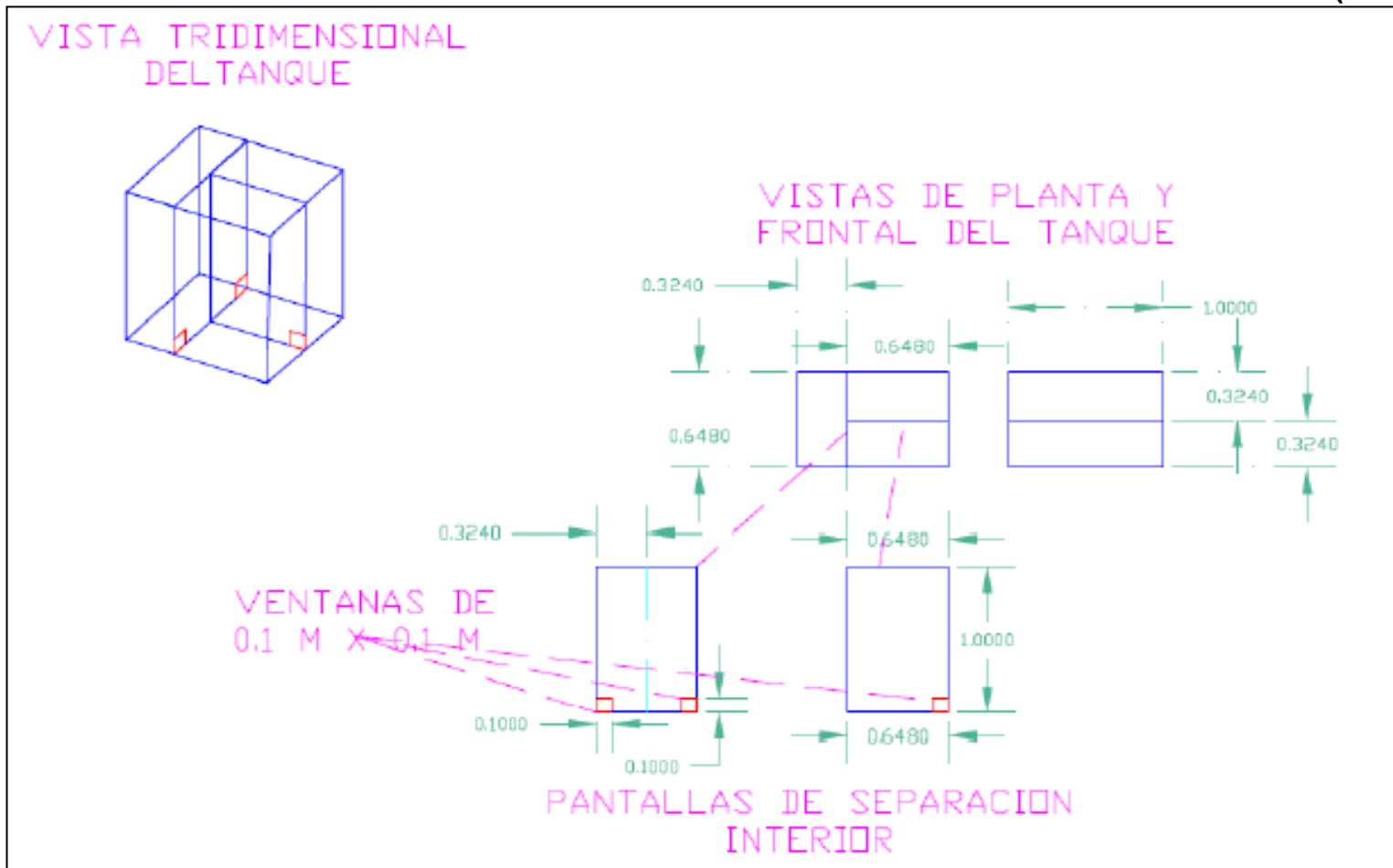
El tanque del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuenciales fue fabricado en fibra de vidrio, Figura 2.3, según el diseño del Plano de la Figura 2.4 (Baca Neglia, 2017).

FIGURA 2.3
VISTAS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL EL SISTEMA DE
TRATAMIENTO COMPACTO DE LODOS ACTIVADOS
SECUENCIALES



Fuente: Baca Neglia M., 2017

FIGURA 2.4
PLANO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO COMPACTO DE LODOS ACTIVADOS SECUENCIALES (SBR)



Fuente: Baca Neglia M., 2017.

b. **Diseño del requerimiento de Oxígeno (OR):** Se tomó en cuenta los valores de diseño de aireación del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuenciales según Baca Neglia (2017). En la Tabla 2.3 se especifican los valores de diseño, en el sistema de aireación se usaron 03 difusores de burbuja, en la Figura 2.5 se muestra a la de la izquierda el difusor de burbujas preparado para ser montado en el sistema de tratamiento y a la de la derecha, se puede observar el difusor instalado en una de las cámaras de aireación (3) o reactor biológico.

**TABLA 2.3
VALORES DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE AIREACION**

PARAMETRO	UNIDAD
Oxigeno Requerido (OR)	0.23 Kg O ₂
Aire Requerido (AR)	1.1 Kg de aire /día
Densidad del aire (t° = 25°C)	1.18 kg/m ³
Volumen del aire (VA)	1 m ³ /día

Fuente: Baca Neglia M., 2017.

**FIGURA 2.5
DIFUSORES DE BURBUJAS FINAS**



Fuente: Baca Neglia M., 2017.

c. **Tiempos de las Fases de Tratamiento:** Los Tiempos programados de las fases para el SBR son los de Baca Neglia (2017), Tabla 2.4.

**TABLA 2.4
TIEMPOS PROGRAMADOS.**

Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 6	TRH
(min)						
77	130	153	77	130	153	720 min=12h

Fuente: Baca Neglia M., 2017.

▪ **Placa de Control Automático – Secuencial.-** A fin de reproducir las secuencias o ciclos de operación de las cámaras, el SBR usa una placa o tarjeta de control que permite ingresar la programación secuencial, a través de tiempos en minutos. Haciendo uso de un teclado matricial y mostrando en una pantalla LCD, dichos intervalos son las secuencias de encendido y apagado, en un total de seis secuencias, la tarjeta microcontroladora que al mandar una señal de 8 bits permite controlar el tiempo, y visualizar la secuencia a través de la pantalla LCD y observar la información saliente de la tarjeta controladora y dirigida al comparador.

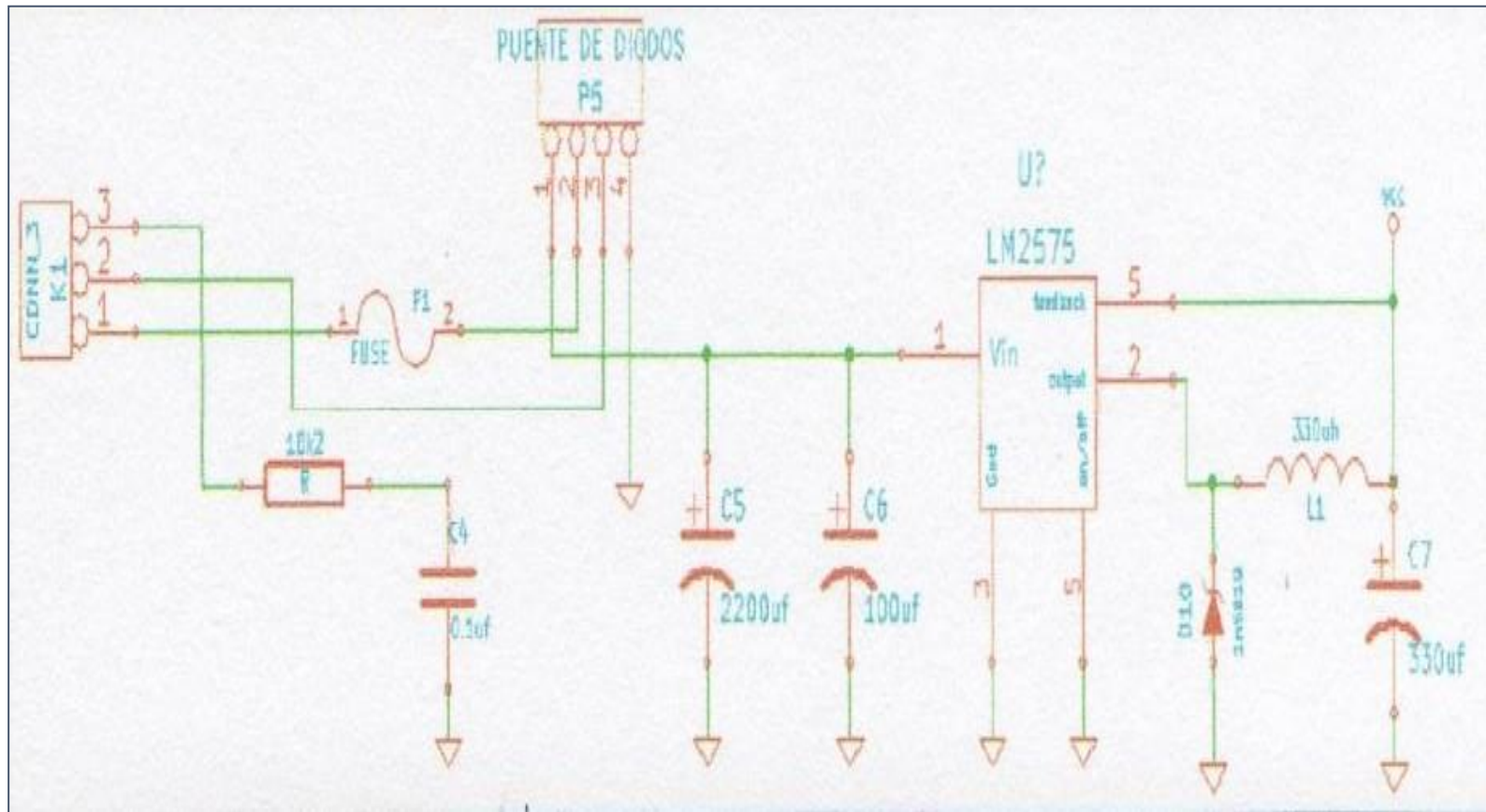
A través de él se programa la secuencia de funcionamiento de ocho válvulas (08 válvulas solenoides) con las que opera el Sistema Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial, la tarjeta cuenta el tiempo de retardo en cada fase, donde al establecer el tiempo de cada fase el contador ira aumentado

hasta llegar al tiempo programado, el microcontrolador verificara su tiempo programado con el tiempo en pantalla, es ahí entonces cuando por la salida del comparador se obtiene una señal de un bit, el cual va directamente al contador, quien al recibir dicho pulso, se encarga de incrementar en una unidad el valor de la cuenta, para así pasar a la siguiente fase, lo que ocurre en la caja de relays es un cambio en el estado de encendido o apagado de las válvulas, según la fase en la que nos encontremos, es así que se logra el control de tiempo y también el gobierno del número de válvulas del sistema a controlar.

Dado que la tarjeta microcontroladora se alimenta de 5 voltios de Corriente Continua (CC) es necesario de un transformador para reducir el voltaje de 220 voltios de Corriente Alterna (AC) a +12 o -12 AC, pero aun así se requiere convertirlos a CC, para ello se hace uso de un puente de diodos y un condensador, partir de que estamos en CC debemos reducirlo para ello se usa un Convertidor Reductor con ello se asegura el voltaje constante a 5 voltios en el diseño de esta conversión de AC a CC, haciendo uso de un conmutador se denomina Fuente Switching.

A través de una bornera denominada CONN_3 (K1) de 3 terminales se ingresa el voltaje AC, la Figura 2.6 muestra el diagrama básico de alimentación eléctrica.

FIGURA 2.6
DIAGRAMA DE ALIMENTACIÓN DE LA TARJETA DE LA PLACA DE CONTROL AUTOMÁTICO



Fuente: Baca Neglia M., 2017.

Para la etapa de control se hace uso de un MICROCONTROLADOR ATMEGA16 de ATMEL, este nos permite captar los datos ingresados a través del teclado matricial, y mostrarlos en la pantalla LCD, además también se usa entre otros para activar las válvulas. Se cuenta con un botón (SW_PUSH) botón reset, en la Figura 2.7, se aprecia la Tarjeta o Placa de Control Automática (Baca Neglia, 2017):

**FIGURA 2.7
TARJETA O PLACA DE CONTROL AUTOMÁTICO**



Fuente: Baca Neglia M., 2017.

En la Figura 2.8 se muestra el diagrama del MICROCONTROLADOR ATMEGA16 de ATMEL.

Durante el funcionamiento la planta piloto de lodos activados secuenciales se consideró la configuración para el activado y cierre de válvulas (08 válvulas solenoide) dentro del sistema, en un número de seis fases como se muestra en la Tabla 2.5. según Baca Neglia (2017).

**TABLA 2.5
FASES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO COMPACTO DE
Lodos Activados Secuencial.**

CÁMARA	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	FASE 5	FASE 6
1	Alimentación V ₁	Aireación V ₂	No hay válvula active	Salida V ₇	Salida V ₇	Salida V ₇
	Aireación V ₂					
2	Aireación V ₄	Alimentación V ₃	Aireación V ₄	Alimentación V ₃	Aireación V ₄	Alimentación V ₃
		Aireación V ₄		Aireación V ₄		Aireación V ₄
3	Salida V ₈	Salida V ₈	Salida V ₈	Alimentación V ₅	Aireación V ₆	No hay válvula active
				Aireación V ₆		

Fuente: Baca Neglia M., 2017.

En la Figura 2.9. se observa el juego de 3 Válvulas de solenoide de 12 voltios para el suministro de aire, para cada una de las cámaras del Reactor la primera vista muestra el conjunto desde el interior de la caja de montaje y la segunda corresponde desde la ventana donde se alojará el tablero de control de alimentación eléctrica.

FIGURA 2.9
VISTAS DE VÁLVULAS DE SOLENOIDES PARA EL AIRE



Fuente: Baca Neglia M., 2017.

En la Figura 2.10 se observa el compartimento donde están alojados los dos compresores electromagnéticos para el aire de servicio y que trabajan en forma alterna, controlados por un temporizador.

FIGURA 2.10
VISTA DE LOS DOS SOPLADORES ELECTROMAGNÉTICOS.



Fuente: Baca Neglia M., 2017.

En la Figura 2.11 se muestra el compartimento donde están alojadas las dos electrobombas para las aguas crudas, también se observa las tres válvulas de solenoide que distribuyen el agua

hacia cada una de las cámaras de aireación, por último, se observa la bomba centrífuga para el retiro de lodos (Baca Neglia, 2017). Para el presente proyecto se cambió el modelo de las bombas y se mantuvo el mismo caudal de diseño $0.8\text{m}^3/\text{día}$.

FIGURA 2.11
VISTA QUE MUESTRA LAS DOS ELECTROBOMBAS
PARA AGUAS CRUDAS



Fuente: Propia.

La Figura 2.12 muestra los tableros el primero de suministro eléctrico y el segundo, muestra el tablero donde se aloja la tarjeta para el control para programar el tiempo de cada una de las secuencias.

FIGURA 2.12
VISTA DEL TABLERO ELÉCTRICO Y DE LA CAJA DE
DONDE SE UBICA LA TARJETA DE CONTROL



Fuente: Baca Neglia M., 2017.

La figura 2.13 muestra la parte posterior de los tableros, obsérvese el transformador de 220v/12v para las válvulas de solenoide y el Cooler para enfriamiento de la tarjeta de control; mientras la segunda vista corresponde a tarjeta de control.

FIGURA 2.13
VISTA ANTERIOR Y POSTERIOR DE LA
TARJETA DE CONTROL



Fuente: Baca Neglia M., 2017.

La Figura 2.14 muestra las vistas de las dos electroválvulas solenoides de efluente tratado y del depósito de reunión del efluente. Se cambió las electroválvulas por mantenimiento, est cambio no afecto el diseño inicial.

FIGURA 2.14
VISTA DE LAS VALVULAS DE SALIDA
DEL EFLUENTE TRATADO



Fuente: Propia

FIGURA 2.15
VISTAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO COMPACTO DE
LODOS ACTIVADOS DEL TIPO SECUENCIAL



Fuente: Baca Neglia M., 2017.

2.2.9. Biopelícula.- Algunos conceptos de Biopelícula elaborado por diferentes autores:

- La biopelícula como un ensamblado de bacterias que está adosada por un pegamento a una superficie húmeda por medio de una matriz extracelular de polisacáridos fibrosos. Esta matriz, llamada cápsula o glicocálix, es sintetizada por las bacterias y su función principal es sujetar las células adsorbidas al soporte (Eighmy & Maratea, 1983).
- El biofilm como un entramado complejo de microorganismos dotados de sustancias poliméricas extracelulares. La distribución espacial de estos componentes principales dentro de la matriz del biofilm, así como sus propiedades (físicas, químicas y biológicas) influyen la actividad en el mismo y su relación con el ambiente acuoso inmediato. Además el biofilm

es muy dinámico; su composición y características cambian en el tiempo (Walled, 1993).

- Los biofilms son comunidades bacterianas englobadas en una matriz de exopolisacáridos producida por las bacterias y adheridas a una superficie viva o inerte. En la naturaleza constituyen un modo de crecimiento protegido que permite la supervivencia de las bacterias en un medio hostil. Las estructuras que forman estas microcolonias contienen canales por los que circulan los nutrientes (Costerton, J., Philip, S., & Greenberg, E., 1999).
- Lewandowski et al, (1994), citado por (Gálvez Rodríguez, 2001) describe la biopelícula o biofilm, como una estructura compleja formada por agregados celulares (grupos de células densamente empaquetados) y huecos intersticiales, adherida a un material que puede ser de origen natural o sintético. Su estructura es morfológica y fisiológicamente distinta a la de bacterias libres, utilizándose incluso mediadores químicos intercelulares para desarrollar la película (Davies et al, 1998; de Beer et al, 1996).

a. Rol de la Biopelícula en el proceso del tratamiento.- El tratamiento biológico de líquidos residuales consiste principalmente en la estabilización (a veces mal llamada eliminación) de la materia orgánica por acción de los microorganismos que se alimentan de la misma,

transformándola en productos más oxidados y por lo tanto más estables (Welter, A. B., Romero, J. M., Grumelli, Y. A., Sanchez, J. A., & Ascar, G. I., 2005).

Los microorganismos crecen adheridos a un material inerte, ya sea sintético (como materiales plásticos, espumas, cerámicas, entre otros) o natural (principalmente rocas, carbón, basalto, entre otros) (Cohen, 2001).

