

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS**

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**EFICIENCIA DE UN REACTOR DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE
LABORATORIO EN LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

Bachiller: EFRAÍN HUMBERTO QUINTANILLA CASTRO

Asesor:

Dr. GLICERIO EDUARDO TORRES CARRANZA

Cajamarca – Perú

2021

COPYRIGHT © 2021 by
EFRAÍN HUMBERTO QUINTANILLA CASTRO
Todos los derechos reservados.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS APROBADA:

EFICIENCIA DE UN REACTOR DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO EN LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

Bachiller: EFRAÍN HUMBERTO QUINTANILLA CASTRO

JURADO EVALUADOR:

Dr. Glicerio Eduardo Torres Carranza
Asesor

Dr. Segundo Berardo Escalante Zumaeta
Jurado Evaluador

Dr. Edín Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador

Ing. M.Sc. Manuel Roncal Rabanal
Jurado Evaluador

Cajamarca – Perú

2021



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

Siendo las 5.00 p.m. del día 08 de octubre de dos mil veintiuno, reunidos a través de meet.google.com/hzb-xcvf-uoj creado por la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. SEGUNDO BERARDO ESCALANTE ZUMAETA**, **Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA**, **M.Sc. MANUEL ROBERTO RONCAL RABANAL**, y en calidad de Asesor el **Dr. GLICERIO EDUARDO TORRES CARRANZA**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca y la Directiva para la Sustentación de Proyectos de Tesis, Seminarios de Tesis, Sustentación de Tesis y Actualización de Marco Teórico de los Programas de Maestría y Doctorado, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: EFICIENCIA DE UN REACTOR DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO EN LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, presentada por el **Bach. en Ciencias Ambientales EFRAÍN HUMBERTO QUINTANILLA CASTRO**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó **APROBAR** con la calificación de DIECISIETE (17.00) la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bach. en Ciencias Ambientales, EFRAÍN HUMBERTO QUINTANILLA CASTRO**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Siendo las 18:40 HORAS del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
Dr. Glicerio Eduardo Torres Carranza
Asesor

.....
Dr. Segundo Berardo Escalante Zumaeta
Jurado Evaluador

.....
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador

.....
Ing. M.Sc. Manuel Roncal Rabanal
Jurado Evaluador

DEDICATORIA:

A MI FAMILIA POR SU APOYO CONSTANTE

AGRADECIMIENTO

A Efraín, Aurora, Katia y Arturo; por su soporte y fuerza permanentes.

A Fabricio Sebastián, Efraín Andrés, Elia Ximena, María Elena y toda mi familia; por el amor, apoyo, confianza y fortaleza hacia mi persona.

Al Doctor Ingeniero Glicerio Eduardo Torres Carranza; por todo el apoyo, confianza y soporte necesarios para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A los Ingenieros Álex Araujo Vásquez y Jorge Santa María Sánchez por el soporte y apoyo brindado con los equipos necesarios para el análisis del presente trabajo de investigación.

Al Doctor Ingeniero Manuel Roberto Roncal Rabanal, Teresa de Jesús Pereyra Quevedo, Cinthia Amelí Chávez Chávez, Percy Joyse Barboza Silva; por su contribución permanente.

A mi Universidad Nacional de Cajamarca; por los conocimientos impartidos.

A todas las personas que de forman parte del presente trabajo de investigación y que con su apoyo se hizo posible.

CONTENIDO

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE GRÁFICOS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE CUADROS	xiv
LISTA DE ABREVIACIONES Y UNIDADES	xv
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1 Antecedentes de la investigación	4
2.2 Bases teóricas	10
2.2.1 Tratamiento de aguas residuales domésticas	10
2.2.2 Trenes de tratamiento de aguas residuales	11
2.2.3 Tratamiento con lodos activados	11
2.2.4 Situación actual del Perú sobre tratamiento de aguas residuales	12
2.2.5 Requerimiento de oxígeno	13
2.2.6 ¿Cómo se mide el oxígeno disuelto en el agua?	14
2.2.7 Importancia del oxígeno disuelto en el tratamiento de aguas residuales	14

2.3 Marco legal de aguas residuales domésticas en el Perú y roles de las entidades competentes	17
2.3.1 Ministerio del Ambiente (MINAM)	20
2.3.2 Autoridad Nacional del Agua (ANA)	20
2.3.3 Ministerio de Agricultura (MINAG)	21
2.3.4 Ministerio de Economía y Finanzas (MEF)	21
2.3.5 Ministerio de la Producción	21
2.3.6 Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento	21
2.3.7 Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS)	21
2.3.8 Ministerio de Salud (MINSA)	22
2.4 Definiciones conceptuales	22
2.4.1 Agua residual doméstica	22
2.4.2 Aireación	22
2.4.3 Oxígeno disuelto (OD)	23
2.4.4 Digestión aerobia	24
2.4.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	24
2.4.6 Reactor de lodos activados	24
2.4.7 Tiempo de retención hidráulico	25
 CAPÍTULO III	 26
 MATERIALES Y MÉTODOS	 26
3.1 Ubicación geográfica del estudio	26
3.1.1 Geografía	27
3.1.2 Clima	27
3.1.3 Materiales	27
3.2 Metodología	30
3.2.1 Determinación del punto de muestreo	31

CAPÍTULO IV	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1 Resultados	40
4.1.1 Concentración de Oxígeno Disuelto en la Primera Evaluación	40
4.1.2 Concentración de Oxígeno Disuelto en la Segunda Evaluación	41
4.1.3 Concentración de Oxígeno Disuelto en la Tercera Evaluación	42
4.1.4 Concentración de Oxígeno Disuelto en la Cuarta Evaluación	43
4.1.5 Concentración de Oxígeno Disuelto en la Quinta Evaluación	44
4.1.6 Concentración de Oxígeno Disuelto en la Sexta Evaluación	45
4.1.7 Concentración de Oxígeno Disuelto en la Séptima Evaluación	46
4.1.8 Concentración de Oxígeno Disuelto en la Octava Evaluación	47
4.1.9 Concentración de Oxígeno Disuelto en la Novena Evaluación	48
4.1.10 Concentración de Oxígeno Disuelto en la Décima Evaluación	49
4.1.11 Concentración de Oxígeno Disuelto en la Onceava Evaluación	50
4.1.12 Concentración de Oxígeno Disuelto en la Doceava Evaluación	51
4.1.13 Concentración de Oxígeno Disuelto en la Treceava Evaluación	52
4.1.14 Concentración de Oxígeno Disuelto en la Catorceava Evaluación	53
4.1.15 Promedio del Comportamiento de la concentración de Oxígeno Disuelto	54
4.2 Interpretación de los Análisis de Estadístico	55
4.2.1 Análisis de Varianza para un Factor – ANOVA	55
4.2.2 Histograma de Frecuencia	56
4.2.3 Subconjuntos Homogéneos	57
CAPÍTULO V	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
5.1 Conclusiones	58
5.2 Recomendaciones	59

CAPÍTULO VI	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
CAPÍTULO VII	64
ANEXOS	64
6.1 Determinación del punto de muestreo y material de análisis	64
6.2 Toma de muestras y análisis de laboratorio	67

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: <i>Rangos de Concentración de Oxígeno Disuelto y Consecuencias Frecuentes</i>	15
Tabla 2: <i>Concentración del Oxígeno Disuelto respecto a Temperatura del agua</i>	16
Tabla 3: <i>Marco Legal y Normativo de Saneamiento en Perú</i>	17
Tabla 4: <i>Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR</i>	19
Tabla 5: <i>Diseño para Toma de Muestras</i>	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: OD Primera Evaluación	40
Gráfico 2: OD Segunda Evaluación	41
Gráfico 3: OD Tercera Evaluación	42
Gráfico 4: OD Cuarta Evaluación	43
Gráfico 5: OD Quinta Evaluación	44
Gráfico 6: OD Sexta Evaluación	45
Gráfico 7: OD Séptima Evaluación	46
Gráfico 8: OD Octava Evaluación	47
Gráfico 9: OD Novena Evaluación	48
Gráfico 10: OD Décima Evaluación	49
Gráfico 11: OD Onceava Evaluación	50
Gráfico 12: OD Doceava Evaluación	51
Gráfico 13: OD Treceava Evaluación	52
Gráfico 14: OD Catorceava Evaluación	53
Gráfico 15: Promedio OD / Tratamientos	54
Gráfico 16: Histograma de Frecuencia	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Trenes de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.....	11
Figura 2: Ubicación del trabajo de investigación	26
Figura 3: Ubicación del Punto de Muestreo	31
Figura 4: Buzón de alcantarillado para toma de muestras	32
Figura 5: Toma de muestras.....	33
Figura 6: Toma de muestras.....	34
Figura 7: Aplicación de tratamientos.....	37
Figura 8: Lectura con equipo multiparámetro	37
Figura 9: Limpieza y mantenimiento de sistema.....	37
Figura 10: Ubicación del punto de muestreo	64
Figura 11: Reactores biológicos	64
Figura 12: Modelo básico del reactor biológico	65
Figura 13: Sistema de simulación de alimentación para reactores biológicos	66
Figura 14: Multiparámetro YSI para análisis de calidad de agua.....	66
Figura 15: Compresor de aire	67
Figura 16: Extracción de agua residual para muestreo	67
Figura 17: Transporte del agua residual para análisis.....	68
Figura 18: Llenado y activación de reactores biológicos con agua residual	68
Figura 19: Análisis de OD para los diversos tratamientos.....	69

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. ANOVA de un Factor	55
Cuadro 2. Subconjuntos Homogéneos	57

LISTA DE ABREVIACIONES Y UNIDADES

OD: oxígeno disuelto.

O₂: oxígeno molecular.

DBO: demanda bioquímica de oxígeno.

DQO: demanda química de oxígeno.

MO: materia orgánica.

SS: sólidos suspendidos.

SST: sólidos suspendidos totales.

SSVLM: sólidos suspendidos volátiles del licor mezcla.

pH: potencial de hidrógeno.

PTAR: planta de tratamiento de agua residual.

t: tratamiento.

AR: agua residual.

l/s: litros por segundo.

mg/l: miligramo por litro.

m³: metros cúbicos.

m: metros.

cm: centímetros.

pulg: pulgadas.

UNT: unidad nefelométrica de turbidez.

NMP: número más probable.

T°: temperatura.

°C: grados centígrados.

%: porcentaje.

EPS: empresa prestadora de servicios.

SUNASS: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.

MVCS: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DIGESA: Dirección General de Salud.

FONAM: Fondo Nacional del Ambiente.

ANA: Autoridad Nacional del Agua.

MINSA: Ministerio de Salud.

TUPA: Texto único de Procedimientos Ambientales.

SEIA: Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

MINAG: Ministerio de Agricultura.

MEF: Ministerio de economía y Finanzas.

JASS: Junta Administrativas de Servicios de Saneamiento.

ANOVA: Analysis of Variance / Análisis de Varianza.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por finalidad aportar con las propuestas para el mejoramiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en el sentido de aportar estudios previos relacionados directamente con el control de procesos de éstas una vez que han sido trabajadas previamente en pruebas a escala de laboratorio con sus diferentes coeficientes cinéticos e instaladas a escala real y de esta manera; asegurar el correcto funcionamiento y operación de las mismas con la finalidad de cumplir con el objetivo principal de descarga del efluente cumpliendo la normativa nacional que aplica al sector correspondiente. Específicamente en el presente trabajo se consideró el estudio de la mejor concentración de oxígeno disuelto en un reactor biológico de lodos activados a escala de laboratorio, con la aplicación controlada de aire con diferentes tiempos; se aplicaron seis tratamientos (t_1 : 10 minutos, t_2 : 20 minutos, t_3 : 30 minutos, t_4 : 40 minutos, t_5 : 50 minutos, t_6 : 60 minutos y un testigo t_0 : 0 minutos), y se realizaron catorce repeticiones, realizando un total de 98 análisis con un equipo multiparámetro calibrado y certificado; el agua de muestra fue tomada del último buzón de la red de alcantarillado de la Universidad Nacional de Cajamarca para posteriormente analizarse en el ambiente asignado para la aplicación de los tratamientos.

Como resultado de este trabajo se puede concluir que el tratamiento donde se aprecia la mayor concentración de oxígeno disuelto es el tercero correspondiente a un tiempo de aireación de treinta minutos, por lo que se recomienda este tiempo de aireación para futuros estudios de experimentación y complementación relacionados con estudios de parámetros cinéticos en tratamiento de aguas residuales domésticas principalmente.

Palabras Claves: Agua Residual Doméstica, Oxígeno Disuelto, Reactores Biológicos, Tiempo de Aireación.

ABSTRACT

The purpose of this research work is to provide proposals for the improvement of domestic wastewater treatment systems in the sense of providing previous studies directly related to the control of processes that have previously been worked on in laboratory-scale tests. with its different kinetic coefficients and installed on a real scale and in this way; Ensure the correct functioning and operation of the same in order to comply with the main objective of effluent discharge, complying with the national regulations that apply to the corresponding sector. Specifically in this work, the study of the best concentration of dissolved oxygen in a biological sludge reactor activated at laboratory scale was considered, with the controlled application of air with different times; Six treatments were applied (t_1 : 10 minutes, t_2 : 20 minutes, t_3 : 30 minutes, t_4 : 40 minutes, t_5 : 50 minutes, t_6 : 60 minutes and a witness t_0 : 0 minutes), and they performed fourteen repetitions, performing a total of 98 analyzes with a calibrated and certified multiparameter equipment; the sample water has been taken from the last mailbox of the sewerage network of the National University of Cajamarca and subsequently analyzed in the environment assigned for the application of the treatments.

As result of this work, it can concluded that the treatment where the highest concentration of dissolved oxygen is observed is the third corresponding to an aeration time of thirty minutes, so this aeration time is recommended for future studies of related experimentation and complementation with studies of kinetic parameters in treatment of domestic wastewater mainly.

Keywords: Domestic Wastewater Dissolved Oxygen, Biological Reactors, Aeration Time.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la problemática sobre el tratamiento de las aguas residuales domésticas a nivel mundial, nacional y local, es de gran interés en el sentido y búsqueda de nuevas alternativas de solución y tecnologías que mitiguen el impacto que las aguas residuales domésticas generan en los diversos puntos de descarga de las mismas. Existe una preocupación permanente por buscar nuevos y mejores tecnologías que faciliten la implementación, operación y mantenimiento de estas aguas residuales domésticas y, alcanzar una eficiencia acorde con los requerimientos de nuestra normativa nacional. A nivel nacional pocas son las experiencias exitosas de tratamiento de este tipo de efluentes, a nivel de la región Cajamarca, y específicamente la ciudad Cajamarca; no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

En la ciudad de Celendín, existe un sistema de tratamiento del tipo RAFA (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente), se puede apreciar un evidente descuido en temas de operación, mantenimiento e infraestructura en el sistema, lo cual se refleja en un porcentaje de eficiencia reducido como producto final del tratamiento de este sistema, que a su vez descarga las aguas al Río Grande de esta ciudad, para luego ser usadas en agricultura y ganadería aguas abajo. En la actualidad no se han realizado estudios de investigación que puedan dar luces para la solución de estos problemas y lograr el cumplimiento en la calidad de las aguas de descarga de este sistema.

Uno de los parámetros de vital importancia en la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, es el oxígeno disuelto; que como es sabido influye directamente sobre la vida acuática en los cuerpos de donde se descargan estas aguas residuales; pero sobre todo como parámetro de control operacional. Toda la vida acuática depende de la

disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) en el agua. Mientras que los organismos terrestres viven en una atmósfera compuesta aproximadamente de un 20% de oxígeno, los organismos acuáticos sobreviven con una cantidad de oxígeno considerablemente menor.

