



SEP 2017

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

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



RE	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
CE	VICE-RECTORÍA DE INVESTIGACIÓN
IB	21 AGO 2017
ED	HORA: 11:30
DO	FIRMA: [Signature]

**INFORME FINAL DEL PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN**

**“EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO
COMPACTO DE LODOS ACTIVADOS DEL TIPO
SECUENCIAL PARA LOS EFLUENTES
DOMÉSTICOS Y SU REÚSO EN EL RIEGO DE
JARDINES Y ÁREAS VERDES”**

Autor: Mg. Máximo Fidel Baca Neglia - Código 1233

**PERIODO DE EJECUCIÓN: Del 01 de agosto de 2015 al 31
de julio de 2017**

Resolución de aprobación N° 535-2015-R, Callao 18.08.2015

Callao, Julio del 2017

[Handwritten signature]

I. INDICE

	Pág.
I INDICE	001
II RESUMEM y ABSTRAC	006
III INTRODUCCION	008
IV MARCO TEORICO	013
4.1. Antecedentes	013
4.1.1. Diseño y Construcción de un Reactor Discontinuo Secuencial para remoción de DBO.	014
4.1.2. Biorreactores de Lodos Activados para el tratamiento de aguas residuales a escala de laboratorio	016
4.1.3. Plantas Jet Inc.	017
4.1.4. Desempeño de un Reactor Biológico Secuencial (RBS) en el tratamiento de Aguas Residuales Domesticas.	020
4.1.5. Estudio del Proceso de Remoción de Fósforo y Nitrógeno en un Reactor Discontinuo Secuencia (SBR) variando los Tiempos de Ciclo.	021
4.1.6. Evaluación de la eficiencia del Tratamiento de las Aguas Residuales Domesticas para el riego de áreas verdes en el Sistema de Lodos Activados de la Planta Piloto de la FIARN – UNAC.	022
4.2. Teorías generales relacionadas con el tema	023
4.2.1. Aguas Residuales	024
4.2.2. Aguas residuales domésticas.	025
4.2.3. Parámetros de control en el tratamiento de aguas residuales	026
4.2.4. Sistemas de Tratamiento	029
4.2.5. Breve descripción de cada una de las tecnologías de tratamiento.	029
4.3. Parámetros de Diseño de Reactores de Lodos Activados Secuenciales.	037
4.3.1. Carga volumétrica, (V_s).	038
4.3.2. Relación Alimento/Microorganismos, (F/M).	038
4.3.3. Tiempo de Retención Hidráulico, (TRH).	039
4.3.4. Requerimiento de Oxígeno, (O_R).	039
4.3.5. Componentes diversos para el sistema compacto (SBR).	041
4.3.6. Sistema de riego para usos doméstico.	048

V	MATERIALES Y METODOS	051
	5.1. Tipo de Investigación.	051
	5.2. Diseño de la Investigación.	053
	5.3. Diseño, Construcción y Operación del Sistema de Tratamiento Compacto.	054
	5.3.1. Calculo del Volumen del reactor, (V).	054
	5.3.2. Calculo del requerimiento de Oxigeno (O_R).	056
	5.3.3. Placa de Control – Secuencial.	057
	5.3.4. Características de los afluentes domésticos y de los efluentes tratados.	061
	5.3.5. Sistemas de riego para las áreas verdes.	062
	5.4. Estrategia de prueba de hipótesis.	065
	5.5. Variables.	067
	5.6. Población.	069
	5.7. Muestra.	070
	5.8. Técnicas de Investigación.	070
	5.8.1. Instrumentos de recolección de datos.	071
	5.8.2. Procesamiento y Análisis de datos.	076
VI	RESULTADOS	078
	6.1. Contrastación de Hipótesis.	078
	6.2. Análisis e interpretación.	084
	6.2.1. Observaciones referidas a la Demanda Bioquímica de Oxigeno, (DBO_5).	085
	6.2.2. Observaciones referidas a la Demanda Química de Oxigeno (DQO).	086
	6.2.3. Observaciones referidas a los Aceites y Grasas, (A y G).	088
	6.2.4. Observaciones referidas a los Coliformes Fecales, (CF).	090
	6.2.5. Observaciones referidas a la Conductividad Eléctrica, (CE)	091
	6.2.6. Observaciones referidas a la Temperatura, (C°).	093
	6.2.7. Observaciones referidas al Potencial de Hidrogeno, (pH).	095
	6.2.8. Observaciones referidas al Oxígeno disuelto, (OD).	097
	6.2.9. Observaciones referidas a los Solidos Totales, (STD).	099
	6.2.10. Observaciones referidas a la Turbiedad, (NTU).	101
VII	DISCUSIÓN	103
	7.1. Discusión referida a la Demanda Bioquímica de Oxigeno, (DBO_5).	103
	7.2. Discusión referida a la Demanda Química de Oxigeno, (DQO).	105

7.3. Discusión referida a las Observaciones de los Aceites y Grasas, (AyG).	106
7.4. Discusión respecto a las Observaciones de los Coliformes Fecales, (CF).	107
7.5. Discusión respecto a las Observaciones de la Conductividad Eléctrica, (CE).	108
7.6. Discusión respecto a las Observaciones de la Temperatura, (°C).	109
7.7. Discusión respecto a las Observaciones al Potencial de Hidrogeno, (pH).	110
7.8. Discusión respecto a las Observaciones referidas al Oxígeno Disuelto, (OD).	112
7.9. Discusión respecto a los Solidos Totales, (STD).	113
7.10. Discusión respecto a la turbiedad, (NTU).	114
7.11. Conclusiones.	115
7.12. Recomendaciones.	121
VIII REFERENCIALES	122
IX APÉNDICES	125
FIGURAS:	125
5.3.c. Vista del área donde se observa el Jardín de la FIARN.	125
5.3.d. Buzón (ME1)	125
5.3.1.a. Plano del Sistema Compacto de Lodos Activados Secuencial (SBR).	126
5.3.1.b. Tanque fabricado en fibra de vidrio del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuenciales (SBR).	126
5.3.1.c. Otras dos vistas del tanque fabricado en fibra de vidrio.	127
5.3.1.d. Dos vistas del reactor durante el montaje.	127
5.3.3.d. Vistas del conjunto de Válvulas de Solenoides para el aire.	128
5.3.3.e. Vista de los dos Sopladores Electromagnéticos.	128
5.3.3.f. Vista que muestra las dos Electrobombas para aguas crudas.	128
5.3.3.g. Vista de tablero eléctrico y de la Caja donde se ubica la Tarjeta de Control.	129
5.3.3.h. Vista anterior y posterior de la Tarjeta de Control.	129
5.3.3.i. Vista durante la instalación de electrobomba sumergible.	129
5.3.3.j. Vistas del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial.	130
5.3.3.k. Vistas de las válvulas de salida del efluente tratado.	131
5.3.5.a Jardín de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos	

Naturales – FIARN.	131
5.3.5.b. Plano de distribución de los difusores de riego del jardín de la FIARN.	132
5.3.5.c. Vista en proyección del Sistema de Tratamiento con el Sistema de Riego de la FIARN.	132
5.3.5.d. Vista en proyección desde el Sistema de Riego de la FIARN al Sistema de Tratamiento.	133
5.3.5.e. Vista del lado derecho del Sistema de Tratamiento con el Sistema de Riego de la FIARN.	133
5.3.5.f. Vista del lado derecho de Jardín de la FIARN contiguo al Sistema de Riego.	134
5.3.5.h. Vista del lado izquierdo del Jardín de la FIARN contiguo al Sistema de Riego.	134
TABLAS:	135
3.5. Valores promedio de los parámetros que caracteriza el efluente monitoreado en la Ciudad Universitaria de la UNAC.	135
4.1. Tiempos de las Fases para el Sistema de tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial programados para la investigación.	135
5.3.4. Métodos Normalizados y Equipos para Monitoreo de Aguas Residuales.	135
Matriz de Consistencias	136
X ANEXOS	137
FIGURAS:	137
3. Situación del Manejo de las Aguas Residuales en Lima.	137
4.1.1. Sistema de tratamiento SBR a Escala de Laboratorio.	137
4.1.2. Montaje del Sistema de Laboratorio de Lodos Activados.	138
4.1.3. Planta Compacta Residencial Jet Serie 1500.	138
4.1.4. Reactor Biológico secuencial (RBS) a escala piloto.	139
4.1.6. Planta Piloto de Lodos Activados (SBR), de la FIARN – UNAC.	139
4.3.a. Sistema de Lodos Activados Continuo.	140
4.3.b. Etapas de un Ciclo de operación de un Reactor SBR.	141
5.3.a. Vista del Jardín de la FIARN.	141
5.3.b. Vista Lateral del Jardín de la FIARN.	141
6.2.a. Informe de Ensayo con Valor Oficial N° 21201L/17-MA.	142
6.2.b. Informe de Ensayo con Valor Oficial N° 21627L/17-MA-MB.	143



6.2.c. Informe de Ensayo con Valor Oficial N° 21868L/17-MA-MB.	144
6.2.d. Informe de Ensayo Con Valor Oficial N° 22167L/17-MA-MB.	145
6.2.e. Informe de Ensayo Con Valor Oficial N° 35530L/17-MA-MB.	146
6.2.f. Informe de Ensayo Con Valor Oficial N° 33194L/17-MA-MB.	147
6.2.a. Diagrama de Variación de temperaturas durante Enero 2017 en el Callao.	148
6.2.b. Diagrama de Variación de temperaturas durante Febrero 2017 en el Callao.	148
6.2.c. Diagrama de Variación de temperaturas durante Marzo 2017 en el Callao.	148
TABLAS:	149
3. Consumo de Agua para el Riego de áreas Verdes de Lima ty Callao.	149
3.a. Proyección de áreas verdes urbanas en los distritos de Lima Metropolitana en función a niveles económicos y tipos de fisiografía.	150
4.2.2.a. Composición Típica del Agua Residual Doméstica.	151
4.2.2.b. Operaciones, Procesos Unitarios y Sistemas de Tratamiento Utilizados para eliminar la mayoría de contaminantes presentes en las Aguas Residuales.	152
4.3.1. Parámetros de diseño para los procesos de fangos activados.	153
5.8.1. Criterios para Recolección, Preservación y Almacenamiento.	154
5.8.2. Valores de los Indicadores de la Variable Dependientes según los ECA para Agua Categoría 3.	154

II. RESUMEN Y ABSTRACT

El presente trabajo de Investigación, titulado: **EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO COMPACTO DE LODOS ACTIVADOS DEL TIPO SECUENCIAL PARA LOS EFLUENTES DOMÉSTICOS Y SU REÚSO EN EL RIEGO DE ÁREAS VERDES Y JARDINES**, permitió demostrar que el sistema satisface las necesidades para tratar efluentes del tipo domésticos obteniendo un producto que cumple con los ECA para su reuso como agua de riego de áreas verdes y jardines de viviendas y/o conjuntos habitacionales, para demostrar la hipótesis de investigación, hubo la necesidad de diseñar, construir, operar y evaluar el sistema de tratamiento compacto de lodos activados del tipo secuencial (capacidad de 800 L/día), el que previamente fue validado para utilizarse como herramienta de trabajo, durante toda la parte experimental, se operó y evaluó en las instalaciones de la Universidad Nacional del Callao, utilizándose los efluentes generados en la ciudad universitaria.

Se obtuvieron los siguientes resultados promedios, para el caso de la DBO_5 se obtuvo una eficiencia del orden del 92.14% (salida 11.57 mg/L), para la DQO se logró remoción del orden de 89.37% (salida 34.50 mg/L), para el caso de Aceites y Grasas se alcanzó una remoción del orden de 93.60 (salida 1.63 mg/L), para el caso de los Coliformes Fecales este no es significativo solo 66.25%, para el caso de la CE se obtuvo un valor final de 2307.28 $\mu\text{S/cm}$, el Potencial hidrogeno promedio a la salida fue de 7.25 unidades, el valor del OD a la salida fue de 5.05 mg/L, en el caso de los STD el valor alcanzo a la salida de la unidad 741.30 mg/L, mientras la turbiedad alcanzo el valor promedio de 6.68 NTU, en todos los casos cada una de los parámetros cumplió con las exigencias de los ECA de la Clase III de agua para riego,

Palabras Clave: Lodos activados secuencial, efluentes domésticos, reuso de agua para riego.

ABSTRACT

The present research work, entitled: **EVALUATION OF A SYSTEM OF TREATMENT COMPACT ACTIVATED SLUDGE OF THE SEQUENTIAL TYPE FOR DOMESTIC WASTEWATER AND ITS REUSE IN IRRIGATION OF GARDENS AND GREEN AREAS**, allowed to prove that the system meets the needs for treating effluents from the type domestic obtaining a product that meets the ECA for its reuse as irrigation of green areas and gardens in housing or housing complexes to the research hypothesis, there was the need to design, build, operate, and evaluate treatment system compact activated sludge of the sequential type (capacity of 800 L/day), which was previously validated for use as tool, during the experimental part, operated and evaluated in the facilities of the National University of Callao, using the effluents generated in the University City.

Were obtained the following results averages, in the case of the BOD₅ obtained an efficiency of the order of the 92.14% (output 11.57 mg/L), for COD were removal of the order's 89.37% (output 34.50 mg/L), in the case of Oils and Fats was reached a removal from the order of 93.60 (exit 1.63 mg/L), for the case of Fecal Coliforms is not significant only 66.25% , in the case of the EC was obtained a final value of 2307.28 μ S/cm, the potential hydrogen output averaged 7.25 units, the OD to the output value was 5.05 mg/L, in the case of the STD value reached out of 741.30 unit mg/L, while the turbidity reached the average value of 6.68 NTU in all cases each of the parameters complied with the demands of the ACE of the III class of water for irrigation,

Key words: Sequential activated sludge, domestic effluent, irrigation water reuse

III. INTRODUCCIÓN

Frente a las limitaciones de agua potable que existe en los diversos países del mundo, no es ajena a esta problemática el Perú y específicamente la ciudad de Lima y Callao para satisfacer las necesidades del total de su población, y a pesar de ello la gran mayoría que habita en las zonas urbanas tiene una demanda de agua muy elevada en comparación con otras capitales en la región.

"Sin embargo, esta demanda elevada no es uniforme, son los barrios de medios y altos recursos que más agua usan, mientras que los habitantes de los barrios marginales sufren la situación de escasez diariamente. El 8% de la población de Lima y Callao en su mayoría ubicado en los asentamientos humanos ubicados en las laderas de los cerros de la ciudad es abastecida a través de camiones cisterna, pozos artesanales, ríos, acequias o manantiales. Muchas veces esta agua es de inadecuada calidad y su provisión no es segura"¹.

La cobertura actual de agua potable en la ciudad es de 92%, es decir, cerca de 800 mil habitantes no cuenta con el servicio de agua potable.

El consumo promedio en Lima es elevado (250 L/hab.día), debido a prácticas de uso ineficiente y por las filtraciones en el sistema de distribución, originada por la antigua infraestructura en mal estado. Cerca de 1,5 millones de limeños no tienen acceso al agua potable en sus viviendas².

Esta situación de escases se ve incrementada cuando el agua no se usa en forma racional, es decir cuando se hace mal uso de esta, (uso ineficiente del agua), en otras palabras cuando la mayoría de los municipios de Lima y Callao actualmente estarían consumiendo 2,300 L/s para el riego de sus áreas verdes recreativas, caudal atendido por 14.4 L/s del río Surco, 100 L/s directamente del río Rímac y otros 400 L/s de

¹ Lima, mega ciudad en el desierto, Módulo para la creación de materiales de difusión sobre el problema hídrico en Lima y Callao – Aqua Fondo, Inversión de agua para Lima

² Fuentes de información: INEI, SEDAPAL, ANA, USAID

las plantas de tratamiento de aguas residuales, por tanto quedaría claro que los restantes 1,785.6 L/s deben ser atendidos con agua potable o subterránea, valioso recurso que no se estaría utilizando como se debiera, en el consumo de la población de la ciudad, como se aprecia en el Anexo, específicamente en la Tabla 3 "Consumo de Agua para el Riego de áreas Verdes de Lima y Callao".

La Tabla 3 se complementa con la Figura 3, que nos ilustra la situación actual del manejo de las aguas utilizadas para el riego de 3,700 ha de Áreas Verdes de Lima Metropolitana, (áreas verdes de parque, avenidas, parques zonales, entre otras), incluyendo las fuentes de agua que abastecen tanto a la ciudad como al riego agrícola.

Sin embargo no existe una cuantificación de otro **volumen bastante significativo como es el caso del consumo de agua potable utilizada para el riego de los jardines y de las áreas verdes específicamente de las viviendas, residencias, edificios multifamiliares, complejos habitacionales entre otros que se ubican en las zonas urbanas de nivel medio y altos de Lima y Callao** el que podríamos estimar a partir de un 5%³ de los 2,300 L/s, de los utilizados en el riego de las áreas verdes municipales de Lima y Callao (3,700 ha), es decir 115 L/s, (9'936,000 L/día), el que permitiría una cobertura de riego de 2'838,857 m² (283.88 ha) de áreas verdes y jardines de viviendas, residencias, edificios multifamiliares, complejos habitacionales entre otros, que se ubican en un área de 188.88 Km² (18,857 ha), es decir solo de los niveles socioeconómicos altos y medios de Lima Metropolitana las cuales se distribuyen como se muestra en la Tabla 3.a. "Proyección de áreas verdes urbanas en los distritos de Lima Metropolitana en función a niveles económicos y tipo de fisiografía"

³ Estimación no basada en estudios estadísticos sino es una propia percepción del suscrito, pero para todos es evidente el uso irracional del agua es decir del mal uso del agua potables frente a la demanda insatisfecha, por lo que se hace necesario un estudio real de este mal uso.

