

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS EN LA CALIDAD DE
EFLUENTES DEL CAMAL MUNICIPAL DE EL PORVENIR”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Autores:

Jordy Nilson Sánchez Sánchez

Yeison Makeck Villaverde Felix

Asesor:

Ing. Luis Alva Díaz

El Porvenir, Trujillo - Perú

2020



DEDICATORIA

La presente investigación lo dedicamos principalmente a Dios, por habernos inspirado y dado fuerzas para culminar este arduo proceso con satisfacción y obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, por su constante apoyo en el transcurso de nuestra carrera, ya que gracias a ellos hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser sus hijos, son los mejores padres.

A nuestros familiares por estar siempre presentes, acompañándonos y brindándonos su apoyo moral, a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

Y a todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos para hacer realidad este trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por bendecirnos con la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

Gracias a nuestros padres: Eva y Marcos; y, Elizabeth Sánchez, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nosotros, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada del Norte – Campus San Isidro, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, al Ingeniero Luis Alva Díaz y al Ingeniero Ilich Llaque Fernandez, quienes nos asesoraron en nuestro proyecto de investigación quienes han guiado con su paciencia, y su rectitud como docentes, y al personal del Camal Municipal del Porvenir, especialmente al encargado del mismo, el Doctor Alindor por su valioso aporte para nuestra investigación.

A la Universidad Privada del Norte – Campus San Isidro por habernos brindado la facilidad de acceso a sus laboratorios de aguas para los análisis de nuestro trabajo. Y también a su biblioteca física que nos ayudó en la recopilación de información.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	10
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Realidad problemática.....	14
Realidad problemática	14
Justificación.....	16
Antecedentes.....	17
Marco conceptual	23
Marco normativo	32
1.2. Formulación del problema	33
1.3. Objetivos	34
1.3.1. Objetivo General.....	34
1.3.2. Objetivos específicos	34
1.4. Hipótesis.....	34
CAPITULO II. MÉTODO.....	34
2.1. Tipo de investigación	34
Diseño de investigación.....	35
2.2. Materiales, instrumentos y métodos.....	37

2.2.1.	Materiales.....	37
2.2.2.	Instrumentos.....	39
2.2.3.	Métodos.....	39
2.3.	Procedimientos	44
2.4.	Variables de la investigación.....	59
2.5.	Población y muestra	59
2.6.	Ubicación del Sistema de Lodos Activados a escala de laboratorio.	59
2.7.	Descripción sobre el sistema de lodos activados a escala de laboratorio.....	60
2.8.	Aspectos éticos	62
CAPITULO III. RESULTADOS		63
3.1.	Resultados de la concentración de DBO ₅ , DQO, SST y AyG en el efluente del camal municipal de El Porvenir.....	63
3.2.	Resultados de la concentración de DBO ₅ , DQO, SST y AyG en el efluente del pretratamiento.....	66
3.3.	Resultados de la concentración de DBO ₅ , DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados	69
3.4.	Resultados de la eficacia del sistema de lodos activados en la calidad de efluentes del camal municipal de El Porvenir.	72
3.5.	Comparación de la concentración de DBO ₅ , DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados con los Valores Máximos Admisibles (VMA).....	80
CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		83
4.1.	Discusión.....	83

4.2. Conclusiones	87
Referencias.....	88
ANEXOS.....	97
ANEXO 1. Matriz de Consistencia	97
ANEXO 2. Matriz de operacionalización de variables	99
ANEXO 3. Nomenclatura del diagrama del sistema de lodos activados	100
ANEXO 4. Cadena de custodia.....	102
ANEXO 5. Formato de análisis de laboratorio	103
ANEXO 6. Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario	104
ANEXO 7. Procedimiento y cálculos para la toma de las muestras compuestas.....	105
ANEXO 8. Resultados de la caracterización pre – diseño del efluente del camal y del pretratamiento.....	106
ANEXO 9. Memoria de cálculo para el diseño del sistema de lodos activados	107
ANEXO 10. Plano del sistema de lodos activados a escala de laboratorio	115
ANEXO 11. Determinación de la tasa de transferencia de oxígeno del sistema de aireación	116
ANEXO 12. Monitoreo de las concentraciones de SSV en el reactor y en la descarga del clarificado.....	121
ANEXO 13. Parámetros de operación del sistema de lodos activados.....	122
ANEXO 14. Resultados de las concentraciones de nitrógeno y fósforo para el diseño del sistema de lodos activados.	123

ANEXO 15. Fotografías del trabajo de investigación..... 125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores referenciales para el sistema de lodos activados	28
Tabla 2: Parámetros de diseño típicos para el sistema de lodos activados	28
Tabla 3: Parámetros biocinéticos típicos de distintas aguas residuales	30
Tabla 4: Parámetros biocinéticos seleccionados para el diseño del sistema de lodos activados	48
Tabla 5: Especificaciones técnicas de las bombas de aire	55
Tabla 6: Resultados de DBO ₅ , DQO, SST y AyG del efluente del camal.....	63
Tabla 7: Resultados de DBO ₅ , DQO, SST y AyG del efluente del pretratamiento.....	66
Tabla 8: Resultados de DBO ₅ , DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados	69
Tabla 9: Resultados pre prueba (efluente del pretratamiento) vs posprueba (efluente del sistema de lodos activados).....	72
Tabla 10: Reporte de la prueba t-Student para muestras relacionadas – DBO ₅	73
Tabla 11: Reporte de la prueba t-Student para muestras relacionadas – DQO.....	74
Tabla 12: Reporte de la prueba t-Student para muestras relacionadas – SST	75
Tabla 13: Reporte de la prueba t-Student para muestras relacionadas – AyG.....	76
Tabla 14: Resultados de la eficiencia del sistema de lodos activados	77
Tabla 15: Comparación de resultados del efluente del sistema de lodos activados con los VMA	80
Tabla 16: Matriz de consistencia	97
Tabla 17: Matriz de operacionalización de variables	99
Tabla 18: Cálculos para la toma de muestra compuesta.....	105
Tabla 19: Caracterización pre-diseño del efluente del camal municipal de El Porvenir	106

Tabla 20: Caracterización pre-diseño del efluente del pretratamiento.	106
Tabla 21: Datos sobre la alimentación inicial al sistema de lodos activados	107
Tabla 22: Datos sobre la calidad deseada del efluente del sistema de lodos activados	107
Tabla 23: Información y datos de partida para el diseño del sistema de lodos activados.....	108
Tabla 24: Cálculos para determinar el volumen del reactor	109
Tabla 25: Necesidades de oxígeno y producción de biomasa del sistema de lodos activados	110
Tabla 26: Relación de reciclado y cálculo de caudales restantes para el sistema de lodos activados	110
Tabla 27: Balance de materia de los sólidos no volátiles	110
Tabla 28: Producción total de lodos y cálculo de la DBO ₅ y SSV en la alimentación combinada.....	111
Tabla 29: Neutralización y nutrientes requeridos	112
Tabla 30. Dimensionamiento del reactor o tanque de aireación.....	113
Tabla 31. Dimensionamiento del clarificador secundario.	113
Tabla 32. Dimensionamiento de la base del clarificador secundario.....	113
Tabla 33: Resultados de oxígeno disuelto en el tiempo.....	117
Tabla 34: Resultados de déficit (Cs-Ct) en el tiempo	118
Tabla 35: Resultados de déficit (Cs-Co) / (Cs-Ct) en el tiempo	118
Tabla 36: Resultados de déficit (Cs-Ct) en el tiempo con la recta encontrada	119
Tabla 37: Tabla 37: Determinación del coeficiente de transferencia K _L a	120
Tabla 38: Determinación del número de bombas y la potencia total en watts	120
Tabla 39: Concentración de SSV en el reactor y en la descarga del clarificador durante el periodo de operación.....	121

Tabla 40: Tabla 40: Parámetros de operación del sistema de lodos activados durante el periodo de trabajo	122
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama del proceso de lodos activados.	27
Figura 2. Diseño de Investigación	36
Figura 3: Sistema de pretratamiento construido.	44
Figura 4: Vertedero rectangular con contracción.....	47
Figura 5: Ubicación del Sistema de Lodos Activados a escala de laboratorio.	60
Figura 6: Cribado del efluente del camal municipal de El Porvenir.....	61
Figura 7: Sistema de lodos activados a escala de laboratorio construido.....	62
Figura 8: Concentración de DBO ₅ del efluente del camal municipal de El Porvenir.....	64
Figura 9: Concentración de DQO del efluente del camal municipal de El Porvenir.....	64
Figura 10: Concentración del efluente del camal municipal de El Porvenir	65
Figura 11: Concentración de Aceites y grasas del efluente del camal municipal de El Porvenir	65
Figura 12: Concentración de DBO ₅ del efluente del pretratamiento	67
Figura 13: Concentración de DQO del efluente del pretratamiento	67
Figura 14: Concentración de SST del efluente del pretratamiento	68
Figura 15: Concentración de Aceites y Grasas del efluente del pretratamiento	68
Figura 16: Concentración de DBO ₅ del efluente del sistema de lodos activados.....	70
Figura 17: Concentración de DQO del efluente del sistema de lodos activados.....	70
Figura 18: Concentración de SST del efluente del sistema de lodos activados.....	71
Figura 19: Concentración de Aceites y Grasas del efluente del sistema de lodos activados...	71
Figura 20: Concentración de DBO ₅ en la pre prueba y posprueba	73
Figura 21: Concentración de DQO en la pre prueba y posprueba	74

Figura 22: Concentración de SST en la pre prueba y pos prueba	75
Figura 23: Concentración de Aceites y Grasas en la pre prueba y pos prueba	76
Figura 24: Eficiencia del sistema de lodos activados en la remoción de DBO ₅	78
Figura 25: Eficiencia del sistema de lodos activados en la remoción de DQO	78
Figura 26: Eficiencia del sistema de lodos activados en la remoción de SST	79
Figura 27: Eficiencia del sistema de lodos activados en la remoción de aceites y grasas	79
Figura 28: Concentración de DBO ₅ del efluente del sistema de lodos activados vs VMA	81
Figura 29: Concentración de DQO del efluente del sistema de lodos activados vs VMA	81
Figura 30: Concentración de SST del efluente del sistema de lodos activados vs VMA	82
Figura 31: Concentración de Aceites y Grasas del efluente del sistema de lodos activados vs VMA	82
Figura 32: Cadena de custodia	102
Figura 33: Formato de análisis de laboratorio	103
Figura 34: Valores Máximos Admisibles (VMA)	104
Figura 35: Diagrama de flujo del diseño del sistema de lodos activados construido	114
Figura 36: Plano del sistema de lodos activados a escala de laboratorio	115
Figura 37: Tiempo de Aireación vs oxígeno disuelto	117
Figura 38: Tiempo de Aireación por difusión vs (Cs-Ct)	119
Figura 39: Resultados de las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el agua residual para el diseño del sistema de lodos activados (parte 1)	123
Figura 40: Resultados de las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el agua residual para el diseño del sistema de lodos activados (parte 2).	124
Figura 41: Punto de muestreo en el camal municipal de El Porvenir	125
Figura 42: Toma de muestra del efluente del camal municipal de El Porvenir	125
Figura 43: Homogenización de la muestra puntual tomada	126

Figura 44: Proceso de cribado de la muestra.	126
Figura 45: Determinación de SST en el laboratorio.	127
Figura 46: Instalación de tuberías en el sistema de lodos activados a escala de laboratorio.	127
Figura 47: Determinación del caudal de alimentación con una probeta graduada.	128
Figura 48: Ensayo de determinación de transferencia de oxígeno de las bombas de aire.	128

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Determinación de la eficacia de sistema de lodos activados	43
Ecuación 2: Ecuación para determinar el volumen de la alícuota	46
Ecuación 3: Determinación del caudal del efluente del camal	46
Ecuación 4: Carga Orgánica consumida	49
Ecuación 5: Estimación preliminar de la potencia.....	49
Ecuación 6: Temperatura del licor de mezcla en el reactor	49
Ecuación 7: Recalculo de k en función de T_w	49
Ecuación 8: Recalculo de k_d en función de T_w	49
Ecuación 9: Recalculo de b en función de T_w	49
Ecuación 10: Tiempo de residencia a partir de la DBO_5 soluble.....	50
Ecuación 11: Tiempo de residencia según las condiciones óptimas de floculación.....	50
Ecuación 12: Relación A/M	50
Ecuación 13: DBO_5 soluble en el efluente.....	50
Ecuación 14: Volumen del reactor.....	51
Ecuación 15: Demanda de oxígeno.....	51
Ecuación 16: Producción neta de biomasa.....	51
Ecuación 17: Relación de reciclado	51
Ecuación 18: Caudal de recirculación.....	51
Ecuación 19: Caudal en la alimentación combinada	51

Ecuación 20: Caudal de purga	51
Ecuación 21: Caudal del efluente del clarificador	51
Ecuación 22: Caudal de la descarga del clarificador	52
Ecuación 23: Sólidos suspendidos no volátiles en el reactor.....	52
Ecuación 24: Sólidos suspendidos no volátiles en el clarificador secundario	52
Ecuación 25: Sólidos suspendidos no volátiles en la alimentación inicial	52
Ecuación 26: Caudal másico de los SSV en la corriente de purga	52
Ecuación 27: Caudal másico de SSNV en la corriente de purga	52
Ecuación 28: Caudal másico de SST en la corriente de purga	52
Ecuación 29: DBO ₅ soluble en la alimentación combinada	52
Ecuación 30: SSV en la alimentación combinada	52
Ecuación 31: Alcalinidad consumida.....	53
Ecuación 32: Alcalinidad en alimentación inicial	53
Ecuación 33: Nitrógeno perdido en el sistema por purga de lodos.....	53
Ecuación 34: Nitrógeno perdido en el efluente.....	53
Ecuación 35: Nitrógeno total perdido	53
Ecuación 36: Nitrógeno disponible.....	54
Ecuación 37: Fósforo perdido el sistema por purga de lodos	54
Ecuación 38: Fósforo perdido en el efluente	54
Ecuación 39: Fósforo total perdido.....	54
Ecuación 40: Fósforo disponible	54
Ecuación 41: Ecuación del coeficiente de transferencia de oxígeno	56
Ecuación 42: Ecuación de $K_L a$ en el ensayo.....	57
Ecuación 43: $K_L a$ a 20°C	57
Ecuación 44: Capacidad de oxigenación	57

RESUMEN

La presente investigación cuantitativa, experimental y aplicada, tuvo como objetivo determinar la influencia del sistema de lodos activados en la calidad de los efluentes del camal de El Porvenir. Para tal fin, se realizó una primera caracterización de los efluentes del camal para diseñar el sistema de lodos activados y se determinó la necesidad de aplicar un pretratamiento, que consistió de cribas conformadas por rejillas de 2, 1 y 0.5 cm y un separador por gravedad que permitió la sedimentación de sólidos y la flotación de aceites y grasas. Después, se tomaron muestras simples de los efluentes del camal, del efluente del pretratamiento y del efluente del sistema de lodos activados durante 12 días diferentes y se analizó la Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅, la Demanda Química de Oxígeno DQO, Sólidos Suspendedos Totales – SST y Aceites y Grasas AyG. La evaluación del sistema se realizó a partir del cálculo de la eficacia de remoción del sistema para los parámetros la DBO₅, DQO, SST y AyG. Como resultados se obtuvo que la eficacia para DBO₅ es 93.52%, para DQO es 92%, para SST es 91.54% y para AyG es de 2.96% sistema. Finalmente se concluye que el sistema de lodos activados influye significativamente en la calidad de efluentes del camal de El Porvenir, ya que estadísticamente el porcentaje de remoción de contaminantes es significativo.

Palabras clave: lodos activados, efluentes, pretratamiento, caracterización.

ABSTRACT

The objective of this quantitative, experimental and applied research was to determine the influence of the activated sludge system on the quality of the effluents from the El Porvenir stream. For this purpose, a first characterization of the effluents of the bed was carried out to design the activated sludge system and the need to apply a pre-treatment was determined, which consisted of screens made up of 2, 1 and 0.5 cm bars and a gravity separator that allowed the sedimentation of solids and the floating of oils and fats. Afterwards, simple samples were taken from the effluents of the bed, the effluent from the pretreatment and the effluent from the activated sludge system for 12 different days and the Biological Oxygen Demand BOD₅, the Chemical Oxygen Demand COD, Total Suspended Solids - TSS were analyzed and Oils and Fats O&F. The evaluation of the system was carried out from the calculation of the removal efficiency of the system for the parameters BOD₅, COD, SST and AyG. As results it was obtained that the efficiency for BOD₅ is 93.52%, for COD it is 92%, for SST it is 91.54% and for O&F it is 2.96% system. Finally, it is concluded that the activated sludge system significantly influences the effluent quality of the El Porvenir stream, since statistically the percentage of pollutant removal is significant.

Key words: sludge activated, effluent, pretreatment, characterization.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Realidad problemática

En el mundo existen millones de personas que sufren enfermedades a causa de la carencia de vitaminas y minerales fundamentales como la vitamina A, yodo, hierro y zinc. Estas carencias se presentan cuando las personas no tienen un acceso adecuado a alimentos ricos en micronutrientes como la carne, el pescado u hortalizas. Por esta razón, se considera que la carne es un producto infaltable en la alimentación de casi todos los seres humanos ya que contiene proteínas, vitaminas, minerales, micronutrientes y es una excelente fuente de hierro que ayuda a prevenir y controlar enfermedades como la anemia (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2014)

Esta situación explica la existencia de los camales, que son establecimientos o conjuntos de instalaciones donde se sacrifican los animales y se obtienen sus carnes y despojos comestibles, industriales y subproductos de estos para su posterior procesamiento, almacenamiento y comercialización de carne u otra clase de productos de origen animal (Peralta, 2016, p.15).

Sin embargo, si bien los mataderos son necesarios para la obtención de alimentos de primera necesidad y para el desarrollo de la explotación pecuaria, representa una actividad que tiene efectos negativos significativos sobre el medio ambiente ya que es una fuente de residuos sólidos y líquidos con alto contenido de materia orgánica, lo que los convierte en una amenaza constante para los ecosistemas ya que alteran negativamente el agua, los suelos, el aire y la salud (Castro, Rodríguez y Balcazar, 2014, p.113).

En el Perú existen más de 200 camales no autorizados por el SENASA operando en la actualidad, lo que manifiesta la incapacidad de algunas municipalidades del país para administrar estos locales. Estos camales tienen entre sus principales deficiencias su tamaño, infraestructura y eliminación de aguas residuales (Gonzales y Apanu, 2017, p.7).

Los camales tienen diferentes procesos de producción en los que encontramos el proceso de faenado, que requiere de agua para realizar sus diferentes etapas, y como resultado se obtiene efluentes que impactan negativamente en el medio ambiente (Pabón y Suárez, 2009, p.54); debido a que contienen residuos con altas concentraciones de materia orgánica, como sangre, estiércol, grasas y otros contaminantes solubles producto de esta actividad (Chaux, Rojas y Bolaños, 2009). Aun así, la mayoría de mataderos no cuentan con sistemas de tratamiento adecuados. Por esta razón, los ríos, mares o aguas superficiales más próximas a ellos, reciben las descargas o vertimientos de las alcantarillas sanitarias municipales, sin ningún tipo de tratamiento, contaminando el medio ambiente.

El camal municipal de El Porvenir no es ajeno a esta realidad. Los efluentes de este matadero, donde actualmente se sacrifican en promedio 3500 ovinos, 600 reses y 500 porcinos al mes, está formado por aguas de los desechos de las etapas de matanza de los animales, residuos de alimentos y otros (Angulo y Alaya, 2011, p.12). Además, este camal no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales por lo que descargan sus efluentes con elevada carga orgánica directamente a la red de alcantarillado.

De esta manera, se hace necesario el tratamiento de las aguas residuales de los camales antes de ser vertidas a un cuerpo de agua o a la red de alcantarillado y lograr remover el material contaminante del agua antes de su disposición (Noyola, Morgan y Guereca, 2013, p.5). Al respecto, en los últimos años el sistema de lodos activados se ha convertido en uno

de los procesos más utilizados para la depuración de aguas residuales (Noyola et al., 2013, p.18).

En ese contexto, el sistema de lodos activados es una gran alternativa para el tratamiento de las aguas residuales del camal municipal de El Porvenir antes de ser descargadas en el sistema de alcantarillado y poder cumplir con los Valores Máximos Admisibles exigidos por el Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA.

Justificación

El presente trabajo de investigación sirve para proporcionar información relevante respecto a los efluentes del camal municipal de El Porvenir y proponer un tratamiento mediante un sistema de lodos activados. Esto resulta muy conveniente ya que actualmente este camal no cuenta con ningún tratamiento de efluentes por lo que éstos son descargados directamente al sistema de alcantarillado, situación que aporta a la desestabilización de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de Covicorti debido a las cargas contaminantes altas, ya que estas aguas se descargan al sistema de alcantarillado y éste tiene como destino dicha PTAR.

Asimismo, el presente trabajo es de relevancia social, pues el destino final de las aguas residuales del camal municipal de El Porvenir es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Covicorti, y ésta vierte sus efluentes al mar y en la actualidad el cuidado del medio ambiente se ha tornado muy importante para toda la población. Los principales beneficiados de este trabajo es la población, ya que es un derecho fundamental gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida y una forma de lograr esto es cuidando y preservando los recursos naturales. Por otro lado, los funcionarios de la Municipalidad Distrital de El Porvenir, del camal y personas en general interesadas en implementar proyectos de tratamiento de efluentes para dicho camal también se ven beneficiados, ya que esta investigación proporciona datos sobre la calidad de las aguas

residuales del camal y les sirve como antecedente para la toma de decisiones y acciones políticas.

Finalmente, el sistema de lodos activados a escala laboratorio propuesto ayuda a ajustar los parámetros de operación específicamente para las aguas residuales del camal municipal de El Porvenir, lo que se puede traducir en un dimensionamiento más eficiente de una planta de tratamiento de aguas residuales en caso de que las autoridades y funcionarios decidan ejecutar un proyecto de este tipo y en último lugar un proyecto de estos puede ayudar a no desestabilizar y mantener la carga orgánica que se encuentra en el sistema de alcantarillado, producto de las aguas residuales urbanas, lo que puede ayudar a un mejor funcionamiento de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de la ciudad.

Antecedentes

Pabón y Suárez (2009), en su investigación “Arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento de lodos activos para aguas residuales de matadero” realizaron el seguimiento al arranque y operación de un sistema de tratamiento de lodo activo. La estructura del sistema de tratamiento biológico estuvo formada por cribas, desarenador, sedimentador primario, homogenización y mezclado, reactor de lodo activo y filtro biológico. Asimismo, realizaron la caracterización del agua en el afluente y efluente de cada proceso de la planta. Se concluyó que el sistema tiene una eficiencia de 88.19% para DBO₅, 84.29% para DQO, y 92.48% para SST y que el tratamiento primario aporta la mayor eficiencia en promedio en remoción de los parámetros de control de eficiencia y permite que la calidad del agua a tratar sea la adecuada para la operación del reactor a través de la eliminación de interferentes.

Sanhueza (2013), en su investigación “Operación de un sistema de lodos activados para la eliminación de amonio en aguas de cultivos de salmones” tuvo como objetivo evaluar un

sistema de lodos activados para la eliminación del amonio presente en aguas residuales de cultivo de salmones. Se implementó un reactor de lodos activados el cual fue inoculado con 5 gSSV/L, donde la concentración de oxígeno disuelto fue > 2 mg/L. El estudio fue realizado en dos etapas. La primera etapa, contó con una fuente de carbono orgánica (CH_3COONa), mientras que la otra se trabajó una fuente de carbono inorgánica (NaHCO_3). Se concluyó que la máxima eficiencia de eliminación de NH_4^+ se encontró en la primera etapa de operación, correspondiendo a un 49,7% y una máxima eliminación de DQO de 84,2% ($\pm 2,75$) ambos con un tiempo de residencia hidráulica de 2,05 ($\pm 0,19$) días.

El estudio “Producción más limpia y viabilidad de tratamiento biológico para efluentes de mataderos en pequeñas localidades. Caso: Municipio de El Tambo (Colombia)” realizado por Chaux et al. (2009), tuvo como objetivo realizar la cuantificación de subproductos y caracterización físico química de efluentes del matadero municipal El Tambo. Se encontró valores elevados de contaminación: 9024 mg/L DQO, 1829 mg/L DBO_5 , 1357 mg/L SST, 889 mg/L N, 26 mg/L P, 79 mg/L de A y G, pH de 7.6. Se determinó que el efluente del matadero presenta altos niveles de contaminación que no es adecuado para ser vertido directamente al alcantarillado y que la relación entre el DBO_5 y DQO demuestra que es de difícil biodegradabilidad; sin embargo, el tratamiento biológico anaeróbico es viable mediante una eliminación previa de grasas y rumen en el pretratamiento.

La investigación presentada por Crespo y Martínez (2018), titulada “Diseño, construcción y arranque de operaciones de un reactor de lodos activados a escala de laboratorio” tuvo como propósito evaluar la eficiencia de remoción de los parámetros físico-químicos de un reactor de lodos activados, en el que utilizaron agua doméstica, proveniente de la quebrada Shanshayacu. Se analizó la calidad del agua, para determinar un sistema adecuado de tratamiento. Posteriormente realizaron un monitoreo, donde el reactor operó por 56 días, con una concentración de oxígeno disuelto de 5,21 mg/L, a una temperatura de 16,39 °C y un pH

neutro. Concluyeron que, la eficiencia de remoción del sistema de tratamiento inició con 36,78% de DQO y 28% de DBO₅; finalizó con 96,08% de DQO y 88% de DBO₅, el proceso superó la eficiencia teórica en un 13,75%.

El trabajo de investigación “Evaluación de un sistema biológico de lodos activados a escala de laboratorio” realizado por Alpírez et al. (2017) tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un sistema de lodos activados alimentado con agua residual. El sistema tuvo un caudal de alimentación de 9.77 mL/min y 29.3 horas de residencia hidráulica y la carga orgánica de alimentación fue de 0.12 Kg DBO₅/m³.día. Los resultados dieron remociones de 54% de DQO, 70% de sólidos suspendidos, y 83% de DBO₅. Se concluye que el sistema de lodos activados, bajo condiciones óptimas de aireación, es apto para la remoción de materia orgánica de aguas residuales de diferentes procedencias.

En la investigación realizada por Acosta (2009) denominada “Eficacia de un Sistema de Lodos Activados en el Tratamiento de Aguas Residuales en la Industria Láctea de Cajamarca” tuvo como objetivo determinar la eficiencia que tiene un sistema de lodos activados en el tratamiento de las aguas residuales en la industria láctea de la ciudad de Cajamarca. Inicialmente se cultivaron lodos activados, para lo cual se usaron 4 reactores de 10 litros, se colocó agua residual y se aireó constantemente por diez días. Para el experimento primero se agregaron los lodos activados a los reactores, se aireó por cuatro días y se tomó una muestra para el análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅. El autor concluyó que, la efectividad del sistema de lodos activados es positiva ya que removió un 80% en promedio de la materia orgánica contaminante en términos de DBO₅.

Por su parte Baquerizo y Flores (2011), en su investigación “Comportamiento de un sistema anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales de un matadero” tuvieron como objetivo determinar la eficiencia de los procesos anaerobios para

ser aplicados como tratamientos primarios. Se utilizó reactores anaerobios a escala laboratorio inoculado con lodo procedente de una PTAR. Previamente se retiraron los sólidos inorgánicos a través de un proceso de sedimentación de 4 horas. Los reactores recibieron valores entre 600 y 2500 mg/L de DBO₅, 1700 y 3700 mg/L de DQO, 4400 y 7300 mg/L de ST durante 8 horas. Se lograron remociones de hasta 50% y concluyeron que es factible lograr efluentes con menor grado de contaminación mediante la aplicación de un tratamiento anaerobio.

Villegas y Alvarez (2009), en su trabajo “Tratamiento de aguas residuales de industria de curtiembre mediante un sistema de lodos activados a escala piloto” tuvieron como objetivo determinar la efectividad de remoción de carga orgánica y reducción de cromo a través de un sistema de lodos activados, así como determinar los parámetros de operación. El sistema estuvo conformado por un sedimentador primario empírico, un tanque de aireación y un sedimentador secundario. El sistema se alimentó con concentraciones de DQO entre 1920 y 2400 mg/L. Los parámetros de operación obtenidos fueron: TRH de un día, F/M entre 0.8 y 3.8 Kg DQO/Kg SSVLM.día, y biomasa activa entre 560 y 2160 mg SSVLM/L. La remoción de DQO fue de 80.21%. Se concluyó que el sistema de lodos activados es factible para cumplir con los límites establecidos por la normativa peruana.

La investigación “Tratamiento de aguas residuales provenientes de un camal mediante un sistema de lodos activados a escala de laboratorio” realizada por Rubio y Padilla (2009), tuvo como objetivo tratar 30 L/día de efluentes de un camal mediante lodos activados para determinar los parámetros de diseño y la eficiencia de remoción de carga contaminante del reactor. El sistema estuvo conformado por un tanque de homogenización, un sedimentador primario, un tanque de aireación y un sedimentador secundario. El sistema se alimentó con concentraciones de DBO₅ entre 3266.7 y 2725 mg/L y DQO entre 8810 y 3912 mg/L. Los parámetros de operación fueron: TRH de 4 horas, F/M entre 0.37 y 4.73 Kg DQO/Kg

SSVLM.día, y una edad de lodo de 11 días. Se concluyó que el sistema de lodos activados resulta eficiente en la remoción de DBO_5 en un 53.59%.

La investigación “Instalación y evaluación de un sistema de reactores para tratamiento de aguas residuales urbanas por proceso de lodos activados” de Condori y Ruelas (2017), tuvo como objetivo instalar y evaluar un sistema de reactores para tratamiento de aguas residuales por proceso de lodos activados según la calidad de remoción de sólidos en suspensión total (SST), demanda química del oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO_5), obteniendo los siguientes resultados: la DQO entró con una concentración de 510 mg/L, finalizando las pruebas con 205 mg/L. La DBO_5 inició con 250 mg/L, al finalizar 88 mg/L. Los SST, comenzaros con 2200 mg/L, finalizando con 20 mg/L. Finalmente concluyeron que fue posible la remoción de sólidos en suspensión total (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y demanda química de oxígeno (DQO) mediante el proceso de lodos activados.

Asimismo, Angulo y Alaya (2011) en su trabajo “Manejo de Efluentes Líquidos Mediante Gestión Ambiental en el Camal del Distrito El Porvenir” tuvieron como objetivo elaborar un Sistema de Gestión Ambiental para las aguas residuales en el camal. Para ello, realizaron una evaluación del consumo de agua en el proceso productivo del camal para poder proponer un sistema de gestión ambiental basado en la norma ISO 14001. Se concluyó que la concentración de DBO_5 en los efluentes del camal de El Porvenir oscilan entre 5027.85 y 6639.73 mg/L, la concentración promedio de sólidos suspendidos totales es de 1293 mg/L y la concentración de Aceites y Grasas es de 1087 mg/L y que estos valores incumplen con la normativa vigente en materia de aguas residuales.

Becerra, Horna y Barionuevo (2015) en su trabajo “Influencia de Microorganismos Nativos en el Tratamiento de Efluentes Residuales de Camales” tuvieron como objetivo

determinar la influencia de microorganismos nativos en el tratamiento de efluentes de camales. Por lo que, se recolectaron aguas residuales de cinco camales de la ciudad de Trujillo, y se trabajó un primer grupo donde se colocó efluente sin aireación y en el segundo grupo se colocó efluente con aireación a razón de 0,5 vvm (volumen de aire por volumen de medio por minuto). Se midió los valores iniciales de: DQO, DBO₅ y aceites y grasas y después de tres días. Se observó una eficiencia de remoción de 83% en DQO, 44% en DBO₅ y 15% en Aceites y Grasas. En conclusión, el tratamiento de efluentes de camales mediante lodos activados es eficiente.

En el trabajo de investigación “Efecto del proceso de coagulación-floculación para la remoción de sólidos suspendidos del efluente del camal municipal El Porvenir-Trujillo” realizado por Otiniano (2016), se tuvo el objetivo de determinar el efecto del proceso de coagulación-floculación sobre la remoción de SST del efluente del camal. Se trabajó con valores de pH de 4, 6 y 8; 40, 50 y 60 mL de sulfato de Aluminio y floculante aniónico en cantidades de 1, 2 y 3 mL. Se encontró que a un pH de 6, aplicando 60 mL de sulfato de aluminio y 3 mL de floculante aniónico se consiguió la mayor remoción de SST que fue del 83.66%. Se concluyó que el proceso de coagulación-floculación es eficiente para la remoción de sólidos suspendidos totales del efluente del camal municipal de El Porvenir.