La solubilidad del oxígeno en agua dulce varía entre 14.6 mg.l-1 a 0°C hasta aproximadamente 7 mg/l a 35°C bajo una presión de 760 mmHg. La concentración de oxígeno disuelto en agua está determinada por la ley de Henry, que describe la relación de equilibrio entre la presión parcial de oxígeno atmosférico y la concentración de oxígeno en agua. Otros factores que influyen la concentración de oxígeno disuelto en agua son: la presión atmosférica (y por lo tanto la altitud sobre el nivel del mar), el contenido de sales en el agua, y la temperatura del agua. El programa Enviroland contiene una tabla de concentración de oxígeno disuelto de una solución saturada en función de la temperatura del agua. El contenido de oxígeno disuelto en cuerpos de agua puede disminuir significativamente por efecto de la respiración, especialmente la microbiana, resultante de la degradación de compuestos orgánicos. (Sawyer y McCarty, 1978).

Para intentar solucionar estos problemas, en muchas ciudades de nuestro país se han implementado sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, pero no se cumplen con los porcentajes de eficiencia establecidos por ley, esto se debe principalmente por falta de investigación sobre los parámetros de control de eficiencia de estos sistemas de tratamiento. Es por este motivo que se hace indispensable la realización de trabajos de investigación relacionados directamente sobre los parámetros de eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas principalmente y tener un sustento técnico al momento de proponer e implementar este tipo de sistemas de tratamiento.

Con el presente trabajo de investigación se pretende evaluar a nivel de un reactor a escala de laboratorio la eficiencia en la concentración de oxígeno disuelto del agua residual doméstica de la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Cajamarca, con los siguientes objetivos:

- Objetivo General: Determinar la eficiencia de un reactor de lodos activados a escala de laboratorio en la concentración de oxígeno disuelto en aguas residuales domésticas.
- Objetivo específico 1: Medir la concentración de oxígeno disuelto en el reactor biológico.
- Objetivo específico 2: Medir el tiempo de oxigenación adecuado para el reactor biológico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Según Quispe y Torres (2019), nos presentan en su trabajo de investigación, que estuvo orientado a determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la reducción de la demanda química y bioquímica de oxígeno en la ciudad de Celendín; realizando la toma de muestras de agua residual cruda y tratada en dos puntos en el afluente después del proceso de cribado y efluente después del proceso biológico de la laguna facultativa en la caja de registro con una frecuencia de muestreo cada 22 días durante un periodo de 03 meses. Los resultados obtenidos muestran para DBO₅ una concentración de 245.95 mg O₂/l en el afluente y 41.03 mg O₂/l en el efluente con eficiencias de reducción de la PTAR del 83.32 %; al igual que, para DQO una concentración de 495.13 mg O₂/l en el afluente y de 149.63 mg O₂/l en el efluente, con una eficiencia de reducción del 69.78 %, además de la medición de otros parámetros de campo en el afluente T° 13 °C, pH 6.3; en el efluente T° 14 °C, pH 6.4. Los valores obtenidos nos permiten afirmar que la PTAR es eficiente en la reducción de la DBO₅ e ineficiente en la reducción de la DQO no cumpliendo con las bases de diseño; y en cuanto a la concentración del efluente de los parámetros de estudio estos se encuentran por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la normativa vigente del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM para vertidos a cuerpos de agua.

A su vez Núñez y Torres (2019), indican que su tesis se desarrolló en la ciudad de Cajabamba durante el periodo comprendido entre enero y junio del año 2018, tuvo como objetivo determinar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Cajabamba, en la remoción de DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales,

aceites y grasas y coliformes termotolerantes. La metodología empleada consistió en identificar los puntos de muestreo, el primero se ubicó en el ingreso de las aguas residuales a la Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y el segundo punto estuvo ubicado a la salida de los efluentes, en donde fueron tomadas las muestras de agua residual en número de seis (6), de las cuales tres (3) fueron tomadas en temporada de lluvias y tres (3) muestras en temporada de estiaje para luego realizar el análisis comparativo entre ambas. Se determinó que la Planta de tratamiento de aguas residuales no es eficiente en la remoción de sólidos suspendidos totales, el valor obtenido fue del 50%, así mismo no es eficiente en la remoción de materia orgánica, para lo cual se utilizaron los indicadores de DBO₅ y DQO cuyos valores fueron de 23,20 % y 27,63 % respectivamente, valores que se encuentran muy por debajo de los aceptables para este tipo de tratamiento según la Norma Técnica de Edificación OS.090 (2006), la cual señala que la eficiencia de remoción de DBO debe encontrarse entre 50 % a 90 % , La eficiencia en la remoción de aceites y grasas fue del 82,20 %, encontrándose dentro del promedio de eficiencia para este tipo de tratamiento de aguas residuales, En cuanto a la remoción de coliformes termotolerantes fue del 65,62 %, valor que se encontró por debajo del promedio de eficiencia de éste parámetro.

Según García y Torres (2019), en la tesis para Determinar la Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la variación de oxígeno disuelto, temperatura, y remoción de sólidos suspendidos totales, en Celendín – Cajamarca, fue el objetivo del presente estudio; para esto se realizó el análisis de muestras de agua residual en dos puntos, el primero, agua sin tratar Afluente y el segundo agua tratada Efluente; se realizó cuatro repeticiones de cada 22 días calendarios entre muestra y muestra; Las muestras fueron recogidas y debidamente etiquetadas, para su posterior análisis en el Laboratorio Regional del Agua del Gobierno Regional de Cajamarca (laboratorio acreditado), donde

se determinó la concentración de sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto y temperatura. De los análisis realizados, se obtuvo los siguientes promedios: sólidos suspendidos totales (SST), afluente 211.5 mg.l-1 y efluente 59.475 mg.l-1; oxígeno disuelto (OD) afluente 0.00 mg O₂.l-1 y efluente 1.6975 mg O₂.l-1; temperatura (T°) afluente 15.25°C y efluente 16°C; de estos resultados promedios, comparados con parámetros de construcción y la normativa para aguas residuales, se concluyó que para SST se obtuvo un 71.88 % de eficiencia, respecto a un 84 % de eficiencia que debería tener normalmente, resultando ineficiente para este parámetro; para OD se obtuvo 1.6975 mg O₂.l-1 referente a un 3 mg O₂.l-1 mínimo que debería tener, siendo muy bajo su generación de OD; y para T° se obtuvo una variación de 15.25°C – 16°C, teniendo un valor aceptable respecto a la normativa y a los parámetros existentes.

Según Alpírez et al. (2017), quienes evalúan el funcionamiento y la eficiencia de un sistema de lodos activados, de un reactor a escala de laboratorio, con agua residual y bajo condiciones controladas como el pH. Se realizaron pruebas dos días a la semana. Se colectaron muestras de agua en la entrada y la salida del sistema. El sistema cuenta con un caudal promedio de 9.77 ml/min y un tiempo de retención hidráulico de 29.3 horas. La carga orgánica promedio de DBO en el afluente fue de 0.12 kg DBO₅/m³*día durante tres meses, obteniéndose remoción de DQO de 54 %, de sólidos suspendidos de 70 % y de DBO de 83 %, lo que indica que es un sistema apto para la reducción de materia orgánica.

Asimismo, lo realizado por Chirán (2017), nos explica en su investigación que para el agua residual sintética elaborada con una concentración de 357 mg O₂/l de DQO. Puede ser tratada satisfactoriamente con un reactor biológico inoculado con una biomasa previamente aclimatada al tipo de agua residual en el que contiene fenol al 35 % pudiéndose obtener valores de degradación superiores al 90 %.

Según Caravali, Lote y Echeverry (2016), en su estudio realizado determinaron que el parámetro fisicoquímico de oxígeno disuelto fue estable a través del tiempo, ya que su valor promedio siempre estuvo por encima de 3 mg/l para todos los sistemas de tratamiento, con lo cual se garantizó que cada uno de ellos contara con la cantidad de oxígeno suficiente para que se llevaran a cabo los procesos de biodegradación del metanol (sistemas 2, 3, 4 y 5); sin ser la excepción el sistema 1, el cual contó con aireación con el fin de garantizar las mismas condiciones para todos los tanques.

Además, Castillo y Guerra (2014) desarrollaron la investigación sobre el Diseño e implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales por lodos activos a escala de laboratorio. Utilizaron muestreo puntual, caracterización fisicoquímica y microbiológica, elaboración de cálculos previos, construcción, tratamiento y cálculos reales. El material fue policarbonato, las dimensiones han sido tomadas considerando el 12 % de las obtenidas en cálculos previos, la planta cuenta con: reservorio, aireación y sedimentación de 50 cm x 50 cm x 75 cm y dos tanques: almacenamiento de agua tratada y lodos de 50 cm x 50 cm x 50 cm. El tanque sedimentador presenta una inclinación del 20 %. Utilizaron diferentes tiempos de retención hidráulica (72-60-48-36-24-12-8-4 horas) para cada muestra y 11 días de retención celular. Se logró la remoción de DBO con un valor de 28 300 mg/l a 350 mg/l en un tiempo de retención hidráulica de cuatro horas. Se concluye que el tratamiento biológico realizado presenta una eficiencia del 98 % para aguas residuales de quesera.

Nos muestra Verástegui (2014) la puesta en marcha de una planta piloto de fangos activos de tres reactores aerobios a escala laboratorio, la problemática encontrada a lo largo de la experimentación y propuesta de mejora. En este estudio se realizaron ensayos de DQO total y soluble, SST, SSV, IVL y OD, así como de parámetros de operación. Se

obtuvo un rendimiento de eliminación del 83 % a 88 % de materia orgánica carbonada, porcentaje de eliminación 86 % a 91 % en sólidos en suspensión. La sedimentabilidad del fango no presenta adecuados resultados, se observó que los tiempos de aireación parecen tener una relación con los valores de IVL. Se propone purgar el fango, un incremento exagerado de la relación F/M, y bajas edades del lodo parecieran las condiciones más desfavorables para un reactor de mezcla completa.

Según Aragón (2009), en un sistema aerobio de tratamiento de las aguas residuales, la determinación del oxígeno disuelto en el reactor es un parámetro esencial para el control del sistema. Las medidas de oxígeno disuelto y temperatura se llevan a cabo usando un oxímetro de membrana de la casa WTW modelo OXI 330/SET. Este aportaba datos con una precisión de 0.1 mg/l de oxígeno. El equipo era calibrado periódicamente ajustando la saturación de oxígeno con un sistema oxical que incorporaba. Las determinaciones de oxígeno disuelto y temperatura de los reactores aerobios fueron realizadas “in situ” en el propio reactor (tanque de aireación).

Varila y Díaz (2008) diseñaron, construyeron, pusieron en marcha y operaron un bioreactor de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales a escala laboratorio. Fue una adaptación del propuesto por Reynolds & Richards (2006), las ecuaciones empleadas fueron deducidas según los procedimientos de Metcalf & Eddy (1998) y Ramalho (2003). El reactor construido cuenta con un volumen total de 18 litros de capacidad, de los cuales 12 litros corresponden a la zona de aireación y 6 litros a la zona de sedimentación, dichas zonas se encuentran separadas por medio de un deflector regulable. El sistema fue evaluado por medio de un agua residual sintética de baja carga y composición conocida durante cuatro semanas con tiempos de retención hidráulica de 5, 14, 24 y 36 horas y celular de 7 días. Se realizaron diariamente determinaciones de pH,

temperatura y oxígeno disuelto, se determinaron tres veces por semana la DQO en el afluente y efluente, la velocidad de utilización de oxígeno, el índice volumétrico de lodos y los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLM). El sistema tendió a estabilizarse durante las semanas tres y cuatro de operación alcanzando eficiencias de remoción de materia orgánica en términos de DQO entre 85 y 90 %, como también la determinación de los coeficientes cinéticos de crecimiento biológico Y , k , k_d , a , b .

Así mismo; Delgado, Rennola y Lugo (2006), diseñan y construyen una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales por lodos activados, constituida por un tanque de alimentación, una cámara de reacción, un sistema de aireación, un sedimentador, una bomba de reciclo y accesorios de conexión, La planta piloto puede ser utilizada para el tratamiento aeróbico de diversas aguas residuales. El caudal de alimentación puede variar entre 0.1 y 5 l/h. Dada la problemática ambiental ocasionada por las vinazas de las destilerías, se utilizó la planta para tratar dichas aguas utilizando *Candida utilis* como cepa biológica. La remoción de la DBO fue mayor al 89.5 % y con respecto al DQO mayor al 33.3 %.

Méndez, Miyashiro, Rojas, Cotrado y Carrasco (2004), diseñaron de un módulo compuesto por seis minireactores, Las ecuaciones empleadas fueron deducidas según los procedimientos de Eckenfelder (1970) y Metcalf y Eddy (1998). Con los resultados analíticos obtenidos se determinó las constantes cinéticas de crecimiento biológico, a escala de laboratorio, utilizando el método de lodos activados. Las constantes cinéticas obtenidas empleando un agua residual sintética fueron: a : 0.8763 (Parámetro de utilización de oxígeno para la oxidación de sustrato), b : 0.0744 (Parámetro de utilización de oxígeno utilizado en la respiración endógena), Y : 0.0494 (Coeficiente de producción de biomasa por consumo de sustrato), k_d : 0.00048 d⁻¹ (Coeficiente de consumo de

biomasa por respiración endógena), k : 0.0025 h⁻¹·l/mg (Constante de velocidad de consumo de sustrato). Las aguas residuales fueron suministradas a cada mini reactor mediante un dosificador, el mismo que fue abastecido por medio de una bomba peristáltica. Encontrándose dificultades en la distribución apropiada de los caudales. Por lo cual se recomienda realizar el experimento con una bomba peristáltica para cada unidad de los mini reactores, pues los dosificadores utilizados tuvieron dificultad en operar óptimamente al obstruirse continuamente.

Según Pérez (2002) caracterizó la respuesta dinámica de un proceso de biodegradación por lodos activados en condiciones limitantes en oxígeno disuelto creadas en respuesta, en una primera parte, a ajustes sobre el nivel de oxígeno disuelto y; en una segunda parte, a perturbaciones en la carga orgánica de la alimentación. Mediante la medición de las siguientes variables del sistema: Concentración de carbón orgánico soluble, la biomasa, oxígeno disuelto, carbón inorgánico total, dióxido de carbono en la corriente de gas a la salida del reactor, nitratos y fosfatos. Del primer tipo de ensayos, a condiciones de 2.0, 1.5 y 0.5 mg/l de oxígeno disuelto no se observó efecto sobre la asimilación del sustrato, a condiciones de 0.0 mg/l una disminución significativa fue determinada. En relación a la biomasa, solo en las experiencias a 0.5 y 0.0 mg/l en oxígeno disuelto una leve disminución de sólidos en suspensión fue observada.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Tratamiento de aguas residuales domésticas

Un sistema de tratamiento de aguas residuales es seleccionado de acuerdo a los objetivos que se fijan al buscar la remoción de los contaminantes. Existen diferentes sistemas de tratamiento que implican procesos biológicos, procesos fisicoquímicos y en ocasiones se presentan ambos. Los sistemas de tratamiento son nombrados de

acuerdo al principio de operación, ejemplo, lodos, lodos activados, zanjas de oxidación, lagunas anaerobias, película fija, entre otros. Cuando se tiene involucrado un sistema de tratamiento de aguas de tipo anaerobio o aerobio se pueden distinguir hasta cuatro etapas, que comprenden los mencionados procesos químicos, físicos y biológicos (Ramalho, 2003).