Los microorganismos de la biopelícula adheridos al soporte, toman principalmente el oxígeno de la atmósfera, para la respiración y se alimentan de materia orgánica contenida en el líquido residual, la cual difunde a través de la biopelícula por diversos mecanismos. (Welter, A. B., Romero, J. M., Grumelli, Y. A., Sanchez, J. A., & Ascar, G. I., 2005).

2.2.10. Material de Soporte.- El uso de medios de soporte, como **empaques móviles** (carriers), en los reactores biológicos permite la retención de sólidos al interior del mismo, a través de la biopelícula formada en su superficie y en los intersticios del lecho. Los empaques móviles suelen ocupar entre el 50 a 70% de la altura total del reactor. Las principales finalidades del medio de soporte según Torres, A. Rodríguez y Eugenia Uribe (2003), son:

- Mejorar el contacto entre el sustrato y los sólidos biológicos contenidos en el reactor.
- Facilitar un flujo uniforme en el reactor.

- Permitir la acumulación de gran cantidad de biomasa.
- Actuar como una barrera física, evitando que los sólidos sean arrastrados por fuera del sistema de tratamiento.
- Actuar como un dispositivo para separar los sólidos de los gases.

Los medios de soporte pueden estar constituidos por materiales como piedras, bloques cerámicos, espumas, materiales de plástico, conchas de ostras y mejillones, bloques modulares de PVC, granito, esferas de polietileno y bambú (Torres, A. Rodríguez, & Eugenia Uribe, 2003).

En la Tabla 2.6. se muestran los requisitos que debe tener un medio de soporte (Pinto & Chernicharo, 1996):



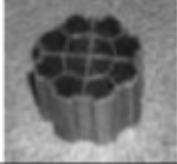

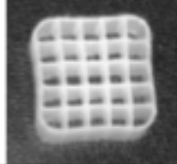
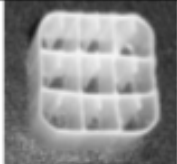
TABLA 2.6
REQUISITOS QUE DEBE TENER UN MEDIO DE SOPORTE.

Requisitos	Objetivos
Ser estructuralmente resistente	Soportar el propio peso, adicionado al peso de los sólidos biológicos adheridos a su superficie.
Ser biológica y químicamente inerte	Evitar reacciones entre el lecho y los microorganismos.
Ser suficientemente liviano	Evitar la necesidad de estructuras complejas, así como permitir la construcción de filtros más altos para reducir áreas de tratamiento.
Poseer superficie específica y porosidad elevada	Permitir la adherencia de microorganismos y reducir la posibilidad de colmatación.
Precio reducido	Viabilizar económicamente el proceso.

Fuente: Pinto y Chernicharo, 1996.

La tabla 2.7. 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 (Lapo Calderón, 2014).

**TABLA 2.7.
MEDIOS DE SOPORTE MANUFACTURADOS**

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

Fuente: Lapo Calderón, 2014.

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 (Van Haandel A.C. & Van der Lubbe J.G.M., 2012).

Considerando que la densidad del agua es de aproximadamente 1.0g/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 (Van Haandel A.C. & Van der Lubbe J.G.M., 2012).

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 de la biopelícula requerida, siempre que no se exceda la fracción de llenado máxima recomendada (Van Haandel A.C. & Van der Lubbe J.G.M., 2012).

2.3. Marco Legal

2.3.1. Normas Internacionales

- **FAO – Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la agricultura.-** La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) publicó en 1990 la guía para aguas tratadas en el reúso agrícola y sus requerimientos de tratamiento.

**TABLA 2. 8
GUÍA SUGERIDA PARA AGUAS TRATADAS EN EL REUSO AGRICOLA**

Tipos de reúso agrícola	Calidad del 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/100mL < 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/100MI	Secundario Desinfección
Reúso agrícola en cultivos que no se consumen	pH 6.5 – 8.4 < 30 mg.L ⁴ DBO < 30 mg.L ⁴ SS < 200 NMP coli fecal/100mL	Secundario Desinfección

Fuente: FAO, 1999.

- **OMS – Organización Mundial de la Salud**

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

**TABLA 2.9
DIRECTRICES DE LA OMS (1989) SOBRE CALIDAD
PARASITOLOGÍA Y MICROBIOLÓGICA DE AGUA RESIDUAL
PARA USO EN AGRICULTURA.**

Categoría	Condiciones de reutilización	Grupo expuesto	Nematodos intestinales (promedio aritmético de huevos/L)	Coliformes fecales (promedio geométrico/100 mL)
A	Irrigación de cultivos probablemente consumidos crudos. Campos deportivos, parques públicos	Agricultores consumidores, públicos	≤ 0.1	≤ 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	≤ 10 ⁵
			≤ 1 Riego por aspersión	≤ 10 ³
			≤ 1 Riego por aspersión	≤ 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: Blumenthal, 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 reúso, 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

finés, 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 Supremos N° 011-2010-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. Cuente 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° 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.

2.4. Definición de Términos Básicos

- **Agua residual:** Son las aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).
- **Aguas residuales domésticas:** proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas (ESPIGARES GARCÍA & PÉREZ LÓPEZ, 1985).
- **Bacterias:** Grupo de organismos microscópicos unicelulares, con cromosoma bacteriano único, división binaria y que

interviene en los procesos de estabilización de la materia orgánica (Norma OS.090, 2006).

- **Bacterias aeróbicas:** Son aquellas bacterias que necesitan oxígeno para su metabolismo. Realizan la oxidación de la materia orgánica en presencia de oxígeno molecular, es decir, realizan la respiración celular (RESTREPO SANTAMARIA, 2011).
- **Biomasa:** es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica (GARCIA GARRIDO, 2009-2012).
- **Biopelícula:** es un ensamblado de bacterias que está adosada por un pegamento a una superficie húmeda por medio de una matriz extracelular de polisacáridos fibrosos. Esta matriz, llamada cápsula o glicocálix, es sintetizada por las bacterias y su función principal es sujetar las células adsorbidas al soporte (Eighmy & Maratea, 1983).
- **Clarificación:** Proceso de sedimentación para eliminar los sólidos sedimentables del agua residual (Norma OS.090, 2006).

- **Coliformes Termotolerantes:** son un sub-grupo de los coliformes totales capaces de fermentar la lactosa a 44.5°C. Estan formado principalmente por *Escherichi Coli*, *Enterobacter*, *Klebsiella*. Se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, rara vez se encuentran en agua o suelo que no haya sufrido algún tipo de contaminación fecal (Delgado & Eyzaguirre, 2015).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno:** 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 (Norma OS.090, 2006).
- **DQO:** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidante sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio (Norma OS.090, 2006).
- **Desnitrificación:** La desnitrificación es la conversión de nitratos (NO₃) en gas nitrógeno inerte (N₂). Es el paso final en el ciclo del nitrógeno, una combinación de procesos naturales por medio de los cuales el nitrógeno se transforma de una forma a otra. Cuando se lo emplea en tecnologías de mejora de la calidad del agua, se utiliza la desnitrificación para tratar el agua, reducir el

contenido existente de nitrógeno en la forma de nitratos y llevarla a niveles de potabilidad (Gauntlett, 1975).

- **Glúcidos:** Los Glúcidos están constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno (a veces tienen N, S, o P). Su fórmula general suele ser $(CH_2O)_n$, donde oxígeno e hidrógeno se encuentran en la misma proporción que en el agua, de ahí su nombre clásico de hidratos de carbono (Muñoz de la Peña, 2002).
- **Matriz extracelular:** La matriz extracelular es un entramado de moléculas, sobre todo proteínas y carbohidratos, que se disponen en el espacio intercelular y que son sintetizadas y secretadas por las propias células (de Duve, 1984).
- **Microorganismo:** también llamado microbio u organismo microscópico, es un ser vivo que sólo puede visualizarse con el microscopio. Son organismos dotados de individualidad que presentan, a diferencia de las plantas y los animales, una organización biológica elemental. (Ingraham & Ingraham, 1998)
- **Nitrificación:** es la oxidación biológica del amonio a nitrato por microorganismos aeróbicos que usan el oxígeno molecular (O_2) como aceptor de electrones, es decir, como oxidante. A estos organismos el proceso les sirve para obtener energía, al modo en que los heterótrofos la consiguen oxidando alimentos orgánicos a través de la respiración celular. El C lo consiguen

del CO₂ atmosférico, así que son organismos autótrofos.
(Castaño Comene & Medina Rodriguez, s.f.)

- **Oxígeno disuelto:** Concentración de oxígeno solubilizado en un líquido (Norma OS.090, 2006)
- **pH:** Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro (Norma OS.090, 2006).
- **Anaerobio:** Condición en la cual no hay presencia de aire u oxígeno libre (Norma OS.090, 2006).
- **Prótidos:** Los prótidos son biomoléculas orgánicas. Están formados por Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Nitrógeno. En ocasiones aparecen Fósforo y Azufre. Este grupo está compuesto por tres tipos de moléculas, que se clasifican atendiendo a su tamaño. Son los aminoácidos, los péptidos y las proteínas. (Colegio Marista San Jose, s.f.)
- **Sólidos Suspendidos Totales:** Son el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se define como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103°-105°C, hasta peso constante. Los sólidos suspendidos totales se dividen en volátiles (SSV) y fijos (SSF). (Morales Rojo, 2005)
- **Turbidez:** Es el efecto óptico que se origina al disiparse o interferirse el paso de los rayos de luz que atraviesan una muestra de agua, a casusa de las partículas minerales u

orgánicas que el líquido puede contener en forma de suspensión; tales como microorganismos, arcilla, precipitaciones de óxidos diversos, carbonato de calcio precipitado, compuestos de aluminio, etc. La turbiedad nos es generalmente usada como forma de control de aguas residuales crudas, pero puede ser medida para caracterizar la eficiencia del tratamiento secundario una vez que, puede ser relacionada con la concentración de sólidos en suspensión. (Contreras Miranda, 2009)

CAPÍTULO III VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables de la investigación, $y = f(x)$

3.1.1. Variables independientes, (X)

X: Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula.

- X₁: Caudal (m³/s)
- X₂: Carga superficial de tratamiento (m³/ m² · d)
- X₃: Tiempo de retención hidráulica (TRH)
- X₄: Superficie Específica de carrier (m²/m³)
- X₅: Concentración de carrier (%)
- X₆: Temperatura (°C)

3.1.2. Variables dependientes, (Y)

Y: Calidad de agua tratada para su reúso.

- Y₁: Potencial Hidrógeno (pH).
- Y₂: Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Y₃: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).
- Y₄: Aceites y grasas (AyG).
- Y₅: Coliformes Termotolerantes (CT).
- Y₆: Turbiedad.
- Y₇: Oxígeno Disuelto (OD).
- Y₈: Conductividad Eléctrica (CE).

3.2. Operacionalización de variables.- Para corroborar la hipótesis planteada a la problemática; a través de la relación causa-efecto se debe comprobar las dimensiones e indicadores de la variable dependiente. Por lo que se someterá a análisis el efluente a su paso a través de la planta piloto del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula.

- Variable dependiente Y: Calidad de agua tratada.

- Dimensión: Limite de componentes físicos, químicos y biológicos apto para su reusó.

- Indicadores de concentración de componentes físicos, químicos y biológicos:

- Y₁: Potencial Hidrógeno (pH).
- Y₂: Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Y₃: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).
- Y₄: Aceites y grasas (AyG).
- Y₅: Coliformes Termotolerantes (CT).
- Y₆: Turbiedad.
- Y₇: Oxígeno Disuelto (OD).
- Y₈: Conductividad Eléctrica (CE).

Se realizaron los análisis necesarios para la cuantificación de los valores de cada uno de los indicadores antes mencionados, es decir se caracterizó el agua de ingreso y salida del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula para cada concentración de carrier, manteniendo el resto de variables independientes constantes.

3.3. Hipótesis general.- La eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas para su reúso en el riego de áreas verdes de la FIARN – UNAC, mejora a mayor concentración de carrier en el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula.

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1. Tipo de investigación.- Según Alfaro Rodriguez (2012), la investigación experimental consiste en la manipulación de una o más variables experimentales no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

Esta investigación es de tipo **experimental**, puesto que las variables de estudio serán manipuladas por el investigador, para controlar el aumento o disminución de estas y su efecto en las conductas a observar.

4.2. Diseño de investigación.- Para Conseguir la respuesta a la hipótesis planteada existen diferentes tipos de diseño de investigación. En este caso, la investigación presenta las siguientes etapas: presencia de un problema para el cual sea realizada una revisión bibliográfica, identificación y definición del problema, definición de hipótesis y variables con sus operacionalizaciones, diseño del plan experimental, prueba de confiabilidad de los datos, realización del experimento y tratamiento de datos. Por lo que, el tipo diseño es **experimental** o de laboratorio (Damas Niño, 2014).

4.3. Población y muestra.- La población en el presente trabajo de investigación son todas las aguas residuales domésticas que se generan en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Callao, mientras la muestra son las aguas que serán captadas de la

alcantarilla que se encuentra en el jardín posterior de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, cuyo caudal de muestra es de 0.8m³/día, capacidad de tratamiento de la Planta Piloto de Reactor Biológico Secuencial.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.- Las Técnicas e Instrumentos de recolección de datos que se aplicó en el presente trabajo de investigación, son específicas para cada etapa:

- Primera etapa: Caracterización de las aguas residuales domésticas al ingreso del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula, se medirán los parámetros de calidad (químicos, físico – químicos y biológicos). Asimismo, se tomaron como referencia los datos de Baca Neglia (2017) en el aspecto de cantidad (caudal o aforo).
- Segunda etapa: Caracterización del agua tratada en el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula, se medirán parámetros de calidad (químicos, físico – químicos y biológicos).
- Tercera etapa: Caracterización del agua tratada con cloro, donde se medirá el parámetro de calidad de Coliformes Termotolerantes.

4.4.1. Técnicas de recolección de datos.- La caracterización de las aguas residuales domésticas se realizará de acuerdo al Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales - PTAR, aprobado mediante Resolución Ministerial N°273-2013-VIVIENDA del 24 de octubre del 2013.

4.4.2. Instrumentos de Recolección de datos

- **Materiales:**

- Para los parámetros muestreados en laboratorio acreditado, Inspectorate Services S.A.C:

**TABLA 4.1
MATERIALES PARA MUESTREO EN LABORATORIO.**

Parámetros	Tipo de Envase	Volumen Mínimo (mL)	Volumen de Envase
DQO	Plástico	100	120 mL
DBO ₅	Plástico	1000	1L
Aceites y grasas	Vidrio (Ámbar)	1000	1L
Coliformes Termotolerantes	Plástico	100	250 mL

Fuente: INSPECTORATE SERVICES S.A.C., 2017

- Cajas térmicas y preservantes químicos para el traslado, conservación y preservación de las muestras de agua,
- Plumones, libreta de campo, cadena de custodia para el seguimiento de la trazabilidad de las muestras y anotación de observaciones.

- **Equipos**

- Medidor de potencial hidrógeno, para la medición de pH,
- Turbidímetro, para la medición de la turbiedad,
- Medidor multiparámetro, para la medición de la conductividad,
- Termómetro de alcohol coloreado, para la medición de la temperatura,
- Oxímetro, para la medición de oxígeno disuelto.

4.5. Procedimiento para la recolección de datos

4.5.1. Objetivos.- Los objetivos del monitoreo son la determinación la composición de las aguas residuales domésticas y la cantidad relativa de la materia que se emite en la disposición final, donde se determina los parámetros a medir, los puntos de muestreo, la frecuencia de medición, etc.

4.5.2. Selección de Parámetros.- Depende de los objetivos del Programa de Monitoreo, para lo cual se seleccionará los indicadores más importantes, como: Potencial Hidrógeno, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Aceites y grasas, Coliformes Termotolerantes, Turbiedad, Oxígeno Disuelto y Conductividad Eléctrica.

4.5.3. Selección de los puntos de muestreo.- La selección de los puntos de muestreo se ubicará en la entrada al módulo del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula de la Planta Piloto - FIARN y a la salida después del tratamiento, es decir, en dos puntos.

Adicionalmente para el parámetro de Coliformes Termotolerantes se ubicará un punto de muestreo después del post tratamiento con cloro.

4.5.4. Toma de muestra, mediciones en situ y su frecuencia.- La recolección y manipulación de muestras será una de las etapas más importantes en el monitoreo, porque permitirá garantizar resultados satisfactorios de los análisis correspondientes tales como: Potencial Hidrógeno, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Aceites y grasas, Coliformes

Termotolerantes, Turbiedad, Oxígeno Disuelto y Conductividad Eléctrica. Las muestras procedentes de los efluentes considerados en cada estación de aforo, consideradas en la presente tesis de investigación se coleccionarán en un balde de 25 litros de capacidad, se homogenizará y se registrará su temperatura respectiva, de esta muestra homogenizada se coleccionarán las submuestras en recipientes independientes destinadas para los análisis de los indicadores respectivos. La frecuencia establecida para esta etapa de caracterización será la de extracción de tres muestras por día, primera toma a las 08:00 hrs., segunda toma a las 14:00 hrs. y la tercera toma a las 20:00 hrs., durante un periodo de cinco semanas.

**FIGURA 4.1
TOMA DE MUESTRA.**



Fuente: Propia.

4.5.5. Selección de los métodos analíticos.- Los métodos analíticos utilizados serán los métodos normalizados para análisis de aguas residuales, dados por EPA Method 1664 Rev. B, Febrero 2010,

APHA, AWWA WPCF (Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater 21 edition. 2005), (Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater 22 edition. 2012) y (Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater 23 edition. 2017), los mismos que se muestran en la Tabla 4.2.:

**TABLA 4.2
MÉTODOS NORMALIZADOS Y EQUIPOS PARA MONITOREO DE
AGUAS RESIDUALES.**

Parámetros	Methods	Métodos	Equipos	Unidades
Temperatura	2550-B*	Termométrico	Termómetro	°C
DBO ₅	5210-B**	DBO ₅ (5 días, 20°C)	Incubadora	mg DBO ₅ /L
DQO	5220-C**	Reflujo cerrado	Colorímetro	mg DQO/L
Aceites y grasas	EPA 1664-B****	Extracción y gravimetría	Pera de decantación y destilador	mg/L
Coliformes termotolerantes	9221-B***	Tubos múltiples	Laboratorio	NMP/100ml
Turbiedad	2130-B*	Nepelometric	Turbidímetro	NTU
Oxígeno Disuelto	4500-O G*	Electrodo de membrana de detección directa	Oxímetro	mg/L
Conductividad	2510-B*	Celda o electrodo de Conductividad	Conductímetro	μS/cm

Fuente:

(*)Standart Methods for the Examination of Wasterwater 21 edition. 2005 – APHA – AWWA – WPCF

()Standart Methods for the Examination of Wasterwater 22 edition. 2012 – APHA – AWWA – WPCF.**

(*)Standart Methods for the Examination of Wasterwater 23 edition. 2017 – APHA – AWWA – WPCF.**

(**)EPA Method 1664 Rev. B, Febrero 2010.**

Luego de la toma de muestra, las muestras fueron transportadas al laboratorio (Inspectorate Services S.A.C) para la determinación de

las concentraciones de DQO, DBO5, Aceites y Grasas y Coliformes Termotolerantes.