En la investigación realizada por Castro (2017) denominada “Disminución de la carga orgánica del efluente del camal municipal El porvenir mediante el tratamiento con Sulfato de Aluminio al 1%” tuvo por objetivo establecer la dosificación de coagulante para remover la mayor parte de carga orgánica del agua residual del camal. Se evaluaron 8 muestras de 300 mL, las mismas que fueron dosificadas con 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42 y 48 mL de sulfato de aluminio al 1% utilizando un test de jarras. Se obtuvo como resultado que el mayor porcentaje de remoción de carga orgánica se dio al utilizar 36 mL de sulfato de aluminio al 1% logrando reducir la concentración de DBO₅ en un 95,34% y la DQO en un 95.85%. Se

concluyó que el tratamiento con sulfato de aluminio al 1% es un tratamiento primario y que requiere fuertes inversiones económicas.

Finalmente, el estudio “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales para el Distrito de Santiago de Chuco” realizado por Paz y Ruiz (2017), tuvo como objetivo realizar el diseño para la planta de tratamiento de aguas residuales de esa localidad. Para tal efecto, se realizó la proyección de la población, medición de caudales, caracterización de aguas residuales (DBO₅, STD, SS, DQO, conductividad, A y G, pH, temperatura). Con base en los resultados y con base en el Reglamento Nacional de Edificaciones se determinó el tipo de tratamiento que fue de lodos activados. Se concluyó que la eficiencia de remoción de DBO₅ de la planta propuesta es de 94%, rango que cumple con lo establecido por la normatividad aplicable a este tipo de casos.

Marco conceptual

Tratamiento de efluentes

Definición:

Conjunto de procedimientos que tiene como finalidad depurar las aguas residuales a través de la remoción de materia orgánica y otros contaminantes. La depuración de agua se realiza a través de la integración de procesos físicos y operaciones unitarias (biológicas y químicas), las cuales serán seleccionadas a partir de una caracterización de las aguas residuales a tratar (Noyola et al., 2013, p.11). Los flóculos de lodos activados están formados por microorganismos, materia coloidal orgánica e inorgánica y partículas mayores, que se mantienen juntas en una masa orgánica compleja (Moller, et al., 2015, p.126).

Niveles de Tratamiento.

Pretratamiento: Consiste en eliminar interferentes del agua para que el funcionamiento de los procesos consecuentes se desarrollen sin problemas. Generalmente estos interferentes son

los sólidos gruesos, arenas, grasas y elementos flotantes y son removidos mediante filtros, tamices y sistemas de decantación y desengrasado. La eficacia de los tratamientos siguientes está relacionada directamente con la eficacia del pretratamiento, sobre todo cuando en el tratamiento secundario se utilizan tratamientos biológicos como lodos activados (Hernández, 2015, p.239).

Tratamiento primario: Consiste en un tratamiento físico simple para lograr la separación de los sólidos del agua. Es importante señalar que las condiciones deben ser fijas por lo que se deben evitar las variaciones de caudal y la decantación debe garantizar el correcto funcionamiento del tratamiento secundario (Hernández, 2015). No obstante, en este nivel de tratamiento, parte de sólidos y materia orgánica suspendida es removida del agua residual utilizando la fuerza de gravedad.

Los porcentajes de remoción alcanzadas en aguas residuales municipales es del 60% en sólidos suspendidos y de 30% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) (Noyola et al., 2013, p.12).

Tratamiento secundario: En este nivel de tratamiento se elimina la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble) por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción. Aquí la materia orgánica presente en el agua residual es transformada por los microorganismos en materia celular, energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos. Estas células microbianas forman flóculos, los cuales son separados del agua, normalmente por sedimentación. En el caso del agua residual doméstica o municipal, el objetivo principal es reducir el contenido orgánico y, en ciertos casos, los nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo (Noyola et al., 2013, p.13).

Tecnologías para el Tratamiento.

Físicos

Cribado: Proceso al que también se le conoce con el nombre de desbaste. Es una unidad conformada por rejillas metálicas y es imprescindible en todas las depuradoras de aguas residuales. Su finalidad es retener sólidos y materiales demasiado grandes antes de que el agua ingrese a los niveles posteriores de tratamiento. Estos sólidos pueden incluir pedazos de madera, trapos, plástico, piedras y otros residuos. (Lozano, 2012, p.54).

Sistema de Separación por Gravedad: Generalmente compuestos por los desarenadores – desengrasadores. Esta tecnología es útil para líquidos insolubles tales como aceites, estos flotarán naturalmente a la superficie si se les da suficiente tiempo en una cámara. Este método también es útil para remover sedimentos del agua residual que puedan causar interferencia en los siguientes procesos de tratamiento. Las partículas más pesadas (sedimentos) se asientan en el fondo y las menos pesadas (aceites) floten. (Lozano, 2012, p.63).

Biológicos

Anaeróbico: Es un sistema biológico que permite la descomposición de la materia orgánica e inorgánica que se encuentra en el agua residual en ausencia de oxígeno. De este proceso se obtienen ciertos gases, en su mayoría: metano y dióxido de carbono y generalmente es empleado para la estabilización de fangos (López y Calderon, 2017, p.126).

Aerobio: En los sistemas aerobios se identifican cinco procesos: los lodos activados, el sistema de lagunas de estabilización, el filtro percolador, el filtro sumergido y el disco biológico rotatorio. El área disponible es el criterio que limita el empleo de lagunas de estabilización ya que requieren, en comparación con los otros sistemas un área de alrededor 70 veces mayor. Sin embargo, es un sistema que prácticamente no requiere equipo electromecánico, tiene los requerimientos más bajos de personal. Todos los demás sistemas mencionados con anterioridad pueden ser aplicados en el tratamiento del agua residual doméstica o municipal. En dicho caso, la elección de un sistema de tratamiento estará sujeto

al costo de operación y mantenimiento, así como a criterios que disminuyan el impacto al medio ambiente de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Noyola et al., 2013, p.43).

Sistema de Lodos activados

Definición:

Es un tratamiento biológico aerobio que contiene un cultivo microbiano en suspensión y hace uso de un sistema de aireación para suministrar oxígeno a las bacterias que oxidan la materia orgánica del agua residual. Junto a este proceso, en el clarificador secundario, la materia orgánica oxidada sedimenta permitiendo la clarificación del agua. Parte de esta materia orgánica oxidada es recirculada al tanque de aireación y otra parte es objeto de purga (Lozano et al., 2012, p.104). La ventaja de este sistema es la facilidad de controlar las condiciones de trabajo y su funcionamiento es óptimo cuando la relación DBO_5/DQO se encuentra entre 0.5 y 0.65. Sin embargo, la incorporación de vertidos de algunas industrias como mataderos o derivados de la leche, en el sistema de lodos activados, crea dificultades por carga elevada y por difícil sedimentación (Hernández, 2015, p.172). En la Figura 1 se observa el proceso de lodos activados.

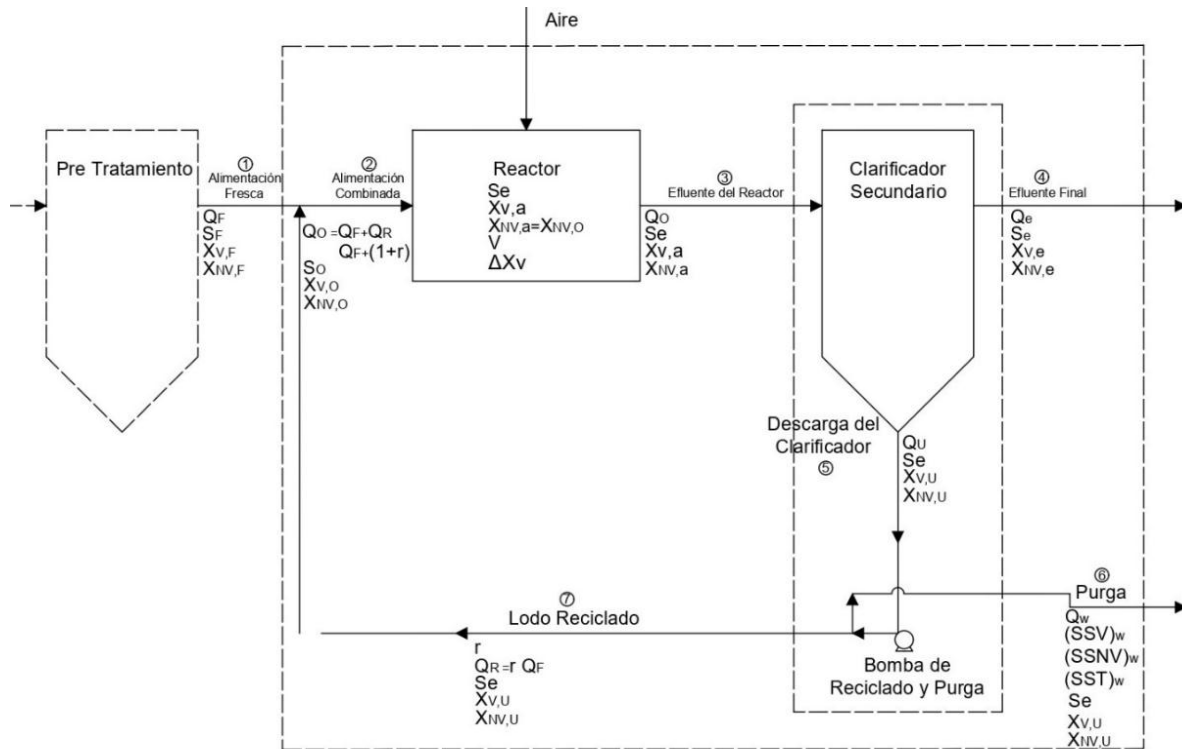


Figura 1. Se puede apreciar el proceso de lodos activados. El significado de la nomenclatura de este diagrama se puede consultar en el ANEXO 3. Adaptado de Tratamiento de Aguas Residuales. Ramalho, 2003. p 254. Derecho de autor 2003.

Variaciones del Sistema de Lodos Activados

Existen variaciones del proceso de lodos activados tales como: proceso convencional, alta carga y aireación prolongada (Lozano, 2012, p.106).

Aireación prolongada:

En este tipo de tratamiento se puede prescindir del sedimentador primario, por lo cual la toda la materia orgánica es recogida en el tanque de aireación. Este sistema se identifica por los altos tiempos de retención hidráulica, lo que permite lograr la degradación de compuestos de difícil degradación por medio de la respiración endógena y además puede soportar modificaciones significativas en la carga hidráulica y orgánica. Este tipo de tratamiento es bastante aplicado para el tratamiento de las aguas residuales industriales. Una ventaja importante de este tipo de aireación es que se generan menos lodos de desecho que en un proceso convencional, lo que simplifica su manejo (Noyola et al., 2013, p.19).

Tabla 1
 Valores referenciales para el sistema de lodos activados.

Tipo de proceso	Período de retención (h)	Edad del lodo (d)	Carga volumétrica (kg DBO/m ³ .día)
Convencional	4 - 8	4 - 15	0.3 – 0.6
Aireación prolongada	16 - 48	20 - 60	0.2 - 0.3

Nota: En la Tabla 1 se puede apreciar los valores referenciales para el tiempo de retención hidráulica, la edad del lodo y la carga orgánica volumétrica que deben cumplir los procesos de lodos activados convencionales y con aireación prolongada respectivamente. Adaptado de la Norma OS. 090. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. El Peruano, 2006. p 14. Derecho de autor 2006.

Tabla 2
 Parámetros de diseño típicos para el sistema de lodos activados.

Tipo de proceso	Remoción de DBO	Concentración de SSTA (Kg/m ³)	Carga de la masa (Kg DBO/Kg SSVTA.día)	Tasa de recirculación (%)
Convencional	85- 90	1.5 – 3.0	0.20 – 0.40	25 - 50
Aireación prolongada	75 - 95	3.0 - 6.0	0.05- 0.50	75 - 300

Nota: En la Tabla 2 se puede apreciar los parámetros de diseño típicos como la remoción de DBO₅, concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, la carga másica y la tasa de recirculación para los procesos de lodos activados convencionales y con aireación prolongada respectivamente. Adaptado de la Norma OS. 090. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. El Peruano, 2006. p 14. Derecho de autor 2006.

Parámetros de operación del sistema de lodos activados: Son condiciones establecidas para el correcto funcionamiento del sistema de lodos activados: Entre los más importantes tenemos:

Caudal: Parámetro que mide la cantidad de agua que transporta una corriente por unidad de tiempo. Se puede expresar en litros por segundo, en litros por minuto, metros cúbicos por hora o demás unidades que resulten de conversiones matemáticas (Monge, 2018).

Tiempo de residencia hidráulica: Tiempo que demora el agua residual dentro del reactor. Generalmente se expresa en horas. Estos tiempos son variables, de acuerdo al tipo de proceso de lodos activados utilizado. Es definido mediante la división entre el volumen del reactor y el caudal de ingreso (Navarrete et al., 2018, p.94). En la Tabla 1 se pueden ver estos tiempos de retención hidráulica para el sistema de lodos activados convencional y el de aireación prolongada.

Edad de lodo: También conocido como tiempo de retención celular, es el tiempo promedio que los microorganismos subsisten en el sistema de lodos activados y representa la relación entre la masa de lodo presente en el tanque de aireación y la masa diaria de lodos extraídos del sistema (Navarrete et al., 2018, p.94). En la tabla 1 se pueden ver estos tiempos de retención celular referenciales para el sistema de lodos activados convencional y el de aireación prolongada.

Carga orgánica: Cantidad de materia orgánica presente en el agua residual que impacta negativamente en el cuerpo de agua receptor. Generalmente se mide como Kg DBO₅/día (Castellanos, 2014, p.1).

Carga orgánica volumétrica: Representa los Kilogramos de materia orgánica, en términos de DBO₅, aplicada por cada metro cúbico del tanque de aireación en un tiempo determinado que generalmente es un día (Noyola et al., 2013, p.117). En la tabla 1 se puede apreciar los valores para este parámetro en el sistema de lodos activados convencional y el de aireación prolongada.

Parámetros biocinéticos de las aguas residuales en el sistema de lodos activados: Se utilizan para evaluar el crecimiento de la población de microorganismos, así como la muerte celular, que influyen en el funcionamiento del sistema de lodos activados. Los principales parámetros biocinéticos utilizados para el diseño del reactor biológico son la tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa (k), la constante de declinación endógena (k_d), la constante de producción de lodos (Y), la constante de utilización de oxígeno en la fase de síntesis (a) y la constante de utilización de oxígeno durante la fase de respiración endógena (b) (Ramalho, 2003, p.299).

Tabla 3

Parámetros biocinéticos típicos de distintas aguas residuales.

Agua residual	k ($d^{-1} \times l/mg$)	Y (Kg SSVLM/Kg DBO ₅ cons)	K_d (d^{-1})	a (Kg O ₂ /Kg DBO ₅ cons)
Urbana	0.017 – 0.03	0.4 – 0.8 *	0.04 – 0.075 *	0.52
Cervecera	-	0.56	0.10	0.48
Farmacéuticas	0.018	0.72 – 0.77	-	0.46

Nota: En la Tabla 3 se muestran los valores típicos de los parámetros biocinéticos de distintos tipos de aguas residuales utilizados para el diseño de sistema de lodos activados. Adaptado de Tratamiento de Aguas Residuales. Ramalho, 2003. p 312. Derecho de autor 2003.

(*) Valores tomados de Análisis y Diseño del Tratamiento Secundario, (Universidad de las Américas de Puebla, pág. 129). Derechos de autor s.f.

Oxígeno Disuelto: Cantidad de oxígeno que se encuentra solubilizado en el agua residual. Es un parámetro muy importante del agua y su valor debe estar por encima de 1 mg/L para asegurar el funcionamiento de los tratamientos aerobios. (Lozano, 2012, p.27).

pH: Parámetro que indica la acidez o basicidad del agua y es importante para el control de procesos biológicos. Los microorganismos que depuran el agua generalmente se desarrollan en un rango de pH de 6.5 a 8.5 (Lozano, 2012, p.29).

Temperatura: Parámetro físico que mide la energía cinética interna de las moléculas del agua. Se mide en grados Celsius ($^{\circ}C$) y determina el nivel de actividad de los microorganismos del sistema y la solubilidad de gases y sales (Navarrete et al., 2018, p. 47).

Sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación: Representa la concentración de biomasa en el tanque de aireación. Comprende microorganismos vivos, muertos y restos celulares (Chamarro y Vidal, 2015, p.14).

Sólidos volátiles del lodo sedimentado: Es la porción volátil de los lodos sedimentados en el sedimentador secundario que se queman (volatilizan) a 550°C en el sedimentador secundario (Noyola et al., 2013, p. 121).

Relación Alimento/ Microorganismos (A/M): Parámetro de operación también conocido como factor de carga que permite ver la fracción de materia orgánica en masa disponible por microorganismo (Lozano, 2012, p.96).

Índice volumétrico de lodos: Es el volumen que ocupa un gramo de lodo después de haber sedimentado durante media hora. Se determina al colocar 1 litro de licor de mezcla del tanque de aireación en una probeta (Lozano, 2012, p.123).

Eficacia del sistema de lodos activados: La determinación de la eficacia del sistema de lodos activados se realiza a través del cálculo de remoción de carga contaminante removida al aplicar dicho sistema de tratamiento. Esta eficacia se define como el porcentaje de carga contaminante del agua residual que se logra reducir al aplicar el sistema de lodos activados. Su cálculo se realiza mediante la aplicación de la Ecuación 1 mencionada en el capítulo 2.2.3.5 del presente trabajo de investigación (Reina, 2015, p.52).

Calidad de efluentes.

Conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos del agua que permite evaluar la carga contaminante de los efluentes (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2006, p.9). Algunos parámetros que permiten monitorear la calidad de efluentes la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Aceites y Grasas (AyG) (Ferrer y Seco, 2017, p.87).

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅): Es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidar la materia orgánica del agua. Por lo general se mide al quinto día después de iniciado el proceso. Sus unidades son miligramos de oxígeno por litro (mg O₂/L) (López y Calderón, 2017, p.37).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es la medida del oxígeno necesario para la oxidación de materia orgánica biodegradable y no biodegradable por acción de un agente químico, que por lo general es el ión dicromato (Cr₂O₇²⁻) y sus unidades están dadas por miligramos de oxígeno por litro (mg O₂/L) (López y Calderón, 2017, p.36).

Sólidos Suspendedos Totales (SST): Comprende a las partículas no filtrables del agua, como arenas, arcillas y partículas coloidales. Su composición se encuentra entre 68% de sólidos orgánicos y 32% de sólidos inorgánicos (López y Calderón, 2017, p.39).

Aceites y Grasas (AyG): Son moléculas hidrófobas insolubles en el agua y de menor densidad, por lo que permanecen en la superficie originando natas y espumas. Se eliminan en el pretratamiento (López y Calderón, 2017, p.52).

Contaminación del agua por la actividad de camales: Los camales generan efluentes con elevada concentración de materia orgánica, incluso más elevadas que la de las aguas negras domésticas. Esta materia orgánica se presenta en diferentes estados de descomposición en función del animal sacrificado. Además de la materia orgánica, la carga de sólidos, la sangre y grasas son contenidos frecuentes de este tipo de efluentes. (Arotoma, 2018, p.51).

Marco normativo

Constitución política del Perú del año 1993, Título I, Capítulo I. Artículo 2º, Inciso 22.- Indica que las personas tienen el derecho a disfrutar de un ambiente adecuado para poder desarrollar su vida de forma satisfactoria.

Ley 28611: Ley General del Ambiente. Artículo 120°, Inciso 120.2.- Afirma que el Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con la finalidad de evitar daños a la salud humana y al ambiente.

Ley 29338: Ley de Recursos Hídricos. Artículo 80°, Inciso 1.- Señala que antes de realizar cualquier vertimiento de agua residual, ésta debe ser sometida a un tratamiento previo.

Ley 29338: Ley de Recursos Hídricos. Artículo 82°.- Indica que las aguas residuales tratadas pueden ser reutilizadas, previa coordinación con la autoridad competente.

Decreto Supremo N° 001-2010-AG, Reglamento de la Ley 29338. Artículo 135, Inciso 135.2.- Prohíbe el vertimiento de aguas residuales que no han sido tratadas a los sistemas de drenaje pluvial.

Decreto Supremo N° 010-2019-Vivienda: Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, Anexo N° 1: Establece los VMA para los parámetros de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Aceites y Grasas (AyG), que deben cumplir las aguas residuales no domésticas antes de ser descargadas a la alcantarilla.

Norma Técnica de Edificación OS. 090: Plantas de Tratamiento de aguas residuales. Capítulo 5.5.3.1, Inciso e).- Proporciona los valores referenciales sobre parámetros de diseño y operación en un sistema de lodos activados convencional y en sus distintas modificaciones.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera influye el sistema de lodos activados en la calidad de los efluentes del camal municipal de El Porvenir, 2019?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar la influencia del sistema de lodos activados en la calidad de los efluentes del camal municipal de El Porvenir, 2019.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del camal municipal de El Porvenir.
- Determinar la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del pretratamiento.
- Determinar la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados.
- Determinar la eficacia del sistema de lodos activados en la calidad de efluentes del camal municipal de El Porvenir.
- Comparar los resultados de la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

1.4. Hipótesis

H₀: El sistema de lodos activado no influye significativamente en la calidad de los efluentes del camal municipal de El Porvenir, 2019.

H₁: El sistema de lodos activado si influye significativamente en la calidad de los efluentes del camal municipal de El Porvenir, 2019.

CAPITULO II. MÉTODO

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es cuantitativa porque recolecta datos de la calidad de efluentes antes y después de aplicar el sistema de lodos activados y realiza el análisis estadístico para

probar que existe influencia significativa del sistema de lodos activados sobre la calidad de los efluentes del camal municipal de El Porvenir. Asimismo, es experimental porque se realiza la acción de aplicar un Sistema de Lodos Activados para determinar las consecuencias que tiene sobre la calidad de los efluentes. Finalmente es aplicada porque aplica la teoría y conocimientos referentes a los sistemas de lodos activados para la depuración de aguas residuales. Dichos conceptos se aplican para diseñar y elaborar un sistema de lodos activados con la finalidad de mejorar la calidad de los efluentes del camal municipal de El Porvenir.

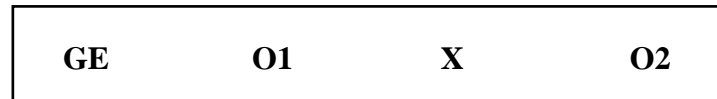
La presente investigación es cuantitativa experimental aplicada. La investigación cuantitativa es aquella que prueba una hipótesis apoyada en la recolección de datos y el análisis estadístico para probar teorías y definir pautas de comportamiento (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.4). Asimismo, en la investigación experimental se realiza una acción (como una causa que provocará un efecto), para estudiar las consecuencias que tendrá sobre la variable dependiente (efecto consecuente) (Hernández et al., 2014, p.129). Finalmente, Hernández et al. (2014) establecen que la investigación aplicada sirve para resolver problemas (p.XXIV). Asimismo, el Ministerio de Educación [MINEDU] (2017), indica que la investigación aplicada es la aplicación de los conocimientos teóricos existentes para desarrollar conocimientos prácticos y resolver problemas, convirtiendo los saberes en tecnología e invenciones.

Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación es pre experimental en la modalidad de pre prueba / posprueba. Esta consiste en la administración de un tratamiento o estímulo a un grupo para después medir una o más variables. En este tipo de estudio se suele limitarse a observar el fenómeno analizado en condiciones normales sin modificarlo, ya que es difícil manipular completamente las variables intervinientes, es más, no se puede manipular la variable independiente, por lo que no se puede tener diferentes grupos de comparación (Arellano,

2015). En esta investigación se utilizó la metodología pre experimental en la modalidad de preprueba – postprueba, ya que se recogió datos de la calidad de los efluentes del camal municipal de El Porvenir antes y después de la aplicación del sistema de lodos activados.

Vargas y Gallardo (2017, p.32) presentan el siguiente diseño de investigación para el tipo pre experimental en la modalidad de pre prueba / posprueba.



Donde:

GE: Grupo de estudio, en este caso es el efluente del pretratamiento que será medido a través de las concentraciones de DBO₅. DQO, AyG y SST.

O1: Pre prueba, representado por las concentraciones de DBO₅. DQO, AyG y SST del afluente del sistema de lodos activados.

X: Tratamiento o estímulo, representado por el sistema de lodos activados.

O2: Posprueba, representado por las concentraciones de DBO₅. DQO, AyG y SST del efluente del sistema de lodos activados.

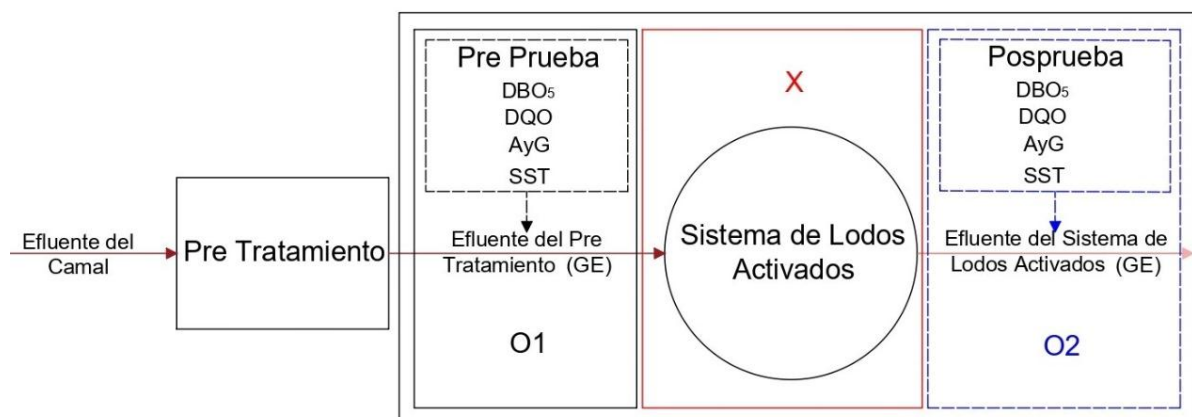


Figura 2. La figura muestra el diseño de investigación donde se puede apreciar la existencia de la pre prueba antes del sistema de lodos activados y de la posprueba después de este tratamiento. Asimismo, se puede observar la presencia de un sistema de pretratamiento para acondicionar el agua residual para el sistema de lodos activados de acuerdo a los argumentos teóricos de Hernández (2015, p. 239).

Nota: Cabe resaltar que el pretratamiento (cribado y separación de sólidos sedimentables y aceites y grasas), se realizó de forma empírica sin considerar condiciones técnicas o parámetros de diseño y operación, con la finalidad de acondicionar el agua residual antes de actuar como influente en el sistema de lodos activados, tal como recomienda Chaux et al. (2009) y Hernández (2015, p.239), para permitir que el tratamiento biológico se desarrolle de la mejor forma. Sin embargo, el sistema de lodos activados compuesto por un tanque de aireación y un sedimentador secundario, se diseñó acorde a la metodología recomendada por Ramalho (2003, p.334-340). Es decir, la presente investigación no se centra en el pretratamiento, que consistió en la separación de sólidos y aceites y grasas del agua residual del camal a través de un balde de 40 litros y rejas de 20, 10 y 5 mm, sino en la evaluación del efecto del sistema de lodos activados, previa eliminación de interferentes del agua residual mediante el pretratamiento empírico. Por lo tanto, en el presente trabajo de investigación, se aplica el diseño de investigación a partir del efluente del pretratamiento, que en este caso representa al grupo de estudio (GE), seguido por la aplicación de la pre prueba (O1), el tratamiento de lodos activados, que representa el estímulo (X) y finaliza con la medición de las concentraciones de DBO_5 , DQO, AyG y SST del efluente del sistema de lodos activados, que representa a la posprueba (O2).

2.2. Materiales, instrumentos y métodos

2.2.1. Materiales

2.2.1.1. Materiales para la toma de muestra de efluentes del camal.

- 2 botellas de plástico de 1 L para DBO_5 .
- 2 botellas de plástico de 0.25 L para DQO.
- 2 botellas de plástico de 0.25 L para SST.
- 2 botellas de vidrio de 1 L para aceites y grasas.
- 1 cooler.

- 2 ice Packs.
- Botas de hule.
- Bata de laboratorio.
- Lentes.
- Casco.
- Mascarilla.
- Guantes de Látex.

2.2.1.2. Materiales para la construcción del prototipo.

Pretratamiento:

- Malla metálica de 0.5 cm de diámetro.
- Malla metálica de 1 cm de diámetro.
- Malla metálica de 2 cm de diámetro.
- 1 recipiente de 45 L.
- 1 tubo de agua de ½”.
- 1 llave de paso de ½”.
- 1 codo de 90° de ½”.

Tanque de aireación:

- 1 tanque de vidrio de 33cm x 40cm x 60cm.
- 5 bombas de aire de 5 Watts.
- Piedras difusoras.
- Manguerillas de 0.4 cm de diámetro.
- 1 bomba de agua de 8 Watts para ayuda en la mezcla.
- 1 tubo de salida de agua caliente de ½”.
- 1 codo de PVC para agua caliente de ½”.
- Base de Tecnopor.

Clarificador Secundario:

- 1 tanque de vidrio de 15 cm x 60 cm x 25 cm con base piramidal.
- 1 tubo PVC para agua caliente de ½”.
- 2 codos 90° PVC para agua caliente de ½”.
- 1 llave de paso de agua caliente de ½”.
- 1 bomba de agua de 8 Watts para recircular el lodo.
- Base de Tecnopor.

2.2.2. Instrumentos

- Cadena de custodia (ANEXO 4).
- Formato de análisis de laboratorio (ANEXO 5).

2.2.3. Métodos

2.2.3.1. Métodos para la determinación de DBO₅, DQO, SST y AyG.

Se aplicó la siguiente metodología para la determinación de la concentración de Demanda Biológica de Oxígeno - DBO₅ en aguas residuales (HACH 2010, p.27):

- Se tomó 95 ml de muestra y se agregó 1 sobre con solución tampón.
- Se vertió en la botella del BODTrack II.
- Se colocó una barra agitadora dentro de la botella BODTrack II.
- Se puso un tapón hermético en el cuello de la botella.
- Con la ayuda de una cuchara espátula, se agregó 2 comprimidos de hidróxido de potasio en el tapón hermético.
- Se colocó la botella en el chasis de BODTrack II, que a su vez estaba dentro de la incubadora a una temperatura de 20°C y se conectó el tubo a la botella.
- Se realizó la lectura de DBO₅ 5 días después.

Se aplicó la siguiente metodología para la determinación de la concentración de Demanda Química de Oxígeno - DQO en aguas residuales (HACH 2019, p.2):

- Se homogenizó la muestra con un agitador y se precalentó el termoreactor a 150°C.
- Se removió la tapa de dos viales.
- Se añadió 2 mL de muestra a un vial y 2 mL de agua desionizada a otro vial (blanco), manteniendo los viales a un ángulo de 45 grados. Luego, se cerró la tapa fuertemente y se mezcló invirtiendo cada vial un par de veces.
- Se insertó los viales en el reactor y se calentarlo por 2 horas a 150°C. Al final del período de digestión se cortó el fluido eléctrico del reactor y se esperar por 20 minutos, para permitir que los viales enfríen a 120°C.
- Cada vial fue invertido varias veces mientras seguía caliente, luego fueron colocados en una gradilla, para que se enfríen a temperatura ambiente.
- Se colocó el vial que contenía el blanco en el equipo, se presionó “Zero”, se esperó la identificación del vial hasta que la medida esté en cero y se removió el vial.
- Se colocó el vial que contenía la muestra en el equipo, se presionó leer, se esperó la identificación del vial hasta que el equipo realice la lectura.

Se aplicó la siguiente metodología para la determinación de la concentración de Sólidos Suspendedos Totales en aguas residuales (Standard Methods Organization, 2017, p.5):

- Se recortó el papel filtro de manera circular de aproximadamente 4 cm de diámetro y se colocó en el sistema de filtración por vacío para filtrar 20 mL de agua destilada.
- Se retiró el papel filtro con cuidado y se secó en el horno entre 103 y 105 °C.
- Por una hora se enfrió a temperatura ambiente y se registró el peso en la balanza analítica.
- Se colocó nuevamente el papel filtro en el sistema de filtrado filtrar 20mL de muestra y se secó en el horno entre 103 y 105°C.

- Por una hora se enfrió a temperatura ambiente y se registró el peso en la balanza analítica.
- La concentración de SST se determinó mediante la diferencia de pesos registrados dividido entre el volumen de muestra utilizado.

Se aplicó la siguiente metodología para la determinación de la concentración de Aceites y Grasas en aguas residuales (Standard Methods Organization, 2017):

- Se tomó 50 mL de muestra y se acidificó hasta que el pH fue menor a 2.
- Se vertió a una pera de decantación y se adicionó 30 mL de solvente (hexano).
- Se agitó vigorosamente por un minuto y se dejó reposar 20 minutos.
- Se formó 2 fases, se eliminó la parte inferior, se pesó la parte superior y se colocó en un matraz de ensayo.
- Se llevó a la parte superior a Baño María a 70°C por 15 minutos (hasta evaporación del hexano). Luego, se enfrió por 15 minutos y se pesó la parte restante.
- La concentración de Aceites y Grasas se determinó mediante la diferencia de pesos registrados dividido entre el volumen de muestra utilizado.