Por otro lado, en entrevista al Gerente Comercial de SEDAPAL, Sr. Jorge Gómez, explica: "En nuestro país no tenemos una cultura del ahorro del agua. Las personas que derrochan este recurso no tienen conocimiento de todo los procesos por el que pasa hasta llegar a los caños, dejar la manguera para regar las plantas consume aproximadamente 1200 litros por hora, esto equivale al consumo de cinco personas. Esta es una práctica común y más aún en los meses de verano, si la lluvia escasea si se presentase el fenómeno de El Niño en algunas zonas del país"⁴. Siendo pues la situación del volumen de consumo de agua potable utilizada para el riego de los jardines y de las áreas verdes de las viviendas, residencias, edificios multifamiliares, complejos habitacionales entre otros que se ubican en las zonas urbanas de nivel medio y altos de Lima y Callao el que estimamos en 115 L/s, (3' 626, 640 m³/año), en el cual enfocamos el problema de estudio, es decir:

¿El uso inadecuado de agua potable para el riego de las áreas verdes y jardines de viviendas, residencias, edificios multifamiliares, complejos habitacionales y de otras ubicadas en las zonas urbanas alta y media de la ciudad de Lima y Callao, contribuyen con las limitaciones para el abastecimiento de la población con escaso o nulo abastecimiento de agua potable, de modo que si se implementase un sistema compacto de tratamiento de los efluentes domésticos que permitan su reúso en el riego de áreas verdes y jardines, disminuiría el uso inadecuado del agua potable?

El presente trabajo de investigación tuvo por objeto evaluar un sistema de tratamiento para los efluentes generados en las viviendas, residencias u otras unidades familiares que permita su reúso en el riego de las áreas verdes y jardines de las propias viviendas, residencias u otras unidades

⁴ Entrevista publicada por el Diario el Comercio el día Viernes 25 de marzo del 2016, pág. 10, en el Artículo denominado "El reto del ahorro del agua en Lima".

IV. MARCO TEORICO

4.1. Antecedentes.- Uno de los sistemas de tratamiento de efluentes más conocidos y extendidos a nivel mundial, es el tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados que se desarrolló por primera vez en Inglaterra en el año 1914 por Arden y Lockett y su nombre proviene de la producción de una masa activa de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia (masa activada de microorganismos contenidos en un reactor capaces de metabolizar y consumir la materia orgánica presente en el agua residual en un medio aerobio), hoy en día existen muchas versiones del proceso original, pero son todas fundamentalmente iguales⁵ y actualmente es el método estándar de tratamiento de aguas residuales en los países desarrollados y en vías de desarrollo, tiene como objetivo la remoción de materia orgánica en términos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de las aguas residuales.

Una planta de lodos activados es un sistema de mezcla completa, en un ambiente aerobio en el reactor el que se consigue mediante el uso de aireadores mecánicos que pueden estar ubicados en el lecho ó superficie del mismo. Al cabo de un periodo determinado de tiempo, se forma una biomasa que se mantiene en suspensión en el seno del agua en el cual se mantiene un aporte continuo de oxígeno para asegurar una buena biodegradación, consiguiéndose rendimientos de eliminación de DBO en torno al 90%⁶. La mezcla de las nuevas células con las antiguas se conduce hasta un tanque de sedimentación para ser separados por decantación del agua residual

⁵ Metcalf & Eddy (1995). *Ingeniería de las aguas residuales (vol. I)*, Madrid: McGraw-Hill.

⁶ Carmen Orozco Barretxea, Antonio Pérez Serrano, M^a Nieves Gonzales Delgado, Francisco J. Rodríguez Vidal y José Marcos Alfayate Blanco (2004). *"Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química"*, Madrid: Thomson Editores Spain.



tratada, una parte de las células sedimentadas se recirculan para mantener en el reactor la concentración de células deseadas, mientras que la otra parte se purga del sistema⁷. El empleo de lodos activados ofrece una alternativa eficiente para el tratamiento de aguas residuales ya que poseen una gran variedad de microorganismos capaces de remover materias orgánicas, patógenas y nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), razón por la cual resulta un método ideal para tratar aguas residuales domésticas y municipales.

4.1.1. Diseño y Construcción de un Reactor Discontinuo

Secuencial para remoción de DBO⁸.- En Noviembre de 1998, durante el XXVI Congreso Interamericano de Asociación Internacional de Ingeniería Sanitaria, llevado a cabo en Lima – Perú, fue presentado el trabajo de investigación cuyo nombre nos precede, el trabajo de investigación se realizó con el fin de obtener datos que amplíen el espectro de información que se tiene en el campo de estudio de los reactores discontinuos secuenciales ya que esta técnica presenta diversas ventajas sobre el proceso de lodos activados, pero con una desventaja de limitación con respecto a los volúmenes manejados. El desarrollo de la Investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa Diseños Ambientales, C.A., usando para ello un reactor de 50 L, controlado con un PLC. Las mediciones que se realizaron fueron Sólidos Suspendidos en el reactor, DBO en la Alimentación y descarga, además del Oxígeno disuelto.

El sistema de tratamiento tipo SBR a escala de laboratorio diseñado y construido para la realización de esta

⁷ Metcalf & Eddy (1995). **Ingeniería de las aguas residuales (vol. I)**, Madrid: McGraw-Hill

⁸ Rafael Dautan, M.L.Pérez, A. Contreras, A. Marzana, B. Rincones. El Trigal Centro, Calle Pocaterra N° 82-89. Valencia, Estado Carabobo, Venezuela.

investigación, funciono adecuadamente, en la realización de procesos biológicos en los que se requirió la eliminación de la DBO y estuvo operando durante 9 meses sin observarse fallas en los dispositivos que conformaron cada uno de los procesos y pudo realizarse eficientemente el procesos biológicos con lodos activados usando etapas aeróbicas y anóxicas.

Los resultados de las mediciones mostraron mejores rendimientos para los parámetros típicos de un sistema de lodos activados por aireación extendida.

Se realizaron dos procesos para estudiar la remoción de DBO₅, en el primero se realizó un ciclo de tratamiento aeróbico, en el segundo se incluyó una fase anóxica. En el primer caso se estudió el comportamiento del equipo y sistema de tratamiento y se midió la eficiencia de remoción de la DBO₅. En el segundo proceso en que se incluyó una etapa anóxica se varió la edad del lodo (Θ_c), entre 17 y 100 días, controlada a través de la purga diaria de lodos. Se pudo observar que la eficiencia del primer proceso vario entre 96 y 97%, para el segundo proceso se obtuvo valores desde 91.8% para Θ_c de 17 días y hasta 98 %. Es de hacer notar que para el primer caso los "Sólidos Volátiles Suspendidos en el Licor Mezcla " (SSVLM), que representan la concentración de microorganismos en el reactor, se mantuvieron entre 1800 mg/L y 2200 mg/L; mientras para el segundo caso los SSVLM se mantuvieron entre 3175 mg/l y 3945 mg/l. La Carga Volumétrica (V_s = Relación entre la Carga de DBO₅ aplicada y el Volumen del Reactor) teórica para el proceso sin des nitrificación fue de 0.216Kg DBO₅/m³ día, y para el proceso con des nitrificación la V_s vario entre 0.19 y 0.255. Con estos valores de V_s y SSVLM, se logró que la relación F/M sea mayor en el caso del primer proceso. Los valores de

eficiencia, Vs, F/M, SSVLM, encontrados para los sistemas estudiados se hallaron dentro de los rangos de diseño recomendados por la Water Environment Federation (WEF) y Metcalf & Eddy⁹, para el proceso de aireación extendida, ver en Anexo la Figura 4.1.1.

4.1.2. Biorreactor de Lodos Activados para el tratamiento de aguas residuales a escala de laboratorio.- En el 2007, en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad El Bosque de Colombia, se realizó el diseño, la construcción, la puesta en marcha y operación de un Biorreactor de Lodos Activados para el tratamiento de aguas residuales a escala de laboratorio. El modelo seleccionado fue una adaptación del propuesto por Reynolds & Richards (2006), Ver en Anexo la Figura 4.1.2., las ecuaciones empleadas fueron deducidas según los procedimientos de Metcalf & Eddy (1995). El reactor construido tuvo un volumen total de 18 litros de capacidad, de los cuales 12 litros correspondían a la zona de aireación y 6 litros a la zona de sedimentación, dichas zonas se encontraba separada por medio de un deflector regulable. El sistema fue evaluado utilizando un agua residual sintética de baja carga y composición conocida durante un periodo de cuatro semanas¹⁰. El pH, la temperatura y el oxígeno disuelto del reactor oscilaron entre 7.2 y 7.4, 20 y 24 C°, 4.2 y 4.8 mg/L respectivamente. El comportamiento de estos tres parámetros a lo largo de la evaluación indicó una buena condición para la formación y desarrollo de los microorganismos. El contenido promedio mensual de materia orgánica en términos de DQO del afluente se encontró en 290 mg/L, mientras que en el

⁹ Metcalf & Eddy (1995). **Ingeniería de las aguas residuales**, Madrid: McGraw-Hill. España, 1995. Vol.1 y 2

¹⁰ Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio, Trabajo de Investigación realizado por el Ing. Ambiental de la Universidad del Bosque Julián Andrés Varila Quiroga y el Ingeniero Químico de la Universidad Nacional de Colombia Fabio Eduardo Díaz López, año 2007

efluente se encontró en el intervalo de 31 a 76 mg/L, para un porcentaje de remoción de materia orgánica en términos de DQO entre 73 y 90%.

Los valores de la DQO en el efluente y la Velocidad de Utilización de Oxígeno (VUO) permanecieron entre 30 - 35 mg/L min y 0.3 - 0.4 mg/L min respectivamente durante las dos últimas semanas de operación del sistema, por lo que se concluyó que el sistema logró estabilizarse y alcanzar las condiciones de equilibrio. El porcentaje de remoción de la DQO aumento a medida que se incrementaron los tiempos de retención hidráulica del sistema, llegando a un 90% para è mayor a 14 horas. El índice volumétrico de lodos (IVL) osciló entre 1.2 y 2.3 ml/g, valores que indicaron que el lodo cultivado es de decantación pobre y presentando el problema denominado lodo filamentoso. Los coeficientes cinéticos de crecimiento biológico obtenidos en esta investigación, representativas para un agua residual sintética de baja carga fueron las siguientes: Velocidad específica de consumo de sustrato $k = 1.5 \text{ d}^{-1}$;

Producción de Biomasa por consumo de sustrato $Y = 0.038 \text{ mg SSVLM/mg DBO}_5$;

Consumo de Biomosas por respiración endógena $k_d = 0.1 \text{ d}^{-1}$;

Utilización de Oxígeno por consumo de sustrato $a = 0.4612 \text{ mg O}_2/\text{mg DQO}$;

Utilización de Oxígeno por consumo de sustrato $b = 0.6 \text{ d}^{-1}$.

4.1.3. Plantas Jet Inc.- Desde el año de 1955 la empresa americana **Jet Inc**¹¹. comercializa plantas de tratamiento de efluentes domésticos para su instalación a nivel residencial, según el modelo **Jet J-500-800 PLT** constituida por un tanque de plástico de peso ligero comparado por los sistemas de

¹¹ La Cía. Hitroteco representante exclusivo en Costa Rica de la Compañía JET INC. especializada en tecnología para el tratamiento de aguas domésticas.



tratamiento Jet hormigón estándar. Los tanques de la serie PLT ofrecen capacidad de tratamiento variable de 500 a 800 galones por día (1890 a 3024 litros por día respectivamente). Los tanques de la serie PLT son rotatorios moldeado de peso ligero, material de polietileno para ofrecer un tanque transparente con máxima resistencia y durabilidad. Los tanques de la serie PLT son fáciles de transportar e instalar en las más difíciles condiciones de sitio y local cuentan con la red global de Jet de distribuidores capacitados y certificados. La Planta de tratamiento doméstica **Jet Serie 1500**, para tratamiento de aguas residuales, cuenta con 5 modelos o tamaños con capacidades para: 500, 750, 1000, 1250 y 1500 galones por día (1890, 2835, 3780, 4725 y 5670 litros por día respectivamente). Están diseñadas para dar servicio desde una casa individual hasta un conjunto de 10 casas. Es un sistema diseñado para la descontaminación de aguas residuales domésticas de cuidadosa ingeniería y excelencia en tecnología actual. Ver en Anexo la Figura 4.1.3.

La planta residencial JET, es una planta tipo paquete, muy pequeña, totalmente automática sin componentes electrónicos complejos, de muy bajo consumo de energía, sin filtros que cambiar y diseñada para manejar todos los desechos de una casa. En sólo 24 horas, convierte las aguas residuales domésticas en un líquido claro, sin olores y ambientalmente amigable. Esta Planta de tratamiento emplea el sofisticado proceso bioquímico "BAT" ("Tratamiento biológico acelerado", por sus siglas en inglés) en el cual las bacterias aerobias utilizan el oxígeno disuelto para vivir y se alimentan de los nutrientes (desechos) presentes en el agua, en el que un gran número de microorganismos (millones) llamados "Biomasa" se adhieren al medio empacado (Medio Biológico) y forman una bio-película la cual se alimenta al pasar el agua con



desechos. Este proceso llamado digestión aerobia, también es utilizado en las grandes plantas de tratamiento municipales y los gases que genera además de ser inodoros son trece veces menos contaminantes que los que generan los procesos anaeróbicos como los tanque sépticos y plantas anaerobias.

- En la **primera etapa** de pre-tratamiento, la planta recibe los desechos domésticos y los mantiene el tiempo suficiente para permitir que la materia sólida se sedimente hacia el estrato de los lodos en el fondo. En esta etapa, las bacterias anaerobias pre-tratan los contaminantes de las aguas residuales sedimentados.

- En la **segunda etapa** de aeración, también llamado "Bio-reactor", la materia finamente dividida y pre-tratada proveniente del primer compartimiento es mezclada con lodos activados y aireada. El aireador JET, inyecta grandes cantidades de aire y su funcionamiento asegura una alta transferencia de oxígeno en el Bio-reactor. La alta transferencia de oxígeno en el Bio-reactor facilita el proceso de digestión llamado JET-Bat. Esta tecnología acelera el proceso de depuración de los contaminantes, lo que resulta en una muy baja o casi nula producción de lodos muertos.

- En la **tercera y última etapa** de clarificación, se elimina la turbulencia provocada por la mezcla en el Bio-reactor y se separa el agua clara de los lodos biológicos (Bacterias vivas). Estos lodos regresan al Bio-reactor para mantener una concentración adecuada de biomasa y para continuar con su posterior tratamiento. El efluente proveniente de la planta de tratamiento JET, es un líquido claro, sin olores, ambientalmente amigable y reusable para riego o infiltración



en el suelo sin los contaminantes que llevan los efluentes de los tanques sépticos.

4.1.4. Desempeño de un Reactor Biológico Secuencial (RBS) en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.-

Cárdenas Carmen, Yabroudi Suher, Benítez Adrina, et. al (2012); Venezuela, estudiaron la remoción biológica de materia orgánica y nutriente de un agua residual doméstica empleando un Reactor Biológico Secuencial (RBS) a escala piloto. El estudio fue dividido en cuatro fases en las que se modificó la carga orgánica y la duración de las etapas anaerobia, aerobia y anóxicas que conforman cada ciclo de tratamiento, considerando edades de lodo de 10 y 7,5 días. Durante las Fases I y II se operó el sistema con bajos valores de carga másica: 0,364 y 0,220 ($kg.DQO) / (kg.SSV.día)$), mientras que durante las Fases III y IV se emplearon cargas mayores: 0,665 y 0,737 ($kg.DQO) / (kg.SSV.día)$) respectivamente. Los resultados obtenidos muestran que las mayores eficiencias de remoción de materia orgánica en términos de DBO_5 se alcanzaron durante la Fases III (91%) y IV (82%), con remoción de fósforo superior a 40%. En cuanto al proceso de nitrificación durante las Fases I y II se registraron tasas de 0,032 y 0,024 $kg.N - NH_3/kg.SVV.día$ esto debido al menor contenido de materia orgánica y a la baja relación DBO_5/NKT , mientras que durante las Fases III y IV estas fueron menores: 0,015 $kg.N - NH_3/kg.SVV.día$ durante la Fase III y 0,020 $kg.N - NH_3/kg.SVV.día$ en la Fase IV, sin embargo, fue en estas fases donde se alcanzaron los mayores niveles de des nitrificación durante la etapa anóxica, favorecido por una relación C/N adecuada, próxima de 4 $kg.DBO_5 / kg.N - NO_3^-$ y la presencia de un sustrato de fácil biodegradación. Los resultados obtenidos muestran

los RBS como una alternativa eficiente y viable en el tratamiento de aguas residuales domésticas¹². Ver Anexo la Figura 4.1.4.

4.1.5. Estudio del Proceso de Remoción de Fósforo y Nitrógeno en un Reactor Discontinuo Secuencial (SBR) variando los Tiempos de Ciclo.- En Venezuela, Pérez M. & Dautant R, desarrollaron el trabajo que tuvo como objetivo el estudio experimental del proceso de remoción conjunta de nitrógeno (N) y fósforo (P) en un reactor por cargas secuencial (RCS o SBR como son sus siglas en inglés). La metodología a seguir para el desarrollo de esta investigación contemplo la realización tres fases a través de la experimentación, con mediciones de campo y análisis de laboratorio en un RCS a escala laboratorio de 60 litros existente, usando una solución sintética equivalente a un agua servida diluida, variando los ciclos de operación del sistema para obtener datos que amplíen el espectro de datos en este campo. Los resultados del tratamiento de remoción de nitrógeno y fósforo para el efluente sintético con un contenido de nitrógeno (17 ± 5 mg/L), fósforo (20 ± 4 mg/L) y con una DBO_5 de 200 ± 37 mg/L ciclos de 6 horas: llenado → reacción → sedimentación → vaciado señalaron conclusiones específicas a saber: El equipo RCS es muy eficiente para la remoción de material orgánico carbonoso en la etapa aeróbica, con remociones de 95-99% para la DBO_5 . Se logró nitrificación y desnitrificación lo que significa que el sistema ecológico desarrollado por el lodo anóxico – aeróbico cargado para el arranque se aclimato y la selección de biomasa para este proceso fue adecuada al proceso de eliminación biológica de nitrógeno. Se obtuvo

¹² Cárdenas Carmen, Yabroudi Suher, Benítez Adrina, et. al (2012); **Desempeño de un Reactor Biológico Secuencial (RBS) en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas**; Venezuela.

reducción de fósforo, sin embargo los resultados obtenidos no son concluyentes en cuanto a establecer que la disminución de este parámetro ocurrió por la asimilación normal del fósforo a la biomasa o por un desarrollo insípido de las bacterias PAO.