2.2.2 Trenes de tratamiento de aguas residuales

Como se ha visto, existe una gran variedad de operaciones y procesos unitarios para el tratamiento de agua residual. Los componentes individuales de tratamiento se clasifican en operaciones físicas unitarias, procesos químicos o biológicos unitarios. Estas operaciones y procesos unitarios se combinan en los sistemas de depuración de aguas residuales, dando lugar a un tren de tratamiento, como se muestra en la Figura 1 (Metcalf y Eddy, 1995).

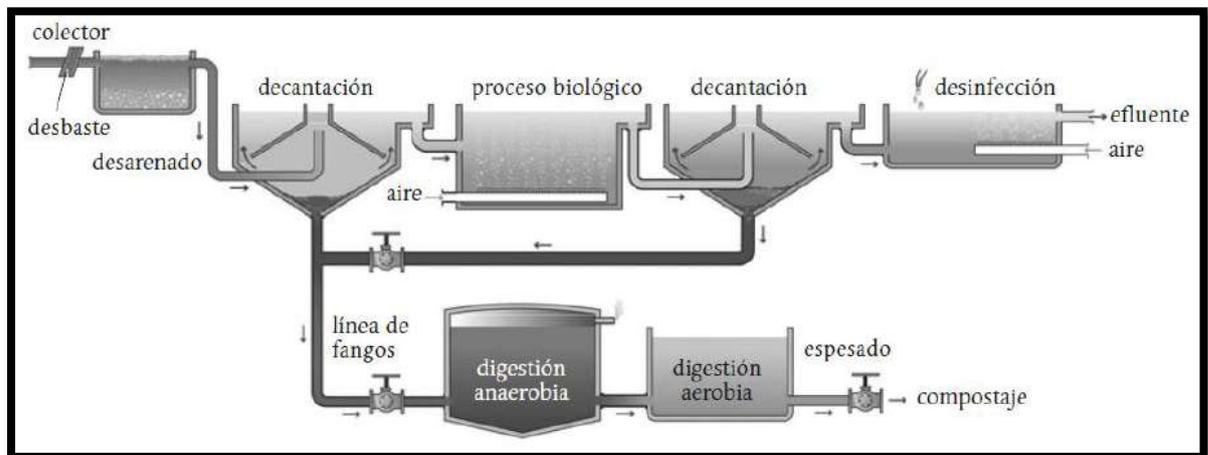


Figura 1: Trenes de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.

Fuente: Metcalf y Eddy (1995).

2.2.3 Tratamiento con lodos activados

Conjunto de procedimientos de tratamiento en los que se destaca, como elemento común, el íntimo contacto del agua residual con una masa biológica preformada y en suspensión, en un tanque aireado. Esta biomasa está constituida por un cultivo mixto

de microorganismos que forma, junto con otras sustancias orgánicas e inorgánicas un conglomerado floculento. Mediante este proceso los compuestos orgánicos contenidos en las aguas residuales son utilizados como sustratos. Entre los grupos y especies de bacterias que con más frecuencia se encuentran presentes en los lodos activados. En menor proporción se encuentran los hongos, levaduras y mohos. Entre las bacterias nitrificantes pueden estar presentes las nitrosomonas y las nitrobacterias. El papel de las bacterias es descomponer, por oxidación, la materia orgánica. En el proceso del lodo activado las bacterias son los microorganismos más importantes debido a que son ellas las responsables de la descomposición de la materia orgánica contenida en el agua residual a tratar (Menéndez y Pérez, 2007).

2.2.4 Situación actual del Perú sobre tratamiento de aguas residuales

En el informe presentado por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2015), en el año 2008 se identificaron las debilidades del sector saneamiento respecto al tratamiento de aguas residuales y se recomendaron propuestas de mejora. Luego de transcurridos siete años y habiendo el ente rector invertido aproximadamente 21.000 millones de soles en la mejora de la infraestructura de agua potable y alcantarillado entre los años 2007-2013 según información del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2014), la SUNASS vio por conveniente contar con información actualizada del estado de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) operadas en el ámbito de las Empresas Prestadoras de Servicio (EPS). En él se recoge el estado actual de las PTAR en cuanto a su infraestructura, eficiencia de tratamiento, operación y mantenimiento, y se presentan propuestas de mejora. En la etapa inicial, se recolectó información de la infraestructura, operación, mantenimiento y eficiencia del tratamiento mediante formatos remitidos por las EPS entre mayo y agosto del 2013. En la segunda etapa,

entre octubre de 2013 y mayo de 2014, se efectuaron visitas de campo para verificar in situ 204 PTAR en los ámbitos de 32 EPS: 163 estaban operativas, 32 en construcción y 9 paralizadas. Se supervisaron parámetros claves para evaluar las condiciones de construcción y operación de las PTAR. El estudio también presenta estadísticas de las diferentes tecnologías de tratamiento en las PTAR; se ha evidenciado que la tecnología del tratamiento secundario por lagunas facultativas es la más aplicada en el Perú (100 PTAR). En general, la tecnología de lagunas de estabilización (lagunas anaerobias, facultativas) sin sistemas de aireación representa el 75 % de todas las PTAR.

2.2.5 Requerimiento de oxígeno

La determinación de la necesidad de oxígeno en los procesos aerobios de biomasa en suspensión constituye una etapa importante en las actividades de diseño y evaluación de una instalación de tratamiento. En la medida que se conozca la cantidad de oxígeno que es necesario para un proceso dado, se estará en mejores condiciones de seleccionar el equipamiento adecuado para suministrarlo. El requerimiento mínimo de aire aplicado por kilogramo de DBO alimentado al tanque de aireación es función de las características del sistema en particular. Para sistemas de carga media debe ser aproximadamente de 90 kg de aire por kilogramo de DBO mientras que para aireación extendida puede llegar a alcanzar 120 kg por kilogramo de DBO. Estas demandas están calculadas sobre la base de suponer que el implemento de aireación es capaz de transferir al menos 1 kg de oxígeno por cada kilogramo de DBO aplicado. En todos los casos es recomendable una concentración mínima de oxígeno disuelto de 2 mg/l (Hernández, Hernández y Galán, 1996).

2.2.6 ¿Cómo se mide el oxígeno disuelto en el agua?

- Producción de color: kit de análisis de OD para trabajo de campo para agua dulce.
- Método de Wrinkler: válido para agua de mar y agua dulce, pero no para aguas muy alcalinas.
- Medidor de OD: conductividad eléctrica basada en una reacción química.

Concentración de OD: el oxígeno disuelto se establece como la concentración actual (mg/l) o como la cantidad de oxígeno que puede tener el agua a una temperatura determinada. Se conoce también como el porcentaje de saturación. La unidad de mg/l representa miligramos por litro. La concentración en mg/l se refiere a veces como partes por millón (ppm) porque un litro equivale a 1000 gramos de agua dulce y un miligramo es una milésima parte de un gramo.

Porcentaje de saturación: en unidades de porcentaje. El oxígeno se disuelve en el agua hasta la saturación que es un valor típico para una determinada temperatura (Menéndez y Pérez, 2007).

2.2.7 Importancia del oxígeno disuelto en el tratamiento de aguas residuales

Según Metcalf y Eddy (1995), el oxígeno se introduce en el agua mediante difusión desde el aire que rodea la mezcla, por aeración (movimiento rápido) y como un producto de desecho de la fotosíntesis. Por lo tanto, debe ser preferentemente una prueba de campo. Los niveles de oxígeno que permanecen bajo 1-2 mg/l por unas pocas horas pueden resultar en largas agonías para los peces. El agua de las plantas tratadoras de aguas residuales frecuentemente contiene materiales orgánicos que son descompuestos por microorganismos, que utilizan el oxígeno en los procesos. En un cuerpo de agua se produce y a la vez se consume oxígeno.

La producción de oxígeno está relacionada con la fotosíntesis, mientras el consumo dependerá de la respiración, descomposición de sustancias orgánicas y otras reacciones químicas. También puede intercambiarse oxígeno con la atmósfera por difusión o mezcla turbulenta. Si es consumido más oxígeno que el que se produce y capta en el sistema, el tenor de O₂ caerá, pudiendo alcanzar niveles por debajo de los necesarios para la vida de muchos organismos (Tabla 1). Los peces son particularmente sensibles a hipoxia (bajas concentraciones de OD).

Tabla 1: *Rangos de Concentración de Oxígeno Disuelto y Consecuencias Frecuentes.*

[OD]* mg/l	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de microorganismos aerobios.
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles.
05 - 08	Aceptable	[OD] Adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.
08 - 12	Buena	
> 12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética.

Fuente: Metcalf y Eddy (1995).

Nota: * = [OD] Concentración de Oxígeno Disuelto.

Así mismo la concentración del OD será dependiente de la temperatura (Tabla 2).

Aguas más cálidas son capaces de disolver menores cantidades de oxígeno.

Por esto, una descarga de agua caliente puede significar la disminución del OD a niveles por debajo del límite necesario para algunas formas de vida.

Tabla 2: *Concentración del Oxígeno Disuelto respecto a Temperatura del agua.*

Temperatura (°C)	[OD] (mg/l)	Temperatura (°C)	[OD] (mg/l)
0	14.16	18	9.18
1	13.77	19	9.01
2	13.40	20	8.84
3	13.05	21	8.68
4	12.70	22	8.55
5	12.37	23	8.38
6	12.06	24	8.25
7	11.76	25	8.11
8	11.47	26	7.99
9	11.19	27	7.86
10	10.92	28	7.75
11	10.67	29	7.64
12	10.43	30	7.53
13	10.20	31	7.42
14	9.98	32	7.32
15	9.76	33	7.22
16	9.56	34	7.13
17	9.37	35	7.04

Fuente: Metcalf y Eddy (1995).

2.3 Marco legal de aguas residuales domésticas en el Perú y roles de las entidades competentes

En el Perú, el sector saneamiento, pertenece al sector público. La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, SUNASS, es la encargada de regular, supervisar y fiscalizar el mercado de servicios de agua potable. El Estado promueve la participación del sector privado mediante procesos de concesión a nivel nacional, enmarcado en la Ley General de Servicios de Saneamiento, Ley N° 26338 y su Reglamento. En la Tabla 3 muestra el resumen del marco legal en el Perú, para el sector saneamiento (Fondo Nacional del Ambiente FONAM, 2010).

Tabla 3: *Marco Legal y Normativo de Saneamiento en Perú.*

Normativa	Denominación	Descripción General
Constitución Política del Perú	34273	Base del ordenamiento jurídico nacional.
Ley de Reforma sobre Descentralización	Ley N° 27680	Las municipalidades promueven, apoyan y reglamentan la participación vecinal en el desarrollo local.
Ley General de Salud	Ley N° 26842	El abastecimiento del agua, alcantarillado, disposición de excretas, reúso de aguas servidas y disposición de residuos sólidos quedan sujetos a las disposiciones que dicta la Autoridad de Salud competente, la que vigilara su cumplimiento.
Ley General del Ambiente	Ley N° 28611	El estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de reutilización considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria de reúso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizan.
Aprueban los ECA para Agua	DS N° 002-2008 MINAM	Aprueban estándares de calidad ambiental para agua publicado en el Diario El Peruano el 31 de junio de 2008.

Aprueban disposiciones para la implementación de los ECAs para Agua	DS N° 023-2009 MINAM	Aprueban disposiciones para la implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua. A partir del 01 de abril del 2010.
Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR Domésticas o Municipales	DS N° 003-2010 MINAM	Cumplimiento de los límites máximos permisibles de PTAR. (Ver Tabla 5).
Ley Marco para la Inversión Privada	D.L. N° 757	Garantiza la libre iniciativa y las inversiones privadas en todos los sectores de la actividad económica y en cualquiera de las formas empresariales o contractuales permitidas por la Constitución y las Leyes.
Ley Orgánica de Gobiernos Regionales	Ley N° 27902	Regula la participación de los Alcaldes Provinciales y la Sociedad Civil en los Gobiernos Regionales y fortalecer el proceso de Descentralización y Regionalización.
Ley de Creación, Organización y Funciones del MINAM	D.L. N° 1013	Crea el Ministerio del Ambiente y establece su ámbito sectorial, y regula la estructura orgánica, competencias y funciones del mismo.
Ley Orgánica de Municipalidades	Ley N° 27972	Establece normas sobre la creación, origen, naturaleza, autonomía, organización, finalidad, tipos, competencias, clasificación y régimen económico de las municipalidades.
Ley del Procedimiento Administrativo General	Ley N° 27444	Regula las actuaciones de la función administrativa del Estado y el procedimiento administrativo común desarrollados en las entidades.
Ley de Recursos Hídricos	Ley N° 29338 (2009)	Regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta.
Resolución Jefatural N°0291-2009-ANA	R.J. N° 0291-2009 ANA	Disposiciones referidas al otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y de reúsos de aguas residuales tratadas.
Resolución Jefatural N°0351-2009-ANA	R.J. N° 0351-2009 ANA	Modifican R.J. N° 0291-2009-ANA referente al otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y reúsos de aguas residuales tratadas.

Aprobación del TUPA del MINSA y sus Órganos Desconcentrados	DS N° 013-2009 SA	Unifica y estandariza los procedimientos administrativos que se siguen antes las distintas instancias del MINSA, sus órganos desconcentrados y organismos públicos descentralizados.
Ley del Sistema Nacional de evaluación del impacto ambiental	Ley N°27446	Creación del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA) y establecimiento de un proceso uniforme que comprenda los requerimientos, etapas, y alcances de las evaluaciones del impacto ambiental de proyectos de inversión.
Ley General de Servicios de Saneamiento y su Texto único ordenado del Reglamento	Ley N° 26338	Regula la prestación de los servicios de saneamiento en los ámbitos rural y urbano.
Código Penal	D. Leg. N° 635 (03-04-91)	Concreta los postulados de la moderna política criminal, sentando la premisa que el Derecho Penal es la garantía para la viabilidad posible en un ordenamiento social y democrático de derecho.
Norma procesal penal ambiental	Ley N° 26631	Para efecto de formalizar denuncia de la legislación ambiental.

Fuente: FONAM (2010).

Tabla 4: *Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR.*

Parámetro	Unidad	LMP de Efluentes para Vertidos a Cuerpos de Agua
Aceites y Grasas	mg/l	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	10000
DBO	mg/l	100
DQO	mg/l	200
pH	Unidad	6.5 - 8.5
T°	°C	< 35
SST	mg/l	150

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

En cuanto a los principales roles de cada sector involucrado, las funciones de cada uno son las que se describen brevemente a continuación:

2.3.1 Ministerio del Ambiente (MINAM)

Fue creado el 14 de mayo de 2008, mediante Decreto Legislativo N° 1013, como ente rector del sector ambiental nacional, que coordina en los niveles de gobierno local, regional y nacional. Se encarga de asegurar el cumplimiento del mandato constitucional sobre la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales, la diversidad biológica y las áreas naturales protegidas y el desarrollo sostenible de la Amazonía. Asegura la prevención de la degradación del ambiente y de los recursos naturales y revertir los procesos negativos que los afectan.

2.3.2 Autoridad Nacional del Agua (ANA)

La Autoridad Nacional del Agua es el organismo encargado de realizar las acciones necesarias para el aprovechamiento multisectorial y sostenible de los recursos hídricos por cuencas hidrográficas, en el marco de la gestión integrada de los recursos naturales y de la gestión de la calidad ambiental nacional estableciendo alianzas estratégicas con los gobiernos regionales, locales y el conjunto de actores sociales y económicos involucrados. Tiene como principales funciones formular la política y estrategia nacional de recursos hídricos, administrar y formalizar los derechos de uso de agua, distribuirla equitativamente, controlar su calidad y facilitar la solución conflictos. Esta nueva entidad regula la actuación de las entidades del Poder Ejecutivo y de los actores privados en la gestión integrada y multisectorial de los recursos hídricos, estableciendo como unidad de gestión a las cuencas hidrográficas y acuíferos del país.