2.2.3.2. Determinación de la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del camal municipal de El Porvenir

La concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del camal municipal de El Porvenir se determinó a través de la recolección de muestras simples durante 12 días diferentes comprendidos entre el 31 de mayo y 13 de julio del 2019. Las muestras tomadas en el camal fueron trasladadas lo más pronto posible al Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Privada del Norte, Trujillo, Sede San Isidro para ser analizadas.

En el proceso de análisis de las muestras se utilizó los métodos de análisis de laboratorio descritos en el capítulo 2.2.3.1, la cadena de custodia aprobada por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2013, p. 24) en el Protocolo de monitoreo de la calidad

de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales y los formatos de laboratorio de la UPN. Ambos formatos se encuentran en los ANEXOS 4 y 5 respectivamente.

2.2.3.3.Determinación de la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del pretratamiento

Se determinó la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del pretratamiento empírico (respetando su tiempo de residencia hidráulica) mediante la recolección de 12 muestras simples durante 12 días diferentes comprendidos entre el 31 de mayo y 13 de julio del 2019 en el efluente del balde de 45 litros. Las muestras fueron tomadas respetando el tiempo de residencia hidráulica del agua en el balde y fueron trasladadas al Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Privada del Norte, Trujillo, Sede San Isidro para ser analizadas. En el proceso de análisis de muestras se aplicó los métodos de análisis de laboratorio descritos en el capítulo 2.2.3.1, la cadena de custodia y formatos de laboratorio de los ANEXOS 4 y 5.

2.2.3.4.Determinación la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG en el efluente del sistema de lodos activados

La determinación de la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados se realizó de forma similar a los dos métodos anteriores y se respetó su tiempo de residencia hidráulica. Se tomó 12 muestras simples durante 12 días diferentes comprendidos entre el 31 de mayo y 13 de julio del 2019 en el efluente del sistema de lodos activados teniendo en cuenta el tiempo de residencia hidráulico del reactor y del sedimentador secundario y fueron trasladadas al Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Privada del Norte, Trujillo, Sede San Isidro para ser analizadas. De igual forma se aplicó los métodos de análisis de laboratorio descritos en el capítulo 2.2.3.1, la cadena de custodia y formatos de laboratorio de los ANEXOS 4 y 5.

2.2.3.5. Determinación de la eficacia del sistema de lodos activados en la calidad de efluentes del camal municipal de El Porvenir.

Con los resultados de laboratorio de las concentraciones de DBO₅, DQO, SST y AyG plasmados en las cadenas de custodia y formatos de laboratorio de la UPN, se procedió a desarrollar la Tabla 9, donde se comparó los resultados pre prueba (efluente del pretratamiento) y posprueba (efluente del sistema de lodos activados) y se realizó las Figuras 20, 21, 22 y 23.

Para determinar si existe diferencia estadísticamente significativa entre los resultados de la pre prueba y pos prueba, se empleó la prueba t-Student para grupos relacionados (mediciones pre prueba - posprueba) con un nivel de confianza del 95%, que permite comparar las medias de los resultados de DBO₅, DQO, SST, y AyG del agua en dos momentos diferentes (antes y después de la aplicación del sistema de lodos activados. Es decir, el agua objeto de estudio siempre fue la misma. Esta evaluación estadística se realizó mediante la aplicación del programa estadístico IBM-SPSS (Statistical Package for Social Science) versión 25.0.

Inmediatamente después se calculó la eficacia del sistema de lodos activados en la calidad de efluentes del camal municipal de El Porvenir a través de la remoción de concentraciones de DBO₅, DQO, SST y AyG. Se utilizó la ecuación 1 y se realizaron las Figuras 24, 25, 26 y 27.

$$\text{Eficacia (\%)} = (C_i - C_f) \times 100 / C_i \quad \dots(\text{Ecuación 1})$$

2.2.3.6. Comparación de la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados con los Valores Máximos Admisibles (VMA)

Con los resultados de la Tabla 8 y los Valores Máximos Admisibles, cuyos valores se encuentran en el ANEXO 6 se formó la Tabla 15 y las Figuras 28,29, 30 y 31 con la finalidad de comparar la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos

activados con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario aprobado mediante D.S. 010-2019-VIVIENDA.

2.3. Procedimientos

2.3.1.1. Procedimiento para la instalación del sistema de lodos activados

2.3.1.1.1. Instalación del sistema de pretratamiento

Consistió en la instalación de un balde de 45 litros que recibía el agua residual proveniente del camal municipal de El Porvenir que previamente había sido filtrado en rejas (cribas) con 20, 10 y 5 mm de separación, con la finalidad de remover el material interferente del crudo, tal como lo recomienda Hernández (2015, p.239). No se tomaron modelos matemáticos ni criterios de diseño para el dimensionamiento de este sistema, ya que se realizó con la única finalidad de retirar los sólidos y las grasas del crudo para acondicionarlo antes de ingresar al sistema de lodos activados. Se puede observar este sistema de pretratamiento en la Figura 6.

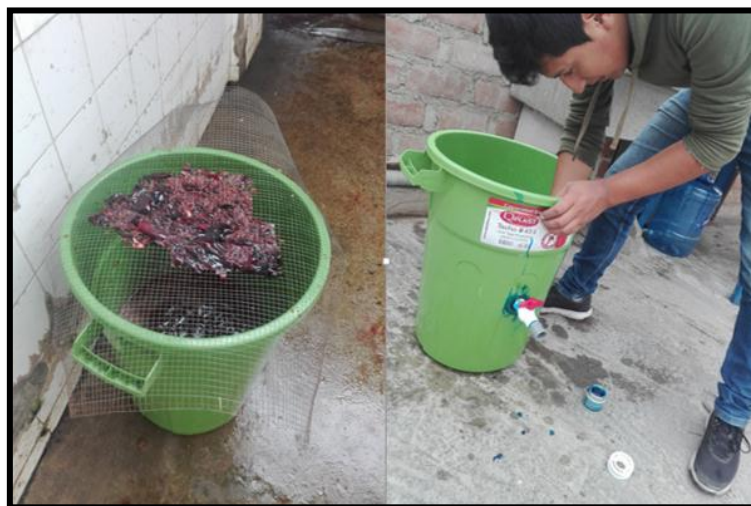


Figura 3. Sistema de pretratamiento construido.

2.3.1.1.2. Instalación del sistema de lodos activados

La instalación del sistema de lodos activados tuvo cinco etapas, las cuales fueron: A) Caracterización del efluente del camal municipal de El Porvenir; B) Selección de parámetros

biocinéticos y datos de partida para el diseño del sistema de lodos activados; C) Diseño del sistema de lodos activados; D) Determinación de la transferencia de oxígeno de las bombas de aire y E) Producción de lodos activados.

A) Caracterización del efluente del camal municipal de El Porvenir

Para empezar, es importante aclarar que esta caracterización se realizó con la única finalidad de obtener datos de partida para el diseño del sistema de lodos activados que recomienda Ramalho (2003, p.334-340) y se realizó en fechas distintas a las tomas de muestras mencionadas en el capítulo 2.2.3.2. Por ende, los resultados de esta caracterización no resuelven el primer objetivo específico de la investigación, pero fueron necesarios para poder aplicar el tratamiento o estímulo al grupo de estudio, ya que ayudó en el diseño del sistema de lodos activados a escala de laboratorio (tratamiento o estímulo).

Esta caracterización se realizó durante 4 días en el efluente del camal municipal de El Porvenir: el 01, 03, 04 y 05 de abril del 2019 mediante la toma de muestras compuestas. Es decir, se recolectó 5 volúmenes horarios de acuerdo al caudal instantáneo y se acumuló en recipientes más grandes, se homogenizó y se tomaron las muestras para analizar la concentración de DBO_5 y otros parámetros necesarios para el diseño del sistema de lodos activados.

Posteriormente se pasó la muestra restante por el sistema de pretratamiento y se tomó nuevas muestras para determinar la influencia de este sistema y tener datos de partida para el diseño del sistema de lodos activados. Este paso fue especialmente importante para encontrar la concentración de DBO_5 antes y después del pretratamiento ya que según Ramalho (2003, p. 315), la DBO_5 del efluente del pretratamiento se considera como DBO_5 soluble y dicho parámetro es necesario para el diseño del sistema de lodos activados.

Los datos obtenidos de esta caracterización del efluente del camal y del pretratamiento se pueden consultar en las Tablas 19 y 20 ANEXO 8.

Para la toma de muestras compuestas se utilizó la siguiente ecuación propuesta por el Instituto de Toxicología de la Defensa (2016, p.3).

$$Vi = \frac{V \times Qi}{n \times Qp} \dots (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

Vi: Volumen de la alícuota a muestrear en Litros.

V: Volumen de muestra compuesta a obtener en Litros.

Qi: Caudal instantáneo en L/seg.

Qp: Caudal promedio en L/seg.

n: número de muestras puntuales.

Sin embargo, para poder aplicar la ecuación 2 es necesario conocer el caudal instantáneo. Este se calculó mediante el método del vertedero rectangular con contracción recomendado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2013, p.25), aprovechando que el camal municipal de El Porvenir descarga sus efluentes por un vertedero de 20 cm de ancho.

$$Q = 3.3 \times L \times H^{1.5} \times 1000 \dots (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

Q: Caudal en L/seg.

L: Longitud de cresta en metros.

H: Tirante en metros.

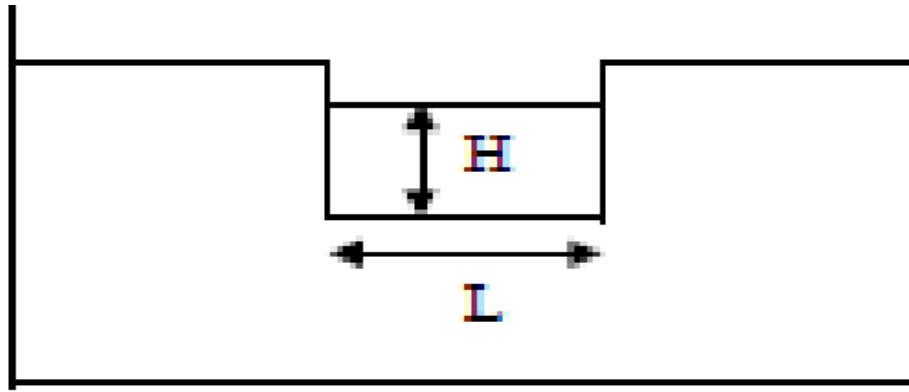


Figura 4. Esquema de un vertedero rectangular con contracción para la determinación de caudales. Adaptado de Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2013. p 25. Derecho de autor 2013.

El procedimiento y los cálculos para la toma de las muestras compuestas del efluente del camal municipal de El Porvenir después de aplicar las ecuaciones 2 y 3 se puede apreciar en el ANEXO 7.

B) Selección de los parámetros biocinéticos y datos de partida para el diseño del sistema de lodos activados.

Después de obtener los resultados de la caracterización de efluentes del camal municipal de El Porvenir y del pretratamiento (Paso A del capítulo 2.2.3.7.2), se seleccionó los parámetros biocinéticos tomando en cuenta la recomendación de Ramalho (2003, p.312) y los datos referenciales de la Tabla 3 para agua residual urbana ya que en la bibliografía no se encontró valores de parámetros biocinéticos para agua residual de camal. Los valores seleccionados para los diferentes parámetros biocinéticos se muestran en la Tabla 4. Asimismo para el diseño se seleccionaron los siguientes datos de partida: SSV en el reactor = 6000 mg/L y SSV en la descarga del sedimentador secundario = 12000 mg/L de acuerdo a la recomendación de Ramalho (2003, p. 263 y 314). Cabe resaltar que estos valores sólo se utilizaron para realizar el diseño preliminar del sistema de lodos activados a escala de laboratorio. Después de la instalación del sistema de lodos activados y mediante análisis

diarios es factible determinar parámetros biocinéticos más precisos para este tipo de agua residual, pero no es objetivo de esta investigación.

Tabla 4

Parámetros biocinéticos seleccionados para el diseño del sistema de lodos activados.

PARAMETRO	NOMBRE	UNIDAD	VALORES
k	Tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa.	$d^{-1} \times L/mg$	0.02952
k_d	Constante de declinación endógena.	d^{-1}	0.06
a	Constante de utilización de oxígeno en la fase de síntesis.	$KgO_2/Kg\ DBO_5$ consumido	0.52
b	Constante de utilización de oxígeno durante la fase de respiración endógena.	d^{-1}	0.0852
Y	Constante de producción de lodos.	$Kg\ SSVLM/Kg\ DBO_5$ consumido	0.5

Nota: En la Tabla 4 se observan los valores seleccionados de los distintos parámetros biocinéticos típicos de aguas residuales para realizar el diseño del sistema de lodos activados a escala de laboratorio en concordancia con la Tabla 3 y con las recomendaciones de Ramalho (2003, p.263 y 314). Fuente Propia.

C) Diseño del sistema de lodos activados

Después de obtener los resultados de la primera caracterización del efluente del camal municipal de El Porvenir y del efluente del sistema de pretratamiento del paso A del capítulo 2.2.3.7.2, además de haber seleccionado los parámetros biocinéticos y datos de partida que se muestran en la Tabla 4, se diseñó el sistema de lodos activados haciendo uso de la metodología de Ramalho (2003, p. 334-340). Dicha metodología se detalla a continuación:

Paso 1: Se definió los datos sobre la alimentación inicial. Estos datos se encuentran plasmados en la Tabla 21.

Paso 2: Se determinó los datos sobre la calidad de efluente deseado. En la Tabla 22 se puede revisar esta información.

Paso 3: Se precisó información específica y datos de partida para el diseño del sistema de lodos activados con el respaldo de referencias bibliográficas. Esta información se encuentra en la Tabla 23.

Paso 4: Se calculó la cantidad de sustrato que debe ser consumido mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{Kg\ DBO_r}{d} = Q_F \times (S_F - S_e) \dots(Ecuación\ 4)$$

Paso 5: Se determinó una estimación preliminar de la potencia necesaria para la aireación, utilizando la ecuación 5:

$$HP = \frac{Q_F \times (S_F - S_e)}{21} \dots(Ecuación\ 5)$$

Paso 6: Se realizó una estimación preliminar de la temperatura del licor de mezcla en el reactor y en el efluente (T_w) para condiciones de verano e invierno. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$T_w = \frac{3.6 \times 10^6 \times Q_F \times T_F + 1134 \times HP \times T_a}{3.6 \times 10^6 \times Q_F + 1134 \times HP} \dots(Ecuación\ 6)$$

Paso 7: Se utilizó las siguientes fórmulas para recalcular los valores de los parámetros biocinéticos seleccionados en la Tabla 4 en función de la temperatura del licor de mezcla en el reactor (T_w) calculada.

$$k_{T_w} = k_{20} \theta^{T_w - 20} \dots(Ecuación\ 7)$$

$$k_{d, T_w} = k_{d, 20} \theta^{T_w - 20} \dots(Ecuación\ 8)$$

$$b_{T_w} = b_{20} \theta^{T_w - 20} \dots(Ecuación\ 9)$$

Paso 8: Se determinó el tiempo de residencia a partir del consumo de DBO₅ soluble. Según Ramalho (2003, p.338), esto se realiza para condiciones invernales. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$t = \frac{(S_F - S_e)}{k \times X_{V,a} \times S_e} \dots (\text{Ecuación 10})$$

Paso 9: Se calculó el tiempo de residencia en base a las condiciones óptimas de floculación del lodo. Ramalho (2003, p. 295) afirma que éstas condiciones se dan cuando la relación A/M se encuentra entre 0.3 y 0.6 d⁻¹ (p.295). Por ende el diseño del Sistema de Lodos Activados se proyectó para mantener una relación A/M = 0.6 d⁻¹. Para conseguir el fin antes mencionado se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$t = \frac{S_F}{X_{V,a} \times \left(\frac{A}{M}\right)_{opt}} \dots (\text{Ecuación 11})$$

Paso 10: Se evaluó los tiempos de residencia obtenidos después de aplicar las ecuaciones 10 y 11. Estos valores resultaron ser muy similares y se escogió el resultado de la ecuación 10 como tiempo de residencia, es decir, el consumo de la DBO₅ soluble controló el diseño. Luego, se recalculó la relación A/M a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{A}{M} = \frac{S_F}{X_{V,a} t} \dots (\text{Ecuación 12})$$

Paso 11: Mediante la siguiente ecuación se proyectó el DBO₅ soluble en condiciones de verano del efluente del Sistema de Lodos Activados:

$$S_e = \frac{S_F}{1 + k X_{V,a} t} \dots (\text{Ecuación 13})$$

Paso 12: Se utilizó el tiempo de residencia seleccionado para calcular el volumen y dimensionar el reactor. Las dimensiones del reactor se pueden revisar en la Tabla 30 del ANEXO 9. Para determinar el volumen del reactor se aplicó la siguiente ecuación:

$$V = Q_F \times t \dots(\text{Ecuación 14})$$

Paso 13: Se aplicó la siguiente fórmula para determinar las necesidades de oxígeno:

$$\frac{Kg\ O_2}{d} = a(S_F - S_e)Q_F + bX_{V,a}V \dots(\text{Ecuación 15})$$

Paso 14: Se calculó la producción neta de biomasa para el Sistema de Lodos Activados mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta X_V = Y(S_F - S_e)Q_F - k_d X_{V,a}V \dots(\text{Ecuación 16})$$

Paso 15: Se aplicó la ecuación 17 para calcular la relación de reciclado r.

$$r = \frac{Q_F \times X_{V,a} - \Delta X_V - Q_F \times X_{V,F}}{Q_F \times (X_{V,u} - X_{V,a})} \dots(\text{Ecuación 17})$$

Paso 16: Se calculó los caudales restantes para completar el diseño del sistema de lodos activados utilizando las siguientes fórmulas:

$$Q_R = rQ_F \dots(\text{Ecuación 18})$$

$$Q_O = Q_F(r + 1) \dots(\text{Ecuación 19})$$

$$Q_w = \frac{\Delta X_V + Q_F X_{V,F} - Q_F X_{V,e}}{X_{V,u} - X_{V,e}} \dots(\text{Ecuación 20})$$

$$Q_e = Q_F - Q_w \dots(\text{Ecuación 21})$$

$$Q_u = Q_o - Q_e \dots(\text{Ecuación 22})$$

Paso 17: Se realizó el balance de materia de los sólidos no volátiles para el sistema de lodos activados. De esta forma se calculó la concentración de SSNV en el reactor, en la descarga del clarificador y en la alimentación inicial. Para esto, se aplicó las siguientes ecuaciones:

$$X_{NV,a} = \frac{(1-F_v)X_{V,a}}{F_v} = X_{NV,0} \dots(\text{Ecuación 23})$$

$$X_{NV,u} = \frac{Q_F(r+1)X_{NV,a}}{Q_\mu} \dots(\text{Ecuación 24})$$

$$X_{NV,F} = (r + 1)X_{NV,a} - rX_{NV,\mu} \dots(\text{Ecuación 25})$$

Paso 18: Se determinó la producción total de lodos que proyecta generar el sistema de lodos activados a escala de laboratorio mediante las siguientes ecuaciones:

$$(SSV)_w = \Delta X_V + Q_F X_{V,F} - Q_e X_{V,e} \dots(\text{Ecuación 26})$$

$$(SSNV)_w = Q_F X_{NV,F} - Q_e X_{NV,e} \dots(\text{Ecuación 27})$$

$$(SST)_w = (VSS)_w + (NVSS)_w \dots(\text{Ecuación 28})$$

Paso 19: Se realizó los balances de materia necesarios para determinar las concentraciones de DBO₅ y SSV en la alimentación combinada mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$S_0 = \frac{S_F + rS_e}{1+r} \dots(\text{Ecuación 29})$$

$$X_{V,0} = \frac{X_{V,F} + rX_{V,\mu}}{1+r} \dots(\text{Ecuación 30})$$

Nota: El significado de la nomenclatura de la ecuación 4 hasta la ecuación 30 se encuentran en el ANEXO 3.

Paso 20: Se comparó la alcalinidad consumida y la alcalinidad de la alimentación inicial para determinar si se requiere un proceso de neutralización. Según Ramalho (2003, p. 348), si la alcalinidad de la alimentación inicial es menor que la alcalinidad consumida, no se requiere neutralización previa al proceso biológico. Según los resultados obtenidos al aplicar las ecuaciones 31 y 32 que se muestran en la Tabla 29 del ANEXO 9, no es necesario un proceso de neutralización.

$$\text{Alcalinidad consumida} = \frac{Kg\ DBO_r}{d} \times 0.5 \dots (\text{Ecuación 31})$$

$$Alc_0 = Q_F \times Alc.\ \text{alimentación inicial} \dots (\text{Ecuación 32})$$

Nota: El significado de la nomenclatura de la ecuación 31 y 32 utilizadas en el paso 20 se encuentran en la Tabla 29 en el ANEXO 9.

Paso 21: Se realizó una comparación entre el nitrógeno disponible y el nitrógeno necesario en el sistema de lodos activados. Estos resultados se muestran en la Tabla 29 del ANEXO 9. La concentración de nitrógeno disponible resultó mayor que el nitrógeno necesario por lo que se concluyó que no es necesario agregar fuentes de nitrógeno. Las ecuaciones utilizadas para desarrollar este paso fueron las siguientes:

$$N_{r,w} = 0.12\Delta X_V \dots (\text{Ecuación 33})$$

$$N_{r,e} = Q_F \times 1mgN/L \dots (\text{Ecuación 34})$$

$$N_r = N_{r,w} + N_{r,e} \dots (\text{Ecuación 35})$$

$$N_F = Q_F \times NTK \dots(\text{Ecuación 36})$$

Nota: El significado de la nomenclatura de la ecuación 33 hasta la ecuación 36 utilizadas en el paso 21 se encuentran en la Tabla 29 del ANEXO 9.

Paso 22: De forma análoga al paso 21, se realizó una comparación entre el fósforo disponible y el fósforo necesario en el Sistema de Lodos Activados. Estos resultados se muestran en la Tabla 29 del ANEXO 9. La concentración de fósforo disponible resultó mayor que el fósforo necesario por lo que no fue necesario inocular fósforo al sistema. Este procedimiento se realizó aplicando las siguientes ecuaciones:

$$P_{r,w} = 0.02\Delta X_V \dots(\text{Ecuación 37})$$

$$P_{r,e} = Q_F \times 0.5mgP/L \dots(\text{Ecuación 38})$$

$$P_r = P_{r,w} + P_{r,e} \dots(\text{Ecuación 39})$$

$$P_F = Q_F \times NTK \dots(\text{Ecuación 40})$$

El significado de la nomenclatura de la ecuación 37 hasta la ecuación 40 utilizadas en el paso 22 se encuentran en la Tabla 29 del ANEXO 9.

Todas estas ecuaciones (ecuación 4 hasta la ecuación 40) fueron insertadas a una hoja de Excel con la finalidad de agilizar el trabajo. Después de realizar estos 22 pasos propuestos por Ramalho (2003, p. 334-340) y con los datos obtenidos se procedió a dimensionar el sistema de lodos activados a escala de laboratorio. Este dimensionamiento se puede observar en el ANEXO 9. Este anexo consta de 11 Tablas y una figura: desde la Tabla 21 hasta la Tabla 32 y la Figura 35. Las Tablas 21, 22 y 23 corresponden a datos de partida e

información general para el diseño del Sistema de Lodos Activados. Los cálculos realizados mediante las distintas ecuaciones antes desarrolladas se encuentran visibles desde la Tabla 24 hasta la Tabla 29. Las Tablas 30, 31 y 32 muestran el dimensionamiento del sistema de lodos activados a escala de laboratorio y la Figura 35 muestra un diagrama de flujo del comportamiento esperado del sistema de lodos activados a escala de laboratorio construido. Por último, en el ANEXO 10 se encuentra el plano en 2D del mencionado sistema desde una perspectiva de planta y desde otra frontal.

Es importante destacar que para el diseño del sistema de lodos activados se utilizó las concentraciones del efluente del sistema del pretratamiento.

D) Determinación de la tasa de transferencia de oxígeno de las bombas de aire

Después de haber diseñado y construido el sistema de lodos activados y con la finalidad de conocer la dotación de oxígeno de las bombas de aire que se utilizaron para airear el tanque de aireación se procedió a determinar la tasa de transferencia de oxígeno de estas bombas de aire conectado a piedras difusoras. Las especificaciones técnicas de las bombas de aire utilizadas se encuentran en la Tabla 5.

Tabla 5
Especificaciones técnicas de las bombas de aire.

Ítem	Descripción
Marca	AIR PUMP
Modelo	SC 7500
Voltaje	110-120 V
Frecuencia	60 Hz
Potencia	3.5 watts
Air Outoput	400 L/h

Nota: En la Tabla 5 se muestra las especificaciones técnicas de las bombas de aire que se utilizó para proporcionar oxígeno al tanque de aireación. Estas especificaciones técnicas se pueden verificar en <https://www.aquavidacolombia.com/motores-de-aire/-3189motor-de-aire-2-salidas-acuarios-sc7500-boyu-3lt-min-cada-una.html>. Fuente propia.

Para determinar la tasa de transferencia de oxígeno se utilizó la metodología recomendada por Ramalho (2003, p.205-208) y se detalla a continuación:

Paso 1: Se desoxigenó 40 litros de agua utilizando Sulfito de Sodio (Na_2SO_3) y Cloruro de Cobalto (CoCl_2). Según (Ramalho, 2003 p.205) indica que se debe de utilizar 7.9 ppm de (Na_2SO_3) para eliminar una ppm de (O_2) teóricamente, pero que se suele utilizar de 10 a 20% de exceso. Por otro lado el (CoCl_2) se debe de utilizar hasta tener en el agua una concentración mínima de 1.5 ppm de Co^{2+} .

Paso 2: Se procedió a airear haciendo uso de una bomba de aire cuyas características se mencionan en la Tabla 5, conectada a 12 piedras difusoras de forma esférica y se tomó datos del oxígeno disuelto en agua cada dos minutos durante los diez primeros minutos y luego cada 5 minutos hasta completar una hora de aireación.

Paso 3: Se determinó el coeficiente de transferencia de oxígeno (K_{La}) haciendo uso de la ecuación 41.

$$\ln(C_s - C_t) = -k_L a t + cte \dots (\text{Ecuación 41})$$

Donde:

K_{La} : Coeficiente de transferencia de oxígeno.

C_s : Valor de saturación de oxígeno para agua destilada, en condiciones normales: 1 atm y a $T = 20^\circ\text{C}$ según (Ramalho, 2003 p. 205).

C_t : Concentración de oxígeno disuelto en un tiempo seleccionado.

t : Tiempo seleccionado.

Paso 4: A partir de los resultados obtenidos en el cuadro anterior, se determina mediante la ecuación 42 el coeficiente de transferencia K_{La} . Del mismo modo se recalcula dicho

coeficiente teniendo en cuenta la temperatura de 20°C como referencia debido a que la temperatura es variable por lo que se debe de volver a calcular el coeficiente para aplicarlo como referente en dicha temperatura. Dicho cálculo se realiza haciendo uso de la ecuación 43. Por último, se determina la capacidad de oxigenación haciendo uso de la ecuación 44.

$$k_L a = 2.303 \log[(C_s - C_1)/(C_s - C_2)]/(t_2 - t_1) \dots(\text{Ecuación 42})$$

Donde:

C_s : Valor de saturación de oxígeno para agua destilada, en condiciones normales: 1 atm y a $T = 20^\circ\text{C}$.

C_1 : Concentración de oxígeno disuelto en un primer tiempo seleccionado.

C_2 : Concentración de oxígeno disuelto en un segundo criterio seleccionado.

t_1 : primer tiempo seleccionado.

t_2 : segundo tiempo seleccionado.

$$(k_L a)_{20^\circ\text{C}} = (k_L a)_T * \theta^{20-T} \dots(\text{Ecuación 43})$$

Donde:

$(K_L a)_T$: Coeficiente de transferencia de oxígeno a la temperatura del ensayo.

θ : constante para corrección de $K_L a$ respecto a la temperatura del ensayo.

$$C.O = (k_L a)_T * C_s \dots(\text{Ecuación 44})$$

Donde:

CO: Capacidad de oxigenación

$(K_L a)_T$: Coeficiente de transferencia de oxígeno a la temperatura del ensayo.

Paso 4: Se determinó el número de bombas y potencia total para el sistema de aireación. Una vez que se encontró la capacidad de oxigenación del sistema a temperatura de 20°C, se determinó el flujo de oxígeno que se suministró en un periodo de una hora en el tanque de ensayo, para lo cual fue necesario el volumen del líquido en el tanque al cual se le multiplicó

la capacidad de oxigenación determinada con anterioridad. Posteriormente se determinó la cantidad de bombas que se utilizó en el sistema a partir de la demanda de oxígeno que se determinó en el procedimiento de diseño del sistema de lodos activados. Determinada el número de bombas se procedió a calcular la potencia total haciendo uso de la información de la Tabla 5. En el ANEXO 11 se puede ver los cálculos de las cantidades de reactivos utilizados, así como los resultados de la metodología aplicada para determinar la tasa de transferencia de oxígeno.

E) Producción de lodos activados

Para la producción de lodos activados, se alimentó el sistema de lodos activados con el caudal de diseño sin operar la corriente de purga. La alimentación se realizó de manera diaria y continua. Todos los días se recolectó entre 40 y 50 litros de agua residual del camal para que el sistema funcione las 24 horas y los 7 días de la semana. Esto se hizo con la finalidad de que se produzcan lodos activados, gracias al sistema de aireación. Este proceso demoró aproximadamente 47 días. En ese tiempo, los lodos generados se acercaron lo máximo posible a los parámetros de diseño de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación y en la descarga del clarificador que se tomaron como datos de partida para el diseño del sistema. En ese momento fue cuando se empezó la evaluación de la eficacia del sistema de lodos activados. Los parámetros de diseño fueron de 6000 mg/L de Sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación y 12000 mg/L de sólidos suspendidos volátiles en la descarga del clarificador (Ramalho, 2003, p.263 y 314). En la Tabla 39 del ANEXO 12 se puede observar los valores para estos parámetros después de aproximadamente 47 días del arranque de operación del sistema y en todas las fechas que se realizaron tomas de muestras del sistema de lodos activados para la evaluación de su eficacia. Ambos parámetros fueron analizados en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Privada del Norte, Trujillo – Sede San Isidro.

Después de obtener los resultados presentados en la Tabla 39 del ANEXO 12 en el día 1, inmediatamente se activó el caudal de purga y los demás caudales de acuerdo a la Figura 35 del ANEXO 9, con la finalidad de lograr el comportamiento del sistema de lodos activados diseñado de acuerdo a la metodología de Ramalho (2003, p. 334-340).

2.4. Variables de la investigación

Variable dependiente: Calidad de los efluentes del camal municipal de El Porvenir, 2019.

Variable Independiente: Sistema de Lodos Activados.

La Matriz de Operacionalización de variables se encuentra en el ANEXO 2 según el modelo de matriz de operacionalización de variables para estudios de investigación pre experimentales recomendado por Vargas y Gallardo (2017, p. 54). Esta Matriz muestra solamente el desarrollo de la variable dependiente, esto es, calidad de efluentes, ya que como se mencionó en el apartado 2.1 en este tipo de investigaciones no es posible manipular la variable independiente y solamente se suele limitarse a observar el fenómeno analizado en condiciones normales sin modificarlo.

2.5. Población y muestra

Población: Efluente líquido del área de beneficio del camal municipal de El Porvenir.

Muestra: 40 litros diarios de efluentes del camal municipal de El Porvenir por 44 días (muestra simple).

2.6. Ubicación del Sistema de Lodos Activados a escala de laboratorio.

El sistema de lodos activados a escala de laboratorio fue ubicado en el cuarto piso de un edificio ubicado en la Urb. San Isidro II Etapa Mz. W Lt 17. La ubicación mencionada fue la azotea de la vivienda de uno de los tesisistas. Esto permitió tener un control continuo del sistema de lodos activados, ya que este se encontraba funcionando con flujo continuo.

Las muestras de agua residual a tratar se trasladaban desde el camal municipal de El Porvenir hasta esta ubicación, la cual permitía monitorear el sistema de lodos activados y evaluar las muestras rápidamente debido a la cercanía a los laboratorios de la Universidad Privada del Norte, Sede San Isidro, Trujillo.



Figura 5. Ubicación del Sistema de Lodos Activados a escala de laboratorio.

2.7. Descripción sobre el sistema de lodos activados a escala de laboratorio

El sistema de lodos activados a escala de laboratorio estuvo compuesto de la manera que se detalla a continuación:

Pretratamiento: Conformado por rejas (cribas) de 20, 10 y 5 mm de separación, y un balde de 45 litros para separar todos los interferentes. La muestra tomada del camal municipal de El Porvenir fue filtrada a través de las rejas de 20, 10 y 5 mm y luego trasladada hasta la ubicación del sistema de lodos activados a escala de laboratorio y se depositó en el balde de 45 Litros. De esta forma, el pretratamiento cumplió doble objetivo: en las rejas (cribas) se retuvieron los sólidos grandes como las vísceras y el balde de 45 Litros cumplió la función de un separador por gravedad: los sólidos sedimentaron en el fondo por acción de la gravedad y los aceites y grasas se colocaron en la superficie del agua por diferencia de densidad.