4.1.6. Evaluación de la eficiencia del Tratamiento de las Aguas Residuales Domesticas para el riego de áreas verdes en el Sistema de Lodos Activados de la Planta Piloto de la FIARN – UNAC.- La bachiller Mirian Elizabeth Farfán Reyes¹³, estudió la capacidad remocional biológica de materia orgánica del agua residual domestica 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 principalmente, en las que se modificó la carga orgánica y la duración de las etapas: alimentación, reacción y sedimentación, considerando una concentración de lodos de 21,6%. Durante las tres pruebas se operó el sistema a diferentes tiempos de tratamiento (2 horas, 2 horas 50 min y 3 horas 20 min), las concentraciones iniciales de DBO₅ fueron respectivamente 194 mg/L, 334 mg/L y 138 mg/L; Mientras las de DQO fueron 623,3 mg/L, 630 mg/L y 291 mg/L; Así como los STS 148,0 mg/L y 79,1 mg/L y las de Aceites y Grasas de 8,91 mg/L y 20,6 mg/L. Los resultados después del tratamiento para la DBO₅ en las tres pruebas fueron 67 mg/L, 58 mg/L y 34,8 mg/L, los valores de DQO fueron 317,3 mg/L, 356,9 mg/L y 192,1 mg/L, de Solidos suspendidos totales fueron 41,1 mg/L y 33,0 mg/L; aceites y grasas fueron 4,33

¹³ Tesis: "Evaluación de la eficiencia del Tratamiento de las Aguas Residuales Domesticas para el riego de áreas verdes en el Sistema de Lodos Activados de la Planta Piloto de las FIARN – UNAC", presentada por la Bachiller Mirian Elizabeth Farfán Reyes, para optar el Título de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, Asesoría a cargo del Mg, Máximo Fidel Baca Neglia.

mg/L, 6,43 mg/L y 5,09 mg/L; por último el pH fue de 8,4 unid 8,5 unid y 7,8 unid respectivamente. La máxima eficiencia registrada para la DBO₅ se presentó a 170 min con 82% de eficiencia, para la DQO se presentó a 120 min con 49,09%, para los sólidos suspendidos se presentó a 170 min con 72,23 % y para los aceites y grasas a 200 min con 75,29 %. La comparación de los resultados con la normatividad ambiental vigente, se afirma que las concentraciones del efluente para los parámetros analizados DBO₅, DQO, Aceites y Grasas, Sólidos Suspendidos y pH fueron superiores a la categoría III del ECA agua. Sin embargo estos mismos resultados cumplieron con los Límites Máximos Permisibles para plantas de tratamiento. De los resultados obtenidos, tomando en cuenta la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales domésticas en el sistema de lodos activados y la comparación de los resultados obtenidos con la normativa ambiental vigente, se concluyó que el agua producida sirve para el riego de áreas verdes, Ver en el Anexo la Figura 4.1.6.

4.2. Teorías generales relacionadas con el tema.- Las aguas residuales regeneradas por su uso doméstico, constituyen un recurso no convencional de agua que se ha desarrollado en los últimos decenios. No obstante, para poder proceder a reutilizar este recurso se requieren las tecnologías adecuadas y los estudios previos detallados. Se revisan para ello las tecnologías correspondientes al tratamiento de aguas residuales domésticas, así como la legislación respecto a la reutilización de aguas residuales. Si evaluamos, la reutilización parece presentar unas ciertas ventajas para su uso como agua de riego, aunque se requieren cálculos y

herramientas de toma de decisión adaptada a cada circunstancia¹⁴. A continuación, para entender el fundamento de la propuesta del trabajo, es necesario el estudio de ciertos temas que se encuentran involucrados directamente con el objeto a tratar.

4.2.1. Aguas Residuales.- Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual (Mendonca, 1987; Moreira, 2008).

Toda la comunidad genera residuos, tanto líquidos como sólidos. La fracción líquida (agua residual) está constituida, esencialmente, por el agua de abastecimiento, después de haber sido contaminada por los diversos usos a que ha sido sometida. Desde el punto de vista de su origen, las aguas residuales pueden definirse como una combinación de los desechos líquidos procedentes de viviendas, instituciones y establecimientos comerciales e industriales, junto con las aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que puedan agregarse a las anteriores (Metcalf & Eddy, 1995)

Los principales contaminantes en el agua residual entran en las siguientes categorías: nitrógeno, fósforos, organismos patógenos, metales pesados, y trazas orgánicas. Los patógenos incluyen bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Los metales pesados incluyen cadmio, cobre, cromo, plomo, mercurio, selenio, y zinc. Las trazas orgánicas incluyen

¹⁴ CYTED – PROGRAMA IBEROAMERICANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO - Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas - Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, Capítulo 19 "Reutilización de aguas Residuales" - 2003

compuestos sintéticos muy estables, sobre todo hidrocarburos clorados, (Hernández M. et. al.1995).

Según el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338, en su Capítulo VI "VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS" **Artículo 131°.- Aguas residuales y vertimientos**, se entiende por:

- a. Aguas residuales, aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas, tengan que ser vertidas e un cuerpo natural de agua o reusadas y que por sus características de calidad requieren de un tratamiento previo.
- b. Vertimiento de aguas residuales, es la descarga de aguas residuales previamente tratadas, en un cuerpo natural de agua continental o marítima. Se excluye las provenientes de naves y artefactos navales.

4.2.2. Aguas residuales domésticas.- Son aguas procedentes de los vertidos de las actividades humanas. Su composición es muy variable dependiendo del uso que se le da al agua, (C. Orozco B. et. al. 2004), a su vez estas pueden clasificarse en:

- **Aguas de cocina.-** (sales, materia, grasa, sólidos etc.).
- **Aguas blancas de baño y lavado** (jabones, detergentes, líquido de limpieza etc.).
- **Aguas negras.-** Procedente de la defecación del ser humano.

En cuanto al Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338, en su Capítulo VI "VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS" **Artículo 132°.- Aguas residuales domésticas y municipales:**

132.1 Las aguas residuales domésticas, son aquellas de origen residencial, comercial e institucional que contienen

desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

132.2 Las aguas residuales municipales son aquellas aguas residuales domésticas que pueden incluir la mezcla con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial siempre que éstas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

4.2.3. Parámetros de control en el tratamiento de aguas residuales.- Los parámetros de control son los fundamentales para determinar el diseño del sistema de depuración de las aguas residuales urbanas pueden reducirse a, (M. Baca N. 2012):

a. Partículas en Suspensión, Sólidos Totales.- Es el contenido total de la materia sólida en el agua, comprendiendo tanto materia orgánica como inorgánica, estos sólidos pueden encontrarse como: Sólidos Disueltos, Sólidos en Suspensión, Sólidos Sedimentables y Sólidos no Sedimentables.

b. Contenido de microorganismos.- Estos pueden ser benignos o patógenos y se clasifican en, (M. Baca N. 2012)

- **Aerobios.-** Que constituye el 60 al 65 % de los microorganismos existentes en el agua residual, caracterizándose por captar en forma directa el OD.
- **Anaerobios.-** Que constituye del 10 al 25% de los microorganismos existentes en el agua residual, obtiene oxígeno por descomposición de la materia orgánica constituida por tres o más elementos (C, H, O, N, S, P, K).
- **Facultativos.-** que constituyen del 10 al 30 %, estos pueden adaptarse a condiciones aerobias y anaerobias.



c. Contenido Orgánico.- Específicamente esta descrita por la **Materia Oxidable Biológicamente.-** Materias de tipo orgánico que absorben en forma natural hasta su desmineralización una cierta cantidad de oxígeno, debido a los procesos químicos o biológicos de oxidación que se producen en el seno del agua, (M. Baca N. 2012).

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

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

La relación encontrada entre la DBO₅ y la DQO indicará la importancia de los vertidos industriales y sus posibilidades de biodegradabilidad.

- **Oxígeno Disuelto (OD).**- Es el índice fundamental para la definición y control de las aguas residuales. La cantidad de oxígeno puede disminuir por la respiración de los microorganismos, algas y organismos macroscópicos, elevación de la temperatura,



reacciones químicas y por la reacción metabólica de los microorganismos regidos por la acción enzimática.

d. Contenido de Nutrientes.- Este se refiere al Nitrógeno y al Fosforo, (M. Baca N. 2012).

i. Nitrógeno.- En su variedad amoniacal, nitritos, y nitratos señalan la proximidad ó distancia al punto de vertido del agua residual.

- **Concentración del Ion Amonio.-** Es la primera etapa del ciclo del nitrógeno por transformación de la urea, el agua con un contenido reducido de amoníaco no es perjudicial para usos agrícolas, pero si para la vida piscícola.

- **Nitritos y Nitratos.-** Los nitritos y los nitratos constituyen una segunda y tercera etapa del ciclo del nitrógeno, al que se llega por la acción de bacterias aerobias, los nitrosomas y los nitrobacter.

ii. Fósforo Total.- Elemento imprescindible para el desarrollo de los microorganismos en las aguas y para el proceso de la depuración biológica. El contenido de nitrógeno en las aguas se debe a los vertidos urbanos (detergentes, fosas sépticas).

e. Potencial Hidrogeno (pH).- En la naturaleza, así como en los vertidos urbanos se encuentran ácidos y bases que modifican ampliamente el pH de las aguas. Las aguas urbanas tienen un pH próximo al valor de 7, es decir son adecuadas para los microorganismos neutrófilos. Es necesario controlar el pH para garantizar los procesos biológicos, debiendo encontrarse entre valores de 6,2 y 8,3 para que no se generen problemas de inhibición, (M. Baca N. 2012).

f. Grasas y Aceites (G y A).- Las grasas generan problemas por su poder tensó activo que impiden la captación del oxígeno, o genera una película envolvente en los floculos biológicos impidiendo su respiración, aligerándolos y llevándolos a flotación, dificultándose así la decantación secundaria, (M. Baca N. 2012).

4.2.4. Sistemas de Tratamiento.- Las características del agua residual, ver en Anexo la Tabla 4.2.4.a., "Composición típica del Agua Residual Domestica", la que determinan el sistema de tratamiento, ver en Anexos la Tabla 4.2.4.b., "Operaciones, Procesos Unitarios y Sistemas de Tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de Contaminantes presentes en las Aguas Residuales", en el que se pueden observar las características mínimas y suficientes para definir un vertido urbano, (Metcalf and Eddy, 1995).

4.2.5. Breve descripción de cada una de las tecnologías de tratamiento¹⁵.- En la elección de las tecnologías de regeneración (tratamiento avanzado) para agua residual suelen preferirse aquellas que no emplean mucha energía. Esto se justifica por el hecho de que el agua residual suele emplearse para riegos u otros usos relativamente poco "nobles".

a. Tecnologías de membrana.- Las tecnologías de membrana para regeneración de aguas residuales se emplean únicamente en aquellos casos en que el uso del agua regenerada justifica el precio final, o bien en aquellos casos en que debido al elevado contenido en sales del agua residual, las tecnologías de membrana

¹⁵ CYTED – PROGRAMA IBEROAMERICANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO - Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas - Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, Capítulo 19 "Reutilización de aguas Residuales" - 2003

cumplen diversos cometidos; la regeneración eliminando diversos compuestos y prácticamente todos los microorganismos, y al mismo tiempo la desalinización del efluente. También en aquellos casos en que el agua regenerada se empleará como agua de bebida, la osmosis inversa será la tecnología de elección (campos de refugiados, naves espaciales, abastecimientos de emergencia,...). También puede justificarse la elección en recarga de acuíferos con agua regenerada. Debemos recordar, no obstante, que para poder aplicar la osmosis inversa de manera adecuada, se requiere un buen pretratamiento, que puede ser también una ultrafiltración o similar. Las tecnologías de membrana (Deocón et al., 2002) que se pueden emplear son la microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa, electrodiálisis reversible y electrodesionización.

i. Microfiltración.- Elimina los sólidos en suspensión de tamaño superior a $0,1 - 1,0 \mu\text{m}$. Es efectiva eliminando los patógenos de gran tamaño como Giardia y Cryptosporidium. Se suele emplear la ultrafiltración cuando la concentración de STD no es problemática, ya que los poros de la membrana son comparativamente grandes para filtrar partículas muy pequeñas. Más usualmente se emplea como pretratamiento de sistemas con las membranas más delicadas, como la osmosis inversa o la nanofiltración.

ii. Ultrafiltración.- Puede emplearse para eliminar esencialmente todas las partículas coloidales y alguno de los contaminantes disueltos más grandes ($0,01 \text{ mm}$). Se utiliza la UF cuando deben eliminarse prácticamente todas las partículas coloidales (incluyendo la mayor parte de microorganismos

patógenos). Estos sistemas, capaces de eliminar bacterias y virus se suelen utilizar como pretratamiento para sistemas de nanofiltración, hiperfiltración u osmosis inversa. Puesto que los coloides se eliminan, el agua tratada debe tener una turbidez prácticamente nula.

iii. Nanofiltración.- Elimina los contaminantes de tamaño superior al nanómetro (0,001mm). Las membranas de NF se emplean cuando se requiere eliminar prácticamente, aunque no todos, los sólidos disueltos. La tecnología se llama también ablandamiento por membrana, ya que se eliminan del agua los iones de la dureza que tienen 2 cargas (calcio y magnesio) mejor que los que solo tienen una (sodio, potasio, cloro).

iv. Osmosis inversa.- Es una tecnología de membrana en la cual el solvente (agua) es transferido a través de una membrana densa diseñada para retener sales y solutos de bajo peso molecular. La OI elimina prácticamente todas las sales y los solutos de bajo peso molecular. Se considera una eliminación prácticamente total de las sales disueltas y total de los sólidos en suspensión. Debido a esto, las membranas de OI son la elección cuando se necesita agua muy pura o de bebida, especialmente si la fuente es agua salobre o agua de mar.

v. Electrodialisis reversible.- La EDR separa las moléculas o iones en un campo eléctrico debido a la diferencia de carga y de velocidad de transporte a través de la membrana. Las membranas tienen lugares cargados y poros bastante estrechos (1-2 nm). En la célula de electrodialisis se sitúa un cierto

número de membranas de intercambio catiónico y aniónico entre un ánodo y un cátodo de forma que cuando se aplica la corriente eléctrica los iones con carga positiva migran a través de la membrana de intercambio catiónico y viceversa.

vi. Electrodesionización.- La EDI emplea corriente eléctrica continua como fuente de energía para la desalinización. Los iones en solución son atraídos hacia los electrodos con carga eléctrica opuesta. Dividiendo los espacios entre electrodos mediante membranas selectivas para cationes y aniones, lo que crea compartimentos, las sales pueden ser eliminadas de la mitad de los compartimentos y concentradas en los restantes. Una de las principales diferencias entre la EDR y la EDI es el contenido de los compartimentos de desalinización. Los de la EDI se rellenan con resinas de intercambio iónico de lecho mezclado.

b. Tecnologías de filtración avanzada con Anillas.-

Aparte de los sistemas naturales que ejercen una acción de filtrado (Infiltración - Percolación y Wetlands) se pueden emplear en los procesos de regeneración los filtros clásicos de arena (solos o asociados a procesos físico-químicos; monocapa o multicapa) o bien diversos procesos innovadores de filtración, entre los que podemos destacar los filtros de anillas.

Filtros de anillas.- En este proceso, la filtración tiene lugar usando anillas planas de material plástico provistas de ranuras. Dichas anillas están colocadas una sobre otra y comprimidas, formando el elemento filtrante. Los cruces entre las ranuras de cada par de discos adyacentes



forman pasos de agua, cuyo tamaño varía según las anillas utilizadas y la situación relativa de los discos. Los pasos de agua en un mismo tipo de anillas son máximos donde la ranura de una anilla coincide con la ranura del otro y mínimos donde esta coincide con el espacio entre dos ranuras; este paso mínimo es el que define el grado de filtración de las anillas.

c. Tecnologías intensivas de regeneración.- Si no incluimos aquí los sistemas de membrana ni la filtración, el espectro es muy reducido; y podemos mencionar únicamente los bioreactores a membrana (BRM) y ocasionalmente los SBR (sequencing batch reactors: Reactores Secuenciales Discontinuos) y los biodiscos (RBC: rotating biological contactor).

i. Reactores secuenciales discontinuos.- Se trata de un desarrollo de los lodos activados en el cual las funciones de aireación, sedimentación y decantación se llevan a cabo en el mismo reactor. Normalmente se emplea un mínimo de dos tanques de reacción para poder garantizar un tratamiento del agua en continuo. Ocupan muy poca superficie y tienen unos costes muy competitivos, generando un efluente de buena calidad fácilmente tratable para regeneración.

ii. Biodiscos.- Los biodiscos son reactores de biomasa fija, y consisten en discos montados sobre un eje rotatorio.

Mediante esta rotación, el conjunto de discos situados en paralelo está expuesto alternativamente al aire y al agua a depurar. Los microorganismos fijados descomponen la materia orgánica empleando procesos aerobios.