2.3.3 Ministerio de Agricultura (MINAG)

Otorga licencias para uso de aguas superficiales, subterráneas y otorga licencias para el uso de aguas residuales.

2.3.4 Ministerio de Economía y Finanzas (MEF)

Aprueba presupuestos de EPS y SUNASS. Aprueba y canaliza los fondos para inversión.

2.3.5 Ministerio de la Producción

Regula la calidad de las descargas industriales en los sistemas de desagüe.

2.3.6 Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Responsable del sector saneamiento, determina políticas y promueve el desarrollo, regula los estándares de diseño y las especificaciones técnicas de los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales (Reglamento Nacional de Edificaciones – Títulos II y III).

2.3.7 Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS)

Organismo regulador y fiscalizador de la prestación de los servicios de saneamiento en el Perú. Garantiza al usuario que los servicios de saneamiento se den en las mejores condiciones de calidad. Establece las condiciones generales de la prestación del servicio. Fiscaliza el cumplimiento de las normas de prestación del servicio y de fijación tarifaria. Supervisa las EPS urbanas debidamente registradas, sin embargo, no supervisa las JASS (Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento).

2.3.8 Ministerio de Salud (MINSA)

Es la autoridad Sanitaria. Regula la calidad del agua para consumo humano, autoriza vertimientos, aprueba proyectos de plantas de tratamiento de agua potable y de aguas residuales, formula políticas y dicta las normas de calidad sanitaria y protección ambiental, a través de DIGESA, ejerce la vigilancia de la calidad del agua.

2.4 Definiciones conceptuales

2.4.1 Agua residual doméstica

Se define como los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. También es usual la denominación de aguas negras, las cuales provienen de los inodoros, por lo tanto, transportan excrementos humanos y orinas ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales. Así mismo las aguas grises son aquellas que provienen de las tinajas, duchas, lavados de mano y lavadoras, aportando DBO, sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales; siendo así, aguas residuales domésticas, sin incluir las de los inodoros. Estas, presentan un alto contenido de materia orgánica, compuestos químicos domésticos, como detergentes y compuestos clorados y microorganismos patógenos y no patógenos (Marín y Osés, 2013).

2.4.2 Aireación

La aireación es el proceso mediante el cual el agua se pone en contacto íntimo con el aire para modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella. Su función principal, en el tratamiento de aguas residuales, consiste en proporcionar oxígeno y mezcla en los procesos de tratamiento biológico aerobio. Sus funciones más importantes son:

- Transferencia de oxígeno disuelto.
- Remoción de sustancias volátiles productoras de olores y sabores.
- Remoción de dióxido de carbono.
- Remoción de H₂S.
- Remoción de hierro y manganeso.
- Remoción de metano, cloro y amoníaco.
- Remoción de compuestos orgánicos volátiles.

Los procesos de tratamiento biológico aerobio, como los procesos de lodos activados, requieren concentraciones de oxígeno disuelto generalmente de 0.2 a 2.0 mg/l con el fin de asegurar un suministro apropiado de oxígeno para el consumo de los microorganismos responsables del tratamiento (Martín et al, 2006).

2.4.3 Oxígeno disuelto (OD)

Es uno de los principales parámetros en el tratamiento de aguas residuales pues muchos de los organismos dependen de él para mantener los procesos metabólicos, para obtener energía y efectuar su reproducción. Además, el OD es el principal indicador del estado de contaminación de una masa de agua, pues la MO contenida en ella tiene como efecto directo el consumo del oxígeno disuelto.

Como indicador de la calidad de las AR, el OD debe tener un máximo del 10 % de la concentración de saturación, pues son aguas sobresaturadas de oxígeno los peces pueden sufrir la enfermedad de la "burbuja de gas". Sin embargo, son más frecuente las bajas concentraciones de OD debido a la demanda de oxígeno causada por la MO presente. Cuando la concentración llega a cero la descomposición anaerobia es generalizada, y la presencia de los olores también (Oakley y Salguero, 2011).

2.4.4 Digestión aerobia

Es un proceso bacteriano que ocurre en presencia del oxígeno. Bajo condiciones aeróbicas, las bacterias consumen ligeramente la materia orgánica y la convierten en el dióxido de carbono. Una vez que haya una carencia de la materia orgánica, las bacterias mueren y son utilizadas como alimento por otras bacterias (Ramalho, 2003).

2.4.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO es uno de los parámetros más utilizados en la caracterización de los contaminantes orgánicos. Esta determinación brinda un estimado del oxígeno disuelto requerido por los microorganismos en la degradación de los compuestos biodegradables. El mecanismo presente durante la prueba de laboratorio de la DBO es esencialmente biológico y no depende solo del oxígeno presente y utilizado en un momento dado, sino también de la velocidad a la que este se consume, y, por tanto, del tiempo. Así, es necesario fijar un tiempo y temperatura de incubación estándar, que normalmente es de cinco días, y 20 °C como temperatura de referencia. En muchos casos se necesita conocer la demanda bioquímica de oxígeno total de un agua residual (Menéndez y Pérez, 2007).

2.4.6 Reactor de lodos activados

Las características de dispersión del reactor y la cinética de las reacciones que ocurren dentro de él, están determinadas por la interacción que ocurre entre el efluente y el afluente. Es importante resaltar que existen diferentes tipos de reactores los cuales podrían catalogarse como ideales.

En esto se tiene en cuenta la cinética o las velocidades de las reacciones de transformaciones dentro del proceso, el régimen hidráulico predominante, características geométricas, trayectoria del flujo a través del mismo, además, se fijan

las condiciones de mezcla que contribuyen a diluir el afluente, transportar y redistribuir sus componentes (Marín y Osés, 2013).

2.4.7 Tiempo de retención hidráulico

Incluye únicamente el concepto idealizado sin considerar la recirculación, o sea basado en flujo de agua residual únicamente. Este factor es de importancia para propósitos de comparación solamente. Tiene mayor uso para desechos domésticos en vista de que el dimensionamiento con su uso olvida otros factores importantes como: concentración de DBO del desecho y distribución de sustrato.

Por esta razón este parámetro no debe usarse nunca sólo para propósitos de diseño. Su relación con la eficiencia del proceso no es aparente (Hernández, Hernández y Galán, 1996).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación geográfica del estudio

El estudio se realizó en el departamento de Cajamarca, en los Andes del Norte del Perú. Específicamente dentro de las instalaciones de la Universidad Nacional de Cajamarca, en el laboratorio de Edafología y Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Agrarias, dichas instalaciones tienen como coordenadas UTM: 17M E 0776745 W 9206963.



Figura 2: Ubicación del trabajo de investigación.

3.1.1 Geografía

El departamento de Cajamarca se encuentra ubicado en la zona norte del país, en la cadena occidental de los Andes y abarca zonas de sierra y selva. Limita con el norte con Ecuador, por el sur con La Libertad, por el este con Amazonas y por el oeste con Piura y Lambayeque. Tiene 13 provincias y 126 distritos. Tiene una extensión de 33.248 kilómetros cuadrados y su población 1 332 483 habitantes. Su capital es la ciudad de Cajamarca, situada sobre los 2 719 msnm, la distancia a Lima es de 856 kilómetros. La temporada de lluvias es de diciembre a marzo.

3.1.2 Clima

Cajamarca por su altitud se encuentra en la región Quechua (entre 2 300 y 3 500 msnm) lo que determina que su clima sea templado, seco; soleado durante el día, pero frío durante la noche. Su temperatura media anual es de 15.6 °C, siendo época de lluvias de diciembre a marzo, que coinciden con el cíclico fenómeno de El Niño, típico del norte tropical peruano. Sin embargo, en sus diferentes regiones, algunas ciudades tienen clima tropical. Además, la proximidad tanto hacia la costa como hacia la selva, sin mencionar su cercanía a la Línea Ecuatorial, la hacen tener el mejor clima de los departamentos de la Sierra Peruana.

3.1.3 Materiales

3.1.3.1 Materiales para confección de simulador de reactores biológicos y accesorios

- 02 cajas de vidrio de doble de 40 cm x 30 cm x 60 cm.
- 08 difusores de aire de burbuja fina de 35 cm cada uno.
- 5 m de manguera siliconada de 3 mm.
- 8 válvulas de control de paso de aire.

- 01 compresor de aire de 200 watts.
- Base metálica para contenedor de agua de 80 cm x 60 cm x 40 cm.
- 3 m de tubería de 1 pulg.
- 3 llaves de paso de 1 pulg.
- 2 codos de 1 pulga.
- 3 niples de 1 pulg.
- 2 llaves de paso ½ pulg.

3.1.3.2 Materiales de campo – Toma de muestras

- 02 baldes de plástico (PVC) de 150 litros de capacidad.
- 01 balde de plástico (PVC) de 20 litros de capacidad.
- 01 escalera de madera de 3 metros de longitud.
- Driza de ¾ pulg de 5 metros de longitud.
- 01 varilla de madera de 2 pulg x 1 pulg x 1.5 m.
- Moto carguera.
- Equipo de protección personal básico: guantes de jebe de caña larga, traje tyvek de cuerpo completo, mascarilla.
- Alcohol en gel.
- 01 rollo de papel toalla.

3.1.3.3 Materiales de laboratorio – Análisis de muestras

- 01 balde de plástico (PVC) de 120 litros de capacidad.
- 01 balde de plástico (PVC) de 20 litros de capacidad.
- 02 reactores biológicos a escala de laboratorio previamente habilitados y con todos sus accesorios (Anexos. Figura 2).
- 16 frascos de vidrio transparente de 1 litro cada uno.
- Agua destilada.

- 01 equipo multiparámetro de medición directa - YSI Pro DSS: oxígeno disuelto, turbidez, sólidos disueltos totales, temperatura, pH y conductividad eléctrica.
- 01 cuaderno de notas.
- 02 lapiceros.
- Equipo de protección personal básico: guantes de jebe de caña larga y corta, mascarilla, guardapolvo, cotonete, guantes quirúrgicos, otros.
- Alcohol en gel.
- 10 metros de manguera plástica de 1 pulg.
- 01 rollo de papel toalla.

3.1.3.4 Materiales de gabinete – Resultados de análisis laboratorio

- 01 escritorio metálico.
- 01 laptop.
- Software IBM- SPSS 10.
- 01 cuaderno.
- 02 lapiceros.
- Impresora a color.
- Papel bond A4.
- Pizarra acrílica.
- Plumones marcadores varios.
- Mota.

3.2 Metodología

La propuesta que se presentó en el presente trabajo fue para reactores biológicos de 30 cm x 40 cm y 60cm (Reactor A y Reactor B), para agua residual doméstica; con la finalidad de determinar la variación de la concentración de oxígeno disuelto en función a seis diferentes tiempos de aireación aplicados a ambos reactores, contruidos de vidrio doble, con alimentadores de tubería de ½ pulgada, un tanque de almacenamiento de 200 litros de capacidad, un compresor de aire de burbuja fina con suministro de mangueras de silicona, llaves de paso para el control de agua y aire respectivamente, entre otros accesorios necesarios para el adecuado funcionamiento del sistema propuesto.

Se realizaron muestreos semanales, durante tres meses, aplicando seis tratamientos diferentes (t_1 : 10 minutos, t_2 : 20 minutos, t_3 : 30 minutos, t_4 : 40 minutos, t_5 : 50 minutos y t_6 : 60 minutos; además se consideró la toma de muestras y análisis para un testigo t_0 : 0 minutos), los tratamientos consistieron en la aplicación de aire a ambos reactores con el uso de un compresor de aire a través de una manguera de silicona hacia los difusores de aire de burbuja fina.

Entiéndase que, para determinar la mejor concentración de oxígeno disuelto para los seis tratamientos y muestra testigo t_0 , se aplicó oxígeno mediante el uso de una bomba compresora de aire que inyectó oxígeno a través de una manguera de silicona que terminan en los difusores de aire de burbuja fina distribuidos uniformemente en el fondo de los reactores.

3.2.1 Determinación del punto de muestreo

Se procedió de la siguiente forma:

- Con el soporte del personal de mantenimiento y servicio de la Universidad Nacional de Cajamarca, se identificó el punto final de colección de agua residual doméstica de la Universidad, ubicado en el último buzón de la red de alcantarillado de la ciudad universitaria, de donde se tomaron las muestras de acuerdo al programa de monitoreo propuesto, previa coordinación y permisos respectivos del área a cargo del sistema de servicios de la universidad.
- Es importante mencionar que se utilizaron los equipos de protección personal necesarios en cada una de las tomas de las muestras, con la finalidad de tener algún accidente durante este proceso y también cuidados sanitarios antes durante y después de la toma de muestras.



Figura 3: Ubicación del Punto de Muestreo.



Figura 4: Buzón de alcantarillado para toma de muestras.

3.2.1.1 Toma de muestras

Se siguieron los siguientes pasos:

- Identificado el punto de toma de muestra se procedió a recolectar manualmente el agua residual con el balde de 20 litros y la driza de $\frac{3}{4}$ ", hacia un baldón de 150 litros ubicado en la tolva de una moto carguera, esta operación se la desarrolló semanalmente, el proceso de colección del agua residual se desarrolló entre las 07:00 am y 09:00 am.
- Seguidamente se procedió a transportar el agua residual doméstica colectada debidamente asegurada la tapa del baldón para evitar pérdida de la muestra y por medidas de seguridad y salud; desde el punto colector de la muestra hacia el laboratorio de medio ambiente de la Facultad de Ciencias Agrarias.

- Seguidamente se procedió a traspasar el agua de muestra hacia el baldón de repartición de los reactores biológicos a escala, con ayuda de un balde pequeño de 20 litros, teniendo en cuenta las medidas de seguridad correspondientes.
- Una vez identificados el lugar, la fecha y la hora, se procedió a la toma de muestras. Se consideró la toma de muestras bajo el siguiente diseño (Tabla 5):

Tabla 5: *Diseño para Toma de Muestras.*

Número de Tratamientos	Tratamientos: Tiempos de Aireación	Frecuencia de Muestreo	Repeticiones	Duración
	t ₀ : 00 minutos			
	t ₁ : 10 minutos			
	t ₂ : 20 minutos			
7	t ₃ : 30 minutos	Semanal	14	3 meses
	t ₄ : 40 minutos			
	t ₅ : 50 minutos			
	t ₆ : 60 minutos			



Figura 5: Toma de muestras.



Figura 6: Toma de muestras.

3.2.1.2 Análisis de campo / laboratorio

Para la realización de **análisis de las muestras** de procedió de la siguiente forma:

- Se abrió la llave de paso principal para alimentar con agua residual a ambos reactores de forma paralela, cada cual con su llave de paso respectiva abiertas para dejar pasar el agua residual doméstica.
- Una vez que el agua residual doméstica alcanzó el volumen de 50 litros por reactor, se procedió a tomar la muestra para el primer tratamiento t_0 : 0 minutos, en un depósito de vidrio de 1 litro para ambos reactores y se midió la concentración del oxígeno disuelto con el equipo debidamente calibrado, anotando el resultado de manera manual en la pizarra acrílica y en una hoja de Excel para su posterior procesamiento. El compresor de aire no se apagó hasta tomar las muestras de todos los tratamientos, es decir por un tiempo de sesenta minutos.