En la Figura 4 se puede apreciar la demostración del funcionamiento del pretratamiento construido. En las rejillas se puede observar los sólidos grandes de los efluentes del camal municipal de El Porvenir y el líquido filtrado fue alimentado al sistema de lodos activados.



Figura 6. Cribado del efluente del camal municipal de El Porvenir.

Tanque de aireación o reactor: Tanque de vidrio de 33 cm de ancho, 40 cm de largo y 60 cm de altura. Este tanque fue alimentado con el efluente del balde de 45 Litros del pretratamiento para ser aireado mediante piedras difusoras alimentadas por 5 bombas de aire marca Air Pump modelo NS 750 de 5 Watts de potencia con la finalidad de que los microorganismos obtengan energía para descomponer la materia orgánica presente en el agua residual y se forme el flóculo biológico.

Clarificador secundario: Tanque de 15 cm de ancho, 60 cm de largo y 25 cm de altura con base piramidal de 07 cm de altura respecto a la horizontal. Este tanque fue alimentado con el efluente del tanque de aireación y tuvo la función de sedimentar el floculo biológico generado en el tanque de aireación. Asimismo, este sedimentador tuvo un sistema de recirculación elaborado con tubería PVC de agua caliente de ½", una llave de paso y una bomba de agua de 8 Watts por el cual parte del floculo sedimentado fue recirculado al tanque de aireación y otra

parte fue objeto de purga. El sistema de lodos activados a escala de laboratorio mencionado se puede observar en la Figura 5.



Figura 7. Sistema de lodos activados a escala de laboratorio construido.

2.8. Aspectos éticos

Se contó con la autorización de la Municipalidad Distrital de El Porvenir para la toma de muestras y su respectivo análisis, así como el uso de los resultados obtenidos de la caracterización de los efluentes del camal municipal.

CAPITULO III. RESULTADOS

3.1. Resultados de la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG en el efluente del camal municipal de El Porvenir.

Tabla 6
 Resultados de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del camal.

Día	Resultados del efluente del camal			
	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	AyG mg/L
1	7130	17454	1351.15	1262.99
2	7048	16312	1244.34	1128.34
3	6734	17377	999.46	848.96
4	7152	16283	1468.06	1309.67
5	6846	17169	1113.67	978.23
6	6752	16008	1009.11	909.33
7	6884	17697	1116.55	1052.41
8	6890	16101	1146.18	1072.22
9	7096	17821	1293.35	1199.99
10	7158	16312	1593.41	1372.12
11	6608	17059	993.33	772.09
12	6944	16068	1208.41	1088.47
Promedio	6937	16805	1211.42	1082.90

Nota: En la Tabla 6 se puede observar los resultados de las concentraciones de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del camal municipal de El Porvenir analizados durante 12 días. Fuente propia.

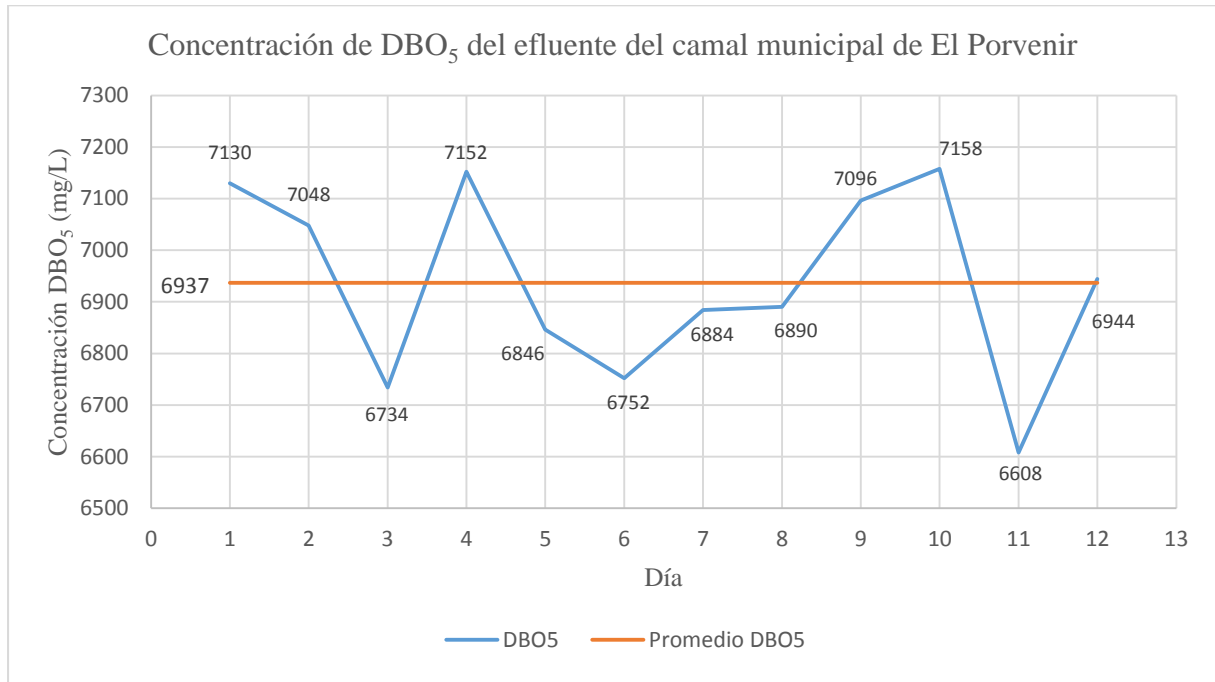


Figura 8. Se muestran los resultados de la concentración de DBO₅ del efluente del camal municipal de El Porvenir durante 12 diferentes días. Se puede observar que la concentración más alta fue 7158 mg/L en el día 10 mientras que la concentración más baja fue 6608 mg/L en el día 11. La concentración de DBO₅ promedio fue 6937 mg/L.

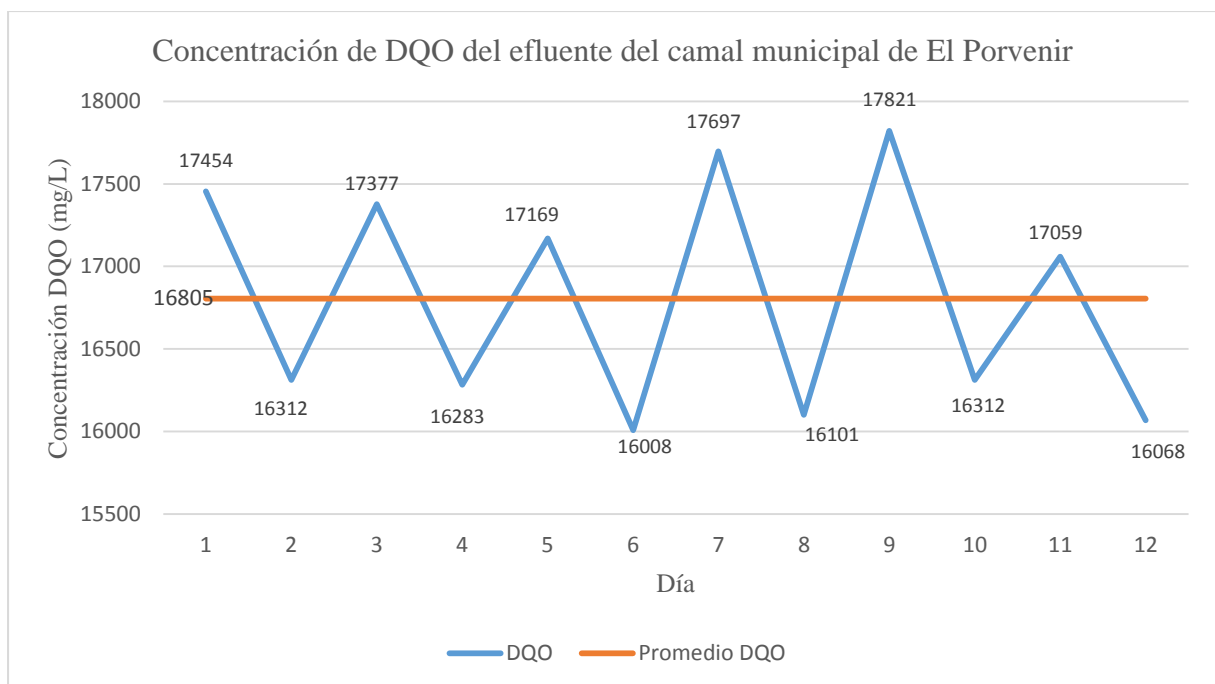


Figura 9. Se muestran los resultados de DQO del efluente del camal municipal de El Porvenir durante 12 diferentes días y se puede ver que la concentración más alta fue 17821 mg/L en el día 9 mientras que la concentración más baja fue 16008 mg/L en el día 6. La concentración de DQO promedio fue 16805 mg/L.

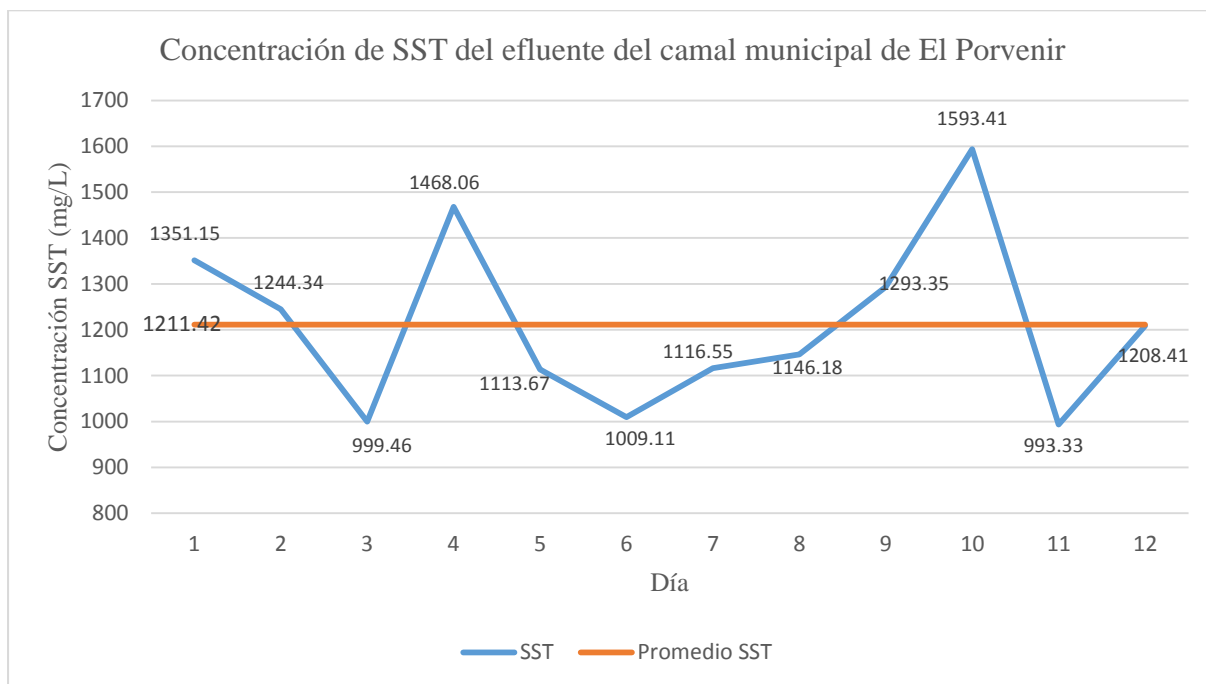


Figura 10. Se muestran los resultados de SST del efluente del camal municipal de El Porvenir durante 12 días diferentes. Se puede observar que la concentración más alta fue 1593.41 mg/L en el día 10 mientras que la concentración más baja fue 993.33 mg/L en el día 11. La concentración de SST promedio fue 1211.42 mg/L.

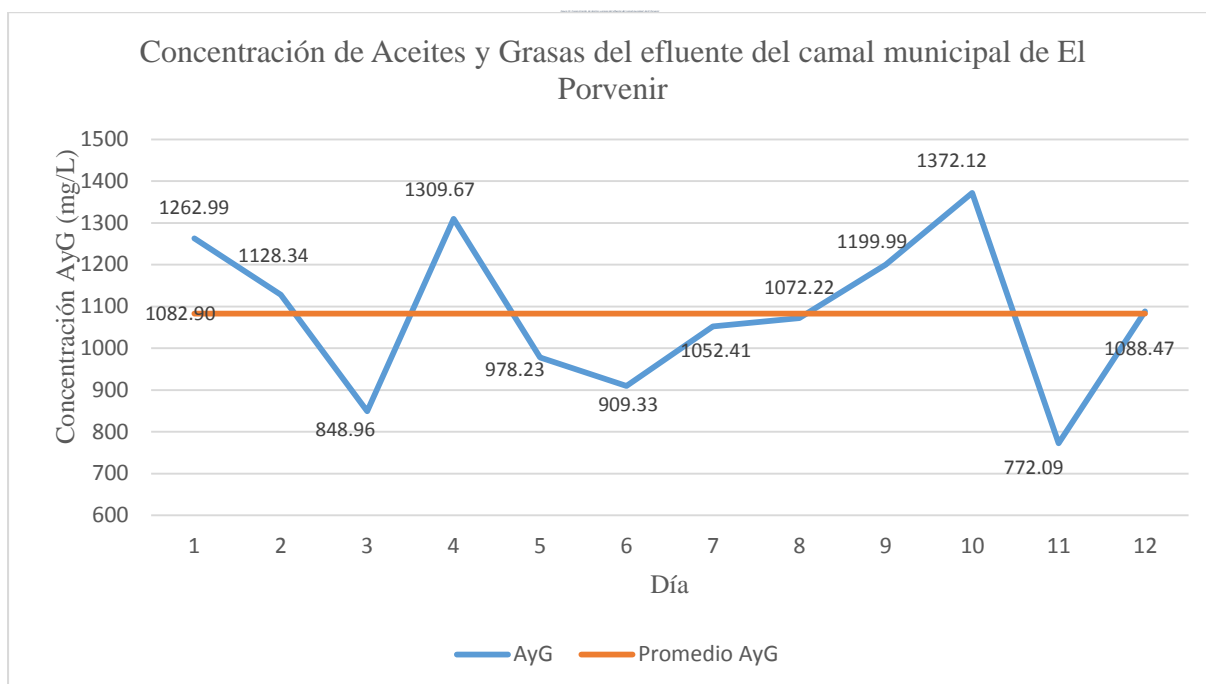


Figura 11. Se muestran los resultados de Aceites y Grasas del efluente del camal municipal de El Porvenir durante 12 días y se puede ver que la concentración más alta fue 1372.12 mg/L en el día 10 mientras que la concentración más baja fue 772.09 mg/L en el día 11. La concentración de Aceites y Grasas promedio fue 1082.90 mg/L.

3.2. Resultados de la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG en el efluente del pretratamiento.

Tabla 7

Resultados de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del pretratamiento.

Análisis del efluente (pretratamiento)				
Día	DBO₅	DQO	SST	AyG
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	5444	11516	1325.48	55.22
2	5134	10577	1198.30	36.07
3	5076	11363	959.98	37.26
4	5282	10727	1413.74	54.97
5	5096	11477	1086.94	31.35
6	5036	10541	976.82	38.47
7	5268	11476	1069.99	44.08
8	5022	10586	883.13	34.26
9	5348	11739	1265.28	50.56
10	5286	11025	1537.32	43.47
11	4924	11097	969.39	32.67
12	5154	10570	1173.85	34.83
Promedio	5173	11058	1155.02	41.10

Nota: En la Tabla 7 se puede observar los resultados de las concentraciones de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del pretratamiento empírico aplicado y descrito en el capítulo 2.6 durante 12 días diferentes. Fuente propia.

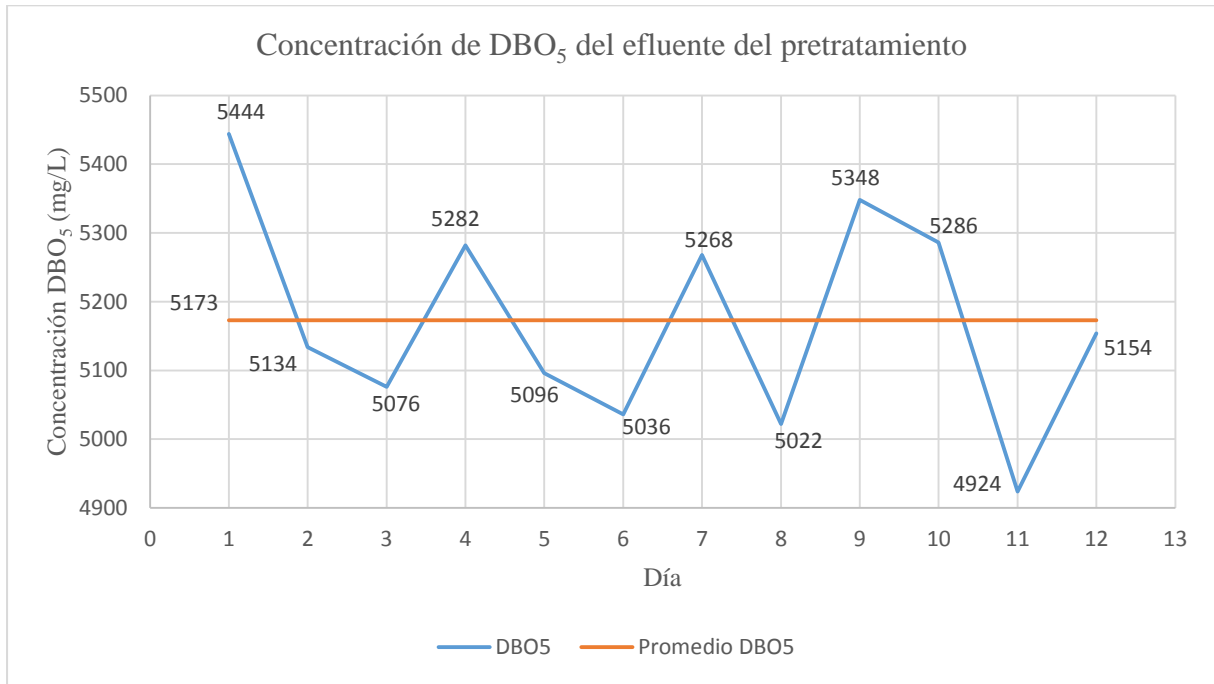


Figura 12. Se muestran los resultados de la concentración de DBO₅ del efluente del pretratamiento durante 12 diferentes días. Se puede observar que la concentración más alta fue 5444 mg/L en el día 1 mientras que la concentración más baja fue 4924 mg/L en el día 11. La concentración de DBO₅ promedio fue 5173 mg/L.

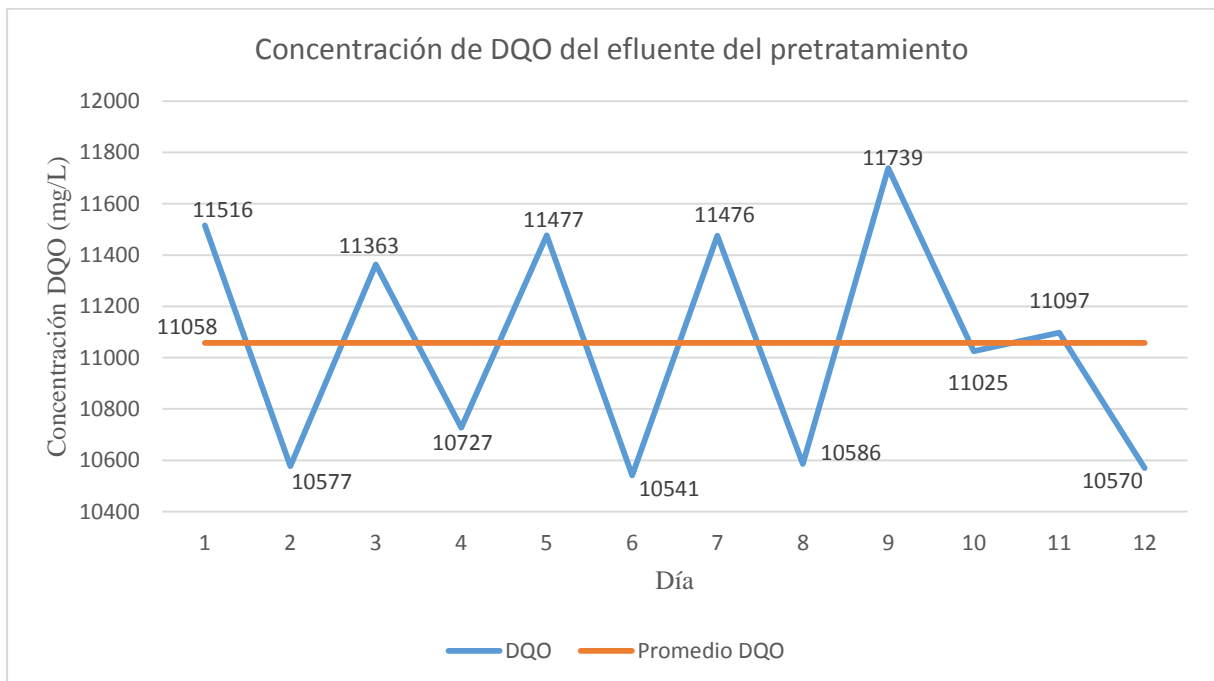


Figura 13. Se muestran los resultados de la concentración de DQO del efluente del pretratamiento durante 12 diferentes días. Se puede observar que la concentración más alta fue 11739 mg/L en el día 9 mientras que la concentración más baja fue 10541 mg/L en el día 6. La concentración de DQO promedio fue 11058 mg/L.

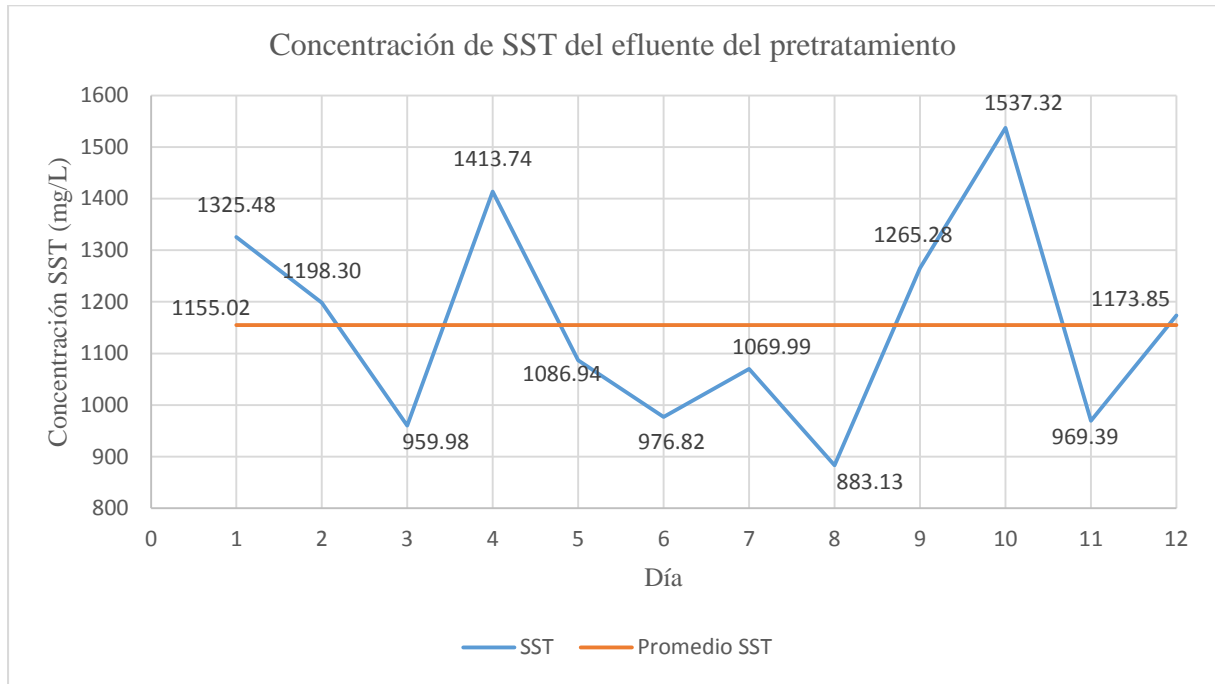


Figura 14. Se muestran los resultados de la concentración de SST del efluente del pretratamiento durante 12 diferentes días. Se puede observar que la concentración más alta fue 1537.32 mg/L en el día 10 mientras que la concentración más baja fue 883.13 mg/L en el día 8. La concentración de SST promedio fue 1155.02 mg/L.

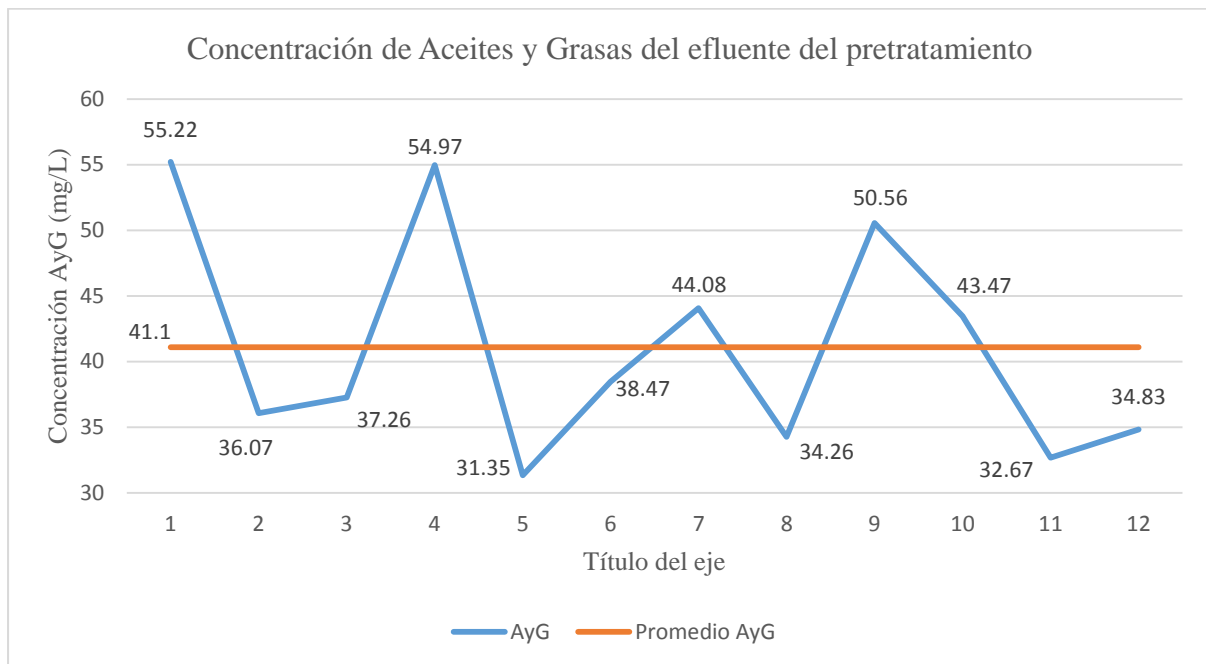


Figura 15. Se muestran los resultados de la concentración de AyG del efluente del pretratamiento durante 12 diferentes días. Se puede observar que la concentración más alta fue 55.22 mg/L en el día 1 mientras que la concentración más baja fue 31.35 mg/L en el día 5. La concentración de AyG promedio fue 41.1 mg/L.

3.3. Resultados de la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados

Tabla 8

Resultados de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados.

Resultados del efluente del sistema de lodos activados				
Día	DBO₅	DQO	SST	AyG
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	338	938	124.27	53.75
2	336	862	94.07	34.79
3	316	898	78.31	36.28
4	314	873	132.21	52.96
5	310	810	81.09	30.52
6	396	783	82.55	37.14
7	338	981	100.99	42.93
8	378	789	64.61	33.04
9	404	993	106.68	49.47
10	314	898	148.35	42.05
11	308	960	70.96	31.97
12	270	842	102.55	33.73
Promedio	335	886	98.89	39.89

Nota: En la Tabla 8 se puede observar los resultados de las concentraciones de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados aplicado y descrito en el capítulo 2.6 durante 12 días diferentes. Fuente propia.

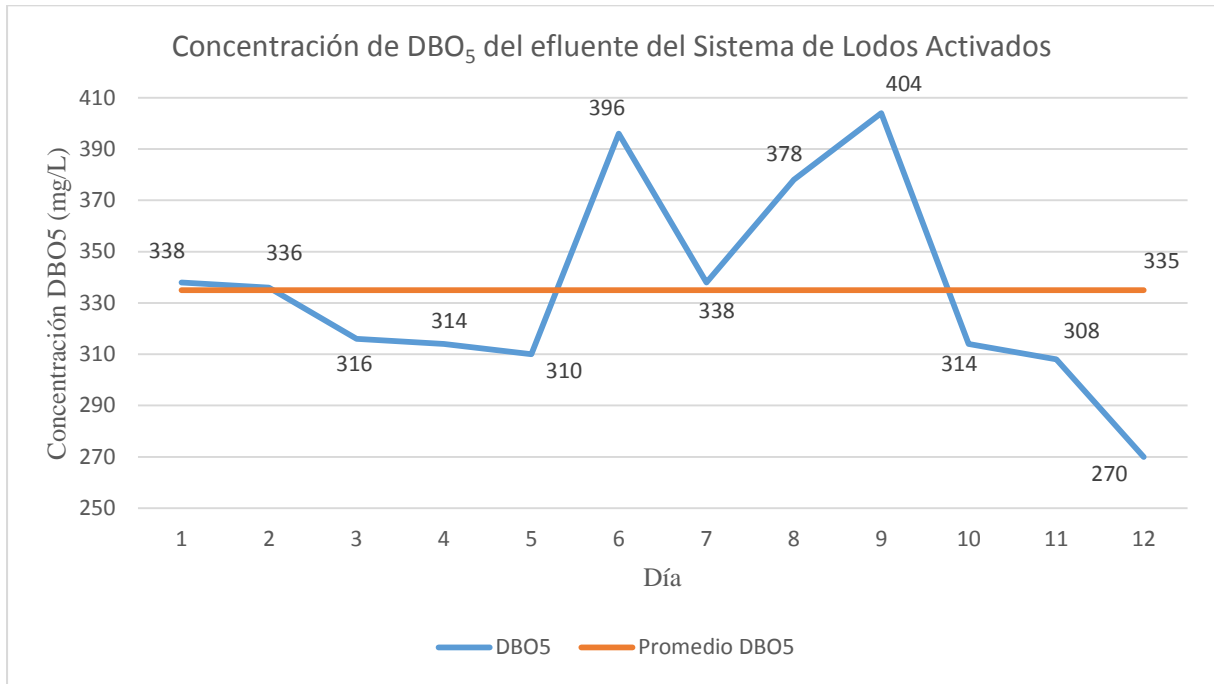


Figura 16. Se muestran los resultados de la concentración de DBO₅ del efluente del sistema de lodos activados durante 12 diferentes días. Se puede observar que la concentración más alta fue 404 mg/L en el día 9 mientras que la concentración más baja fue 270 mg/L en el día 12. La concentración de DBO₅ promedio fue 335 mg/L.

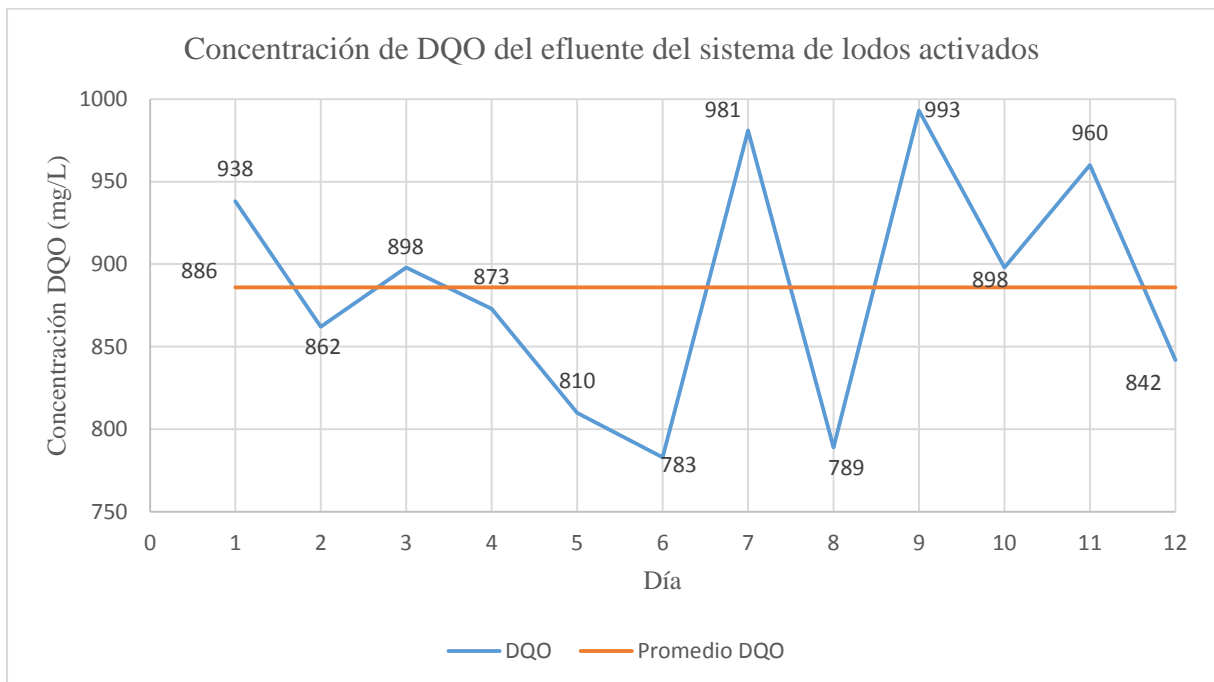


Figura 17. Se muestran los resultados de la concentración de DQO del efluente del sistema de lodos activados durante 12 diferentes días. Se puede observar que la concentración más alta fue 993 mg/L en el día 9 mientras que la concentración más baja fue 783 mg/L en el día 6. La concentración de DQO promedio fue 886 mg/L.