El proceso es fiable y barato en cuanto a la energía empleada, y especialmente en pequeñas instalaciones bien dimensionadas el efluente es de muy buena calidad por lo que suele bastar una desinfección para la reutilización posterior.

iii. Bioreactores de membrana.- Esta tecnología se basa en situar una membrana en el interior de un sistema de aireación (tratamiento por lodos activados).

La membrana no permite el paso de los biosólidos que quedan en el reactor y se obtiene un efluente de buena calidad, fácilmente desinfectable.

También se emplean membranas externas al reactor. En ambos casos se puede describir una eliminación de los patógenos de mayor tamaño (por ejemplo, Giardia y Cryptosporidium).

iv. Sistemas físico-químicos.- Se trata básicamente de sistemas en los que mediante un reactivo se procede a la coagulación-floculación, seguida habitualmente de una filtración por arena u otro sistema.

Los reactivos empleados suelen ser coagulantes inorgánicos (sales de hierro o aluminio) o bien polímeros orgánicos (polielectrolitos) y a veces se combinan.

Tienen una cierta acción desinfectante, ya que las bacterias y virus fijados a los sólidos en suspensión son eliminados con éstos.

d. Tecnologías extensivas de regeneración.-

i. Infiltración-Percolación.- La Infiltración-Percolación (IP) es un sistema de tratamiento avanzado, natural, extensivo y basado en el uso de arena. Se trata de un

filtro secuencial, aerobio y con biopelícula. Se emplea arena fina (entre 0,1 y 2 mm) y es importante que esta arena sea uniforme. Se infiltra efluente primario o secundario a través de un espesor de material como el definido de forma secuencial y programada. Es importante que el lecho no quede saturado para permitir el intercambio de gases; para ello sólo se puede aplicar una carga máxima calculada en función de la DQO y del contenido en NTK. Es un proceso muy fiable si se le da un mantenimiento adecuado. Puede incluso llegar a cumplir las especificaciones para generar agua con la que se puede regar sin restricciones.

ii. Sistemas de lagunaje.- Es una tecnología conocida desde hace mucho tiempo y que se basa en la potenciación de la eutrofización, mediante la simbiosis de algas y bacterias. La biomasa está en suspensión y se suelen emplear diversas lagunas en serie (anaerobias, facultativas y de maduración; aunque estas pueden a su vez subdividirse y actuar en paralelo). Si se debe reutilizar el agua cobra especial importancia la fase de maduración. El sistema es capaz de lograr una buena desinfección por la acción de la radiación UV del sol. Es imprescindible una buena gestión evitando los caminos preferenciales. Se considera que son capaces de tratar efluentes domésticos de hasta 300 mg/L de DBO₅ con rendimientos aceptables. Su principal problema es la superficie que ocupan. Se está recuperando esta tecnología (a menudo únicamente los estanques de maduración después de un tratamiento intensivo) para la regeneración de aguas residuales.



iii. Zonas húmedas construidas (Wetlands).- Las ZH son terrenos inundados, con profundidades de agua del orden de 60 cm, con plantas acuáticas emergentes. Combinan zonas anaerobias (principalmente) con aerobias y anóxicas. Se considera que el papel principal en la depuración lo llevan a cabo las colonias instaladas en la grava o arena (material de relleno) y en las raíces y rizomas de las plantas. Estas últimas tienen también un papel activo en el transporte de oxígeno a la zona de las raíces, creando las zonas anóxicas. Se emplean principalmente dos tipos, los de flujo horizontal sumergido y los de flujo vertical. Se emplean en pequeñas comunidades como tratamiento total o bien como sistema de afinado del efluente (tratamiento terciario) si no se dispone de mucho espacio.

e. Tecnologías de desinfección para regeneración.- No incluimos aquí la cloración, puesto que se desaconseja para el tratamiento de las aguas residuales ya que genera muchos subproductos.

i. Ozonización.- En el agua residual el ozono puede perderse en la atmósfera, reaccionar directamente con la materia orgánica y entrar en una serie de reacciones con radicales. Parte de estas acciones tienen como efecto desinfectar el agua. Actúa principalmente contra virus y bacterias. Al mismo tiempo reduce los olores, no genera sólidos disueltos adicionales, no es afectado por el pH y aumenta la oxigenación de los efluentes. Se genera in situ mediante equipos comerciales. Si el contenido en materia orgánica es elevado, se requieren dosis



comparativamente elevadas para obtener una buena desinfección.

ii. **Dióxido de cloro.**- Se considera como una de las mejores alternativas a la cloración convencional. Es un oxidante efectivo que se emplea en aguas con fenoles y elimina los problemas de olores. Al mismo tiempo tiene el inconveniente que oxida un gran número de compuestos e iones, como hierro, manganeso, nitritos. No reacciona con el amonio ni con el bromo. Se tiene que generar in situ debido a su inestabilidad y no genera subproductos en cantidad apreciable. Se considera un buen biocida y afecta también a las algas.

iii. **Radiación ultravioleta.**- Se basa en la acción de una parte del espectro electromagnético sobre ácidos nucleicos y proteínas, con lo que se altera la reproducción de determinados patógenos. Se emplea la radiación a 253,7 nm, que se considera la más adecuada para el proceso. Es activo especialmente contra bacterias y virus y se describe con lámparas de media intensidad una acción contra Giardia y Cryptosporidium. Se emplean lámparas de alta, media y baja presión. Hasta el momento las más utilizadas en desinfección de aguas residuales son las de baja presión. Es importante que el efluente a desinfectar tenga pocos sólidos en suspensión. Uno de los problemas más importantes de esta tecnología es la limpieza de las lámparas.

4.3. Parámetros de Diseño de Reactores de Lodos Activados Secuenciales.- Se tendrá en cuenta los conceptos de diseño explicados y desarrollados para un reactor discontinuo secuencial (SBR), es un sistema de tratamiento de fangos activados cuyo

funcionamiento se basa en la secuencia de ciclos de llenado y vaciado. Los procesos unitarios que intervienen son idénticos a los de un proceso convencional de lodos activados, (ver Anexo Figura 4.3.a). En ambos sistemas intervienen la aireación y la sedimentación-clarificación. No obstante, existe entre ambos una importante diferencia. En las Plantas convencionales, los procesos se llevan a cabo simultáneamente en tanques separados, mientras que en los SBR, (ver Anexo Figura 4.3.b.) , los procesos tienen lugar en el mismo tanque¹⁶.

4.3.1. Carga volumétrica (V_s).- Este valor representa la razón de utilización del sustrato en Kg de DBO_5/m^3 aplicado. El valor de V_s constituye un parámetro de diseño y se usa para determinar el tipo de proceso de lodos activados a usar. Para determinar V_s se usa la expresión siguiente:

$$V_s = \frac{Q(S_0 - S)}{V} \dots\dots\dots (4.3.1.a.)$$

Dónde: V_s = es la Carga volumétrica, Kg de DBO_5/m^3 día aplicados;

Ver en Anexos Tabla 4.3.1. "Parámetro de diseño para los procesos de fangos activados"

Q = caudal de entrada;

S_0 = DBO_5 en la alimentación;

S = DBO_5 a la salida;

V = Volumen del reactor.

4.3.2. Relación Alimento/Microorganismos, (F/M).- Este valor representa la relación de los kg./día de DBO_5 , por Kg. de sólidos suspendidos en el reactor. El valor de F/M constituye un parámetro de diseño y al igual que V_s , se usa para

¹⁶ METCALF Y EDDY. *Ingeniería de las Aguas Residuales*. McGraw-Hill. España, 1995. Vol.1 y 2

determinar el tipo de proceso de lodos activados a usar. Para determinar F/M se usa la expresión siguiente:

$$F/M = \frac{(S_0 - S) Q}{V X} = \frac{V_S}{X} \dots\dots\dots (4.3.1.b.)$$

Dónde:

F/M = Relación de Alimentos/Microorganismos, Kg/día de DBO₅ por Kg de SS en el reactor;

X = Concentración de microorganismos en el sedimentador.

4.3.3. Tiempo de Retención Hidráulico, (TRH ó Θ). El tiempo de retención hidráulico, es el tiempo empleado por el líquido o efluente en el reactor.

$$\Theta = \frac{V}{Q} \dots\dots\dots (2.2.4.c.)$$

Dónde:

Θ = tiempo de retención hidráulica del tanque de aireación, d.

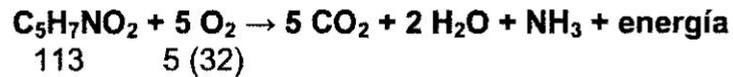
V = volumen del tanque de aireación, m³;

Q = caudal de entrada;

4.3.4. Requerimiento de Oxígeno (O_R)¹⁷.- La necesidad teórica de oxígeno se puede determinar a partir de la DBO del agua residual y de la cantidad de organismos purgados diariamente del sistema. El razonamiento es el siguiente, si toda la DBO se convirtiera en productos finales, la demanda total de oxígeno se podría calcular convirtiendo la DBO₅ en DBO_L utilizando un factor de conversión adecuado. Por otro lado, se sabe que parte del residuo se convierte en tejido celular nuevo que. Posteriormente, se purga del sistema, de modo que, si la DBO_L del tejido celular se resta del total, la cantidad remanente corresponde a la DBO_L del tejido celular se resta del total, la cantidad remanente corresponde a la cantidad de oxígeno que es necesario suministrar al sistema. Teniendo en

¹⁷ METCALF Y EDDY. **Ingeniería de las Aguas Residuales.** McGraw-Hill. España, 1995. Vol. 2, pag.610 y 611.

cuenta la ecuación que se indica a continuación, se sabe que la DBO_L de un mol de células es igual a 1.42 veces la concentración de células:



113 5 (32)

Células

1 1.42

Por lo tanto, la demanda teórica de oxígeno para la eliminación de la materia orgánica carbonosa presente en el agua residual de un sistema de fangos activados se puede calcular mediante la expresión:

$$\frac{kg O_2}{d} = \left(\frac{\text{Masa de } DBO_L \text{ total}}{\text{utilizada, kg/d}} \right) - 1.42 \left(\frac{\text{Masa de organismos}}{\text{purgados, kg/d}} \right)$$

Utilizando otros términos, la expresión sería:

$$\frac{kg O_2}{d} = \left(\frac{Q (S_0 - S)(10^3 g/kg)^{-1}}{f} \right) - 1.42 (P_x)$$

Dónde:

f = factor de conversión de DBO_5 en DBO_L (0.45 – 0.68)

P_x = Producción diaria neta de fango activada, medida en términos de SS volátiles, kg/d.

Otro factor empírico clásico de diseño de los sistemas de aireación mediante difusores ha sido ser el uso de la relación entre 1.00 y 1.2 $kg O_2/kg DBO_5$ eliminada, recomendándose además que los equipos de aireación con un factor de seguridad que, como mínimo, cubra las condiciones correspondientes a una carga diaria de DBO igual al doble de la carga media. Los equipos de también deben de dimensionarse de modo que asegure una concentración que asegure una concentración residual de oxígeno disuelto de 2 mg/L en condiciones de carga media y 0.5 mg/L en condiciones de carga punta.

4.3.5. Componentes diversos para el Sistema Compacto SBR.-

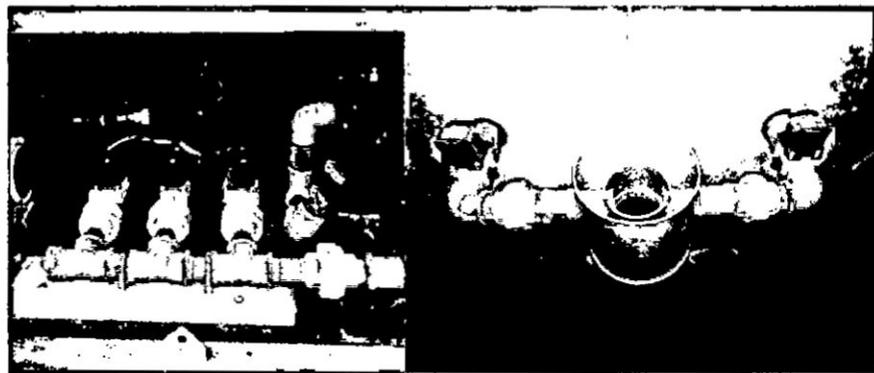
Estos componentes son los requeridos para poder construir el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del tipo Secuencial (SBR), los mismos que fueron adquiridos y adaptados para que cumplan la función específica dentro del Sistema de Tratamiento, ya que este último no existía y menos construido porque el mismo ha sido concebido para la solución del problema y sea el prototipo para su implementación.

a. Válvulas Solenoides.- Las electroválvulas o válvulas solenoides son dispositivos diseñados para controlar el flujo (ON-OFF) de un fluido. Están diseñadas para poder utilizarse con agua, gas, aire, gas combustible, vapor entre otros. Estas válvulas pueden ser de dos hasta cinco vías. Pueden estar fabricadas en latón, acero inoxidable o PVC. Dependiendo del fluido en el que se vayan a utilizar es el material de la válvula. En las válvulas de 2 vías, normalmente se utilizan las que funcionan con tres modalidades diferentes, dependiendo del uso que están destinadas a operar; pueden ser de acción directa, acción indirecta y acción mixta o combinada, además cada una de estas categorías puede ser Normalmente Cerrada (N.C.) o Normalmente Abierta (N.A.) , esto dependiendo de la función que va a realizar ya sea que esté cerrada y cuando reciba la señal a la solenoide abra durante unos segundos, o que esté abierta y cuando reciba la señal la solenoide corte el flujo, las válvulas seleccionadas para el proyecto fueron del tipo de Acción directa, donde el comando eléctrico acciona directamente la apertura o cierre de la válvula, por medio de un embolo, la diferencia entre la válvula N.C. a la N.A. de acción directa es que, cuando la válvula N.C. no está energizada el embolo permanece en una posición que bloquea el orificio de tal manera que impide el



flujo del fluido, y cuando se energiza la bobina el embolo es magnetizado de tal manera que se desbloquea el orificio y de esta manera fluye el fluido. La N.A. cuando la bobina no está energizada la acción de un resorte se mantiene en tal posición que siempre está abierta y cuando se energiza la bobina empujando el resorte, haciendo que cierre el orificio¹⁸, ver la Figura 4.3.5.a.:

Figura 4.3.5.a.
Válvulas Solenoides de ½"



Autoría: Fuente propia.

Nota: La primera vista corresponde a las 03 válvulas del afluente domésticos. La segunda vista corresponde a las 02 válvulas del efluente tratado.

b. Difusores de burbujas finas¹⁹.- Los difusores de burbuja fina son dispositivos de aireación que, como su nombre indica, se encargan de inyectar burbujas finas en el agua para llevar a cabo el intercambio de gases contaminantes por oxígeno. Generalmente se pueden fabricar con diseño tubular o de disco, siendo básicamente el mismo principio de funcionamiento para ambos diseños. Tienen una superficie de goma sobre la cual se forman agujeros microscópicos. La superficie de goma de los difusores de burbuja fina se dilata para que el aire sea expulsado por los microagujeros y se formen burbujas finas. Una vez que las burbujas son inyectadas en el agua, la superficie se contrae,

¹⁸ Altec – Alta Tecnología de Vanguardia S.A. de C.V

¹⁹ QuimNet.com, Tema: Difusores de burbuja fina en proceso de aireación. 12.12.2011



V. MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo de investigación se centra en la adecuación de los efluentes domésticos con el fin de reutilizarlos en el riego de áreas verdes y jardines mediante un sistema de tratamiento compacto basado en la tecnología de lodos activados del tipo secuencial, para ello se hizo necesario, determinar la población o universo del efluente, utilización de las técnicas analíticas de los Métodos Normalizados para análisis de agua potable y residual, diseñar y operar el sistema de tratamiento compacto de lodos activados secuencial, caracterizar los efluentes tratados, utilización de técnicas estadísticas y pruebas de hipótesis.

5.1. Tipo de Investigación.- Existen muy diversos tratados sobre la tipología de la investigación, las controversias para aceptar las diferentes tipologías sugieren situaciones confusas en estilos, formas, enfoques y modalidades. En rigor, desde un punto de vista semántico, los tipos de son sistemas definidos para obtener el conocimiento, algunos autores establecen diversas tipologías, una síntesis se los tipos mostrados por diferentes autores se presentan, con la intención de sistematizar y especificar el tipo de nuestro trabajo de investigación²²:

Según las variables:

Experimental.

Cuasi experimental.

Simple y compleja.

Según la fuente de información:

Investigación documental.

Investigación de Campo.

Según la fuente de información:

Investigación censal.

Investigación de caso.

Encuesta.

²² "TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES DOMÉSTICOS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL RIEGO DE ÁREAS VERDES EN EL DISTRITO DE SAN JUAN DE MARCONA", Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Investigación y Docencia Universitaria elaborado por el Ing. Máximo Fidel Baca Neglia - 2012

Según el nivel de medición y análisis de la información:

Investigación cuantitativa.

Investigación cualitativa.

Investigación cuali-cuantitativa.

Investigación descriptiva.

Investigación explicativa.

Según las técnicas de obtención de datos:

Investigación de alta y baja estructuración.

Investigación participante.

Investigación participativa.

Investigación proyectiva.

Investigación de alta o baja interferencia.

Según su ubicación temporal:

Investigación histórica.

Investigación longitudinal o transversal

Investigación dinámica o estática.

Según el objeto de estudio:

Investigación pura.

Investigación aplicada.

Como lo definiéramos inicialmente nuestro trabajo de investigación realizado fue del tipo experimental, tipología que se deduce a partir de las variables en la que la variable independiente incidirá sobre la variable dependiente (manipulada), la que fuera medida a través de sus indicadores, para ello se sometieron la Muestra (efluentes domésticos) al sistema de tratamiento compacto de lodos activados del tipo secuencial, en la que la variable independiente a través de sus indicadores hipotéticamente fueron las causas que generaron los cambio en la variable dependiente en este caso sobre el efluente doméstico, lo que se evidenció al evaluar los valores de sus indicadores durante todas las observaciones realizadas. Las otras

tipologías pueden definirse en forma sistematizadas de acuerdo a la clasificación que se muestra, y cuyas tipologías las hemos resaltado en **negritas**.