4.5.6. Evaluación de la eficiencia.- Con el fin de evaluar la eficiencia, se utilizó la siguiente fórmula:

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100, \text{ porcentaje}$$

Donde:

S_0 = concentración en la entrada

S = concentración en la salida

4.6. Procedimiento estadístico y análisis de datos.- Una vez que los datos del monitoreo de las aguas residuales domésticas han sido recolectados, se puede proceder a analizarlos, para lo cual se utilizará el programa Microsoft Excel, de modo que la información quede disponible para los requerimientos de la presente investigación. En la etapa de Contrastación de Hipótesis el análisis de datos cuantitativos se utilizará el programa Microsoft Excel, creando una matriz de datos para cada uno de los indicadores de la Variable Dependiente: Y (Calidad de agua tratada para su reúso), de modo que se corrobora la Hipótesis:

“La eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas para su reúso en el riego de áreas verdes de la FIARN – UNAC, mejora a mayor concentración de carrier en el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula”.

Es decir, que ante el incremento de concentración de carrier en el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula, aumenta la superficie

específica del reactor, mejorando las características del agua tratada o los valores de sus indicadores de la **Variable Dependiente**, valores que sean iguales al ECA Agua o que estos valores se encuentren cercanos a ellos, según la Tabla 4.3.:

**TABLA 4.3
VALORES DE COMPARACIÓN.**

Variable	Parámetro	Unidad	ECA agua
Y ₁	Potencial Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5 ¹
Y ₂	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40 ¹
Y ₃	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15 ¹
Y ₄	Aceites y grasas.	mg/L	5 ¹
Y ₅	Coliformes termotolerantes.	NMP/100mL	1000 ¹
Y ₆	Turbiedad.	UNT	100 ²
Y ₇	Oxígeno Disuelto (OD)	mg/l	4 ¹
Y ₈	Conductividad	μS/cm	2500 ¹

Fuente: Elaboración en base al ECA agua (2017): (1) Categoría III D1 y (2) Categoría II B1.

Para el **análisis de los datos** que se obtendrán en el monitoreo de la planta piloto se aplicará la técnica de estadísticas descriptiva (media aritmética) y el uso de gráficas de tendencia y eficiencia.

CAPÍTULO V RESULTADOS

En este capítulo se muestra los resultados obtenidos del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula, los cuales fueron para cinco porcentajes de carrier adicionados: 10% (50L), 15% (75L), 20% (100L), 25% (125L) y 30% (150L) del volumen útil del tanque de aireación (500L).

Los porcentajes indicados fueron agregados en diferentes periodos de muestreo, de una semana cada uno, con igual caudal (800L/día) y Tiempo de Retención Hidráulica, 24 horas en 2 tandas de 12 horas (400 litros), tomado como referencia del Informe de Investigación "Evaluación de un sistema de tratamiento compacto de lodos activados del tipo secuencial para los efluentes domésticos y su reúso en el riego de jardines y áreas verdes" de Baca Neglia (2017, pág. 79).

5.1. Resultados de las variables dependientes del Sistema

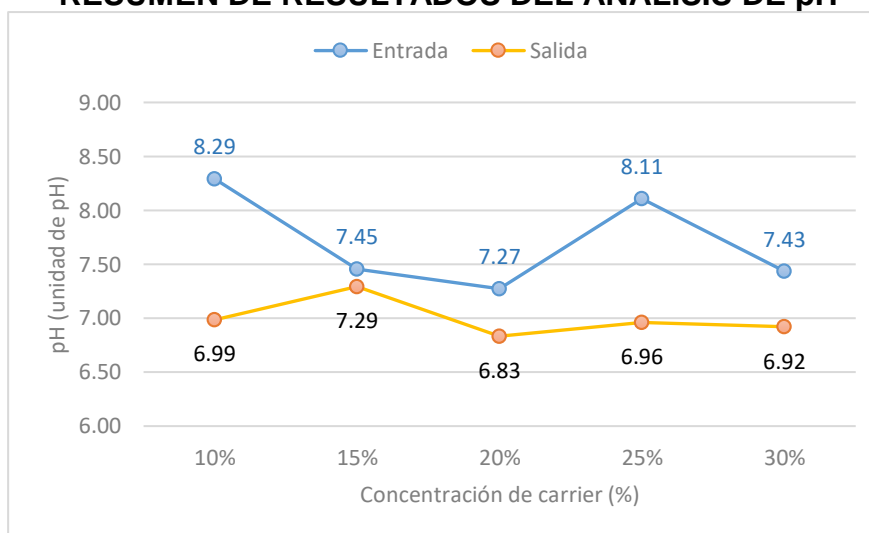
5.1.1. Resultado del análisis del Potencial Hidrogeno, (pH).- Para el análisis de pH se tomó muestra diaria, de lunes a viernes, tres veces al día, en la entrada y salida del sistema de tratamiento; con los valores de las observaciones se confecciono la Tabla 5.1 de promedios semanales de cada concentración de Carrier.

TABLA 5.1
RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE pH

Concentración de carrier	Semana	Prom. Entrada Und. pH	Prom. Salida Und. pH
10%	1	8.29	6.99
15%	2	7.45	7.29
20%	3	7.27	6.83
25%	4	8.11	6.96
30%	5	7.43	6.92

Fuente: Propia.

FIGURA 5.1
RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH



Fuente: Propia.

Al ingreso del sistema del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula el pH varía entre 7.20 - 8.30 und. pH, mientras que a la salida el pH varía entre 6.80 - 7.80 und. pH. Se observa una variación para el sistema de tratamiento entre la entrada y salida de 0.19 - 1.30 und. pH.

5.1.2. Resultado del análisis de la Demanda Química de Oxígeno, (DQO).- Para la variable de DQO se tomó la muestra semanal, en entrada y salida del sistema de tratamiento, a

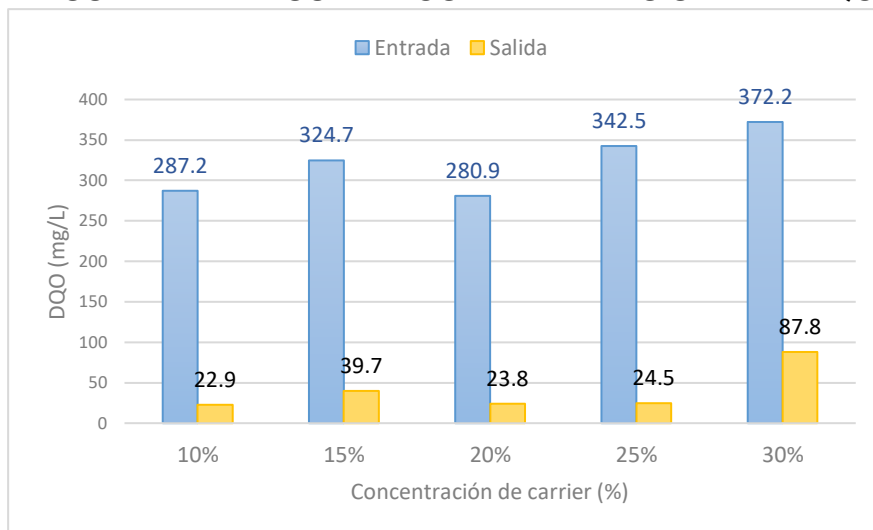
partir de los resultados semanales referidos a la DQO se confeccionó la Tabla 5.2.:

**TABLA 5.2
RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE DQO**

Concentración de carrier	Semana	Prom. Entrada (mg/L)	Prom. Salida (mg/L)
10%	1	287.2	22.9
15%	2	324.7	39.7
20%	3	280.9	23.8
25%	4	342.5	24.5
30%	5	372.2	87.8

Fuente: Propia.

**FIGURA 5.2
RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA DQO**



Fuente: Propia.

Donde la DQO a su ingreso, varía entre 280 – 373 mg/L, mientras que la DQO a la salida del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula para las diferentes concentraciones de carrier varían entre 22 - 88 mg/L.

5.1.3. Resultado del análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO₅).

- Para la variable de DBO₅ se tomó la muestra semanal, en entrada y salida del sistema de

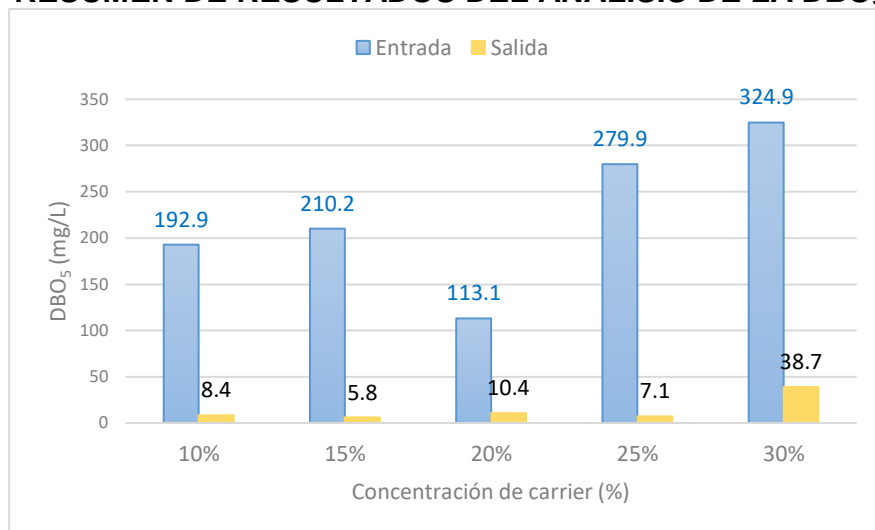
tratamiento, a partir de los resultados semanales referidos a la DBO₅ se confeccionó la Tabla 5.3.

**TABLA 5.3
RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE DBO₅**

Concentración de carrier	Semana	Prom. Entrada (mg/L)	Prom. Salida (mg/L)
10%	1	192.9	8.4
15%	2	210.2	5.8
20%	3	113.1	10.4
25%	4	279.9	7.1
30%	5	324.9	38.7

Fuente: Propia.

**FIGURA 5.3
RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA DBO₅**



Fuente: Propia.

Donde la DBO₅ a su ingreso, varía entre 113 – 325 mg/L, mientras que la DBO₅ a la salida el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula para las diferentes concentraciones de carrier varían entre 7 – 39 mg/L.

5.1.4. Resultado del análisis de los Aceites y Grasas, (A y G).

Para la variable de A y G se tomó la muestra semanal, en entrada y salida del sistema de tratamiento, a partir de los

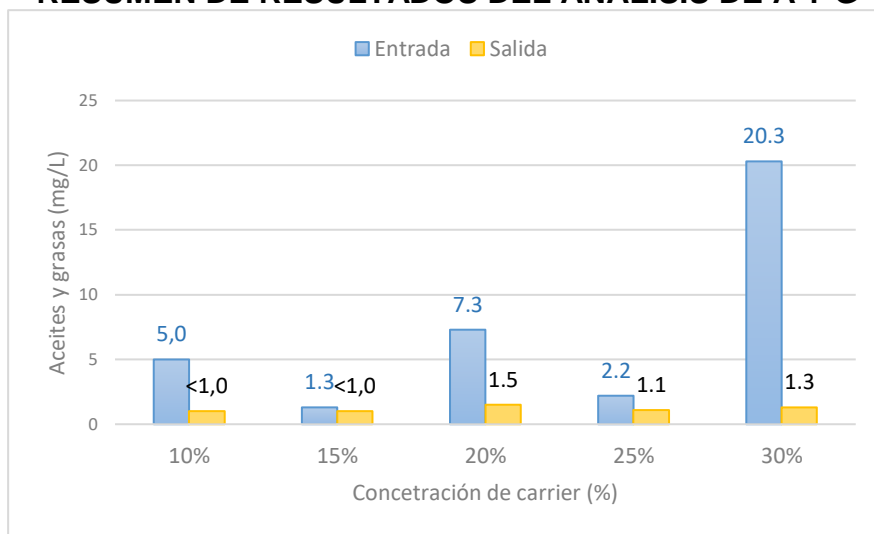
resultados semanales referidos a la A y G se confecciono la Tabla 5.4.:

**TABLA 5.4
RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE A Y G**

Concentración de carrier	Semana	Prom. Entrada (mg/L)	Prom. Salida (mg/L)
10%	1	5	<1.0
15%	2	1.3	<1.0
20%	3	7.3	1.5
25%	4	2.2	1.1
30%	5	20.3	1.3

Fuente: Propia.

**FIGURA 5.4
RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE A Y G**



Fuente: Propia.

Donde la variable de Aceites y Grasas a su ingreso varía entre 1.5 – 21mg/L, mientras que a la salida del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula varían entre <1 – 1.5 mg/L.

5.1.5. Resultado del análisis de los Coliformes Termotolerantes (CT).- Para la variable de CT se tomó tres muestras semanales: a la entrada del sistema, luego del

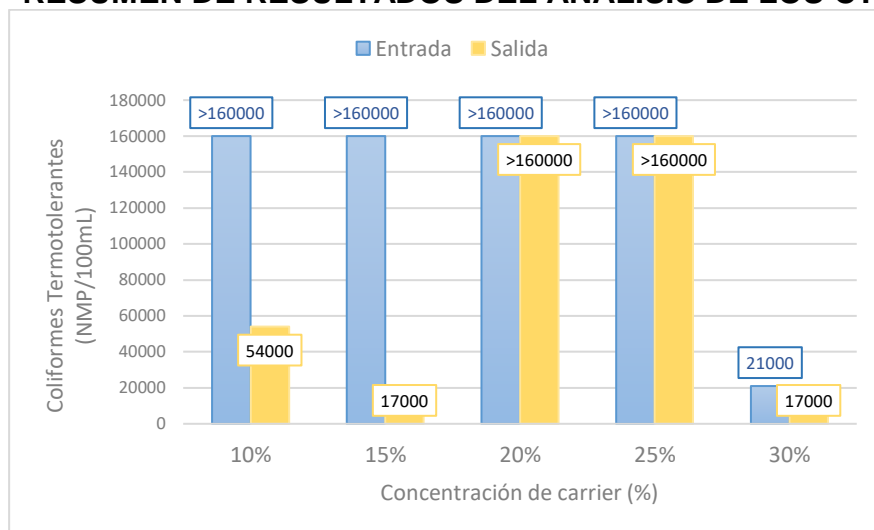
tratamiento, y luego del post tratamiento con cloro. A partir de los resultados semanales de CT se confeccionó la Tabla 5.5.

**TABLA 5.5
RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LOS CT**

Concentración de carrier	Semana	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)	Post Tratamiento (mg/L)
10%	1	>160 000	54 000	4.00
15%	2	>160 000	17 000	<1.80
20%	3	>160 000	>160 000	<1.80
25%	4	>160 000	>160 000	<1.80
30%	5	21 000	17 000	<1.80

Fuente: Propia.

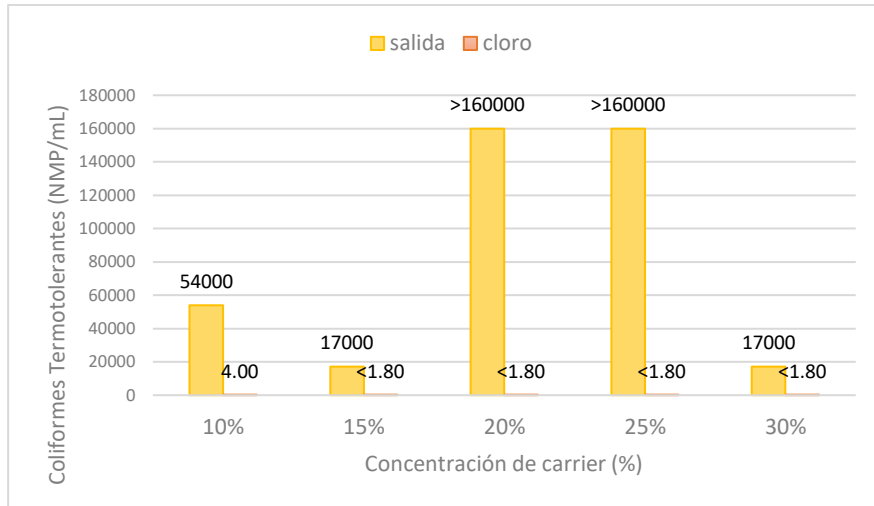
**FIGURA 5. 5
RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS CT**



Fuente: Propia.

Donde los CT a su ingreso esta entre 21 000 a >160 000 NMP/100ml. Los CT a la salida del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula para las diferentes concentraciones varían entre 17000 a >160 000 NMP/100ml.

**FIGURA 5.6
RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE POST
TRATAMIENTO CON CLORO DE LOS CF**



Fuente: Propia.

Las salidas después del post tratamiento con cloro varían entre <1.8 - 4 NMP/100ml.

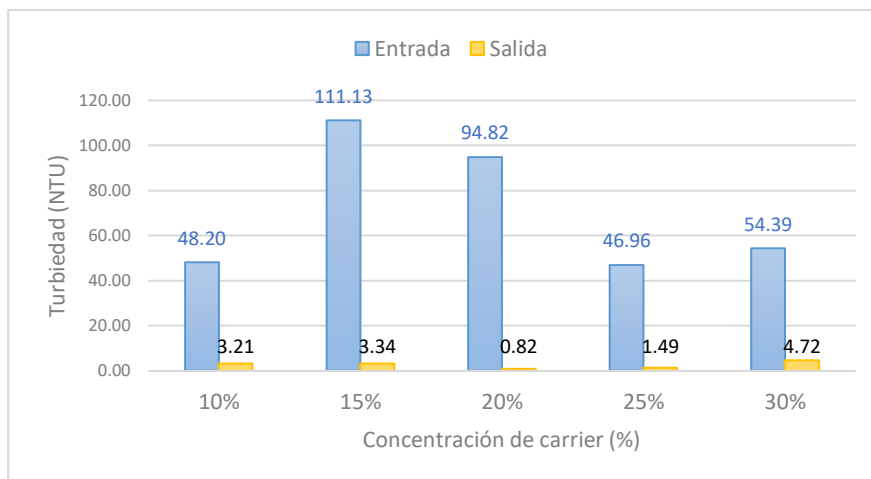
5.1.6. Resultado del análisis de la Turbiedad.- Para el análisis de la Turbiedad se tomó las muestras diaria, , de lunes a viernes, tres veces al día, en la entrada y salida del sistema de tratamiento; con los valores de las observaciones se confecciono la Tabla 5.6 de promedios semanales de cada concentración de Carrier.

