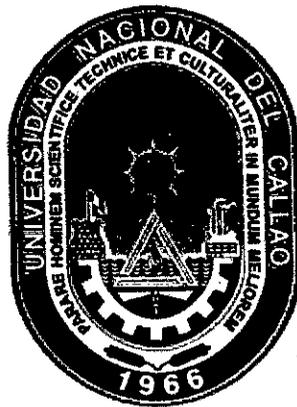


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES



OBTENCIÓN DE AGUA PARA RIEGO
MEDIANTE EL SISTEMA DE LODOS
ACTIVADOS CONTINUOS EN LA PLANTA
PILOTO DE LA FIARN-UNAC

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

CRISTOPHER ALLAZO ROMAN
LADY GLORIA TRUENQUE SAENZ
MARIA VICTORIA SILVERA BENDEZÚ

ASESOR:

Mg. MAXIMO FIDEL BACA NEGLIA

Callao, Octubre 2017

PERÚ

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

COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES N°003-2017-JEDT-FIARN**

Siendo las 11:25 horas del día martes 03 de octubre de 2017, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales ubicado en la Av. Juan Pablo II 306-Bellavista-Callao; se dio inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **OBTENCIÓN DE AGUA PARA RIEGO MEDIANTE EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS EN LA PLANTA PILOTO DE LA FIARN-UNAC**, presentado por los bachilleres María Victoria Silvera Bendezú, Lady Gloria Truenque Saenz y Christopher Allazo Roman, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales; contando con la asistencia del Jurado Evaluador y Asesor a fin de dar cumplimiento a la Resolución N°068-2017-D-FIARN de fecha 28 de setiembre de 2017, los mismos que están integrados por los siguientes docentes:

- | | |
|--------------------------------------|------------|
| ➤ MsC. María Teresa Valderrama Rojas | Presidente |
| ➤ Ing. Abner Josué Vigo Roldán | Secretario |
| ➤ Lic. Janet Mamani Ramos | Vocal |
| ➤ Mg. Máximo Fidel Baca Neglia | Asesor |

Terminada la exposición a las 12:15 horas y la absolución de las preguntas del Jurado Evaluador a las 12:32 horas, se invita a los Bachilleres y al público en general se retiren del Auditorio para las deliberaciones del caso.

Luego de las deliberaciones, el Jurado Evaluador acuerda **APROBAR POR UNANIMIDAD**, no habiendo observación alguna, con el calificativo de **MUY BUENO**, dando así por terminado el acto de sustentación.

En señal de conformidad firman el Jurado Evaluador y Asesor, siendo las 13:20 horas del día 03 de octubre del 2017.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
OFICINA DE SECRETARÍA GENERAL

EL SECRETARIO GENERAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO que suscribe la presente: **Abner Josué Vigo Roldán** Secretario

MsC. María Teresa Valderrama Rojas, Presidenta

Es copia fiel del original que se encuentra en el expediente N°003-2017-JEDT-FIARN, certificación a solicitud del interesado (a) para los fines que juzgue conveniente

Callao,15 de ENE 2018 del 20.....

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Oficina de Secretaría General

Lic. Janet Mamani Ramos Vocal

Mg. Máximo Fidel Baca Neglia Asesor

Lic. César Guillermo Jauregui Villafuerte Secretario General

DEDICATORIA

A Dios, quien nos dio la vida y nos supo guiar por el buen camino y darnos fuerzas para poder continuar y no desmayar en los problemas que se presentaron.

A nuestra familia y nuestros padres quienes fueron nuestro apoyo incondicional, por los consejos brindados, la comprensión, el amor y ayuda en los momentos difíciles, así como los recursos necesarios para lograr nuestras metas trazadas.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por protegernos durante todo el camino y darnos el valor para poder culminar esta etapa de nuestra vida.

A nuestros padres por toda la confianza y el apoyo brindado, que sin duda alguna en el trayecto de nuestras vidas nos han demostrado su amor, corrigiendo nuestras faltas y celebrando nuestros triunfos.

A nuestro profesor y asesor Mg. Máximo Fidel Baca Neglia, quien hizo posible la realización de esta tesis y nos brindó todo su apoyo y comprensión a lo largo de este tiempo.

A la Universidad Nacional del Callao por acogernos en sus aulas durante todos estos años de permanencia, donde hemos compartido experiencias y conocimientos que nos han formado como profesionales capaces de asumir retos en el campo laboral.

ÍNDICE

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO I	13
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.1 Identificación del problema	13
1.2 Formulación de Problema	14
1.3 Objetivos de la investigación	14
1.3.1. Objetivo General	14
1.3.2. Objetivos Específicos	14
1.4 Justificación	14
1.5 Importancia	15
1.5.1. Socio – Ambiental	15
1.5.2. Legal	15
1.5.3. Económico	15
CAPÍTULO II	16
MARCO TEÓRICO	16
2.1 Antecedentes del Estudio	16
2.2 Bases teóricas	22
2.2.1 Definición de términos básicos	22
2.2.2 Planta de tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica y el Perú	25
2.2.3 Historia del proceso de lodos activados	26
2.2.4 Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos	27
2.2.5 Variantes del proceso de lodos activados	29
2.2.6 Sistema de tratamiento de lodos activados Continuos de la FIARN	33
2.2.7 Parámetros de control del SLAC	36
2.2.8 Parámetros de modelado del SLAC	46
2.3 Marco Legal	49
2.3.1 Normas Internacionales	49
2.3.2 Normas Nacionales	51

CAPÍTULO III	58
VARIABLES E HIPÓTESIS	58
3.1 Variables de la investigación	58
3.1.1 Variable independiente	58
3.1.2 Variable interviniente	58
3.1.3 Variable dependiente	59
3.2 Operacionalización de las variables	59
3.3 Hipótesis General	60
CAPÍTULO IV	61
METODOLOGÍA	61
4.1 Tipo de investigación	61
4.2 Diseño de la investigación	61
4.3 Población y Muestra	62
4.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	63
4.4.1 Técnicas de recolección de datos	63
4.4.2 Instrumentos de recolección de datos	64
4.5 Procedimiento de recolección de datos	65
4.5.1 Determinación de los indicadores de la variable independiente	67
4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos	68
CAPÍTULO V	70
RESULTADOS	70
5.1 Evaluación de los indicadores de control del SLAC	71
5.1.1 Evaluación de los indicadores visuales de control	71
5.1.2 Evaluación de los indicadores analíticos de control	72
5.2 Evaluación de los parámetros de control del SLAC	73
5.3 Evaluación de los parámetros de modelado del SLAC	79
CAPÍTULO VI	88
DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	88
6.1 Evaluación de la calidad del agua residual doméstica tratada	88
6.1.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	90
6.1.2 Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	91
6.1.3 Aceites y Grasas (mg/L)	92

6.1.4 Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	93
6.1.5 Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	94
6.1.6 Temperatura (°C)	95
6.1.7 Potencial de Hidrogeno (pH)	96
6.2 Eficiencia	96
6.3 Comparación de DBO₅ y DQO con otros estudios similares	98
CAPÍTULO VII	102
CONCLUSIONES	102
CAPÍTULO VIII	103
RECOMENDACIONES	103
CAPÍTULO IX	105
REFERENCIAS	105
9.1 Bibliográficas	105
9.2 Web	107
CAPÍTULO X	109
APÉNDICE	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Reactor experimental de flujo continuo y mezcla completa	19
Figura N° 2: Diagrama de flujo del tratamiento de aguas residuales domésticas .	17
Figura N° 3: Diagrama de flujo del sistema de lodos activados secuenciales.....	21
Figura N° 4: Sistemas de lodos activados convencional	29
Figura N° 5: Estabilización por contacto.....	30
Figura N° 6: Sistema de aireación decreciente.....	31
Figura N° 7: Aireación por etapa.....	31
Figura N° 8: Aireación extendida.....	32
Figura N° 9: Sistema de lodos activados en mezcla completa	33
Figura N° 10: Proceso de lodos activados continuos del sistema de tratamiento de la fiarm	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Indicadores visuales de control del slac.....	36
Tabla N° 2: Indicadores analíticos de control del slac.....	39
Tabla N° 3: Parámetros de control del slac	41
Tabla N° 4: Parámetros en planta de lodos activados	44
Tabla N° 5: Parametros del modelado del slac.....	47
Tabla N° 6: Directrices de la oms (1989) sobre calidad parasitológica y microbiológica de aguas residuales para uso en agricultura	50
Tabla N° 7: Guía sugeridas para aguas tratadas en el reuso agrícola.....	51
Tabla N° 8: Laboratorios para el análisis de muestras	65
Tabla N° 9: Métodos de análisis empleados en laboratorio	66
Tabla N° 10: Caudal de entrada al sistema de tratamiento.....	67
Tabla N° 11: Tiempos de retención hidráulica.....	70
Tabla N° 12: Indicadores visuales de control del slac.....	71
Tabla N° 13: Indicadores analíticos control del slac	73
Tabla N° 14: Tiempo de retencion hidraulica (trh).....	74
Tabla N° 15: Relación a/m	75
Tabla N° 16: Indice volumétrico de lodo (ml/g)	76
Tabla N° 17: Carga organica volumetrica de lodo	77
Tabla N° 18: Cuadro resumen de los parámetros de control evaluados en el slac	78
Tabla N° 19: Demanda bioquímica de oxígeno	80
Tabla N° 20: Demanda química de oxígeno.....	81
Tabla N° 21: Aceites y grasas	82
Tabla N° 22: Sólidos suspendidos totales	83
Tabla N° 23. Coliformes termotolerantes	84
Tabla N° 24: Potencial de hidrógeno (ph).....	85
Tabla N° 25: Temperatura.....	86
Tabla N° 26: Parámetros de modelado del sistema.....	87
Tabla N° 27: Comparativa del efluente con el eca y lmp.....	89
Tabla N° 28: Eficiencia de remoción a diferentes caudales.....	97

Tabla N° 29: Cuadro comparativo de porcentajes de remoción de DBO₅ y DQO 99

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Relación f/m , sustrato y microorganismo	45
Gráfico N° 2: Tiempo de retención hidráulica (t_{rh})	74
Gráfico N° 3: Relación a/m	75
Gráfico N° 4: Índice volumétrico de lodo (ml/g)	76
Gráfico N° 5: Carga orgánica volumétrica	77
Gráfico N° 6: Demanda bioquímica de oxígeno	80
Gráfico N° 7: Demanda química de oxígeno	81
Gráfico N° 8: Aceites y grasas	82
Gráfico N° 9: Sólidos suspendidos totales	83
Gráfico N° 10: Coliformes termotolerantes	84
Gráfico N° 11: Potencial de hidrógeno (pH)	85
Gráfico N° 12: Temperatura	86
Gráfico N° 13: Demanda bioquímica de oxígeno	90
Gráfico N° 14: Demanda química de oxígeno	91
Gráfico N° 15: Sólidos suspendidos totales	93
Gráfico N° 16: Aceites y grasas	92
Gráfico N° 17: Coliformes termotolerantes	94
Gráfico N° 18: Temperatura	95
Gráfico N° 19: Medición de pH	96
Gráfico N° 20: Comparación de eficiencias de remoción de DBO_5	101
Gráfico N° 21: Comparación de eficiencias de remoción de DQO	101

RESUMEN

La presente tesis se desarrolló en el sistema de lodos activados continuos que se encuentra en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la FIARN - Universidad Nacional del Callao. La puesta en marcha del sistema se inició con la inoculación de lodos activados en el tanque de aireación, en el cual permanecieron en adaptación por dos semanas, durante las cuatro semanas siguientes se realizó el monitoreo y control del sistema, con el objetivo de obtener un efluente que cumpla con los estándares de calidad de ambiental (ECA) para riego de áreas verdes, así como los límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

La toma de datos se realizó de forma diaria y semanal, en cada semana se incrementó el caudal de agua residual, los cuales fueron los siguientes: 129.6; 172.8; 216.0 y 259.2 L/día. El más alto porcentaje de remoción del sistema de tratamiento al comparar la concentración del afluente y efluente, se presentó en la segunda semana de monitoreo, a un caudal de 172.8 L/día y los porcentajes de remoción para los parámetros evaluados fueron los siguientes: 97.17 % para DBO₅, 97.87 % para DQO, 98.00 % para SST, 94.84 % para Aceites y Grasas y 37.97 % para coliformes termotolerantes.

El efluente obtenido cumplió con los valores del ECA y LMP, a excepción de los coliformes termotolerantes, para el cual se requiere un tratamiento adicional.

En comparación con otros estudios, el sistema de lodos activados continuos presentó el mayor porcentaje de remoción de DBO₅ y DQO en el efluente.

ABSTRACT

The present thesis was developed in the system of continuous activated sludge that is in the Pilot Plant of Wastewater Treatment of the National University of Callao. The start up of the system began with the inoculation of activated sludge in the aeration tank, in which they remained in adaptation for two weeks, during the next four weeks the monitoring and control of the system was performed, with the objective of obtaining a effluent that complies with the environmental quality standards (ECA) for irrigation of green areas, as well as the maximum permissible limits (LMP) for effluents from domestic or municipal wastewater treatment plants.

The data collection was performed daily and weekly, each week increased the wastewater flow, which were: 129.6, 172.8, 216.0 and 259.2 L / day. The highest percentage of removal of the treatment system when comparing the concentration of the tributary and effluent was presented in the second week of monitoring at a flow rate of 172.8 L / day and the removal percentages for the parameters evaluated were: 97.17 % for DBO₅, 97.87% for DQO, 98.00% for SST, 94.84% for Oils and Fats and 37.97% for thermotolerant coliforms.

The effluent obtained complied with the ECA and LMP values, with the exception of thermotolerant coliforms, for which additional treatment is required.

In comparison with other studies, the continuous activated sludge system showed the highest percentage of DBO₅ and DQO removal in the effluent.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación del problema

La descarga directa sin tratamiento previo de las aguas residuales en los cuerpos receptores (ríos, lagos, quebradas secas o el mar), es uno de los principales factores de contaminación, no sólo de los diversos ecosistemas existentes, sino, también de nuestras actuales fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas, lo que amenaza la sostenibilidad del recurso y pone en riesgo la salud de la población.

Respecto a la generación y tratamiento de aguas residuales por las Empresas Prestadoras de Servicio (EPS) Saneamiento a nivel nacional, el Perú genera aproximadamente 2 217 946 m³/día de aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado de las EPS Saneamiento, de las cuales el 32% recibe tratamiento; cada habitante en el Perú genera 142 L/día de aguas residuales. (OEFA, 2014, p.20)

Lima genera aproximadamente 1 202 286 m³/día de aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado de las EPS Saneamiento, de las cuales el 20.5% recibe tratamiento; cada habitante en Lima genera 145 L de aguas residuales al día. (OEFA, 2014, p.20)

En la Universidad Nacional del Callao se consume un caudal promedio de agua potable de 2 035.30 m³/mes, de los cuales se estima que el 30% se utiliza como agua para riego de las áreas verdes; es decir, cerca de 610.6 m³/mes de agua potable. (Farfán, 2015, p.8)

1.2 Formulación de Problema

¿El sistema de lodos activados continuos de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales de la Facultad de Ingeniería Ambiental de Recursos Naturales (FIARN), permitirá tratar parte de los efluentes generados en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Callao de modo que se pueda aprovechar en el riego de áreas verdes?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

- Obtener un efluente que cumpla con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de agua para su uso en el riego de áreas verdes mediante el sistema de lodos activados continuos en la Planta Piloto de aguas residuales de la FIARN.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Lograr que el sistema de lodos activados continuos opere sin dificultades.
- Evaluar los parámetros que favorezcan el funcionamiento del sistema de tratamiento de lodos activados continuos.
- Monitorear los indicadores para el control del sistema de tratamiento de lodos activados continuos.
- Reducir el impacto generado por las aguas residuales domésticas.

1.4 Justificación

Usar el agua residual doméstica generada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Callao, aplicando el sistema de tratamiento de lodos

activados continuos, para obtener una calidad de agua adecuada que se pueda aprovechar en el riego de las áreas verdes.

1.5 Importancia

1.5.1. Socio – Ambiental

Minimizar el impacto de la contaminación generados por los efluentes domésticos de la Universidad Nacional del Callao.

1.5.2. Legal

Cumplir con las Normas legales Nacionales e Internaciones, convenios y demás que apliquen al Tratamiento de las aguas residuales domésticas y las Normas que regulen los parámetros para su uso o descarga en los ecosistemas.

1.5.3. Económico

Destinar por única vez los costos por el consumo de agua potable para el riego de áreas verdes a la inversión de un proyecto sostenible que generará ahorros por la reducción del consumo de agua.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

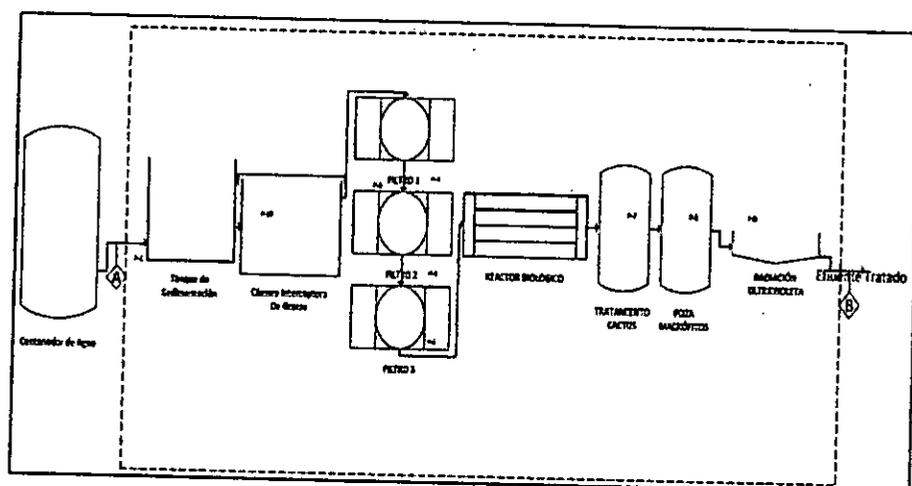
2.1 Antecedentes del Estudio

2.1.1 El proceso de lodos activados es el proceso más utilizado para el tratamiento de aguas residuales. La mejora de su rendimiento es necesaria desde el punto de vista económico y ambiental. En este contexto, la optimización dinámica es una herramienta poderosa para ayudar a los ingenieros en la determinación de las operaciones y de los diseños óptimos para el proceso de lodos activados sin embargo, la optimización real de la solución depende en gran medida del planteamiento del problema de optimización, para el que, desafortunadamente, no existe una formulación estándar o comúnmente aceptada. En un esperanzado intento de proporcionar una guía para futuros trabajos sobre el tema, este artículo revisa la literatura dedicada al control y diseño óptimo del proceso de lodos activados. (Hreiz, L; et al. 2015, p. 900)

2.1.2 El proyecto se realizó en una vivienda familiar del distrito de Alto Selva Alegre - Arequipa, durante junio del 2013. Los objetivos fueron diseñar y estimar los costos económicos y funcionamiento del prototipo de tratamiento de aguas domésticas para un caudal de $50 \text{ m}^3 / \text{día}$, y evaluar la eficiencia de remoción de coliformes totales, temperatura, pH, potencial redox, DBO_5 , nitritos y fosfatos en el sistema de tratamiento diseñado. Se construyó un prototipo para el tratamiento

de aguas domésticas a nivel experimental, con ladrillos, bandejas de PVC y conectados entre cada sistema con tubos PVC de ½ pulgada; todo el sistema funciona por gravedad. Los resultados muestran una disminución entre 17.2 y 100% de coliformes fecales, disminución desde 0.315 hasta 0.01 mg/L de nitritos (97.8% de remoción), estando dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), Categoría III para uso en riego de vegetales. En relación a fosfatos, se redujo desde 3.4 hasta 1.1 mg/L (67.6% de remoción), estando muy cercano al estándar ambiental de uso de agua en la categoría III. Asimismo, la DBO₅ disminuyó desde 454.4 hasta 112 mg/L (75.4% de remoción), mientras que la DQO disminuyó desde 1 136 hasta 92 mg/L (91.9% de remoción), estando dentro del ECA Categoría III. En relación al pH estuvo entre 9.2 a 7.1, estando también dentro del ECA Categoría III. (Canales, G., et al., 2014, p.1), el volumen de licor mezcla que se trató fue de 35 L. El costo aproximado de una planta de tratamiento para un volumen de 50 m³ /día es S/ 83 410.00. (Canales, G;et al. 2014).

FIGURA N° 1: DIAGRAMA DE FLUJO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS



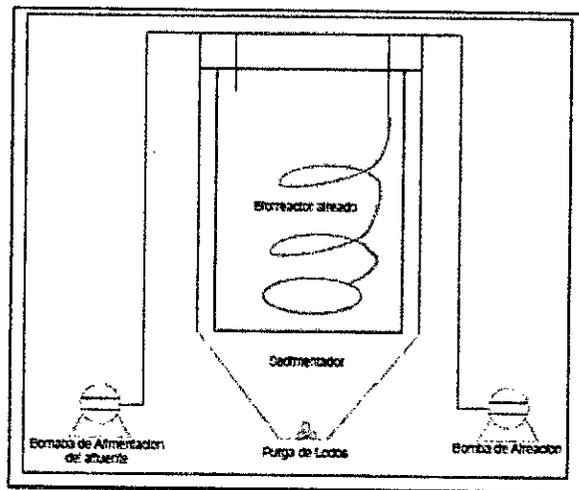
Fuente: Instituto de Investigación de la Escuela de Posgrado – Universidad Nacional del Altiplano Puno - Perú.

2.1.3 Para el tratamiento de las aguas residuales, se utilizan reactores biológicos, en donde crecen microorganismos capaces de degradar la materia orgánica. Dependiendo de la calidad y la composición del agua, el tratamiento puede ser aerobio o anaerobio. El reactor prototipo de flujo continuo y mezcla completa fue diseñado para la realización de un tratamiento aerobio, con un proceso de lodos activados, tipo aireación extendida, y de forma tal, que se pueda ahorrar espacio en el momento de su implementación. La prueba para la puesta en marcha del reactor se realizó en el laboratorio de ciencias básicas de la Fundación Universitaria de San Gil con sede en Yopal, en un tiempo de 19 días. Para la aireación y agitación del licor de mezcla (LM), se utilizó una bomba de aire Marca HLCS, modelo 1848, con sistema de regulación de cantidad de aire. Se tomaron datos diarios y cada 12 horas de sólidos disueltos totales (SDT), temperatura, pH y conductividad, y para la determinación de la eficiencia del proceso se realizó un análisis de agua inicial y dos análisis durante el proceso y después de finalizado. (Peña, Montaña y Sigua, 2013, p.1). Se utilizó agua residual proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Yopal. El reactor experimental de flujo continuo trató un caudal de agua residual de 3.84 L/día, el cual presentó 87.5 % de remoción de DBO₅ para una concentración de ingreso de 995 mg/L y 92.56 % de remoción de DQO para una concentración de ingreso de 1280 mg/L, el volumen de licor mezcla que se trató fue de 10.38 L. (Peña et al., 2013)

La idea con el prototipo planteado dentro de la investigación realizada es optimizar espacios, minimizar zonas muertas y facilitar el mantenimiento y la operación del sistema. Inicialmente se diseña una unidad comprendida por el tanque de mezcla,

el sedimentador y dos depósitos pequeños como sistemas para el tratamiento terciario o mejoramiento del efluente.

FIGURA N° 2: REACTOR EXPERIMENTAL DE FLUJO CONTINUO Y MEZCLA COMPLETA



Fuente: Fundación Universitaria de San Gil, Yopal, Colombia.