- Inmediatamente se procedió a tomar la segunda muestra con la aplicación del segundo tratamiento t_1 : 10 minutos, en un depósito de vidrio de 1 litro para ambos reactores, dejándolo reposar por un tiempo de diez minutos y se midió la concentración del oxígeno disuelto con el equipo debidamente calibrado, anotando el resultado de manera manual en la pizarra acrílica y en una hoja de Excel para su posterior procesamiento.
- Luego se tomó la tercera muestra con la aplicación del tercer tratamiento t_2 : 20 minutos, en un depósito de vidrio de 1 litro para ambos reactores, dejándolo reposar por un tiempo de veinte minutos y se midió la concentración del oxígeno disuelto con el equipo debidamente calibrado, anotando el resultado de manera manual en la pizarra acrílica y en una hoja de Excel para su posterior procesamiento.
- Posteriormente se tomó la cuarta muestra con la aplicación del cuarto tratamiento t_3 : 30 minutos, en un depósito de vidrio de 1 litro para ambos reactores, dejándolo reposar por un tiempo de treinta minutos y se midió la concentración del oxígeno disuelto con el equipo debidamente calibrado, anotando el resultado de manera manual en la pizarra acrílica y en una hoja de Excel para su posterior procesamiento.
- Después se tomó la quinta muestra con la aplicación del quinto tratamiento t_4 : 40 minutos, en un depósito de vidrio de 1 litro para ambos reactores, dejándolo reposar por un tiempo de cuarenta minutos y se midió la concentración del oxígeno disuelto con el equipo debidamente calibrado, anotando el resultado de manera manual en la pizarra acrílica y en una hoja de Excel para su posterior procesamiento.

- Luego se tomó la sexta muestra con la aplicación del sexto tratamiento t_5 : 50 minutos, en un depósito de vidrio de 1 litro para ambos reactores, dejándolo reposar por un tiempo de cincuenta minutos y se midió la concentración del oxígeno disuelto con el equipo debidamente calibrado, anotando el resultado de manera manual en la pizarra acrílica y en una hoja de Excel para su posterior procesamiento.
- Se tomó la séptima muestra con la aplicación del séptimo tratamiento t_6 : 60 minutos, en un depósito de vidrio de 1 litro para ambos reactores, dejándolo reposar por un tiempo de sesenta minutos y se midió la concentración del oxígeno disuelto con el equipo debidamente calibrado, anotando el resultado de manera manual en la pizarra acrílica y en una hoja de Excel para su posterior procesamiento.
- Seguidamente se procedió a drenar el agua de ambos reactores hacia la red de alcantarillado, limpieza y desinfección de equipos y materiales utilizados durante todo el proceso de colección, transporte y análisis de las muestras; así como la limpieza y desinfección de todo el material como son los reactores, mangueras de silicona, baldes y baldones, depósitos de vidrio, entre otros.

NOTA: este procedimiento se repitió durante todas las tomas de muestras semanales que se desarrollaron, siempre cumpliendo con las medidas de seguridad y salud correspondientes con la finalidad de no contraer alguna enfermedad por causa de los patógenos presentes en las aguas residuales o algún evento durante la toma de muestras, transporte y análisis de las mismas.



Figura 7: Aplicación de tratamientos.

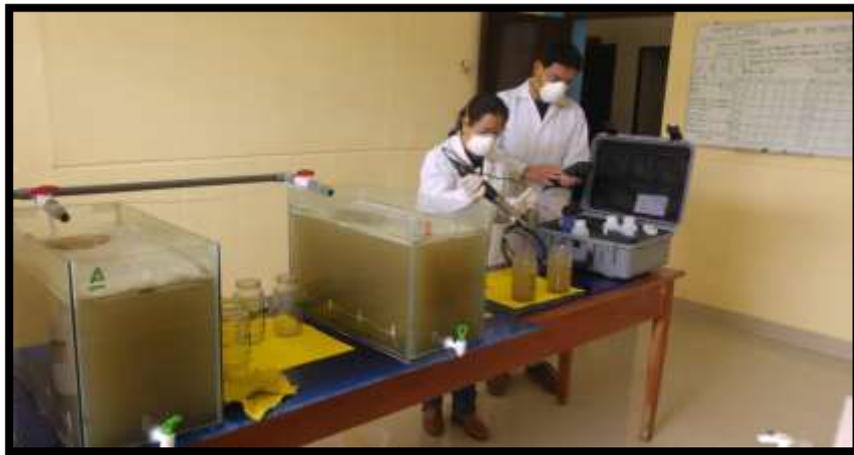


Figura 8: Lectura con equipo multiparámetro.



Figura 9: Limpieza y mantenimiento de sistema.

3.2.1.3 Procesamiento de resultados de laboratorio

- Se colectaron los datos de campo durante los tres meses de realizados los análisis y se procedió a realizar el análisis correspondiente con el apoyo del material de escritorio y las herramientas estadísticas necesarias, para este caso se utilizó el programa estadístico IBM SPSS 10 Estadistics.
- Se elaboró el informe final de tesis para la revisión del asesor, profesionales involucrados y especialistas en el tema.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este contenido se muestra los resultados de manera ordenada y relacionada con el parámetro oxígeno disuelto, los tratamientos realizados y el promedio de cada Evaluación; que permitieron determinar y cumplir con los objetivos de la presente investigación.

Todo proceso aerobio requiere una concentración de oxígeno disuelto mayor de 0,5 mg/l; la cantidad de oxígeno que se transfiere al agua residual, en un tanque de aireación de un proceso de lodos activados, debe satisfacer la demanda de la masa microbial existente en el sistema de tratamiento y para mantener un residual de oxígeno disuelto generalmente del orden de 2 mg/l (Romero, 2005).

Para sistemas de carga media debe ser de 90 kg de aire por kg de DBO, para aireación extendida puede llegar a 120 kg por kg de DBO. Estas demandas están calculadas sobre la base de que el implemento de aireación es capaz de transferir 1 kg de oxígeno por kg de DBO aplicado. En todos los casos es recomendable una concentración mínima de oxígeno disuelto de 2 mg/l (Hernández, Hernández y Galán, 1996).

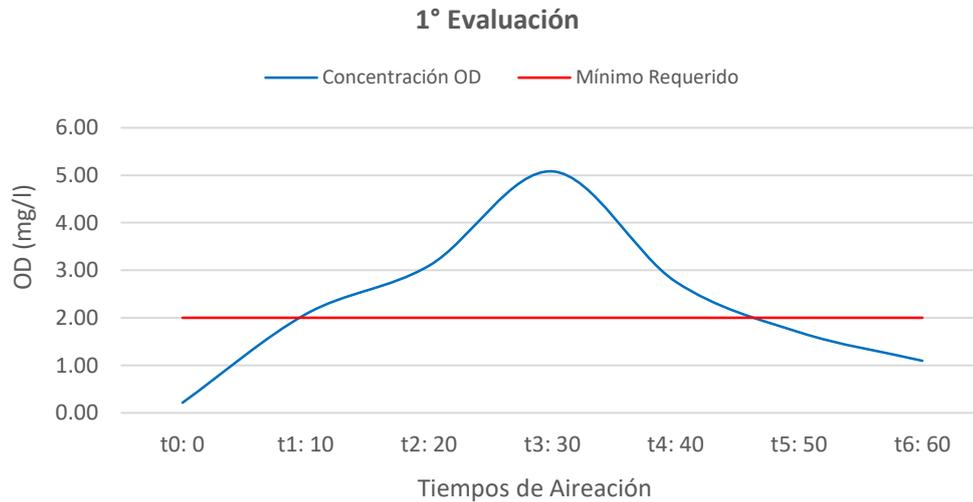
Los procesos de tratamiento biológico aerobio, como los procesos de lodos activados, requieren concentraciones de oxígeno disuelto generalmente de 0.2 a 2.0 mg/l con el fin de asegurar un suministro apropiado de oxígeno para el consumo de los microorganismos responsables del tratamiento (Martín et al, 2006).

Después de haber realizado todas las pruebas de laboratorio, Se presentan a continuación los resultados para cada uno de los seis tratamientos (**t₁: 10 minutos, t₂: 20 minutos, t₃: 30 minutos, t₄: 40 minutos, t₅: 50 minutos, t₆: 60 minutos y un testigo t₀: 0 minutos**), desarrollados para **14 repeticiones**.

4.1 Resultados

4.1.1 Concentración de oxígeno disuelto en la primera evaluación

Gráfico 1: OD Primera evaluación



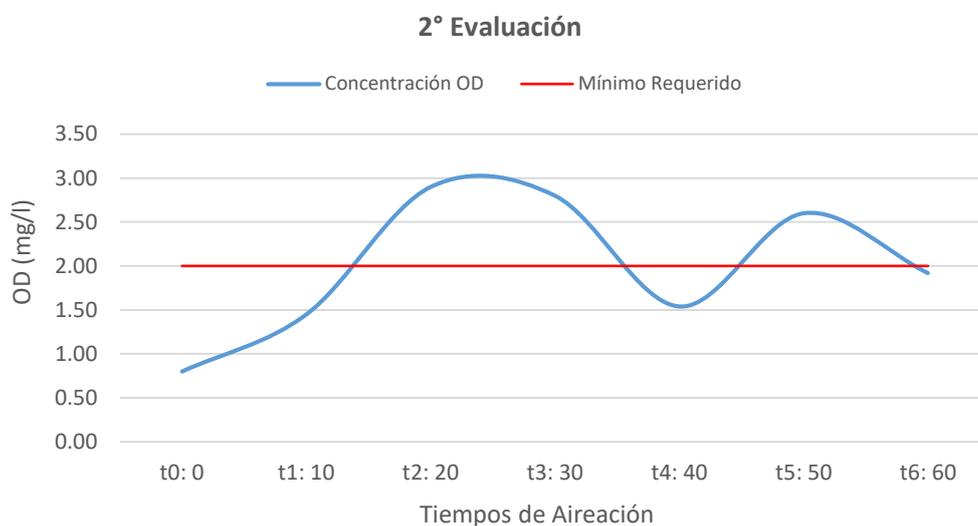
Según el gráfico el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto en la primera evaluación fue la siguiente:

- Concentración de OD sin Oxigenación – **t₀: 0 minutos = 0.22 mg/l.**
- Concentración Máxima de OD con Oxigenación – **t₃: 30 minutos = 5.08 mg/l.**
- Concentración Mínima de OD con Oxigenación – **t₆: 60 minutos = 1.10 mg/l.**

Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto más eficiente en relación al mínimo requerido para esta primera evaluación corresponde al tercer tratamiento con 5.08 mg/l, después de un tiempo de aireación de 30 minutos; seguido por el sexto tratamiento con una concentración de 1.10 mg/l con un tiempo de aireación de 60 minutos y con una concentración de 0.22 mg/l para un tratamiento cero con aireación de 00 minutos.

4.1.2 Concentración de oxígeno disuelto en la segunda evaluación

Gráfico 2: OD Segunda Evaluación



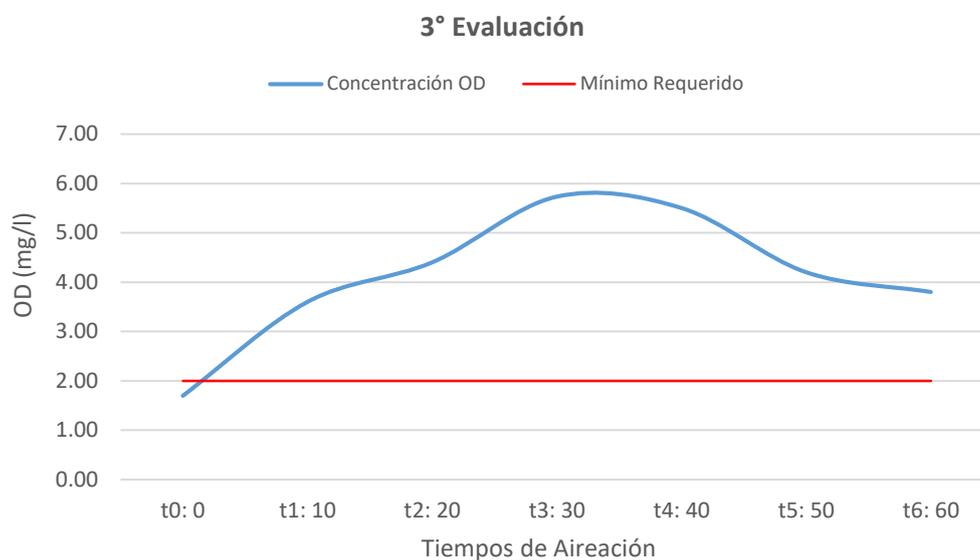
Según el gráfico el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto en la segunda evaluación fue la siguiente:

- Concentración de OD sin Oxigenación – **t₀: 0 minutos = 0.80 mg/l.**
- Concentración Máxima de OD con Oxigenación – **t₃: 30 minutos = 2.90 mg/l.**
- Concentración Mínima de OD con Oxigenación – **t₄: 40 minutos = 1.54 mg/l.**

Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto más eficiente en relación al mínimo requerido para la segunda evaluación corresponde al tercer tratamiento con 2.90 mg/l, después de un tiempo de aireación de 30 minutos; seguido por el cuarto tratamiento con una concentración de 1.54 mg/l con un tiempo de aireación de 40 minutos y con una concentración de 0.80 mg/l para un tratamiento cero con aireación de 00 minutos.

4.1.3 Concentración de oxígeno disuelto en la tercera evaluación

Gráfico 3: OD Tercera Evaluación



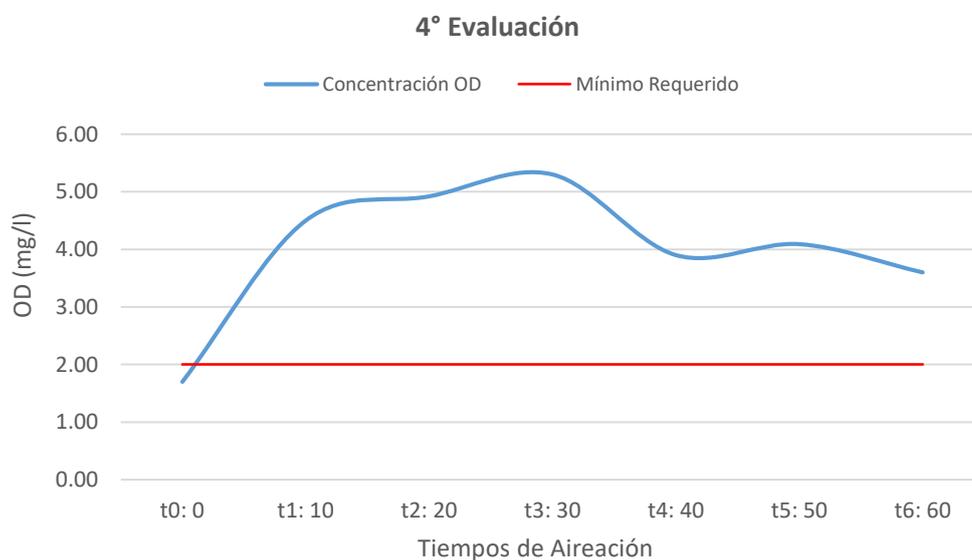
Según el gráfico el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto en la tercera evaluación fue la siguiente:

- Concentración de OD sin Oxigenación – **t₀: 0 minutos = 1.70 mg/l.**
- Concentración Máxima de OD con Oxigenación – **t₃: 30 minutos = 5.73 mg/l.**
- Concentración Mínima de OD con Oxigenación – **t₆: 60 minutos = 3.80 mg/l.**

Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto más eficiente en relación al mínimo requerido para la tercera evaluación corresponde al tercer tratamiento con 5.73 mg/l, después de un tiempo de aireación de 30 minutos; seguido por el sexto tratamiento con una concentración de 3.80 mg/l con un tiempo de aireación de 60 minutos y con una concentración de 1.70 mg/l para un tratamiento cero con aireación de 00 minutos.