**TABLA 5.6
RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA
TURBIEDAD**

Concentración de carrier	Semana	Prom. Entrada (NTU)	Prom. Salida (NTU)
10%	1	48.20	3.21
15%	2	111.13	3.34
20%	3	94.82	0.82
25%	4	46.96	1.49
30%	5	54.39	4.72

Fuente: Propia.

**FIGURA 5.7
RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA
TURBIEDAD**



Fuente: Propia.

Donde los Turbiedad a su ingreso, es de 46 – 112 NTU. Las salidas de Turbiedad a la salida del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula para las diferentes concentraciones varían entre 0.8 – 4.8 NTU.

5.1.7. Resultado del análisis del Oxígeno Disuelto, (OD).-

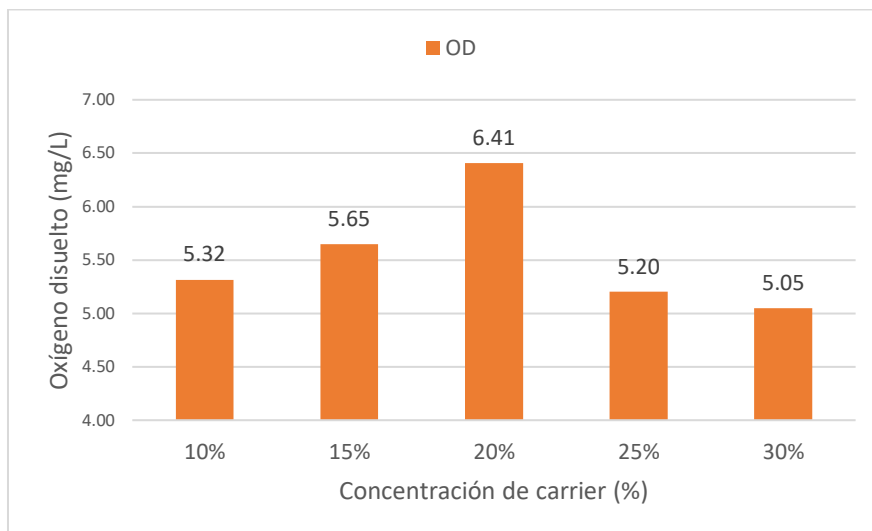
Para el OD se tomó la muestra diaria, de lunes a viernes, tres veces al día, en la salida del sistema de tratamiento; con los valores de las observaciones se confecciono la Tabla 5.7 de promedios semanales de cada concentración de Carrier.

**TABLA 5.7
RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE OD**

Concentración de carrier	Semana	Prom. Salida (mg/L)
10%	1	5.32
15%	2	5.65
20%	3	6.41
25%	4	5.20
30%	5	5.05

Fuente: Propia.

**FIGURA 5.8
RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE OD**



Fuente: Propia.

Donde el OD en el agua tratada tiene una concentración entre 5.00 – 6.50 mg/L.

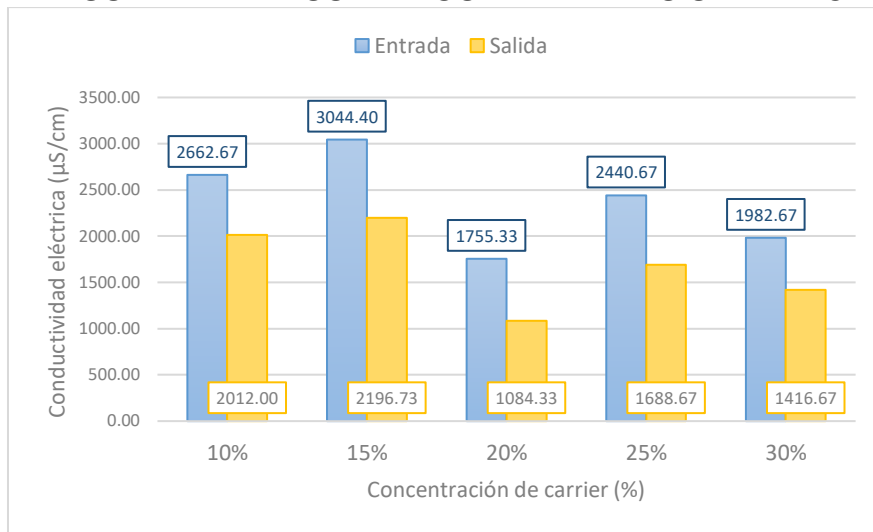
5.1.8. Resultado del análisis de la Conductividad Eléctrica, (CE).- Para el CE se tomó la muestra diaria, de lunes a viernes, tres veces al día, en la entrada y salida del sistema de tratamiento; con los valores de las observaciones se confecciono la Tabla 5.8 de promedios semanales de cada concentración de Carrier.

**TABLA 5.8
RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA CE**

Concentración de carrier	Semana	Prom. Entrada (µS/cm)	Prom. Salida (µS/cm)
10%	1	2 662.67	2 012.00
15%	2	3 044.40	2 196.73
20%	3	1 755.33	1 084.33
25%	4	2 440.67	1 688.67
30%	5	1 982.67	1 416.67

Fuente: Propia.

**FIGURA 5.9
RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA CE**



Fuente: Propia.

Donde el CE a su ingreso, es de 1 755 – 3 045 $\mu\text{S/cm}$. La CE a la salida del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula para las diferentes concentraciones varían entre 1 084.00 – 2 197.00 $\mu\text{S/cm}$.

5.2. Resultado de los parámetros de control del Sistema

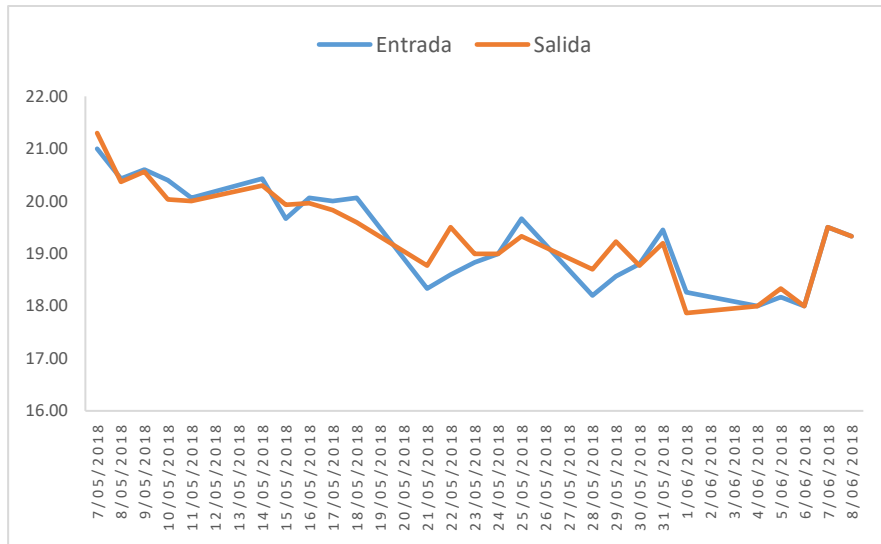
5.2.1. Resultado del análisis de Temperatura.- Para la Temperatura se tomó la muestra de lunes a viernes, tres veces al día, en la entrada y salida del sistema de tratamiento; con los valores de las observaciones se confeccionó la Tabla 5.9 de promedios semanales de cada concentración de Carrier.

**TABLA 5.9
RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA
TEMPERATURA**

Concentración de carrier	Semana	Prom. Entrada (°C)	Prom. Salida (°C)
10%	07/05/2018	21.00	21.30
	08/05/2018	20.43	20.37
	09/05/2018	20.60	20.57
	10/05/2018	20.40	20.03
	11/05/2018	20.07	20.00
15%	14/05/2018	20.43	20.30
	15/05/2018	19.67	19.93
	16/05/2018	20.07	19.97
	17/05/2018	20.00	19.83
	18/05/2018	20.07	19.60
20%	21/05/2018	18.33	18.77
	22/05/2018	18.60	19.50
	23/05/2018	18.83	19.00
	24/05/2018	19.00	19.00
	25/05/2018	19.67	19.33
25%	28/05/2018	18.20	18.70
	29/05/2018	18.57	19.23
	30/05/2018	18.80	18.77
	31/05/2018	19.45	19.20
	01/06/2018	18.27	17.87
30%	04/06/2018	18.00	18.00
	05/06/2018	18.17	18.33
	06/06/2018	18.00	18.00
	07/06/2018	19.50	19.50
	08/06/2018	19.33	19.33

Fuente: Propia.

**FIGURA 5.10
RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE
TEMPERATURA DEL AGUA**



Fuente: Propia.

Los valores de la Temperatura de ingreso y salida varían entre 18°C – 22°C.

5.3. Evaluación de la calidad de agua.- En la Tabla 5.10 se muestra los resultados de calidad de agua de entrada y salida, en función a las diferentes concentraciones de carrier en el reactor.

**TABLA 5.10
RESUMEN DE LOS RESULTADO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN A LAS CONCENTRACIONES DE
CARRIER**

Parámetro	ECA	Unidad	10%			15%			20%			25%			30%		
			Entrada	Salida	Clorado	Entrada	Salida	Clorado	Entrada	Salida	Clorado	Entrada	Salida	Clorado	Entrada	Salida	Clorado
CT	5 000	NMP /100 mL	>160 000	54 000	4.00	>160 000	17 000	<1.80	>160 000	>160 000	<1.80	>160 000	>160 000	<1.80	21 000	17 000	<1.80
DBO5	15	mg/L	192.90	8.40	-	210.20	5.80	-	113.10	10.40	-	279.90	7.10	-	324.90	38.70	-
DQO	40	mg/L	287.20	22.90	-	324.70	39.70	-	280.90	23.80	-	342.50	24.50	-	372.20	87.80	-
AyG	5	mg/L	5.00	1.00	-	1.30	1.00	-	7.30	1.50	-	2.20	1.10	-	20.30	1.30	-
CE	2 500	μS/cm	2 662.67	2 012.00	-	3 044.40	2 196.73	-	1 755.33	1 084.33	-	2 440.67	1 688.67	-	1 982.67	1 416.67	-
Turbiedad	100	NTU	48.20	3.21	-	111.13	3.34	-	94.82	0.82	-	46.96	1.49	-	54.39	4.72	-
pH	6.5 a 8.5	und.pH	8.29	6.99	-	7.45	7.29	-	7.27	6.83	-	8.11	6.96	-	7.43	6.92	-
Temperatura	16 - 32	°C	18.60	18.63	-	18.66	18.75	-	20.50	20.45	-	20.05	19.93	-	18.89	19.12	-
OD*	4	mg/L	-	5.32	-	-	5.65	-	-	6.41	-	-	5.20	-	-	5.05	-

Fuente: Propia.

CAPÍTULO VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se realizará el análisis detallado e interpretación de los resultados obtenidos durante el periodo de muestreo, se realizará la comparación de los resultados del sistema de tratamiento con la normativa ambiental vigente (ECA Agua), además se compararán los resultados del sistema de tratamiento con el Informe final del Proyecto de Investigación “Evaluación de un sistema de tratamiento compacto de lodos activados del tipo secuencial para los efluentes domésticos y su reúso en el riego de jardines y áreas verdes” de Baca Neglia (2017).

Es importante indicar que la presente investigación no se encuentra enfocada en la elaboración del diseño o construcción del Sistema de Tratamiento SBR, sino en la evaluación de la eficiencia del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula (SBBR), al aumentar la superficie de contacto del SBR añadiendo empaques móviles o carrier.

6.1. Contrastación de la hipótesis con los resultados del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula (SBBR)

6.1.1. Demanda Química de Oxígeno (DQO).- Para el SBBR se observa una eficiencia un promedio de 88.1%. La mejor eficiencia de tratamiento fue de 92.8% al 25% de concentración

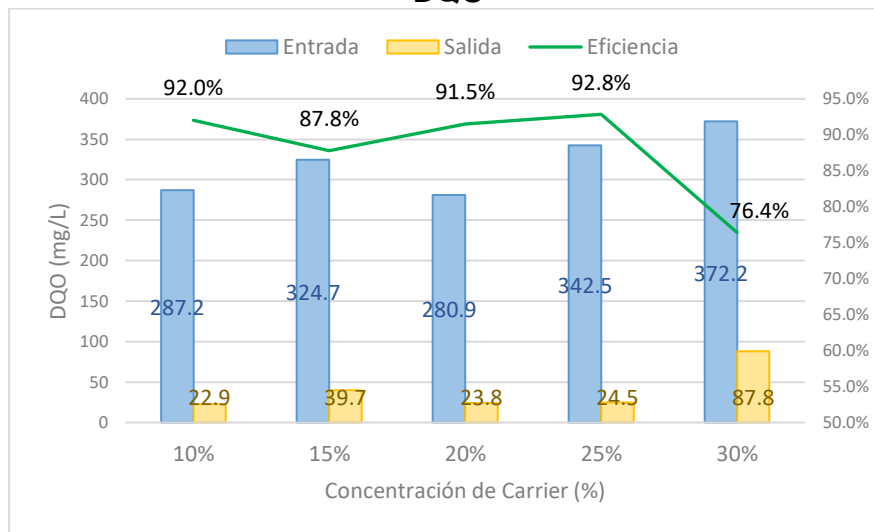
de carrier, mientras que la menor eficiencia de tratamiento fue de 76.4% al 30% de concentración de carrier, como se observa en la Tabla 6.1 y Figura 6.1.

TABLA 6.1
EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO

Concentración de carrier	Semana	Prom. Entrada (mg/L)	Prom. Salida (mg/L)	Eficiencia
10%	1	287.2	22.9	92.0%
15%	2	324.7	39.7	87.8%
20%	3	280.9	23.8	91.5%
25%	4	342.5	24.5	92.8%
30%	5	372.2	87.8	76.4%

Fuente: Propia.

FIGURA 6.1
COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO



Fuente: Propia.

6.1.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO₅).- Se observa una eficiencia promedio en el tratamiento con SBBR de un 93.8%. Teniendo mejor porcentaje de eficiencia en el tratamiento de 97.2% al 15% de concentración de

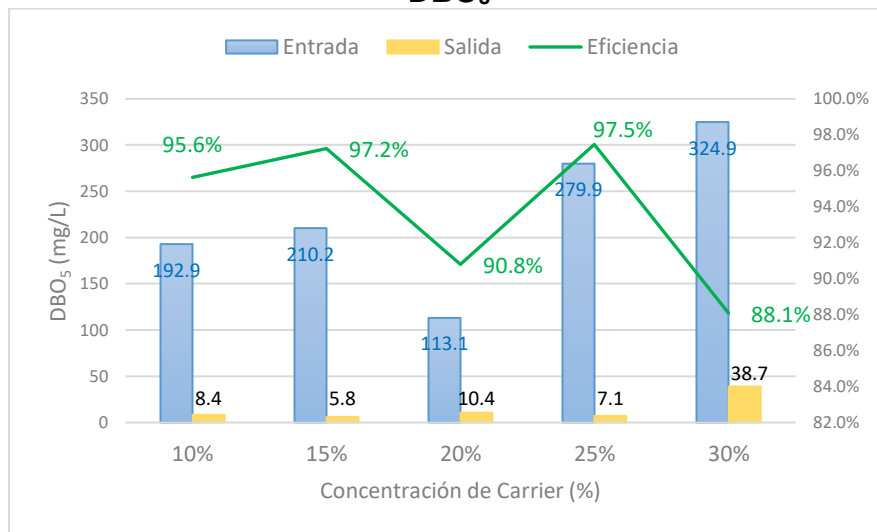
carrier, y la menor eficiencia es de 88.1%, al 30% de concentración de carrier, como se observa en la Tabla 6.2 y Figura 6.2.

TABLA 6.2
EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DBO₅

Concentración de carrier	Semana	Prom. Entrada (mg/L)	Prom. Salida (mg/L)	Eficiencia
10%	1	192.9	8.4	95.6%
15%	2	210.2	5.8	97.2%
20%	3	113.1	10.4	90.8%
25%	4	279.9	7.1	97.5%
30%	5	324.9	38.7	88.1%

Fuente: Propia.

FIGURA 6.2
COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DBO₅



Fuente: Propia.

6.1.3. Turbiedad.- Se observa una eficiencia promedio en el tratamiento con SBBR de 95.7%. Teniendo mejor porcentaje de eficiencia en el tratamiento de la turbiedad de 98.8% al 20% de concentración de carrier, y la menor

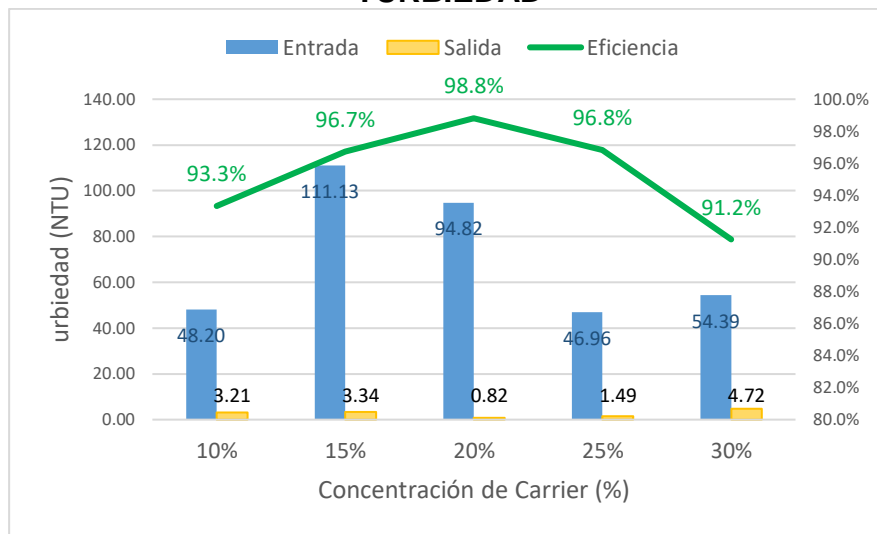
eficiencia es de 91.2%, al 30% de concentración de carrier, como se observa en la Tabla 6.3 y Figura 6.3.

TABLA 6.3
EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD

Concentración de carrier	Semana	Prom. Entrada (NTU)	Prom. Salida (NTU)	Eficiencia
10%	1	48.20	3.21	93.3%
15%	2	111.13	3.34	96.7%
20%	3	94.82	0.82	98.8%
25%	4	46.96	1.49	96.8%
30%	5	54.39	4.72	91.2%

Fuente: Propia.