2.1.4 A pesar de varios intentos que se han realizado para aislar bacterias que degraden los hidrocarburos aromático policíclico (HAP), la composición de la microbiota de lodos residuales activados capaces de degradar los HAP todavía permanece sin explorar. En este estudio, las bacterias antraceno-degradante se aislaron a partir del lodo activado, de un medio aireado, el biorreactor alimentado del tratamiento de aguas residuales municipales y operando bajo condiciones de carga orgánica alta. Después de dos etapas de enriquecimiento sucesivos, un total de 51 cepas de bacterias que crecieron en un medio que contiene antraceno fueron aisladas. Basado en la secuenciación del gen 16S Rna, las cepas bacterianas aisladas se clasificaron en 17 unidades taxonómicas operacionales y sus miembros

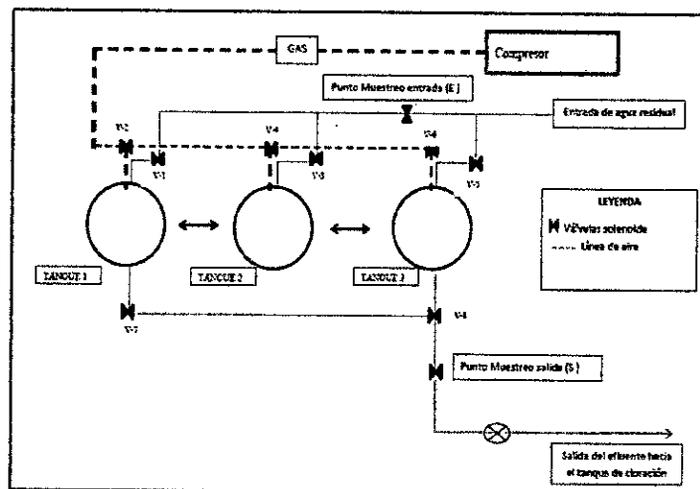
fueron filogenéticamente relacionados con las especies conocidas como desnitrificantes. La mayoría de los aislamientos fueron antraceno-degradador perteneciente a Gammaproteobacteria (30.4% de los aislados), Actinobacteria (28.3%), Alphaproteobacteria (21.7%) y Betaproteobacteria (19.6%). La mayor degradación de antraceno se logró mediante el aislamiento de bacterias asociadas a la especie arabinogalactanolyticum *Microbacterium*, zoogloeoides *Shinella* y denitrificans *Alicyclophilus* (61% a 69% de eficiencia degradación), seguido de cepas relacionadas con *Paracoccus huijuniae* (39%). De hecho, este es el primer informe sobre la degradación de los HAP efectiva por miembros de los géneros *Alicyclophilus* y *Shinella*. En conclusión, se identificó una amplia comunidad bacteriana antraceno-degradantes, lo que indica la multifuncionalidad y versatilidad de aguas residuales municipales para hacer frente a una amplia variedad de micro – pollutants, incluyendo HAP. (Ntougias, M; et al. 2015, p. 151)

2.1.5 Se estudió la capacidad de remoción biológica de la materia orgánica del agua residual doméstica empleando un reactor biológico de la materia orgánica del agua residual doméstica empleando un reactor biológico secuencial a escala piloto con la finalidad de determinar la eficiencia del sistema para la obtención de agua para riego de áreas verdes. El estudio fue dividido en tres pruebas principales, en las que se modificó la carga orgánica y la duración de las etapas, considerando una concentración de lodos de 21.6%. Se operó el sistema a diferentes tiempos de tratamiento (120 min, 170 min y 200 min). Se evaluó la eficiencia del sistema tomando en cuenta la composición del afluente y efluente. Así también mediante la

comparación de los resultados del efluente con la normativa ambiental vigente, se concluyó que el agua reproducida podrá ser utilizada para el riego de áreas verdes, adicionando al tratamiento la etapa de cloración. (Farfan, R 2015, p.5)

El sistema de lodos activados secuenciales trató un caudal de agua residual de 700 L/día, el cual presentó 82.00 % de remoción de DBO₅ para una concentración de ingreso de 334 mg/L y 49.09 % de remoción de DQO para una concentración de ingreso de 623.3 mg/L; el volumen de licor mezcla que se trató fue de 363 L. (Farfan, R. 2015)

FIGURA N° 3: DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS SECUENCIALES



Fuente: Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao

2.1.6 El artículo presenta una visión crítica de los primeros 50 años en la evolución del proceso de lodos activados. El reconocimiento del papel de la aireación y la actividad microbiana en la purificación de aguas residuales en los primeros estudios establecieron la base para el descubrimiento accidental del proceso, que fue inmediatamente adaptado a la práctica. Los problemas encontrados

durante la operación comenzaron en un período de expansión empírica con muchas modificaciones del proceso. A medida que el apoyo científico se quedaba atrás de la práctica, los esfuerzos se dirigieron hacia la exploración y comprensión de los fundamentos del sistema relacionados con los mecanismos de remoción de sustratos, microbiología, cinética de proceso y estequiometría, transformaciones de nitrógeno y, la extensa investigación generó hallazgos notables que deben considerarse como hitos importantes para el progreso futuro en muchas áreas, tales como fraccionamiento de sustrato y biomasa, distribución de tamaño de partícula y almacenamiento de sustrato. Una base racional del proceso de lodos activados para la eliminación de carbono orgánico podría establecerse basándose en el balance de masa. Este enfoque también definió parámetros esenciales que podrían relacionar las reacciones microbianas relacionadas con el diseño y operación de la planta. Las ideas científicas y descubrimientos han permitido también el desarrollo conceptual de muchas tecnologías emergentes, tales como el reactor discontinuo secuencial, mejorar la remoción biológica de fósforo, el proceso anaeróbico óxica-sedimentación, y el biorreactor de membrana súper rápido. (Orhon, 2014, p. 608)

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Definición de términos básicos

- **Aireación:** Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

- **Aireación mecánica:** Introducción de oxígeno del aire en un líquido por acción de un agitador mecánico.
- **Agua residual:** Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.
- **Agua residual doméstica:** Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.
- **Afluente o influente:** Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.
- **Carga superficial:** Caudal o masa de un parámetro por unidad de área que se usa para dimensionar un proceso del tratamiento.
- **Coliformes:** Bacterias Gram negativas no esporuladas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a $35 \pm 0,5$ °C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a $44.5 \pm 0,2$ °C en 24 horas se denominan coliformes fecales (ahora también denominados coliformes termotolerantes).
- **Difusor:** Placa porosa, tubo u otro artefacto, a través de la cual se inyecta aire comprimido u otros gases en burbujas, a la masa líquida.
- **Digestión aeróbica:** Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo, en presencia de oxígeno.
- **Edad del lodo:** Parámetro de diseño y operación propio de los procesos de lodos activados que resulta de la relación de la masa de sólidos volátiles presentes

en el tanque de aireación dividido por la masa de sólidos volátiles removidos del sistema por día. El parámetro se expresa en días.

- **Eficiencia del tratamiento:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje.
- **Efluente:** Líquido que sale de un proceso de tratamiento.
- **Flóculo:** Es una pequeña masa esponjosa de 10 a 500 μm , esférica, compacta y mecánicamente débil, compuesta por microorganismos, agua, aire, materia orgánica sin metabolizar y materia inorgánica.
- **Indicador:** Conjunto de elementos que señalan de manera cuantitativa sus características presentadas al momento del monitoreo.
 - **Lícor mezcla:** Es la mezcla de lodo activado y agua residual que se produce en el tanque de aireación.
 - **Lodo activado:** Lodo constituido principalmente de biomasa con alguna cantidad de sólidos inorgánicos que recircula del fondo del sedimentador al tanque de aireación en el tratamiento con lodos activados.
- **Parámetro:** Datos que se toman como necesario al momento de realizar la comparación con los valores obtenidos del monitoreo.
- **pH:** Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.
- **Planta de tratamiento:** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales.

- **Planta piloto:** Planta de tratamiento a escala, utilizada para la determinación de las constantes cinéticas y parámetros de diseño del proceso.
- **Proceso de lodos activados:** Tratamiento de aguas residuales en el cual se somete a aireación una mezcla (licor mezclado) de lodo activado y agua residual. El licor mezclado es sometido a sedimentación para su posterior recirculación o disposición de lodo activado.
- **Requisitos de oxígeno:** Cantidad de oxígeno necesaria para la estabilización aerobia de la materia orgánica y usada en la reproducción o síntesis celular y en el metabolismo endógeno.
- **Reúso de agua residual tratada:** Reutilización de aguas residuales, previamente tratada, resultantes de las actividades antropogénicas.

2.2.2 Planta de tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica y el Perú

El crecimiento explosivo de las ciudades ha generado una acelerada y caótica urbanización de tierras de cultivo y ha obligado a darle prioridad al uso de aguas superficiales para consumo humano y la industria. Consecuentemente, la actividad agrícola ubicada en la periferia de las ciudades se ha visto afectada seriamente y se ha optado por el uso de aguas residuales como única alternativa de supervivencia. Esto se refleja en la existencia de más de 500 000 ha agrícolas irrigadas directamente con aguas residuales sin tratar. Lo que preocupa más aún es el riego de una superficie agrícola mucho mayor con aguas superficiales que al ser contaminadas por desagües urbanos, normalmente superen la calidad sanitaria para riego (Coliformes termotolerantes y Helmintos) recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1 989). En el Perú, la municipalización de los servicios

de agua y saneamiento no ha tenido los resultados esperados: la administración de los servicios de saneamiento es deficiente. En general se produce agua suficiente como para atender adecuadamente a la población; sin embargo, las deficiencias en la operación y mantenimiento de los sistemas, los altos volúmenes de pérdidas de agua, los desperdicios generados por los consumidores, los usos clandestinos y la baja cobertura de micro medición son señalados como las principales causas para que el suministro no sea satisfactorio. Por otro lado, la infraestructura se deteriora aceleradamente, por la ausencia de mantenimiento preventivo, en parte por la poca importancia que se le da a este aspecto además de las limitaciones de recursos económicos. (Espinoza, 2010, p. 2.12-2.13)

2.2.3 Historia del proceso de lodos activados

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2009) menciona: “El proceso de lodos activados como tratamiento de aguas residuales fue desarrollado inicialmente en Manchester, Inglaterra, por Fowler, Arden, Munford y Lockett, en 1914” (p. 95).

Ya para 1920 varias instalaciones iniciaban su operación en Estados Unidos de Norteamérica, sin embargo el uso extensivo de este sistema se dio hasta 1940. Los primeros investigadores notaron que la cantidad de materia biodegradable que entraba al sistema afectaba la tasa del metabolismo. Los diseños en esa época fueron totalmente empíricos y el tiempo de retención del tanque de aeración fue uno de los primeros parámetros de diseño.

Generalmente se seleccionaban cortos tiempos de retención para cargas orgánicas bajas y altos tiempos de retención para cargas orgánicas altas. Posteriormente

surgieron criterios relacionados con la carga orgánica y los microorganismos del sistema, llegando a la relación conocida como A/M. Hace 40 años se desarrollaron las ecuaciones derivadas de los conceptos de crecimiento cinético y los balances de masas; en años recientes se han diseñado modelos sofisticados por computadora. La solución de ecuaciones de diseño y los modelos computarizados requieren el conocimiento de la cinética y metabolismo microbianos.

A pesar de ser uno de los procesos biológicos de tratamiento de mayor costo de inversión en operación y mantenimiento, los lodos activados no pierden adeptos, ya que es un proceso altamente estable y sus eficiencias de remoción son de las mayores comparadas con otros procesos. Las modificaciones al proceso convencional son muy atractivas por su flexibilidad, sobre todo en la aceptación de cargas orgánicas variables, en especial para tratamiento de aguas residuales municipales. (IMTA, 2009, p.95)

2.2.4 Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos

En el proceso de lodos activados, los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica del agua residual, la que sirve de alimento para su propio crecimiento y reproducción. A medida que la población de microorganismos aumenta, se agrupan y forman flóculos para producir una masa activa llamada lodo activado.

“El lodo activado es de color café, cuando es sano huele a “tierra mojada”, presenta una estructura granular y sedimenta rápidamente” (IMTA, 2009, p.52).

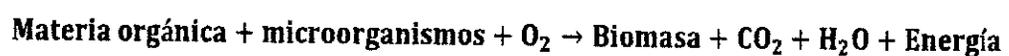
El agua residual que ingresa continuamente al tanque de aireación del sistema, se une con los lodos activados recirculados, provenientes del sedimentador secundario, donde el aire es introducido para realizar una mezcla completa y proporcionar el oxígeno necesario para que los microorganismos remuevan la materia orgánica.

La mezcla de lodo activado y agua residual que se produce en el tanque de aireación, se llama “licor mezclado”, el cual se envía a un tanque de sedimentación secundario o clarificador donde el agua se decanta para posteriormente ser desinfectada, y parte del lodo activado sedimentado se recircula, el sobrante se envía a tratamiento o disposición.

El aire es introducido al tanque de aireación, ya sea mediante difusores que se colocan en el fondo o por aireadores mecánicos superficiales, los que pueden ser fijos o flotantes (ubicados sobre plataformas).

Este sistema de tratamiento biológico se desarrolla en un ambiente rico en oxígeno (aerobio), con microorganismos vivos y materia orgánica. Es similar al proceso biológico natural que se observa en las capas superiores del suelo que contiene gran variedad de microorganismos; la diferencia consiste en que el proceso de lodos activados es un proceso controlado que mantiene a los microorganismos en un ambiente líquido.

El mecanismo básico del sistema se representa de una manera simplista con la siguiente reacción biológica:



Los primeros microorganismos dirigen una parte de la materia orgánica absorbiéndola a través de su pared celular, produciendo ciertos productos de desecho, los que se utilizan como alimento por otros microorganismos.

Este proceso de degradación acumulativa continúa hasta que la materia orgánica compleja original ha sido degradada y asimilada por la población biológica.

2.2.5 Variantes del proceso de lodos activados

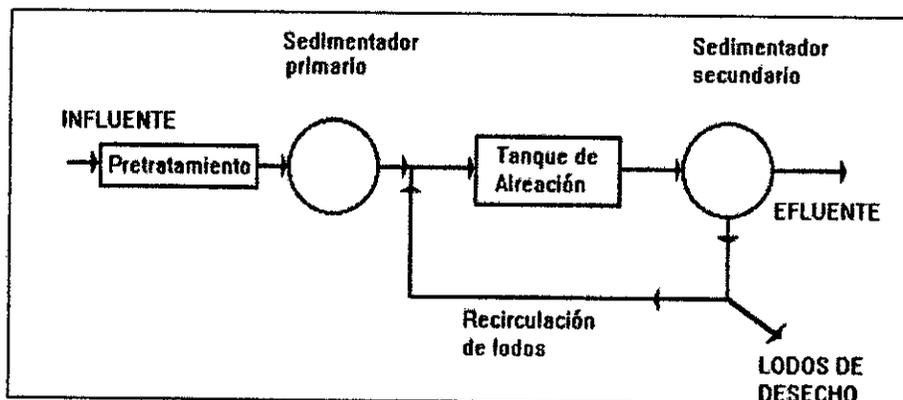
a) Lodos activados convencional (Flujo pistón)

El agua a tratar y el lodo activado recirculado entran en el tanque de aireación y se mezclan con aire disuelto o con agitadores mecánicos.

El suministro del aire suele ser uniforme a lo largo de toda la longitud del canal.

Durante el período de aireación, se produce la adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. Los sólidos del lodo activado se separan en un sedimentador secundario, los tiempos de retención hidráulica varían entre 4 a 8 horas (Véase la figura N° 4)

FIGURA N° 4: SISTEMAS DE LODOS ACTIVADOS CONVENCIONAL

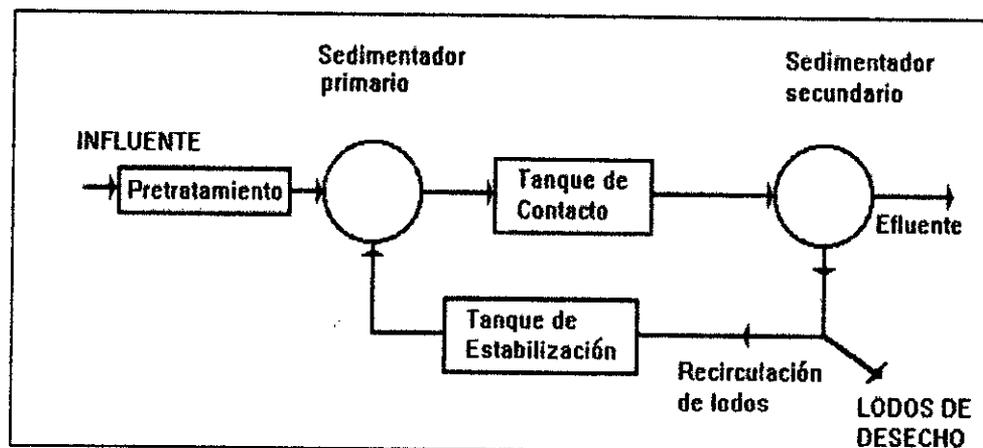


Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - IMTA.

b) Estabilización por contacto

En esta variante, el agua residual entrante al proceso (efluente primario), es aireada durante un tiempo de 20 a 30 minutos en un tanque llamado "tanque de contacto" para que los microorganismos absorban los contaminantes orgánicos sin dar oportunidad de asimilar la materia orgánica. El lodo activado pasa a sedimentación y es conducido a un tanque llamado "tanque de estabilización" donde se airea de 1.5 a 3 horas para degradar la materia orgánica (Véase la figura N° 5).

FIGURA N° 5: ESTABILIZACIÓN POR CONTACTO



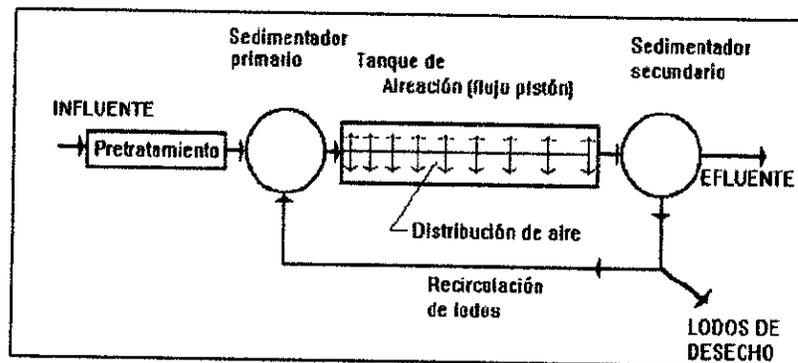
Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua – IMTA.

c) Aireación decreciente (Tapered aeration)

En tanques de aireación largos y angostos (relación largo/ancho mayor de 8) se presenta un flujo tipo pistón con una demanda mayor de oxígeno a la entrada, disminuyendo hasta la salida.

La cantidad total de aire se obtiene como en un proceso de lodos activados convencional, pero su distribución se hace decrecer a lo largo del tanque, colocando menos difusores o aireadores (Véase la figura N° 6).

FIGURA N° 6: SISTEMA DE AIREACIÓN DECRECIENTE

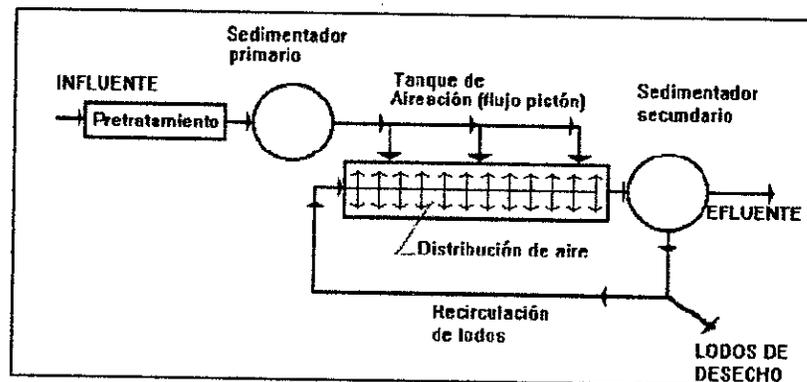


Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - IMTA.

d) Aireación por etapas o aireación por pasos (Step aeration)

Esta variante consiste en introducir el agua residual en varios puntos a lo largo del tanque de aireación. En los sitios de alimentación se esparce la demanda de oxígeno, resultando una mayor eficiencia en la distribución del aire inyectado al sistema (Véase la figura N° 7).

FIGURA N° 7: AIREACIÓN POR ETAPA

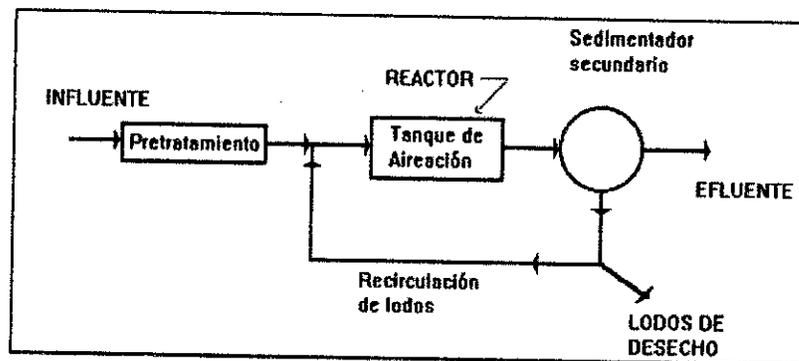


Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - IMTA.

e) Aireación extendida

Esta modificación consiste en aumentar el tiempo de retención hidráulica en el sistema de 12 a 36 horas en lugar de 6 a 8 horas que emplea el proceso convencional. Este periodo de aireación permite que el lodo sea parcialmente digerido dentro del tanque de aireación. Una variación del sistema de aireación extendida es la llamada “zanja de oxidación”, que consiste en un tanque de aireación formado por un canal cerrado donde un rotor o aireador mecánico generalmente del tipo cañón introduce el oxígeno suficiente al licor mezclado y mantiene la mezcla en movimiento (Véase la figura N° 8).

FIGURA N° 8: AIREACIÓN EXTENDIDA



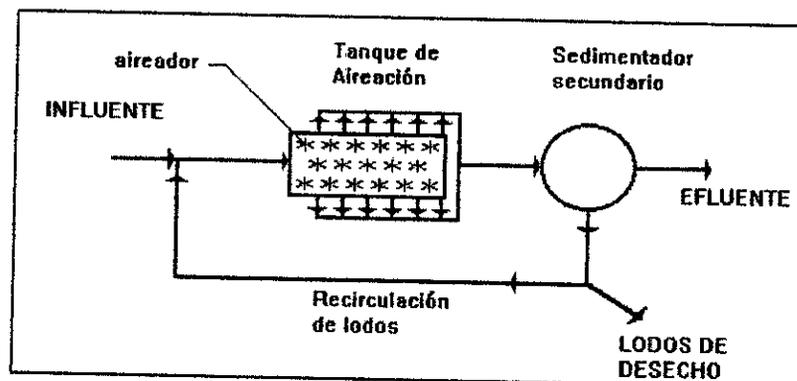
Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - IMTA.

f) Mezcla Completa

Esta modificación consiste en uniformizar la aireación y la entrada del licor mezclado en el tanque de aireación y extraer los lodos de una forma igualitaria a lo largo del tanque. Con este sistema se logra que la demanda de oxígeno permanezca

constante en todos los lugares del tanque de aireación siendo más eficiente la utilización del aire suministrado (Véase la figura N° 9).

FIGURA N° 9: SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS EN MEZCLA COMPLETA



Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - IMTA.

2.2.6 Sistema de tratamiento de lodos activados Continuos de la FIARN

El Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos (en adelante SLAC) de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales está constituido por dos secciones hechas de planchas de acero y conectadas por medio de tuberías de PVC (Véase la figura N° 10).

Las secciones se describen a continuación:

➤ Tanque de aireación

Tanque de mezcla completa del lodo activado con el agua residual a tratar mediante la inyección de aire, la aireación es suministrada por dos compresoras que funcionan de manera alternada.

El tanque de aireación almacena un volumen de 269.5 L de licor mezcla.

➤ **Tanque de Sedimentación**

Tanque donde se realiza el proceso de separación del lodo activado del agua tratada.

El agua tratada rebosa por 4 vertederos circulares de 10 cm de diámetro ubicados en la parte central del tanque de sedimentación y es conducido por una tubería a un tanque de almacenamiento para el riego de las áreas verdes.

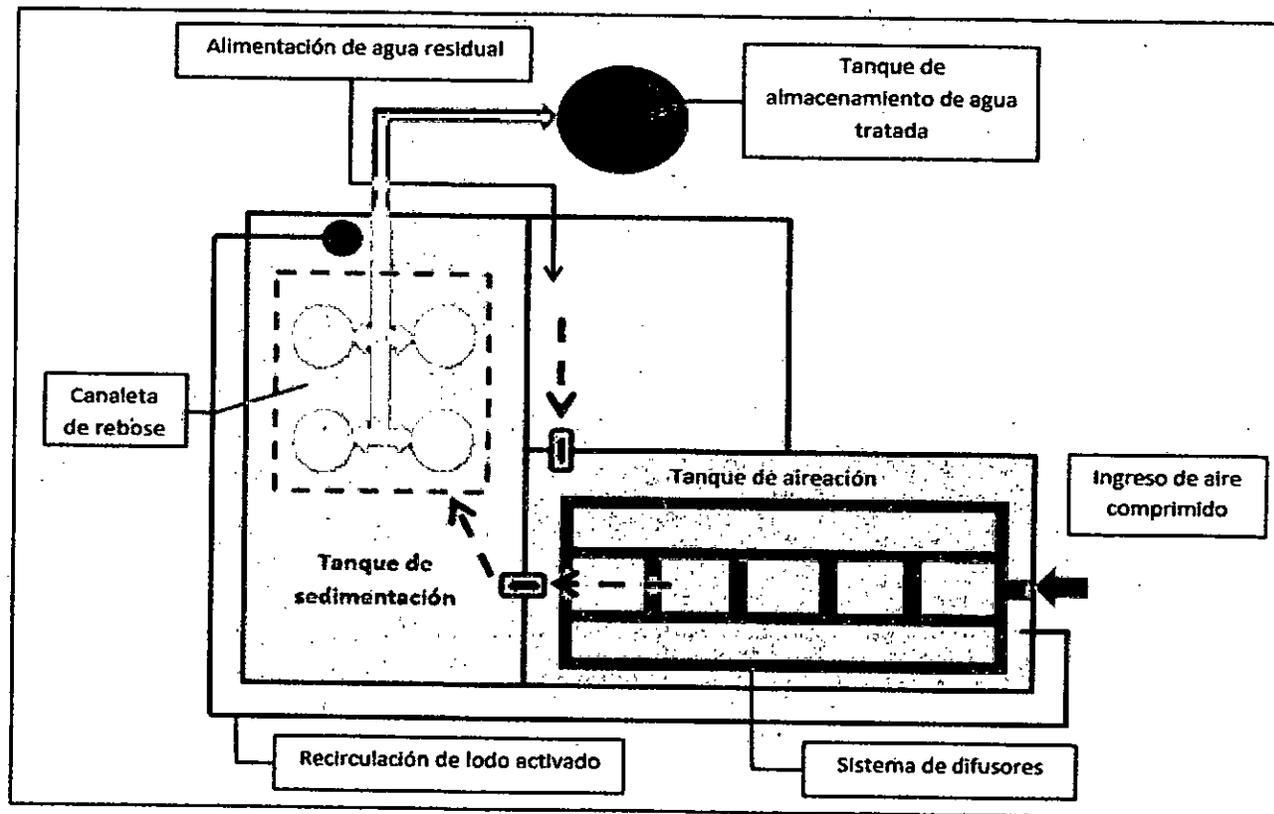
El lodo activado que ha sedimentado en la base del tanque es recirculado cada 2 horas por un periodo de 1 hora al tanque de aireación, de tal forma que se pueda mantener constante la cantidad de microorganismos en el mismo.

No se ha realizado la purga de lodos debido a que la relación A/M en el tanque de aireación se mantenía dentro del rango establecido para el control del sistema.

El tanque de sedimentación almacena un volumen de 229.0 L de agua en el proceso de sedimentación.

A continuación se muestra de forma gráfica el proceso de tratamiento por lodos activados continuos de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales descrito líneas arriba.