5.2. Diseño de la investigación.- Una vez que precisáramos el planteamiento del problema, se definió el alcance inicial de nuestra investigación, formulando la hipótesis, y posteriormente el Diseño de la Investigación, que nos permita demostrar la hipótesis planteada, además de cubrir los objetivos específicos fijados, siguiendo las siguientes etapas:

- a) Diseño, construcción y operación del sistema de tratamiento piloto para los efluentes domésticos.
- b) Identificar, las características de los efluentes domésticos previos a su tratamiento.
- c) Identificar, las características de los efluentes domésticos tratados que permita su reutilización cumpliendo con las normas de calidad vigente (ECA).
- d) Plantear, el sistema de riego para las áreas verdes.

En síntesis nuestra investigación del Tipo Experimental dentro de esta tipología que para algunos autores como el caso de Cambell y Stanley (1966), quienes dividen los diseños experimentales en tres clases:

- a) pre experimentos,
- b) experimentos "puros", y
- c) cuasi experimentos.

Teniendo como referencia esta clasificación, nuestro trabajo de investigación se encuadra dentro del diseño preexperimental, con preprueba – posprueba, el mismo se efectuó con el uso de un modelo piloto, en la que a un grupo se le aplica una prueba previa al estímulo (tratamiento experimental), después se le administra el tratamiento y finalmente se le aplica una prueba posterior al estímulo, según el esquema siguiente:

G 0₁ X 0₂

En este diseño conocimos un punto de referencia inicial (0₁) para ver qué nivel tenía el grupo (G) en la variable dependiente ante del estímulo o tratamiento (X) y posteriormente qué nivel (0₂) alcanza luego del tratamiento.

De modo que a continuación se explica cada una de las etapas y los aspectos desarrollados en cada una de ellas:

5.3. Diseño, Construcción y Operación del Sistema de Tratamiento

Compacto.- Durante esta etapa, previo al diseño del sistema de tratamiento se realizó un muestreo del efluente del tipo doméstico en las instalaciones de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Callao, específicamente en el **Buzón (ME1)**, el mismo que se ubica en el jardín posterior del edificio donde funciona la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales – FIARN, ver en Apéndice, la Figura 5.3.a. "Vista del Jardín de la FIARN", donde se ubica el **Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuenciales**, Figura 5.3.b. "Vista Lateral del Jardín de la FIARN" en ambas vista se puede observar el Buzón de muestreo denominado **Buzón (ME1)**, Figura 5.3.c. "Vista área donde se observa el Jardín de la FIARN" y la Figura 5.3.d. "Buzón (ME1) – donde se observa la rejilla de Desbaste para captar aguas hacia la Cisterna de Aguas Negras tipo Domésticas".

5.3.1. Cálculo del Volumen del Reactor, (V).-

Previo al cálculo hubo la necesidad de efectuar un muestreo del efluente para conocer las características, las mismas que arrojaron el siguiente resultado preliminar:

Parámetro	Unidades
Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO ₅	206.50 mg/L
Demanda Química de Oxígeno – DQO	317.30 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales – SST	113.55 mg/L

Fuente: **Autoría propia**

A partir de esta información se procedió a calcular el Volumen (V) del Reactor del sistema de tratamiento piloto para los efluentes domésticos del tipo **Lodos Activados Secuenciales (SBR)**, se estimó teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$V_s = \frac{Q(S_0 - S)}{V_s} \dots\dots\dots \text{ecuación 2.2.4.a.}$$

Dónde:

$V_s = 0.24 \text{ Kg de DBO}_5/\text{m}^3.\text{día}$ aplicados; (valor de la Tabla 2.2.4., ver en Anexo).

$Q =$ para el diseño $0.8 \text{ m}^3/\text{día}$;

$S_0 = 85\%$ de $206.50 \text{ mg DBO}_5/\text{L}$, es decir $175.525 \text{ mg DBO}_5/\text{L}$, dado que el desbaste reduce mínimo un 15% DBO_5 .

$S = 15 \text{ mg DBO}_5/\text{L}$;

$V =$ Volumen del reactor.

$$V = \frac{Q(S_0 - S)}{V_s} \text{ reemplazando valores,}$$

$$V = \frac{0.8 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} (175.525 - 15.00) \text{ mg DBO}_5/\text{L}}{0.24 \text{ Kg DBO}_5/\text{m}^3 \text{ día}}$$

$$V = 535 \text{ Litros} = 0.535 \text{ m}^3$$

Este volumen de 535 Litros que se distribuirá en tres cámaras cada uno de 178.33 Litros, con las siguientes dimensiones:

Profundidad 1.00 M incluye el nivel de rebose, por lo que la profundidad útil será (H): 0.85 M, largo (L) será equivalente a dos anchos (A), siendo (A): 0.324 M, de modo que el largo (L): 0.648 M, las tres cámaras se ubicaran contiguas y en el mismo plano, colocándose dos de ellas paralelas y la tercera contigua a las dos primeras, de modo que de esta forma las dimensiones del Volumen del Reactor (V) constituido por tres cámaras será de:

Profundidad útil (H): 0.85 M,

Largo: 0.972 M, y

Ancho: 0.648 M

Ver en el Apéndice la Figura 5.3.1.a. "Plano del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuenciales (SBR)", que muestra la distribución de los tres compartimientos del sistema de tratamiento fabricado en fibra de vidrio; la Figura 5.3.1.b "Tanque fabricado en fibra de vidrio del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuenciales (SBR)", se muestran dos vistas del tanque sobre la base de madera que forma parte de la base de todo el sistema de tratamiento, la Figura 5.3.1.c. "Otras dos vistas del tanque fabricado en fibra de vidrio", se puede observar en estas dos vistas el interior de los tanques durante el proceso de montaje; Figura 5.3.1.d. "Dos vistas del Reactor durante el montaje".

5.3.2. Cálculo del requerimiento de Oxígeno (O_R).- A partir de la estimación empírica del O_R , en la que se requiere 1.2 kg O_2 /kg DBO_5 eliminada y además se debe garantizar hasta 1.5 veces la demanda media, se tiene que los kg DBO_5 eliminada por día serán:

$$kg DBO_5 = 0.8 \frac{M^3}{día} (175.525 - 15.00) mg \frac{DBO_5}{\left(\frac{1000 L}{M^3}\right) \left(\frac{1 kg}{1000000 mg}\right)} \quad (1.5)$$

$$kg DBO_5 = 0.128 \frac{kg}{día} \quad (1.5)$$

$$kg DBO_5 = 192 \text{ kg/día}$$

El requerimiento de Oxígeno será:

$$O_R = 1.2 \frac{kg O_2}{kg DBO_5} \left(\frac{0.192 kg DBO_5}{día} \right)$$

$$O_R = 0.23 \text{ kg } O_2$$

Mientras que el requerimiento de aire requerido, estimado a 25 ° C será de:

Aire Requerido:

$$(A_R) = O_R / 0.21$$

$$A_R = \frac{0.23 \text{ kg de } O_2}{0.21 \frac{\text{kg de } O_2}{\text{kg de Aire}}}$$

$$A_R = 1.10 \text{ kg de aire por día}$$

Si la densidad del aire a 25 °C es de 1,18 kg/m³, el Volumen de Aire (V_A) requerido por día será de:

$$V_A = \frac{1.10 \text{ kg de aire}}{1.18 \frac{\text{kg de aire}}{\text{m}^3}}$$

$$V_A = 1 \text{ m}^3 \text{ ó } 1000 \text{ litros/día.}$$

5.3.3. Placa de Control Automático – Secuencial.- Por otro lado con el fin de reproducir las secuencias o ciclos de operación de las cámaras del reactor (SBR) se diseñó y construyó una placa o tarjeta de control que permitió ingresar la programación secuencial, a través de tiempos en minutos. Haciendo uso de un teclado matricial y mostrando en una pantalla LCD, dichos intervalos son las secuencias de encendido y apagado, en un total de seis secuencias, la tarjeta micro controladora que al mandar una señal de 8 bits nos permitió controlar el tiempo, y visualizar la secuencia a través de la pantalla LCD y observar la información saliente de la tarjeta controladora y dirigida al comparador.

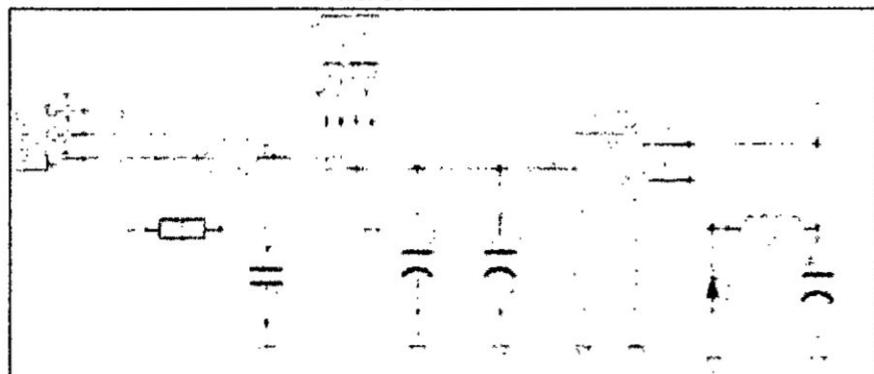
A través de él se programó la secuencia de funcionamiento de ocho válvulas (08 válvulas solenoides) con las que opera el Sistema Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial, la tarjeta cuenta el tiempo de retardo en cada fase, donde al establecer el tiempo de cada fase, el contador ira aumentado hasta llegar al tiempo programado, el micro controlador verificara su tiempo programado con el tiempo en pantalla, es ahí entonces cuando por la salida del comparador se obtiene una señal de un bit, el cual va directamente al contador, quien al recibir dicho pulso, se encarga de incrementar en una

unidad el valor de la cuenta, para así pasar a la siguiente fase, lo que ocurre en la caja de relays es un cambio en el estado de encendido o apagado de las válvulas, según la fase en la que nos encontremos, es así que se logra el control de tiempo y también el gobierno del número de válvulas del sistema a controlar.

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

A través de una bornera denominada CONN_3 (K1) de 3 terminales se ingresa el voltaje AC, cuyo diagrama básico de alimentación eléctrica se muestra a continuación:

Figura 5.3.3.a.
Diagrama de Alimentación de la Tarjeta de la Placa de Control Automático

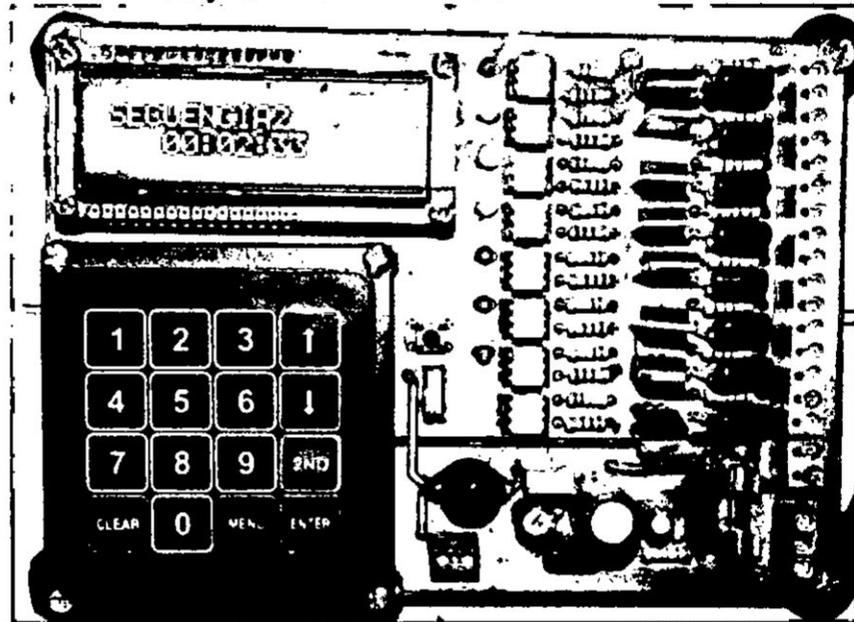


Autor: Curso de Instrumentación y Control de Procesos – FIARN

Para la etapa de control se hace uso de un MICROCONTROLADOR ATMEGA16 de ATMEL, este nos

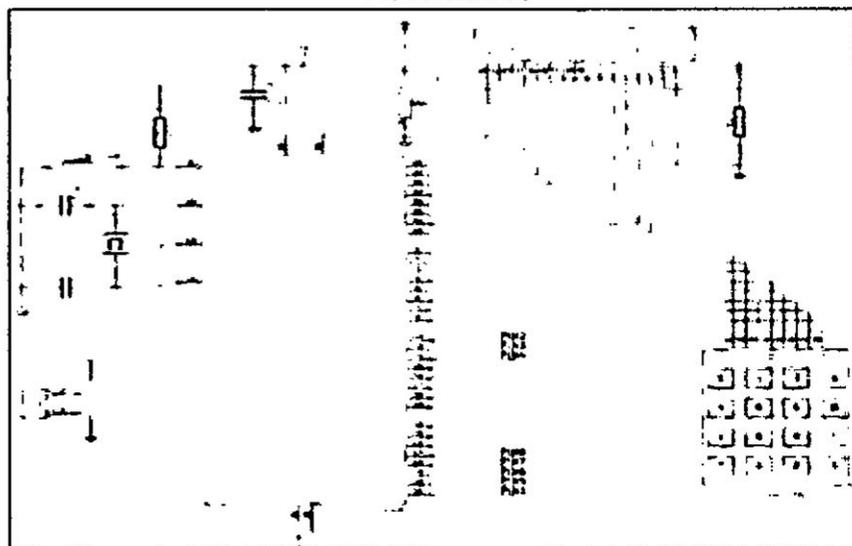
permite captar los datos ingresados a través del teclado matricial, y mostrarlos en la pantalla LCD, además también se usa entre otros para activar las válvulas. Se cuenta con un botón (SW_PUSH) botón reset, a continuación se aprecia la Tarjeta o Placa de Control Automática:

Figura N° 5.3.3.b.
Tarjeta o Placa de Control Automático



Fuente: Autoría propia

Figura N° 5.3.3.c.
Diagrama de la Tarjeta o de la Placa de Control Automático



Autor: Curso de Instrumentación y Control de Procesos – FIARN

A handwritten signature in black ink, located in the bottom right corner of the page.

Durante el funcionamiento la planta piloto de lodos activados secuenciales, se evaluó y modelo con diferentes configuraciones para el activado y cierre de válvulas dentro del sistema, en un número de seis fases como se muestra en la tabla siguiente:

**Tabla N° 5.3.3.a.
Fases del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuencial**

CAMARA S	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	FASE 5	FASE 6
1	Alimentación V ₁	Aireación V ₂	No hay válvula activa	Salida V ₇	Salida V ₇	Salida V ₇
	Aireación V ₂					
2	Aireación V ₄	Alimentación V ₃	Aireación V ₄	Alimentación V ₃	Aireación V ₄	Alimentación V ₃
		Aireación V ₄		Aireación V ₄		Aireación V ₄
3	Salida V ₆	Salida V ₆	Salida V ₆	Alimentación V ₅	Aireación V ₆	No hay válvula activa
				Aireación V ₆		

N

Nota: V_x, corresponde a las válvulas (08 válvulas solenoide).

Ver en el Apéndice las Figuras que muestran el **Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuencial** en varias etapas de construcción, Figura 5.3.3.d. "Vistas del conjunto de Válvulas de Solenoides para el aire", se puede apreciar dos vistas en la que observamos, el juego de tres válvulas del tipo solenoide para el aire del proceso; Figura 5.3.3.e. "Vista de los dos Sopladores Electromagnéticos", en el que observamos el compartimento donde están alojados los dos compresores electromagnéticos para el aire de servicio y que trabajan en forma alterna, controlados por un temporizador; Figura 5.3.3.f. "Vista que muestra las dos Electrobombas para aguas crudas", la vista muestra el compartimento con las dos electrobombas para las aguas crudas, también se observa las tres válvulas de solenoide que distribuyen el agua hacia cada una de las cámaras de

aireación, por último se observa la bomba centrífuga para el retiro de lodos; Figura 5.3.3.g. "Vista del tablero eléctrico y de la Caja de donde se ubica la Tarjeta de Control", las vistas muestran los tableros el primero de suministro eléctrico y el segundo muestra el tablero donde se aloja la tarjeta para el control secuencial para programar el tiempo de cada una de las secuencias; Figura 5.3.3.h. "Vista anterior y posterior de la Tarjeta de Control", Vista que muestran la parte posterior de los tableros, obsérvese el transformador de 220v/12v para las válvulas de solenoide y el Cooler para enfriamiento de la tarjeta de control; mientras la segunda vista corresponde a tarjeta de control; Figura 5.3.3.i. "Vista durante la instalación de la electrobomba sumergible", la vista corresponde a una secuencia durante la instalación de la electrobomba sumergible en la cisterna de captación del agua cruda, que permita llenar el tanque superficial de un m³ garantizando el agua para las pruebas con el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial en las instalaciones del jardín de la facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao; Figura 5.3.3.j. "Vista del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial"; Figura 5.3.3.k. "Vista de las valvulas de salida del efluente tratado", las vistas muestran las dos electroválvulas solenoides de efluente tratado y del depósito de reunión del efluente.