FIGURA 6.3
COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD



Fuente: Propia.

6.1.4. Conductividad Eléctrica (CE).- Se observa una eficiencia promedio en el tratamiento con SBBR de 28.7%. Teniendo mejor porcentaje de eficiencia en el tratamiento de la conductividad eléctrica de 33.6% al 20% de concentración de carrier, y la menor eficiencia es de 24.4%, al 10% de

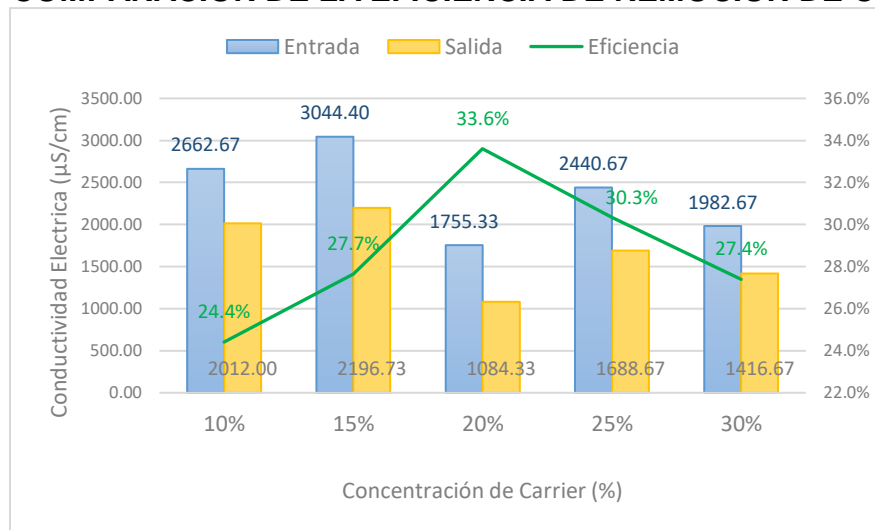
concentración de carrier, como se observa en la Tabla 6.4 y Figura 6.4.

TABLA 6.4
EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CE

Concentración de carrier	Semana	Prom. Entrada (μS/cm)	Prom. Salida (μS/cm)	Eficiencia
10%	1	2 662.67	2 012.00	24.4%
15%	2	3 044.40	2 196.73	27.7%
20%	3	1 755.33	1 084.33	33.6%
25%	4	2 440.67	1 688.67	30.3%
30%	5	1 982.67	1 416.67	27.4%

Fuente: Propia.

FIGURA 6.4
COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CE



Fuente: Propia

A partir de lo expuesto en el ítem 6.1.1 y 6.1.2, del presente capítulo, se observa que existe un decrecimiento en la eficiencia del tratamiento de la DQO y la DBO₅ al 30% de concentración de carrier, debido que durante el tratamiento se evidenció la disminución de aireación dentro de las cámaras del reactor, esto se corrobora con el resultado del análisis del

oxígeno disuelto (ítem 5.1.7 del Capítulo V), donde se evidencia una menor concentración de oxígeno en el agua a la salida del reactor, de 5.05 mg OD/L, disminuyendo la eficiencia de la biodegradación y oxidación de la carga orgánica del agua residual.

Finalmente, para los ítems 6.1.3 y 6.1.4, del presente capítulo, se presenta un decrecimiento a partir del 25% de concentración de carrier, esto se debe también a la aireación puesto que al disminuir la cantidad de oxígeno los microorganismos presentes en la biopelícula empiezan a morir, generando un aumento en sólidos disueltos afectando la conductividad eléctrica y la apariencia (turbiedad).

En la Figura 6.5. se muestra el frasco de la derecha contiene el agua del ingreso, y el frasco de la izquierda contiene el agua a la salida del SBBR.

FIGURA 6.5
DISMINUCIÓN DE LA TURBIEDAD



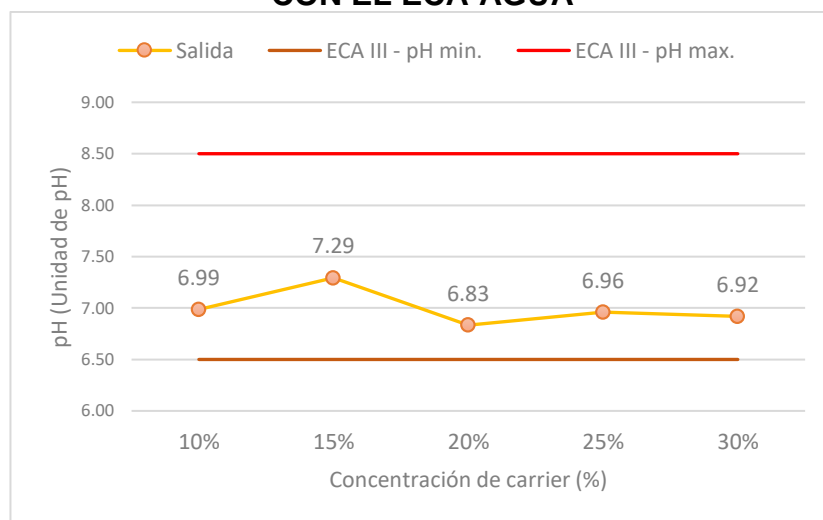
Fuente: Propia.

6.2. Contrastación de los resultados con normativa y otros estudios.

6.2.1. Evaluación de la calidad del agua residual doméstica posterior a su tratamiento con el ECA Agua.- 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 y Categoría 2, Subcategoría B1, Agua para recreación del D.S. N° 004-2017 MINAM.

a. Potencial Hidrogeno (pH).- En la Figura 6.6 se muestra los promedios del nivel de pH del agua a la salida del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula para cada concentración de carrier, según el ECA categoría III debe estar entre 6.5 a 8.5. El agua a la salida del tratamiento cumple con la exigencia del ECA Agua Categoría III.

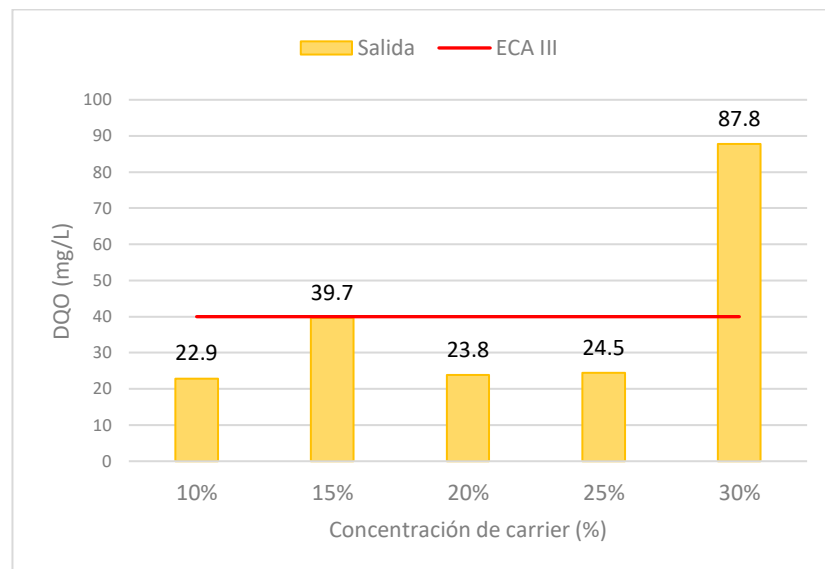
**FIGURA 6.6
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE pH
CON EL ECA-AGUA**



Fuente: Propia.

- b. **Demanda Química de Oxígeno (DQO).**- En la Figura 6.7 se observa que la DQO del agua a la salida del tratamiento es menor al valor exigido por el ECA Agua categoría III, de 40 mg/L, para las concentraciones de carrier de 10%, 15%, 20% y 25%. Para el 30% de concentración de carrier, el agua tratada presenta una DQO de 87.8 mg/L superior al ECA, indicando que la materia orgánica no se ha biodegradado adecuadamente.

**FIGURA 6.7
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE DQO CON
EL ECA-AGUA**

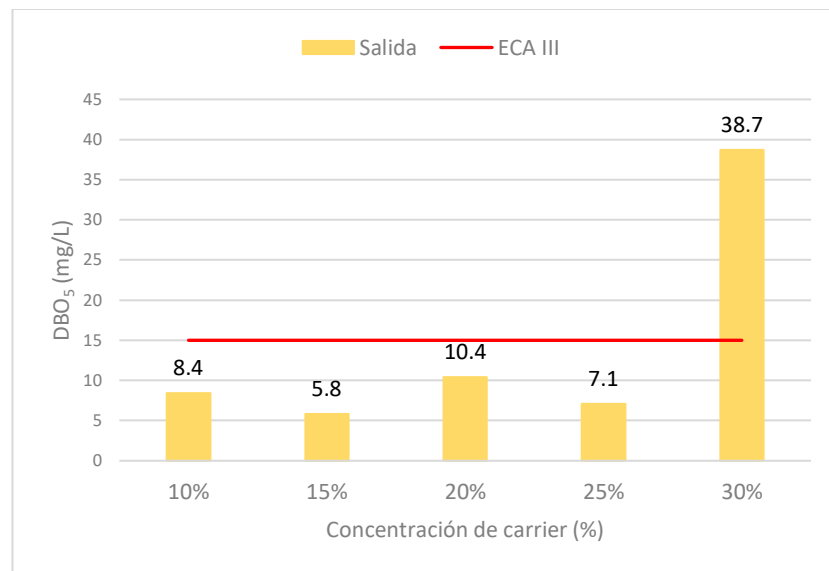


Fuente: Propia.

- c. **Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO₅).**- En la Figura 6.8 se observa que la DBO₅ del agua a la salida del tratamiento es menor al valor exigido por el ECA categoría III, de 15mg/L para 10%, 15%, 20% y 25% de carrier. Para

el 30% de concentración de carrier, el agua a la salida del tratamiento presenta una DBO₅ de 87.8 mg/L superior al ECA, esto indica que no se ha biodegradado adecuadamente la materia orgánica.

**FIGURA 6.8
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE DBO₅ CON
EL ECA-AGUA**



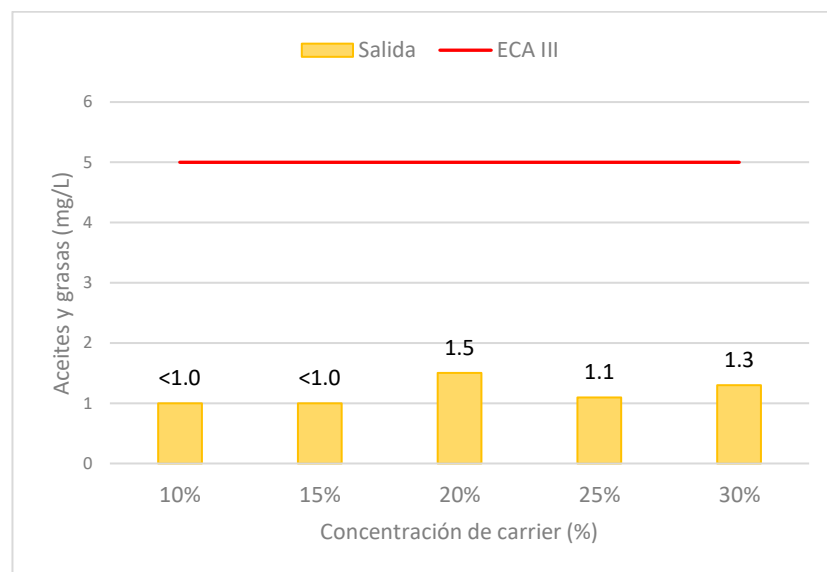
Fuente: Propia.

- d. **Aceites y Grasas, (A y G).**- Los resultados de Aceites y Grasas para 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de concentración de carrier, en el agua a la salida del tratamiento es menor al valor exigido por el ECA Agua categoría III, de 5 mg/L, como se observa en la Figura 6.9.

Se verifica que la eliminación de aceite es independiente de la carga másica de ingreso, en concordancia a lo

expresado por Cisterna O. (2001), en su análisis de laboratorio usando Fangos activados para la eliminación de grasas y aceite.

**FIGURA 6.9
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE A Y G
CON EL ECA-AGUA**

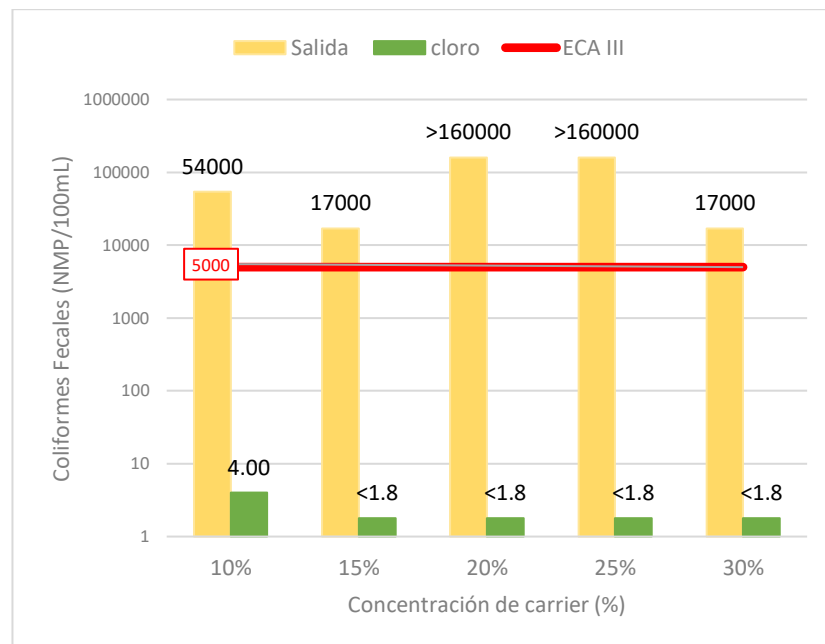


Fuente: Propia.

- e. **Coliformes Termotolerantes.**- Después del tratamiento con el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula, la concentración de Coliformes Termotolerantes en el agua a la salida es mayor al requerido por el ECA Agua categoría III, de 5 000 NMP/100mL en todas las concentraciones de carrier, como se observa en la Figura 6.10.

Según recomendación de Farfán Reyes (2015), la reducción de la presencia de los Coliformes Termotolerantes en el agua a la salida del tratamiento se dio a partir de la dosis de Cloro (agua clorada). Por lo que al utilizar la Cloración como post tratamiento se obtiene entre <1.8 – 4 NMP/100mL, dentro de los valores indicados por el ECA Agua Categoría III.

**FIGURA 6.10
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE
COLIFORMES TERMOTOLERANTES CON EL ECA-
AGUA**



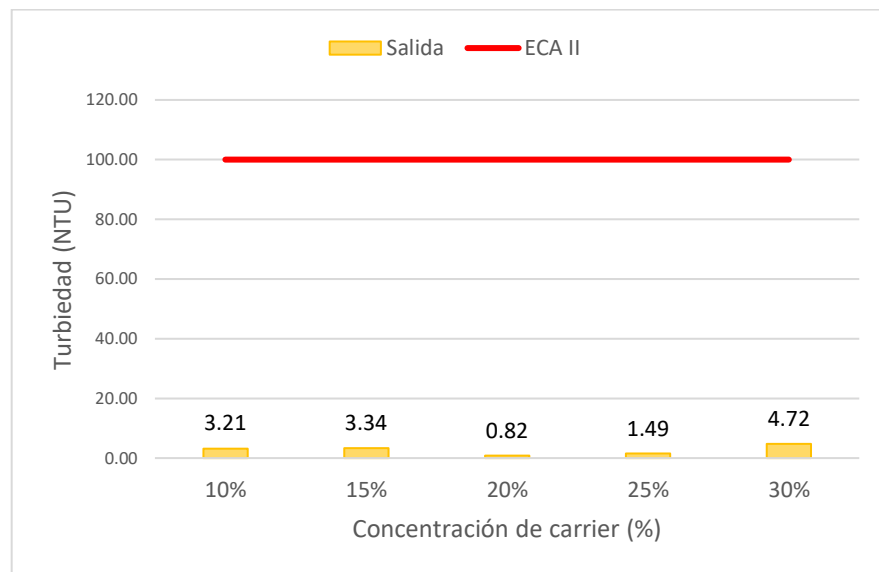
Fuente: Propia.

- f. **Turbiedad.-** Este parámetro no se encuentra regulado por el ECA Agua Categoría III (agua para riego) por lo que será

comparado con el ECA Agua Categoría II (agua para uso recreativo), este no debe ser mayor a 100 NTU.

En la Figura 6.11 se observa que el agua a la salida del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula se obtuvo valores entre 0.8 y 4.8 NTU, este parámetro cumple con el ECA Agua Categoría II.

**FIGURA 6.11
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE
TURBIEDAD CON EL ECA-AGUA**

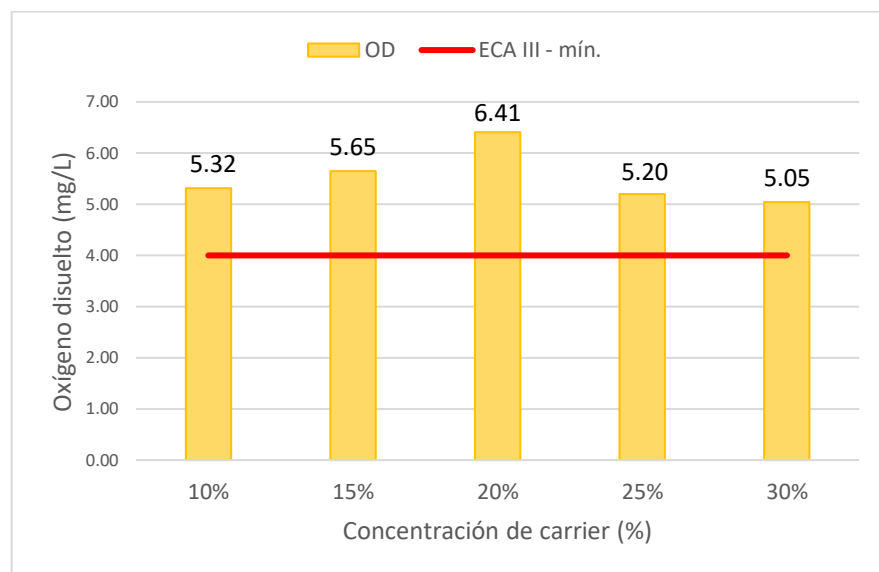


Fuente: Propia.

- g. Oxígeno Disuelto (OD).**- El monitoreo de OD se realizó a la salida, para garantizar que se mantenga la concentración adecuada para la correcta biodegradación de la materia orgánica durante el tratamiento por parte de las bacterias.