FIGURA N° 10: PROCESO DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LA FIARN



Elaboración propia

2.2.7 Parámetros de control del SLAC

El control del sistema de tratamiento de lodos activados continuos es importante para conocer las posibles causas de un mal funcionamiento.

Para alcanzar la mayor eficiencia de operación del sistema se usó los siguientes métodos de control y seguimiento:

- Método Visual
- Método Analítico

a) Método Visual

En éste método se identificó los siguientes indicadores más comunes (Véase la tabla N° 1):

TABLA N° 1: INDICADORES VISUALES DE CONTROL DEL SLAC

INDICADORES VISUALES
• Color
• Olor
• Espuma
• Rocío en aireadores
• Turbiedad del efluente
• Bulking
• Inspección de equipo
• Observaciones microscópicas

Elaboración propia

A continuación se describen los indicadores visuales empleados para el control del sistema de tratamiento de lodos activados continuos:

➤ **Color**

El color puede ser indicativo de un lodo viejo o joven; un lodo activado aireado en buenas condiciones presenta un color café achocolatado.

Un lodo oscuro o negro podrá indicar que no se transfiere el suficiente oxígeno al tanque de aireación y que el medio es anaerobio.

➤ **Olor**

El licor mezcla tiene un olor característico como a humedad o tierra húmeda, el cual puede indicar si la planta está trabajando bien.

Una planta bien operada no debe generar olores desagradables.

➤ **Espuma**

La formación de espuma en el tanque de aireación es signo de la presencia de bacterias filamentosas.

➤ **Rocío en aireadores**

El sistema cuenta con un sistema de difusores que mantiene la aireación distribuida uniformemente en todo el tanque para mantener un ambiente aerobio.

➤ **Turbiedad del efluente**

Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador es una indicación obvia del mal funcionamiento de la planta. Sin embargo, este problema, a menudo es observado solamente hasta que se tienen resultados analíticos del efluente.

➤ **Bulking**

Es un fenómeno en el cual el lodo activado que habitualmente se separa eficazmente en el sedimentador pierde esta capacidad debido generalmente a la proliferación de bacterias filamentosas resultando en el incremento del volumen del lodo.

➤ **Inspección de equipos**

La inspección es importante para verificar el correcto funcionamiento de los equipos; si los motores de las bombas, sopladores o algún otro motor de los equipos el proceso se sienten más calientes de lo normal, se deben verificar para evitar un daño y costo mayor. La excesiva vibración en bombas y tuberías pueden ser una señal de advertencia de un mal funcionamiento de los equipos.

➤ **Observaciones microscópicas**

La presencia de bacterias filamentosas y hongos indican condiciones ambientales desfavorables para los microorganismos: tales como, altas cargas orgánicas, pH bajo, cantidades deficientes de nutrientes, falta de oxígeno disuelto, etc.

El flóculo debe mostrar una gran variedad de protozoarios. La presencia de demasiados microorganismos flagelados indica un lodo joven. Si el flóculo es pequeño y con gran número de rotíferos, el lodo es viejo.

b) Método Analítico

Los resultados de los indicadores analíticos se usan no sólo para conocer las eficiencias del proceso, sino también para resolver problemas de operación mediante el cálculo de parámetros que sirven como base para el funcionamiento adecuado del sistema.

Los indicadores analíticos de mayor importancia en la operación de plantas de lodos activados son (Véase la tabla N° 2):

TABLA N° 2: INDICADORES ANALÍTICOS DE CONTROL DEL SLAC

INDICADORES ANALÍTICOS
• Caudal
• Oxígeno disuelto (OD)
• Sólidos sedimentables (SS)
• Sólidos suspendidos volátiles (SSV)
• Sólidos suspendidos totales (SST)
• pH
• Temperatura

Elaboración propia

➤ **Caudal**

Es importante el monitoreo del caudal para calcular cargas orgánicas, cálculo de parámetros de control como A/M y ajuste de recirculación.

➤ **Oxígeno disuelto (OD)**

Si el oxígeno disuelto es muy bajo, se inhibirá la actividad microbiana y la remoción de DBO_5 disminuirá, en cambio concentraciones altas de OD pueden afectar negativamente la sedimentación secundaria.

Un incremento del OD puede deberse a problemas de toxicidad aguda o crónica; se pensará en la primera si el incremento es rápido, y en la segunda si es lento.

➤ **Sólidos sedimentables**

Son aquellos removidos en un procedimiento estándar de sedimentación con el uso de un cono Imhoff después de una hora.

➤ **SSV y SST**

Los sólidos suspendidos volátiles (SSV) del licor mezcla indican la cantidad aproximada de microorganismos en el tanque de aireación.

Los valores encontrados de los sólidos suspendidos totales y volátiles se usan para calcular los parámetros de control del proceso, tales como la relación alimento microorganismos (A/M).

El muestreo de estos parámetros se realizó en el tanque de aireación, las muestras fueron enviadas a un laboratorio para su análisis.

➤ **pH**

Se debe mantener al pH entre 6.5 y 8.5 para asegurar la actividad microbiana en el tanque de aireación.

➤ **Temperatura**

La temperatura afecta la actividad microbiana en los sistemas de tratamiento biológico; este factor es muy sensible. La velocidad de reacción enzimática se duplica cada 10 °C (aproximadamente); arriba de 35 °C, las enzimas son destruidas dando como resultado final una baja en la eficiencia del proceso.

c) **Parámetros de control del SLAC**

Estos parámetros son determinados luego de hallar el valor de los indicadores analíticos del SLAC, los cuales son importantes para la evaluación del sistema.

TABLA N° 3: PARÁMETROS DE CONTROL DEL SLAC

Parámetros de Control
• Tiempo de retención hidráulica (TRH)
• Relación alimento/microorganismo (A/M)
• Índice Volumétrico de Lodo (IVL)
• Carga Orgánica

Elaboración propia

La importancia de los parámetros de control del SLAC se describe a continuación:

➤ **Tiempo de retención hidráulica (TRH)**

Las bacterias necesitan ciertos tiempos de retención en el tanque de aireación para asimilar y digerir la materia orgánica del agua residual.

Tiempos de retención demasiado grandes pueden llevar a problemas de sedimentación; tiempos muy cortos conducirán a bajas eficiencias de remoción de DBO₅.

Para la presente tesis se determinó cuatro tiempos de retención hidráulica a partir de la siguiente relación:

$$\theta_x = \frac{V}{Q_x}$$

Donde:

θ_x = Tiempo de retención hidráulica

V = Volumen del licor mezcla en el tanque de aireación

Q_x = Caudal del afluente al sistema de tratamiento

➤ **Relación alimento/microorganismos (A/M)**

Para formar un buen lodo en el tanque de aireación y que éste sedimente bien en el sedimentador, además de lograr una buena eficiencia de remoción de DBO₅, se debe

mantener un balance adecuado de la cantidad de DBO₅ (alimento) que entra al tanque y la cantidad de microorganismos presentes en el licor mezclado del mismo.

Este balance se controla con el parámetro denominado relación alimento/microorganismos (A/M). La relación varía de acuerdo con el proceso de tratamiento o modificación al mismo.

La relación A/M se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{A}{M} = \frac{\text{Alimento que ingresa al sistema por día}}{\text{Masa de microorganismos en el tanque de aireación}}$$

$$\frac{A}{M} = \frac{\text{Kg de DBO}_5 \text{ afluentes al tanque de aireación por día}}{\text{Kg de SSVLM (en el tanque de aireación)}}$$

Si la relación A/M es demasiado alta, hay necesidad de disminuir la purga de lodos y aumentar la recirculación para que ingresen más microorganismos al sistema.

Si la relación A/M es muy baja, entonces se requiere aumentar la purga de lodos, para disminuir la recirculación y por ende ingresen menos microorganismos al sistema.

En la mayoría de las aguas residuales este valor óptimo de la relación A/M se encuentra comprendido dentro de los siguientes límites.

$$0.2 < A/M < 0.6$$

Algunos valores típicos de A/M de acuerdo con el tipo de proceso se puede observar en la tabla N° 4, en ella se incluyen otros parámetros para lodos activados.

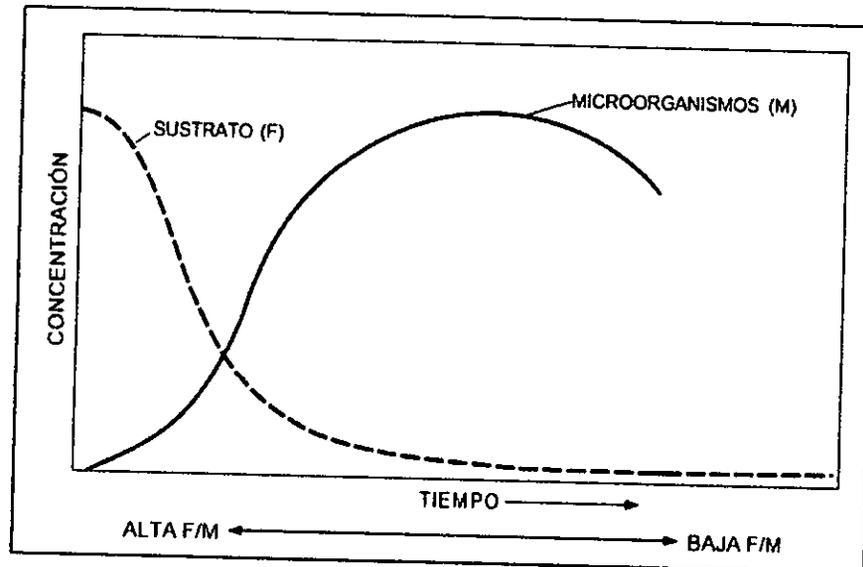
El gráfico N° 1 muestra la relación F/M (Food/microorganisms) o A/M (Alimento/Microorganismos) con el sustrato y los microorganismos en el licor mezcla.

TABLA N° 4: PARÁMETROS EN PLANTA DE LODOS ACTIVADOS

Modificación al Proceso	Tiempo Medio de Retención Celular	A/M	SSLM mg/L	Tiempo de Retención Hidráulica en Horas	Recirculación %
Convencional	5 - 15	0.2 - 0.4	1500 - 3000	4 - 8	25 - 50
Aireación reducida	5 - 15	0.2 - 0.4	1500 - 3000	4 - 8	25 - 50
Aireación escalonada	5 - 15	0.2 - 0.4	2000 - 3500	3 - 5	25 - 75
Estabilización contacto	5 - 15	0.2 - 0.6	4000 - 10000	3 - 6	25 - 100
Aireación extendida	20 - 30	0.05 - 0.15	3000 - 6000	18 - 36	75 - 150
Oxígeno Puro	8 - 20	0.25 - 1.0	3000 - 8000	1 - 3	25 - 50

Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - IMTA.

GRÁFICO N° 1: RELACIÓN F/M, SUSTRATO Y MICROORGANISMO



Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua – IMTA.

➤ **Índice volumétrico de lodos (IVL)**

El resultado de la prueba de sedimentabilidad sirve para calcular el índice volumétrico de lodos; su uso es directo en la siguiente expresión:

$$IVL = \frac{\text{Volumen de lodos sedimentables}}{\text{Concentración de SSLM}} \times 1000$$

Donde el volumen de lodos sedimentados se determina en cono imhoff de 1 L después de una hora de sedimentación, las unidades son ml/L.

➤ **Carga orgánica**

Es la cantidad de materia orgánica ingresante al sistema por medio del afluente, y se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Carga} = \text{Caudal} \times \text{Concentración de materia orgánica}$$

$$\text{Carga} = Q \times S_0$$

Donde:

S_0 (DBO₅) = Concentración de materia orgánica que ingresa al sistema.

Q = Caudal del afluente que ingresa al sistema.

2.2.8 Parámetros de modelado del SLAC

Para determinar la eficiencia del sistema de tratamiento de lodos activados continuos, se tomaron muestras del afluente al sistema y del efluente, luego se enviaron a analizar a un laboratorio y se compararon los resultados de ambas muestras. Comparando ambos resultados de las concentraciones se determinó la eficiencia y el grado de cumplimiento del agua tratada con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua.

Los parámetros de modelado del sistema fueron analizados en un laboratorio acreditado por INACAL de acuerdo a la NTP ISO/IEC 17025: 2006 (Véase la tabla N° 5).

TABLA N° 5: PARAMETROS DEL MODELADO DEL SLAC

Parámetros de modelado
• Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)
• Demanda Química de Oxígeno (DQO)
• Sólidos Suspendedos Totales (SST)
• Aceites y Grasas
• Coliformes termotolerantes
• Potencial de Hidrógeno (pH)

Elaboración propia

A continuación se describe cada uno de los parámetros de modelado evaluados en el Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos:

➤ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).

Altas remociones de carga orgánica indican que el sistema funciona bien; bajas remociones denotan que existen problemas en el sistema.

➤ **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de las sustancias susceptibles de ser oxidados por medios químicos que están disueltas o en suspensión en el agua residual.

➤ **Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

Se define como sólidos suspendidos totales, la fracción de los sólidos totales del agua que pasa a través de un filtro con tamaño de poro que varía entre 0.45 – 2 micras (típicamente 1.2 micras, material de fibra de vidrio).

Se obtienen también a partir de la diferencia de los sólidos totales de la muestra y de los sólidos disueltos de la muestra filtrada.

➤ **Aceites y Grasas**

Los aceites y grasas interfieren en la transferencia de materia orgánica soluble a través de la pared celular de los microorganismos.

Cantidades excesivas de aceites y grasas empujarán los flóculos a la superficie en los sedimentadores.

➤ **Coliformes termotolerantes**

Éste parámetro se encuentra en grandes concentraciones en las aguas residuales domésticas, su velocidad de crecimiento es exponencial, siendo considerado un parámetro que requiere un tratamiento químico o más avanzado para su remoción.

El sistema de lodos activados no presenta mucha eficiencia en la remoción de éste parámetro, ya que los microorganismos presentes en el lodo activado degradan sólo materia orgánica.

➤ pH

El pH del afluente al sistema y del tanque de aireación se registraron diariamente para conocer si se reciben ocasionalmente descargas que se excedan los valores normales para el funcionamiento del sistema y de esta forma se realicen las acciones necesarias para el control del sistema.

El pH del agua tratada resultó importante para comparar con los estándares de calidad ambiental del agua, el rango establecido se encuentra entre 6.5 y 8.5, de acuerdo a los Estándares Nacionales de Calidad del Agua.

2.3 Marco Legal

2.3.1 Normas Internacionales

➤ OMS – Organización Mundial de la Salud

Las principales guías que regulan el reúso son las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS), sobre calidad microbiológica de aguas residuales para irrigación (Véase la tabla N° 6), clasificadas en tres categorías, según sus niveles de parásitos y coliformes fecales, indicadores de la presencia de patógenos (virus, bacterias, protozoos y helmintos) en las aguas residuales domésticas (OMS, 1989).

TABLA N° 6: DIRECTRICES DE LA OMS (1989) SOBRE CALIDAD PARASITOLÓGICA Y MICROBIOLÓGICA DE AGUAS RESIDUALES PARA USO EN AGRICULTURA

Categoría	Condiciones de reutilización	Grupo expuesto	Nematodos intestinales	Coliformes fecales
			(promedio aritmético de huevos/L)	(promedio de geométrico/100 mL)
A	Irrigación de cultivos probablemente consumidos crudos. Campos deportivos, parques públicos.	Agricultores, consumidores, público.	$\leq 0,1$	$\leq 10^3$
B	Irrigación de cereales. Cultivos industriales, forrajes, pastos y árboles.	Agricultores, pero no niños <15 años, y comunidades cercanas.	≤ 1 Riego por aspersión	$\leq 10^5$
		Agricultores, pero no niños <15 años, y comunidades cercanas.	≤ 1 Riego por surco	$\leq 10^3$
		Agricultores, incluyendo niños <15 años, y comunidades cercanas	$\leq 0,1$ Cualquier tipo de riego	$\leq 10^3$
C	Irrigación localizada de cultivos en la categoría B, si no están expuestos los trabajadores y el público.	Ninguno	No aplicable	No aplicable

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS)

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

La FAO publicó en 1999 la guía sugerida para aguas tratadas en el reúso agrícola y sus requerimientos de tratamiento.

TABLA N° 7: GUÍA SUGERIDAS PARA AGUAS TRATADAS EN EL REUSO AGRÍCOLA

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

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

2.3.2 Normas Nacionales

➤ **Constitución Política del Perú**

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

Artículo 67.- El Estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.

Artículo 68.- Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

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

Lineamiento 2:

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

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

➤ **Ley 28611 – Ley General del Ambiente**

Artículo 67.- Del Saneamiento básico

Las autoridades públicas de nivel nacional, sectorial, regional y local priorizan medidas de saneamiento básico que incluyan la construcción y administración de infraestructura apropiada; la gestión y manejo adecuado del agua potable, las aguas pluviales, las aguas subterráneas, el sistema de alcantarillado público, el reúso de aguas servidas, la disposición de excretas y los residuos sólidos, en las zonas urbanas y rurales, promoviendo la universalidad, calidad y continuidad de 48 los servicios de saneamiento, así como el establecimiento de tarifas adecuadas y consistentes con el costo de dichos servicios, su administración y mejoramiento.

Artículo 120.- De la protección de la calidad de las aguas

120.1 El Estado, a través de las entidades señaladas en la Ley, está a cargo de la protección de la calidad del recurso hídrico del país.

120.2 El Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de su reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reúso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán.

Artículo 121.- Del vertimiento de aguas residuales

El Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como

cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes.

Artículo 122.- Del tratamiento de residuos líquidos

122.1 Corresponde a las entidades responsables de los servicios de saneamiento la responsabilidad por el tratamiento de los residuos líquidos domésticos y las aguas pluviales.

122.2 El sector Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la vigilancia y sanción por el incumplimiento de LMP en los residuos líquidos domésticos, en coordinación con las autoridades sectoriales que ejercen funciones relacionadas con la descarga de efluentes en el sistema de alcantarillado público.

122.3 Las empresas o entidades que desarrollan actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que generen aguas residuales o servidas, son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles compatibles con los LMP, los ECA y otros estándares establecidos en instrumentos de gestión ambiental, de conformidad con lo establecido en las normas legales vigentes. El manejo de las aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser efectuado directamente por el generador, a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes a través de terceros debidamente autorizados a o a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento, con sujeción al marco legal vigente sobre la materia.

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

Artículo 32.- Del Límite Máximo Permisible

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

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

Artículo 82.- Reutilización de agua residual

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

El titular de una licencia de uso de agua está facultado para reutilizar el agua residual que genere siempre que se trate de los mismos fines para los cuales fue otorgada la licencia. Para actividades distintas, se requiere autorización.

La distribución de las aguas residuales tratadas debe considerar la oferta hídrica de la cuenca.

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

Artículo 148.- Autorizaciones de reúso de aguas residuales tratadas

Podrá autorizarse el reúso de aguas residuales únicamente cuando se cumplan con todas las condiciones que se detallan a continuación:

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

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

Artículo 1.- Modificación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM

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

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

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

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

Artículo 1.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

CAPÍTULO III

VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Variables de la investigación

3.1.1 Variable independiente

X = Sistema de tratamiento de lodos activados continuos.

- a) **Definición conceptual:** Proceso biológico utilizado para la depuración natural de las aguas residuales domésticas.
- b) **Definición operacional:** Medición volumétrica del afluente.
- c) **Indicador:**
 - Caudal ($m^3/día$) X_1

3.1.2 Variable interviniente

Z = Parámetros de control del sistema de lodos activados continuos.

- a) **Definición conceptual:** Control de las condiciones del licor mezcla en el tanque de aireación.
- b) **Definición operacional:** Muestreo y medición en el sistema de lodos activados continuos.
- c) **Indicadores:**
 - Sólidos suspendidos volátiles (mg/L) Z_1
 - Sólidos sedimentables (mg/L) Z_2
 - Oxígeno disuelto (mg O_2/L) Z_3
 - Sólidos suspendidos totales del licor mezcla (mg/L) Z_4

3.1.3 Variable dependiente

Y = Efluente del sistema de lodos activados continuos.

a) **Definición conceptual:** Efluente final del sistema de tratamiento que cumple con los estándares nacionales de calidad ambiental de agua para riego de áreas verdes.

b) **Definición operacional:** Monitoreo del efluente del sistema de lodos activados continuos.

c) **Indicadores:**

- | | |
|---|----------------|
| ➤ Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) | Y ₁ |
| ➤ Demanda química de oxígeno (mg/L) | Y ₂ |
| ➤ Sólidos suspendidos totales (mg/L) | Y ₃ |
| ➤ Aceites y grasas (mg/L) | Y ₄ |
| ➤ Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) | Y ₅ |
| ➤ Potencial de hidrógeno (pH) | Y ₆ |
| ➤ Temperatura (°C) | Y ₇ |

3.2 Operacionalización de las variables

La hipótesis formulada se demostró y comprobó mediante la operacionalización de las variables y de los indicadores de cada una de ellas.

A través de la relación causa – efecto, en la cual el afluente es sometido a un tratamiento secundario a través del sistema de lodos activados continuos para obtener un efluente con indicadores diferentes a las iniciales.

Estos indicadores fueron medidos antes y después del tratamiento y comparados para determinar la eficiencia del sistema de lodos activados continuos, variando durante cuatro semanas el indicador de la variable independiente X_1 : Caudal.

La medición de los indicadores de la variable interviniente contribuyó a controlar el sistema, de tal forma que se llevó a cabo el adecuado funcionamiento del proceso de lodos activados continuos, la materia orgánica fue degradada por los microorganismos presentes en el tanque de aireación y en el tanque de sedimentación se desarrolló la separación de los flóculos con el agua tratada.

3.3 Hipótesis General

“El efluente proveniente del sistema de lodos activados continuos de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales de la FIARN es apta para el uso en el riego de áreas verdes”

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo de investigación

Para definir el tipo de investigación se consultó un artículo denominado *Tipos, Métodos y Estrategias de Investigación Científica*, donde se ha elaborado una propuesta de estandarización de las clasificaciones de tipos y métodos de investigación, en base a dicha investigación se concluyó que la presente tesis es de tipo experimental.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño del proyecto se basó en la investigación experimental, siendo el sistema de tratamiento de lodos activados continuos manipulada por el investigador.

De acuerdo al artículo de investigación señalado, este método de investigación se subdivide en tres sub métodos:

4.2.1 *Pre – experimental*

4.2.2 Cuasi-experimental

4.2.3 Experimentos verdaderamente puros

De los Sub métodos señalados, el proyecto corresponde al tipo Pre-Experimental, ya que no existe un grupo control.

El tipo de *investigación Pre-Experimental* comprende una etapa pre y post prueba, las cuales se señalan a continuación:

a) Etapa Pre Prueba

- Necesidad de evaluar un proceso para el cual se realiza una revisión bibliográfica.
- Identificación y definición del problema.
- Definición de hipótesis, variables y la operacionalización de las mismas.
- Elaboración del programa de monitoreo.
- Realización de pruebas aleatorias a diferentes caudales.

b) Etapa Post Prueba

- Mantenimiento y operación del proceso.
- Medición de los indicadores del sistema de tratamiento de lodos activados continuos.
- Tratamiento de datos.
- Prueba de confiabilidad de los datos.
- Determinación de la eficiencia del proceso.

4.3 Población y Muestra

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

La muestra tuvo como máximo un caudal de 300 L de aguas residuales/ día que fueron captados del alcantarillado ubicado al ingreso de la Planta de Tratamiento

de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales y conducidos por gravedad a un tanque de almacenamiento, de donde continuaron su recorrido hasta el sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos, el volumen de muestra corresponde a la capacidad de la planta piloto de Lodos Activados continuos.

Las muestras fueron monitoreadas antes, durante y después del tratamiento de acuerdo a un programa de monitoreo establecido previamente.

4.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizaron las siguientes técnicas: Observacionales, de laboratorio o in situ y estadísticos.

- a) **Técnicas observacionales:** Observación del proceso de sedimentación del lodo activado y las condiciones del efluente a diferentes tiempos de retención.
- b) **Técnicas de laboratorio o in situ:** Muestreo del agua residual antes, durante y después del tratamiento para ser analizado in situ o en un laboratorio aplicando métodos acreditados de análisis para cada parámetro muestreado.
- c) **Técnicas estadísticas:** Análisis de los datos cuantitativos obtenidos de los muestreos por cada parámetro, aplicando ecuaciones de control del proceso de lodos activados continuos y gráficas de comparación con las normas ambientales en el programa de Microsoft Excel.

4.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos cuantitativos de la muestra problema se hizo uso de los siguientes instrumentos:

a) Materiales

- Recipientes de plástico y vidrio color ámbar de 1 L y 0.5 L de acuerdo al parámetro muestreado.
- Cono Imhoff para determinar el índice volumétrico de lodo (IVL) del licor mezcla del tanque de aireación.
- Cooler y preservantes para el traslado de muestras al laboratorio.
- Cadena de custodia para la trazabilidad del muestreo, plumón indeleble para rotular los frascos y etiquetas para identificar los mismos.
- Jarra graduada de 0.5 L para medir el caudal del afluente al sistema.
- Porta y cubre objetos, asa de siembra, alcohol y algodón para la observación microbiológica del lodo activado.

b) Equipos

- Multiparámetro marca Hach, modelo HQ 400 para medir pH, temperatura y oxígeno disuelto.
- Microscopio marca Micros Austria para observar los microorganismos presentes en el lodo activado.
- Compresoras para el suministro de aire comprimido.
- Cronómetro para medir el caudal del afluente al sistema.
- Cámara fotográfica para el registro del proceso de tratamiento.

c) Indumentaria de protección

- Mandil blanco.
- Guantes de látex, mascarilla.

4.5 Procedimiento de recolección de datos

La recolección de datos de los indicadores fue realizado por los mismos tesis y el análisis de las muestras fueron realizadas en dos laboratorios distintos (Véase la tabla N° 8).