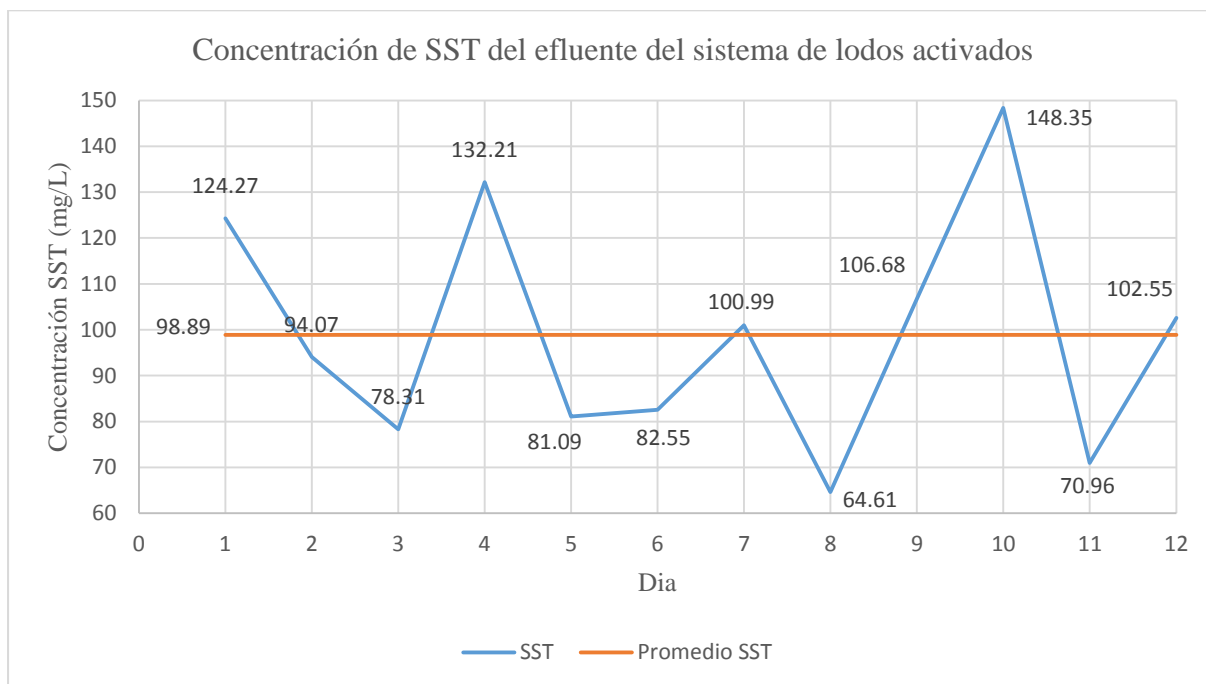


Figura 18. Se muestran los resultados de la concentración de SST del efluente del sistema de lodos activados durante 12 diferentes días. Se puede observar que la concentración más alta fue 148.35 mg/L en el día 10 mientras que la concentración más baja fue 64.61 mg/L en el día 8. La concentración de SST promedio fue 98.89 mg/L.

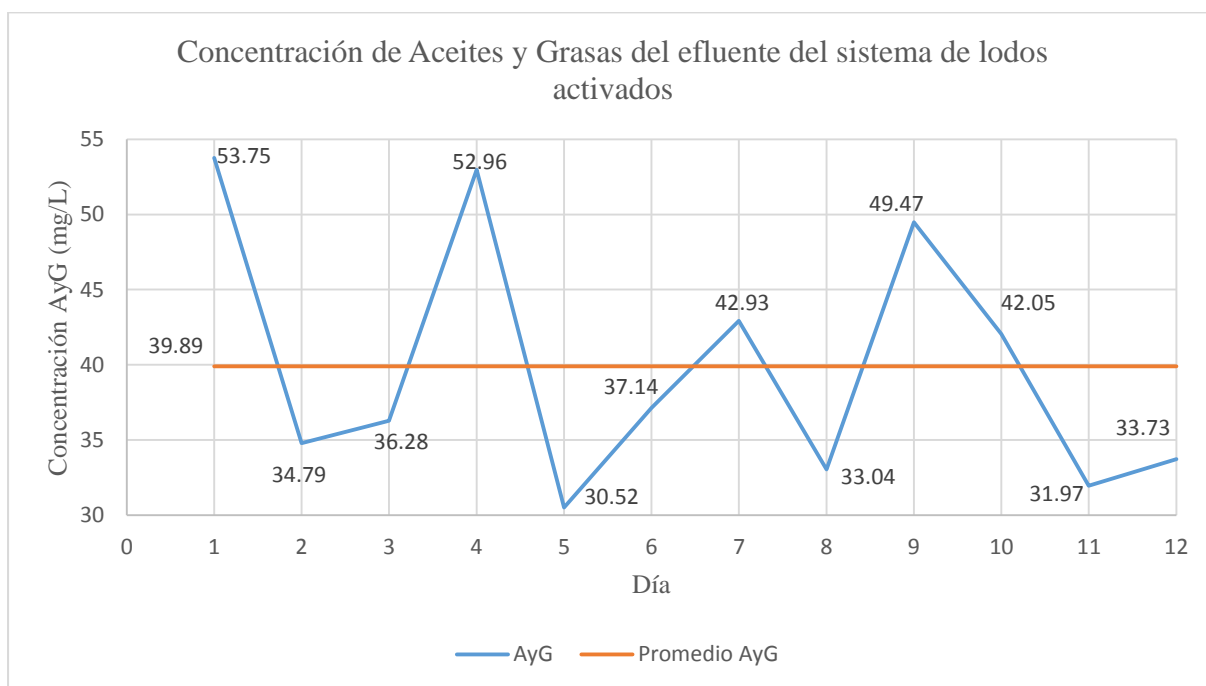


Figura 19. Se muestran los resultados de la concentración de AyG del efluente del sistema de lodos activados durante 12 diferentes días. Se puede observar que la concentración más alta fue 53.75 mg/L en el día 1 mientras que la concentración más baja fue 30.52 mg/L en el día 5. La concentración de AyG promedio fue 39.89 mg/L.

3.4. Resultados de la eficacia del sistema de lodos activados en la calidad de efluentes del camal municipal de El Porvenir.

Tabla 9

Resultados pre prueba (efluente del pretratamiento) vs posprueba (efluente del sistema de lodos activados).

Día	Resultados de la pre prueba				Resultados de la pos prueba			
	DBO ₅	DQO	SST	AyG	DBO ₅	DQO	SST	AyG
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	5444	11516	1325.48	55.22	338	938	124.27	53.75
2	5134	10577	1198.30	36.07	336	862	94.07	34.79
3	5076	11363	959.98	37.26	316	898	78.31	36.28
4	5282	10727	1413.74	54.97	314	873	132.21	52.96
5	5096	11477	1086.94	31.35	310	810	81.09	30.52
6	5036	10541	976.82	38.47	396	783	82.55	37.14
7	5268	11476	1069.99	44.08	338	981	100.99	42.93
8	5022	10586	883.13	34.26	378	789	64.61	33.04
9	5348	11739	1265.28	50.56	404	993	106.68	49.47
10	5286	11025	1537.32	43.47	314	898	148.35	42.05
11	4924	11097	969.39	32.67	308	960	70.96	31.97
12	5154	10570	1173.85	34.83	270	842	102.55	33.73
Promedio	5173	11058	1155.02	41.10	335	886	98.89	39.89

Nota: En la Tabla 9 se puede observar los resultados de las concentraciones de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del pretratamiento (pre prueba) y los resultados de las concentraciones de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados (posprueba). Fuente propia.

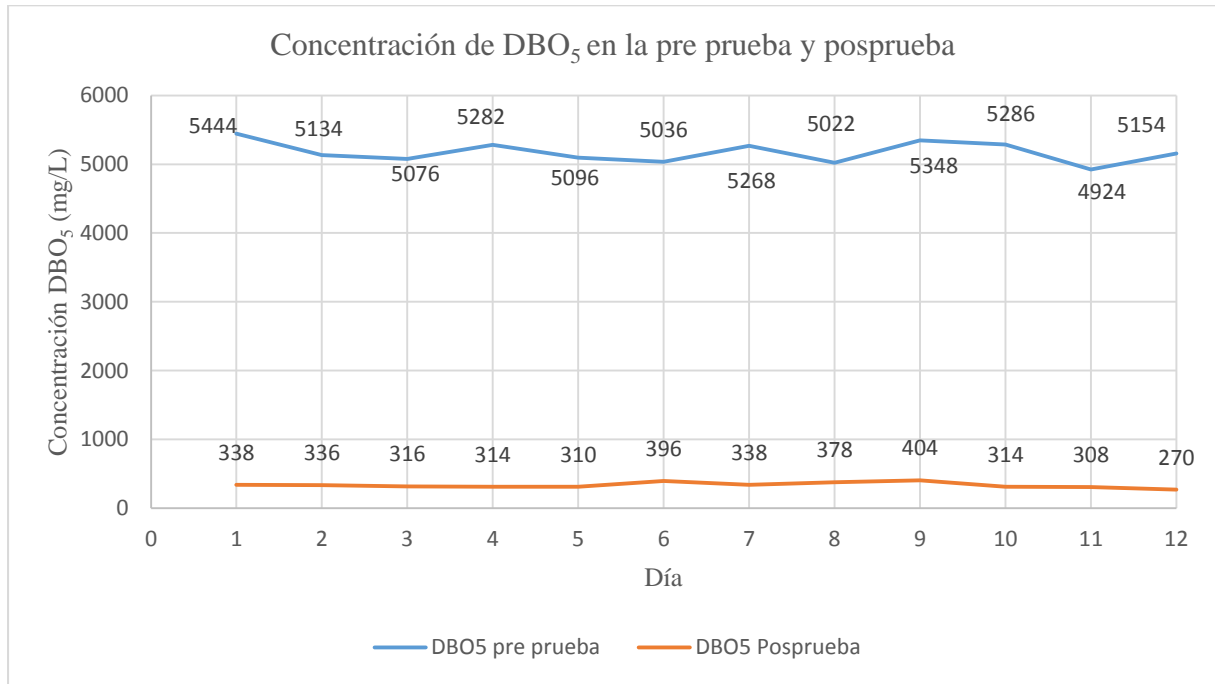


Figura 20. Se muestra la comparación resultados de las concentraciones de DBO₅ entre el efluente del pretratamiento (pre prueba) y el efluente del sistema de lodos activados (pos prueba). Se puede observar que los resultados tienen una diferencia considerable. Sin embargo, para determinar si existe diferencia significativa se aplicó la prueba t-Student para grupos relacionados mediante la aplicación del programa estadístico IBM-SPSS (Statistical Package for Social Science) versión 25.0.

Resultados de la prueba t –Student para DBO₅ en la pre prueba y posprueba:

Hipótesis nula: No existe diferencia entre los resultados de la pre prueba y posprueba para las concentraciones de DBO₅. ($P \geq 0.05$).

Hipótesis alterna: Existe diferencia significativa entre los resultados de la pre prueba y posprueba para las concentraciones de DBO₅. ($P < 0.05$).

Tabla 10

Reporte de la prueba t - Student para muestras relacionadas - DBO₅.

Medición DBO ₅	Diferencias emparejadas				t	Grados de libertad	P
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia			
				Inferior Superior			
Antes - Después	4837.333	155.213	44.806	4738.716 4935.951	107.961	11	5.38E-18

Nota: En la Tabla 10 se puede observar que $P < 0.05$, por lo tanto se acepta la hipótesis alterna, y esto quiere decir que estadísticamente existe diferencia significativa entre la media de resultados de las concentraciones de DBO₅ entre los resultados de la pre prueba y la pos prueba. Los resultados de esta tabla fueron generados por el programa estadístico IBM-SPSS (Statistical Package for Social Science) versión 25.0.

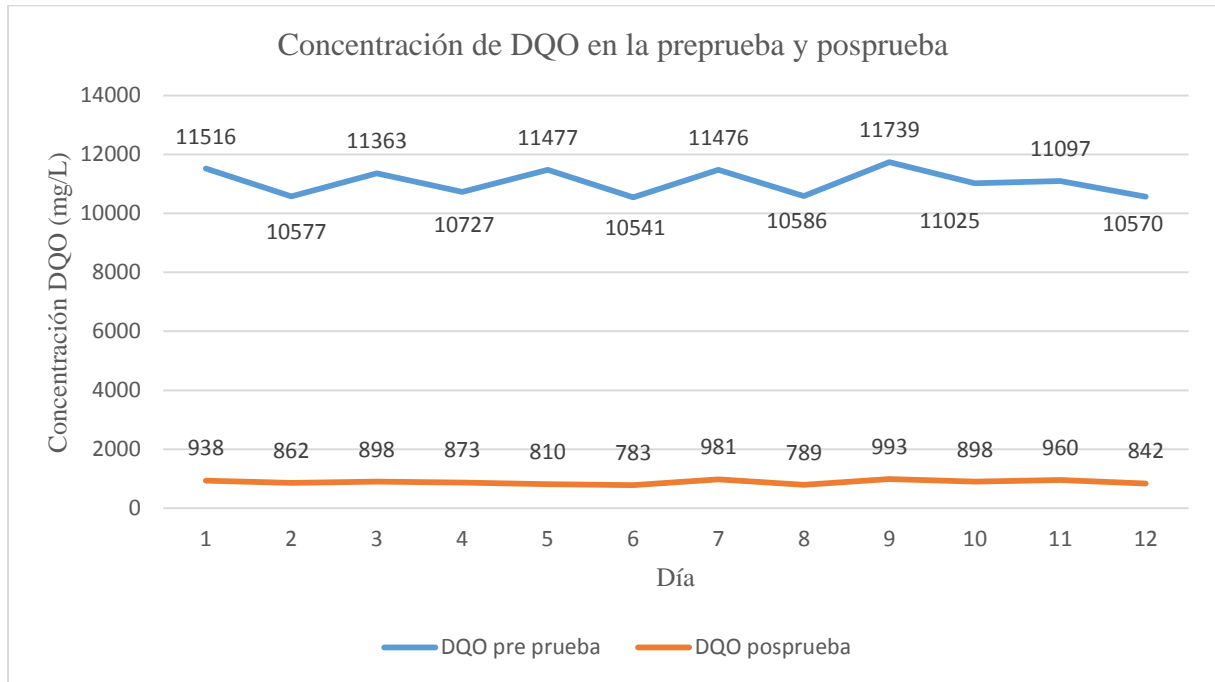


Figura 21. Se muestra la comparación resultados de las concentraciones de DQO entre el efluente del pretratamiento (pre prueba) y el efluente del sistema de lodos activados (pos prueba). Se puede observar que los resultados tienen una diferencia considerable. Sin embargo, para determinar si existe diferencia significativa se aplicó la prueba t-Student para grupos relacionados mediante la aplicación del programa estadístico IBM-SPSS (Statistical Package for Social Science) versión 25.0.

Resultados de la prueba t –Student para DQO en la pre prueba y posprueba:

Hipótesis nula: No existe diferencia entre los resultados de la pre prueba y posprueba para las concentraciones de DQO. ($P \geq 0.05$).

Hipótesis alterna: Existe diferencia significativa entre los resultados de la pre prueba y posprueba para las concentraciones de DQO. ($P < 0.05$).

Tabla 11

Reporte de la prueba t - Student para muestras relacionadas - DQO.

Medición DQO	Diferencias emparejadas				t	Grados de libertad	P	
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior				Superior
Antes - Después	10172.250	399.078	115.204	9918.688	10425.812	88.298	11	4.90E-17

Nota: En la Tabla 11 se puede observar que $P < 0.05$, por lo tanto se acepta la hipótesis alterna, y esto quiere decir que estadísticamente existe diferencia significativa entre la media de resultados de las concentraciones de DQO entre los resultados de la pre prueba y la pos prueba. Los resultados de esta tabla fueron generados por el programa estadístico IBM-SPSS (Statistical Package for Social Science) versión 25.0.

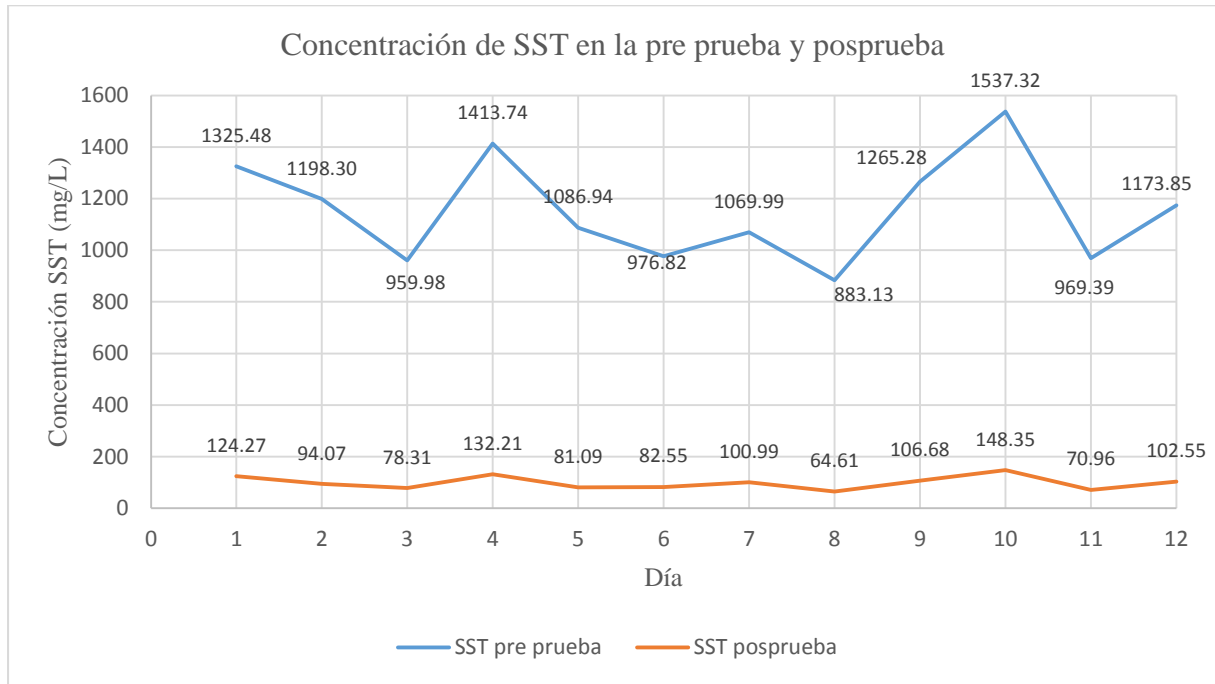


Figura 22. Se muestra la comparación resultados de las concentraciones de SST entre el efluente del pretratamiento (pre prueba) y el efluente del sistema de lodos activados (pos prueba). Se puede observar que los resultados tienen una diferencia considerable. Sin embargo, para determinar si existe diferencia significativa se aplicó la prueba t-Student para grupos relacionados mediante la aplicación del programa estadístico IBM-SPSS (Statistical Package for Social Science) versión 25.0.

Resultados de la prueba t –Student para SST en la pre prueba y posprueba:

Hipótesis nula: No existe diferencia entre los resultados de la pre prueba y posprueba para las concentraciones de SST. ($P \geq 0.05$).

Hipótesis alterna: Existe diferencia significativa entre los resultados de la pre prueba y posprueba para las concentraciones de SST. ($P < 0.05$).

Tabla 12

Reporte de la prueba t - Student para muestras relacionadas - SST.

Medición SST	Diferencias emparejadas				t	Grados de libertad	P	
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Antes - Después	1056.132	176.780	51.032	943.811	1168.452	20.696	11	3.70E-10

Nota: En la Tabla 12 se puede observar que $P < 0.05$, por lo tanto se acepta la hipótesis alterna, y esto quiere decir que estadísticamente existe diferencia significativa entre la media de resultados de las concentraciones de SST entre los resultados de la pre prueba y la pos prueba. Los resultados de esta tabla fueron generados por el programa estadístico IBM-SPSS (Statistical Package for Social Science) versión 25.0.

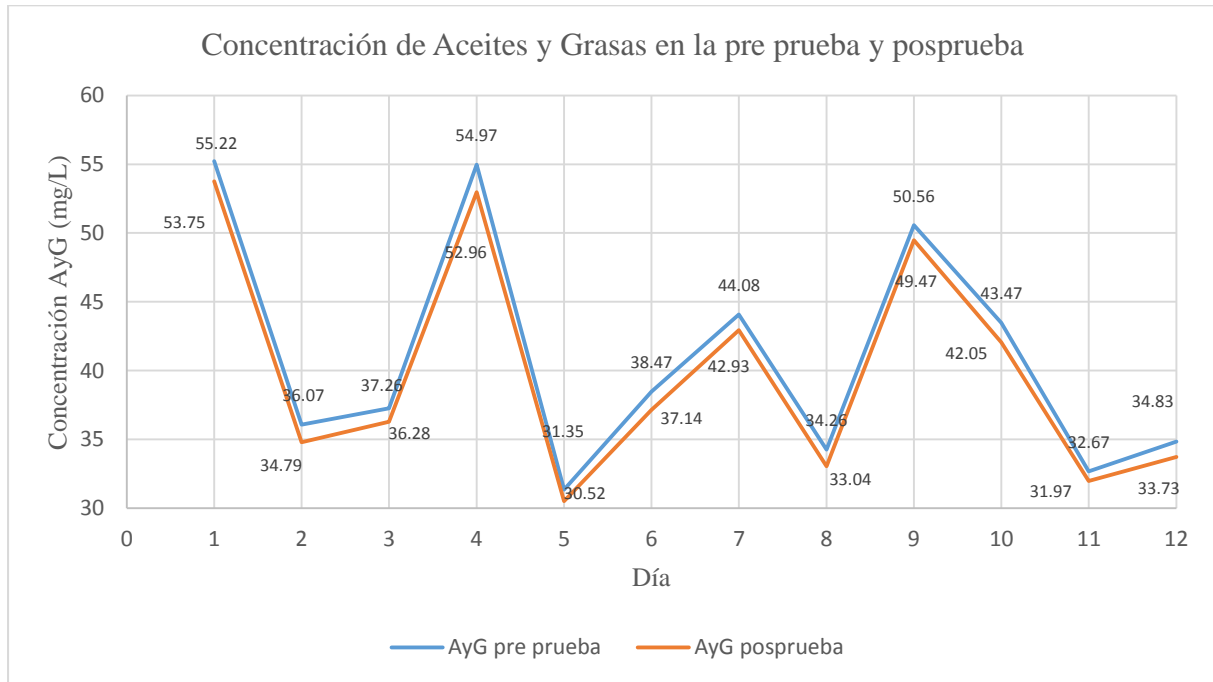


Figura 23. Se muestra la comparación resultados de las concentraciones de Aceites y Grasas entre el efluente del pretratamiento (pre prueba) y el efluente del sistema de lodos activados (pos prueba). Se puede observar que los resultados tienen una diferencia considerable. Sin embargo, para determinar si existe diferencia significativa se aplicó la prueba t-Student para grupos relacionados mediante la aplicación del programa estadístico IBM-SPSS (Statistical Package for Social Science) versión 25.0.

Resultados de la prueba t –Student para SST en la pre prueba y posprueba:

Hipótesis nula: No existe diferencia entre los resultados de la pre prueba y posprueba para las concentraciones de Aceites y Grasas. ($P \geq 0.05$).

Hipótesis alterna: Existe diferencia significativa entre los resultados de la pre prueba y posprueba para las concentraciones de Aceites y Grasas. ($P < 0.05$).

Tabla 13

Reporte de la prueba t - Student para muestras relacionadas - AyG.

Medición AyG	Diferencias emparejadas				t	Grados de libertad	P	
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior				Superior
Antes - Después	1.215	0.338	0.098	1.000	1.430	12.444	11	8.00E-08

Nota: En la Tabla 13 se puede observar que $P < 0.05$, por lo tanto se acepta la hipótesis alterna, y esto quiere decir que estadísticamente existe diferencia significativa entre la media de resultados de las concentraciones de Aceites y Grasas entre los resultados de la pre prueba y la pos prueba. Los resultados de esta tabla fueron generados por el programa estadístico IBM-SPSS (Statistical Package for Social Science) versión 25.0.

Tabla 14
Resultados de la eficacia del sistema de lodos activados.

Eficacia del Sistema de Lodos Activados					
Día	Ecuación	Remoción de	Remoción de	Remoción de	Remoción de
		DBO₅	DQO	SST	AyG
		%	%	%	%
1	Ecuación 1	93.79%	91.85%	90.62%	2.66%
2	Ecuación 1	93.46%	91.85%	92.15%	3.55%
3	Ecuación 1	93.77%	92.10%	91.84%	2.63%
4	Ecuación 1	94.06%	91.86%	90.65%	3.66%
5	Ecuación 1	93.92%	92.94%	92.54%	2.65%
6	Ecuación 1	92.14%	92.57%	91.55%	3.46%
7	Ecuación 1	93.58%	91.45%	90.56%	2.61%
8	Ecuación 1	92.47%	92.55%	92.68%	3.56%
9	Ecuación 1	92.45%	91.54%	91.57%	2.16%
10	Ecuación 1	94.06%	91.85%	90.35%	3.27%
11	Ecuación 1	93.74%	91.35%	92.68%	2.14%
12	Ecuación 1	94.76%	92.03%	91.26%	3.16%
Promedio		93.52%	92.00%	91.54%	2.96%

Nota: En la Tabla 14 se puede observar las eficacias alcanzadas por el sistema de lodos activados en cuanto a la remoción de DBO₅, DQO, SST Y AyG en 12 días diferentes. Fuente propia.

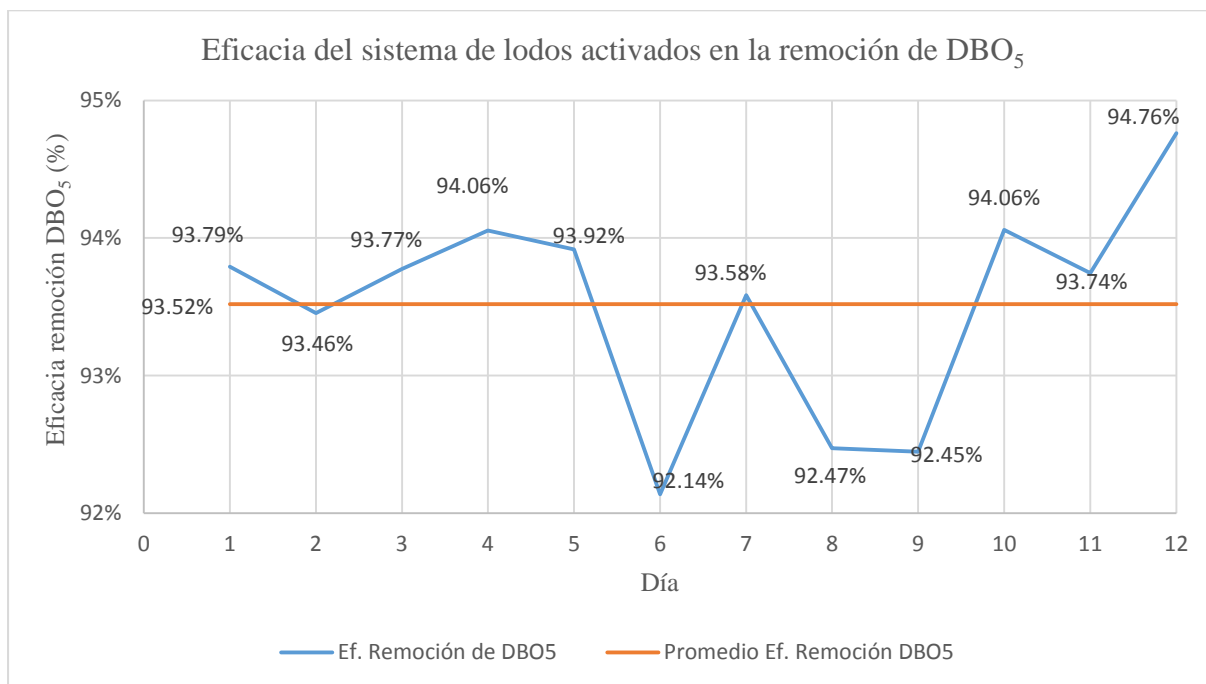


Figura 24. Se muestran los resultados de la eficacia del sistema de lodos activados en la remoción de la concentración de DBO₅ durante 12 diferentes días. Se puede observar que la mayor eficacia fue de 94.76% en el día 12 mientras que la menor fue de 92.14% en el día 6. La eficacia promedio del sistema de lodos activados en la remoción de la concentración de DBO₅ fue de 93.52%.

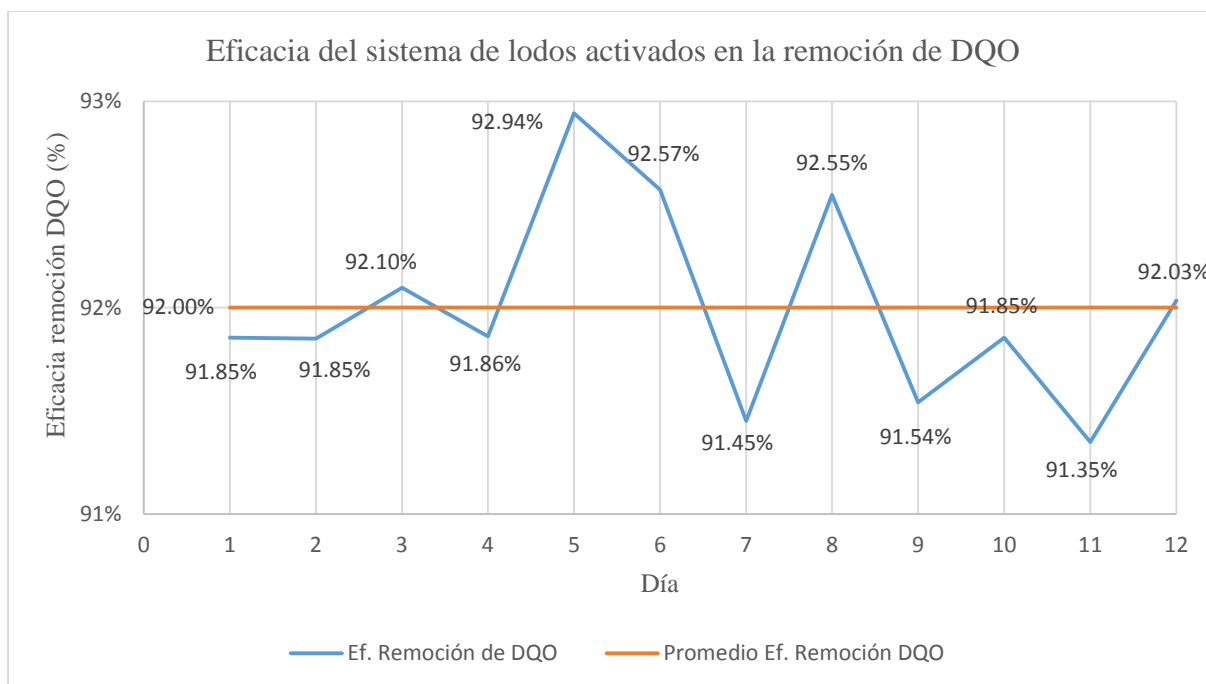


Figura 25. Se muestran los resultados de la eficacia del sistema de lodos activados en la remoción de la concentración de DQO durante 12 diferentes días. Se puede observar que la mayor eficacia fue de 92.94% en el día 5 mientras que la menor fue de 91.35% en el día 11. La eficacia promedio del sistema de lodos activados en la remoción de la concentración de DQO fue de 92%.