4.1.4 Concentración de oxígeno disuelto en la cuarta evaluación

Gráfico 4: OD Cuarta Evaluación



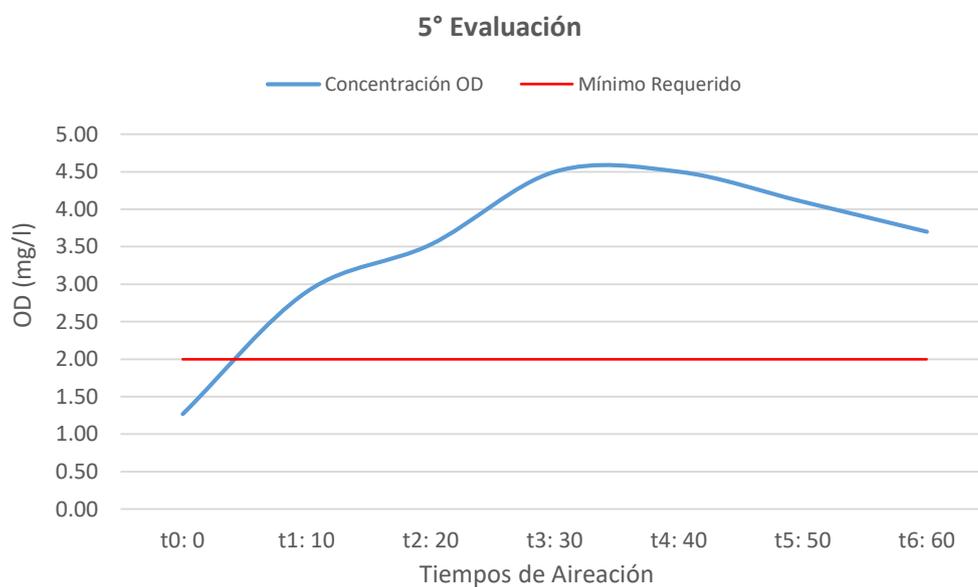
Según el gráfico el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto en la cuarta evaluación fue la siguiente:

- Concentración de OD sin Oxigenación – **t₀: 0 minutos = 1.70 mg/l.**
- Concentración Máxima de OD con Oxigenación – **t₃: 30 minutos = 5.30 mg/l.**
- Concentración Mínima de OD con Oxigenación – **t₆: 60 minutos = 3.60 mg/l.**

Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto más eficiente en relación al mínimo requerido para la cuarta evaluación corresponde al tercer tratamiento con 5.30 mg/l, después de un tiempo de aireación de 30 minutos; seguido por el sexto tratamiento con una concentración de 3.60 mg/l con un tiempo de aireación de 60 minutos y con una concentración de 1.70 mg/l para un tratamiento cero con aireación de 00 minutos.

4.1.5 Concentración de oxígeno disuelto en la quinta evaluación

Gráfico 5: OD Quinta Evaluación



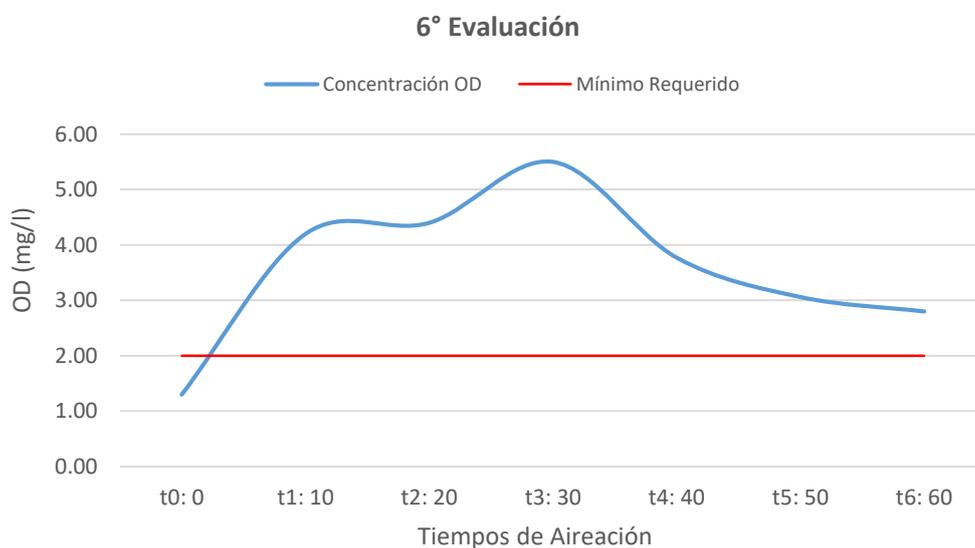
Según el gráfico el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto en la quinta evaluación fue la siguiente:

- Concentración de OD sin Oxigenación – **t₀: 0 minutos = 1.27 mg/l.**
- Concentración Máxima de OD con Oxigenación – **t₃ y t₄: 30 y 40 minutos = 4.50 mg/l.**
- Concentración Mínima de OD con Oxigenación – **t₆: 60 minutos = 3.70 mg/l.**

Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto más eficiente en relación al mínimo requerido para la quinta evaluación corresponde al tercer y cuarto tratamiento ambos con 4.50 mg/l, después de un tiempo de aireación de 30 y 40 minutos respectivamente; seguido por el sexto tratamiento con una concentración de 3.70 mg/l con un tiempo de aireación de 60 minutos y con una concentración de 1.27 mg/l para un tratamiento cero con aireación de 00 minutos.

4.1.6 Concentración de oxígeno disuelto en la sexta evaluación

Gráfico 6: OD Sexta Evaluación



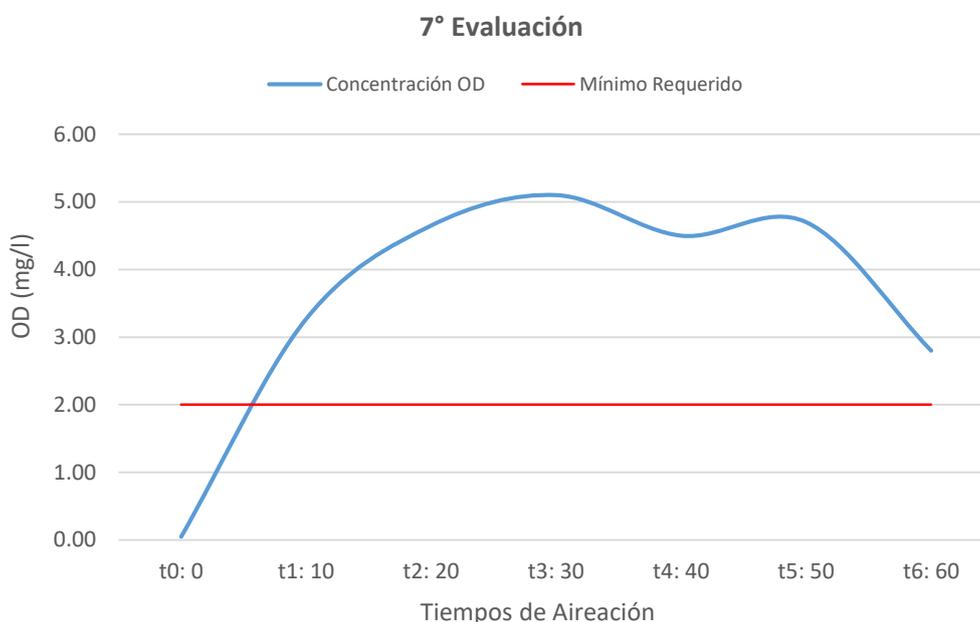
Según el gráfico el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto en la sexta evaluación fue la siguiente:

- Concentración de OD al Ingreso sin Oxigenación – **t₀: 0 minutos = 1.30 mg/l.**
- Concentración Máxima de OD con Oxigenación – **t₃: 30 minutos = 5.50 mg/l.**
- Concentración Mínima de OD con Oxigenación – **t₆: 60 minutos = 2.80 mg/l.**

Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto más eficiente en relación al mínimo requerido para la sexta evaluación corresponde al tercer tratamiento con 5.50 mg/l, después de un tiempo de aireación de 30 minutos; seguido por el sexto tratamiento con una concentración de 2.80 mg/l con un tiempo de aireación de 60 minutos y con una concentración de 1.30 mg/l para un tratamiento cero con aireación de 00 minutos.

4.1.7 Concentración de oxígeno disuelto en la séptima evaluación

Gráfico 7: OD Séptima Evaluación



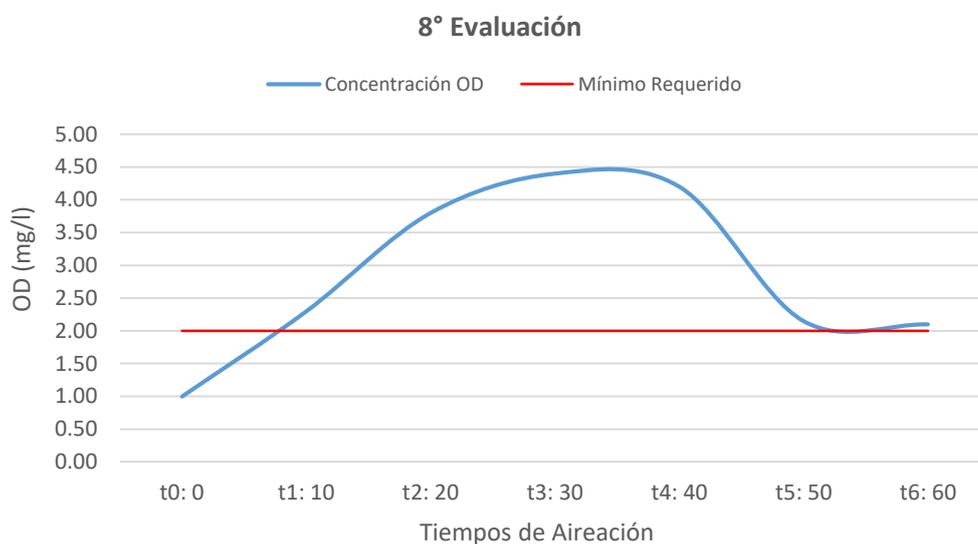
Según el gráfico el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto en la séptima evaluación fue la siguiente:

- Concentración de OD al Ingreso sin Oxigenación – **t₀: 0 minutos = 0.05 mg/l.**
- Concentración Máxima de OD con Oxigenación – **t₃: 30 minutos = 5.10 mg/l.**
- Concentración Mínima de OD con Oxigenación – **t₆: 60 minutos = 2.80 mg/l.**

Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto más eficiente en relación al mínimo requerido para la séptima evaluación corresponde al tercer tratamiento con 5.10 mg/l, después de un tiempo de aireación de 30 minutos; seguido por el sexto tratamiento con una concentración de 2.80 mg/l con un tiempo de aireación de 60 minutos y con una concentración de 0.05 mg/l para un tratamiento cero con aireación de 00 minutos.

4.1.8 Concentración de oxígeno disuelto en la octava evaluación

Gráfico 8: OD Octava Evaluación



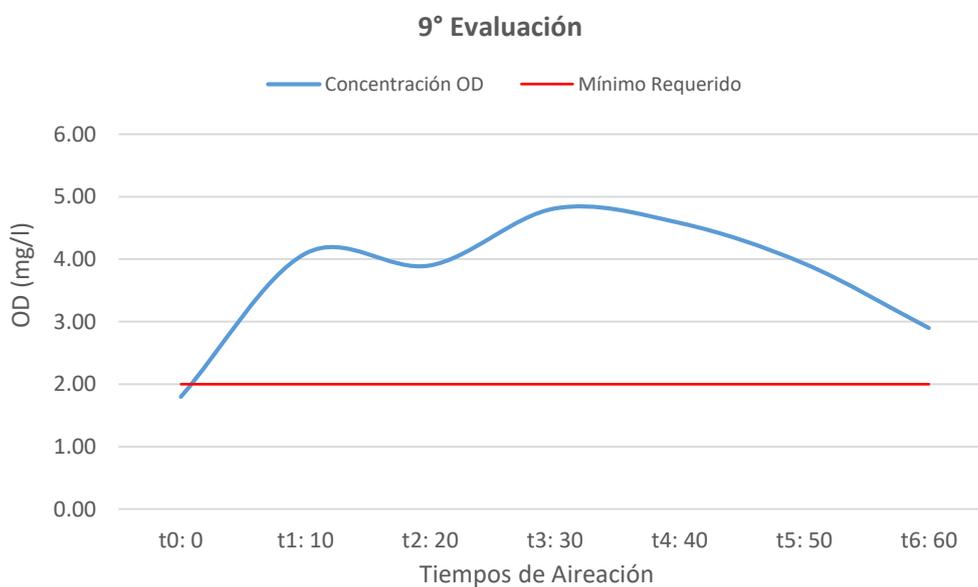
Según el gráfico el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto en la octava evaluación fue la siguiente:

- Concentración de OD al Ingreso sin Oxigenación – **t₀: 0 minutos = 1.00 mg/l.**
- Concentración Máxima de OD con Oxigenación – **t₃: 30 minutos = 4.40 mg/l.**
- Concentración Mínima de OD con Oxigenación – **t₆: 60 minutos = 2.10 mg/l.**

Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto más eficiente en relación al mínimo requerido para la octava evaluación corresponde al tercer tratamiento con 4.40 mg/l, después de un tiempo de aireación de 30 minutos; seguido por el sexto tratamiento con una concentración de 2.10 mg/l con un tiempo de aireación de 60 minutos y con una concentración de 1.00 mg/l para un tratamiento cero con aireación de 00 minutos.

4.1.9 Concentración de oxígeno disuelto en la novena evaluación

Gráfico 9: OD Novena Evaluación



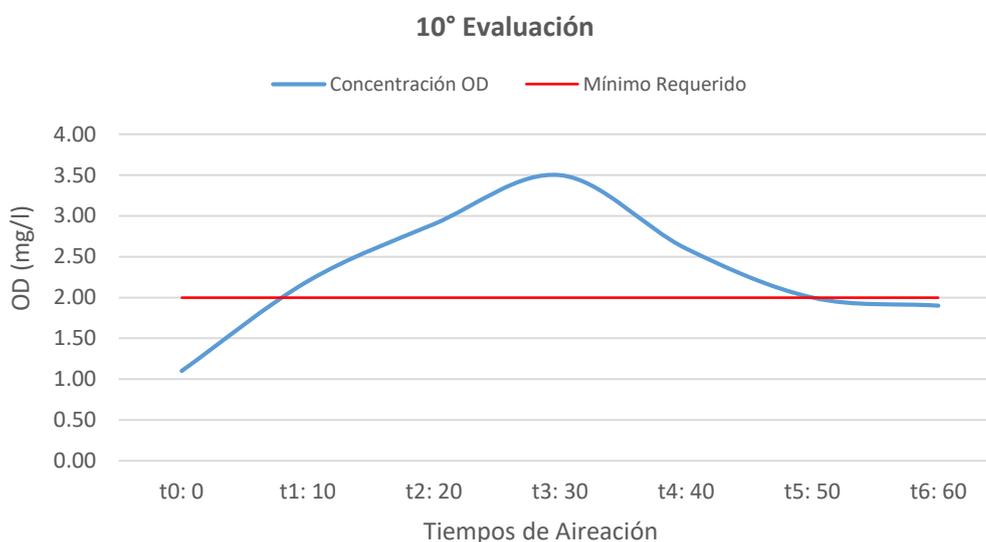
Según el gráfico el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto en la novena evaluación fue la siguiente:

- Concentración de OD al Ingreso sin Oxigenación – **t₀: 0 minutos = 1.80 mg/l.**
- Concentración Máxima de OD con Oxigenación – **t₃: 30 minutos = 4.81 mg/l.**
- Concentración Mínima de OD con Oxigenación – **t₆: 60 minutos = 2.90 mg/l.**

Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto más eficiente en relación al mínimo requerido para la novena evaluación corresponde al tercer tratamiento con 4.81 mg/l, después de un tiempo de aireación de 30 minutos; seguido por el sexto tratamiento con una concentración de 2.90 mg/l con un tiempo de aireación de 60 minutos y con una concentración de 1.80 mg/l para un tratamiento cero con aireación de 00 minutos.