TABLA N° 8: LABORATORIOS PARA EL ANÁLISIS DE MUESTRAS

Parámetros Analizados	Afluente	Licor Mezcla	Efluente	Laboratorio
Demanda bioquímica de oxígeno	X		X	Ecolab S.R.L.
Demanda química de oxígeno	X		X	
Sólidos suspendidos totales	X		X	
Aceites y grasas	X		X	
Coliformes termotolerantes	X		X	
Sólidos suspendidos volátiles		X		Universidad Nacional Agraria la Molina
Sólidos suspendidos totales en el tanque de aireación		X		
Sólidos sedimentables		X		In Situ
Caudal	X			
Oxígeno disuelto		X		
Potencial de hidrógeno	X	X	X	
Temperatura	X	X	X	

Elaboración propia

Es importante precisar que el laboratorio Ecolab S.R.L. se encuentra acreditado por INACAL de acuerdo a la NTP ISO/IEC 17025: 2006; de ésta forma se garantizó la confiabilidad del análisis de las muestras.

En la siguiente tabla se muestra los métodos de análisis empleados para los parámetros de evaluación (Véase tabla N° 9).

TABLA N° 9: MÉTODOS DE ANÁLISIS EMPLEADOS EN LABORATORIO

Parámetro	Unidad	Método
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012; Biochemical Oxygen Demand (BOD); 5-Day BOD Test – Azide Modification.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 B, 22 nd Ed. 2012; Chemical Oxygen Demand (COD); Closed Reflux, Colorimetric Method.
Aceites y grasas.	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 22 nd Ed. 2012; Oil and Grease; Liquid-Liquid, Partition – Gravimetric Method.
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22 nd Ed. 2012; Solids; Total Suspended Solids Dried 103 – 105 °C.
Coliformes Fecales	NMP/100MI	SM 9221 E. Multiple – Tube Fermentation. Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

Fuente: Ecolab S.R.L.

4.5.1 Determinación de los indicadores de la variable independiente

➤ **Caudal (Q):** Se midió el caudal en el afluente al Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos haciendo uso de un cronómetro y una jarra graduada de 500 mL.

Mediante la siguiente relación se determinó cuatro caudales diferentes:

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

El caudal del agua residual que ingresaba al sistema de tratamiento de lodos activados continuos se varió (incremento) semanalmente por un periodo de cuatro semanas; además, el caudal fue regulado de forma diaria para que se pudiera mantener constante. (Véase la tabla N° 10).

TABLA N° 10: CAUDAL DE ENTRADA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Semana	Fechas	Caudal	
		(ml/min)	(L/día)
Primera	01/11/16 – 08/11/16	90	129.6
Segunda	09/11/16 – 15/11/16	120	172.8
Tercera	16/11/16 – 22/11/16	150	216.0
Cuarta	23/11/16 – 28/11/16	180	259.2

Elaboración propia

Cabe indicar que los lodos inoculados en el sistema de lodos activados continuos fueron obtenidos del sistema de recirculación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Santa Clara – SEDAPAL, ubicada en Puente Bayli 2 431, Santa Clara. El lodo activado inoculado presentó una Demanda Bioquímica de Oxígeno de 1 432.0 mg/L.

Se inoculó un volumen de 31 L de lodo activado en el tanque de aireación, el cual se mantuvo durante dos semanas para que se adaptaran mientras eran alimentados intermitentemente con agua residual doméstica proveniente de Universidad Nacional del Callao.

4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos

Los datos obtenidos durante las cuatro semanas fueron procesadas mediante gráficos de tendencia y analizados aplicando la siguiente ecuación, para determinar la eficiencia de remoción de cada parámetro:

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

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

Donde:

E = Eficiencia de remoción

S_i = Concentración antes del tratamiento (inicial)

S_f = Concentración después del tratamiento (final)

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

- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

- D.S. N° 003-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas o municipales.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Los resultados fueron obtenidos en base a la variación del caudal del afluente al Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos.

A partir de éste dato se determinó los cuatro tiempos de retención hidráulica del sistema de tratamiento (Véase la tabla N° 11) de acuerdo a la siguiente relación:

$$\theta_x = \frac{V}{Q_x}$$

Donde:

θ_x = Tiempo de retención hidráulica

V = Volumen del licor mezcla en el tanque de aireación

Q_x = Caudal del afluente al sistema de tratamiento

TABLA N° 11: TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

Número de mediciones	Semana	Caudal Q_x (L/día)	Volumen del licor mezcla V (L)	Tiempo de retención hidráulica θ_x (min)	Tiempo de retención hidráulica θ_x (días)
01	Primera	129.6	230	2 555.89	1.80
02	Segunda	172.8	230	1 919.17	1.30
03	Tercera	216.0	230	1 535.33	1.10
04	Cuarta	259.2	230	1 279.44	0.90

Elaboración propia.

5.1 Evaluación de los indicadores de control del SLAC

La Evaluación de los indicadores de control comprende la evaluación tanto de los indicadores visuales, es decir, los que se encuentran a la vista del investigador y no requieren de pruebas adicionales; así como de los indicadores analíticos, los cuales requieren ser medidos y/o analizados en laboratorio.

5.1.1 Evaluación de los indicadores visuales de control

Los indicadores visuales evaluados en el SLAC son los siguientes: Color, olor y microorganismos.

Los indicadores visuales fueron evaluados por cuatro semanas, en la siguiente tabla se indica los resultados de la evaluación:

TABLA N° 12: INDICADORES VISUALES DE CONTROL DEL SLAC

Tiempo de medición	Color	Olor	Microorganismos	Rocío en aireadores	Bulking
Adaptación	Marrón oscuro	Tierra húmeda	Presencia	Presencia	Ausencia
Semana 1	Marrón oscuro	Tierra húmeda	Presencia	Presencia	Ausencia
Semana 2	Marrón claro	Tierra húmeda	Presencia	Presencia	Ausencia
Semana 3	Marrón muy claro	Tierra húmeda	Presencia	Presencia	Ausencia
Semana 4	Marrón muy claro	Tierra húmeda	Presencia	Presencia	Ausencia

Elaboración propia

5.1.2 Evaluación de los indicadores analíticos de control

Los indicadores analíticos evaluados en el SLAC son los siguientes:

- Oxígeno disuelto
- Sólidos suspendidos volátiles (SSV)
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Sólidos sedimentable (SS)
- pH
- T°C

Los indicadores analíticos, al igual que los indicadores visuales, fueron evaluados por cuatro semanas, la medición de estos indicadores se realizó tanto in situ como en laboratorios de ensayo.

El resultado de los indicadores analíticos se utilizó para determinar los parámetros de control del SLAC.

Recalcar que cada semana se varió el caudal (incrementó), con la finalidad de hallar el caudal óptimo de agua residual que requiere el Sistema de Lodos Activados Continuos para obtener la más alta remoción de materias orgánica para cumplir con los parámetros establecidos en los ECA y LMP, como DBO₅, DQO, SST, Aceites y grasas, Coliformes termotolerantes y pH.

TABLA N° 13: INDICADORES ANALÍTICOS CONTROL DEL SLAC

Tiempo de medición	Tanque de aireación					
	Oxígeno disuelto (mg O ₂ /L)	SSV (mg/L)	SST (mg/L)	SS (ml/L)	pH	T° C
Adaptación	5.00	10.29	186	90	7.60	21.40
Semana 1	5.00	396.00	508	150	7.41	21.30
Semana 2	6.00	400.00	473.33	175	6.80	22.40
Semana 3	6.00	188.20	223.53	180	6.50	22.00
Semana 4	7.00	297.50	392.5	120	6.93	21.70

Elaboración propia

5.2 Evaluación de los parámetros de control del SLAC

Los parámetros de control evaluados fueron los siguientes:

- Tiempo de retención hidráulica (días)
- Relación A/M (Kg de DBO₅/Kg de SSV/día)
- Índice volumétrico de lodo IVL (ml/g)
- Carga orgánica (Kg de DBO₅/día)

La evaluación estos parámetros fue importante para el control del adecuado funcionamiento del proceso de tratamiento y el comportamiento de los lodos activados, y de ésta forma evitar eventos que pongan en riesgo el proceso, como: formación de espumas en el tanque de aireación por exceso de oxígeno, pérdida de lodos en el tanque de sedimentación, entre otros.

A continuación se detallan los resultados de cada uno de los parámetros de control evaluados:

5.2.1 Tiempo de retención hidráulica: Corresponde al tiempo promedio que permanece el agua residual en el tanque de aireación, antes de ingresar al tanque de sedimentación.

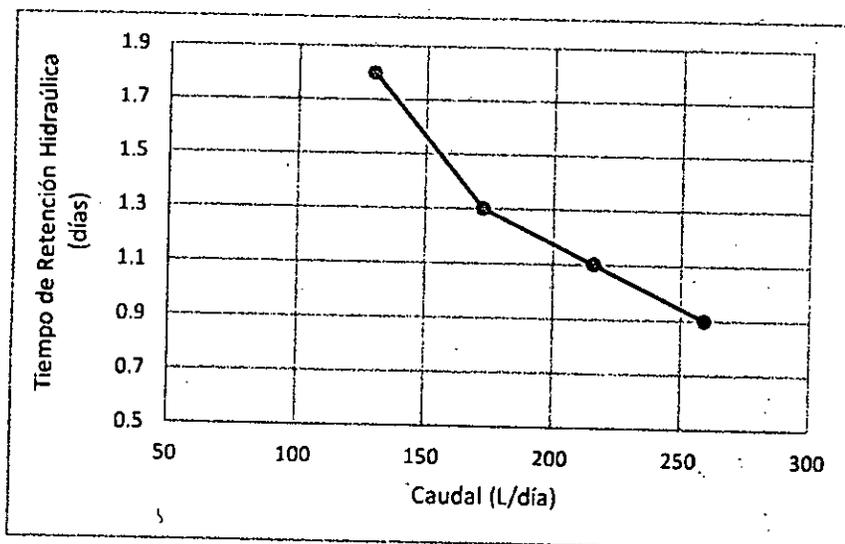
En el SLAC éste tiempo disminuyó conforme se incrementó el caudal de agua residual al sistema de tratamiento, estando sus valores entre los rangos de 1.8 días para el caudal mínimo y 0.8 días para el caudal máximo.

TABLA N° 14: TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA (TRH)

Parametros	Tiempo de medición				
	Adaptación	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Caudal (L/día)	-	129.60	172.80	216.00	259.20
Tiempo de retención hidráulica (días)	-	1.80	1.30	1.10	0.90

Elaboración propia

GRÁFICO N° 2: TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA (TRH)



Elaboración propia

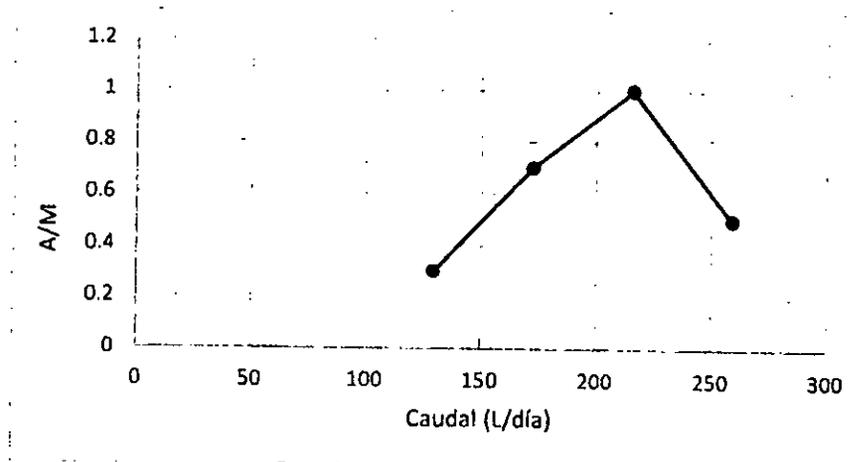
5.2.2 Relación A/M: En comparación con el rango de los valores óptimos de la relación Alimento /Microorganismos (A/M), el valor obtenido en la primera y cuarta semana de evaluación se encuentra dentro de los valores referenciales; es decir, hay suficiente alimento para los microorganismos presentes en el licor mezcla, durante la segunda y tercera semana de evaluación, la concentración no se encuentra dentro de los valores referenciales, sin embargo éste resultado no significa que el sistema esté operando en malas condiciones.

TABLA N° 15: RELACIÓN A/M

Parámetros	Tiempo de medición				
	Adaptación	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Caudal (L/día)	-	129.60	172.80	216.00	259.20
Relación A/M (kg de DBO ₅ /kg de SSV/día)	-	0.30	0.70	1.00	0.50

Elaboración propia

GRÁFICO N° 3: RELACIÓN A/M



Elaboración propia

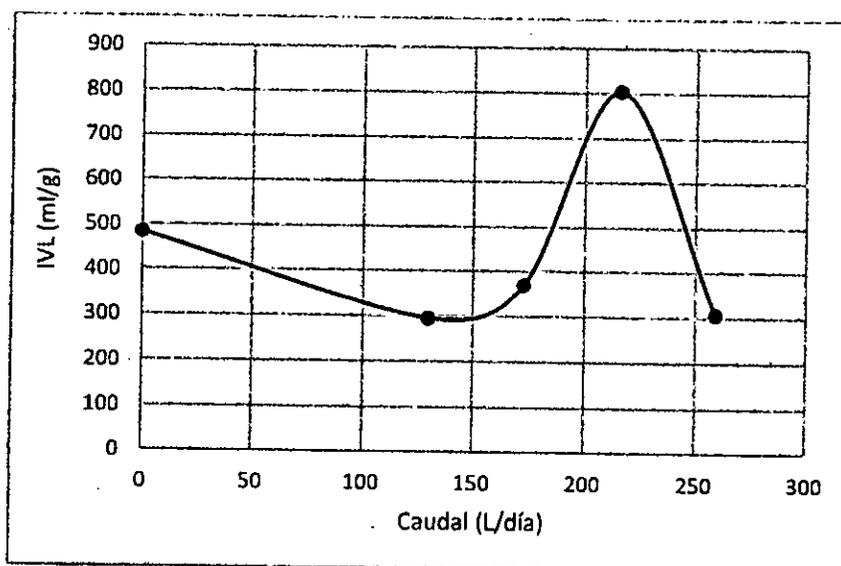
5.2.3 Índice Volumétrico de Lodo (IVL): El IVL representa el volumen en ml ocupado por 1g de licor mezcla del tanque de aireación después de 1 hora de sedimentación, éste valor se incrementó desde el primer hasta el tercer monitoreo, sin embargo a partir del tercer al cuarto monitoreo comenzó a disminuir debido a la reducción de lodos activados en el tanque de aireación.

TABLA N° 16: ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODO (ml/g)

Parámetros	Tiempo de medición				
	Adaptación	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Caudal (L/día)	-	129.60	172.80	216.00	259.20
IVL (ml/g)	484	295	370	805	306

Elaboración propia

GRÁFICO N° 4: ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODO (ml/g)



Elaboración propia

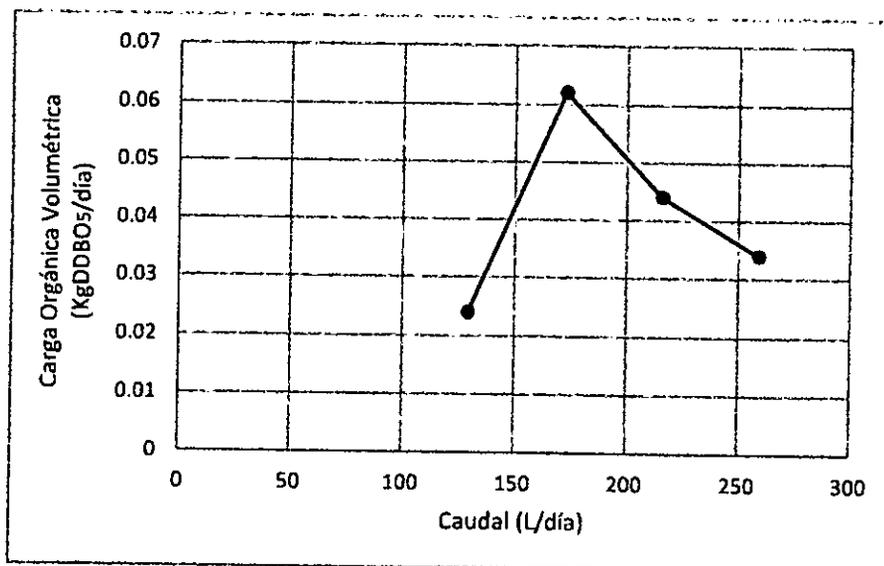
5.2.4 Carga Orgánica Volumétrica: La cantidad de carga orgánica volumétrica (Kg DBO₅/ día) que ingresó al sistema fue variable, siendo mayor, el registrado en el segundo monitoreo 0.062 Kg DBO₅/día y de menor valor registrado en el primer monitoreo 0.024 Kg DBO₅/día.

TABLA N° 17: CARGA ORGANICA VOLUMETRICA DE LODO

Parámetros	Tiempo de medición				
	Adaptación	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Caudal (L/día)	-	129.60	172.80	216.00	259.20
C.O.V (Kg DBO ₅ /día)	-	0.02	0.06	0.04	0.03

Elaboración propia

GRÁFICO N° 5: CARGA ORGANICA VOLUMETRICA



Elaboración propia

A continuación se resume el valor de los parámetros de control evaluados en el Sistema de Lodos Activados Continuos (SLAC):

TABLA N° 18: CUADRO RESUMEN DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL EVALUADOS EN EL SLAC

Tiempo de medición	Caudal (L/día)	Tiempo de retención hidráulica (días)	Relación A/M (kg de DBO₅/kg de SSV/día)	IVL (ml/g)	Carga Orgánica (Kg DBO₅/ día)
Adaptación	-	-	-	484	-
Semana 1	129.60	1.80	0.30	295	0.024
Semana 2	172.80	1.30	0.70	370	0.062
Semana 3	216.00	1.10	1.00	805	0.044
Semana 4	259.20	0.90	0.50	306	0.034

Elaboración propia

5.3 Evaluación de los parámetros de modelado del SLAC

Los parámetros de modelado evaluados fueron los siguientes:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Aceites y Grasas
- Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- Coliformes termotolerantes
- Potencial de Hidrógeno
- Temperatura

Los parámetros de modelado fueron monitoreados en el afluente y efluente del Sistema de Lodos Activados Continuos (SLAC) con la finalidad de comparar ambos resultados y hallar la eficiencia de remoción del sistema; asimismo, se comparó los parámetros del efluente con los valores establecidos en el ECA Agua Categoría 3, Subcategoría D1, agua para riego no restringido de vegetales, con la finalidad de determinar si el agua tratada es apta para el riego de áreas verdes.

A continuación se detallan los resultados de cada uno de los parámetros de control evaluados:

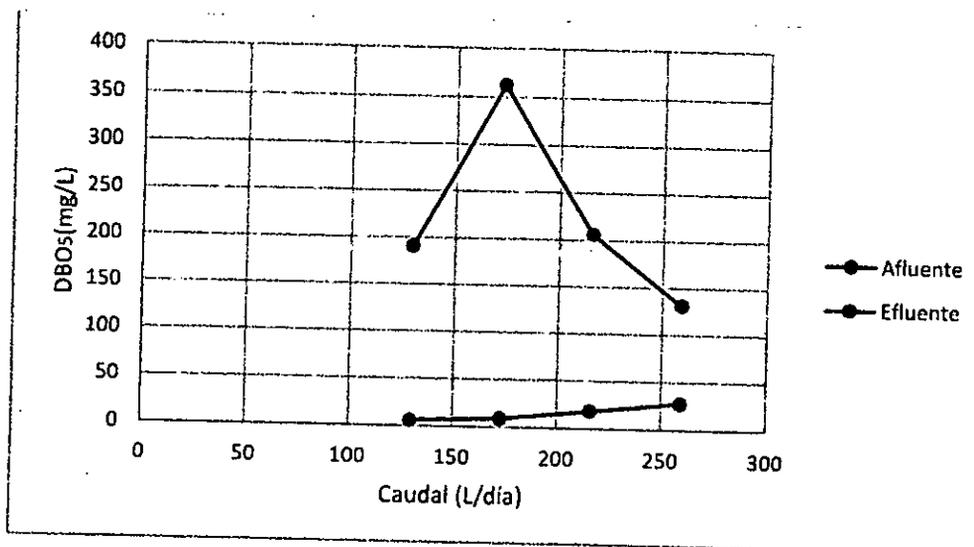
5.3.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): Los resultados de las cuatro semanas de evaluación se muestran en la siguiente tabla:

TABLA N° 19: DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Parámetros	Tiempo de medición				
	Adaptación	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Caudal (L/día)		129.60	172.80	216.00	259.20
DBO ₅ (mg/L) Afluente	-	190.20	362.50	205.80	131.20
DBO ₅ (mg/L) Efluente	-	5.10	8.30	17.70	26.80

Elaboración propia

GRÁFICO N° 6: DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO



Elaboración propia

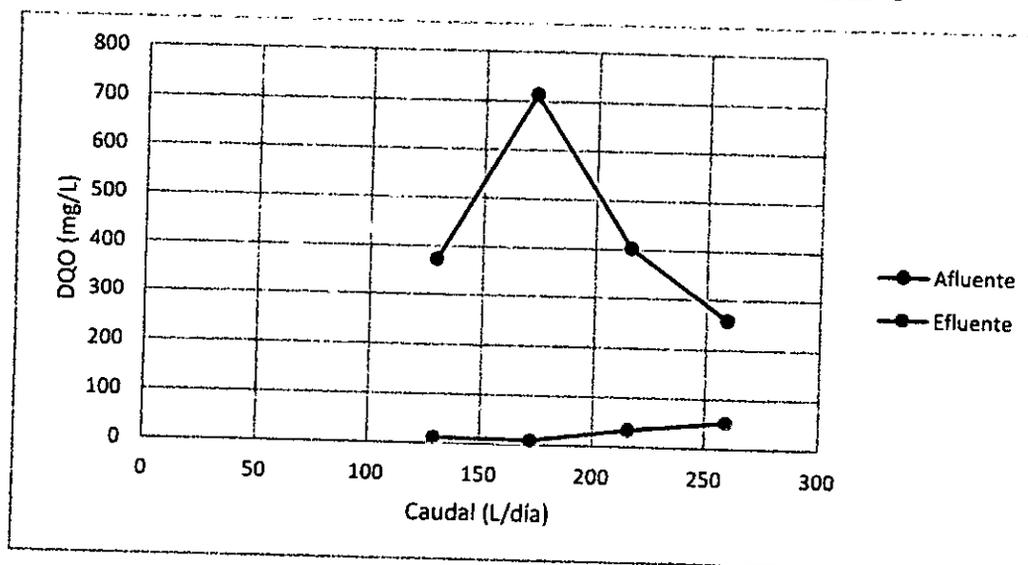
5.3.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO): Los resultados de las cuatro semanas de evaluación se muestran en la siguiente tabla:

TABLA N° 20: DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Parámetros	Tiempo de medición				
	Adaptación	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Caudal (L/día)		129.60	172.80	216.00	259.20
DQO (mg/L) Afluente	-	373.40	713.90	402.10	259.10
DQO (mg/L) Efluente	-	11.10	8.30	33.60	51.60

Elaboración propia

GRÁFICO N° 7: DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO



Elaboración propia

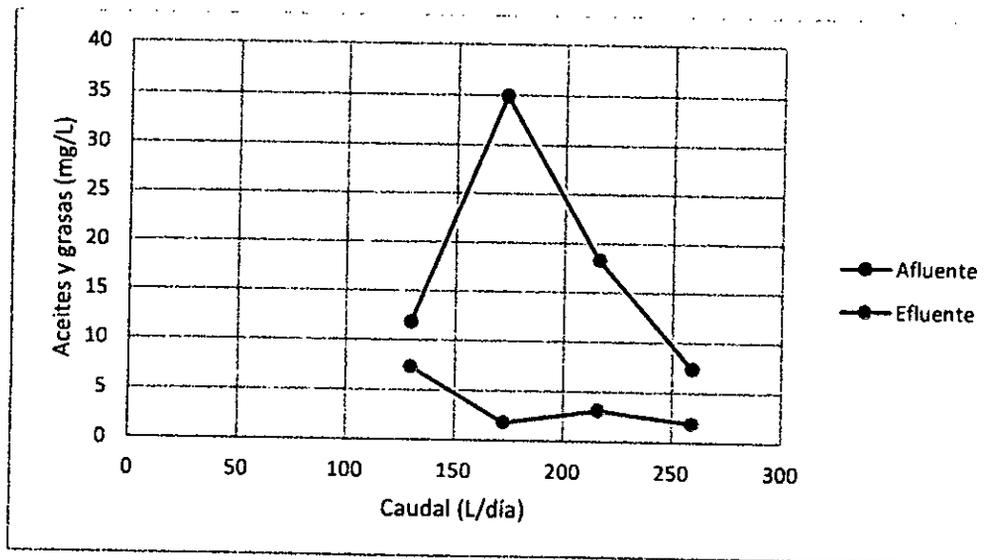
5.3.3 Aceites y Grasas: Los resultados de las cuatro semanas de evaluación se muestran en la siguiente tabla:

TABLA N° 21: ACEITES Y GRASAS

Parámetros	Tiempo de medición				
	Adaptación	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Caudal (L/día)		129.60	172.80	216.00	259.20
Aceites y grasas (mg/L) Afluente	-	11.80	34.90	18.30	7.40
Aceites y grasas (mg/L) Efluente	-	7.30	1.80	3.10	1.90