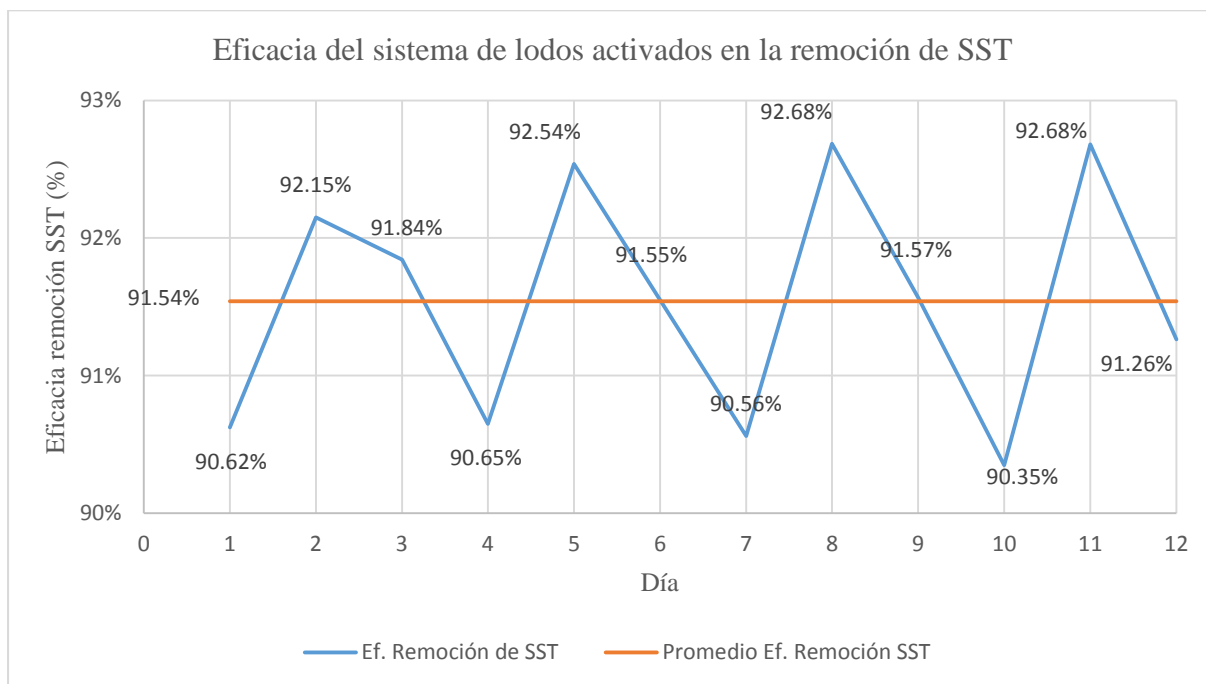


Figura 26. Se muestran los resultados de la eficacia del sistema de lodos activados en la remoción de la concentración de SST durante 12 diferentes días. Se puede observar que la mayor eficacia fue de 92.68% en los días 8 y 11 mientras que la menor fue de 90.35% en el día 10. La eficacia promedio del sistema de lodos activados en la remoción de la concentración de SST fue de 91.54%.

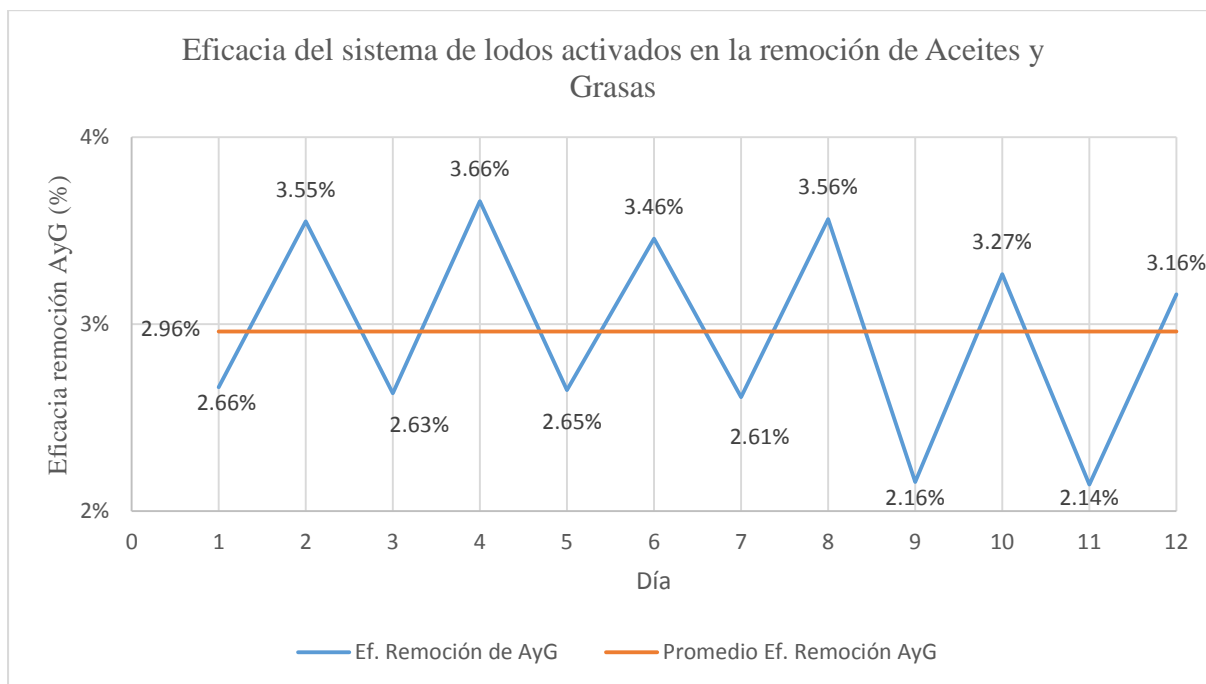


Figura 27. Se muestran los resultados de la eficacia del sistema de lodos activados en la remoción de la concentración de AyG durante 12 diferentes días. Se puede observar que la mayor eficacia fue de 3.66% en el día 4 mientras que la menor fue de 2.14% en el día 10. La eficacia promedio del sistema de lodos activados en la remoción de la concentración de AyG fue de 2.96%.

3.5. Comparación de la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados con los Valores Máximos Admisibles (VMA)

Tabla 15

Comparación de resultados del efluente del sistema de lodos activados con los VMA.

Resultados del efluente del Sistema de Lodos Activados								
Día	DBO₅	VMA DBO₅	DQO	VMA DQO	SST	VMA SST	AyG	VMA AyG
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	338	500	938	1000	124.27	500	53.75	100
2	336	500	862	1000	94.07	500	34.79	100
3	316	500	898	1000	78.31	500	36.28	100
4	314	500	873	1000	132.21	500	52.96	100
5	310	500	810	1000	81.09	500	30.52	100
6	396	500	783	1000	82.55	500	37.14	100
7	338	500	981	1000	100.99	500	42.93	100
8	378	500	789	1000	64.61	500	33.04	100
9	404	500	993	1000	106.68	500	49.47	100
10	314	500	898	1000	148.35	500	42.05	100
11	308	500	960	1000	70.96	500	31.97	100
12	270	500	842	1000	102.55	500	33.73	100
Promedio	335	500	886	1000	98.89	500	39.89	100

Nota: En la Tabla 15 se puede observar los resultados de las concentraciones de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados aplicado comparado con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario aprobado mediante D.S. 010-2019-VIVIENDA. Fuente propia.

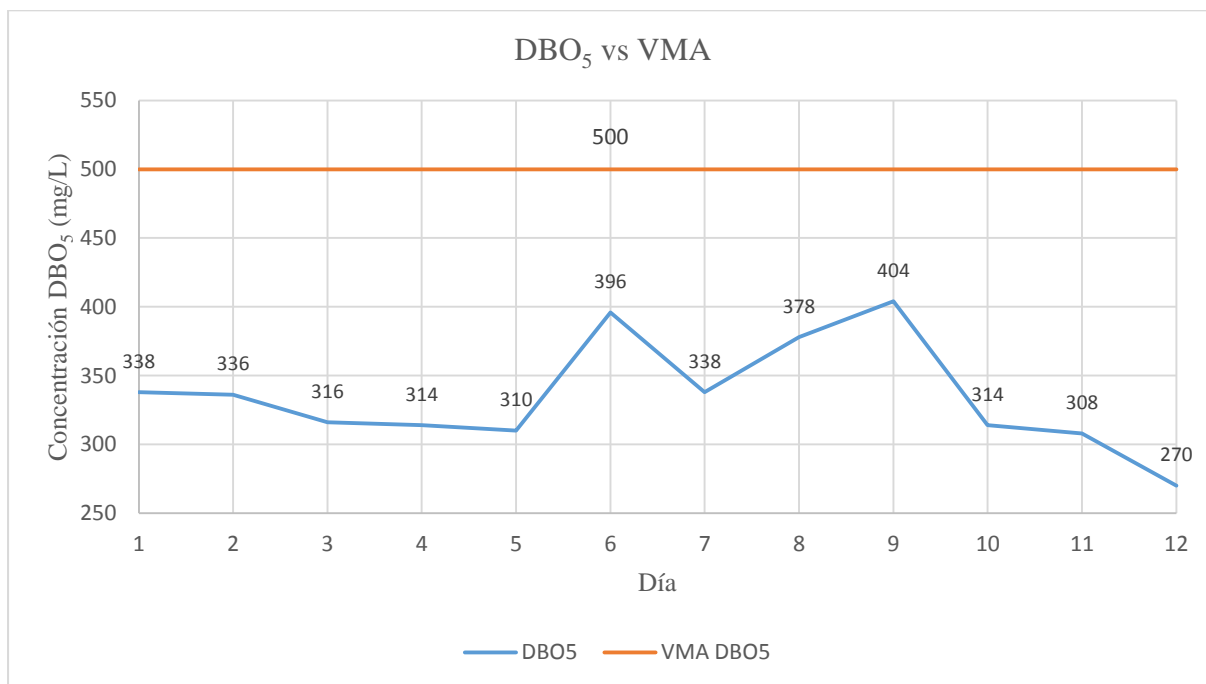


Figura 28. Se puede observar que las concentraciones de DBO₅ del efluente del sistema de lodos activados analizados durante 12 días se encuentran por debajo del Valor Máximo Admisibles para DBO₅ que es de 500 mg/L, lo que ayuda a cumplir con el D.S. 010-2019-VIVIENDA.

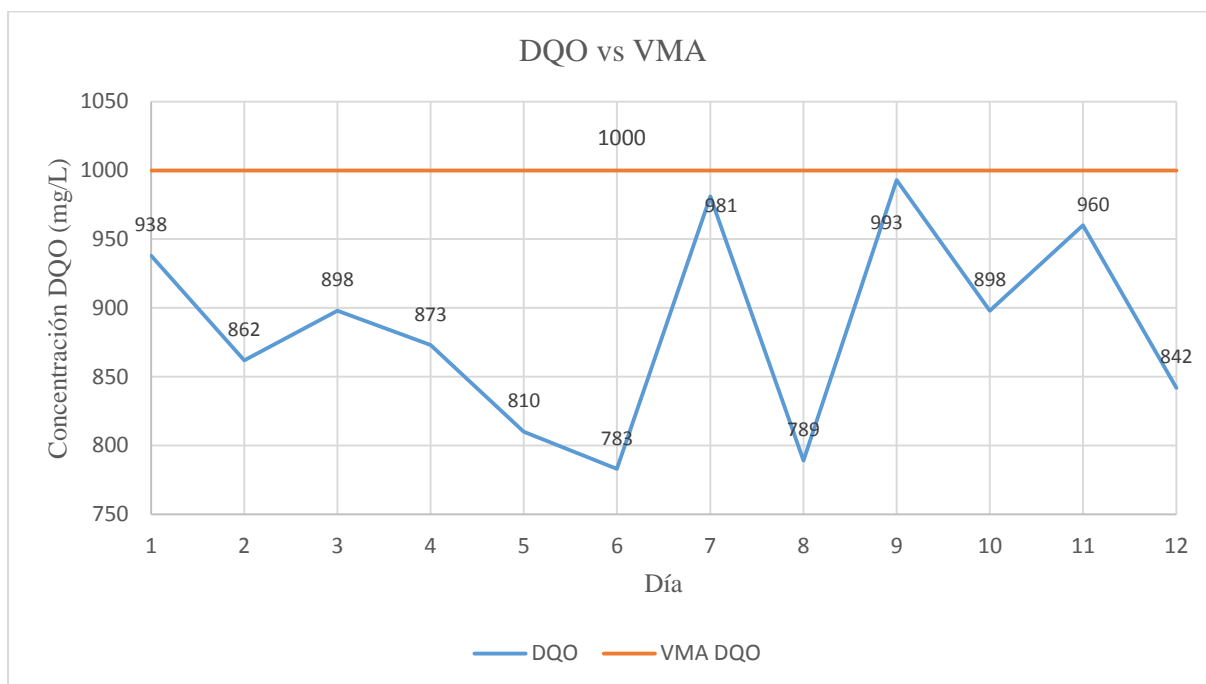


Figura 29. Se puede observar que las concentraciones de DQO del efluente del sistema de lodos activados analizados durante 12 días se encuentran por debajo del Valor Máximo Admisibles para DQO que es de 1000 mg/L, lo que ayuda a cumplir con el D.S. 010-2019-VIVIENDA.

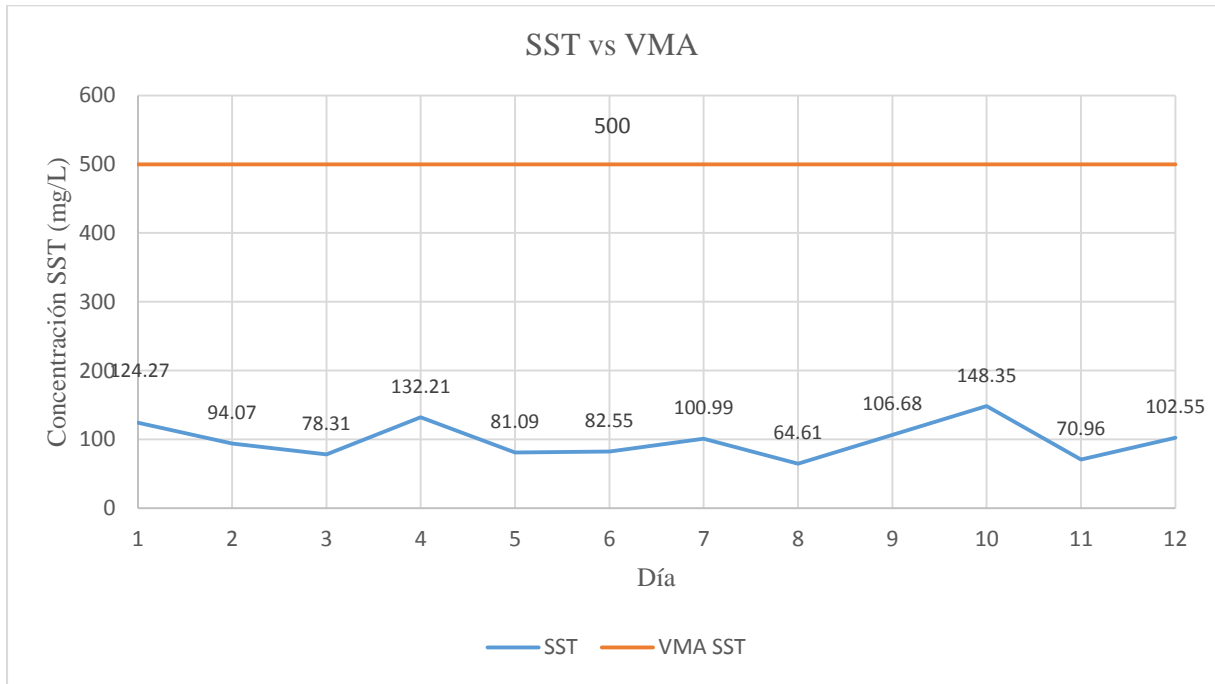


Figura 30. Se puede observar que las concentraciones de SST del efluente del sistema de lodos activados analizados durante 12 días se encuentran por debajo del Valor Máximo Admisible para SST que es de 500 mg/L, lo que ayuda a cumplir con el D.S. 010-2019-VIVIENDA.

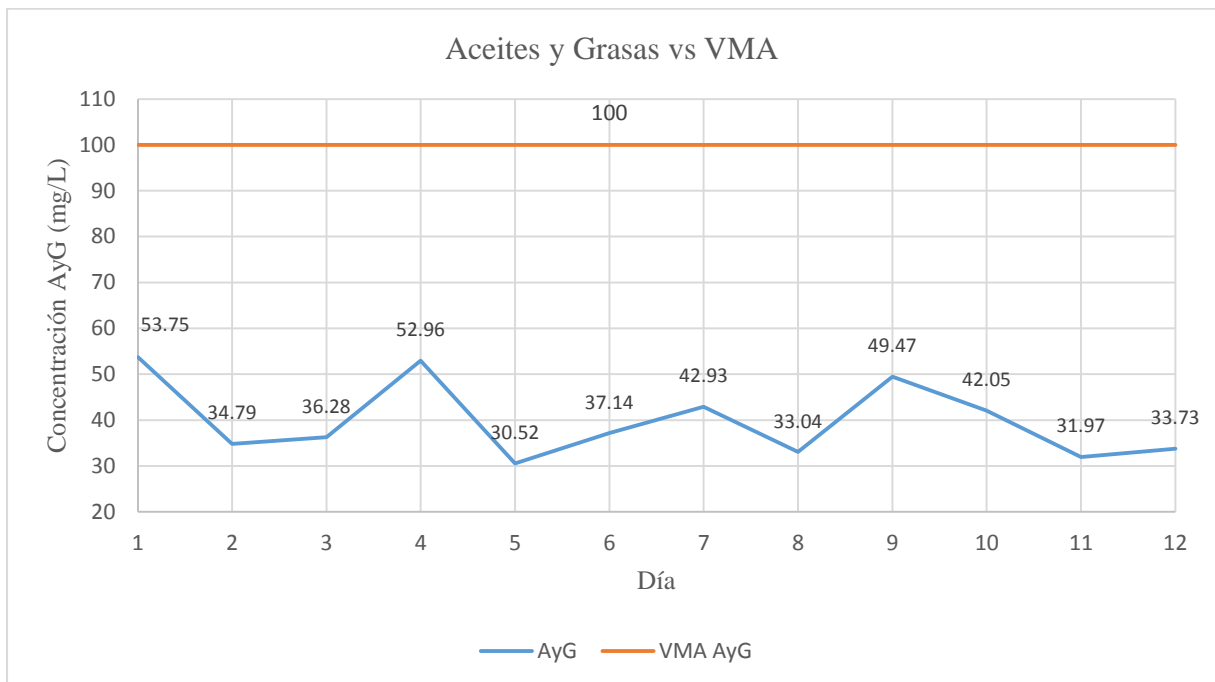


Figura 31. Se puede observar que las concentraciones de Aceites y Grasas del efluente del sistema de lodos activados analizados durante 12 días se encuentran por debajo del Valor Máximo Admisible para Aceites y Grasas que es de 100 mg/L, lo que ayuda a cumplir con el D.S. 010-2019-VIVIENDA.

CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Respecto al efluente del camal municipal de El Porvenir, en la Figura 8, se puede observar que la concentración promedio de DBO_5 fue de 6937 mg/L. De la misma forma, en la Figura 9, se muestra que la concentración promedio de DQO fue de 16805 mg/L, asimismo, en la Figura 10, se observa que la concentración promedio de SST fue de 1211.42 mg/L y la Figura 11 muestra que la concentración promedio de Aceites y Grasas fue de 1082.90 mg/L. Estos resultados obtenidos son respaldados por Angulo y Alaya (2011), quienes indican en su tesis que el efluente del camal municipal de El Porvenir tiene concentraciones de DBO_5 comprendidos entre 5027.85 y 6639.73 mg/L, una concentración de SST de 1293 mg/L y 1087 mg/L de Aceites y Grasas. Debido a esto, se recomienda realizar correctas caracterizaciones de efluentes para una mayor confiabilidad en los resultados. Asimismo, Chau et al. (2009), encontraron valores elevados de contaminación en los efluentes del matadero municipal de El Tambo, Colombia: 9024 mg/L DQO, 1829 mg/L DBO_5 , 1357 mg/L SST y 79 mg/L de Aceites y Grasas. Todo esto se corrobora con la información teórica que afirma que los camales generan efluentes con elevada carga orgánica, incluso más elevadas que la de las aguas negras domésticas y que además de la materia orgánica, la carga de sólidos, la sangre y grasas son contenidos frecuentes de este tipo de efluentes, ocasionando impactos negativos al medio ambiente (Arotoma, 2018, p.51).

En relación al efluente del proceso del pretratamiento aplicado, en la Figura 12 se observa que la concentración promedio de DBO_5 fue de 5173 mg/L, la Figura 13 muestra que la concentración promedio de DQO fue de 11058 mg/L. Asimismo, en la Figura 14 se puede observar que la concentración promedio de SST fue de 1155.02 mg/L y la Figura 15 muestra que la concentración promedio de Aceites y Grasas fue de 41.1 mg/L. Estas concentraciones fueron menores en comparación con el efluente del camal municipal de El Porvenir,

especialmente en la concentración de Aceites y Grasas. Esto se compara con la tesis de Pabón y Suárez (2009), donde concluyeron que sus operaciones de cribado, desarenado, desengrasado y de homogenización eliminan interferentes como los aceites y grasas y permiten que la calidad del agua a tratar sea la adecuada para la operación del reactor. Por lo tanto se recomienda que los sistemas de lodos activados sean precedidos por un pretratamiento adecuado para retener posibles interferentes y evitar que afecten el proceso biológico. Además, Chaux et al. (2009), en su tesis concluyen que el tratamiento biológico de efluentes del camal municipal de El Tambo, Colombia, es viable mediante una eliminación previa de grasas y rumen. Esto corrobora la teoría que afirma que el pretratamiento tiene la finalidad de eliminar interferentes como sólidos gruesos, arenas, grasas y elementos flotantes del agua y que es un proceso fundamental sobre todo cuando en el tratamiento secundario se utilizan tratamientos biológicos como lodos activados (Hernández, 2015, p.239). Esta situación también es respaldada por la teoría que señala que dentro del pretratamiento, el cribado retiene sólidos y materiales demasiado grandes antes de que el agua ingrese a los niveles posteriores de tratamiento (Lozano, 2012, p.54), y que la separación por gravedad es útil para líquidos insolubles tales como aceites, ya que estos flotan naturalmente a la superficie y que es importante para remover sedimentos del agua residual (Lozano, 2012, p.63).

La Figura 16 muestra que la concentración promedio de DBO_5 del efluente del sistema de lodos activados fue de 335 mg/L, en la Figura 17 se puede observar que la concentración promedio de DQO en esta misma corriente fue de 886 mg/L. Asimismo, en la Figura 18 se observa que la concentración promedio de SST fue de 98.89 mg/L y en la Figura 19 se muestra que la concentración de Aceites y Grasas fue de 39.89 mg/L. Estas 4 concentraciones fueron considerablemente menores a las concentraciones del efluente del pretratamiento. Es más, según la prueba t-Student para grupos relacionados que se puede observar en las Tablas

10, 11, 12 y 13, estadísticamente existió efecto significativo ($P < 0.05$) en la reducción de estas concentraciones (DBO_5 , DQO, SST Y AyG) antes y después de aplicar el sistema de lodos activados. Esto se compara con los resultados obtenidos por Crespo y Martínez (2018), que al aplicar un reactor de lodos activados sobre un efluente obtuvieron reducciones significativas de las concentración de materia orgánica expresada como DBO_5 (96.08%) y como DQO (88%). De igual forma esto se compara con la tesis de Alpírez (2017), que tuvo una reducción de DBO_5 de 83% y de 70% de sólidos suspendidos totales. Todo esto se corrobora con la teoría que afirma que el sistema de lodos activados es un proceso que contiene un cultivo microbiano en suspensión y hace uso de un sistema de aireación para suministrar oxígeno a las bacterias que oxidan la materia orgánica del agua residual y que contribuye a la clarificación del agua mediante la sedimentación de la materia orgánica oxidada y por lo tanto también se reduce la concentración de SST, lo que minimiza el impacto ambiental negativo de las aguas residuales (Lozano, 2012, p.104).

La eficacia del sistema de lodos activados se determinó a través de la remoción de DBO_5 , DQO, SST y Aceites y Grasas. En las figuras 24, 25, 26 y 27 se puede observar que la eficacia del sistema de lodos activados fue de 93.52% para remoción de DBO_5 , 92% para remoción de DQO, 91.54% para remoción de SST y 2.96% para remoción de Aceites y Grasas respectivamente. Esto se compara con la investigación de Acosta (2009), que al aplicar un sistema de lodos activados logró eficacias de hasta 80% en remoción de DBO_5 . Además, Sanhueza (2013) aplicó un sistema de lodos activados para la eliminación del amonio presente en aguas residuales de cultivo de salmones y obtuvo una eliminación de DQO de 84,2% ($\pm 2,75$). De igual forma, Baquerizo y Flores (2011), al aplicar un proceso anaerobio en el tratamiento de efluentes de un matadero logró eficacias de hasta 50% en la remoción de materia orgánica. Asimismo, Rubio y Padilla (2009), al aplicar un sistema de lodos activados a escala de laboratorio en el tratamiento de efluentes de un camal con un

tiempo de residencia hidráulica de 4 horas tuvo eficacias de hasta 53.59% en remoción de materia orgánica expresada como DBO_5 . Esta situación se explica bajo la teoría que señala que el sistema de lodos activados con aireación prolongada (que fue el utilizado en esta investigación), se identifica por los altos tiempos de retención hidráulica, lo que permite lograr la degradación de compuestos de difícil degradación por medio de la respiración endógena y además puede soportar modificaciones significativas en la carga hidráulica y orgánica (Noyola et al., 2013, p.19).

En las Figuras 28, 29, 30 y 31, se puede observar que en el efluente del sistema de lodos activados, las concentraciones de DBO_5 , DQO, SST y Aceites y Grasas respectivamente fueron inferiores a los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario aprobados por el D.S. 010-2019- VIVIENDA. Esto se compara con la tesis de Chaux et al. (2009), quienes afirman que los efluentes del matadero de El Tambo, Colombia, presentan altos niveles de contaminación que no es adecuado para ser vertido directamente al alcantarillado. De forma similar, Villegas y Alvarez (2009), en su tesis concluyeron que el sistema de lodos activados es factible para cumplir con los límites establecidos por la normativa peruana. Entonces, respecto a la reducción de materia orgánica obtenida, esta se explica por la teoría que indica que el sistema de lodos activados con aireación prolongada permite lograr la degradación de compuestos de difícil degradación por medio de la respiración endógena (Noyola et al., 2013 p.19) y la remoción de SST por la teoría que afirma que el sistema de lodos activados contribuye a la clarificación del agua mediante la sedimentación la materia orgánica oxidada en el clarificador secundario y por lo tanto también se reduce la concentración de SST (Lozano, 2012, p.104).

4.2. Conclusiones

Se determinó la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del camal municipal de El Porvenir y fue de 6937 mg/L, 16805 mg/L, 1211.42 mg/L y 1082.90 mg/L respectivamente.

Se determinó la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del pretratamiento y fue de 5173 mg/L, 11058 mg/L, 1155.02 mg/L y 41.10 mg/L respectivamente.

Se determinó la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados y fue de 335 mg/L, 886 mg/L, 98.89 mg/L y 39.89 mg/L respectivamente.

Se determinó la eficacia del sistema de lodos activados en la calidad de efluentes del camal municipal de El Porvenir. Se obtuvieron eficacias de 93.52% para remoción de DBO₅, 92% para remoción de DQO, 91.54% para remoción de SST y de 2.96 % para AyG.

Se comparó las concentraciones de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados con los valores máximos admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario y todos estas concentraciones se encuentran por debajo de dichos valores, es decir, cumplen con la normativa.

Referencias

- Acosta, L. (2009). *Eficacia de un Sistema de Lodos Activados en el Tratamiento de Aguas Residuales en la Industria Láctea de Cajamarca*. Recuperado el 15 de Junio de 2019, de Universidad Nacional de Trujillo:
<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8168/Tesis%20DoctoradoX%20-%20Luis%20A.%20Acosta%20S%C3%A1nchez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alpírez, J., Avilés, K., Castillo, H., Pinzón, I., Poveda, R., & Vallester, E. (2017). *Evaluación de un sistema biológico de lodos activados a escala de laboratorio*. Recuperado el 16 de Junio de 2019, de Universidad Tecnológica de Panamá:
<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1697/2433>
- Angulo, K., & Alaya, S. (2011). *Manejo de efluente líquidos mediante gestión ambiental en el camal del Distrito El Porvenir*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2018, de http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3398/AnguloZavaleta_K%20-%20AyalaGaray_S.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arellano Huizar, A. (19 de Marzo de 2015). *Diseño Pre-experimental*. Recuperado el 19 de Abril de 2019, de <https://prezi.com/ng1mwdqrxcj/disen%C3%B3-pre-experimental/>
- Arotoma Landeo, E. (Diciembre de 2018). *Estructuración y función del camal municipal en el Distrito de Sapallanga*. Recuperado el 09 de Julio de 2019, de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/4959>
- Baquerizo, F., & Flores, P. (2011). *Comportamiento de un sistema anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales de un matadero*. Recuperado el

11 de Noviembre de 2018, de Universidad Nacional de Ingeniería:
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3628>

Becerra, L., Horna, M., & Barionuevo, K. (2015). *Influencia de Microorganismos Nativos en el Tratamiento de Efluentes Residuales de Camales*. Recuperado el 1 de Junio de 2019, de cmhnaaa.org.pe/ojs/index.php/rcmhnaaa/article/view/231/188

Castellanos, L. (21 de Noviembre de 2014). *Cáculo de la Carga Orgánica*. Recuperado el 20 de Abril de 2019, de <https://prezi.com/qsifg5ewm0ih/calculo-de-la-carga-organica/>

Castro, L., Rodríguez, A., & Balcazar, H. (2014). *Mitigación de la contaminación por residuos sólidos de matadero y otros, mediante lombricultura, en la ciudad de Sucre*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2018, de <https://www.ecorfan.org/bolivia/handbooks/ciencias%20tecnologicas%20I/Articulo%208.pdf>

Castro, M. (2017). *Disminución de la carga orgánica del efluente del camal municipal El Porvenir mediante el tratamiento con uslfato de aluminio al 1%*. Recuperado el 16 de Junio de 2019, de Universidad César Vallejo:
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/22475/castro_rm.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chamarro, S., & Vidal, G. (Noviembre de 2015). *Tecnologías de tratamiento de agua mediante sistemas de lodos activados. Observación microscópica de organismos indicadores*. Recuperado el 28 de Junio de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/322851806_Tecnologias_de_tratamiento_de_agua_mediante_lodos_activados_Observacion_microscopica_de_organismos_indicadores

Chaux, G., Rojas, G., & Bolaños, L. (2009). Producción más limpia y viabilidad de tratamiento biológico para efluentes de mataderos en pequeñas localidades Caso: Municipio de El Tambo (Colombia). *Scielo*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2018, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612009000100012&lang=es

Crespo, M., & Martínez, D. (Febrero de 2018). *Diseño, Construcción y Arranque de Operación de un Reactor de Lodos Activados a Escala de Laboratotoio*. Recuperado el 15 de Junio de 2019, de Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15235/1/UPS%20-%20ST003445.pdf>

El Peruano. (15 de Octubre de 2005). *Ley 28611: Ley General del Ambiente*. Recuperado el 09 de Julio de 2019, de <http://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/28611.pdf>

El Peruano. (23 de Mayo de 2006). *Norma Técnica de Edificaciones OS. 090: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Recuperado el 18 de Abril de 2019, de Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/AA381897B934542205257DC7005EC0C3/\\$FILE/OS.090.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/AA381897B934542205257DC7005EC0C3/$FILE/OS.090.pdf)

El Peruano. (3 de Marzo de 2009). *Ley 29338: Ley de Recursos hídricos*. Recuperado el 09 de Julio de 2019, de <http://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29338.pdf>

El Peruano. (24 de Marzo de 2010). *Decreto Supremo N° 001-2010-AG: Reglamento de la Ley de Recursos hídricos*. Recuperado el 09 de Julio de 2019, de Ministerio de Agricultura: http://www.gacetajuridica.com.pe/servicios/normaspdf_2010/Marzo/24-03-2010.pdf