El valor del ECA Agua Categoría III no debe ser inferior a 4 mg/L, en el agua a la salida del tratamiento con el Reactor Discontinuo Secuencial de Biopelícula se obtuvieron valores superiores del ECA en todos los casos. Para este parámetro cumple con el ECA Agua Categoría III.

FIGURA 6.12
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE OD CON
EL ECA-AGUA



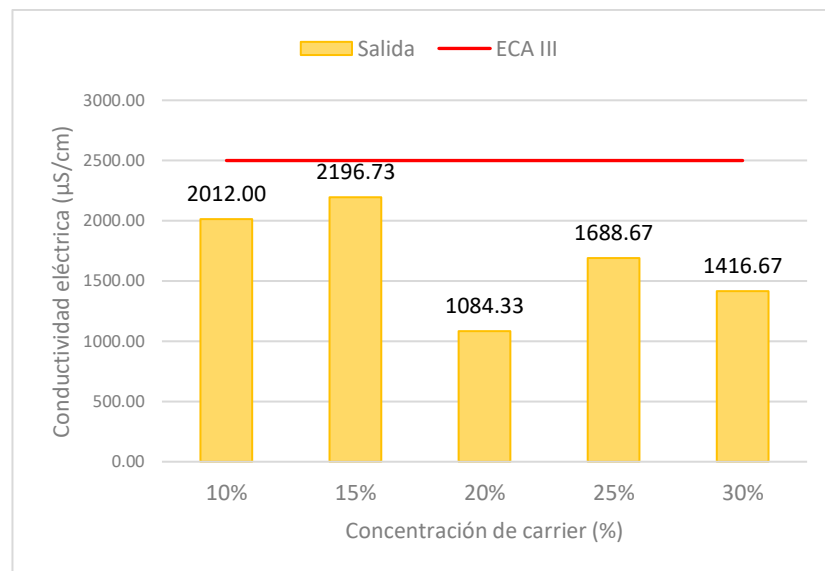
Fuente: Propia.

- h. **Conductividad Eléctrica (CE).**- Después del tratamiento del agua residual doméstica con el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula, la Conductividad Eléctrica en el agua a la salida es menor al requerido por el ECA Agua Categoría III, de 2 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en todas las

concentraciones de carrier, como se observa en la Figura 6.13.

El tratamiento SBBR con las diferentes concentraciones de carrier logra cumplir con el ECA categoría III para este parámetro.

**FIGURA 6. 13
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE CE CON
EL ECA-AGUA**

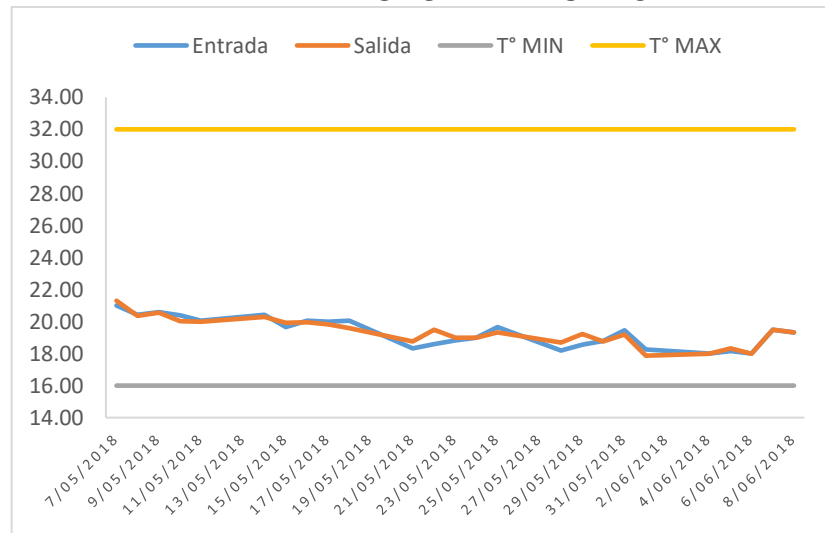


Fuente: Propia.

- i. **Temperatura.-** Los valores de la Temperatura de salida del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula cumplen lo requerido por el ECA Agua Categoría III, ya que tiene una variación menor a 3°C respecto al promedio mensual multianual, esto se observa en la Figura 6.14, Figura 6.15

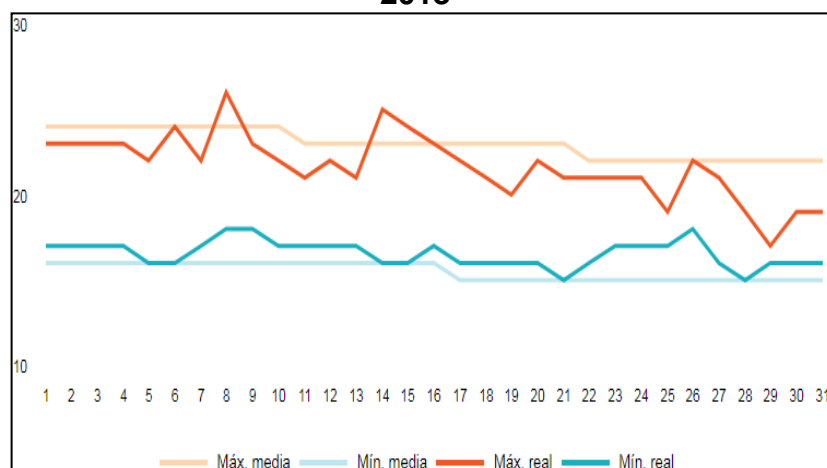
y Figura 6.16, de igual manera el promedio de temperatura se encuentra entre 16°C - 32°C.

FIGURA 6.14
GRÁFICO DE TEMPERATURA DEL AGUA DE LA PLANTA PILOTO FIARN-UNAC



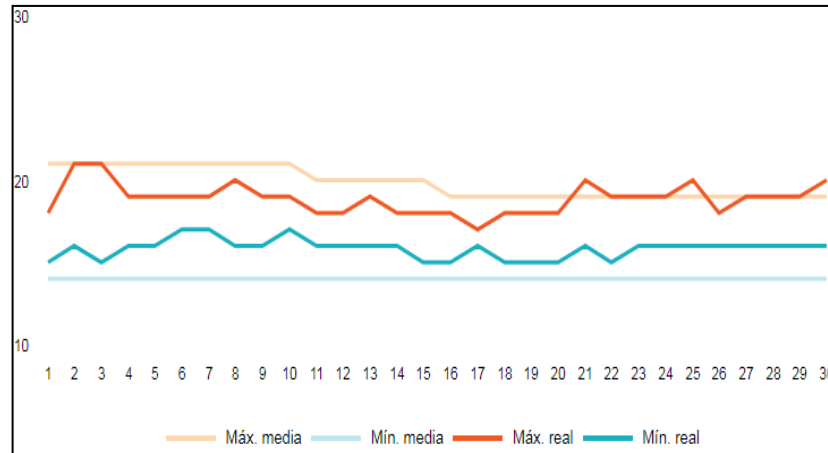
Fuente: Propia.

FIGURA 6.15
GRÁFICO DE TEMPERATURA AMBIENTAL MAYO 2018



Fuente: Free Weather Widgest Accu Weather, 2018

FIGURA 6.16
GRÁFICO DE TEMPERATURA AMBIENTAL JUNIO
2018



Fuente: Free Weather Widgest Accu Weather, 2018

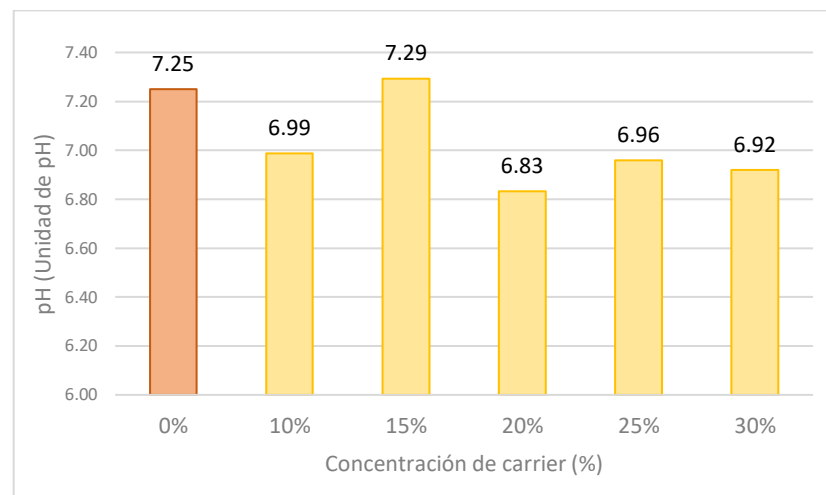
6.2.2. Comparación entre el Reactor Biológico Secuencial (SBR) y Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula (SBBR).- Por recomendación de Baca Neglia (2017, pág. 121), en el uso de superficies de contacto haciendo uso de un relleno plástico especial (carrier) se realizó la comparación de resultados con los resultados del Informe final del Proyecto de Investigación “Evaluación de un sistema de tratamiento compacto de lodos activados del tipo secuencial para los efluentes domésticos y su reúso en el riego de jardines y áreas verdes” de Baca Neglia (2017).

a. Potencial Hidrogeno (pH).- El pH del agua de la salida del SBBR al 10%, 15%, 20%, 25% y 30% está fuera del rango recomendado para un ambiente microbiológico de 7.5 a 9 Und. pH (ítem 2.2.6.b del Capítulo 2), de igual manera en

la investigación de Baca Neglia (2017), el pH es 7.25 Und. pH, ubicándose fuera del rango, Figura 6.17.

La acidificación en el agua genera una disminución en el proceso de nitrificación, pero esto no altera la eficiencia del tratamiento de la DQO y DBO₅, sin embargo, produce altas concentraciones de amonio, percibido por la presencia de olor.

**FIGURA 6. 17
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE pH
ENTRE SBR Y SBBR**

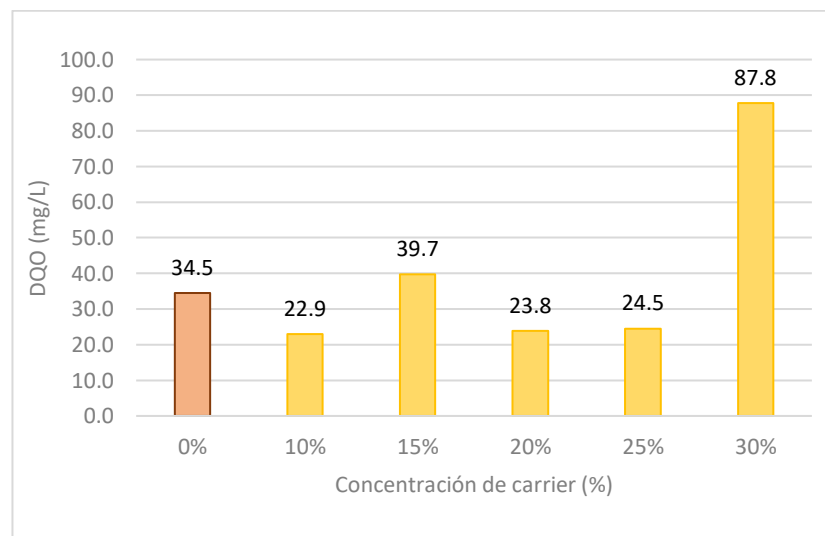


Fuente: Propia.

- b. Demanda Química de Oxígeno (DQO).**- En la Figura 6.18 se observa que la DQO del agua a la salida del SBBR en las concentraciones de 10%, 20% y 25% es menor a la obtenida en el agua a la salida del SBR, por lo que se puede indicar que se obtiene una mejor calidad de agua

cuando se trata con el SBBR. El mejor resultado se obtiene al 10%.

**FIGURA 6.18
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE DQO
ENTRE SBR Y SBBR**

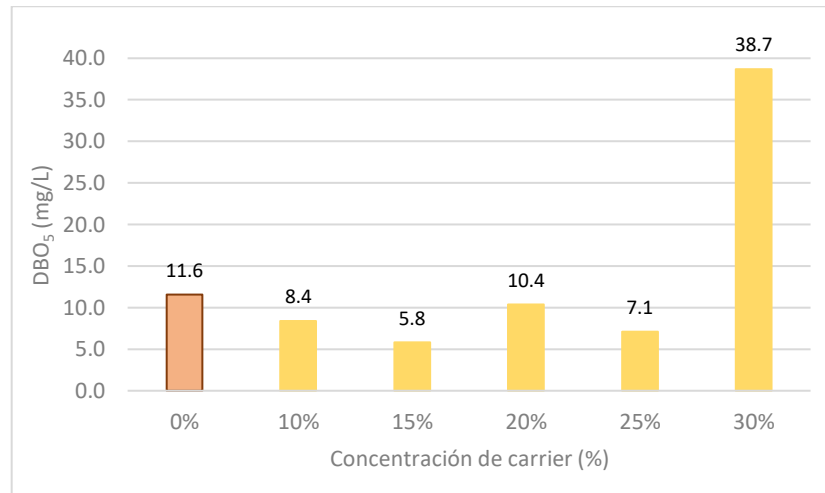


Fuente: Propia.

- c. **Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO₅).**- Al realizar el tratamiento con SBBR al 10%, 15%, 20% y 25%, la DBO₅ del agua a la salida es menor que a la salida del tratamiento con SBR, por lo que se puede indicar que se alcanza una mejor calidad de agua, como se observa en la Figura 6.19.

Cabe destacar que la menor concentración de DBO₅ se presenta al tratar el agua residual domestica con el SBBR al 15% de concentración de carrier.

FIGURA 6.19
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE DBO₅
ENTRE SBR Y SBBR

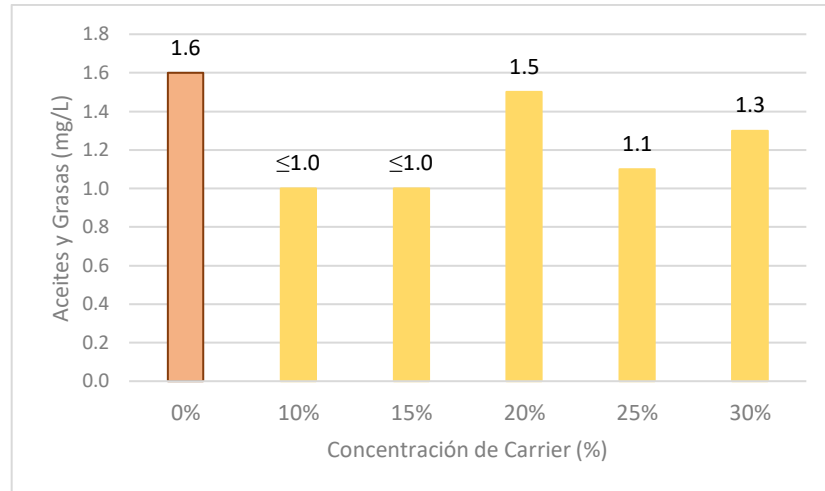


Fuente: Propia.

- d. **Aceites y Grasas, (A y G).**- En la Figura 6.20 se observa que la concentración de Aceites y Grasas del agua a la salida del SBBR en todas las concentraciones de carrier es menor a la obtenida en el agua a la salida del SBR, por lo que se muestra que se consigue una mejor calidad de agua.

La menor concentración es de <1.0 mg/L de Aceites y Grasas al 10% y 15% de concentración de carrier. Mientras que, la mayor concentración es de 1.5 mg/L de Aceites y Grasa. Tanto el SBR como el SBBR no tienen como fin el tratar los Aceites y Grasas, como se indica en el ítem 6.2.1.d, del presente capítulo.

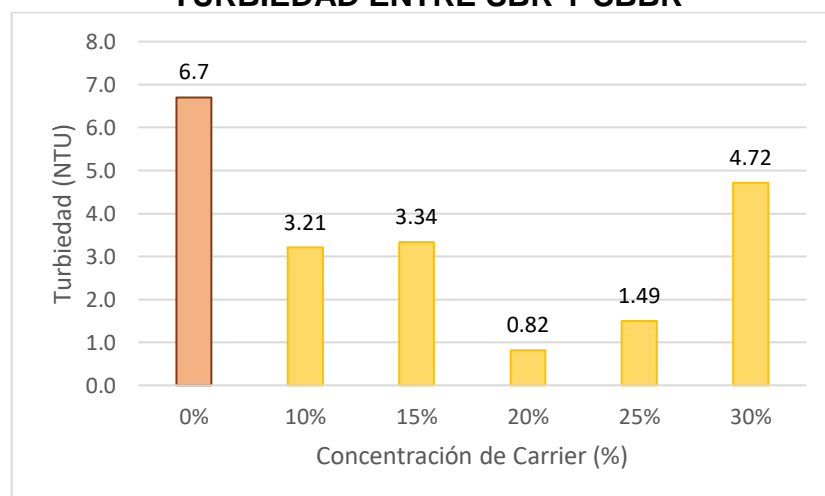
**FIGURA 6.20
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE A Y G
ENTRE SBR Y SBBR**



Fuente: Propia.

- e. **Turbiedad.-** En la Figura 6.21 se observa que la Turbiedad del agua a la salida del SBBR es menor a la conseguida en el del SBR, por lo que se muestra que se consigue una mejor clarificación llegando hasta valores de 0.82 NTU al 20% de concentración de carrier.

**FIGURA 6.21
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE
TURBIEDAD ENTRE SBR Y SBBR**

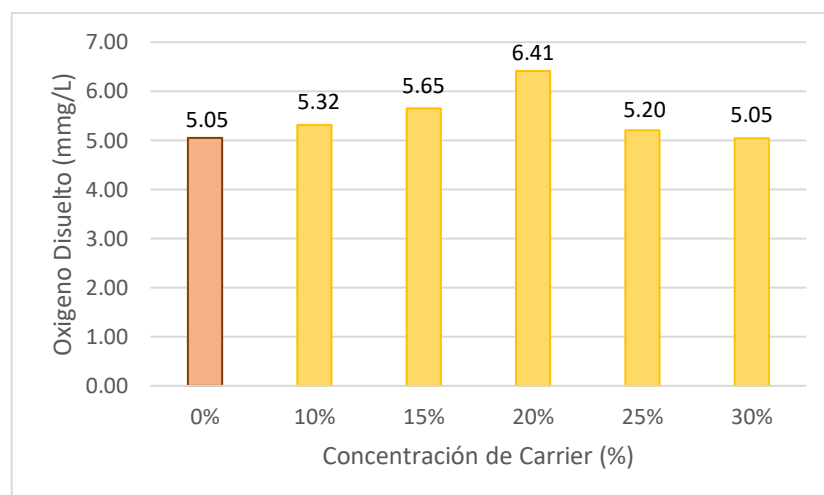


Fuente: Propia.

f. **Oxígeno Disuelto (OD).**- El OD en el agua a la salida del SBBR al 10%, 15%, 20% y 25% es mayor a la presentada en el agua a la salida del SBR, por lo que se muestra que se consigue una mejor oxigenación del agua, esto se puede observar en la Figura 6.22.