Elaboración propia

GRÁFICO N° 8: ACEITES Y GRASAS



Elaboración propia

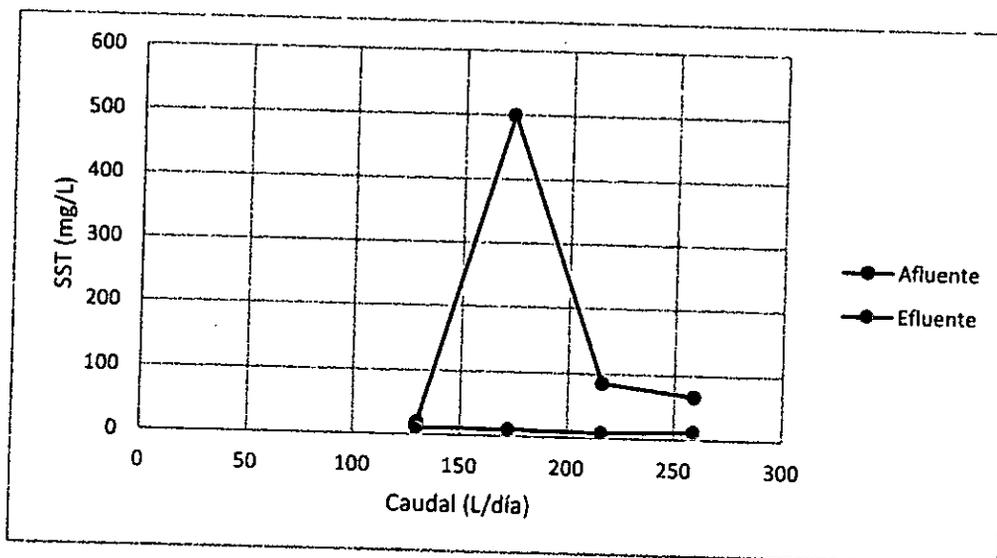
5.3.4 Sólidos Suspendidos Totales (SST): Los resultados de las cuatro semanas de evaluación se muestran en la siguiente tabla:

TABLA N° 22: SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Parámetros	Tiempo de medición				
	Adaptación	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Caudal (L/día)		129.60	172.80	216.00	259.20
SST (mg/L) Afluente	-	19.00	500.00	85.00	66.00
SST (mg/L) Efluente	-	10.20	10.00	7.40	11.70

Elaboración propia

GRÁFICO N° 9: SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES



Elaboración propia

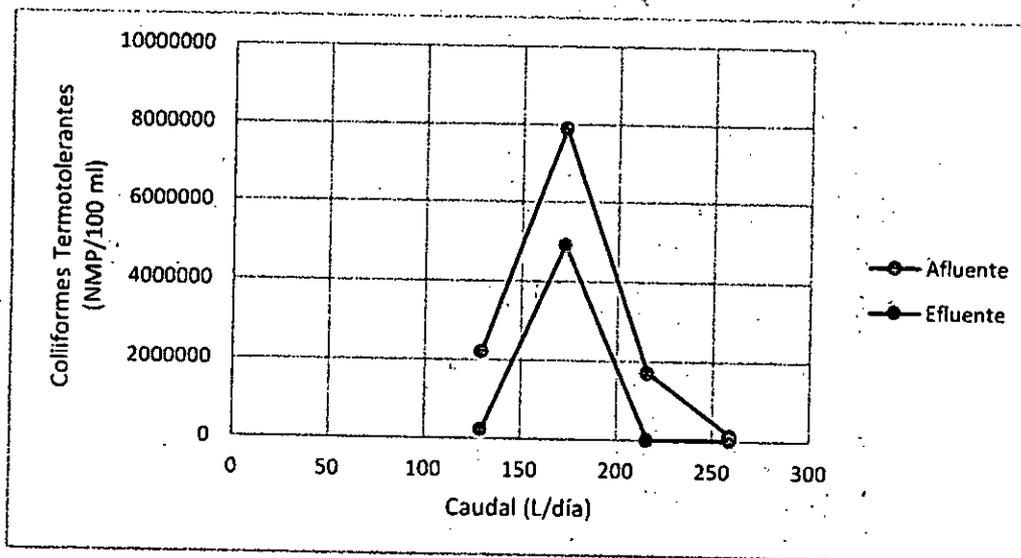
5.3.5 Coliformes Termotolerantes: Los resultados de las cuatro semanas de evaluación se muestran en la siguiente tabla:

TABLA N° 23. COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Parametros	Tiempo de medición				
	Adaptación	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Caudal (L/día)		129.60	172.80	216.00	259.20
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml) Afluente		2200000	7900000	1700000	130000
Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) Efluente		220000	4900000	1700	4900

Elaboración propia

GRÁFICO N° 10: COLIFORMES TERMOTOLERANTES



Elaboración propia

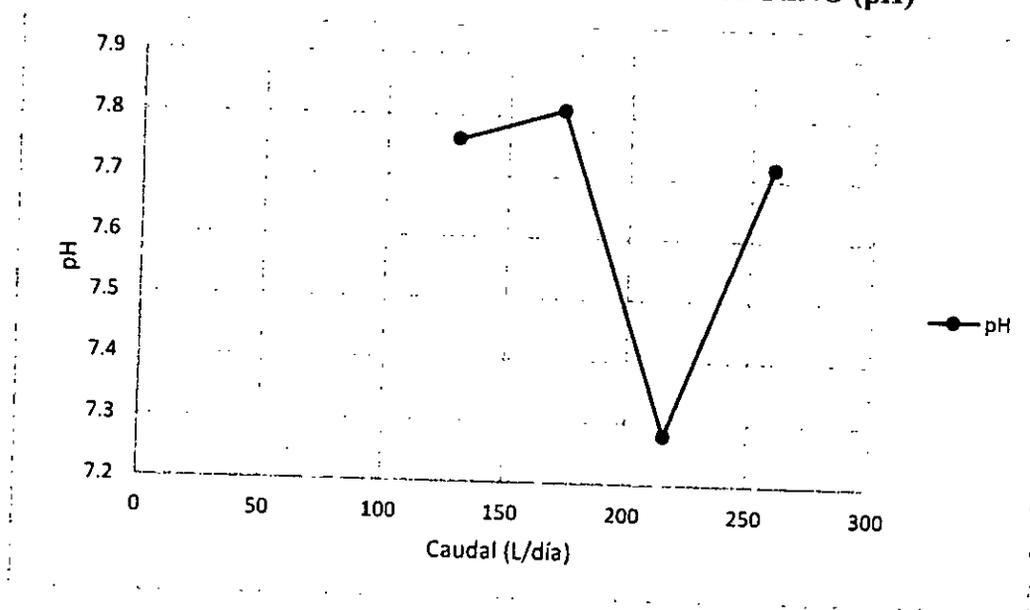
5.3.6 Potencial de Hidrógeno (pH): El pH promedio del sistema varió en valores neutros en el sistema de lodos activados continuos.

TABLA N° 24: POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

Parámetros	Tiempo de medición				
	Adaptación	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Caudal (L/día)		129.60	172.80	216.00	259.20
pH	-	7.76	7.81	7.28	7.72

Elaboración propia

GRÁFICO N° 11: POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)



Elaboración propia

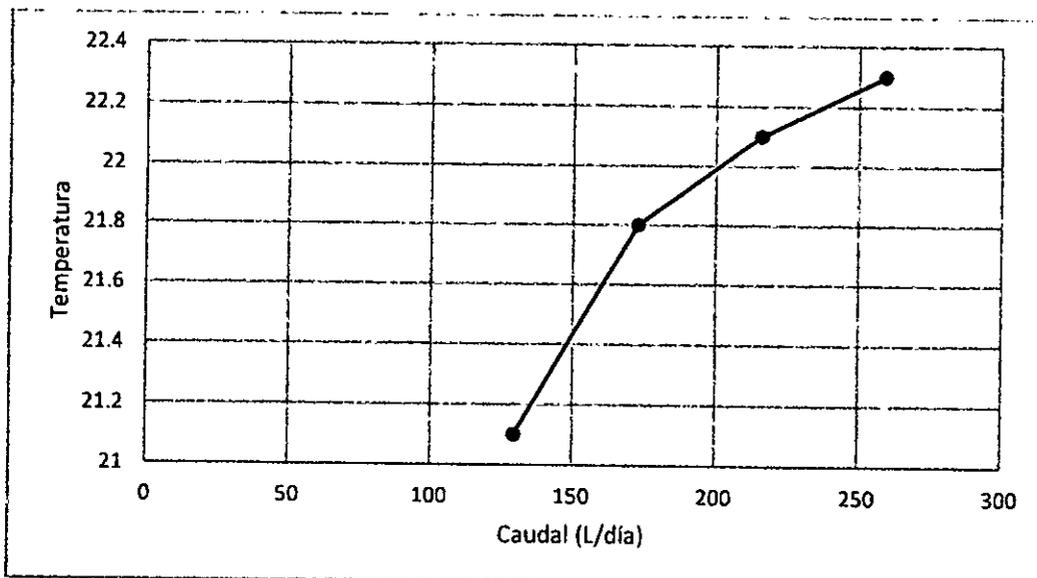
5.3.7 Temperatura (pH): La temperatura promedio del sistema varió en valores neutros en el sistema de lodos activados continuos.

TABLA N° 25: TEMPERATURA

Parámetros	Tiempo de medición				
	Adaptación	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Caudal (L/día)		129.60	172.80	216.00	259.20
Temperatura (°C)	-	21.10	21.80	22.10	22.30

Elaboración propia

GRÁFICO N° 12: TEMPERATURA



Elaboración propia

A continuación se resume el valor de los parámetros de modelado evaluados en el afluente y efluente del Sistema de Lodos Activados Continuos:

TABLA N° 26: PARÁMETROS DE MODELADO DEL SISTEMA

Parámetros	Unidades	Caudal							
		Semana 1 (08 Nov 2016)		Semana 2 (15 Nov 2016)		Semana 3 (22 Nov 2016)		Semana 4 (28 Nov 2016)	
		Q = 129.6 L/día		Q = 172.8 L/día		Q = 216 L/día		Q = 259.2 L/día	
		A	E	A	E	A	E	A	E
DBO ₅	mg/L	190.20	5.10	362.50	8.30	205.80	17.70	131.20	26.80
DQO	mg/L	373.40	11.10	713.90	15.20	402.10	33.60	259.10	51.60
Aceites y grasas	mg/L	11.80	7.30	34.90	1.80	18.30	3.10	7.40	1.90
SST	mg/L	19.00	10.20	500.00	10.00	85.00	7.40	66.00	11.70
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	2200000	220000	7900000	4900000	1700000	1700	130000	4900
pH	-	7.76		7.81		7.28		7.72	
Temperatura		21.10		21.80		22.10		22.30	

A: Afluente

E: Efluente

Elaboración propia

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo se analizará con detalle los resultados obtenidos durante las cuatro semanas de monitoreo, los cuales serán comparados con la normativa ambiental vigente y los resultados de otros trabajos similares, con la finalidad de poder contrastar la hipótesis planteada.

Se debe tener en cuenta que la presente investigación está relacionada a la evaluación del funcionamiento del Sistema de Lodos Activados Continuos que se encuentra en la planta piloto FIARN y no a la construcción o diseño de la misma.

6.1 Evaluación de la calidad del agua residual doméstica tratada

Se realizó la comparación de los resultados obtenidos tanto in situ como en laboratorio con los parámetros de la normatividad vigente, ya que todo uso de agua tratada en el Perú está regulado por normas ambientales específicas.

Para esta comparación se utilizó la norma Estándares de calidad Ambiental para Agua D.S. N° 004-2017 MINAM Categoría 3, Subcategoría D1, agua para riego no restringido de vegetales (en adelante ECA) con la finalidad de poder evaluar que el efluente obtenido cumpla con las características mínimas para el uso en riego de áreas verdes y poder contrastar la hipótesis.

Asimismo los resultados también fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) domésticas o municipales D.S. N° 003-2010 MINAM (en adelante LMP)

con la finalidad de poder evaluar que el efluente obtenido cumpla con las características mínimas para una PTAR.

A continuación se resume el resultado de los parámetros evaluados en el efluente, a diferentes caudales de agua residual (afluente) al SLAC, durante las cuatro semanas:

TABLA N° 27: COMPARATIVA DEL EFLUENTE CON EL ECA Y LMP

Parámetros	Unidades	Semana 1 (08 nov 2016)	Semana 2 (15 nov 2016)	Semana 3 (22 nov 2016)	Semana 4 (28 nov 2016)	Estándares de Calidad Ambiental ECA	Límites Máximos Permisibles LMP
		Q=129.6 L/día	Q=172.8 L/día	Q=216.0 L/día	Q=259.2 L/día		
DBO ₅	mg/L	5.10	8.30	17.70	26.80	15	100
DQO	mg/L	11.10	15.20	33.60	51.60	40	200
SST	mg/L	10.20	10.00	7.40	11.70	-	150
Aceites y grasas	mg/L	7.30	1.80	3.10	1.90	5	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	220000	4900000	1700	4900	1000	10000
T	°C	21.10	21.80	22.10	22.30	Δ 3*	< 35
pH	-	7.76	7.81	7.28	7.72	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5

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

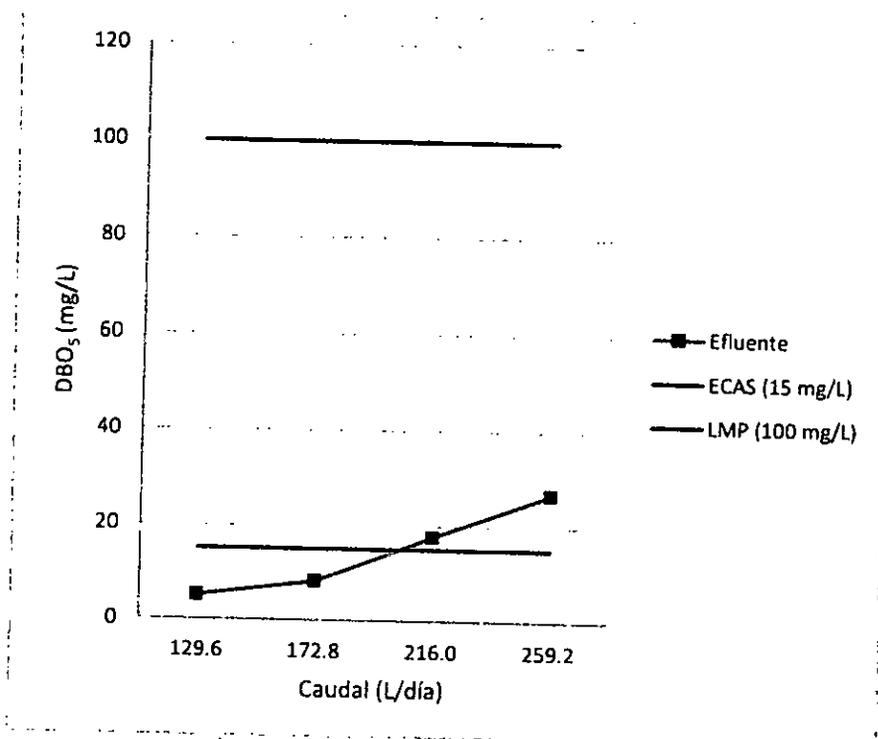
Elaboración propia

6.1.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)

Los resultados obtenidos en el efluente superaron el valor establecido en el ECA en la tercera y cuarta semana de evaluación, sin embargo cumplieron con el LMP para las cuatro semanas de evaluación.

La remoción de DBO₅ disminuyó conforme se incrementó el caudal de agua residual; es decir, la eficiencia del SLAC disminuyó y por ende también la calidad de agua destinado al riego de áreas verdes.

GRÁFICO N° 13: DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO



Elaboración propia

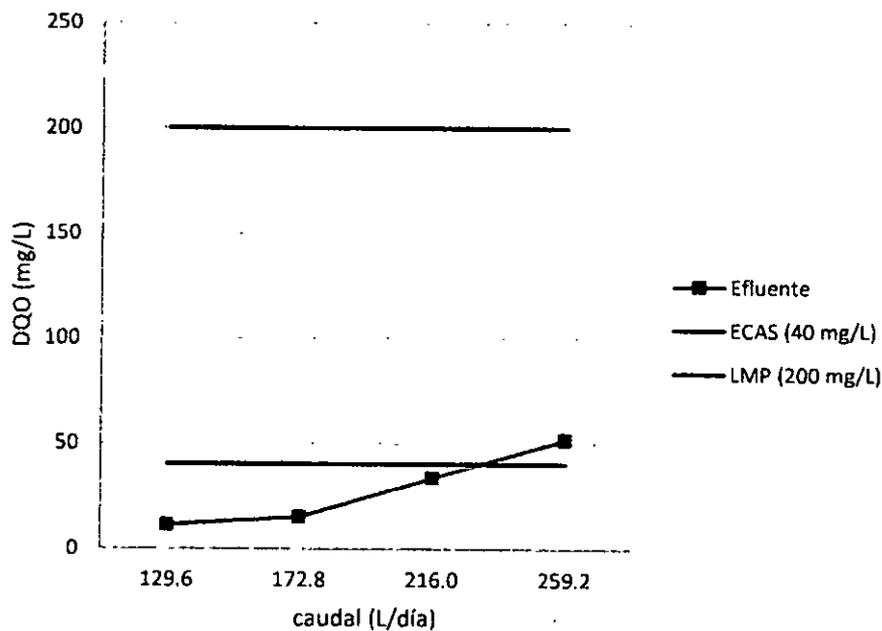
6.1.2 Demanda Química de Oxígeno (mg/L)

Al comparar los resultados del efluente con el ECA y LMP, se observó que los valores obtenidos en la cuarta semana superaron el valor establecido en el ECA, a un caudal de 259.20 L/día sin embargo cumplieron con el LMP.

Por lo tanto, la remoción de este parámetro disminuyó desde la primera hasta la cuarta semana conforme se iba incrementando el caudal de agua residual.

La cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica del afluente al SLAC es mayor en comparación con la cantidad de oxígeno requerido en el efluente del sistema, ésta gran diferencia se debe a que el agua residual que ingresa al sistema (afluente), presenta una carga elevada de materia orgánica que requiere oxidar, a diferencia del agua tratada que sale del sistema (efluente).

GRÁFICO N° 14: DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO



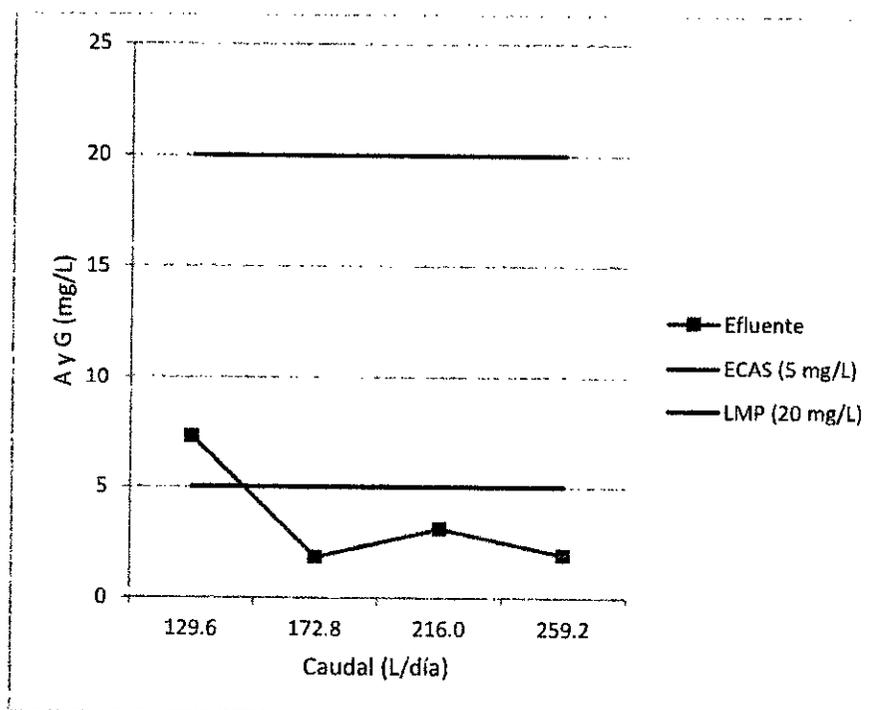
Elaboración propia

6.1.3 Aceites y Grasas (mg/L)

Se realizó la comparación del efluente con el ECA y LMP, y se observó que superaron el valor establecido por el ECA en la primera semana a un caudal de 129.60 L/día, sin embargo estuvieron dentro de los rangos establecidos en los LMP. La remoción de Aceites y grasas es mínima, al analizar el comportamiento de la concentración durante las cuatro semanas, se puede observar que la remoción se va incrementando desde la primera hasta la cuarta semana de evaluación.

Se debe tener presente que los aceites y grasas no pueden ser removidos por el sistema, para ello se requiere un proceso adicional.

GRÁFICO N° 15: ACEITES Y GRASAS



Elaboración propia

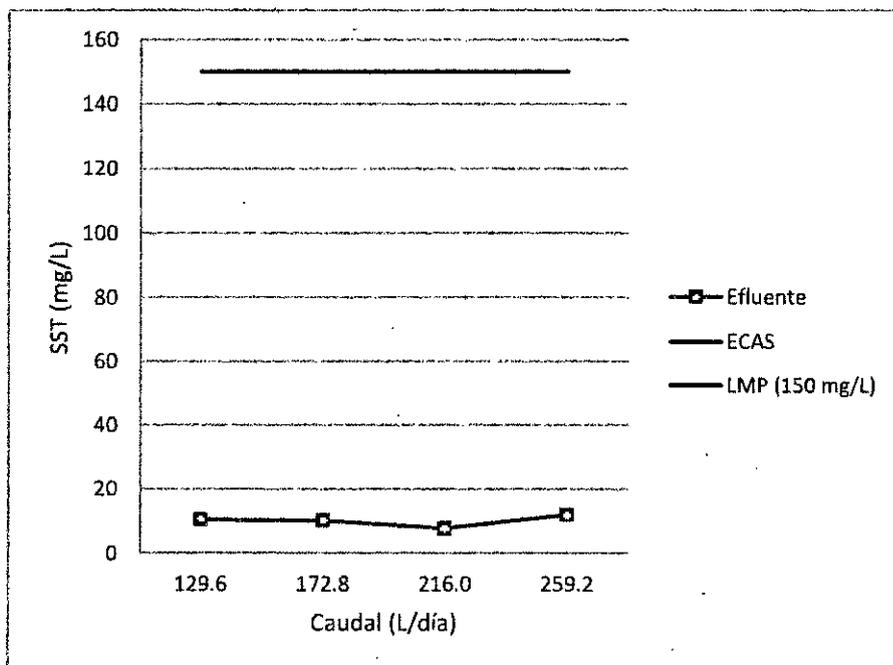
6.1.4 Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)

No se realizó la comparación con el ECA, debido a que los sólidos suspendedos totales no se encuentran contemplados en la Categoría 3, Subcategoría D1, agua para riego no restringido de vegetales.

Los valores obtenidos en el efluente cumplieron el valor establecido en el LMP.

Conforme se incrementó el caudal de agua residual en el SLAC, la concentración de SST aumentó en el afluente y se mantuvo relativamente constante el efluente, a pesar que hubo un pico alto de concentración en el afluente durante la segunda semana de evaluación.

GRÁFICO N° 16: SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES



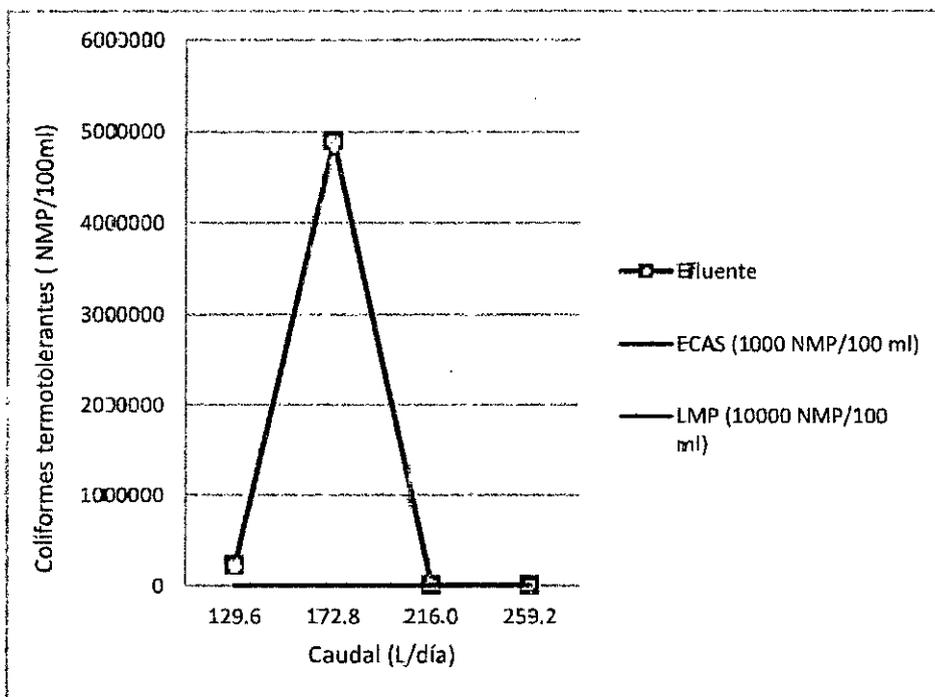
Elaboración propia

6.1.5 Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)

Se realizó la comparación del efluente con el ECA y LMP, y se observó que no cumplieron con el ECA durante las cuatro semanas de monitoreo y en el caso de los LMP no cumplieron en las dos primeras semanas.

Se debe de tener en cuenta que el ingreso de coliformes termotolerantes al SLAC no se puede controlar, debido a que el afluente puede presentar alta concentración de coliformes termotolerantes aunque el caudal sea bajo, por ello, posterior al tratamiento de lodos activados, el efluente debe ser desinfectado para reducir o eliminar los patógeno.