- El Peruano. (2019). *Decreto Supremo N° 010-2019-Vivienda: Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario*. Recuperado el 09 de Julio de 2019, de Ministerio de Vivienda, construcción y Saneamiento:
<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento-de-valores-maximos-decreto-supremo-n-010-2019-vivienda-1748339-3/>
- FAO. (15 de Marzo de 2006). *Norma de calidad del agua y control de descargas AG-CC-01*. Recuperado el 27 de Junio de 2020, de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/dom60779.pdf>
- FAO. (2014). *Panorama del mercado mundial de la carne*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2018, de <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/background.html>
- Ferrer Polo, J., & Seco Torrecillas, A. (2017). *Tratamientos biológicos de aguas residuales* (Primera ed.). Valencia, España: Alfaomega. Recuperado el 28 de Junio de 2019
- Gonzales, F., & Apanu, J. (2017). *Situación sanitaria, técnica y administrativa de los camales del departamento de Lambayeque, Periodo 2016*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2018, de Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo:
<http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/1273/BC-TES-TMP-106.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- HACH. (Febrero de 2010). *Manual de usuario BodTrack II*. Recuperado el 17 de Marzo de 2019, de <https://es.hach.com/asset-get.download.jsa?id=25593608744>
- HACH. (Marzo de 2019). Demanda Química de Oxígeno. Recuperado el 18 de Mayo de 2019, de HACH Company:
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:EgJA00LUjpsJ:https://www>

.hach.com/assetget.download.jsa%3Fid%3D56639331160+&cd=1&hl=es&ct=clnk&
gl=pe

Hernández Muñoz, A. (2015). *Depuración y desinfección de aguas residuales* (Sexta ed.).
Mdríd, España: Ibergaceta Publicaciones. Recuperado el 28 de Junio de 2019

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de
la investigación* (Sexta ed.). México: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado el 27
de Junio de 2020, de
[http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-
la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf](http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf)

Instituto de Toxicología de la Defensa. (08 de Noviembre de 2016). *Protocolo de toma de
muestras de agua residual*. Recuperado el 08 de Julio de 2019, de Ministerio de
Defensa de España:
[http://www.defensa.gob.es/itoxdef/Galerias/documentacion/protocolos/ficheros/PRO
TOCOLO_DE_TOMA_DE_MUESTRAS_DE_AGUA_RESIDUAL_ver_2.pdf](http://www.defensa.gob.es/itoxdef/Galerias/documentacion/protocolos/ficheros/PROTOCOLO_DE_TOMA_DE_MUESTRAS_DE_AGUA_RESIDUAL_ver_2.pdf)

López, S., & Calderón, S. (2017). *Depuración de aguas residuales* (Quinta ed.). Málaga:
Elearning. Recuperado el 02 de Julio de 2019, de
[https://books.google.com.pe/books?id=9cJWDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=
es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=9cJWDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Lozano Rivas, W. A. (Octubre de 2012). *Fundamentos de Diseño de Deuradoras de Aguas
Residuales*. Recuperado el 28 de Junio de 2020, de
[https://www.researchgate.net/publication/298354134_Disenio_de_Plantas_de_Tratami
ento_de_Aguas_Residuales](https://www.researchgate.net/publication/298354134_Disenio_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales)

Ministerio de Educación del Perú (2017). Todo lo que tienes que saber sobre investigación aplicada. Recuperado el 27 de Junio de 2020, de https://www.youtube.com/watch?v=2_87761_yJg

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (30 de Octubre de 2013). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Recuperado el 08 de Julio de 2019, de Oficina de Medio Ambiente: <http://ww3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/anexo-rm-273-2013-vivienda.pdf>

Moeller Chávez, G., Sandoval Yoval, L., Ramírez Gonzales, A., Ramírez Camperos, E., Cardoso Vigueros, L., Escalante Estrada, V., . . . Ortiz Rendón, G. (2015). *Tratamiento de Aguas Residuales*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado el 29 de Junio de 2020, de <https://es.scribd.com/document/367272016/Tratamientos-de-Agua-Residuales>

Monge Redondo, M. A. (2018). *Fundamentos básicos de hidráulica (I)*. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/fundamentos-basicos-hidraulica-i>

Navarrete Chévez, D. C., Tinoco Romero, L. A., Borodulina, T., & Munoz Cajiao, C. (Abril de 2018). *Diseño, construcción y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales, PTAR's San Agustín*. Recuperado el 18 de Abril de 2019, de <http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/25/3/libro%20Dioselina%20Navarrete.pdf>

- Noyola, A., Morgan, J., & Guereca, L. (2013). *Selección de Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales* (Primera ed.). México. Recuperado el 11 de Noviembre de 2018, de http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf
- Otiniano, R. (2016). Efecto del proceso de coagulación-floculación para la remoción de sólidos suspendidos del efluente del camal municipal El Porvenir-Trujillo. Recuperado el 16 de Junio de 2019, de Universidad César Vallejo: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/6923/otiniano_ar.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR1-UVkYKnR-aG2SHk_thMXTHRZSjSmULXFDnzmR_yerqWaVVSHPmp_zPBLQ
- Pabón, S., & Suárez, J. (2009). Arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento de lodos activos para aguas residuales de matadero. *Redalyc*, 54. Recuperado el 11 de Noviembre de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64311752009>
- Paz, A., & Ruiz, M. (2017). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales para el Distrito de Santiago de Chuco*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2018, de Universidad Nacional de Trujillo: http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9882/PazGarcia_A%20-%20RuizValderrama_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Peralta Pais, L. S. (2016). *Propuesta de Matadero Modelo y Salubre en la Ciudad de Ferreñafe*. Recuperado el 18 de Febrero de 2020, de <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/549/BC-TES-4570.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Reverté. Recuperado el 15 de Junio de 2019, de

https://books.google.com.pe/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=copyright&hl=es&source=gbs_pub_info_r#v=onepage&q&f=false

Reina Travez, J. L. (Abril de 2015). *Evaluación de la eficiencia y cinética de remoción de materia orgánica en un reactor biológico aerobio horizontal con medio de soporte PET (Poloitereftalato de etileno)*. Recuperado el 24 de Octubre de 2019, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10550/1/CD-6244.pdf>

Rubio, J., & Padilla, R. (2009). *Tratamiento de aguas residuales provenientes de un camal mediante un sistema de lodos activados a escala de laboratorio*. Recuperado el 3 de Diciembre de 2018, de Universidad Nacional de Ingeniería: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1935/1/rubio_bj.pdf

Sanhueza Amaza, P. I. (2013). *Operación de un sistema de lodos activados para la eliminación de amonio en aguas de cultivo de salmones*. Recuperado el 28 de Junio de 2020, de <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/tesis-patricio-sanhueza-2012.pdf>

Sistema peruano de información jurídica. (1993). *Constitución Política del Perú*. Recuperado el 09 de Julio de 2019, de Ministerio de Justicia y Derechos Humanos: http://spij.minjus.gob.pe/content/publicaciones_oficiales/img/Constitucion-Politica-2016.pdf

Standard Methods Organization. (2017). *Standard methods for examination of water and wastewater* (23 ed.). Washington D.C: American Public Health Association. Recuperado el 26 de Abril de 2019, de

https://www.academia.edu/38769108/Standard_Methods_For_the_Examination_of_Water_and_Wastewater_23rd_edition

Universidad de las Américas de Puebla. (s.f.). *Análisis y Diseño del tratamiento secundario.*

Recuperado el 08 de Julio de 2019, de

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo6.pdf

Vargas Casas, J., & Gallardo Echenique, E. (2017). *Manual para la elaboración de plan de tesis y tesis universitaria.* Recuperado el 15 de Abril de 2018, de

[https://www.escuelafolklore.edu.pe/wp-](https://www.escuelafolklore.edu.pe/wp-content/uploads/2018/02/MANUAL_ELABORACION_PLAN_TESIS_UNIVERSITARIA_2017.pdf)

[content/uploads/2018/02/MANUAL_ELABORACION_PLAN_TESIS_UNIVERSITARIA_2017.pdf](https://www.escuelafolklore.edu.pe/wp-content/uploads/2018/02/MANUAL_ELABORACION_PLAN_TESIS_UNIVERSITARIA_2017.pdf)

Villegas, A., & Alvarez, C. (2009). *Tratamiento de aguas residuales de industria de curtiembre mediante un sistema de lodos activados a escala piloto.* Recuperado el 15

de Noviembre de 2018, de Universidad Nacional de Ingeniería:

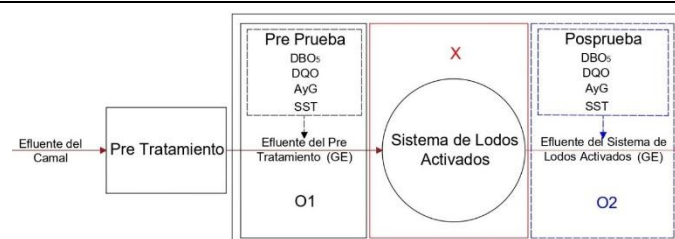
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/505/3/villegas_oa.pdf

ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de Consistencia

Tabla 16

Matriz de consistencia

SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS EN LA CALIDAD DE EFLUENTES DEL CAMAL MUNICIPAL DE EL PORVENIR.				
PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	METODOLOGÍA: CUANTITATIVA EXPERIMENTAL APLICADA
¿De qué manera influye el sistema de lodos activados en la calidad de los efluentes del camal municipal de El Porvenir, 2019?	<p>Ho: El sistema de lodos activados no influye significativamente en la calidad de los efluentes del camal municipal de El Porvenir, 2019.</p> <p>H1: El sistema de lodos activados si influye significativamente en la calidad de los efluentes del camal municipal de El Porvenir, 2019.</p>	Determinar la influencia del sistema de lodos activados en la calidad de los efluentes del camal municipal de El Porvenir, 2019.	Sistema de lodos activados	Diseño: PRE EXPERIMENTAL
				 <p>Donde: GE: Grupo de estudio (efluente del pretratamiento) O1: Pre prueba (concentraciones de DBO₅, DQO, SST Y AyG del efluente del pretratamiento) X: Tratamiento o estímulo (Sistema de Lodos Activados) O2: Posprueba (concentraciones de DBO₅, DQO, SST Y AyG del efluente del sistema de lodos activados)</p>
				Población
Efluentes del camal municipal de El Porvenir.				

OBJETIVOS ESPECIFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE	Muestra
<ul style="list-style-type: none"> -Determinar la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del camal municipal de El Porvenir. -Determinar la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del pretratamiento. -Determinar la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del sistema de lodos activados. -Determinar la eficacia del sistema de lodos activados en la calidad de efluentes del camal municipal de El Porvenir. -Comparar la concentración de DBO₅, DQO, SST y AyG del efluente del sistema con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. 	<p>Calidad de los efluentes del camal municipal de El Porvenir, 2019.</p>	<p>40 litros diarios de efluentes del camal municipal de El Porvenir (muestra simple).</p>

Nota: En la Tabla 16 se puede observar la matriz de consistencia del presente trabajo de investigación. Esta matriz presenta la información más relevante del trabajo realizado como el problema de investigación, la hipótesis, el objetivo general, objetivos específicos, las variables, el diseño de investigación, la población y la muestra referente a la aplicación de un sistema de lodos activados en la calidad de efluentes del camal municipal de El Porvenir.

ANEXO 2. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 17

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
Calidad de los efluentes.	Conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos del agua que permite evaluar la carga contaminante de los efluentes (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2006, p.9).	Ferrer y Seco Torrecillas (2017, p. 87) indican que para monitorear la calidad de aguas residuales es necesario evaluar los siguientes parámetros: Solidos suspendidos totales (SST), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Aceites y Grasas (AyG).	Parámetros físicos.	Solidos suspendidos totales (SST).	mg SST/L
			Parámetros químicos	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅).	mg DBO ₅ /L
				Demanda Química de Oxígeno (DQO).	mg DQO/L
				Aceites y Grasas (AyG).	mg AyG/L

Nota: En la Tabla 17 se observa la matriz de operacionalización de variables para trabajos experimentales. En este tipo de investigaciones se estudia sólo la variable dependiente. Adaptado de Manual de Elaboración de Plan de Tesis y Tesis Universitaria. Vargas y Gallardo, 2017. p. 55. Derecho de autor 2017.

ANEXO 3. Nomenclatura del diagrama del sistema de lodos activados

Q_F : Caudal en la corriente de la alimentación fresca.

S_F : DBO₅ soluble en la corriente de la alimentación fresca.

$X_{V,F}$: Sólidos suspendidos volátiles en la corriente de la alimentación fresca.

$X_{NV,F}$: Sólidos suspendidos no volátiles en la corriente de la alimentación fresca.

Q_0 : Caudal en la corriente de la alimentación combinada.

S_0 : DBO₅ soluble en la corriente de la alimentación combinada.

$X_{V,0}$: Sólidos suspendidos volátiles en la corriente de la alimentación combinada.

$X_{NV,0}$: Sólidos suspendidos no volátiles en la corriente de la alimentación combinada.

S_e : DBO₅ soluble efluente del sistema de lodos activados.

$X_{V,a}$: Sólidos suspendidos volátiles en el reactor o tanque de aireación.

$X_{NV,a}$: Sólidos suspendidos no volátiles en el reactor o tanque de aireación.

V : Volumen del reactor o tanque de aireación.

ΔX_V : Producción neta de sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla (SSVLM) en el reactor o tanque de aireación.

Q_e : Caudal en la corriente del efluente final.

$X_{V,e}$: Sólidos suspendidos volátiles en la corriente del efluente final.

$X_{NV,e}$: Sólidos suspendidos no volátiles en la corriente del efluente final.

Q_u : Caudal en la corriente de descarga del clarificador secundario.

$X_{V,u}$: Sólidos suspendidos volátiles en la corriente de descarga del clarificador secundario.

$X_{NV,u}$: Sólidos suspendidos no volátiles en la corriente de descarga del clarificador secundario.

Q_w : Caudal en la corriente de purga.

$(SSV)_w$: Carga másica de sólidos suspendidos volátiles en la corriente de purga.

$(SSNV)_w$: Carga másica de sólidos suspendidos volátiles en la corriente de purga.

r : relación de reciclado.

QR: Caudal en la corriente de lodo reciclado.


ANEXO 4. Cadena de custodia.

Nombre de la PTAR:														
Muestra No.	Afluente	Efluente	Fecha	Hora toma de muestra	Tipo de frasco	Volumen	Reactivos preservación	Parámetro a ser medido						Observaciones
								AyG	DBO	DQO	SST	CTT		
Hora de entrega al medio de transporte														

Responsable de la PTAR			Operador del muestreo			Custodio de la muestra			Recepción en laboratorio				
Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Hora	Fecha

Figura 32. Se muestra la cadena de custodia utilizada en el proceso de toma de muestras de efluentes del camal municipal de El Porvenir, del pretratamiento y del Sistema de Lodos Activados. Esta cadena de custodia está validada por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS, 2013, p.24) en el Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

ANEXO 5. Formato de análisis de laboratorio



UNIVERSIDAD
PRIVADA DEL NORTE

Formato de análisis

Responsable de análisis		Datos de control						Día	Mes	Año	Hora
Número de ID Card		1	Fecha/Hora de muestreo								
Docente		1	Fecha/Hora de inicio de análisis								
Laboratorio		2	Fecha/Hora de muestreo								
		2	Fecha/Hora de inicio de análisis								

Parámetro		Nombre del equipo		
Nº total de muestras		Marca		
Características y presentación de muestras		Modelo		

ITEM	Tipo de muestra	Unidad	1	2	3	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Normativa (D.S. 010-2019-VIVIENDA)	Cumple/No cumple
1										
2										
3										
4										

FIRMA RESPONSABLE DE
ANÁLISIS

FIRMA Y SELLO RESPONSABLE DE
LABORATORIO

Figura 33. Se puede observar el formato de análisis de laboratorio. En este formato se registró los datos relevantes y resultados de las muestras de agua residual tomadas durante la investigación.

**ANEXO 6. Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales
no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario**



este, para lo cual debe restablecer los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, de acuerdo a las disposicio

ANEXO N° 1

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO5	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

ANEXO N° 2

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN-	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr+6	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Niquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO4-2	1000
Sulfuros	mg/l	S-2	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	NH+4	80
Potencial Hidrógeno	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables	ml/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

Figura 34. Se muestran los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario aprobado por el Ministerio de Vivienda (MVCS, 2019) en el D.S. 010-2019-VIVIENDA.

ANEXO 7. Procedimiento y cálculos para la toma de las muestras compuestas.

Se tuvo que obtener una muestra compuesta de 10 litros, a partir de 5 muestras puntuales realizadas durante 4 días. Para determinar el volumen de cada alícuota se tuvo que determinar el caudal horario al medir el tirante y aplicar la ecuación 3 y luego aplicar la ecuación 2.

Tabla 18

Cálculos para la toma de la muestra compuesta.

Día	Hora	Longitud de Cresta (m)	Altura (cm)	Altura (m)	Caudal (L/s)	Caudal promedio diario (L/s)	Volumen de la alícuota (L)
Día 1	9:00 a.m.	0.2	1.3	0.013	0.978	1.099	1.78
	10:00 a.m.	0.2	2.1	0.021	2.009		3.66
	11:00 a.m.	0.2	1.9	0.019	1.729		3.15
	12:00 p.m.	0.2	0.6	0.006	0.307		0.56
	1:00 p.m.	0.2	0.8	0.008	0.472		0.86
VOLUMEN TOTAL MUESTRA COMPUESTA (L)							10
Día 2	9:00 a.m.	0.2	0.9	0.009	0.564	0.856	1.32
	10:00 a.m.	0.2	1.9	0.019	1.729		4.04
	11:00 a.m.	0.2	1.5	0.015	1.212		2.83
	12:00 p.m.	0.2	0.7	0.007	0.387		0.90
	1:00 p.m.	0.2	0.7	0.007	0.387		0.90
VOLUMEN TOTAL MUESTRA COMPUESTA (L)							10
Día 3	9:00 a.m.	0.2	1.2	0.012	0.868	0.921	1.88
	10:00 a.m.	0.2	2	0.02	1.867		4.05
	11:00 a.m.	0.2	1.4	0.014	1.093		2.37
	12:00 p.m.	0.2	0.8	0.008	0.472		1.03
	1:00 p.m.	0.2	0.6	0.006	0.307		0.67
VOLUMEN TOTAL MUESTRA COMPUESTA (L)							10
Día 4	9:00 a.m.	0.2	1.7	0.017	1.463	1.150	2.54
	10:00 a.m.	0.2	1.5	0.015	1.212		2.11
	11:00 a.m.	0.2	1.3	0.013	0.978		1.70
	12:00 p.m.	0.2	1.1	0.011	0.761		1.32
	1:00 p.m.	0.2	1.6	0.016	1.336		2.32
VOLUMEN TOTAL MUESTRA COMPUESTA (L)							10

Nota: En la tabla 18 se puede ver los volúmenes de las alícuotas que fueron tomados para formar la muestra compuesta de 10 litros durante los 4 días de caracterización para analizar los parámetros de DBO₅, DQO, SST y AyG antes y después de aplicar el sistema pretratamiento. Para los cálculos se utilizó las ecuaciones 2 y 3 descritas en el capítulo de metodología.

ANEXO 8. Resultados de la caracterización pre – diseño del efluente del camal y del pretratamiento

Tabla 19

Caracterización pre-diseño del efluente del camal municipal de El Porvenir.

PARÁMETRO	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Promedio
Demanda Química de Oxígeno - DQO (mg/L)	17269	18412	17781	17063	17631.3
Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO₅ (mg/L)	7302	7167	7240	7215	7231
Sólidos Suspendidos Totales - SST (mg/L)	2035	1956	2109	1906	2001.50
Aceites y Grasas – A y G (mg/L)	1128.5	1058.3	983.7	1136.1	1076.65

Nota: La tabla 19 muestra los resultados de los parámetros analizados del efluente del camal municipal de El Porvenir.

Tabla 20. Caracterización pre-diseño del efluente del pretratamiento.

PARÁMETRO	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Promedio
Demanda Química de Oxígeno - DQO (mg/L)	14856	14407	12559	13501	13830.80
Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO₅ (mg/L)	5846	5801	5880	5858	5846.25
Sólidos Suspendidos Totales - SST (mg/L)	2025	1928	2020	1876	1962.25
Aceites y Grasas – A y G (mg/L)	19.67	16.84	18.79	20.15	18.86
Alcalinidad (mg/L)	386	379	381	382	382
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/L)	650	650	650	650	650
Fósforo (mg/L)	55	55	55	55	55

Nota: La tabla 20 muestra los resultados de los parámetros analizados del efluente del Pretratamiento. La media de estos datos se tomó como datos de partida para diseñar el sistema de lodos activados.

ANEXO 9. Memoria de cálculo para el diseño del sistema de lodos activados

Tabla 21

Datos sobre la alimentación inicial al sistema de lodos activados.

Parámetro	Fuente	Nomenclatura	Unidad	Cantidad
			L/día	40
Caudal	OS. 090	Q_F	L/seg	0.0005
			mL/seg	0.5
Concentración DBO_5 afluente	Tabla 20	S_F	mg DBO_5/L	5846.25
Concentración de SSV en el afluente	Ramalho, 2003	$X_{V,F}$	mg SSV/L	0
Alcalinidad	Tabla 20	Alc	mg $CaCO_3/L$	382
Nitrógeno Total Kjeldahl	Tabla 20	NTK	mg NTK/L	650
Fósforo	Tabla 20	P	mg P/L	55
Temperatura promedio de verano	SENAMHI	T_F	°C	23.6
Temperatura promedio de invierno	SENAMHI	T_F	°C	16.8

Nota: En la Tabla 21 se presentan los valores obtenidos y seleccionados para la alimentación inicial al Sistema de Lodos Activados. Estos parámetros sirven como base para desarrollar el diseño de dicho Sistema de Tratamiento. Adaptado de Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de un camal, mediante un Sistema de Lodos Activados a Escala de Laboratorio. Rubio y Padilla, 2009. p 81. Derecho de autor 2009.

Tabla 22

Datos sobre la calidad deseada del efluente del Sistema de Lodos Activados.

Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Cantidad
Concentración DBO_5 efluente	S_e	mg DBO_5/L	35
Concentración de SSV en el efluente	$X_{V,e}$	mg SSV/L	35
Concentración de SSNV en el efluente	$X_{NV,e}$	mg SSNV/L	0

Nota: En la Tabla 22 se muestra la calidad del efluente proyectada a obtener después de aplicar el Sistema De Lodos Activados. Adaptado de Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de un camal, mediante un Sistema de Lodos Activados a Escala de Laboratorio. Rubio y Padilla, 2009. p 81. Derecho de autor 2009.

Tabla 23

Información y datos de partida para el diseño del sistema de lodos activados.

Parámetro	Fuente	Nomenclatura	Unidad	Cantidad
Valor de diseño de la concentración de SSVLM en el reactor.	Ramalho, 2003	$X_{V,a}$	mg SSVLM/L	6000
Valor de diseño de la concentración de SSVLM en la corriente de reciclado.	Ramalho, 2003	$X_{V,u}$	mg SSVLM/L	12000
Fracción volátil de los sólidos suspendidos.	Ramalho, 2003	F_v	-	0.8
Temperatura ambiente máxima de verano.	SENAMHI	T	°C	29.2
Temperatura ambiente mínima de invierno.	Ramalho, 2003	T	°C	-1
Tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de masa a 20°C.	Ramalho, 2003	k	$h^{-1}.L/mg$	0.00123
			$d^{-1}.L/mg$	0.02952
Coeficiente de Arrhenius para k.	Ramalho, 2003	Θ	-	1.03
Constante de producción de lodos.	Ramalho, 2003	Y	$Kg\ SSVLM\ prod/Kg\ DBO_5\ cons$	0.5
Constante de declinación endógena a 20°C.	Ramalho, 2003	K_d	h^{-1}	0.0025
			d^{-1}	0.06
Coeficiente de Arrhenius para k_d y b.	Ramalho, 2003	Θ	-	1.05
Constante de utilización de oxígeno en la fase de síntesis.	Ramalho, 2003	a	$Kg\ O_2/Kg\ DBO_5\ cons.$	0.52
Constante de utilización de oxígeno durante la fase de respiración endógena a 20°C.	Ramalho, 2003	b	h^{-1}	0.00355
			d^{-1}	0.0852
A/M para sedimentación adecuada.	Ramalho, 2003	A/M	d^{-1}	0.60

Nota: En la Tabla 23 se puede apreciar los datos de partida seleccionados para el diseño del Sistema de Lodos Activados. Entre estos datos tenemos la concentración de SSV en el reactor, los SSV en la descarga del clarificador secundario, los parámetros biocinéticos escogidos para el agua residual, la relación A/M óptima para una sedimentación adecuada, la temperatura máxima de verano y la temperatura mínima de invierno del año 2018. Cada uno de estos valores fue tomado de referencias bibliográficas que se indican en la segunda columna de la tabla. Para el caso de las temperaturas, estas fueron calculadas a partir de los datos meteorológicos disponibles en la página web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Adaptado de Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de un camal, mediante un Sistema de Lodos Activados a Escala de Laboratorio. Rubio y Padilla, 2009. p 81. Derecho de autor 2009.

Tabla 24
 Cálculos para determinar el volumen del reactor.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Ecuación	Valor
Kg DBO ₅ consumidos	Kg DBO _r /d	Kg DBO _r /d	Ecuación 4	0.2325
Estimación preliminar de la potencia	HP	HP	Ecuación 5	0.011
		Watts	(Ecuación 5)*750	8.30
Estimación de la temperatura del licor en el reactor en condiciones de verano	T _w	°C	Ecuación 6	28.5
Estimación de la temperatura del licor en el reactor en condiciones de invierno	T _w	°C	Ecuación 6	1.1
Tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de masa en condiciones de verano	k	h ⁻¹ .L/mg	Ecuación 7	0.0016
		d ⁻¹ .L/mg	Ecuación 7	0.0380
Constante de declinación endógena en condiciones de verano	K _d	h ⁻¹	Ecuación 8	0.0038
		d ⁻¹	Ecuación 8	0.0910 3
Constante de utilización de oxígeno durante la fase de respiración endógena en condiciones de verano	b	h ⁻¹	Ecuación 9	0.0054
		d ⁻¹	Ecuación 9	0.1293
Tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de masa en condiciones de invierno	k	h ⁻¹ .L/mg	Ecuación 7	0.0007
		d ⁻¹ .L/mg	Ecuación 7	0.0169
Constante de declinación endógena en condiciones de invierno	K _d	h ⁻¹	Ecuación 8	0.0010
		d ⁻¹	Ecuación 8	0.0238
Constante de utilización de oxígeno durante la fase de respiración endógena en condiciones de invierno	b	h ⁻¹	Ecuación 9	0.0014
		d ⁻¹	Ecuación 9	0.0339
Tiempo de residencia a partir del consumo de DBO ₅ soluble	t	h	Ecuación 10	39.35
		d	Ecuación 10	1.64
Tiempo de residencia según las condiciones óptimas de floculación	t	h	Ecuación 11	38.975
		d	Ecuación 11	1.62
Tiempo de residencia seleccionado	t	h	-	39.35
		d	-	1.64
Relación A/M actual	A/M	d ⁻¹	Ecuación 12	0.59
DBO ₅ soluble real en el efluente (condiciones de verano)	S _e	mg DBO ₅ /L	Ecuación 13	15.60
Volumen del reactor	V	L	Ecuación 14	66

Nota: En la tabla 24 se observan los resultados de los cálculos realizados para determinar el volumen del reactor. Las ecuaciones utilizadas se pueden encontrar en el capítulo de Metodología. Las principales conclusiones de esta tabla son que el tiempo de residencia hidráulica en el reactor es de 39.35 horas y que el volumen del mismo es 66 Litros. Adaptado de Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de un camal, mediante un Sistema de Lodos Activados a Escala de Laboratorio. Rubio y Padilla, 2009. p. 81. Derecho de autor 2009.

Tabla 25

Necesidades de oxígeno y producción de biomasa del sistema de lodos activados.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Ecuación	Valor
Demanda de oxígeno en verano	Kg O ₂ /d	Kg O ₂ /h	Ecuación 15	0.0072
Demanda de oxígeno en invierno	Kg O ₂ /d	Kg O ₂ /h	Ecuación 15	0.0056
Producción neta de biomasa en verano	ΔX_v	Kg SSVLM/d	Ecuación 16	0.0808
Producción neta de biomasa en invierno	ΔX_v	Kg SSVLM/d	Ecuación 16	0.1068

Nota: En la Tabla 25 se aprecian las necesidades de oxígeno y la producción neta de biomasa. Se puede observar que para la operación del Sistema de Lodos Activados se necesitan 0.0072 Kg O₂/h en verano y de 0.0056 Kg O₂/h en invierno. Asimismo el Sistema tiene una producción neta de biomasa de 0.0808 Kg SSVLM/d en verano y de 0.1068 Kg SSVLM/d en invierno. Adaptado de Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de un camal, mediante un Sistema de Lodos Activados a Escala de Laboratorio. Rubio y Padilla, 2009. p. 81. Derecho de autor 2009.

Tabla 26

Relación de reciclado y cálculo de caudales restantes para el sistema de lodos activados.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Ecuación	Valor
Relación de reciclado para verano	r	-	Ecuac. 17	0.6634
Relación de reciclado para invierno	r	-	Ecuac. 17	0.5548
Relación de reciclado seleccionado	r	-	-	0.6634
Caudal en la corriente de recirculación	Q _R	mL/seg	Ecuac. 18	0.3071
Caudal en la alimentación combinada	Q ₀	mL/seg	Ecuac. 19	0.7701
Caudal en la corriente de purga en verano	Q _w	mL/h	Ecuac. 20	276.4763
Caudal en la corriente de purga en invierno	Q _w	mL/h	Ecuac. 20	367.19
Caudal en la corriente de purga seleccionado	Q _w	mL/h	-	321.8331
Caudal en la corriente del efluente final	Q _e	mL/seg	Ecuac. 21	0.3736
Caudal en la descarga del clarificador	Q _u	mL/seg	Ecuac. 22	0.3965

Nota: En la Tabla 26 se muestra la relación de reciclado calculada que es de 0.6634. Asimismo se exhiben los caudales restantes para completar el Sistema de Lodos Activados. Adaptado de Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de un camal, mediante un Sistema de Lodos Activados a Escala de Laboratorio. Rubio y Padilla, 2009. p. 81. Derecho de autor 2009.

Tabla 27

Balance de materia de los sólidos no volátiles.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Ecuación	Valor
SSNV en el tanque de aireación	X _{NV,a}	mg SSVN/L	Ecuación 23	1500
SSNV en la descarga del clarificador	X _{NV,u}	mg SSVN/L	Ecuación 24	2913.20
SSNV en la alimentación inicial	X _{NV,F}	mg SSVN/L	Ecuación 25	562.54

Nota: En la Tabla 27 se puede observar la concentración de SSVN calculadas para las distintas corrientes del Sistema de Lodos Activados. Adaptado de Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de un camal,

mediante un Sistema de Lodos Activados a Escala de Laboratorio. Rubio y Padilla, 2009. p. 81. Derecho de autor 2009.

Tabla 28

Producción total de Lodos y cálculo de la DBO₅ y SSV en la alimentación combinada.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Ecuación	Valor
Caudal másico de SSV en la corriente de purga (condiciones de verano)	$(SSV)_w$	Kg SSV/día	Ecuac. 26	0.0797
Caudal másico de SSV en la corriente de purga (condiciones de invierno)	$(SSV)_w$	Kg SSV/día	Ecuac. 26	0.1057
Caudal másico de SSNV en la corriente de purga	$(SSNV)_w$	Kg SSNV/día	Ecuac. 27	0.0225
Caudal másico de SST en la corriente de purga (condiciones de verano)	$(SST)_w$	Kg SST/día	Ecuac. 28	0.1022
Caudal másico de SST en la corriente de purga (condiciones de invierno)	$(SST)_w$	Kg SST/día	Ecuac. 28	0.1282
DBO ₅ en la alimentación combinada en verano	S_0	mg DBO ₅ /L	Ecuac. 29	3520.94
DBO ₅ en la alimentación combinada en invierno	S_0	mg DBO ₅ /L	Ecuac. 29	3528.68
SSV en la alimentación combinada	$X_{v,0}$	mg SSV/L	Ecuac. 30	4785.70

Nota: En la Tabla 28 se observan los resultados de los cálculos necesarios para obtener la producción total de lodos, la DBO₅, y los SSV en la alimentación combinada del Sistema de Lodos Activados. Como conclusión se tiene que se producen 0.1022 Kg SST/ día en verano y 0.1282 Kg SST/día en invierno, asimismo, se proyecta una DBO₅ en la alimentación combinada de 3520.94 mg/L en verano y 3528.68 mg/L en invierno y una concentración de 4785.70 mg SSV/L. Adaptado de Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de un camal,

mediante un Sistema de Lodos Activados a Escala de Laboratorio. Rubio y Padilla, 2009. p. 81. Derecho de autor 2009.