5.3.4. Características de los afluentes domésticos y de los efluentes tratados.- Se caracterizaron el afluente y efluente durante la etapa de operación del sistema de tratamiento, caracterización que se realizó con el fin de poner en marcha el sistema de tratamiento a partir del 1° de Diciembre del 2016 hasta el 1de Febrero del 2017, y una segunda etapa ya de evaluación del sistema de tratamiento, a partir del Martes 7 de



Febrero del 2017 hasta el Martes 7 de Marzo del 2017, esta última que nos interesa para la etapa de investigación, en la que se evaluaron los parámetros que se pueden analizar con equipo en tiempo real es decir en el momento con equipos propios y otros en la que hubo la necesidad de contratar los servicios especializados de un laboratorio acreditados como el caso de Inspectorate Services Pero S.A.C. Dirección Av. Elmer Faucett N° 444 Callao-Perú. Para el caso de aquellos parámetros que demandan de tiempo para su análisis y además de no contar con los equipos de mayor especialización.

Técnicas de Laboratorio.- Para determinar los valores de cada uno de los Indicadores de las variables o parámetros de calidad se utilizaron, los métodos normalizados para análisis de aguas residuales, tanto las que se realizaron en situ como para aquellas que fueron realizadas por el laboratorio acreditado contratado para las determinaciones que exigían técnicas con equipo y demandaban tiempo para conocer el resultado, aplicándose las técnicas desarrolladas por APHA, AWWA WPCF (Standard Methods) for the examination of water and wastewater 21 edición. 2005, las mismas que se muestran en el Apéndice Tabla N° 5.3.4. "Métodos Normalizados y Equipos para Monitoreo de Aguas Residuales".

5.3.5. Sistema de riego para las áreas verdes.- El Sistema de Riego para las aguas tratadas se basa en el Reglamento Nacional de Edificaciones, NORMA IS.010 INSTALACIONES SANITARIAS, en la que la dotación mínima de agua de riego de jardines será de 2 L/d.m², teniendo en cuenta el sistema fijo y el sistema rotatorio de rociadores o aspersores:

- a) En el diseño de instalaciones de riego con rociadores o aspersores fijos se adoptará lo siguiente:



- Diámetro mínimo de alimentación de cada rociador: 15 mm (1/2").
 - Presión mínima en el punto de alimentación de cada rociador: 12 m (0,118 MPa).
 - Gasto mínimo de cada rociador: 0,06 L/s.
- b)** En el diseño de instalaciones de riego con rociadores o aspersores rotatorios, se adoptará lo siguiente:
- Diámetro mínimo de alimentación de cada rociador: 20 mm (3/4").
 - Presión mínima en el punto de alimentación de cada rociador: 20 m (0,196 MPa).
 - Gasto mínimo de cada rociador: 0,10 L/s.

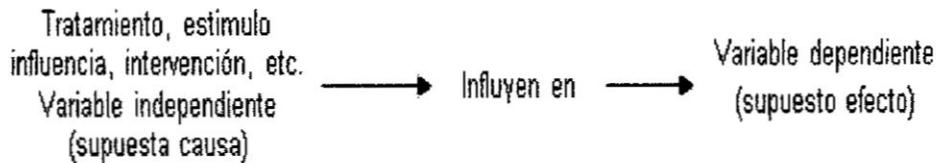
El sistema contara con una cisterna que almacene el agua tratada con capacidad de 1000 litros, el agua se almacenara proveniente del sistema de tratamiento con la dosis de desinfectante adecuado, además se incluye una electrobomba de capacidad entre 1 y 2 Hp, que permita conducir el agua tratada hacia cada uno de los puntos de riego donde se hallan colocado los aspersores y/o rociadores.

El sistema completo de planta de tratamiento y riego automatizado se hallara alojado bajo el jardín en una cámara con la capacidad suficiente que permita albergar el sistema completo, de modo que sobre la losa de techo de esta cámara este cubierta de área verde solo el manhole o la abertura de acceso contara con tapa de concreto o acero. A continuación se detalla cada una de las figuras que se refiere al sistema de riego utilizado donde se han descargado los efluentes tratados en el sistema de tratamiento de lodos activados del tipo secuencial y que para efectos de evaluación como lo indicamos se instaló en la ciudad universitaria de la



Universidad Nacional del Callao, específicamente en el jardín de la facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales – FIARN, ver en el Apéndice la Figura 5.3.5.a. "Jardín de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales – FIARN", la vista el jardín de la FIARN con el sistema de riego, constituido de la cisterna de almacenamiento de agua tratada de clase III para riego, la electrobomba de presión y la red de difusores de riego; Figura 5.3.5.b. "Plano de distribución de los difusores e riego del jardín de la FIARN"; Figura 5.3.5.c. "Proyección del Sistema de Tratamiento con el Sistema de Riego de la FIARN", en la vista se puede apreciar una proyección en la que se observa en primer plano el Sistema de Tratamiento y al fondo en segundo plano el Sistema de Riego en la actualidad; Figura 5.3.5.d. "El Sistema de Riego de la FIARN como luce actualmente conectado al Sistema de Tratamiento Compacto", en primer plano se observa el sistema de riego; Figura 5.3.5.e. "Vista del lado derecho del Sistema de Tratamiento con el Sistema de Riego de la FIARN", en esta vista apreciamos de derecha a izquierda el Sistema de Tratamiento, seguido de la cisterna de almacenamiento de agua tratada de clase III para riego y en segundo plano la electrobomba de agua para riego; Figura 5.3.5.f. "Vista de lado derecho del Jardín de la FIARN contiguo al Sistema de Riego", en esta vista compuesta se puede apreciar la porción derecha del Jardín de la FIARN que se riega a través del sistema de riego; Figura 5.3.5.h. "Vista de lado izquierdo del Jardín de la FIARN contiguo al Sistema de Riego", en esta vista compuesta se aprecia la parte izquierda del Jardín de la FIARN que se riega a través del sistema de riego;

5.4. Estrategia de prueba de hipótesis.- Los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control, SAMPIERE (2006), como lo apreciamos en la figura:



Para el desarrollo del trabajo de Investigación, como se ha especificado se diseñó y construyó el sistema piloto denominado Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuenciales, el cual se Operó, manipulando los Indicadores de la Variable Independiente, y como resultado de ello se logró demostrar los valores de los indicadores de la Variable Dependiente "Calidad de los efluentes tratados para su reutilización" cumpliendo con los valores de ECA que permitan su reúso como agua de riego, para lo cual hubo la necesidad de medir el valor de sus indicadores para ver el efecto que tiene la variable independiente sobre ella.

Para demostrar y comprobar la hipótesis anteriormente formulada, hubo la necesidad de operacionalizarla a través de sus variables, y de los indicadores de cada una de ella, es así que a través de la relación **Causa – Efecto**, sometiendo el efluente domestico a pasar a través del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del tipo Secuencial (Variable Independiente), se evaluó la Variable Dependiente: Y = Calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización, para los cual se establecieron sus Indicadores:

Indicadores Operacionales de la Variable Independiente (X).-

Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuenciales:

Indicadores

- | | |
|--|----------------|
| ○ Caudal (M ³ /seg) | X ₁ |
| ○ Carga Superficial de Tratamiento (M ³ /M ² .d) | X ₂ |
| ○ Tiempo de retención hidráulica | X ₃ |
| ○ Concentración de lodos | X ₄ |
| ○ Índice volumétrico de lodos | X ₅ |

Indicadores Operacionales de la Variable Dependiente (Y).-

Calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización:

Indicadores

- | | |
|---|-----------------|
| ○ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | Y ₁ |
| ○ Demanda Química de Oxígeno (DQO) | Y ₂ |
| ○ Aceites y Grasas (A y G) | Y ₃ |
| ○ Coliformes Fecales (CF) | Y ₄ |
| ○ Conductividad Eléctrica (CE) | Y ₅ |
| ○ Temperatura (°C) | Y ₆ |
| ○ Potencial Hidrogeno (pH) | Y ₇ |
| ○ Oxígeno Disuelto (OD) | Y ₈ |
| ○ Sólidos Totales Disueltos (STD) | Y ₉ |
| ○ Turbiedad (Turb) | Y ₁₀ |

Durante las pruebas experimentales se realizaron las observaciones necesarias para conocer cuantitativamente el valor de cada uno de los indicadores de la variable dependiente, es decir la caracterización del efluente antes de su ingreso, a la salida y en el propio sistema de tratamiento, manteniendo fijo los indicadores de la Variable Independiente (Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuenciales).

5.5. Variables.- Como lo hemos indicado anteriormente las variables planteadas en nuestra hipótesis son dos:

La Variable Independiente, (**VI**): Sistema de tratamiento de lodos activados del tipo secuencial;

La Variable Dependiente, (**VD**): Calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización.

Debido a que la investigación es netamente experimental, en ese sentido existe una relación del tipo Causa – Efecto, por lo que las variables están íntimamente relacionadas, según la relación: $Y = f(X)$, ó (Variable Independiente "X" → Variable Dependiente "Y"), dado que durante el experimento la variable independiente afectara a la variable dependiente como lo indicamos anteriormente.

Definiciones de los indicadores:

- **Caudal (M^3/seg).**- es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo.
- **Carga Superficial de Tratamiento ($M^3/M^2.d$).**- Carga orgánica a tratar por metro cuadrado día.
- **Tiempo de retención hidráulica.**- Tiempo promedio de permanencia del efluente que ingresa al tanque de aireación. (Lazcano, C. 2014)
- **Concentración de lodos (% Vol).**- Volumen de lodos en el tanque de aireación.
- **Potencial Hidrogeno (pH).**- Grado de acidez o alcalinidad que posee el agua y que depende de la concentración de iones de hidrogeno presentes. (Lazcano, C. 2014)
- **Turbiedad (Turb).**- Es el contenido de materia en suspensión que posee el agua, que se juzga parcialmente mediante la determinación de la turbiedad, se expresa en NTU, (Nephelométric Turbidity Units). (Degremont 1979)



- **Demanda Química de Oxígeno (DQO).**- Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar el carbono orgánico completamente a CO₂, H₂O y amonio. (Lazcano, C. 2014)
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).**- Se define como la cantidad de oxígeno disuelto consumida por los microorganismos para la oxidación de la materia orgánica (carbonácea e inorgánica). (Lazcano, C. 2014)
- **Aceites y Grasas.**- constituyen los Lípidos presentes en las aguas en proporción del 10% de los componentes orgánicos. Se les considera como componentes indeseables, debido a que inhiben el crecimiento de los microorganismos. (Lazcano, C. 2014)
- **Sólidos totales.**- se definen como los residuos que quedan después de que la muestra ha sido evaporada y secada a 105 °C durante 24 horas al calor seco. (Lazcano, C. 2014)
- **Coliformes Fecales.**- La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.
Los coliformes fecales son microorganismos con una estructura parecida a la de una bacteria común que se llama *Escherichia coli* y se transmiten por medio de los excrementos. La *Escherichia* es una bacteria que se encuentra normalmente en el intestino del hombre y en el de otros animales. Hay diversos tipos de *Escherichia*; algunos no causan daño en condiciones normales y otros pueden incluso ocasionar la muerte.
- **Conductividad Eléctrica.**- La conductividad eléctrica se define como la capacidad de una sustancia en este caso del agua de conducir la corriente eléctrica y es lo contrario de la resistencia, esta variable depende de la cantidad de sales disueltas presentes en el agua e es inversamente proporcional a la

resistividad del mismo, la unidad de medición es micro Siemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$),

5.6. Población.- La Población o Universo (N) del presente trabajo Tesis, son los todos los efluentes domésticos generados en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Callao (similares a los generados a nivel doméstico), como lo explicáramos, en el local de la universidad, específicamente en el Jardín posterior de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, se instaló todo el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuenciales, que permitiera tratar los efluentes y permitiera demostrar la hipótesis de la presente investigación.

Los desagües generados a nivel doméstico en la ciudad universitaria pueden considerarse homogéneos y más si estos provienen de los distintos servicios e instalaciones higiénicas de las más de 18 edificaciones donde a diario se desplazan más de 13000 estudiantes y cerca de 600 docentes 500 trabajadores administrativos, que hacen uso de estas instalaciones, donde se consumen cerca de $2,035 \text{ m}^3/\text{mes}$ de agua potable²³, facturándose por este concepto cerca de S/.12,000.00 /mes, se estima un 20% se usa para el riego de las áreas verdes, cierto que esto es un problema que se involucra en el problema del presente trabajo de investigación, y cuya solución parcial entre otros aspecto a contemplar sería la reutilización del agua tratada para el riego de los jardines y áreas verdes de la ciudad universitaria.

Podríamos estimar que el caudal generado de desagüe en la ciudad universitaria sería del orden del 20% del agua facturada, es decir $407 \text{ m}^3/\text{mes}$, ó $13.6 \text{ m}^3/\text{día}$.

Las caracterización de las Aguas Residuales Domésticas, en su apreciación general, se determinó en base al programa de monitoreo cuyo resultados se aprecian en el apéndice, Cuadro 3.5. "Valores

²³ Universidad Nacional del Callao, oficina de abastecimiento, consumo promedio mensual año 2015

promedio de los parámetros que caracteriza el efluente monitoreado en la Ciudad Universitaria de la UNAC", en consecuencia y dado que las variaciones de sus indicadores no son significativas estas se consideraron como efluentes doméstico homogéneos.

5.7. Muestra.- Toma de muestra, mediciones en situ y su frecuencia.- La recolección y manipulación de muestras fue una de las etapas más importantes en el monitoreo, porque permitió garantizar resultados satisfactorios de los análisis correspondientes tales como: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Aceite y Grasa, Coliformes Fecales estos primeros muestreados una vez por semana (a partir del Martes 4 de febrero del 2017) tanto al ingreso como a la salida del sistema compacto de lodos activados en un volumen de 10 litros por separado tanto para los análisis al ingreso otros 10 litros a la salida, los cuales una vez homogenizada se recolectaron las submuestras en recipientes independientes destinadas para los análisis de los indicadores respectivos y analizados por un Laboratorio Acreditado, mientras otros, tales como temperatura, pH, Conductividad Eléctrica, Sólidos Totales Disueltos, Oxígeno Disuelto, Turbiedad y Volumen de lodos, se realizaron en situ con una frecuencia de tres veces por día, procedentes de los efluentes considerados a su ingreso como a su salida del sistema de tratamiento e incluso en el propio sistema, realizados del 07 de febrero al 21 de marzo del 2017.

5.8. Técnicas de Investigación.- Las Técnicas e Instrumentos de recolección de datos que hubo que aplicar para nuestro trabajo Tesis, son específicas para cada momento de la propia investigación:

- Primero en su etapa de caracterización de los efluentes del tipo doméstico, generados en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional del Callao (UNAC), en su aspecto de cantidad (caudal o aforo) y de calidad (es decir químicas, físico químicas y biológicas).



• Segundo en su etapa experimental los efluentes domésticos son tratados a través del sistema de tratamiento compacto de lodos activados que permitió demostrar la hipótesis planteada, es decir recolectar datos que se generan durante la manipulación de la variable dependiente.

Para caracterizar los efluentes domésticos generados en la ciudad universitaria, se desarrolló un programa de muestreo de mediciones y análisis basado en el Protocolo de Monitoreo de Efluentes Líquidos Emisiones Atmosféricas, aprobado mediante Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI/DM del 28 de Febrero del 2000. Este programa de monitoreo consideró:

Objetivos.- El objetivo principal del monitoreo de los efluentes líquidos es la obtención de información adecuada sobre la composición de los efluentes y la cantidad relativa o tasa de la materia que se emite en la disposición final. Específicamente caracterizar los efluentes domésticos y determinar los caudales, identificando los puntos de descargas.

Parámetros a medir.- Los parámetros a medir dentro del programa de monitoreo dependerá de los objetivos del Programa de Monitoreo, para lo cual se seleccionaron los indicadores más importantes, como: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Grasas y Aceites (GyA), Coliformes Fecales (CF). Estos para el caso de los análisis semanales y realizados por laboratorio acreditado.

Selección de los puntos de muestreo.- La selección de muestreo se ubicaron en dos puntos importantes al ingreso del sistema de tratamiento y a la salida del sistema de tratamiento.

5.8.1. Instrumentos de recolección de datos.- Para el desarrollo del presente trabajo se ha utilizado información muy diversa, tanto de trabajos realizados por tercero como se muestra en los antecedentes, revisando algunos abundante Bibliografía, siendo este tipo de información de carácter Documental, con

respecto a la información del tipo observaciones de campo o para los análisis de cada uno de los valores de los indicadores de cada variable, es decir durante el muestreo de campo realizados en la ciudad universitaria de la UNAC, se realizó el procedimiento de toma de muestra, almacenamiento (dependiendo del parámetro sujeto al análisis), conservación, etiquetado, embalaje y transporte. Para garantizar la representatividad de las muestras se llevaron a cabo además las siguientes sub actividades:

A. Actividades de Pre-Muestreo.- Constituidas por las siguientes:

a. Equipos e Instrumentos.- Los equipos e instrumentos de medición in situ cumplieron con las normas establecidas en el protocolo de monitoreo, el cual establece que estos deben encontrarse limpios y calibrados antes de ir a campo y quedar en las mismas condiciones al final del trabajo. Equipos: Multi – parámetro: (Temp. °C, pH, STD y CE), Turbidímetro, Oxímetro y Cooler con refrigerante para muestras.

b. Tipos de recipientes de Muestreo.- Este material estuvo conformado de envases utilizados para la toma de muestra y su posterior análisis fueron proporcionados por el laboratorio acreditado, estos envases fueron previamente esterilizados, sellados y etiquetados por el laboratorio en mención. Para la realización del programa de monitoreo se utilizarán los siguientes envases:

- 12 unidades de botellas de polietileno de 1,000 mL
- 12 botellas de vidrio color ámbar de 1,000 mL
- 12 frascos esmerilado Wykler de 300 mL
- 12 frascos de polietileno de 250 ml

c. Volumen de Muestra.- Inicialmente se recolectó un volumen de 10 litros por separado tanto para los análisis al



ingreso y otros 10 litros a la salida del sistema de tratamiento compacto de lodos activados del tipo SBR, de ahí se escogieron 1L para el cuantificar la DBO₅, 1L para cuantificar la DQO, ½ L para Aceites y Grasas y 250 mL para Coliforme Totales, tanto de la entrada como de la salida, estos análisis correspondieron al muestreo semanal, para el caso del monitoreo diario programado a las 6:00 am. 11:00 am y 7:00 pm se recolecto volumen de 1 litro tanto a la entrada como a la salida (para análisis multi parámetro medidor de Temp. °C, pH, STD y CE y de Turbiedad) e incluso del propio reactor biológico (específicamente para determinar la concentración de lodos y Oxígeno Disuelto), todos estos últimos se realizaron insitu.

d. Preservante Químico y Solución de Calibración.-

Al llevarse a cabo un programa de monitoreo, en el cual se tiene que tomar muestras para ser transportadas al laboratorio, fue necesario que se conserven adecuadamente a fin de mantener las condiciones físicas, químicas y biológicas del efluente, garantizando de este modo la veracidad de los resultados, por lo cual en algunos envases fue necesario agregarle un producto químico como preservante y conservarlo en un ambiente frío (Cooler).