GRÁFICO N° 17: COLIFORMES TERMOTOLERANTES

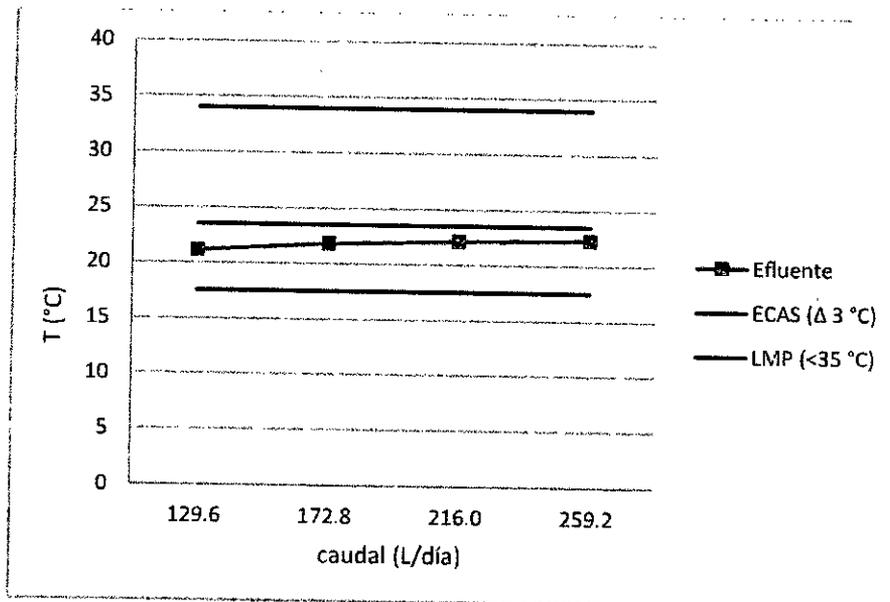


Elaboración propia

6.1.6 Temperatura (°C)

La temperatura promedio mensual multianual del área evaluada fue 20.5 °C, los datos obtenidos se encontraron en el rango de 17.5 °C y 23.5 °C, el cual corresponde a la variación $\Delta 3$ respecto a la temperatura promedio mensual multianual, de acuerdo a lo establecido en el ECA; asimismo los valores también cumplieron con el LMP, el cual indica que éstos deben ser menor a 35 °C.

GRÁFICO N° 18: TEMPERATURA



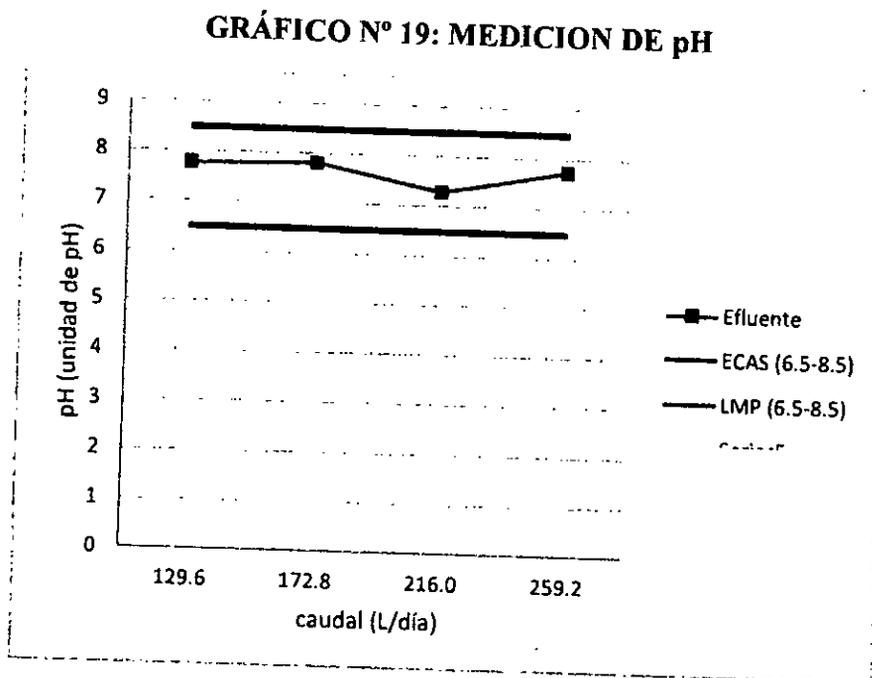
Elaboración propia

6.1.7 Potencial de Hidrogeno (pH)

En el siguiente gráfico se presenta la curva de tendencia de los resultados obtenidos de la medición de pH durante los cuatros muestreos a diferentes caudales.

Los valores obtenidos cumplieron con el ECA y LMP, los cuales establecen que el pH se debe encontrar entre 6.5 y 8.5.

Tener en cuenta que los microorganismos no pueden degradar de forma eficiente la materia orgánica en ambientes ácidos o básicos, por ello es importante el control de dicho parámetro.



Elaboración propia

6.2 Eficiencia

La eficiencia de remoción de los parámetros de estudio se determinó con los resultados obtenidos antes y después del tratamiento en el Sistema de Lodos

Activados Continuos. Usando la siguiente relación se obtuvo el valor de las eficiencias para cada semana de monitoreo:

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

Donde:

S_i = Concentración antes del tratamiento (inicial)

S_f = Concentración después del tratamiento (final)

En la siguiente tabla se resume el resultado de las eficiencias obtenidas a diferentes caudales:

TABLA N° 28: EFICIENCIA DE REMOCIÓN A DIFERENTES CAUDALES

Parámetros	Unidades	Caudal			
		Semana 1 (08 Nov 2016)	Semana 2 (15 Nov 2016)	Semana 3 (22 Nov 2016)	Semana 4 (28 Nov 2016)
		Q= 129.6 L/día	Q=172.8 L/día	Q=216.0 L/día	Q= 259.2 L/día
		%	%	%	%
DBO₅	mg/L	97.32	97.71	91.40	79.57
DQO	mg/L	97.03	97.87	91.64	80.08
SST	mg/L	46.32	98.00	91.29	82.27
Aceites y grasas	mg/L	38.14	94.84	83.06	74.32
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	90.00	37.97	99.90	96.23

Elaboración propia

En función a los resultados, se señala lo siguiente:

- El caudal óptimo para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) se presentó en la segunda semana (97.71 %), seguida de la primera semana (97.32 %); mientras se aumentó el caudal de agua residual (afluente), disminuyó la eficiencia de remoción de DBO₅ en el SLAC. Por lo tanto, el sistema no presenta una eficiente remoción de DBO₅ a mayores caudales.
- El caudal óptimo para la remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) se presentó en la segunda semana (97.87%), seguida de la primera semana (97.03 %); mientras se fue aumentando el caudal de agua residual fue disminuyendo la remoción de DQO en el SLAC. Por lo tanto, el sistema no presenta una eficiente remoción de DQO a mayores caudales.
- El caudal óptimo para la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) se presentó en la segunda semana (98.00 %), seguida de la tercera semana (91.29 %), mientras se aumentaba el caudal fue disminuyendo la remoción de SST. Por lo que se puede decir que el sistema no presenta una remoción eficiente de SST a mayores caudales.

6.3 Comparación de DBO₅ y DQO con otros estudios similares

Se revisó tres estudios (dos realizados en Perú y el otro en Colombia) en los cuales se había aplicado el Sistema de tratamiento de lodos activados. Los resultados de la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los tres estudios que se señalan en la Tabla N° 29 fueron comparados con los porcentajes de remoción de la presente tesis.

TABLA N° 29: CUADRO COMPARATIVO DE PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE DBO₅ Y DQO

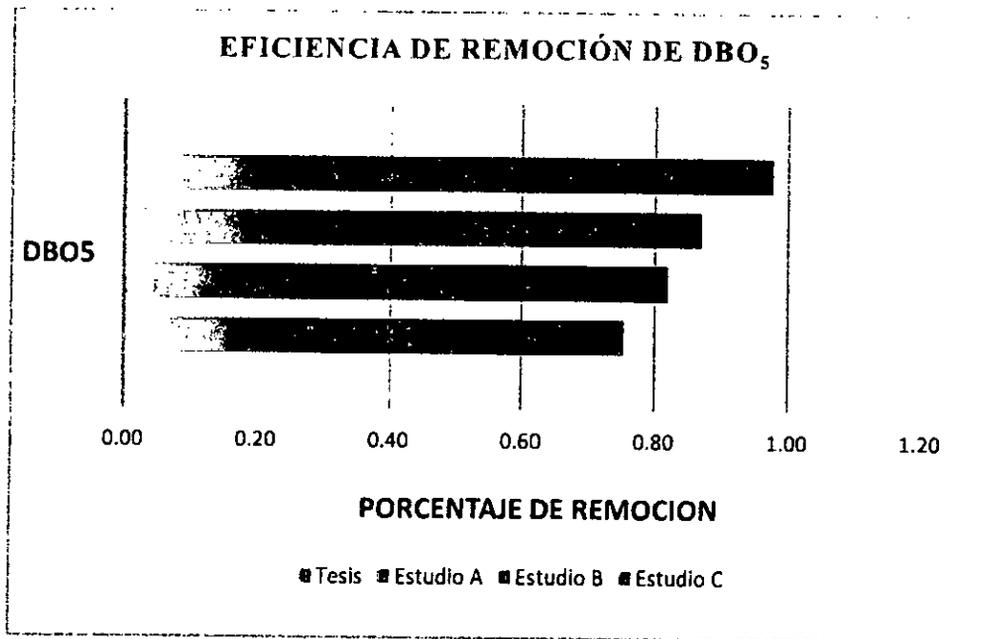
Estudios Revisados	Descripción	Condiciones de Evaluación	Porcentaje de Remoción (%)	
			DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)
Tesis	Obtención de agua para riego mediante el sistema de lodos activados continuos en la planta piloto de la FIARN-UNAC.	Caudal de agua residual: 172.80 L/día Volumen de licor mezcla: 269.50 L DBO ₅ ingreso: 362.50 mg/L DQO ingreso: 713.90 mg/L	97.17	97.87
Estudio A	“Reactor Experimental Prototipo de Flujo Continuo y Mezcla Completa para el Tratamiento de las Aguas Residuales; Fundación Universitaria de San Gil; Yopal, Colombia” (Peña et al, 2013).	Caudal de agua residual: 3.84 L/día Volumen de licor mezcla: 10.38 L DBO ₅ ingreso: 995 mg/L DQO ingreso: 1280 mg/L	87.50	92.56
Estudio B	“Evaluación de la eficiencia de las aguas residuales domésticas para el riego de áreas verdes en el sistema de lodos activados secuenciales de la planta piloto de la FIARN UNAC” (Farfan, 2015).	Caudal de agua residual: 700 L/día Volumen de licor mezcla: 363 L DBO ₅ ingreso: 334 mg/L DQO ingreso: 623.30 mg/L	82.00	49.09
Estudio C	“Tratamiento de aguas residuales domesticas a través del diseño e implementación de un módulos (planta piloto), en el distrito alto de selva alegre, Arequipa” (Canales, G. y Canales, A., 2014).	Caudal de agua residual: 35 L/día Volumen de licor mezcla: 35 L DBO ₅ ingreso: 454.40 mg/L DQO ingreso: 1136 mg/L	75.40	91.90

Fuente: Peña et al, 2013; Farfan, 2015; Canales, G. y Canales, A., 2014

- **Comparación de Tesis con estudio A:** La eficiencia resulta menor debido a la alta carga orgánica (DBO_5 ingreso: 995 mg/L) que presenta el sistema del estudio A en comparación con la carga orgánica de ingreso del presente estudio (DBO_5 ingreso: 362.50 mg/L).
- **Comparación de Tesis con estudio B:** La eficiencia resulta menor debido a que el caudal de ingreso que presenta el estudio B (700 L/día) es mucho mayor en comparación con el caudal del presente estudio (172.80 L/día).
- **Comparación de Tesis con estudio C:** La eficiencia resulta menor debido a que el caudal de ingreso que presenta el estudio C (35 L/día) es mucho menor en comparación con el caudal del presente estudio (172.80 L/día).

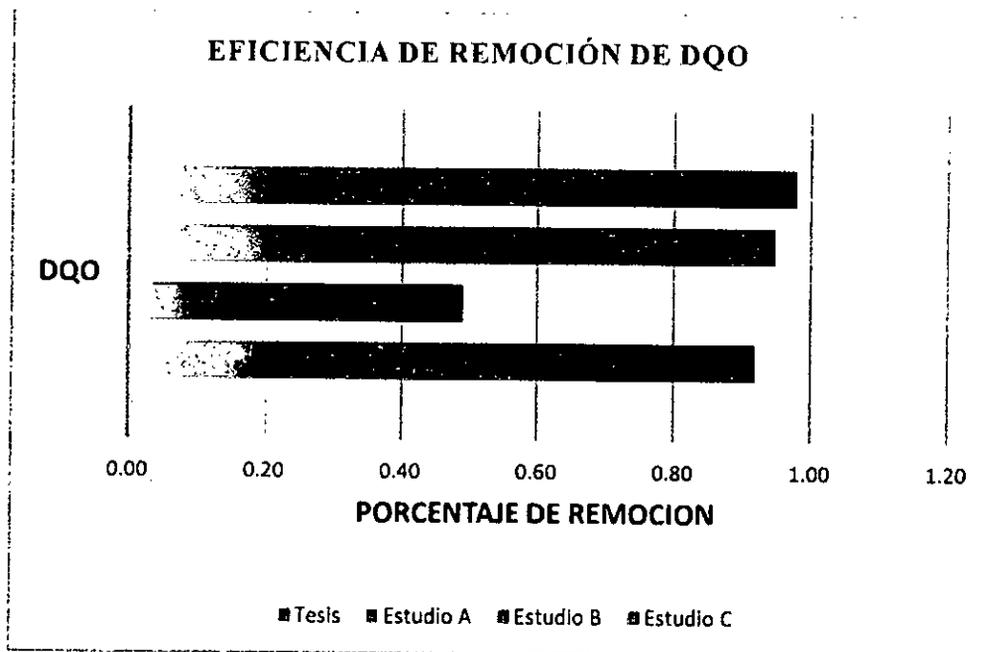
En los siguientes gráficos, se puede observar que el Sistema de lodos activados desarrollado en la tesis presenta el más alto valor de eficiencia de remoción para los parámetros DBO_5 y DQO, en comparación con los tres estudios mencionados.

GRÁFICO N° 20: COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE DBO₅



Elaboración propia

GRÁFICO N° 21: COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE DQO



Elaboración propia.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

- 7.1 Se obtuvo un efluente que cumplió parcialmente con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) debido a que en el parámetro de Coliformes Termotolerantes (NMP/ 100 ml) no se encontró dentro del rango establecido en la anterior norma mencionada.
- 7.2 Se logró que durante las cuatro semanas de evaluación el sistema de lodos activados continuos opere continuamente sin dificultades.
- 7.3 Se evaluaron los parámetros como el tiempo de retención hidráulica, relación A/M, índice volumétrico de lodo (IVL) y carga orgánica que favorecieron el funcionamiento del sistema de tratamiento de lodos activados continuos
- 7.4 Se realizó el monitoreo de los indicadores visuales (color, olor, espuma, rocío en aireadores, turbiedad del efluente, bulking, inspección de equipo, observaciones microscópicas) e indicadores analíticos (caudal, oxígeno disuelto, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos volátiles, sólidos suspendidos totales, pH, temperatura) para el control del sistema durante las cuatro semanas que involucro el proyecto.
- 7.5 El efluente del sistema de tratamiento de lodos activados generaría un menor impacto si sus aguas son vertidas a un cuerpo receptor, debido a las bajas concentraciones en carga orgánica del efluente, sin embargo, se tendría que incluir un tratamiento posterior (cloración) en el caso de ser usado para riego de áreas verdes y de ésta forma disminuir las concentraciones de Coliformes Termotolerantes y cumplir con el valor establecido en el ECA.

CAPÍTULO VIII

RECOMENDACIONES

8.1 Realizar el mantenimiento del sistema de tratamiento de lodos activados continuos antes de iniciar la inoculación de los lodos activados.

8.2 Verificar que el caudal del afluente que ingresa al sistema de lodos activados continuos se mantenga constante para aumentar la eficiencia de tratamiento del sistema y obtener resultados óptimos.

8.3 Controlar que el ingreso de aire sea de manera continua para mantener un ambiente aerobio, y los lodos activados se mantengan en suspensión sin afectar la formación de los mismos, y de ésta forma asegurar la degradación de la materia orgánica.

8.4 Controlar la proliferación de bacterias filamentosas mediante la inspección visual de espuma en el tanque de aireación, para mantener la eficiencia del sistema de lodos activados continuos.

8.5 Realizar periódicamente el mantenimiento de las compresoras, bombas y demás equipos del sistema de control.

8.6 Para mejorar la eficiencia de tratamiento del sistema de lodos activados continuos se deberá complementar el tratamiento con un proceso de cloración para disminuir o eliminar los patógenos.

8.7 Para que el agua producida en el Sistema de Tratamiento pueda ser utilizada en el riego de áreas verdes se recomienda realizar un muestreo adicional de parámetros

biológicos del efluente luego de un tratamiento terciario, con la finalidad de que el agua reusada no genere en las áreas verdes focos de contaminación.

8.8. A fin de seguir mejorando la eficiencia del sistema de Lodos activados de la Planta Piloto de la FIARN, se podría realizar investigaciones a través del uso de enzimas, superficie de contacto u otro, de modo que permitan mejorar el diseño de las unidades piloto.

8.9 Con la finalidad de tratar un mayor volumen de agua residual doméstica que genera la Ciudad Universitaria, se debería implementar Sistemas de Tratamiento de Lodos Activados adicionales en diferentes puntos de la Universidad Nacional del Callao.

CAPÍTULO IX

REFERENCIAS

9.1 Bibliográficas

- 9.1.1 Baca N, M. *Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el Distrito de San Juan de Marcona*. (Tesis inédita de Maestría). Universidad Nacional del Callao. Peru.
- 9.1.2 Canales M, G. P-M; Canales G, Á. 2014. Tratamiento de aguas residuales domésticas a través del diseño e implementación de un módulo (planta piloto), en el distrito Alto de Selva Alegre, Arequipa. Instituto de investigación de la Escuela de Postgrado-Universidad Nacional del Altiplano Puno – Perú, 5 (4), 16 – 32.
- 9.1.3 Espinoza P, R.E. 2010. **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en San Juan de Miraflores**. (Tesis inédita de Maestría). Universidad de Piura, Peru.
- 9.1.4 Farfan R, M E. 2015. *Evaluación de la Eficiencia del Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas para el Riego de Áreas Verdes en el Sistema de Lodos Activados Secuenciales de la Planta Piloto de la FIARN-UNAC*. (Tesis inédita de titulación). Universidad Nacional del Callao, Ventanilla, Perú.

- 9.1.5** Hreiz, R; Latifi, M.A; Roche, N. 2015. *El diseño óptimo y el funcionamiento de los procesos de lodos activados: lo último*, Chemical Engineering Journal, 281. 900 – 920.
- 9.1.6** Huidobro G, M.A; Morcos F, A; Ramirez L, S; Perez V, D.R. 1993. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de lodos activados. Comisión Nacional del agua – Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 4-9 pag.
- 9.1.7** Metcalf y Eddy. 1995. *Ingeniería de las Aguas Residuales*. Ed. McGraw-Hill, (1 – 2). España. 1995.
- 9.1.8** Ntougias, S; Melidis, P; Navrozidou, E; Tzegkas, F. 2015. *La diversidad y la eficiencia de las bacterias que degradan el antraceno aisladas de un sistema de lodos activados de desnitrificación tratamiento de aguas residuales municipales*. International Biodeterioration & Biodegradation. 97. 151 – 158.
- 9.1.9** OEFA. 2014. *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Ministerio del Ambiente de Perú. 1 era Edición. Lima
- 9.1.10** Orhon, D. 2014. Evolución del proceso de lodos activados: Los primeros 50 años; J Chem Technol Biotechnol, 90 (4). 608-640.

9.1.11 Peña P, S.A; Montaña G, E M; Sigua T, E.M. 2013. *Reactor Experimental Prototipo de Flujo Continuo y Mezcla Completa para el Tratamiento de las Aguas Residuales*. World Engineering Education Forum.

9.1.12 SUNASS. 2015 *Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Ámbito de Operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento*. Superintendencia Nacional de Agua y Saneamiento. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento Perú. 1era Edición. Lima

9.1.13 Tam M, J; Vera G; Oliveros R, R. 2008. *Tipos, Métodos y Estrategias de Investigación Científica*, Escuela de Postgrado: Pensamiento y Acción. Perú. 5. 145-154.

9.2 Web

9.2.1 Instituto de Medio Ambiente Facultad de Ingeniería (D.E.T.I.). **Parámetros de Diseño para el Tratamiento Biológico Aerobio de Efluentes de la Industria Vitivinícola**. Disponible en:
<http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2000/2000-t006-a009.pdf>. Artículo web. Consultada el 28 de febrero del 2016.

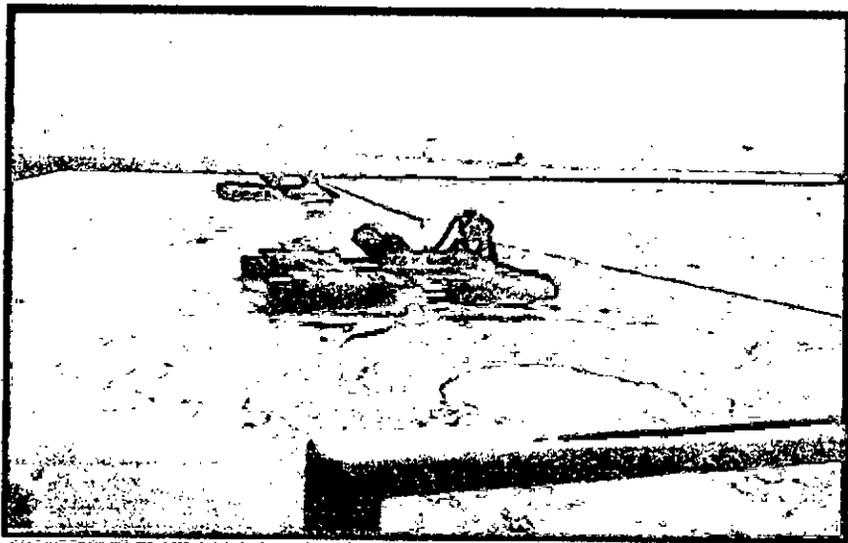
9.2.2 Garcés D et al. **Estudio de Impacto Ambiental Planta de Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana.** Disponible en:

<http://www.ingenieroambiental.com/4014/vii-008.pdf>. Artículo web.

Consultado el 28 de febrero del 2016.