4.1.10 Concentración de oxígeno disuelto en la décima evaluación

Gráfico 10: OD Décima Evaluación



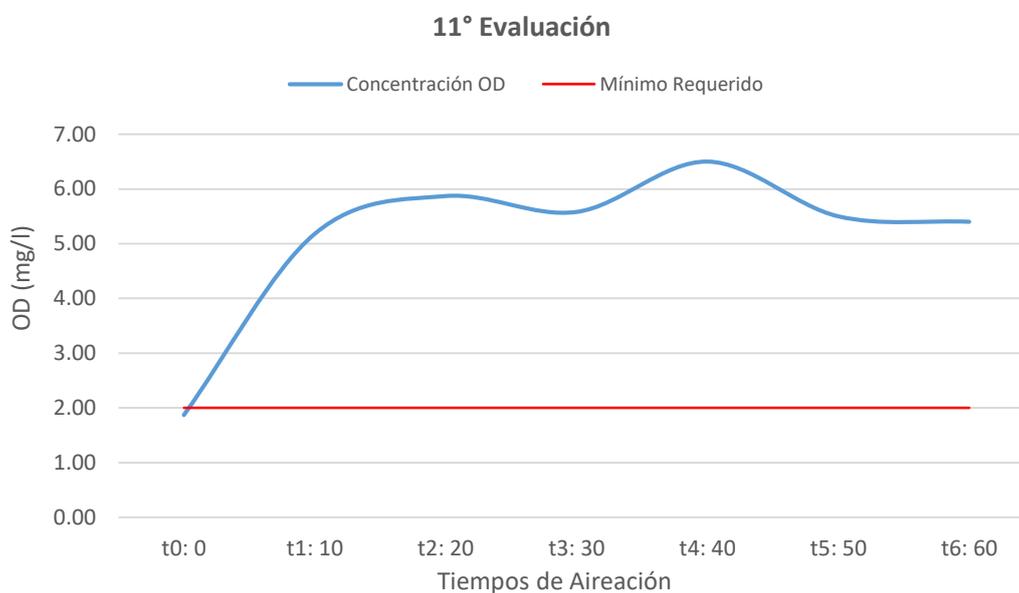
Según el gráfico el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto en la décima evaluación fue la siguiente:

- Concentración de OD al Ingreso sin Oxigenación – **t₀: 0 minutos = 1.10 mg/l.**
- Concentración Máxima de OD con Oxigenación – **t₃: 30 minutos = 3.50 mg/l.**
- Concentración Mínima de OD con Oxigenación – **t₆: 60 minutos = 1.90 mg/l.**

Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto más eficiente en relación al mínimo requerido para la décima evaluación corresponde al tercer tratamiento con 3.50 mg/l, después de un tiempo de aireación de 30 minutos; seguido por el sexto tratamiento con una concentración de 1.90 mg/l con un tiempo de aireación de 60 minutos y con una concentración de 1.10 mg/l para un tratamiento cero con aireación de 00 minutos.

4.1.11 Concentración de oxígeno disuelto en la onceava evaluación

Gráfico 11: OD Onceava Evaluación



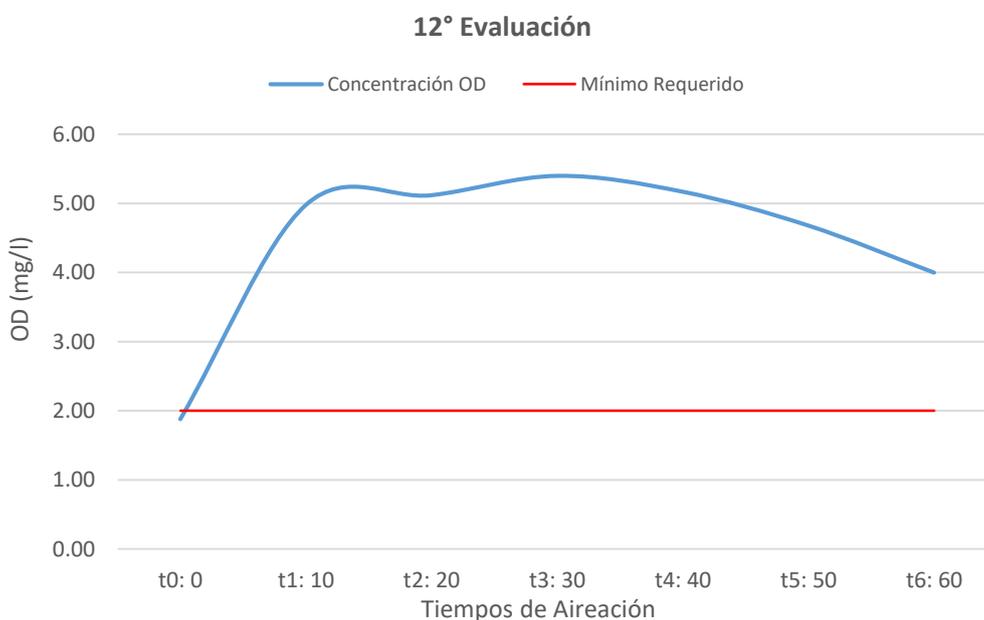
Según el gráfico el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto en la onceava evaluación fue la siguiente:

- Concentración de OD al Ingreso sin Oxigenación – **t₀: 0 minutos = 1.87 mg/l.**
- Concentración Máxima de OD con Oxigenación – **t₄: 40 minutos = 6.50 mg/l.**
- Concentración Mínima de OD con Oxigenación – **t₆: 60 minutos = 5.40 mg/l.**

Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto más eficiente en relación al mínimo requerido para la onceava evaluación corresponde al cuarto tratamiento con 6.50 mg/l, después de un tiempo de aireación de 40 minutos; seguido por el sexto tratamiento con una concentración de 5.40 mg/l con un tiempo de aireación de 60 minutos y con una concentración de 1.87 mg/l para un tratamiento cero con aireación de 00 minutos.

4.1.12 Concentración de oxígeno disuelto en la doceava evaluación

Gráfico 12: OD Doceava Evaluación



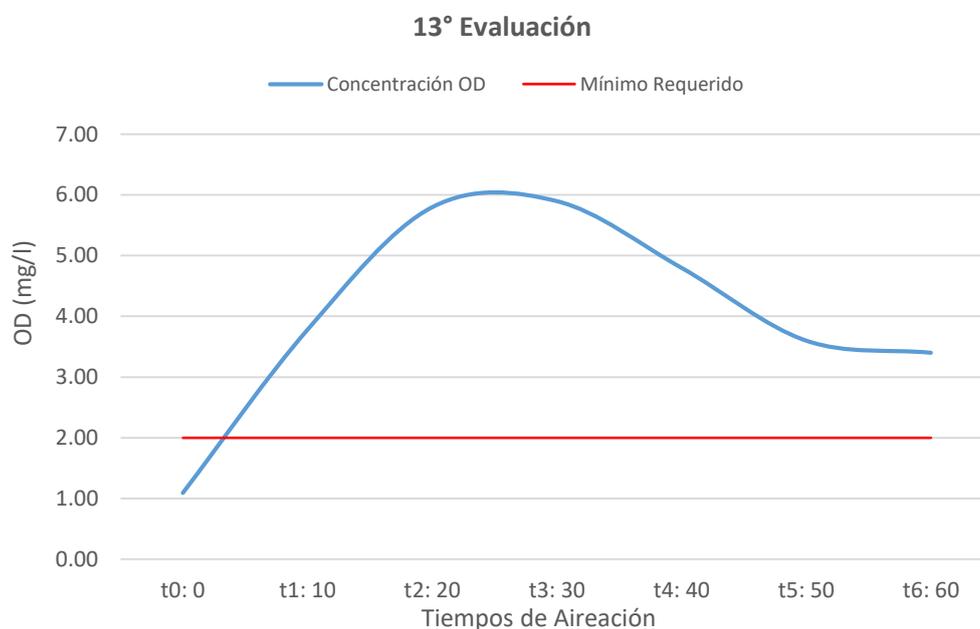
Según el gráfico el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto en la doceava evaluación fue la siguiente:

- Concentración de OD al Ingreso sin Oxigenación – **t₀: 0 minutos = 1.88 mg/l.**
- Concentración Máxima de OD con Oxigenación – **t₃: 30 minutos = 5.40 mg/l.**
- Concentración Mínima de OD con Oxigenación – **t₆: 60 minutos = 4.00 mg/l.**

Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto más eficiente en relación al mínimo requerido para la doceava evaluación corresponde a el tercer tratamiento con 5.40 mg/l, después de un tiempo de aireación de 30 minutos; seguido por el sexto tratamiento con una concentración de 4.00 mg/l con un tiempo de aireación de 60 minutos y con una concentración de 1.88 mg/l para un tratamiento cero con aireación de 00 minutos.

4.1.13 Concentración de oxígeno disuelto en la treceava evaluación

Gráfico 13: OD Treceava Evaluación



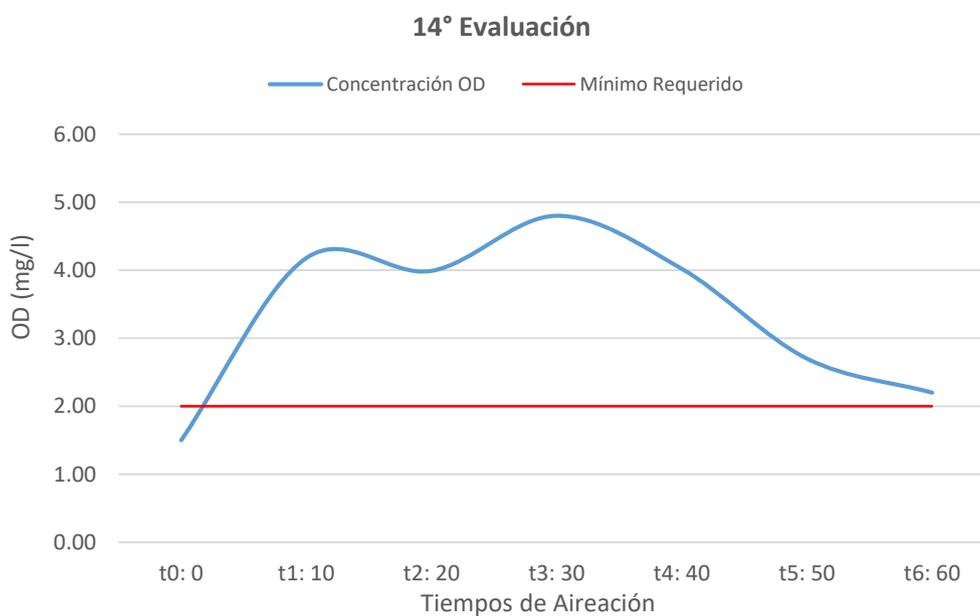
Según el gráfico el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto en la treceava evaluación fue la siguiente:

- Concentración de OD al Ingreso sin Oxigenación – **t₀: 0 minutos = 1.09 mg/l.**
- Concentración Máxima de OD con Oxigenación – **t₃: 30 minutos = 5.90 mg/l.**
- Concentración Mínima de OD con Oxigenación – **t₆: 60 minutos = 3.40 mg/l.**

Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto más eficiente en relación al mínimo requerido para la treceava evaluación corresponde a el tercer tratamiento con 5.90 mg/l, después de un tiempo de aireación de 30 minutos; seguido por el sexto tratamiento con una concentración de 3.40 mg/l con un tiempo de aireación de 60 minutos y con una concentración de 1.09 mg/l para un tratamiento cero con aireación de 00 minutos.

4.1.14 Concentración de oxígeno disuelto en la catorceava evaluación

Gráfico 14: OD Catorceava Evaluación



Según el gráfico el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto en la catorceava evaluación fue la siguiente:

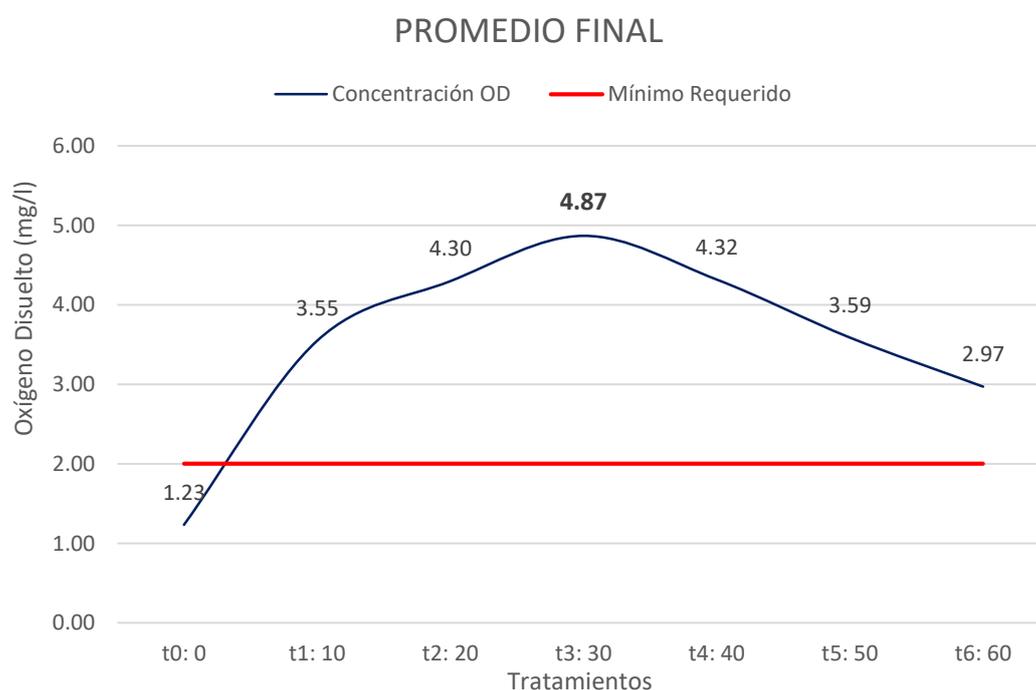
- Concentración de OD al Ingreso sin Oxigenación – **t₀: 0 minutos = 1.50 mg/l.**
- Concentración Máxima de OD con Oxigenación – **t₃: 30 minutos = 4.80 mg/l.**
- Concentración Mínima de OD con Oxigenación – **t₆: 60 minutos = 2.20 mg/l.**

Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto más eficiente en relación al mínimo requerido para la catorceava evaluación corresponde a el tercer tratamiento con 4.80 mg/l, después de un tiempo de aireación de 30 minutos; seguido por el sexto tratamiento con una concentración de 2.20 mg/l con un tiempo de aireación de 60 minutos y con una concentración de 1.50 mg/l para un tratamiento cero con aireación de 00 minutos.