Para el caso de los equipos de medición in situ estos debieron estar previamente calibrados antes de realizar las mediciones.

e. Tiempo Máximo de Almacenamiento.-

El análisis inmediato constituye la mejor forma de reducir el margen de error, por ello se establece que durante el muestreo se tiene que preservar y acondicionar a temperaturas menores de 4 °C (refrigerar en el cooler) para ser llevados posteriormente al laboratorio acreditado contratado para este servicio. Ver en Anexo la Tabla 5.8.1. "Criterios para Recolección,

Preservación y Almacenamiento" para cada parámetro seleccionado para el presente estudio.

f. Materiales de Apoyo para el Muestreo.- Para realizar la toma de muestras y las mediciones de parámetros in situ se contó además con los siguientes materiales:

- 2 Vasos precipitado (Backer) de 500 mL
- 1 Vaso precipitado (Backer) de 200 mL
- 1 Probeta de plástico transparente de 50 mL
- 02 Cilindro PVC de 25 Litros
- 1 Embudo pequeño
- 1 Balde de plástico de 5 Litros
- 5 Botellas de polietileno plásticas de 1,000 mL

g. Equipo de Seguridad para el Muestreo.- Para realizar la toma de muestra y los análisis en el laboratorio se contó además con los implementos de seguridad, para evitar tener contacto directo con la muestra y los productos químicos. Entre ellos tenemos:

- 02 mandiles o guardapolvo blanco
- 02 pares de lentes de laboratorio
- 02 mascarillas de doble filtro
- 12 mascarillas desechables
- Una caja de 500 unidades de guantes quirúrgicos desechables

B. Actividades de Muestreo y Recolección de la Muestra.-

a. Toma de Muestra.- Las muestras para el análisis fueron tomadas durante el horario establecido y secuencias establecida, tanto para los parámetros que requerían ser analizados en el laboratorio acreditado con una secuencia semanal y los parámetros a ser analizados en situ con

frecuencia de tres veces por día, se recolectaron en los recipientes adecuados de material y volumen.

b. Rotulado de las Muestras.- Los recipientes de las muestras fueron rotulados correctamente registrando en las etiquetas la siguiente información antes de ser enviada al laboratorio para su análisis respectivo: Formato de Inspectorate Services Perú S.A.C. (FORMA-22/POMA10)

N° Cadena de Custodia:
Estación de Muestreo:
Tipo de Muestra:
Fecha: Hora:
Parámetros:
Inspector de Campo:
Muestreado Por:
Cliente:
Inspectorate:

c. Conservación y Preservación de la Muestra.- La conservación y preservación de las muestras se efectuaron de acuerdo a lo indicado en la Tabla 3.7. "Criterios para Recolección, Preservación y Almacenamiento", que se muestra en el anexo, donde los envases se preservaran de acuerdo al tipo de análisis que le corresponde, asimismo dichas muestras se refrigeraron a 4°C.

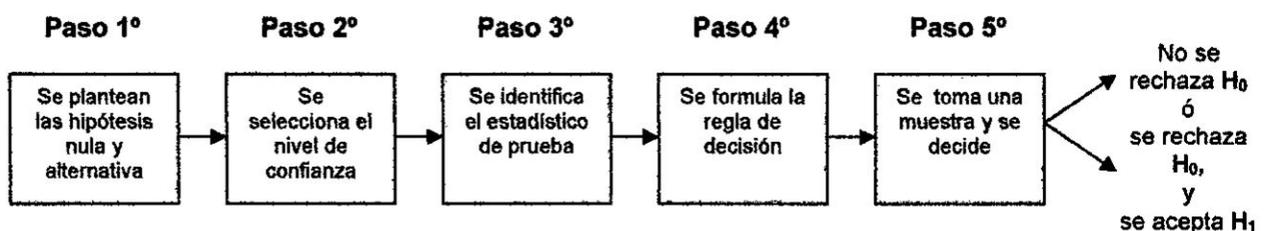
d. Transporte y Almacenamiento.- Para el transporte de los envases se utilizaron cajas térmicas aislantes (Cooler), que ayudaron a la preservación de las muestras hasta llegar al laboratorio.

e. Precauciones durante el Muestreo.- Cuando se prepararon los preservantes y durante el manejo de las muestras, se tuvo cuidado con el manejo de los reactivos HNO_3 , H_2SO_4 y HCl .



VI. RESULTADOS

6.1. Contrastación de Hipótesis.- La Contrastación de Hipótesis se efectuó al mismo tiempo con la Validación del Sistema de Tratamiento (ST) Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial, ya que este ST sería la herramienta que permita obtener las observaciones, para demostrar la validez de nuestra hipótesis, para ello se aplicó la técnica estadística de la **T de Student**, de modo que se efectuaron observaciones previas, una vez que el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial se pusiera en operación, y con los resultados obtenidos de las observaciones del parámetro Conductividad Eléctrica (CE), se demostró la Hipótesis, en base al valor de la media (μ : 2500 micro Siemens/cm) y por lo tanto nuestro Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos activados del Tipo Secuencial quedo validado como herramienta de trabajo para las etapas siguiente de la investigación, de modo que la **Validación del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial** es al mismo tiempo nuestra **Contrastación de Hipótesis**, la cual solo aplicaremos para el Indicador Conductividad Eléctrica de la Variable Dependiente: Calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización, por el método de **Estadístico de Prueba de Hipótesis**, con nivel de significancia de 0.01 (1%) y comprobación a través del procedimiento de intervalos de confianza, como se indica en el esquema siguiente:



a. A partir de la Información preliminar obtenida del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial, que nos permitirá la modificación del mismo si fuere necesario o la confirmación del modelo para continuar con las observaciones a nivel de planta piloto. El piloto se puso en funcionamiento el 1º de Diciembre del 2016, el muestreo lo iniciamos a partir del 15 de Enero del 2017, durante 15 días, periodo durante el cual se acumuló un total de 15 observaciones, la validación corresponde a un caudal de 800 L/día y tiempo de retención de 24 horas en 2 tandas de 12 horas (400 litros) para ello se planteó la siguiente secuencia para operar el sistema, secuencia que se muestra en el Apéndice como Tabla 4.1. "Tiempos Secuencial de Tratamiento para el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencia programados para la investigación", Con los valores de cada una de las 15 observaciones se confecciono el siguiente cuadro:

Cuadro 6.1.
"Resultados obtenidos durante el monitoreo en el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuencial, 15 observaciones, para la CE".

Observaciones	DIA	CAUDAL L / día	EST- CE µS/cm	SST - CE µS/cm
1	16/01/17	800	2750.00	2300.00
2	17/01/17	800	2606.67	2488.00
3	18/01/17	800	3383.33	2600.00
4	19/01/17	800	3233.33	2566.00
5	20/01/17	800	2965.00	2300.00
6	21/01/17	800	2860.00	2650.00
7	22/01/17	800	1856.67	1700.00
8	23/01/17	800	3246.67	2455.00
9	24/01/17	800	3323.33	2330.00
10	25/01/17	800	3454.00	2260.00
11	26/01/17	800	3520.00	2366.00
12	27/01/17	800	3263.33	2630.00
13	28/01/17	800	3490.00	2672.00
14	29/01/17	800	2916.67	2680.00
15	30/01/17	800	3190.00	2480.00

Nota: (Ingreso Vs. Salida, de la CE en el Sistema de Tratamiento, del 16 al 30/01/2017)

b. ¿Será razonable concluir que el valor final de CE obtenida con el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuencial es el deseado?

Empezamos por establecer la hipótesis nula, (H_0) y la hipótesis alternativa, (H_1).

H_0 : $\mu = 2500 \mu\text{S/cm}$ es el valor de la media de CE

H_1 : $\mu \neq 2500 \mu\text{S/cm}$, no indica dirección, por lo que esta es una prueba de dos colas.

Asumimos el valor de $\mu = 2500 \mu\text{S/cm}$ (CE = 2500 $\mu\text{S/cm}$, ó microSiemens) que corresponde al valor aceptado por los ECA, aprobado a través del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM "Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación", promulgada el Sábado 19 de diciembre de 2015, entre otros se especifica los valores de los diversos parámetros, especificando la Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto. Entiéndase como aguas utilizadas para el riego de plantas, frecuentemente de porte herbáceo y de poca longitud de tallo (tallos bajos), tales como plantas de ajo, lechuga, fresa, col, repollo, apio, arvejas y similares) y de plantas de porte arbustivo o arbóreo (tallos altos), tales como árboles forestales, frutales, entre otros. Para el caso de CE = 2500 $\mu\text{S/cm}$.

c. Al contar solo con 15 Observaciones, (n), es decir menos de 30 y no conocer la desviación estándar de la población (μ), bajo estas condiciones el procedimiento estadístico correcto es sustituir la distribución normal estándar por la distribución t:

- Es una distribución continua, tiene forma de campana y es simétrica, pero más plana o más espaciada que la distribución normal;



- Cada vez que cambia los grados de libertad, (gl), se crea una nueva distribución t y conforme aumenta gl, la forma de la distribución t se aproxima a la distribución normal estándar.
- d. Con las 15 observaciones, (n), se tendrán 14 gl, obtenido de la operación siguiente:

$$gl = n - 1$$

$$gl = 15 - 1$$

$$gl = 14$$

El valor de t, (*t de student*), se determinó para la siguiente condición:

Usando un intervalo de confianza del 98% o nivel de significación 0.02 y prueba de 2 colas, para gl = 14, de la Tabla 6.1 "*Distribución t de Student*" y que se muestra a continuación, obtenemos el valor t = 2.624.

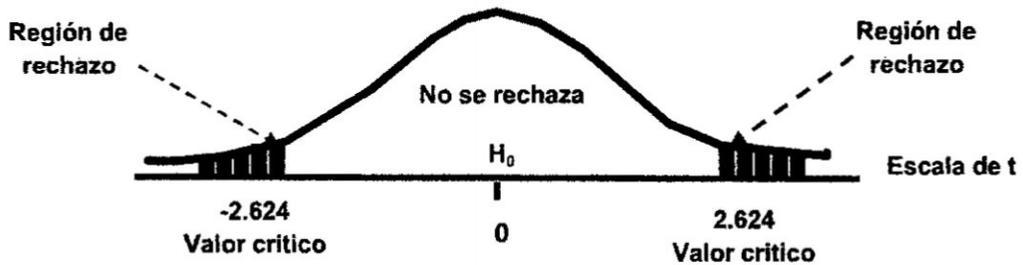
Tabla 6.1
Distribución t de Student

gl	Intervalo de confianza				
	80%	90%	95%	98%	99%
	Nivel de simplificación para prueba de una cola				
	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
gl	Nivel de significación para una prueba de dos colas				
	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947

Fuente: Tablas Estadística de Pedro Díaz Bustos

e. La regla de decisión es rechazar la hipótesis nula si el valor t obtenido, de los cálculos, está a la izquierda de -2.624 o a la derecha de $+2.624$, lo que representamos en la figura siguiente:

Distribución de los Valores Críticos para t , para el caso específico de 15 observaciones



f. Con los valores de cada una de las 15 observaciones obtenidas, confeccionamos la Tabla 6.1.a., denominada "Cálculos para determinación de la desviación estándar (S)"

**Tabla 6.1.a.
Cálculos para determinación de la desviación estándar (S)**

DIA	X	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$
16/01/17	2300.00	-131.80	17371.24
17/01/17	2488.00	56.20	3158.44
18/01/17	2600.00	168.20	28291.24
19/01/17	2566.00	134.20	18009.64
20/01/17	2300.00	131.80	17371.24
21/01/17	2650.00	218.20	47611.24
22/01/17	1700.00	731.80	535531.24
23/01/17	2455.00	23.30	538.24
24/01/17	2330.00	-101.80	10363.24
25/01/17	2260.00	-171.80	29515.24
26/01/17	2366.00	-65.80	4329.64
27/01/17	2630.00	198.20	39283.24
28/01/17	2672.00	240.20	57696.04
29/01/17	2680.00	248.20	61603.24
30/01/17	2480.00	48.20	2323.24
$\sum X$	36477.00		872996.40
$\bar{X} = \sum \frac{X}{n}$	2431.80		

Reemplazando los valores de la tabla en $(S = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{(n-1)}})$,

obtenemos el valor de $S = \sqrt{\frac{872996.40}{14}} = 249.71$

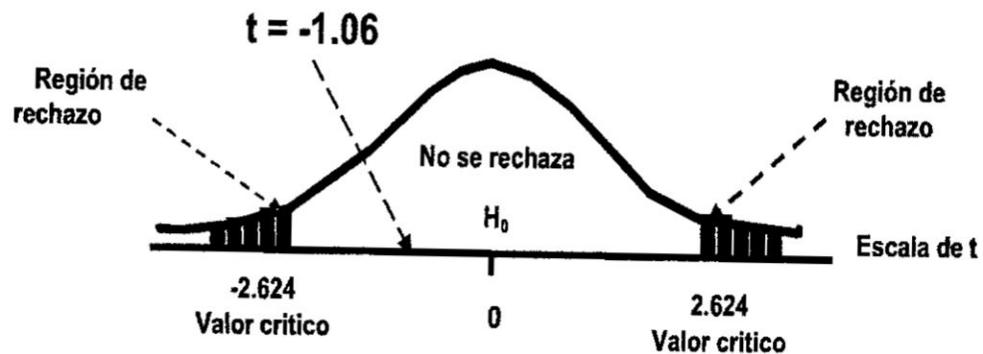
g. Con el valor de S, reemplazamos en: $t = \frac{(\bar{X} - \mu)}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$

$$t = \frac{2431.80 - 2500}{\frac{249.71}{\sqrt{15}}} = \frac{-68.2}{64.47} = -1.06$$

Haciendo $\mu = 2500 \mu\text{S/cm}$ que equivale al valor deseado como residual Conductividad Eléctrica a la salida del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuencial, obteniendo $t = -1.06$

h. La Hipótesis nula no se rechaza, para una desviación estándar de la población ($\mu = 2500 \mu\text{S/cm}$), porque, - 1.06, que es el valor obtenido de t y está en el rango o intervalo entre - 2.624 y + 2.624, es decir de no rechazo, lo que representamos en la figura siguiente:

Distribución de los Valores Críticos para $t = -1.06$, para el caso específico de 15 observaciones, de aceptación de la hipótesis



i. De esta forma el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuencial, queda validado para su utilización como herramienta, por lo que continuaremos nuestras

observaciones haciendo uso del mismo, para determinar cada uno de los indicadores de nuestras variables.

6.2. Análisis e interpretación.- A partir de la Contratación de Hipótesis que permitió la validación del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuencial, se continuo con las observaciones correspondientes a los indicadores de la Variable Dependiente (Y), es decir "Calidad de los efluentes domésticos tratados", de modo que estos cumplan con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para su reúso en el riego de áreas verdes es decir de la Clase III, situación que al cumplirse con esto se demostró la valides de nuestra Hipótesis y por lo tanto su contratación, mientras paralelamente se mantuvieron constantes los indicadores correspondientes a la Variable Independiente (Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial).

Las Observaciones para las contrastación de la Hipótesis se iniciaron a partir del 7 de febrero del 2017 en una secuencia semanal durante seis (06) semanas para los parámetros específicos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Grasa y Aceite (G y A) y Coliformes Fecales (CF), para estas seis primeras observaciones, se utilizó los servicios especializados de Inspectorate Services Peru S.A.C., Laboratorio de Ensayos Acreditados por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL –DA con Registro N° LE - 031 cuyos informes se encuentran en el Anexo como:

- Figura 6.2.a. "Informe de Ensayo con Valor Oficial No. 21201L/17-MA";
- Figura 6.2.b. "Informe de Ensayo con Valor Oficial No. 21627L/17-MA-MB";
- Figura 6.2.c. "Informe de Ensayo con Valor Oficial No. 21868L/17-MA-MB";

- Figura 6.2.d. "Informe de Ensayo con Valor Oficial No. 22167L/17-MA-MB";
- Figura 6.2.e. "Informe de Ensayo con Valor Oficial No. 35530L/17-MA-MB";
- Figura 6.2.f. "Informe de Ensayo con Valor Oficial No. 33194L/17-MA".

Mientras por otro lado se realizaron otras también importantes observaciones diarias en tiempo real, como lo mencionamos anteriormente, por contarse con el equipo para realizarlas, siendo estas, Conductividad Eléctrica (CE), pH, Sólidos Totales Disueltos (STD), Oxígeno Disuelto (OD) y Turbiedad, estas últimas corresponden también a indicadores de la Variable Independientes (X= Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial) las que tiende a mantenerse lo más constante posible.

6.2.1. Observaciones referidas a la Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO₅).- Con los resultados obtenidos se obtuvo la Tabla 6.2.1.