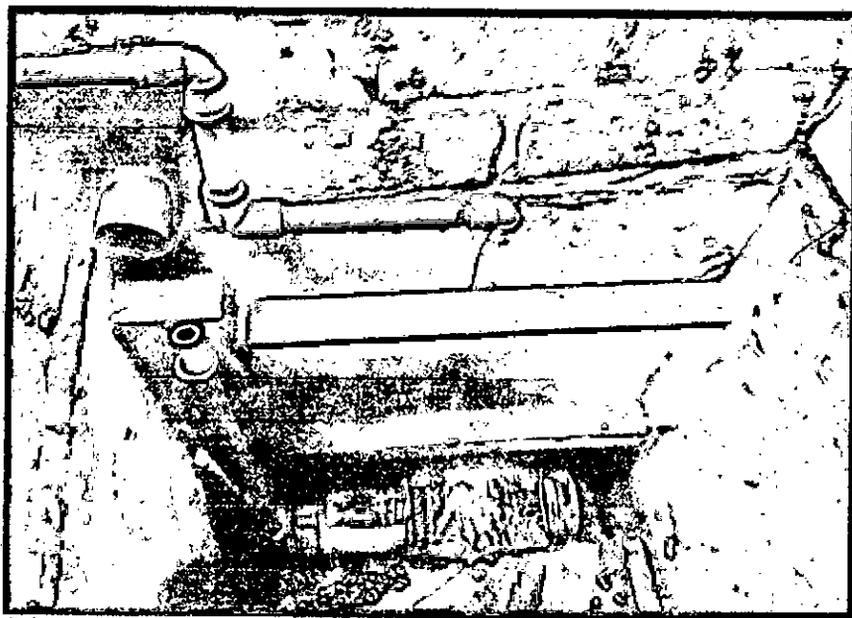
APÉNDICE N° 10.2: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS

**VISTA N° 1
LODOS EXTRAÍDOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
SEDAPAL – SANTA CLARA**



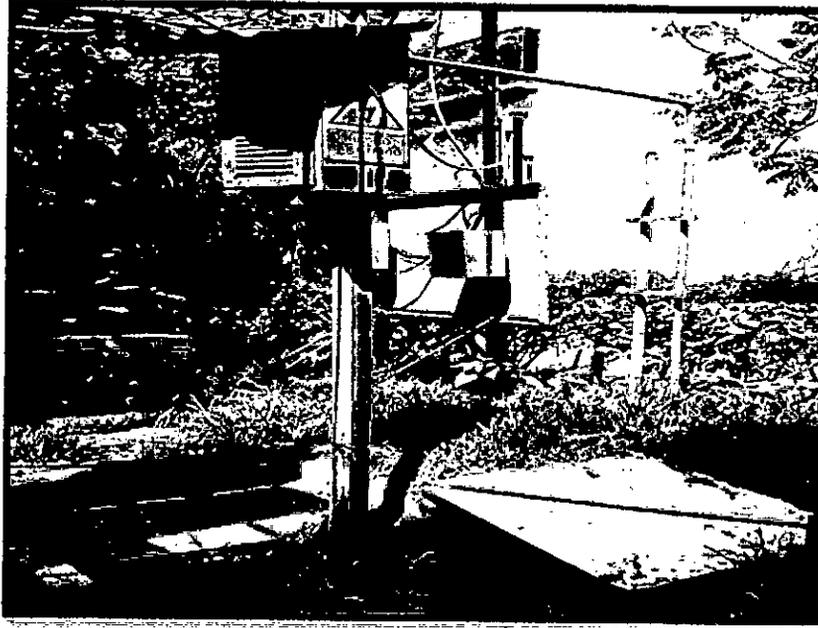
Elaboración propia

**VISTA N° 2
ZONA DE CAPTACIÓN DE LA PLANTA PILOTO DE LA FIARN**



Elaboración propia

VISTA N° 3
TABLERO ELÉCTRICO DE LA ZONA DE ABASTECIMIENTO



Elaboración propia

VISTA N° 4
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LA PLANTA PILOTO DE LA
FIARN



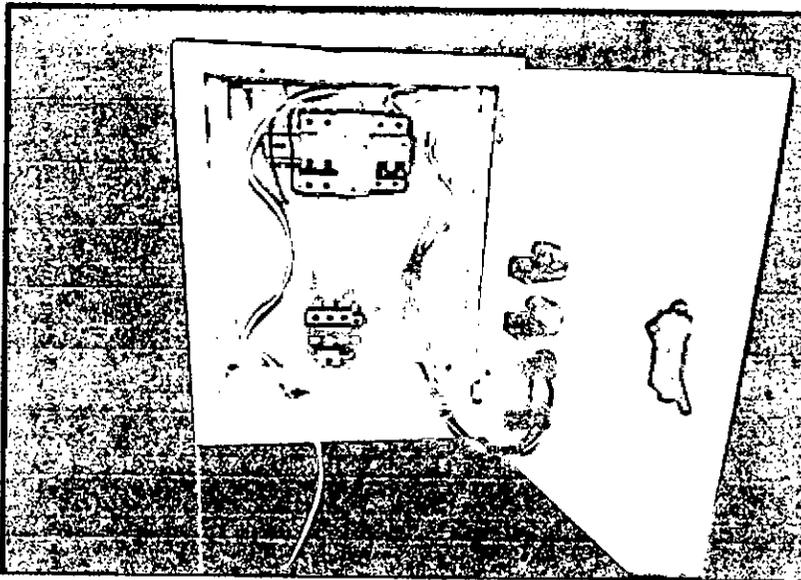
Elaboración propia

VISTA N° 5
COMPRESORA DE AIRE DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS
CONTINUOS



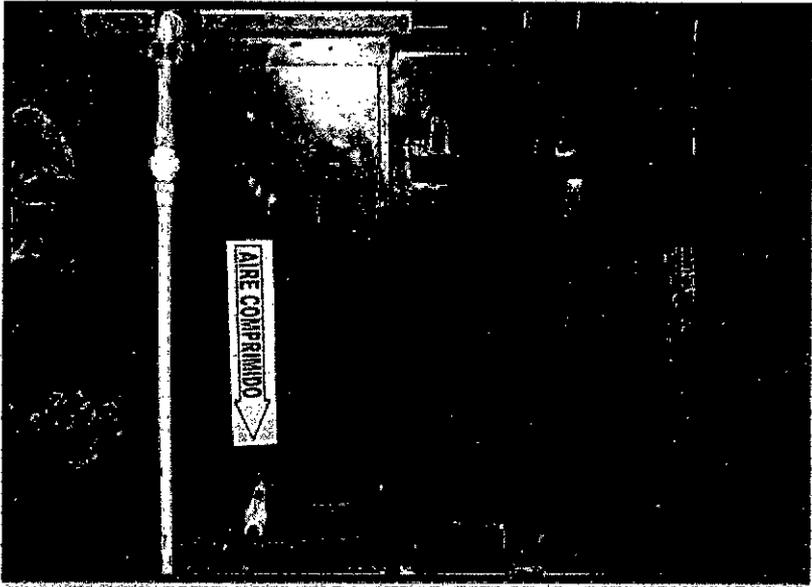
Elaboración propia

VISTA N° 6
TABLERO DEL CONTROL DE LA RECIRCULACIÓN DE LOS LODOS
ACTIVADOS CONTINUOS



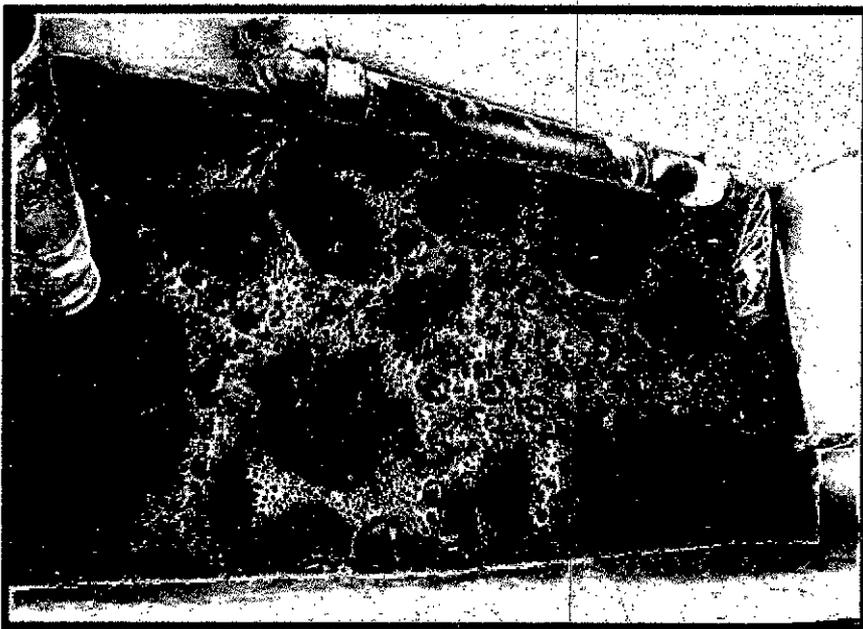
Elaboración propia

VISTA N° 7
INGRESO DE AIRE AL TANQUE DE AERACIÓN DEL SISTEMA DE
LODOS ACTIVADOS CONTINUOS



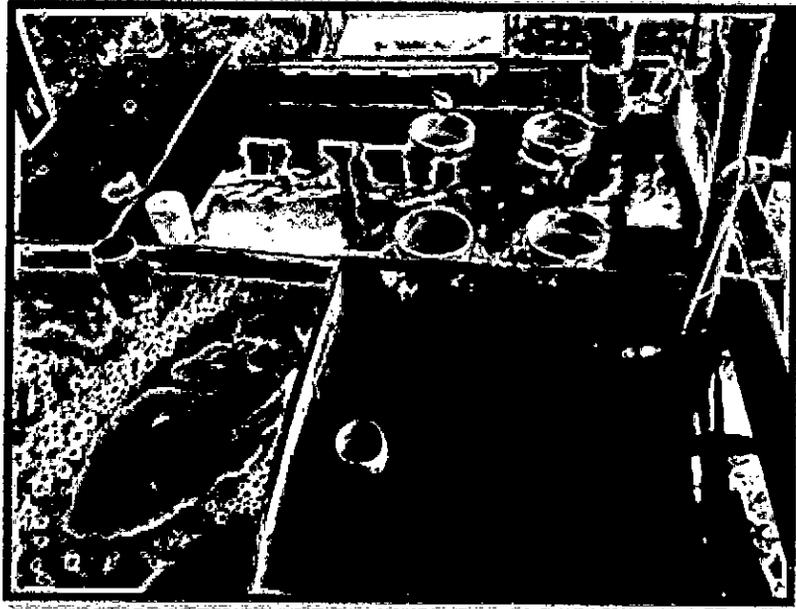
Elaboración propia

VISTA N° 8
INOCULACIÓN DE LODOS ACTIVADOS EN EL TANQUE DE
AERACIÓN



Elaboración propia

VISTA N° 9
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS



Elaboración propia

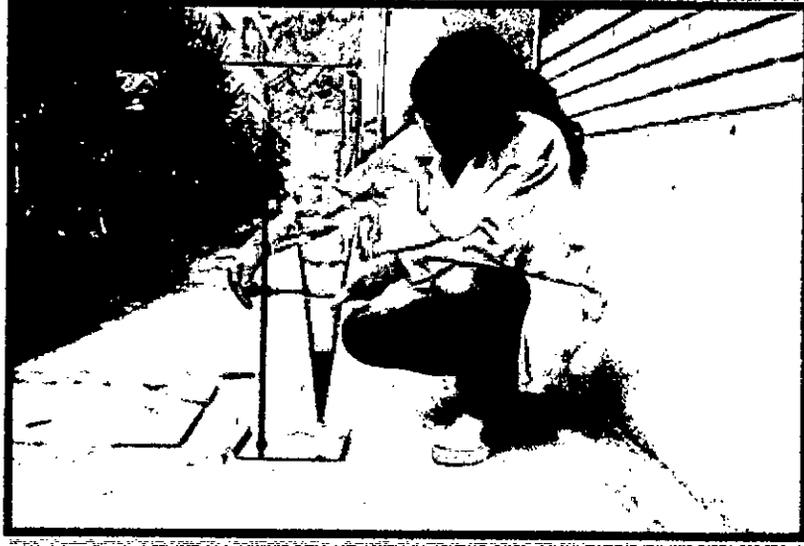
APÉNDICE N° 10.3: MONITOREO AMBIENTAL

VISTA N° 10
MEDICIÓN DEL CAUDAL DEL AFLUENTE - INGRESO DE AGUA RESIDUAL



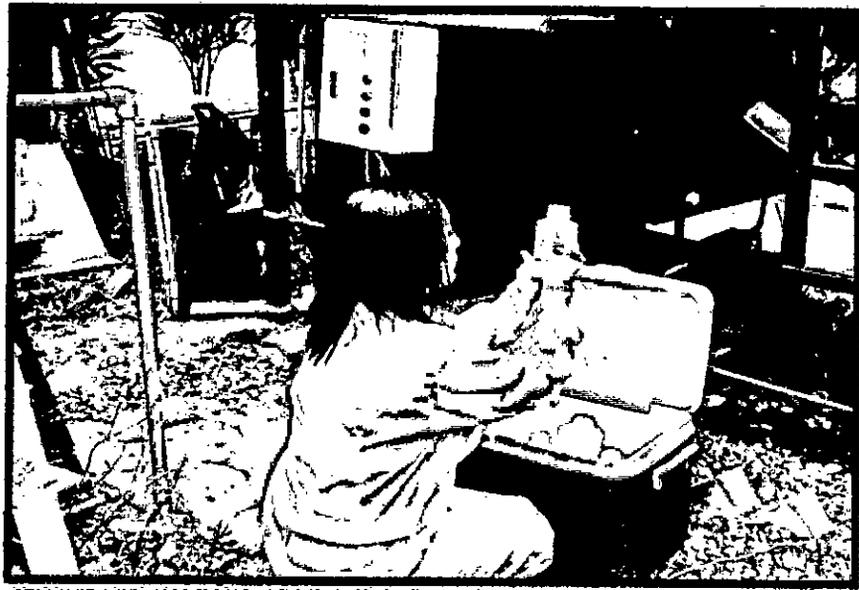
Elaboración propia

VISTA N° 11
MEDICIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES (CONO DE IMHOFF)



Elaboración propia

VISTA N° 12
MONITOREO DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS EN ECOLAB



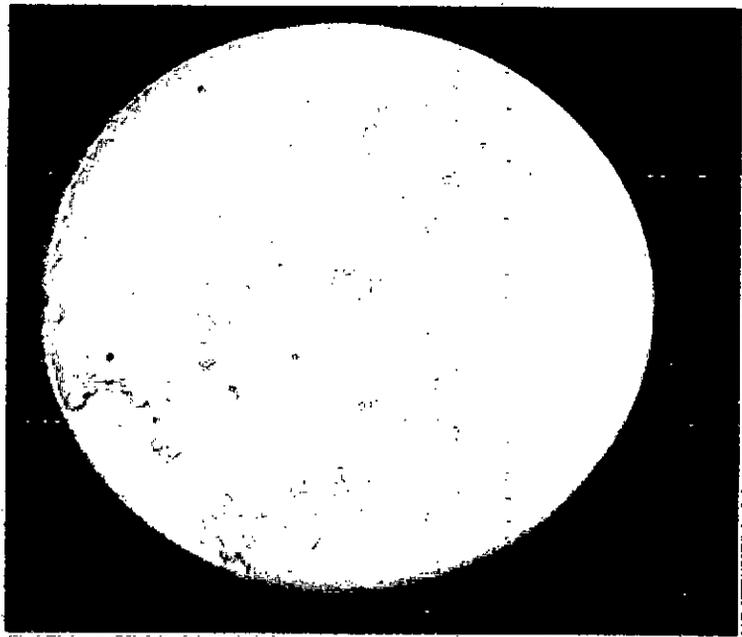
Elaboración propia

VISTA N° 13
OBSERVACIÓN DE MICROORGANISMOS EN EL MICROSCOPIO



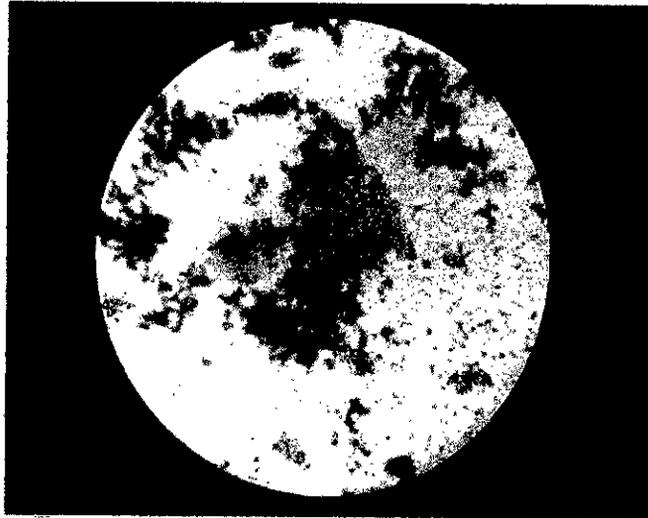
Elaboración propia

VISTA N° 14
PRESENCIA DE MICROORGANISMOS EN LOS LODOS ACTIVADOS
(1)



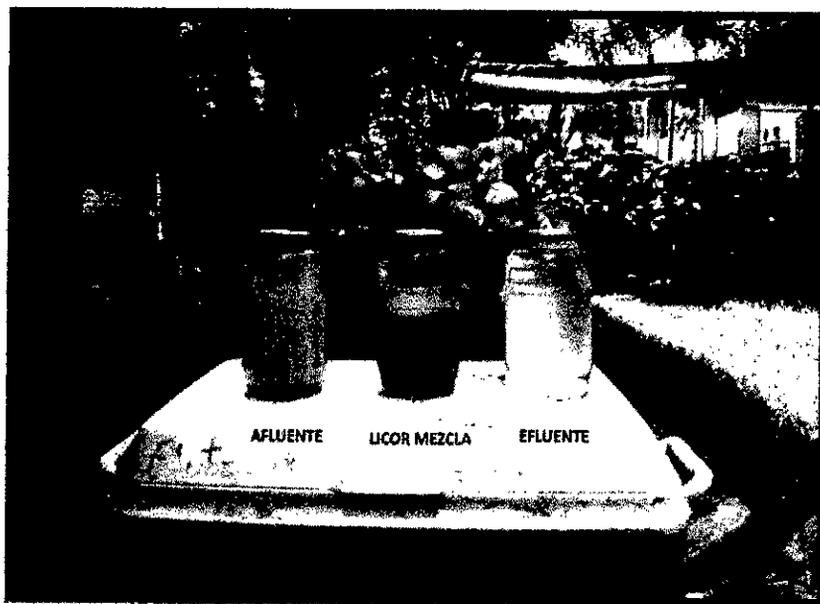
Elaboración propia

VISTA N° 15
PRESENCIA DE MICROORGANISMOS EN LOS LODOS ACTIVADOS
(2)



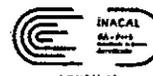
Elaboración propia

VISTA N° 16
PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN EL
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS



Elaboración propia

APÉNDICE N° 10.3: INFORMES DE ENSAYO



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-017.

INFORME DE ENSAYO: SE-01387-16

Ciente : TRUENQUE SAENZ LADY GLORIA
Dirección : Av. Santa Rosa N° 315 Urb. Santa Anita 1° Sector (Ajl. Plaza Vea Sta. Anita) - Santa Anita.
Tipo de muestra : Producto declarado por el cliente: Agua Residual.
Cantidad de muestras : Son 02 muestras en frascos de plásticos y vidrio.
Muestreo y procedencia : Muestra y fecha proporcionada por el cliente
 Proyecto: PILOTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS. DIRECCIÓN AVENIDA JUAN PABLO II, BELLAVISTA - CALLAO.
Fecha de muestreo : 2016-11-08, 12:30 y 12:45 horas.
Lugar de recepción de las muestras : Calle Beta N° 135, Callao.
Fecha de recepción de las muestras : 2016-11-08.
Fecha de ejecución del ensayo : Del 2016-11-08 al 2016-11-16.

Resultados:

Descripción de la muestra	Determinaciones			
	Aceites y Grasas mg/L	Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L	Demanda Química de Oxígeno mgO ₂ /L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
Afluente al Sistema de Lodos Activados Continuo	11,8	190,2	373,4	19,0
Efluente del Sistema de Lodos Activados Continuo	7,3	5,1	11,1	10,2

Métodos de ensayos:

- Aceites y Grasas: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 22nd Ed. 2012; Oil and Grease; Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012; Biochemical Oxygen Demand (BOD); 5-Day BOD Test - Azide Modification.
- Demanda Química de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22nd Ed. 2012; Chemical Oxygen Demand (COD); Closed Reflux, Colorimetric Method.
- Sólidos Suspendidos Totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012; Solids; Total Suspended Solids Dried at 103 - 105 °C.

El presente informe es redactado íntegramente en ECOLAB SRL, su edición o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se rige por las disposiciones civiles y penales en la materia, no podrá ser reproducido parcial o totalmente salvo autorización escrita de ECOLAB SRL; solo es válido únicamente a las muestras ensayadas. Estos resultados 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.

El periodo de custodia de la muestra está definido por 30 días calendario de ingreso de la muestra al laboratorio, excedido el tiempo o menos días será eliminada en función de las características evaluadas inicialmente en el producto así como su perechibilidad.

Callao, 24 de Noviembre de 2016.

Página 1 de 3

Calle Beta N° 135 Callao - Perú Telefax: 561-5454 / 561-5455 e-mail: lab@ecolab.com.pe / www.ecolab.com.pe

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-017**

INFORME DE ENSAYO: SE-01387-16

Resultados:

Descripción de la muestra	Determinaciones
	Numeración Coliformes Fecales ¹⁾ NMP/100mL
Afluente al Sistema de Lodos Activados Continuo	220 x 10 ⁴
Efluente del Sistema de Lodos Activados Continuo	220 x 10 ³

¹⁾ Coliformes Fecales es lo mismo que coliformes termotolerantes.

* "El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL - DA. Sin embargo, se anota que se han realizado en un laboratorio externo y está acreditado por el INACAL - DA."

Método de ensayo:

- Numeración de Coliformes Fecales: SM 6221 E, Multiple-Tube Fermentation, Technique for Members of the Coliform Group, Fecal Coliform Procedure.

Estado y condiciones de la muestra: La muestra llegó refrigerada. Muestra preservada con H₂SO₄ (DQO, AyG).


 Oco. Luis Anthony Legarra Rutz
 Jefe de Laboratorio
 COP: 1112



 Ing. Jairo Cepeda Colado
 Jefe de Calidad
 COP N° 156867

El presente informe es redactado íntegramente en ECOLAB SRL, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regido por las disposiciones civiles y penales en la materia, no podrá ser reproducido parcial o totalmente salvo autorización escrita de ECOLAB SRL; solo es válido únicamente a las muestras ensayadas. Estos resultados 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.

El periodo de custodia de la muestra está definido por 30 días calendario de ingresado la muestra al laboratorio, excedido el tiempo o menos días será eliminada en función de las características evaluadas inicialmente en el producto así como su perechibilidad.

Callao, 24 de Noviembre de 2016.

Página 2 de 3

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-017**

INFORME DE ENSAYO: SE-01387-16

**ANEXO
LÍMITES DE CUANTIFICACIÓN**

Determinación	unidades	L. C. M.
Aceites y Grasas	mg/L	1,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2,0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg	£ 2,5

L. C. M.: Límite de Cuantificación del Método, estimados para agua residual.

£: El método establece como señal significativa mínima de variación en masa cuantificable.

El presente informe es redactado íntegramente en ECOLAB SRL, su autorización o su uso sinómbulo constituye delito contra la fe pública y se rige por las disposiciones civiles y penales en la materia, no podrá ser reproducido parcial o totalmente salvo autorización escrita de ECOLAB SRL; acto es válido únicamente a las muestras ensayadas. Estos resultados 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.

El periodo de custodia de la muestra está definido por 30 días calendario de ingreso de la muestra al laboratorio, excedido el tiempo o menos días será eliminada en función de las características evaluadas inicialmente en el producto así como su perechibilidad.

Callao, 24 de Noviembre de 2016.

Página 3 de 3

Calle Beta N° 135 Callao - Perú Telefax: 561-5454 / 561-5455 e-mail: lab@ecolab.com.pe / www.ecolab.com.pe

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-017**

INFORME DE ENSAYO: SE-01429-16

Cliete : TRUENQUE SAENZ LADY GLORIA
 Dirección : Av. Santa Rosa N° 315 Urb. Santa Anita 1° Sector (Alt. Plaza Vea Sta. Anita) - Santa Anita.
 Tipo de muestra : Producto declarado por el cliente: Agua Residual.
 Cantidad de muestras : Son 02 muestras en frascos de plásticos y vidrio.
 Muestreo y procedencia : Muestras y fecha proporcionadas por el cliente
 Proyecto: PILOTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS. DIRECCIÓN AVENIDA JUAN PABLO II, BELLAVISTA - CALLAO.
 Fecha de muestreo : 2016-11-15, 14:30 y 15:00 horas.
 Lugar de recepción de las muestras : Calle Beta N° 135, Callao.
 Fecha de recepción de las muestras : 2016-11-15.
 Fecha de ejecución del ensayo : Del 2016-11-15 al 2016-12-23.

Resultados:

Descripción de la muestra	Determinaciones			
	Aceites y Grasas mg/L	Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L	Demanda Química de Oxígeno mgO ₂ /L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
Afluente al Sistema de Lodos Activados Continuo	34,9	382,6	713,9	500,0
Efluente del Sistema de Lodos Activados Continuo	1,8	8,3	15,2	10,0

Métodos de ensayos:

- Aceites y Grasas: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 22nd Ed. 2012; Oil and Grease: Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012; Biochemical Oxygen Demand (BOD); 5-Day BOD Test - Azide Modification.
- Demanda Química de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22nd Ed. 2012; Chemical Oxygen Demand (COD); Closed Reflux, Colorimetric Method.
- Sólidos Suspendidos Totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012; Solids; Total Suspended Solids Dried at 103 - 105 °C.

El presente informe es redactado íntegramente en ECOLAB SRL, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regido por las disposiciones civiles y penales en la materia, no podrá ser reproducido parcial o totalmente salvo autorización escrita de ECOLAB SRL, solo es válido únicamente a las muestras ensayadas. Estos resultados 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.

El período de custodia de la muestra está definido por 30 días calendario de ingresado la muestra al laboratorio, excedido el tiempo o menos días será eliminada en función de las características evaluadas inicialmente en el producto así como su perechibilidad.

Callao, 29 de Noviembre de 2016.

Página 1 de 3

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-017**

INFORME DE ENSAYO: SE-01429-16

Resultados:

Descripción de la muestra	Determinaciones
	Numeración Coliformes Fecales ⁽¹⁾ NMP/100mL
Afluente al Sistema de Lodos Activados Continuo	79 x 10 ⁵
Efluente del Sistema de Lodos Activados Continuo	49 x 10 ⁵

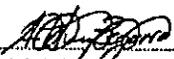
⁽¹⁾ Coliformes Fecales es lo mismo que coliformes termotolerantes.

* "El método Indicado no ha sido acreditado por el INACAL - DA. Sin embargo, se anota que se han realizado en un laboratorio externo y está acreditado por el INACAL - DA."

Método de ensayo:

- Numeración de Coliformes Fecales: SM 9221 E. Multiple-Tube Fermentation. Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

Estado y condiciones de la muestra: La muestra llegó refrigerada. Muestra preservada con H₂SO₄ (DOO, AyG).


Qco. Luis Arthemy Cegarra Ruiz
Jefe de Laboratorio
CQP: 1112




Ing. Licio Cepcha Cillado
Jefe de Calidad
CIP Nº 135667

El presente informe es redactado íntegramente en ECOLAB SRL, su edificación o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regule por las disposiciones civiles y penales en la materia, no podrá ser reproducido parcial o totalmente salvo autorización escrita de ECOLAB SRL; esto es válido únicamente a las muestras analizadas. Estos resultados 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.

El período de custodia de la muestra está definido por 30 días calendario de ingresado la muestra al laboratorio, excedido el tiempo o menos días será eliminada en función de las características evaluadas inicialmente en el producto así como su perechibilidad.

Callao, 28 de Noviembre de 2016.

Página 2 de 3

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO Nº LE-017**

INFORME DE ENSAYO: SE-01428-16

**ANEXO
LÍMITES DE CUANTIFICACIÓN**

Determinación	unidades	L. C. M.
Aceites y Grasas	mg/l	1,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	2,0
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	5,0
Sólidos Suspendedos Totales	mg	£ 2,5

L. C. M.: Límite de Cuantificación del Método, estimados para agua residual.

£. El método establece como señal significativa mínima de variación en masa cuantificable.

El presente informe es redactado íntegramente en ECOLAB SRL, su autorización ó su uso indebido constituya delito contra la fe pública y se rige por las disposiciones civiles y penales en la materia, no podrá ser reproducido parcial o totalmente salvo autorización escrita de ECOLAB SRL, solo es válido para las muestras ensayadas. Estos resultados 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.

El periodo de custodia de la muestra está limitado por 30 días calendario de ingresado la muestra al laboratorio, excedido el tiempo o menos días será eliminada en función de las características evaluadas inicialmente en el producto así como su perechibilidad.

Callao, 29 de Noviembre de 2016.