4.1.15 Promedio del comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto

Una vez tabulados y procesados los datos de las concentraciones de oxígeno disuelto para todas las repeticiones y tratamiento respectivamente, se procedió a promediar los resultados; obteniéndose el siguiente gráfico:

Gráfico 15: Promedio OD / Tratamientos



De este gráfico se puede deducir que el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto es la siguiente:

- El promedio para el tratamiento **t₀: 0 minutos**, fue de: **1.23 mg/l**.
- El promedio para el tratamiento **t₁: 30 minutos**, fue de: **3.55 mg/l**.
- El promedio para el tratamiento **t₂: 30 minutos**, fue de: **4.30 mg/l**.
- El promedio para el tratamiento **t₃: 30 minutos**, fue de: **4.87 mg/l**.
- El promedio para el tratamiento **t₄: 30 minutos**, fue de: **4.32 mg/l**.
- El promedio para el tratamiento **t₅: 30 minutos**, fue de: **3.59 mg/l**.
- El promedio para el tratamiento **t₆: 60 minutos**, fue de: **2.97 mg/l**.

En términos generales se puede apreciar que los promedios finales de todas las repeticiones realizadas dieron como resultado los siguientes valores en orden ascendente; para el tratamiento t_0 con un valor de 1.23 mg/l, seguido del tratamiento t_6 con un valor de 2.97 mg/l, luego el tratamiento t_1 con el valor de 3.55 mg/l, luego el tratamiento t_5 con el valor de 3.59, seguido del t_2 con un valor de 4.30 mg/l, luego el tratamiento t_4 con el valor de 432 mg/l y finalmente el tratamiento t_3 con el valor de 4.87 mg/l. Todos estos valores han sido comparados con el valor referencial de 2.00 mg/l (valor que se estableció como mínimo recomendable para un correcto funcionamiento del reactor de lodos activados en prueba).

4.2 Interpretación de los Análisis de Estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el Software IBM SPSS, obteniéndose los siguientes resultados para las pruebas más usuales utilizadas para este tipo de estudios de investigación.

4.2.1 Análisis de Varianza para un Factor – ANOVA

Cuadro 1. ANOVA de un Factor

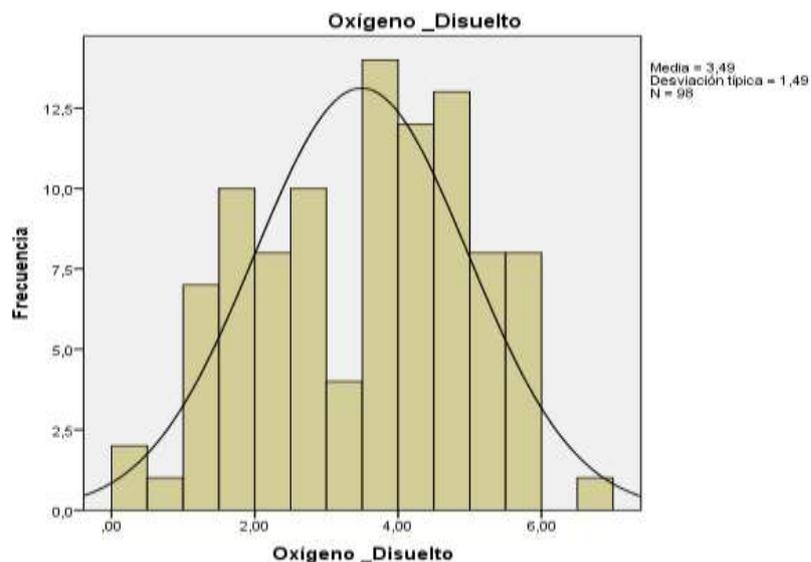
Factor de Variabilidad	Suma de Cuadrados	gl (Grados de Libertad)	Media Cuadrática	F (Valor F)	Sig. (P – Valor)
Inter-grupos (Tratamientos)	117,211	6	19,535	18,127	,000
Intra-grupos (Error)	98,068	91	1,078		
Total	215,280	97			

Conclusión: como el valor del cuadrado medio de los tratamientos (19,535); es superior al cuadrado medio del error (1,078) podemos concluir lo siguiente: que sí existe diferencia significativa entre los seis tratamientos aplicados (t_1 : 10 minutos, t_2 : 20 minutos, t_3 : 30 minutos, t_4 : 40 minutos, t_5 : 50 minutos y t_6 : 60 minutos, y un testigo t_0 : 0 minutos), con relación al suministro de oxígeno en los reactores biológicos y el testigo al cual no se le suministró oxígeno (t_0 : 0 minutos), resultado de esto se aprecia que para el t_3 : 30 minutos la concentración al oxígeno disuelto es mayor a las demás cumpliendo de esta manera con los requerimientos normativos requeridos por nuestra normativa nacional; aceptando la hipótesis que indica la existencia de efecto en la eficiencia de un reactor de lodos activados a escala de laboratorio en la concentración de oxígeno disuelto en aguas residuales domésticas; a un **nivel del confianza del 95%**.

Además, en el procesamiento estadístico en el software IBM SPSS se obtiene: que la significancia (última columna de la Cuadro 1. ANOVA de un factor) es de 0,000; confirmando de esta manera la aceptación de la hipótesis porque este valor (P – Valor) es menor que el **nivel de significancia propuesto por el investigado 5%**.

4.2.2 Histograma de Frecuencia

Gráfico 16: Histograma de Frecuencia



4.2.3 Subconjuntos Homogéneos

Cuadro 2. Subconjuntos Homogéneos

Prueba	Tiempo	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
			1	2	3	4
Student-Newman-Keuls ^a	T0	14	12,343			
	T6	14		29,214		
	T1	14		34,793	34,793	
	T5	14		35,007	35,007	
	T4	14			41,671	41,671
	T2	14			42,343	42,343
	T3	14				48,857
	Sig.			1,000	,307	,225
HSD de Tukey ^a	T0	14	12,343			
	T6	14		29,214		
	T1	14		34,793	34,793	
	T5	14		35,007	35,007	
	T4	14			41,671	41,671
	T2	14			42,343	42,343
	T3	14				48,857
	Sig.			1,000	,758	,470
Duncan ^a	T0	14	12,343			
	T6	14		29,214		
	T1	14		34,793	34,793	
	T5	14		35,007	35,007	
	T4	14			41,671	41,671
	T2	14			42,343	42,343
	T3	14				48,857
	Sig.			1,000	,168	,082

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 14.000.

Conclusión: que a un **nivel de significancia del 5%**, al comparar las pruebas de rango múltiple se obtiene los mismos resultados, es decir que existe diferencias significativas entre las medias comparadas en la aplicación de oxígeno disuelto para los diferentes tratamientos y el **nivel de confianza** de los mismos (**95%**). Es decir, para las pruebas de rango múltiple de Student-Newman-Keuls^a la significancia es de 0,307; para la prueba de rango múltiple de HSD de Tukey^a la significancia es de 0,758; y para la prueba de rango múltiple de Duncan es de 0,168.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se determinó que la eficiencia de un reactor de lodos activados a escala de laboratorio en la concentración de oxígeno disuelto en aguas residuales domésticas corresponde al tercer tratamiento (t_3 : 30 minutos de aireación), llegando a una concentración promedio del estudio de 4.87 mg/l.
- Se realizó la medición de las diferentes concentraciones de oxígeno disuelto con un equipo digital certificado y calibrado. Se consideraron siete concentraciones de acuerdo a los tratamientos realizados.
- Se realizó la medición de los diferentes tiempos de aireación de acuerdo al diseño de experimentación propuesto. Se consideraron seis tiempos de aireación con intervalos de diez minutos entre los mismos y un tiempo de cero minutos considerado como muestra testigo.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda la continuidad de este tipo de trabajos de investigación con la finalidad de complementar los estudios que ayuden a determinar el tipo de tratamiento que se debería aplicar a las aguas residuales domésticas en los diversos entornos de nuestro país.
- Se recomienda realizar la caracterización de los componentes gaseosos del aire que ingresa al sistema de inyección de aire de los reactores biológicos.
- Se sugiere realizar la caracterización microbiológica del agua residual de los reactores biológicos, con la finalidad de determinar la factor benéfico o adverso del oxígeno y otros gases disueltos sobre éstos.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alpírez, J., Aviléz, K., Castillo, H., Pinzón, I., Poveda, R. y Vallester, E. (2017). Evaluación de un sistema biológico de lodos activados a escala de laboratorio. *Revista de Iniciación Científica*, 3 (1), 50-57.
- Aragón, C. (2009). *Optimización del Proceso de Lodos Activos para Reducir la Generación de Fangos Residuales (Tesis doctoral)*. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Departamento de Tecnologías del Medio Ambiente, Cádiz, España.
- Castillo, A. y Guerra, M. (2014). *Diseño e Implementación de una PTAR por Lodos Activos a Escala de Laboratorio (Tesis de grado)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Caravali, M., Lote, M. y Echeverry, L. (2016). Evaluación de los Parámetros Físicoquímicos en un Reactor Discontinuo de Lodos Activados para el Tratamiento de Aguas con Metanol. *Revista Ingeniería*, 2 (1), 98-110.
- Chirán, R. (s.f.). *Simulación de un Sistema de Lodos Activados de Aireación Extendida a Escala Laboratorio para el Tratamiento de Aguas Residuales*. III Exposición de Trabajos UNIMAR, Nariño, Colombia.
- Delgado, J., Rennola, L. y Lugo, S. (2006). Diseño y Construcción de una Planta Piloto para el Tratamiento de Aguas Residuales por Lodos Activados y su Puesta en Marcha para tratar Vinazas de una Destilería. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 27 (3), 145-151.

- Fondo Nacional del Ambiente. (2010). Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú. Recuperado de www.fonam.gob.pe.
- García, J. y Torres, E. (2019). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la variación de oxígeno disuelto, temperatura, y remoción de sólidos suspendidos totales, en Celendín – Cajamarca (Tesis de Grado)*. Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de Celendín, Cajamarca, Perú.
- Hernández, A., Hernández, A. y Galán, P. (1996). *Manual de Depuración Uralita: Sistemas para Depuración de Aguas Residuales en Núcleos de hasta 20 000 habitantes*. Madrid, España: Editorial Paraninfo S.A.
- Larios-Meño, J., González, C., y Morales, Y. (07 de octubre de 2015). *Las Aguas Residuales y su Consecuencia en el Perú*. Saber y Hacer, volumen 2 (2), p. 09-25.
- Marín, A. y Osés, M. (2013). *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados*. Jalisco, México: Editorial CEA Jalisco.
- Martín, I., Betancort, J., Salas, J., Peñate, B., Pidre, J. y Sardón, N. (2006). *Guía sobre Tratamientos de Aguas Residuales Urbanas para Pequeños Núcleos de Población: Mejora de la Calidad de los Efluentes*. España: Editorial ITC.
- Méndez, L., Miyashiro, V., Rojas, M., Cotrado y Carrasco, N. (2004). Tratamiento de Aguas Residuales mediante Lodos Activados a Escala de Laboratorio. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*, 7 (14), 74-83.

- Menéndez, C. y Pérez, J. (2007). *Procesos para el Tratamiento Biológico de Aguas Residuales Industriales*. La Habana, Cuba: Editorial Universitaria.
- Metcalf y Eddy, Inc. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Madrid, España: Editorial Mac Graw Hill / Interamericana de España, S. A.
- Núñez, M. y Torres, E. (2019). *Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cajabamba - Cajamarca. Alternativas para mejorar su tratamiento (Tesis de Grado)*. Universidad Nacional de Cajamarca, Unidad de Postgrado, Doctorado en Ciencias. Cajamarca, Perú.
- Oakley, S y Salguero, L. (Ed.). (2011). *Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica: Un Manual de Experiencias, Diseño, Operación y Sostenibilidad*. Estados Unidos de América: Editorial USAID.
- Pabón, S. y Suárez, J. (2009). Arranque y Operación a Escala Real de un Sistema de Tratamiento de Lodos Activos para Aguas Residuales de Matadero. *Revistas de Ingeniería e Investigación*, 29 (2), 53-58.
- Pérez, S. (Octubre de 2002). *Estudio Dinámico de un Proceso por Lodos Activados bajo Condiciones Limitantes en Oxígeno Disuelto*. XXXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México.
- Quispe, F. y Torres, E. (2019). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la reducción de la demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno en Celendín – Cajamarca (Tesis de Grado)*. Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de Celendín, Cajamarca, Perú.

- Ramalho, R. (1990). *Tratamiento de Aguas Residuales*. España: Editorial Reverté.
- Sawyer, C. y Mc Carty. (1978). *Chemistry for Environmental Engineering (3rd ed)*. New York, United States: Editorial McGrawHill Book Company.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2015). Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Ámbito de Operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento. Recuperado de www.sunass.gob.pe.
- Varila, J. y Díaz, F. (2008). Tratamiento de Aguas Residuales Mediante Lodos Activados a Escala Laboratorio. *Revista de Tecnología*.
- Verástegui, S. (2014), *Puesta en Marcha de una Planta Piloto de Fangos Activos (Trabajo maestría)*. Universidad de Valladolid, Paseo del Prado de la Mergelina, Valladolid, España.
- Wills, B., Castro, C. y Correa, M. (2010), Evaluación de un Clarificador de Manto de Lodos a Escala de Laboratorio. *Revista EIA*, (14), 53-65.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

6.1 Determinación del punto de muestreo y material de análisis

Figura 10: Ubicación del punto de muestreo.



Figura 11: Reactores biológicos





Figura 12. Modelo básico del reactor biológico.

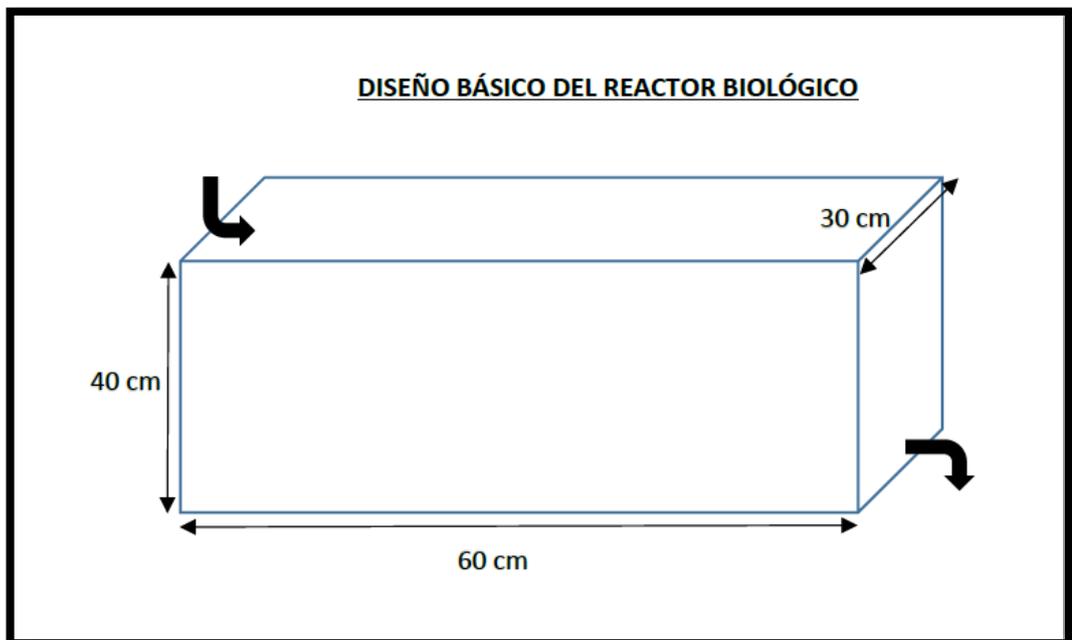


Figura 13. Sistema de simulación de alimentación para reactores biológicos



Figura 14: Multiparámetro YSI para análisis de calidad de agua



Figura 15: Compresor de aire



6.2 Toma de muestras y análisis de laboratorio

Figura 16: Extracción de agua residual para muestreo



Figura 17: Transporte del agua residual para análisis



Figura 18: Llenado y activación de reactores biológicos con agua residual



Figura 19: Análisis de OD para los diversos tratamientos