La mejor oxigenación es al 20% de concentración de carrier, dando como resultado un 6.41 mg/L.

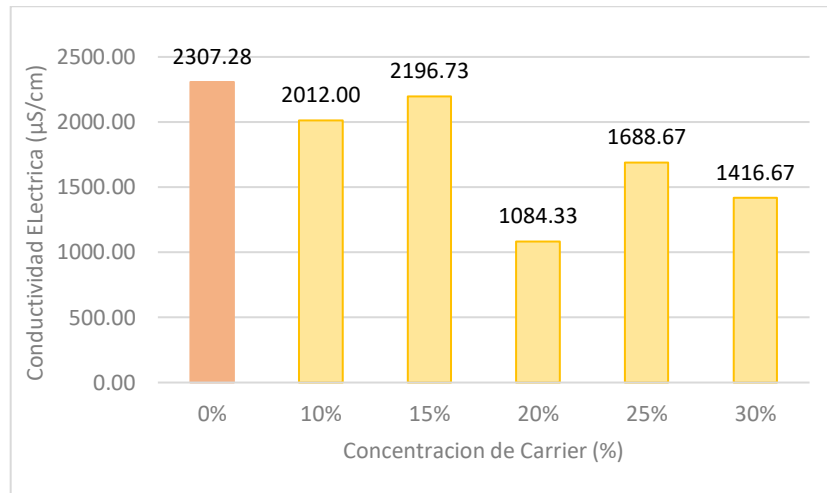
**FIGURA 6.22
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE OXIGENO
DISUELTO ENTRE SBR Y SBBR**



Fuente: Propia.

g. **Conductividad Eléctrica (CE).**- En la Figura 6.23 se observa que la CE del agua a la salida del SBBR es menor a la obtenida en el agua a la salida del SBR, por lo que se puede indicar que se obtiene una mejor calidad de agua, llegando hasta valores de 1 084.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el 20% de concentración de carrier.

FIGURA 6.23
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE CE ENTRE
SBR Y SBBR



Fuente: Propia.

CAPÍTULO VII CONCLUSIONES

La evaluación realizada se centró en la Eficiencia del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula, en donde se concluye lo siguiente:

- La caracterización del agua residual doméstica de la Planta Piloto de la FIARN - UNAC realizada durante esta investigación tiene 7.71 de pH, 321.50 mg/L de DQO, 224.2 mg/L de DBO₅, 7.22 mg/L de aceites y grasas, 13.22 x10⁵ NMP/100ml de coliformes termotolerantes, 71.1 NTU, 2 377.15 μS/cm y 19.34°C en su composición promedio. El agua de ingreso al SBBR no cumple con los requisitos del ECA - Categoría III, para riego. Adicionalmente, es importante indicar que esta agua tiene una reducida concentración de Aceites y Grasas, debido a que el tanque de homogenización previo actúa como trampa de Aceites y Grasas, ya que por diferencia de densidad estas se ubican sobre la superficie del agua y la alimentación está por debajo de este nivel.
- La caracterización del agua tratada por el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula tiene una composición promedio diferente para cada concentración de carrier: a) 10%: 6.99 de pH, 22.9 mg/L de DQO, 8.4 mg/L de DBO₅, <1.0 mg/L de aceites y grasas, 54 x10³ NMP/100ml de coliformes termotolerantes, 5.32

mg/L de oxígeno disuelto, 3.21 NTU y 2 012 $\mu\text{S}/\text{cm}$; b) 15%: 7.29 de pH, 39.7 mg/L de DQO, 5.8 mg/L de DBO_5 , <1.0 mg/L de aceites y grasas, 17×10^3 NMP/100ml de coliformes termotolerantes, 5.65 mg/L de oxígeno disuelto, 3.34 NTU y 2 197 $\mu\text{S}/\text{cm}$; c) 20%: 6.83 de pH, 23.8 mg/L de DQO, 10.4 mg/L de DBO_5 , 1.5 mg/L de aceites y grasas, $>160 \times 10^3$ NMP/100ml de coliformes termotolerantes, 6.41 mg/L de oxígeno disuelto, 0.82 NTU y 1 084 $\mu\text{S}/\text{cm}$; d) 25%: 6.96 de pH, 24.5 mg/L de DQO, 7.1 mg/L de DBO_5 , 1.1 mg/L de aceites y grasas, $>160 \times 10^3$ NMP/100ml de coliformes termotolerantes, 5.20 mg/L de oxígeno disuelto, 1.49 NTU y 1 689 $\mu\text{S}/\text{cm}$; y e) 30%: 6.92 de pH, 87.8 mg/L de DQO, 38.7 mg/L de DBO_5 , 1.3 mg/L de aceites y grasas, 17×10^3 NMP/100ml de coliformes termotolerantes, 5.05 mg/L de oxígeno disuelto, 4.72 NTU y 1 417 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

- Como se estimaba, el sistema de tratamiento no trata Coliformes Termotolerantes, en ninguna de las concentraciones de carrier el parámetro cumple con lo requerido por ECA Agua – Categoría III. Para los parámetros de DBO_5 , DQO, Aceites y grasas, Conductividad Eléctrica, Turbiedad, pH y Oxígeno Disuelto se ha comprobado que el tratamiento en las concentraciones de carrier a 10%, 15%, 20% y 25% satisface con tratar el efluente y obtener un producto para su reusó dentro de las exigencias del ECA Agua – Categoría III. Diferente es el tratamiento al 30% de

concentración de carrier, puesto que el agua tratada no satisface los parámetros de DQO y DBO₅ exigidos por la norma.

- Se demuestra que el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula en las diferentes concentraciones de carrier tiene una alta eficiencia de remoción en los parámetros de DQO, DBO₅ y Turbiedad, entre un rango de 76% - 93%, 88% - 97% y 91% - 99%, respectivamente. Mientras que para la CE presenta una menor eficiencia en un rango de 24% - 34%. No se consideraron en la eficiencia del reactor los parámetros de Coliformes Termotolerantes, Aceites y grasas y pH; debido a que los SBBR no se caracterizan por el tratamiento de estos parámetros; además, además el pH en todo momento se mantuvo dentro de lo requerido por el ECA – Categoría III, tanto para el agua de entrada y salida.
- El agua tratada por el SBBR posee buena calidad, ya que para los parámetros evaluados cumple con lo exigido por el ECA Agua, a excepción del parámetro Coliformes Termotolerantes superando los 5×10^3 NMP/100ml, debido a que esta unidad de tratamiento no se caracteriza por reducir la carga bacteriana, ya que su eficiencia depende de ella y más bien la promueve. Sin embargo, mediante el proceso de cloración se complementa el tratamiento logrando disminuir este parámetro con una eficiencia de remoción del 100%.

- Las eficiencias promedio para las concentraciones de 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de carrier son 67.66%, 70.13%, 74.98%, 69.51% y 61.86% respectivamente. La mejor eficiencia de tratamiento es dada al 20% de concentración de carrier en el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula, obteniendo una remoción de DQO de 91.53%, DBO₅ de 90.80%, CE de 33.61%, Turbiedad de 98.81% y OD de 60.18%.
- Comparando el agua de salida del SBBR, al 20% de concentración de carrier, de un 23.8 mg/L de DQO, 10.4 mg/L de DBO₅, 6.41 mg/L de oxígeno disuelto, 0.82 NTU y 1084 μS/cm; con el agua tratada por el SBR, de 34.5 mg/L de DQO, 11.6 mg/L de DBO₅, 5.05 mg/L de oxígeno disuelto, 6.68 NTU y 2307 μS/cm, el SBBR presenta una mejor calidad de agua tratada.

Finalmente, al aumentar la superficie de contacto, esta genera un incremento en la eficiencia de remoción hasta llegar al tope de su capacidad, para este diseño de reactor es el 20% de concentración de carrier. A partir del 25% la eficiencia decae debido a la baja difusión del oxígeno en las cámaras del reactor, como se explica en el ítem 6.1 del Capítulo VI, por lo que, la Hipótesis planteada en esta tesis es rechazada.

CAPÍTULO VIII RECOMENDACIONES

- 8.1. Mejorar el diseño de la unidad de captación (cribado) ubicada en el buzón de la Planta Piloto FIARN – UNAC, puesto que, al inicio de esta investigación se presentaron problemas de abastecimiento de agua residual doméstica. Implementar bombas sumergibles para la utilización de las unidades de almacenamiento disponible, así se podrá atender la alta demanda de agua residual doméstica para los proyectos que se desarrollan en la Planta Piloto FIARN-UNAC.
- 8.2. La unidad de captación debe contar con una vigilancia y mantenimiento constante, pues ocurren incidentes imprevistos, como aniegos o inundaciones, que dañan la estructura y equipos de la Planta Piloto FIARN – UNAC, además de generar focos infecciosos.
- 8.3. Continuar con la línea de investigación en tratamiento de aguas residuales en el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula (SBBR) de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, utilizando enzimas como catalizador para acelerar el proceso de biodegradación.
- 8.4. Mejorar el sistema de difusión de aire del SBBR, ya que se observó que a altas concentraciones de carrier el sistema no degrada adecuadamente la carga orgánica del agua residual doméstica.

- 8.5. Implementar un programa de mantenimiento global de estructura y equipos de la Planta Piloto FIARN - UNAC, para prevenir algún inconveniente que pueda afectar al patrimonio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales.
- 8.6. Realizar estudios al 20% de concentración de carrier (mayor eficiencia de tratamiento), a diferentes caudales, tiempo de retención hidráulica y/o concentración de carga orgánica en el agua de ingreso a fin de mejorar la eficiencia.

CAPÍTULO IX REFERENCIAS

- Ingraham, J., & Ingraham, C. (1998). *Introducción a la Microbiología*. Reverte S.A. Obtenido de <http://www.salud180.com/salud-z/microorganismos>
- Aguamarket. (Marzo de 2006). *Diccionario del Agua*. Obtenido de <http://www.aguamarket.com/diccionario/>
- Aguas Industriales. (02 de Octubre de 2015). *Aguas Industriales*. Obtenido de <http://aguasindustriales.es/ventajas-y-desventajas-de-los-reactores-biologicos-secuenciales-sbr/>
- Alfaro Rodriguez, C. (2012). *Metodología de Investigación Científica Aplicado a la Ingeniería*. Callao: Universidad Nacional del Callao. Recuperado el 14 de Enero de 2016, de Universidad Nacional del Callao: http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_ABRIL_2012/IF_ALFARO%20RODRIGUEZ_FIEE.pdf
- American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Andreottola, G, Foladori, P, Ragazzi, M. (2000). On-line control of a SBR system for nitrogen removal from industrial wastewater. *Proceedings of the second international symposium on SBR technology*.
- AquaAerobics. (1999). *Manual de Procesos de Tratamiento Reactor SBR*. Colombia.
- Arun, V., Mino, t. & Mastsuo, T. (1988). Biological Mechanism of acetate uptake mediated by carbohydrate consumption in excess phosphorus removal systems. *Water Research*.
- Autoridad Nacional del Agua. (Marzo de 2013). *Situación actual y perspectivas en el Sector Agua y Saneamiento en el Perú*. Lima: Autoridad Nacional del Agua. Obtenido de <http://www.camara-alemana.org.pe/downloads/2-130311-ANA.pdf>

- Autoridad Nacional del Agua. (16 de Febrero de 2016). Resolución Jefatural N° 042-2016-ANA. *Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos*, Pág.: 15, 24-25. Lima, Perú.
- Azuaje M., E., & Rhené A., M. (2006). *Diseño, Construcción y Evaluación preliminar de un Sistema de Reactor Biológico Sequencial a escala*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- B. Manoj Kumar, & S. Chaudhari . (2003). *Evaluation of sequencing batch reactor (SBR) and sequencing batch biofilm reactor (SBBR) for biological nutrient removal from simulated wastewater containing glucose as carbon source*. India: Water Science and Technology.
- Baca Neglia, M. F. (2015). *El uso del Tratamiento Físico-químico para la depuración del efluente generado en una industria de pinturas y barnices previos a su disposición final, ubicada en el distrito de Carabayllo - Lima*. Callao: Universidad Nacional del Callao. Recuperado el 15 de Enero de 2017, de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/1008>
- Baca Neglia, M. F. (2017). *Evaluación de un Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial para los Efluentes Domésticos y de Reúso en el Riego de Jardines y Áreas Verdes*. Informe de Investigación, Callao.
- Blumenthal, U. D.-P. (2000). *Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines*. Bulletin of the World Health Organization 78(9).
- Broch, P. (2008). Operación y control de un proceso SBR para la remoción biológica mejorada de nutrientes de un agua residual. Universidad de Girona.
- Cárdenas, C., Perruolo, T., Tarre, Y., Flores, K., Trujillo, A., Saules, L., Araujo, I. & Yabroudi, S. (2006). Remoción de nutrientes en un reactor discontinuo secuencial. Caracas: Interciencia.

- Casellas, M. Dgot, C. & Baudu, M. (2006). Set up and assessment of a control strategy in a SBR in order to enhance nitrogen and phosphorus removal. *Process Biochemistry*.
- Castaño Comene, M. D., & Medina Rodriguez, M. T. (s.f.). *Importancia Medioambiental*. Obtenido de <http://www.ugr.es/~cjl/nitrificacion.pdf>
- Castelló E., Barcia R., Passeggi M. & Borzaccioni L. (Noviembre 2006). Diseño , arranque y operación de reactor en secuencia batch a escala de reactor en secuencia batch a escala. Ponencia presentada en el XXX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Punta del Este, Uruguay.
- Cisterna O., P. (2001). *Eliminación de Grasas y aceites en Plantas de Tratamiento por Fangos Activados, una comparación entre laboratorio y escala real*. Sub-gerencia de Medio Ambiente, ESSBIO S.A. Santiago: XVI Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Cohen, Y. (2001). Biofiltration—the treatment of fluids by microorganisms immobilized into the filter bedding material: a review. *Bioresource Technology*, 77(3), 257-274.
- Colegio Marista San Jose. (s.f.). *Ampliación de Biología y Geología*. Recuperado el 13 de Abril de 2017, de Composición química de los seres vivos: <http://clases.jgcalleja.es/lib/exe/fetch.php?media=abyg:protidos.pdf>
- Condorchem Envitech. (20 de Febrero de 2018). *Condorchem Envitech*. Recuperado el 04 de Julio de 2018, de <https://blog.condorchem.com/tag/sbr/>
- Contreras Miranda, M. (2009). TURBIEDAD DEL AGUA.
- Costerton, J., Philip, S., & Greenberg, E. (1999). En Bacterial biofilms: A common cause of persistent infections. *Science*, 284.
- Damas Niño, M. N. (2014). *Tesis - II*. Callao: Universidad Nacional del Callao. Recuperado el 14 de Enero de 2017, de http://biblioteca.unac.edu.pe/biblioteca_virtual/buscar.php?buscar=Tesis%20-%20II
- Dautan, R., Pérez, M. L., Contreras, A., Marzana, A. & Rincones, B. (1988). Diseño y construcción de un reactor discontinuo secuencial para remoción de DBO. *Ponencia Presentada en el*

XXVI Congreso interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Lima, Perú.

de Duve, C. (1984). A guide tour of the living cell. Scientific American books, vol. 2.

Delgado, S., & Eyzaguirre, P. (2 de abril de 2015). SEMINARIO: COLIFORMES TOTALES Y TERMOTOLETANTES COMO CONTAMINANTES DE AGUA DE RIO. TACNA: UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - FACULTAD DE CIENCIAS - ESCUELA ACADEMICO PROFECIONAL DE BIOLOGIA MICROBIOLOGIA.

Eighmy & Maratea. (1983). Electron microscopic examination of wastewater biofilm formation and structural components.

ESPIGARES GARCÍA, M., & PÉREZ LÓPEZ, J. (1985). Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Granada.: Universidad de Granada.

Evohogar. (2014). Recuperado el 10 de julio de 2018, de <https://evohogar.com/blog/la-cloracion-del-agua-como-metodo-de-potabilizacion/>

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (1999). *Wastewater treatment and use in agriculture*. Recuperado el Enero de 2008, de www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.htm

Farfán Reyes, S. (2015). *Evaluación de la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales domésticas para el riego de áreas verdes en el sistema de lodos activados de la Planta Piloto de la FIARN - UNAC*. Callao: Universidad Nacional del Callao.

Free Weather Widgest, Accu Weather. (2018). *Accu Weather.com*.

Fu, Z., Yang, F., An, Y. & Xue, Y. (2009). Simultaneous nitrification and denitrification Simultaneous nitrification and denitrification modified anoxic/oxic-membrane bioreactor (A/O-MBR). *Biochemical Engineering Journal*.

Gálvez Rodríguez, J. (2001). *Tesis doctoral: Eliminación de la Materia Orgánica y del Nitrógeno en el Agua Residual Urbana Mediante Lechos Inundados*. Granada, España.

GARCIA GARRIDO, S. (2009-2012). Centrales Termoeléctricas De Biomasa. MADRID: RENOVETEC.

- García, D. A. (2008). *Aplicación de métodos estadísticos multivariantes para la modelación y la monitorización de un reactor discontinuo secuencial para el tratamiento de aguas residuales (Tesis Doctoral)*.
- Gauntlett, R. (1975). Nitrate Removal From Water By Ion Exchange. Water Treatment Examination.
- Haandel, A., & van der Lubbe, J. (2012). *Manual de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales de la Asociación Internacional del Agua*.
- Hoilijoki, T. H. (2000). Nitrification of anaerobically pretreated municipal landfill leachate at low temperature. *Water Research*.
- Jaimes, J. J. (13 de November de 2014). *Prezi*. Recuperado el 09 de Julio de 2018, de Prezi: <https://prezi.com/butherblasmj/homogenizacion-igualacion/>
- Kishida, N., Kim, J.H., Chen, M., Sasaki, H. & Sudo, R. (2003). Effectiveness of oxidation-reduction potential and pH as monitoring and control parameters for nitrogen removal in swine wastewater treatment by sequencing batch reactors. *Journal of Bioscience and Bioengineering*.
- Lapo Calderón, B. G. (2014). *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.
- Ley N° 29338. (31 de Marzo de 2009). Ley de Recursos Hídricos. *Diario Oficial del Bicentenario El Peruano*. Lima, Perú.
- Mahvi, A. (2008). Sequencing batch reactor: A promising technology in wastewater treatment. *Iran J Environ Health*, 5(2), 79-90.
- Maslon, A., & Tomaszek, J. (2015). A study on the use of the BioBall® as a biofilm carrier in a sequencing batch reactor. *Bioresource Technology*, 196, 577-585.
- Metcalf & Eddy. (1986). *Ingeniería Sanitaria*. España: Labor.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse*. Nueva York, NY, EE.UU.: Mc Graw Hill.
- Metcalf y Eddy. (1995). *Ingeniería de las Aguas Residuales*. España: McGraw-Hill.