Página 3 de 3

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-017**

INFORME DE ENSAYO: SE-01469-16

Cliente : TRUENQUE SAENZ LADY GLORIA
Dirección : Av. Santa Rosa N° 315 Urb. Santa Anita 1° Sector (Alt. Plaza Veá Sta. Anita) - Santa Anita.
Tipo de muestra : Producto declarado por el cliente: Agua Residual.
Cantidad de muestras : Son 02 muestras en frascos de plásticos y vidrio.
Muestreo y procedencia : Muestras y fecha proporcionadas por el cliente
Proyecto: PILOTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS. DIRECCIÓN AVENIDA JUAN PABLO II, BELLAVISTA - CALLAO.
Fecha de muestreo : 2016-11-22, 13:45 y 14:00 horas.
Lugar de recepción de las muestras : Calle Beta N° 135, Callao.
Fecha de recepción de las muestras : 2016-11-22.
Fecha de ejecución del ensayo : Del 2016-11-22 al 2016-12-01.

Resultados:

Descripción de la muestra	Determinaciones			
	Aceites y Grasas mg/L	Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L	Demanda Química de Oxígeno mgO ₂ /L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
Afluente al Sistema de Lodos Activados Continuo	18,3	205,8	402,1	85,0
Efluente del Sistema de Lodos Activados Continuo	3,1	17,7	33,6	7,4

Métodos de ensayos:

- Aceites y Grasas: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 22nd Ed. 2012; Oil and Grease; Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012; Biochemical Oxygen Demand (BOD); 5-Day BOD Test - Azide Modification.
- Demanda Química de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22nd Ed. 2012; Chemical Oxygen Demand (COD); Closed Reflux, Colorimetric Method.
- Sólidos Suspendidos Totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012; Solids; Total Suspended Solids Dried at 103 - 105 °C.

El presente informe es redactado íntegramente en ECOLAB SRL, su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se rige por las disposiciones civiles y penales en la materia, no podrá ser reproducido parcial o totalmente salvo autorización escrita de ECOLAB SRL; solo es válido únicamente a las muestras ensayadas. Estos resultados 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.

El período de validez de la muestra está definido por 30 días calendario de ingreso de la muestra al laboratorio, excedido el tiempo o menos días será eliminada en función de las características evaluadas inicialmente en el producto así como su perechibilidad.

Callao, 09 de Diciembre de 2016.

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-017**

INFORME DE ENSAYO: SE-01468-16

Resultados:

Descripción de la muestra	Determinaciones
	Numeración Coliformes Fecales ¹⁾ NMP/100mL
Afluente al Sistema de Lodos Activados Continuo	170 x 10 ⁴
Efluente del Sistema de Lodos Activados Continuo	170 x 10 ³

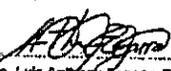
¹⁾ Coliformes Focales es lo mismo que coliformes termotolerantes.

* "El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL - DA. Sin embargo, se anota que se han realizado en un laboratorio externo y está acreditado por el INACAL - DA."

Método de ensayo:

- Numeración de Coliformes Fecales: SM 9221 E. Multiple-Tube Fermentation. Technique for Members of the Coliform Group. Focal Coliform Procedure.

Estado y condiciones de la muestra: La muestra llegó refrigerada. Muestra preservada con H₂SO₄ (DQO, AyG).


Luis Antrony Zegarra Ruiz
Jefe de Laboratorio
CQP: 1112




Ing. Luis Cañay Collado
Jefe de Calidad
CIP N° 136867

El presente informe es redactado íntegramente en ECOLAB SRL, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia, no podrá ser reproducido parcial o totalmente salvo autorización escrita de ECOLAB SRL; solo es válido únicamente a las muestras ensayadas. Estos resultados 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.

El periodo de custodia de la muestra está definido por 30 días calendario de ingreso de la muestra al laboratorio, excedido el tiempo o menos días será eliminada en función de las características evaluadas inicialmente en el producto así como su perechibilidad.

Callao, 09 de Diciembre de 2016.

Página 2 de 2

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-017

INFORME DE ENSAYO: SE-01489-16

ANEXO
LÍMITES DE CUANTIFICACIÓN

Determinación	unidades	L. C. M.
Aceites y Grasas	mg/L	1,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2,0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5,0
Sólidos Suspendedos Totales	mg	£ 2,5

L. C. M.: Límite de Cuantificación del Método, estimados para agua residual.

£ El método establece como señal significativa mínima de variación en masa cuantificable.

El presente informe es redactado íntegramente en ECOLAB SRL, su autorización o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se rige por las disposiciones civiles y penales en la materia, no podrá ser reproducido parcial o totalmente salvo autorización escrita de ECOLAB SRL; esto es válido únicamente a las muestras analizadas. Estos resultados 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.

El periodo de custodia de la muestra está definido por 30 días calendario de ingresado la muestra al laboratorio, excedido el tiempo o menor días será eliminada en función de las características evaluadas inicialmente en el producto así como su perechibilidad.

Cajao, 08 de Diciembre de 2016.

Página 3 de 3

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-017

INFORME DE ENSAYO: SE-01490-16

Cliente : TRUENQUE SAENZ LADY GLORIA
Dirección : Av. Santa Rosa N° 315 Urb. Santa Anita 1^{er} Sector (Alt. Plaza Vea Sta. Anita) - Santa Anita.
Tipo de muestra : Producto declarado por el cliente: Agua Residual.
Cantidad de muestras : Son 02 muestras en frascos de plásticos y vidrio.
Muestreo y procedencia : Muestra y fecha proporcionada por el cliente
Proyecto: PILOTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS CONTINUOS. DIRECCIÓN AVENIDA JUAN PABLO II, BELLAVISTA - CALLAO.
Fecha de muestreo : 2016-11-28, 12:00 y 12:30 horas.
Lugar de recepción de las muestras : Calle Beta N° 135, Callao.
Fecha de recepción de las muestras : 2016-11-28.
Fecha de ejecución del ensayo : Del 2016-11-28 al 2016-12-07.

Resultados:

Descripción de la muestra	Determinaciones			
	Aceites y Grasas mg/L	Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/l.	Demanda Química de Oxígeno mgO ₂ /L	Sólidos Suspendidos Totales mg/l.
Afluente al Sistema de Lodos Activados Continuo	7,4	131,2	259,1	66,0
Efluente del Sistema de Lodos Activados Continuo	1,9	26,8	51,6	11,7

Métodos de ensayos:

- Aceites y Grasas: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 22nd Ed. 2012; Oil and Grease; Liquid-Liquid, Partition -Gravimetric Method.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012; Biochemical Oxygen Demand (BOD); 5-Day BOD Test - Azide Modification.
- Demanda Química de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22nd Ed. 2012; Chemical Oxygen Demand (COD); Closed Reflux, Colorimetric Method.
- Sólidos Suspendidos Totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012; Solids; Total Suspended Solids Dried at 103 - 105 °C

El presente informe es redactado íntegramente en ECOLAB SRL, su autenticación o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia, no podrá ser reproducido parcial o totalmente salvo autorización escrita de ECOLAB SRL; esto es válido únicamente a las muestras ensayadas. Estos resultados 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.

El periodo de custodia de la muestra está definido por 30 días calendario de ingresado la muestra al laboratorio, excedido el tiempo o menos días será eliminada en función de las características evaluadas inicialmente en el producto así como su perechibilidad.

Callao, 15 de Diciembre de 2016.

Página 1 de 3

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-017**

INFORME DE ENSAYO: SE-01490-16

Resultados:

Descripción de la muestra	Determinaciones
	Numeración Coliformos Fecales ¹⁾ NMP/100mL
Afluente al Sistema de Lodos Activados Continuo	130 x 10 ³
Efluente del Sistema de Lodos Activados Continuo	49 x 10 ³

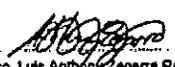
¹⁾ Coliformos Fecales es lo mismo que coliformos termotolerantes.

* El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL - DA. Sin embargo, se anota que se han realizado en un laboratorio externo y está acreditado por el INACAL - DA.*

Método de ensayo:

- Numeración de Coliformos Fecales: SM 9221 E. Multiple-Tube Fermentation, Technique for Members of the Coliform Group, Fecal Coliform Procedure.

Estado y condiciones de la muestra: La muestra llegó refrigerada. Muestra preservada con H₂SO₄ (D&O, AyG).


Odo. Luis Anthony Zagarra Ruiz
Jefe de Laboratorio
COP: 1112




Ing. Lucio Cepcha Córdova
Jefe de Calidad
CIP N° 136867

El presente informe es redactado íntegramente en ECOLAB S.R.L., su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia, no podrá ser reproducido parcial o totalmente salvo autorización escrita de ECOLAB S.R.L.; solo es válido únicamente a las muestras ensayadas. Estos resultados 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.

El período de custodia de la muestra está definido por 30 días calendario de ingreso de la muestra al laboratorio, excedido el tiempo o menos días será eliminada en función de las características evaluadas inicialmente en el producto así como su perentoriedad.

Callao, 15 de Diciembre de 2016.

Página 1 de 1

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-017**

INFORME DE ENSAYO: SE-01429-16

**ANEXO
LÍMITES DE CUANTIFICACIÓN**

Determinación	unidades	L. C. M.
Ácidos y Grasas	mg/L	1.2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.0
Sólidos Suspendidos Totales	mg	£ 2.5

L. C. M.: Límite de Cuantificación del Método, estimados para agua residual.

£ El método establece como señal significativa mínima de variación en masa cuantificable.

El presente informe es redactado íntegramente en ECOLAB SRL, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia, no podrá ser reproducido parcial o totalmente salvo autorización escrita de ECOLAB SRL; sólo es válido únicamente a las muestras ensayadas. Estos resultados 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.

El período de validez de la muestra está definido por 30 días calendario de ingresado la muestra al laboratorio, excedido el tiempo o menos días será eliminada en función de las características evaluadas inicialmente en el producto así como su perechibilidad.

Callao, 15 de Diciembre de 2016.

Página 3 de 3

APÉNDICE N° 10.4: D.S. N° 004-2017-MINAM "Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias"

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	10.0
0	231	73.0	23.1	7.32	2.33	0.749	0.250	0.042
5	153	48.3	15.3	4.84	1.54	0.502	0.172	0.034
10	102	32.4	10.3	3.26	1.04	0.343	0.121	0.029
15	69.7	22.0	6.96	2.22	0.715	0.239	0.089	0.026
20	48.0	15.2	4.82	1.54	0.489	0.171	0.067	0.024
25	33.5	10.6	3.37	1.08	0.354	0.125	0.053	0.022
30	23.7	7.50	2.39	0.767	0.266	0.094	0.043	0.021

Nota:

(*) El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema es de la mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales	
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales	Bebida de animales
FÍSICO-QUÍMICOS					
Acidos y Grasas	mg/L	5	10	10	10
Bicarbonatos	mg/L	515	515	515	515
Cianuro Wad	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.1
Cloruros	mg/L	500	500	500	500
Color (b)	Color verdadero Escala Pt-Co	100 (a)	100 (a)	100 (a)	100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500	2 500	5 000	5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15	15	15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	40	40	40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0.2	0.2	0.5	0.5
Fenoles	mg/L	0.002	0.002	0.01	0.01
Fluoruros	mg/L	1	1	1	1
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	100	100	100	100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10	10	10	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 4	≥ 5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.4	6.5 - 8.4
Sulfatos	mg/L	1 000	1 000	1 000	1 000
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Aluminio	mg/L	5	5	5	5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales	
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales	Bebida de animales
Amónico	mg/L	0.1	0.1	0.2	0.2
Bario	mg/L	0.7	0.7	**	**
Berilio	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.1
Boro	mg/L	5	5	5	5
Cadmio	mg/L	0.01	0.01	0.05	0.05
Cobro	mg/L	0.2	0.2	0.5	0.5
Cobalto	mg/L	0.05	0.05	1	1
Cromo Total	mg/L	0.1	0.1	1	1
Hierro	mg/L	5	5	**	**
Litio	mg/L	2.6	2.6	2.6	2.6
Magnesio	mg/L	250	250	250	250
Manganeso	mg/L	0.2	0.2	0.2	0.2
Mercurio	mg/L	0.001	0.001	0.01	0.01
Níquel	mg/L	0.2	0.2	1	1
Plomo	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05
Selenio	mg/L	0.02	0.02	0.05	0.05
Zinc	mg/L	2	2	24	24
ORGÁNICOS					
Bifénilos Policlorados					
Bifénilos Policlorados (PCB)	µg/L	0.04	0.04	0.045	0.045
PLAGUICIDAS					
Paraquat	µg/L	35	35	35	35
Organoclorados					
Aldrin	µg/L	0.004	0.004	0.7	0.7
Clordano	µg/L	0.006	0.006	7	7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDE)	µg/L	0.001	0.001	30	30
Dieldrin	µg/L	0.5	0.5	0.5	0.5
Endosulfán	Dg/L	0.01	0.01	0.01	0.01
Endrin	µg/L	0.004	0.004	0.2	0.2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0.01	0.01	0.03	0.03
Lindano	µg/L	4	4	4	4
Carbónicos					
Aldicarb	µg/L	1	1	11	11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**	**
Huevos de Helmintos	Huevos/L	1	1	-	-

(a) Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
 (b) Después de filtración simple.
 (c) Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.
 Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:
 El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
 Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

APÉNDICE N° 10.5: D.S. N° 003-2010-MINAM “Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales”

415676	NORMAS LEGALES	El Perú Lima, miércoles 17 de marzo de 2010
--------	-----------------------	--

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPÍ.

Artículo 5°.- Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

Artículo 6°.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

Artículo 7°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

Única.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en coordinación con el MINAM, aprobará el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente dispositivo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciséis días del mes de marzo del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Designan responsable de brindar información pública y del contenido del portal de Internet institucional del Ministerio

RESOLUCIÓN MINISTERIAL
N° 036-2010-MINAM

Lima, 16 de marzo de 2010

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013, se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

Que, la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, cuyo Texto Único Ordenado fue aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM, tiene por finalidad promover la transparencia de los actos del Estado y regular el derecho fundamental del acceso a la información consagrado en el numeral 5 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú;

Que, el artículo 3° de la citada Ley, señala que el Estado tiene la obligación de entregar la información que demanden las personas en aplicación del principio de publicidad, para cuyo efecto se designa al funcionario responsable de entregar la información solicitada;

Que, asimismo, de acuerdo a lo previsto en el artículo 5° de la mencionada Ley, las Entidades Públicas deben identificar al funcionario responsable de la elaboración de los Portales de Internet;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 070-2008-MINAM, se designó a la señorita Cristina Miranda Beas, como funcionaria responsable de brindar información que demanden las personas, y responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet del Ministerio del Ambiente;

Que, por razones del servicio y considerando la renuncia al cargo que desempeñaba en el Ministerio del Ambiente la servidora citada en el considerando precedente, resulta necesario designar al personal responsable de brindar información en el marco de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y responsable del Portal de Internet Institucional;

Con el visado de la Secretaría General y de la Oficina de Asesoría Jurídica; y

De conformidad con lo establecido en el Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM; y el Decreto Supremo N° 007-2008-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Designar al abogado Hugo Milko Ortega Polar como Responsable de brindar la información pública del Ministerio del Ambiente y Responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet Institucional, de conformidad con el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM.

Artículo 2°.- Todos los órganos del Ministerio del Ambiente, bajo responsabilidad, deberán facilitar la información y/o documentación que les sea solicitada como consecuencia de lo dispuesto en el artículo precedente, dentro de los plazos establecidos en la normatividad vigente.

Artículo 3°.- Disponer que la presente Resolución se publique en el Diario Oficial El Peruano y en Portal de Internet del Ministerio del Ambiente.

Artículo 4°.- Notificar la presente Resolución a todos los órganos del Ministerio del Ambiente, al Órgano de Control Institucional y al responsable designado.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	m/L	150
Temperatura	°C	<35

469446-2

469445-1

APÉNDICE N° 10.6: Certificado de Calibración del Multiparámetro



CERTIFICADO DE CALIBRACION N° CAL-160416

Cliente	ANALYTICAL LABORATORY E.I.A.L.		
Instrumento	MULTIPARAMETRO (En Parámetro de pH)	Alcance	: 0,00 a 14,00
Marca	Hach	Resolución	: 0,001/0,01/0,1
Modelo	HQ 40D		
Serie	121000079897		
Serie del Electrodo	131562561003		
Código Interno	EM-OPE-38		
Condición	Nuevo		
Lugar de Calibración	ENVIRONMENTAL GROUP TECHNOLOGY S.R.L.		
Fecha de Calibración	16 de Abril del 2016		
Próxima Calibración	16 de Abril del 2017		

Condiciones Ambientales

Temperatura: 24.8-25.1 °C Humedad relativa: 67-69% Presión: 999-1004 mbar

Procedimientos Utilizados

La calibración se ha realizado siguiendo el procedimiento IC-DIR-25.2 para la calibración de PH

Patrones Utilizados:

Descripción	Marca/Modelo	Serie o Lots	Vencimiento
Termo higrometro	Control/ Company	150451968	11-Jun-16
Termómetro Digital	NA/TP3001	060001531	06-Feb-17
Barómetro	Vantage Pro2	AM140204016	Febr-2017
Buffer de pH 4.01	Hanna/NA	8132	Oct-19
Buffer de pH 7.01	Hanna/NA	8458	Ene-20
Buffer de pH 10.01	Hanna/NA	7896	Jul-19

Resultados

Referencia(pH)	Indicación(pH)	Corrección	Incertidumbre
4.01	4.00	-0.01	0.01
7.01	7.01	0.00	0.01
10.01	10.00	-0.01	0.02

Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud esta dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Observaciones

Los resultados del presente documento, son válidos únicamente para el objeto calibrado y se refiere al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones; el solicitante le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.

Con fines de identificación de condición de calibrado se ha colocado una etiqueta autoadhesiva.

(*)Indicado en el manual de instrucciones del fabricante.

Realizado por:

Eduardo Miranda N.
Jefe Técnico



Fecha: 16/04/2016

Prolongación Zarumilla Mz. 02 Lt. 3, Daniel Alcides Carrón, Bellavista-Callao
Mail: infoenvirogroup@gmail.com Cel: Rrc: 951768828 / Rrc: 940243310, Fijo: 4531389

CERTIFICADO DE CALIBRACION
N° CAL-160416

Cliente : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

Instrumento : MULTIPARAMETRO (En Parámetro de T°C) **Alcance** : 0.0 a 60 °C
Marca : Hach **Resolución**: 0.1° C
Modelo : HQ 400
Serie : 121000079897
Serie del Electrodo : 131562561003
Código Interno : EM-OPE-38
Condición : Nuevo

Lugar de Calibración : ENVIRONMENTAL GROUP TECHNOLOGY S.R.L.
Fecha de Calibración : 16 de Abril del 2016
Próxima Calibración : 16 de Abril del 2017

Condiciones Ambientales
Temperatura: 24.9-25.2 °C **Humedad relativa:** 67-69% **Presión:** 999-1004 mbar

Procedimientos Utilizados
 La calibración se ha realizado siguiendo el procedimiento IC-DIR-25.3 para la calibración de Temperatura

Patrones Utilizados:

Descripción	Marca/Modelo	Serie o Lote	Vencimiento
Termo higrometro	Control/ Company	150451968	11-Jun-16
Termómetro Digital	N.A/TP3001	060001531	06-Feb-17
Barómetro	Vantage Pro2	AM140204016	Febr-2017

Resultados

Termómetro	Corrección	TCV	Incertidumbre
10.0	0.00	10.00	0.08
25.0	0.00	25.00	0.08
35.0	0.00	35.00	0.08

Temperatura Convencionalmente Verdadera(TCV)=Indicación del Termómetro +corrección

Incertidumbre

La Incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza aproximadamente 95 % con un factor de cobertura K= 2.

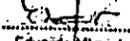
Observaciones

-Los resultados del presente documento, son válidos únicamente para el objeto calibrado y se refiere al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones, el solicitante le corresponde definir la frecuencia de calibración en funcional al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.

-Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de Ajuste.

-Con fines de identificación de condición de calibrado se ha colocado una etiqueta autoadhesiva.

(*)Indicado en el manual de instrucciones del fabricante.

Realizado por: 
Eduardo Miranda N.
Jefe Técnico



Fecha: 16/04/2016

CERTIFICADO DE CALIBRACION
N° CAL-160416

Cliente : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

Instrumento : MULTIPARAMETRO (En Conductividad) **Alcance** : 0 uS/cm a 19.99
Marca : Hach **Resolución** : 0,01 uS/cm / 0,1 uS/cm
Modelo : HQ 400
Serie : 12100079897
Serie del Electrodo : 132042587010
Código Interno : EM-OPE-38
Condición : Nuevo

Lugar de Calibración : ENVIRONMENTAL GROUP TECHNOLOGY S.R.L.
Fecha de Calibración : 16 de Abril del 2016
Próxima Calibración : 16 de Abril del 2017

Condiciones Ambientales
Temperatura: 24.9-25.2 °C **Humedad relativa:** 67-69% **Presión:** 999-1003 mbar

Procedimientos Utilizados
 La calibración se ha realizado siguiendo el procedimiento IC-DIR-25.2 para la calibración de Conductímetro.

Patrones Utilizados:

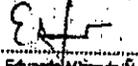
Descripción	Marca / Modelo	Serie o Lote	Vencimiento
Termómetro	Control / Company	150451968	11-Jun-16
Termómetro Digital	N/A/TP3001	060001531	06-Feb-17
Barómetro	Vantage Pro2	AM140204016	Febr-2017
Buffer C.E: 1413 uS/cm	Hanna/N.A	7905	Jul-19
Buffer C.E: 12.88 mS/cm	Hanna/N.A.	6849	Oct-18

Referencia	Indicación	Corrección	Incertidumbre
1413 uS/cm	1413 uS/cm	0.0 uS/cm	± 7 uS/cm
12.88 mS/cm	12.89 mS/cm	+0.01 mS/cm	± 0.1 mS/cm

Incertidumbre
 La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la Incertidumbre en la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Observaciones
 -Los resultados del presente documento, son válidos únicamente para el objeto calibrado y se refiere al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones; el solicitante le corresponde definir la frecuencia de calibración en funcional al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.
 -Con fines de identificación de condición de calibrado se ha colocado una etiqueta autoadhesiva (*) indicado en el manual de instrucciones del fabricante.

Realizado por:


 Eduardo Miranda R.
 Jefe Técnico



Fecha: 16/04/2016



ENVIRONMENTAL GROUP TECHNOLOGY

CONSTANCIA DE VERIFICACION DE ZERO N° CAL-160416

Mediante el presente documento se deja constancia que ENVIROGROUP S.R.L ha realizado la verificación de Zero del siguiente instrumento

Cilente : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L

Instrumento : MULTIPARAMETRO
Marca : Hach
Modelo : HQ 40D
Serie : 121000079897
Serie del Electrodo : 153082598023
Código Interno : EM-OPE-38
Condición : Nuevo

Soluciones de verificación empleada:

- Solución de Sulfito de Oxígeno Disuelto HI 7040-2 Lote 8231 Exp. Oct-2019

Metodología empleada:

- Se realizó la Verificación siguiendo el método recomendado por el fabricante en el manual del equipo.

Resultados:

Luego del Mantenimiento preventivo del equipo se efectuó la verificación de acuerdo a:

Valor Referencia	Valor Leído
0.00 mg/L	0.09mg/L

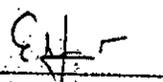
Temperatura de la muestra: 23.8 °C

Valor de Oxígeno disuelto compensado por el equipo a 25°C

FECHA DE VERIFICACIÓN: 16 de Abril del 2016.

Vigencia de Verificación: 1 año

Realizado por:


Eduardo Miranda N.
Jefe Técnico



Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Daniel Alcides Carrión, Bellavista-Callao
Mail: infoenvirogroup@gmail.com Cel: Rpc: 961768828 / Rpc: 940243310, Hijo: 4531389

APÉNDICE N° 10.7: Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA						
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS GENERAL	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES			MÉTODO / EQUIPO
			VARIABLE	INDICADOR	ÍNDICE	
¿El sistema de lodos activados continuos de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales de la Facultad de Ingeniería Ambiental de Recursos Naturales (FIARN), permitirá tratar parte de los efluentes generados en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Callao de modo que se pueda aprovechar en el riego de áreas verdes?	<p>OBJETIVO GENERAL:</p> <p>Obtener efluente que cumpla con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de agua para su uso en el riego de áreas verdes mediante el sistema de lodos activados continuos en la Planta Piloto de aguas residuales de la FIARN.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>* Lograr que el Sistema de Tratamiento de Lodos Activados Continuos opere sin dificultades.</p> <p>* Evaluar los parámetros que favorezcan el funcionamiento del sistema de tratamiento de lodos activados continuos.</p>	<p>“El efluente proveniente del sistema de lodos activados continuos de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales de la FIARN es apta para el uso en el riego de áreas verdes”</p>	Independiente X:			
			Sistema de Tratamiento de lodos activados continuos.	a) Caudal (m ³ /día)	0.3	Volumétrico
			Interviniente Z:			
			Parámetros de control del sistema de lodos activados continuos.	b) Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)		APHA 2540D
				c) Sólidos sedimentables (mg/L)		Cono Imhoff
				d) Oxígeno disuelto (mg O ₂ /L)	2-5	Multiparámetro
				e) Sólidos suspendidos totales del licor mezcla (mg/L)		APHA 2540 D
			Dependiente Y:			
Efluente del sistema de lodos activados continuos.	f) Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L).	15	APHA 5210B			
	g) Demanda química de oxígeno (mg/L)	40	APHA 5220D			
	h) Sólidos suspendidos totales (mg/L)	-	APHA 2540D			

	<p>* Monitorear los indicadores para el control del sistema de tratamiento de lodos activados continuos.</p> <p>* Reducir el impacto generado por las aguas residuales domésticas.</p>			<p>i) Aceites y grasas (mg/L)</p> <p>j) Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)</p> <p>k) Potencial de hidrógeno (pH)</p> <p>l) Temperatura (°C)</p>	<p>5</p> <p>1000</p> <p>6.5 – 8.5</p> <p>Δ3</p>	<p>APHA 5520C</p> <p>APHA 9221 E</p> <p>Multiparámetro</p> <p>Multiparámetro</p>
--	--	--	--	--	---	--