Tabla 29
Neutralización y nutrientes requeridos.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Ecuación	Valor
Kg DBO ₅ consumidos por día	Kg DBO _r /d	Kg DBO _r /d	Ecuación 4	0.2325
Alcalinidad consumida	Alc _r	Kg/d	Ecuación 31	0.1162
Alcalinidad en alimentación inicial	Alc ₀	Kg/d	Ecuación 32	0.0153
Ya que 0.0153 < 0.1162 no se requiere neutralización previa al proceso biológico				
Nitrógeno perdido en el sistema por purga de lodos (condiciones de verano)	N _{r,w}	Kg/d	Ecuación 33	0.0097
Nitrógeno perdido en el sistema por purga de lodos (condiciones de invierno)	N _{r,w}	Kg/d	Ecuación 33	0.0128
Nitrógeno perdido en el efluente	N _{r,e}	Kg/d	Ecuación 34	0.00004
Nitrógeno total perdido (condiciones de verano)	N _r	Kg/d	Ecuación 35	0.0097
Nitrógeno total perdido (condiciones de invierno)	N _r	Kg/d	Ecuación 35	0.0129
Nitrógeno Disponible	N _F	Kg/d	Ecuación 36	0.0260
Ya que 0.0260 > 0.001 no se requiere añadir Nitrógeno.				
Fósforo perdido en el sistema por purga de lodos (condiciones de verano)	P _{r,w}	Kg/d	Ecuación 37	0.0016
Fósforo perdido en el sistema por purga de lodos (condiciones de invierno)	P _{r,w}	Kg/d	Ecuación 37	0.0214
Fósforo perdido en el efluente	P _{r,e}	Kg/d	Ecuación 38	0.00002
Fósforo total perdido (condiciones de verano)	P _r	Kg/d	Ecuación 39	0.0016
Fósforo total perdido (condiciones de invierno)	P _r	Kg/d	Ecuación 39	0.0214
Fósforo Disponible	P _F	Kg/d	Ecuación 40	0.0022
Ya que 0.0022 > 0.0214 > 0.0016 no se requiere añadir fósforo antes del proceso biológico				

Nota: En la Tabla 29 se muestran los resultados de los cálculos realizados para determinar si es necesaria la neutralización y la inoculación de nutrientes. Se puede observar que la alcalinidad en la alimentación inicial es menor que la alcalinidad consumida y por lo tanto no se requiere neutralización previa al proceso biológico. Asimismo, se determinó que el Nitrógeno disponible es mayor al Nitrógeno necesario y por lo tanto no es

necesario agregar fuentes de nitrógeno. De manera análoga, la tabla muestra que no se requiere añadir fósforo antes del proceso biológico.

Tabla 30. *Dimensionamiento del reactor o tanque de aireación.*

Dimensiones	Relaciones de Dimensiones (Rubio & Padilla, 2009)	Dimensiones Calculadas	Dimensiones del Tanque (m)
Ancho	0.25	0.030	0.33
Largo	0.32	0.039	0.40
Alto	0.5	0.061	0.60
Volumen	0.04	0.071	0.072

Nota: La tabla 30 muestra las dimensiones del tanque de aireación. Respecto a la altura del tanque se considera 0.10 m de altura libre con el propósito de evitar desbordes en el tanque. Dicha altura se consideró del trabajo de investigación realizado por Rubio y Padilla (2009). Por lo que si quitamos 0.10 m de altura libre, el Volumen útil del reactor resulta 66 Litros.

Tabla 31. *Dimensionamiento del clarificador secundario.*

Dimensiones	Proporciones de Dimensiones OS - 090	Dimensiones Calculadas	Dimensiones del Tanque (m)
Ancho	1	2.28	0.15
Largo	4	9.12	0.60
Alto	1.5	3.42	0.25
Volumen	6	71.03	0.0225

Nota: La tabla 31 muestra las dimensiones del clarificador secundario. Respecto a la altura del clarificador se considera 0.10 m de altura libre con el propósito de evitar desbordes. Por lo que si quitamos 0.10 m de altura libre, el Volumen útil del reactor resulta 13.5 Litros.

Tabla 32. *Dimensionamiento de la base del clarificador secundario.*

Dimensiones	Relaciones Geométricas (Rubio & Padilla, 2009)	Dimensiones Calculadas	Dimensiones del Tanque
Alto	0.34	0.34	0.15
Altura de pirámide	0.16	0.16	0.07

Nota: La tabla 32 muestra las dimensiones del sedimentador secundario. Este dimensionamiento corresponde para la base piramidal del sedimentador.

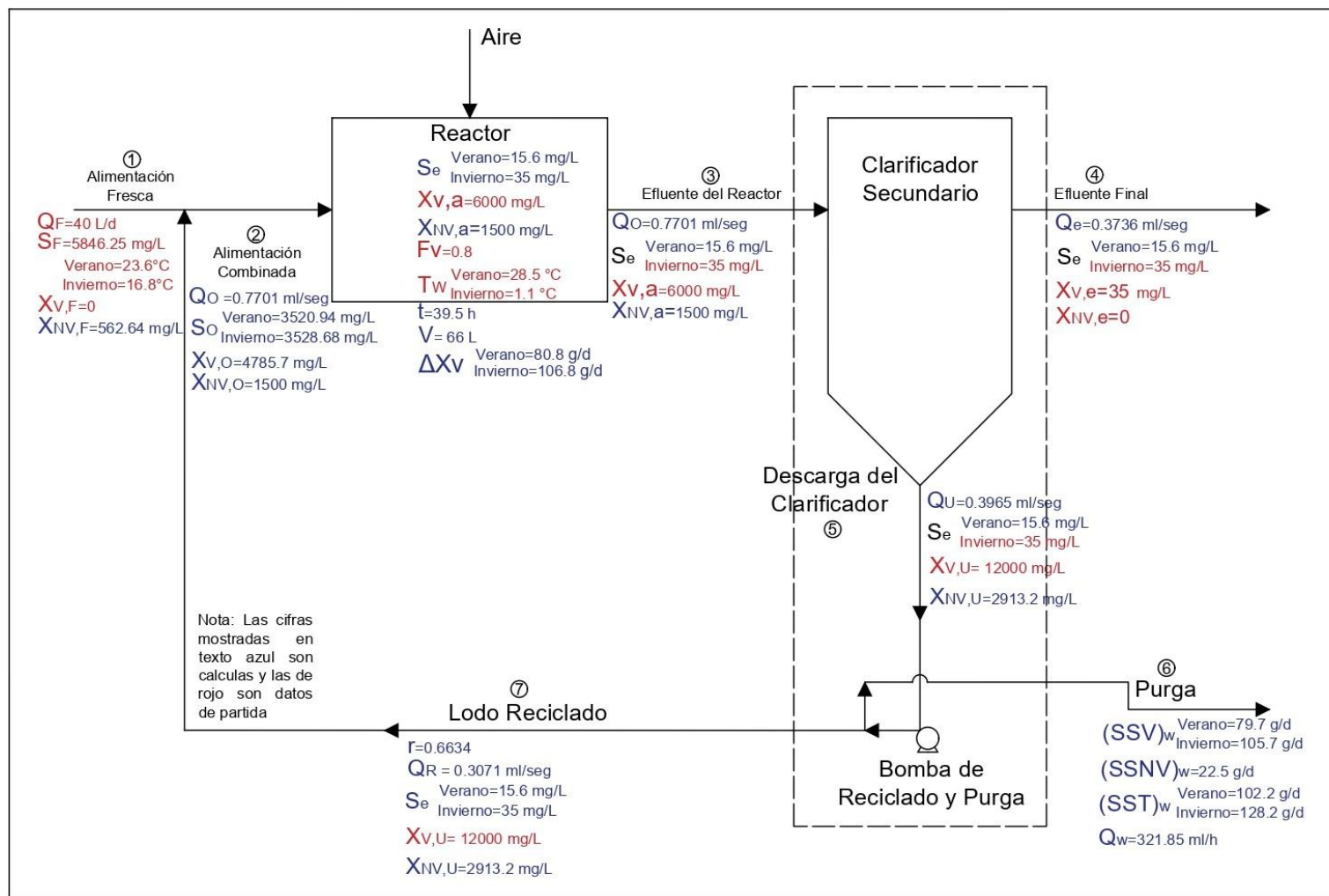


Figura 35. Se puede observar el diagrama de flujo con el comportamiento esperado del sistema de lodos activados a escala de laboratorio construido. Este diseño fue realizado de acuerdo a la metodología de Ramalho (2003, p.334-340). El presente estudio de investigación evaluó su influencia en la calidad de efluentes del camal municipal de El Porvenir.

ANEXO 10. Plano del sistema de lodos activados a escala de laboratorio

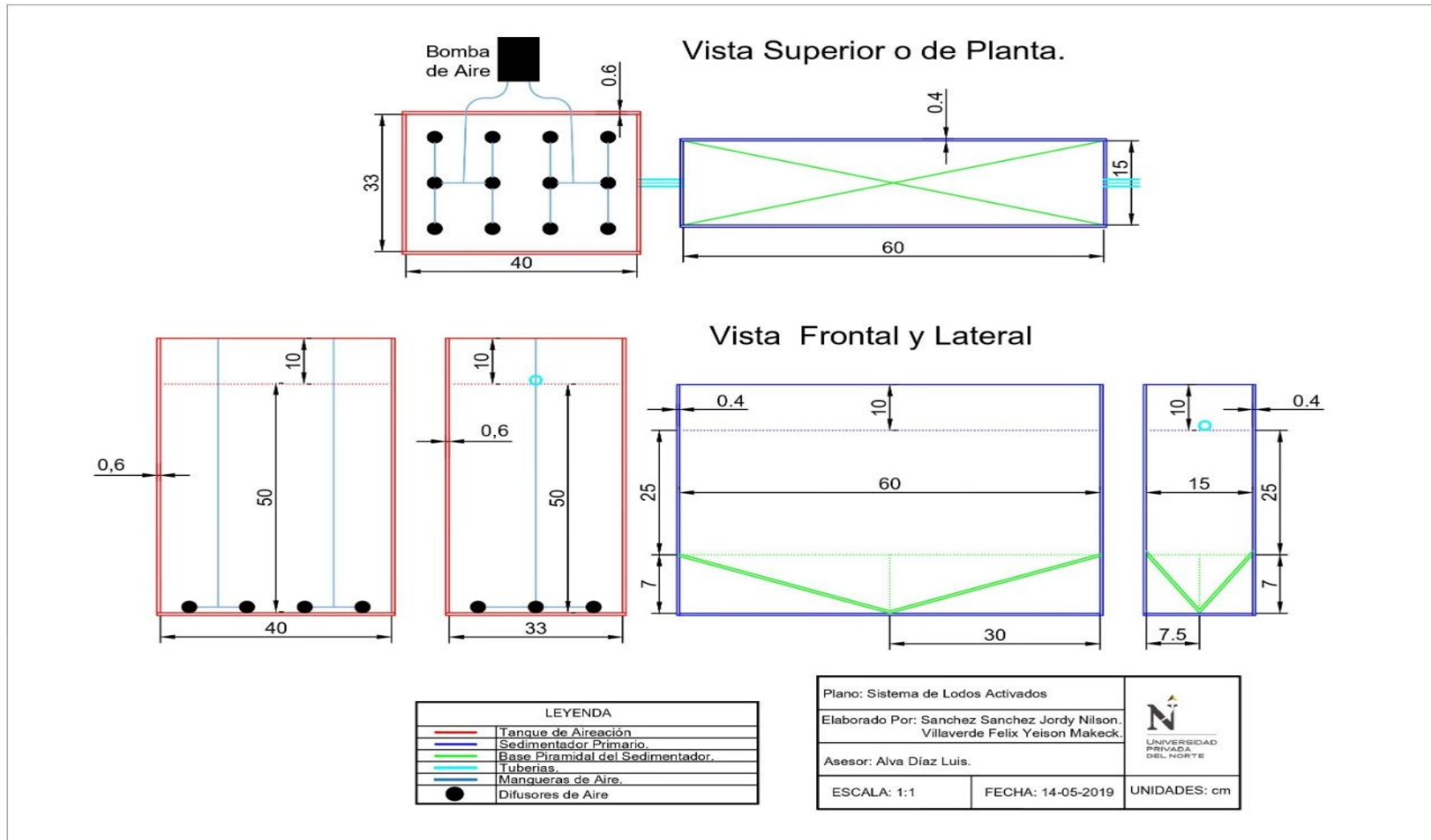


Figura 36. Plano del sistema de lodos activados a escala de laboratorio.

ANEXO 11. Determinación de la tasa de transferencia de oxígeno del sistema de aireación

Paso 1:

Determinación del peso del Sulfito de Sodio (Na_2SO_3).

Volumen de Agua Destilada (L) = 40.00

O.D inicio (mg/L) = 6.8

Teóricamente se necesita 7.9 ppm de (Na_2SO_3) para eliminar 1 ppm de (O_2), entonces:

$$6.8 \text{ ppm}(\text{O}_2) * \frac{7.9 \text{ ppm} (\text{Na}_2\text{SO}_3)}{1 \text{ ppm}(\text{O}_2)} = 53.72 \text{ ppm} (\text{Na}_2\text{SO}_3)$$

Utilizando el 20% de exceso:

$$53.72 \text{ ppm} (\text{Na}_2\text{SO}_3) * 1.2 = 64.464 \text{ ppm} (\text{Na}_2\text{SO}_3)$$

A partir de lo calculado se puede tomar el siguiente valor:

$$65 * 10^3 \text{ g} (\text{Na}_2\text{SO}_3) / \text{kg} (\text{H}_2\text{O})$$

Obteniendo un total de:

$$\frac{65 * 10^{-3} \text{ g} (\text{Na}_2\text{SO}_3)}{\text{kg} (\text{H}_2\text{O})} * \frac{1 \text{ kg} (\text{H}_2\text{O})}{\text{L}} * 40 \text{ L} = 2.6 \text{ g} (\text{Na}_2\text{SO}_3)$$

Determinación del peso del Cloruro de Cobalto (CoCl_2).

Base: 1.5 ppm de Co^{2+} .

Peso molecular del (CoCl_2) = 130

Peso Atómico del Co = 59

Por tanto, se necesitan:

$$1.5 * \frac{130}{59} = 3.3 \text{ ppm de } CoCl_2 = 3.3 \text{ mg } CoCl_2 / Kg \text{ } H_2O$$

Obteniendo un peso mínimo de:

$$\frac{3.3 \text{ mg } (CoCl_2)}{Kg \text{ } (H_2O)} * \frac{1 \text{ kg}(H_2O)}{L} * 20 \text{ L} = 132 \text{ mg } (CoCl_2)$$

En el experimento realizado se utilizó 140 mg de (CoCl₂). Ya que la cantidad encontrada con anterioridad es la mínima para lograr la concentración de 1.5 ppm de Co²⁺, por lo que se puede utilizar una cantidad extra a la determinada según indica (Ramalho, 2003 p. 205).

Paso 2:

*Tabla 33
Resultados de oxígeno disuelto en el Tiempo.*

Tipo Aireador	Tiempo (min)															
	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Bomba + Difusores	0	0.32	0.59	0.96	1.46	1.95	2.8	3.05	3.77	4.49	5.41	5.93	6.89	7.72	8.38	8.74

Nota: La tabla 33 muestra la variación de la concentración de oxígeno disuelto en agua destilada entre intervalos de tiempo definidos durante una hora.

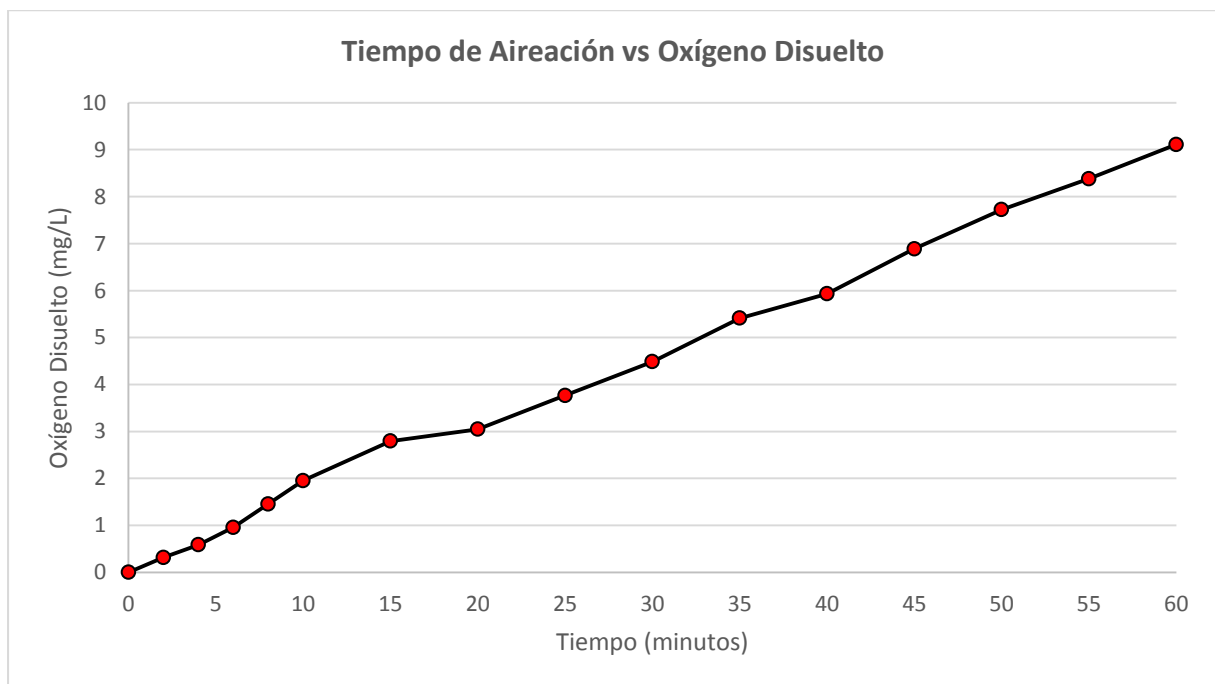


Figura 37. Se puede observar la variación de la concentración de oxígeno disuelto en agua destilada entre intervalos de tiempo definidos durante una hora.

Paso3:

$$C_o \text{ (mg/L)} = 0.00$$

$C_s \text{ (mg/L)} = 9.20$ (Valor de saturación de oxígeno para agua destilada, en condiciones normales: 1 Atm. y a $T = 20^\circ\text{C}$ según (Ramalho, 2003 p. 205).

$$\ln(C_s - C_t) = -k_L a t + cte$$

Tabla 34

Resultados de déficit ($C_s - C_t$) en el tiempo.

Tipo Aireador	Tiempo (min)															
	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	($C_s - C_t$)															
Bomba + Difusores	9.70	9.38	9.11	8.74	8.24	7.75	6.90	6.65	5.93	5.21	4.29	3.77	2.81	1.98	1.32	0.96

Nota: La tabla 34 muestra la variación del déficit ($C_s - C_t$) en agua destilada entre intervalos de tiempo definidos durante una hora.

Tabla 35

Resultados de Déficit ($C_s - C_o$) / ($C_s - C_t$) en el tiempo.

Tipo Aireador	Tiempo (min)															
	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	($C_s - C_o$) / ($C_s - C_t$)															
Bomba + Difusores	1.00	1.03	1.06	1.11	1.18	1.25	1.41	1.46	1.63	1.86	2.26	2.57	3.45	4.91	7.35	10.07

Nota: La tabla 35 muestra la variación del déficit ($C_s - C_o$) / ($C_s - C_t$) en agua destilada entre intervalos de tiempo definidos durante una hora.

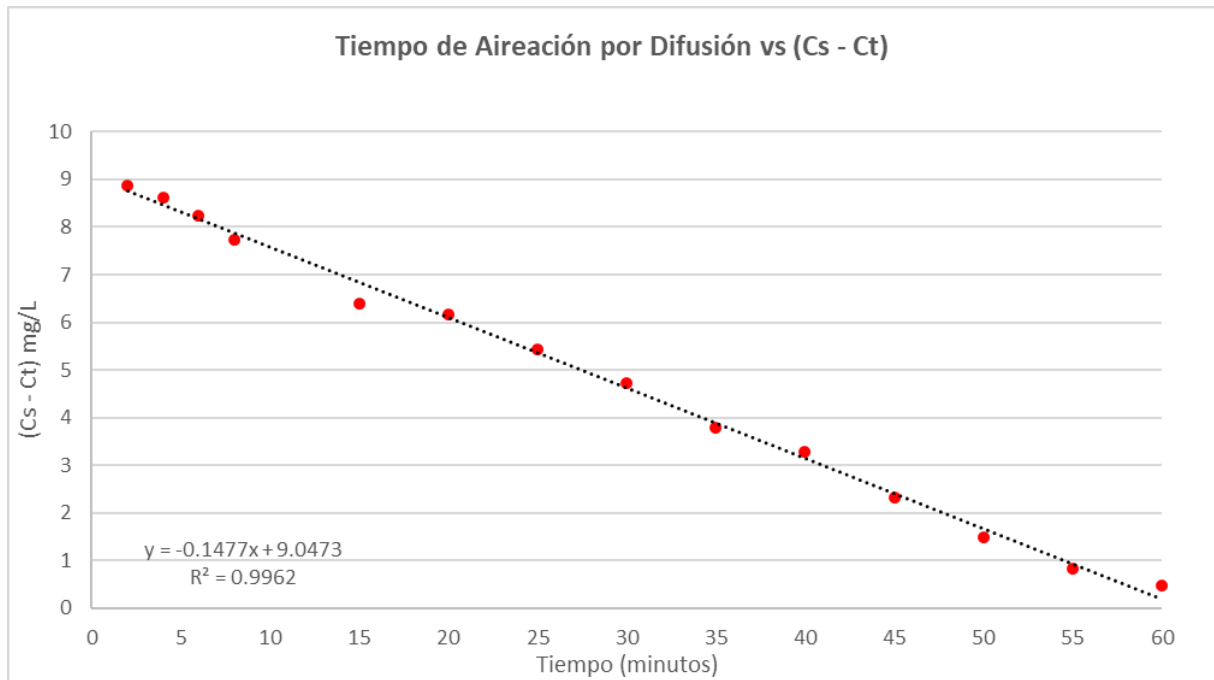


Figura 38. Se puede observar la variación de la concentración del déficit (Cs-Ct) en agua destilada entre intervalos de tiempo definidos durante una hora.

Como se aprecia en el gráfico se obtiene una serie de puntos que mediante el método de mínimos cuadrados se obtiene una recta para el sistema de aireación, siendo su ecuación la que se aprecia a continuación y sus valores interpretados según la ecuación 41.

$$y = -0.1477x + 9.0473$$

A partir de la recta encontrada, se determinan los puntos sobre la recta en la variación del tiempo de 0 min a 60 min para observar la variación del déficit de oxígeno. A continuación, se muestran los resultados en el siguiente cuadro.

Tabla 36
Resultados de déficit (Cs-Ct) en el tiempo con la recta encontrada.

Tipo Aireador	Ecuación	R ²	Tiempo (min), X															
			0	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Bomba + Difusores	$y = -0.1477x + 9.0473$	0.9962	9.047	8.752	8.457	8.161	7.866	7.570	6.832	6.093	5.355	4.616	3.878	3.139	2.401	1.662	0.924	0.185

Nota: La tabla 36 muestra la variación del déficit (Cs-Ct) en agua destilada con la recta encontrada.

Paso 4:

Tabla 37
Determinación del coeficiente de transferencia $K_L a$.

$$k_L a = 2.303 \log[(C_s - C_1)/(C_s - C_2)] / (t_2 - t_1) \quad k_L a \times C = (k_L a)_T * \theta^{20^\circ - T} \quad C.O = ((k_L a)_T * C_s) g / h.m^3$$

Tipo Aireador	$(C_s - C_0) mg / L$	$(C_s - C_{10}) mg/L$	$(t_8 - t_0)$	$k_L a_T (h^{-1})$	$k_L a_{20^\circ C} (h^{-1})$	$C.O_T$	$C.O_{20^\circ}$
Bomba + Difusores	9.7	0.185	60	3.959	4.363	38.399	42.320

Nota: La tabla 37 muestra los cálculos para la determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno de la bomba de aire.

Paso 5:

Tabla 38
Determinación del número de bombas y la potencia total en watts.

Tipo Aireador	Vol. Tanque Aireación (L)	O ₂ /h=dC/dt * V (gr/h)	Oxígeno Requerido (gr/h)	Nº Bombas	Watts por bomba	Total de Watts
Bomba + Difusores	40	1.518	7.2	4.7 \cong 5	3.5	17.5

Nota: La tabla 38 muestra los cálculos para la determinación del número de bombas de aire con las mismas características que la que se utilizó en el ensayo de transferencia de oxígeno y la potencia que tendrán éstas.

ANEXO 12. Monitoreo de las concentraciones de SSV en el reactor y en la descarga del clarificado

Tabla 39

Concentración de SSV en el reactor y en la descarga del clarificador durante el periodo de operación.

Día	SSV en el reactor	SSV en la descarga del clarificador
	mg/L	mg/L
1	5836.32	10897.39
2	5827.9	10373.662
3	5833.67	10967.2996
4	5839.33	11462.60479
5	5887.46	11362.7978
6	5819.97	9888.12903
7	5831.43	10747.32549
8	5823.39	9661.00401
9	5822.48	11423.70576
10	5840.33	10197.21618
11	5832.99	11327.66658
12	5842.67	11574.32927
Promedio	5836.495	10823.59421

Nota: En la Tabla 39 se puede observar las concentraciones de sólidos suspendidos volátiles en el reactor o tanque de aireación y en la descarga del clarificador durante el periodo de operación del sistema de lodos activados. Fuente propia.

ANEXO 13. Parámetros de operación del sistema de lodos activados

Tabla 40

Parámetros de operación del sistema de lodos activados durante el periodo del trabajo.

Día	Caudal	Tiempo de residencia hidráulica	Edad de lodo	Carga orgánica	Carga orgánica volumétrica	Oxígeno Disuelto	pH	Temperatura	A/M	IVL	Densidad energética
	L/d	h	d	Kg DBO ₅ /d	Kg DBO ₅ /m ³ .d	mg/L	-	°C	Kg DBO ₅ /Kg SSVLM.d	mL/g	Watts/m ³
1	40	39.35	4.52	0.36	5.49	2.32	7.21	20.3	0.94	71.11	265.15
2	40	39.35	4.73	0.34	5.18	3.12	7.32	19.8	0.89	79.45	265.15
3	40	39.35	4.49	0.34	5.12	2.35	7.43	19.7	0.88	77.48	265.15
4	40	39.35	4.30	0.35	5.32	3.14	7.39	18.9	0.91	76.38	265.15
5	40	39.35	4.37	0.34	5.14	2.03	7.82	19.3	0.87	82.72	265.15
6	40	39.35	4.96	0.34	5.08	2.36	7.14	18.2	0.87	71.48	265.15
7	40	39.35	4.57	0.35	5.31	2.84	7.68	19.7	0.91	72.88	265.15
8	40	39.35	5.07	0.33	5.06	2.73	8.1	18.6	0.87	74.01	265.15
9	40	39.35	4.30	0.36	5.39	2.64	7.54	21.1	0.93	76.77	265.15
10	40	39.35	4.82	0.35	5.33	2.96	7.31	17.8	0.91	77.22	265.15
11	40	39.35	4.34	0.33	4.96	2.31	8.32	18.5	0.85	80.40	265.15
12	40	39.35	4.26	0.34	5.20	2.42	7.67	17.9	0.89	77.53	265.15
Promedio	40	39.35	4.56	0.34	5.21	2.60	7.58	19.15	0.89	76.45	265.15

Nota: En la Tabla 40 se puede observar los parámetros de operación del sistema de lodos activados a escala de laboratorio en los 12 días que se evaluó la calidad del efluente de este sistema. Los datos presentados en esta tabla no son motivo de investigación del presente trabajo ya que son indicadores de la variable independiente difíciles de manipular. Por tratarse de un trabajo pre experimental estos indicadores no son motivo de estudio. Sin embargo, se presentan como un aporte adicional al trabajo de investigación.

Fuente

propia.

ANEXO 14. RESULTADOS DE LAS CONCENTRACIONES DE NITRÓGENO Y FÓSFORO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS.



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO No LE 026



INFORME DE ENSAYO

T-464-E219-YVF

Pág. 01 de 02

CLIENTE : YEISON VILLAVERDE FELIX
URB. SAN ISIDRO II ETAPA MZ W LOTE 17

METODO DE ENSAYO : Químico

ITEM DE ENSAYO : Agua Residual Industrial

PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE
ENSAYO : Envases de plástico
Preservadas

MUESTREO : Muestras tomadas por el cliente

LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN : Trujillo, 04 de abril de 2019

Hora: 12:30

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Trujillo, 04 de abril de 2019

MÉTODO DE ENSAYO

Parámetro	Norma-Método
Nitrogeno Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF The kjeldahl method 4500-N(org) C
Fosforo Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF PHOSPHORUS 4500-P B, D

Sello Fecha Emisión Jefe Administrativo Jefe del Laboratorio de
Quimica




07/06/2019

Christian Moran

Anthony Vivar Paredes

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS SOLICITADOS PARA LOS ITEM DE ENSAYO RECIBIDOS.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO DE NKAP SRL.

> Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.

> Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del ensayo analizado por un tiempo máximo de 5 días después de emitido el informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo requerimiento expreso del cliente

> Informes de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

T-464-E219-YVF

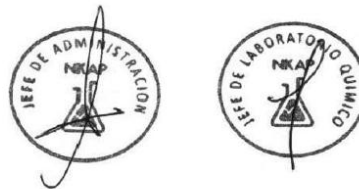
Figura 39. Resultados de las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el agua residual para el diseño del sistema de lodos activados (parte 1).

INFORME DE ENSAYO

T-464-E219-YVF

Pág. 02 de 02

Código de Laboratorio		T-464-01	
Código de Cliente		CA-01	
Item de Ensayo		Agua Residual Industrial	
Fecha de Muestreo		04/04/2019	
Hora de Muestreo		11:30	
Parámetro	Simbolo	Unidad	
Nitrógeno Total	N	mg/L	650
Fosforo Total	P	mg/L	55



T-464-E219-YVF

Figura 40. Resultados de las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el agua residual para el diseño del sistema de lodos activados (parte 2).

ANEXO 15. Fotografías del trabajo de investigación

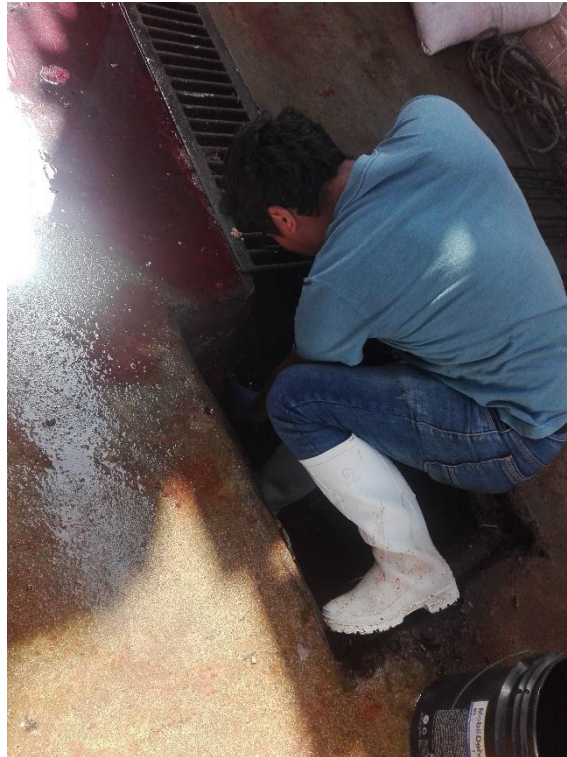


Figura 41. Punto de muestreo en el camal municipal de El Porvenir.



Figura 42. Toma de muestra del efluente del camal municipal de El Porvenir.



Figura 43. Homogenización de la muestra puntual tomada.



Figura 44. Proceso de cribado de la muestra.



Figura 45. Determinación de SST en el laboratorio.



Figura 46. Instalación de tuberías en el sistema de lodos activados a escala de laboratorio.

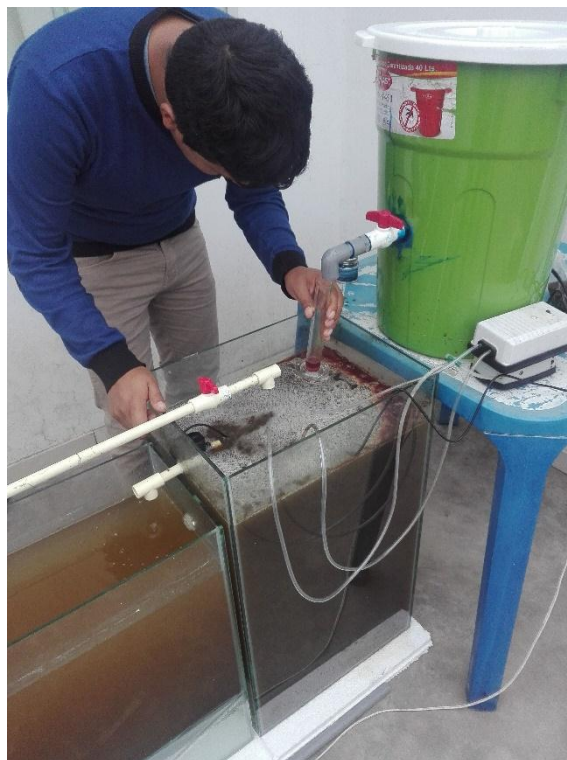


Figura 47. Determinación del caudal de alimentación con una probeta graduada.



Figura 48. Ensayo de determinación de transferencia de oxígeno de las bombas de aire.