- Ministerio del Ambiente. (7 de Junio de 2017). Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*, 10-19. Lima, Perú: Diario Oficial del Bicentenario El Peruano.
- Mohan, S.V. Rao, N.C., & Sama, P.N. (2007). Low-Biodegradable composite chemical wastewater treatment by biofilm configured sequencing batch reactor (SBBR). *Journal of Hazardous Materials*.
- Mohan, S.V., Rao N.C., Prasad, K.K., Madhavi, B.T.V. & Sharma, P.N. (2005). Treatment of complex chemical wastewater in a sequencing batch reactor (SBR) with an aerobic suspended growth configuration. *Process Biochemistry*.
- Morales Rojo, P. M. (2005). *Determinacion de Solidos Suspendidos, Volatiles y Fijos*. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/morales_r_pm/apendiceE.pdf
- Moscoso Cavallini, J. C. (2011). Estudio de opciones de Tratamiento y Reúso de aguas Residuales en Lima Metropolitana. Lima, Perú: Lima - Water, University of Stuttgart - Germany. Obtenido de http://www.lima-water.de/documents/jmoscoso_informe.pdf
- Muñoz de la Peña, F. (SEPTIEMBRE de 2002). LIBRO ELECTRONICO: NUTRIWEB. BADAJOZ: I.E.S. CAROLINA CORONADO DE ALMENDRALEJOAMBITO CIENTIFICO DEL DEPARTAMENTO DE ORIENTACION.
- Nava Urrego, Gasperin Sanchez, & Duran Moreno. (Diciembre de 2013). Comparación de un reactor de biomasa suspendida y un reactor de biomasa adherida para la biodegradación de compuestos tóxicos presentes en aguas residuales de refinerías de petróleo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, Págs.: 101-112. Recuperado el 13 de Enero de 2017, de <http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/35724>
- Norma OS.090. (13 de Mayo de 2006). Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. *Diario Oficial del Bicentenario El Peruano*. Lima, Perú.

- Ødegaard, H., Rusten, B., y Westrum, T. (1994). A new moving bed biofilm reactor-applications and results. En *Ciencia y tecnología del agua* (Vol. 29, pág. 157).
- OEFA. (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales.
- Orozco, A. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales. acodal*.
- Pavšelj, N., Hvala, N., Kocijan, J., Roš, M., šubelj, M., Mušic, G. & Strmcnik, S. (2001). Experimental design of an optimal phase duration control strategy used in batch biological wastewater treatment. *ISA Transactions*.
- Pinto, J., & Chernicharo, C. (1996). Escória de alto-forno. Uma nova alternativa de meio suporte para filtros anaeróbios. In *Anais do III simposio Ítalo – Brasileiro de Engenharia Sanitaria e ambiental*, 76.
- Puig S., Vives M. T., Corominas L. Balaguer M. D. & Colprim, J. (2004). Wastewater nitrogen removal in SBRs, applying a step-feed strategy: from lab-scale to pilot-plant operation. *Water Science technology*.
- Raigosa Piragauta, R. (2007). *Diagnóstico y Optimización del Sistema Operatio y de Mantenimiento del Reactor Discontinuo Secuencial (SBR) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de la Calera*. Bogota: Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria - Universidad de la Salle.
- Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA. (24 de Octubre de 2013). Protocolos de Monitoreo de Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales - PTAR. *Diario Oficial del Bicentenario El Peruano*. Lima, Perú.
- RESTREPO SANTAMARIA, P. (26 de ABRIL de 2011). BACTERIAS AEROBICAS Y ANAEROBICAS. PREZI.
- Rittman, B.E. & McCarty P.L. (2004). *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. Bioresource Technology.
- Rittmann, B.E. & Langeland, W.E. (1985). Simultaneous denitrification with Simultaneous denitrification with ditches. *Journal of Water Pollution Control Fed*.
- Rodgers, M. & Zhan, X.-M. (2004). Biological nitrogen removal using a vertically moving biofilm system. *Bioresource Technology*.

- Romero Granda, P. A. (2015). Utilización de materiales de reciclaje como medio de soporte de reactor de biopelícula para tratamiento de agua residual doméstica. Machala, El Oro, Ecuador: Universidad Técnica de Machala.
- Romero Rojas, J. (2004). Tratamiento de aguas residuales. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- S. Venkata Mohana, N. Chandrasekhara Raoa, & P.N. Sarma. (2007). 2.1.5. Low-biodegradable composite chemical wastewater treatment by biofilm configured sequencing batch reactor (SBBR). *Journal of Hazardous Materials*, 108–117.
- S. Venkata Mohana, N. Chandrasekhara Raoa, & P.N. Sarma. (2007). Low-biodegradable composite chemical wastewater treatment by biofilm configured sequencing batch reactor (SBBR). *Journal of Hazardous Materials*, 144(1-2), 108–117.
- Singh, M. & Srivastava, R.K. (2011). Sequencing batch reactor technology for biological wastewater treatment. *Asia Pacific Journal of Chemical Engineering*,.
- Stricker, A. & Béland, M. (2006). Sequencing batch reactor versus continuous flow process for pilot plant research on activated sludge. Water Environment Foundation.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, Cooperación Alemana. (Setiembre de 2015). Diagnóstico de la Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de operación de las Entidades Prestadoras de Servicio de Saneamiento. Pág.: 55. Lima, Perú: SUNASS. Obtenido de <http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>
- Tchobanoglous, G. & Crites, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas poblaciones*. Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.
- Torres, P., A. Rodríguez, J., & Eugenia Uribe, I. (2003). Tratamiento De Aguas Residuales Del Proceso De Extracción De Almidón De Yuca En Filtro Anaerobio: Influencia Del Medio De Soporte. *Scientia et Technica*, 76.
- United States Environmental Protection Agency. (Septiembre de 1999). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. *Desinfección con cloro*. Washington, D.C., E.E.U.U.

- Uygur, A. (2006). Specific nutrient removal rates in saline wastewater treatment using sequencing batch reactor. *Process Biochemistry*.
- Van Haandel A.C., & Van der Lubbe J.G.M. (2012). *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.
- Walled, M. K. (1993). *Tesis doctoral: Physical Properties of Rotating Biological Contactor Biofilms*.
- Wang, L.K., Shammass, N.K., & Hung, Y.T. (2009). Wang, L.K., Shammass, N.K., & Hung, Y.T. *Processes*. New York: Humana Pre.
- Welter, A. B., Romero, J. M., Grumelli, Y. A., Sanchez, J. A., & Ascar, G. I. (2005). *La biopelícula en los procesos RBC*. Córdoba: Universidad Católica de Córdoba, Campus Universitario, Facultad de Ingeniería.
- Wilderer, P.A. & McSwain, B.S. (2004). The SBR and its biofilm application potentials. *Water Science and Technology*.
- Zhang, Z., Zhu, J., King, J. & Li, W. (2006). A two - step fed SBR for Treating swine manure. *Process Biochemistry*.

ANEXOS

• MATRIZ DE CONSISTENCIA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES			MÉTODO A EMPLEAR
			VARIABLES	INDICADOR	ÍNDICE	
¿A mayor concentración de Carrier será más eficiente el uso del Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula en el tratamiento de aguas residuales domésticas para su reúso en el riego de áreas verdes de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales (FIARN) de la Universidad Nacional del Callao (UNAC)?	<p>OBJETIVO GENERAL: Evaluar la eficiencia a diferentes concentraciones de Carrier en el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula ubicado en la Planta Piloto FIARN - UNAC, en el tratamiento de aguas residuales domésticas para su reúso en el riego de áreas verdes de la FIARN.</p> <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Caracterizar las aguas residuales domésticas previo a su tratamiento. - Caracterizar el agua tratada al final del proceso, según los parámetros de: potencial Hidrógeno (pH), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Aceites y grasas, Coliformes Termotolerantes, Turbiedad y Conductividad. - Evaluar los resultados de la calidad del agua tratada con el ECA Agua. - Comparar los resultados entre el Reactor Biológico Secuencial y Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula de la Planta Piloto FIARN - UNAC. - Analizar la eficiencia del tratamiento a partir de los resultados obtenidos para las diferentes concentraciones de Carrier. - Plantear un post tratamiento para el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula. 	<p>HIPOTESIS GENERAL: La eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas para su reúso en el riego de áreas verdes de la FIARN – UNAC, mejora a mayor concentración de carrier en el Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE: X: Reactor Biológico Secuencial de Biopelícula.</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE: Y: Calidad de agua Tratada para su reúso.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • X₁: Caudal (m³/s) • X₂: Carga superficial de tratamiento (m³/m²-d) • X₃: Tiempo de retención hidráulica (TRH) • X₄: Superficial Específica De carrier (m²/m³) • X₅: Concentración de carrier • X₆: Temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> 1 a 2 m³/s 40 m³/m²-d 24 hrs 650 m²/ m³ 10 – 30 % 16 – 32°C 	<ul style="list-style-type: none"> Método Volumétrico Diseño hidráulico Diseño hidráulico Especificaciones técnicas 2550-B 4500-H 5220-B 5210-B 5220-B 9221-E 100ml 100 UNT 2130-B 2810-B 2510-B

- **INFORMES DE LABORATORIO**



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



Registro N° LE - 031

INSPECTORATE

Pág. 1/3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56022L/18-MA-MB

CLIENTE : ANGIE NEYRA MERINO
DIRECCIÓN : Mz. V1 Lote 13 Urb. Ciudad del Pescador Bellavista
 Lima

PRODUCTO : Agua residual

MATRIZ : Agua residual doméstica

NÚMERO DE MUESTRAS : 9

PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico, Frascos de vidrio ámbar, Frascos de plástico estéril

PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No Aplica

FECHA DE MUESTREO : 2018-05-12

LUGAR DE MUESTREO : Bellavista - Callao - Callao

REFERENCIA DEL CLIENTE : Planta Piloto FIARN - UNAC

FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2018-05-12

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2018-05-12

FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2018-05-19

ORDEN DE SERVICIO : OS/L-18-04180

Callao, 19 de Mayo de 2018

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

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

BLGA. TERESA ZACARIAS CARO
 C.B.P. 1183
 JEFE DE LABORATORIO MICROBIOLOGÍA

ING. ALEXA G. LOPE SALAZAR
 C.I.P. 190287
 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



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



INSPECTORATE

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56022L/18-MA-MB

RESULTADOS DE ANÁLISIS

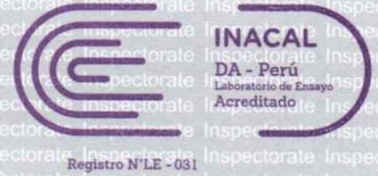
Estación de Muestreo	SBR-E	SBR-S	SBR-CL
Fecha de Muestreo	2018-05-12	2018-05-12	2018-05-12
Hora de Muestreo	11:20	12:34	12:10
Código de Laboratorio	04959 00001	04959 00002	04959 00003
Matriz	ARD	ARD	ARD
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0
Aceites y Grasas	mg/L	1.0	0.6
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1.8	2.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0

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.
 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



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



INSPECTORATE

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56022L/18-MA-MB

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, Febrero, 2010. N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.
Coliformes Termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed.(Except item 1. Samples).2017.Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 22nd Ed 2012. Closed Reflux, Titimetric 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 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



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



Registro N° LE - 031

Pág. 1 / 3

INSPECTORATE

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56371L/18-MA-MB

CLIENTE : ANGIE NEYRA MERINO
DIRECCIÓN : Mz. U1 lote 13 Urb. Ciudad del Pescador, Bellavista - Callao
PRODUCTO : Agua residual
MATRIZ : Agua residual doméstica
NÚMERO DE MUESTRAS : 9
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No Aplica
FECHA DE MUESTREO : 2018-05-19
LUGAR DE MUESTREO : Bellavista - Callao - Callao
REFERENCIA DEL CLIENTE : Planta Piloto FIARN-UNAC
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2018-05-19
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2018-05-19
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2018-05-26
ORDEN DE SERVICIO : OS/O-18-04180

Callao, 29 de Mayo de 2018

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

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

BLGA. TERESA ZACARIAS CARO
 C.B.P. 1183
 JEFE DE LABORATORIO MICROBIOLOGIA

ING. EVELYN P. QUISPE LORONA
 C.I.P. 98232
 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 un 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



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



INSPECTORATE

Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56371L/18-MA-MB

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	SBR-E	SBR-S	SBR-CL
Fecha de Muestreo	2018-05-19	2018-05-19	2018-05-19
Hora de Muestreo	11:14	12:16	12:09
Código de Laboratorio	05252	05252	05252
	00001	00002	00003
Matriz	ARD	ARD	ARD
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0
			279.9
Aceites y Grasas	mg/L	1.0	0.6
			2.2
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1.8	--
			>16x10 ⁴
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0
			342.5

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C. (e)
 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



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



Registro N° LE - 031

INSPECTORATE

Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56371L/18-MA-MB

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, Febrero, 2010. N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.
Coliformes Termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. (Except item 1. Samples). 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
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 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



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



Registro N° LE - 031

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56714L/18-MA-MB

CLIENTE

: ANGIE NEYRA MERINO

DIRECCIÓN

Mz. U1 lote 13 Urb. Ciudad del Pescador, Bellavista - Callao

PRODUCTO

: Agua residual

MATRIZ

: Agua residual doméstica

NÚMERO DE MUESTRAS

: 9

PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS

Frascos de plástico, Frascos de vidrio ámbar, Frascos de plástico estéril

PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS

: Muestras enviadas por el cliente

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

: No Aplica

FECHA DE MUESTREO

: 2018-05-26

LUGAR DE MUESTREO

: Bellavista - Callao - Callao

REFERENCIA DEL CLIENTE

: Planta Piloto FIARN - UNAC

FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS

: 2018-05-26

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO

: 2018-05-26

FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO

: 2018-06-02

ORDEN DE SERVICIO

: OS/L-18-04180

Callao, 02 de Junio de 2018

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

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

**BLGA. TERESA ZACARIAS CARO
C.B.P. 1183
JEFE DE LABORATORIO MICROBIOLOGIA**

**ING. ALEXA G. LOPE SALAZAR
C.I.P. 190287
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



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



INSPECTORATE

Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56714L/18-MA-MB

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, Febrero, 2010. N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.
Coliformes Termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed.(Except item 1. Samples),2017.Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
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 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



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



Registro N° LE - 031

INSPECTORATE

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 67097L/18-MA-MB

CLIENTE : ANGIE NEYRA MERINO
DIRECCIÓN : Mz. U1 lote 13 Urb. Ciudad del Pescador, Bellavista - Callao
PRODUCTO : Agua residual
MATRIZ : Agua residual doméstica
NÚMERO DE MUESTRAS : 9
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico, Frascos de vidrio ámbar, Frascos de plástico estéril
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No Aplica
FECHA DE MUESTREO : 2018-06-02
LUGAR DE MUESTREO : Bellavista - Callao - Callao
REFERENCIA DEL CLIENTE : Planta Piloto FIARN - UNAC
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2018-06-02
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2018-06-02
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2018-06-09
ORDEN DE SERVICIO : OS/L-18-04180

Callao, 09 de Junio de 2018

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

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

BLGA. TERESA ZACARIAS CARO
C.B.P. 1183
JEFE DE LABORATORIO MICROBIOLOGÍA

ING. ALEXA G. LOPE SALAZAR
C.I.P. 190287
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 superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
 <"valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
 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. 2 / 3

INSPECTORATE

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 67097L/18-MA-MB

RESULTADOS DE ANALISIS

Estación de Muestreo	SBR-E	SBR-S	SBR-CL
Fecha de Muestreo	2018-06-02	2018-06-02	2018-06-02
Hora de Muestreo	10:38	10:14	10:02
Código de Laboratorio	0590100001	0590100002	0590100003
Matriz	ARD	ARD	ARD
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0
Aceites y Grasas	mg/L	1.0	0.6
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1.8	>16x10 ⁴
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C. le
 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



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



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 67097L/18-MA-MB

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, Febrero, 2010. N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.
Coliformes Termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed.(Except item 1, Samples).2017.Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
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. le
 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



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



Registro N° LE - 031

INSPECTORATE

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 67644L/18-MA-MB

CLIENTE : ANGIE NEYRA MERINO

DIRECCIÓN : Mz. U1 lote 13 Urb. Ciudad del Pescador, Bellavista - Callao

PRODUCTO : Agua residual

MATRIZ : Agua residual doméstica

NÚMERO DE MUESTRAS : 9

PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico, Frascos de vidrio ámbar, Frascos de plástico estéril

PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No Aplica

FECHA DE MUESTREO : 2018-06-09

LUGAR DE MUESTREO : Bellavista - Callao - Callao

REFERENCIA DEL CLIENTE : Planta Piloto FIARN-UNAL

FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2018-06-09

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2018-06-09

FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2018-06-16

ORDEN DE SERVICIO : OS/L-18-04180

Callao, 19 de Junio de 2018

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

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

BLGA. TERESA ZACARIAS GARO
C.B.P. 1183
JEFE DE LABORATORIO MICROBIOLOGIA

ING. EVELYN P. QUISPE LOROÑA
C.I.P. 98232
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

< 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.

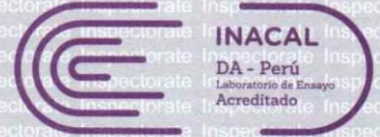
Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

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

www.inspectorate.com.pe



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



Registro N° LE - 031

INSPECTORATE

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 67644L/18-MA-MB

RESULTADOS DE ANALISIS

Estación de Muestreo	SBR-E	SBR-S	SBR-CL
Fecha de Muestreo	2018-06-09	2018-06-09	2018-06-09
Hora de Muestreo	11:43	12:27	11:50
Código de Laboratorio	06375	06375	06375
Matriz	00001	00002	00003
Ensayo	ARD	ARD	ARD
Unidad	L.C.	L.D.	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0
Acetatos y Grasas	mg/L	1.0	0.6
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1.8	0.6
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0

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 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

INSPECTORATE

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 67644L/18-MA-MB

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, Febrero, 2010. N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.
Coliformes Termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed.(Except item 1. Samples),2017.Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
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 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