Tabla 6.2.1.
Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de la BDO₅ en el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial

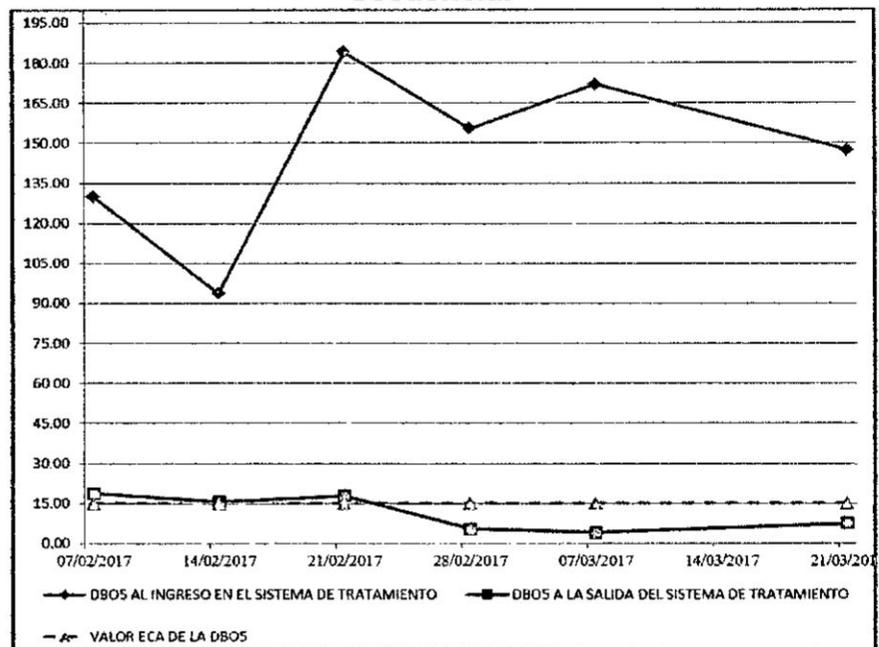
Observaciones.	DIA	EST - DBO ₅ mg/L	SST - DBO ₅ mg/L
1	07/02/2017	130.00	18.60
2	14/02/2017	093.80	15.70
3	21/02/2017	184.00	17.80
4	28/02/2017	155.50	04.50
5	07/03/2017	172.00	04.10
6	21/03/2017	147.50	07.50

Fuente: Autoría Propia.

A partir de la tabulación de los datos, se obtuvo la distribución de tendencia, que se detalla en la Figura 6.2.1., la figura muestra la concentración de la DBO₅ a la entrada del Sistema

de tratamiento y la concentración de la DBO₅ a la salida del mismo Sistema de Tratamiento.

Figura 6.2.1.
Variación de la Concentración de la DBO₅ del efluente doméstico, durante paso a través del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial



Fuente: Autoría Propia.

Donde se observa las variaciones de la DBO₅ a su ingreso, y que fue incrementando a partir de la segunda semana en su valor superior a 100 mg/L, mientras que los de la salida se fueron aproximando al valor exigido por el ECA e incluso por debajo de este 15 mg/L, es decir que el valor de la DBO₅ cumple con el valor del ECA para este parámetro dentro de la Clase III, es decir para su uso del efluente tratado para el riego de área verdes, con lo que se demuestra la hipótesis referida a este indicador de calidad.

6.2.2. Observaciones referidas a la Demanda Química de Oxígeno (DQO).- A partir de Observaciones referidas a la DQO se confecciono la Tabla 6.2.2.

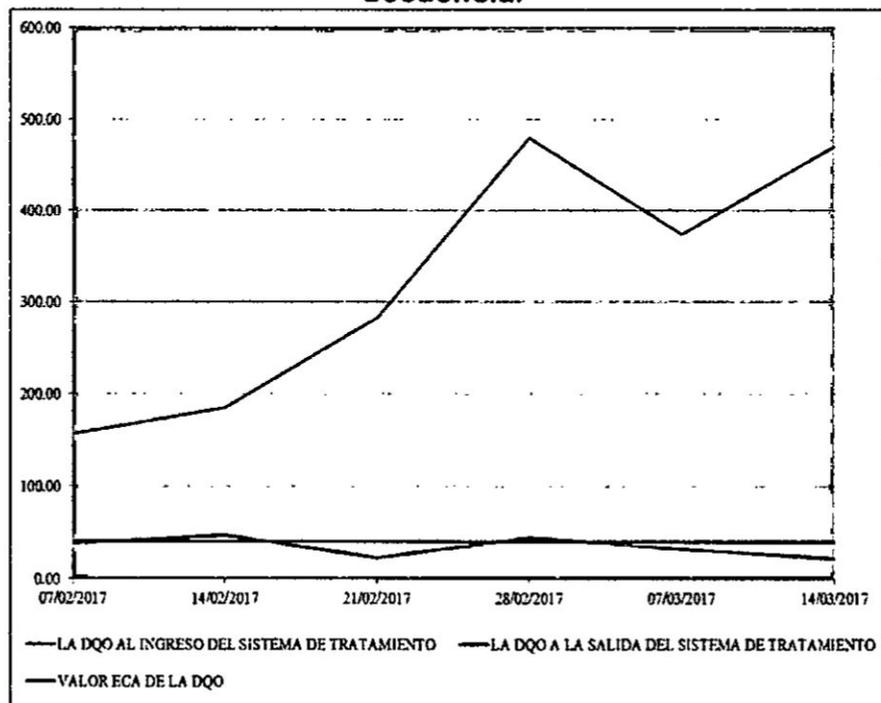
Tabla 6.2.2.
Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de la DQO en el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial

Observaciones.	DIA	EST - DQO mg/L	SST - DQO mg/L
1	07/02/2017	156.90	38.40
2	14/02/2017	184.90	47.00
3	21/02/2017	282.10	22.40
4	28/02/2017	479.80	44.40
5	07/03/2017	373.80	32.60
6	21/03/2017	470.60	22.20

Fuente: Autoría Propia.

A partir de estos valores se procesaron a través del programa Excel, tabulándose los datos, obteniéndose la distribución de tendencias que se detalla en la Figura 6.2.2.

Figura 6.2.2.
Variación de la Concentración de la DQO del efluente doméstico, durante paso a través del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial



Fuente: Autoría Propia.

La Figura 6.2.2. "Variación de la Concentración de la DQO del efluente doméstico, durante su paso a través del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial", muestra la concentración de la DQO a la entrada y a la salida del Sistema de tratamiento, superando en todas las observaciones referidas al ingreso que estas son superiores a 100 mg/L, mientras el valor promedio a la salida aproximadamente están por debajo del 40 mg/L, es decir que el valor de la DQO cumple con el valor del ECA para este parámetro dentro de la Clase III, es decir para su uso del efluente tratado para el riego de área verdes.

6.2.3. Observaciones referidas a los Aceites y Grasas, (A y G).-

Con los valores de las observaciones referidas a la Concentración de Aceites y Grasas de confecciono la Tabla 6.2.3.

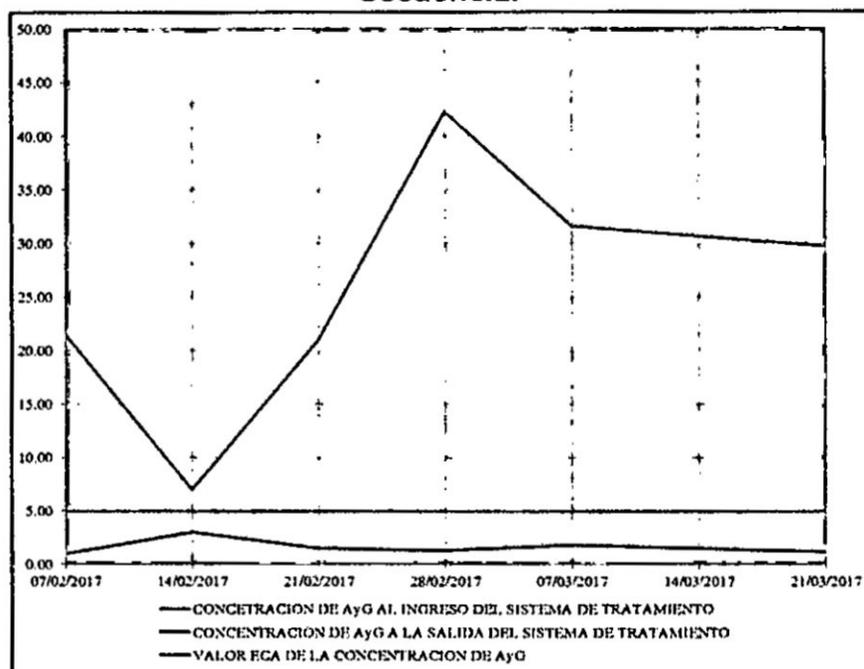
Tabla 6.2.3.
Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de A y G en el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial

Observaciones.	DIA	EST – A y G mg/L	SST – A y G mg/L
1	07/02/2017	1.50	1.00
2	14/02/2017	7.00	3.00
3	21/02/2017	21.00	1.50
4	28/02/2017	42.30	1.30
5	07/03/2017	31.60	1.80
6	21/03/2017	29.70	1.20

Fuente: Autoría Propia.

Con los valores de cada una de las observaciones haciendo uso del programa Excel, se tabulo la data y se corrió la curva de tendencia que se muestra en la Figura 6.2.3

Figura 6.2.3.
Variación de la Concentración de la A y G del efluente doméstico, durante paso a través del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial



Fuente: Autoría Propia.

La figura muestra la variación de la concentración de A y G registrada al ingreso y a la salida del Sistema de Tratamiento, donde se observa que en la mayoría de los casos el valor de la concentración de A y G al ingreso del Sistema de Tratamiento fue superior a 5.00 mg/L, es decir, al valor del ECA para este parámetro dentro de la Clase III, mientras por el otro lado, la concentración de este parámetro a la salida estuvo por debajo del valor del ECA, es decir para su uso del efluente tratado para el riego de área verdes. El valor de ingreso de los A y G, además se ve reducido, debido a que la cisterna de almacenamiento de efluente crudo actúa como trampa de Aceites y Grasas, los mismo que al ingresar a esta cisterna por diferencia de densidad se ubican sobre la superficie de las aguas y la alimentación hacia el Sistema de

Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial está por debajo de este nivel.

6.2.4. Observaciones referidas a los Coliformes Fecales. (CF).-

Como sabemos el sistema de tratamiento, sistema de tratamiento de lodos activados no destaca por reducir la carga bacterial, no obstante ello decidimos monitorear este parámetro a fin de conocer la magnitud de los CF, ya que la reducción al nivel de valor exigido por el ECA para Aguas de riego se efectuara con la desinfección utilizando un compuesto como el Hipoclorito de Sodio o de Calcio, a partir de las observaciones referidas a los CF se confecciono la Tabla 6.2.4. que se muestra:

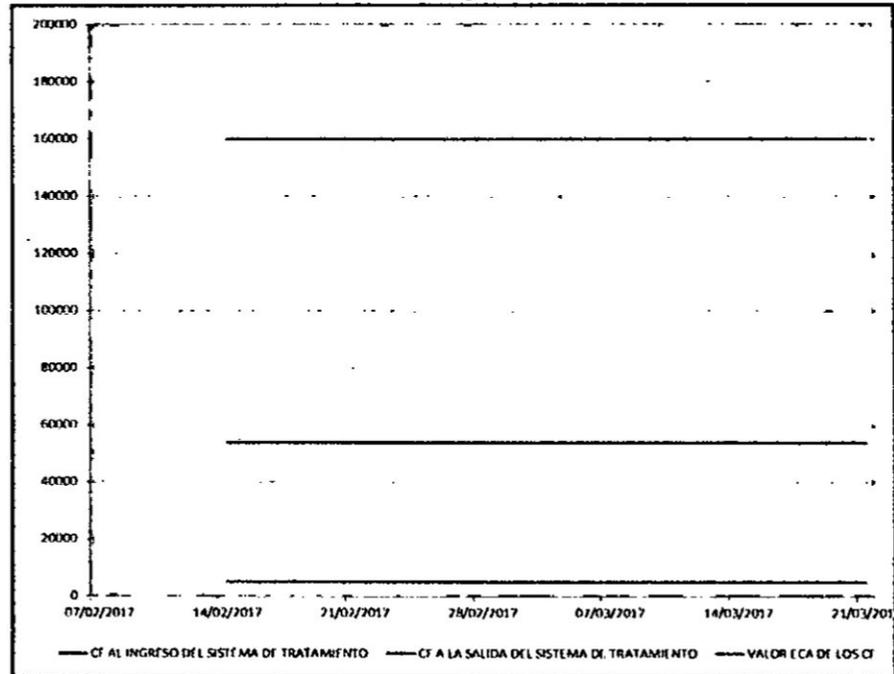
Tabla 6.2.4.
Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de los CF en el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial

Observaciones.	DIA	EST – CF NMP/100mL	SST – CF NMP/100mL
1	07/02/2017	-	-
2	14/02/2017	16×10^4	54×10^3
3	21/02/2017	16×10^4	54×10^3
4	28/02/2017	16×10^4	54×10^3
5	07/03/2017	16×10^4	54×10^3
6	14/03/2017	16×10^4	54×10^3

Fuente: Autoría Propia.

A partir de la tabulación de los datos, se obtuvo la distribución de tendencia, que se detalla en la Figura 6.2.4. "Variación de la Concentración de los CF, durante su paso a través del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial", La figura muestra la concentración de los CF registrado al ingreso y a la salida del sistema de tratamiento, los mismos que son muy semejantes y se hallan por encima del valor ECA de 5000 NMP/100 mL.

Figura 6.2.4.
Variación de la Concentración de los CF, durante su paso a través del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial



Fuente: Autoría Propia.

Precisamente esta unidad de tratamiento no se caracteriza por reducir la carga bacteriana, ya que su eficiencia depende de ella y más bien la promueve, de modo que la reducción de la presencia de los CF será a partir de la dosis del compuesto desinfectante con hipoclorito de sodio o de calcio que permita usar el agua para riego de jardines y áreas verdes.

6.2.5. Observaciones referidas a la Conductividad Eléctrica, (CE).- Con las observaciones de la Conductividad Eléctrica a partir del 7 de febrero al 21 de marzo del 2017, se confeccionó la Tabla 6.2.5. "Monitoreo de la Conductividad Eléctrica en el efluente al Ingreso y la Salida del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencia". A partir de la tabulación de las observaciones, se obtuvo la distribución de tendencias, que se detalla en la Figura 6.2.5. "Monitoreo de la variación de la Conductividad Eléctrica de efluente del tipo

doméstico desde el Ingreso a la Salida del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial",

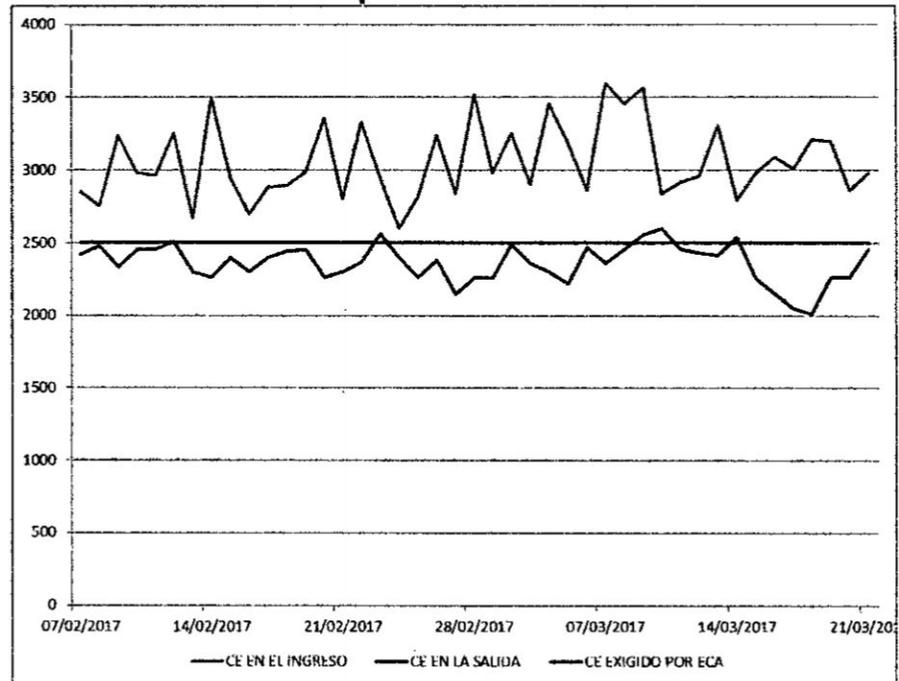
Tabla 6.2.5.
Monitoreo de la Conductividad Eléctrica en el efluente al Ingreso y la Salida del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial.

ORD	FECHA	CE ($\mu\text{S/cm}$)		ORD	FECHA	CE ($\mu\text{S/cm}$)		ECA CE ($\mu\text{S/cm}$)
		INGRESO	SALIDA			INGRESO	SALIDA	
1	07/02/2017	2850.66	2420.20	23	01/03/2017	2980.30	2258.20	2500.00
2	08/02/2017	2750.20	2480.30	24	02/03/2017	3254.20	2490.20	2500.00
3	09/02/2017	3236.30	2330.20	25	03/03/2017	2905.20	2360.60	2500.00
4	10/02/2017	2983.33	2450.60	26	04/03/2017	3454.20	2300.60	2500.00
5	11/02/2017	2965.62	2456.60	27	05/03/2017	3190.00	2220.60	2500.00
6	12/02/2017	3256.22	2508.20	28	06/03/2017	2860.40	2470.60	2500.00
7	13/02/2017	2668.22	2300.50	29	07/03/2017	3600.00	2360.80	2500.00
8	14/02/2017	3500.00	2260.40	30	08/03/2017	3454.20	2460.20	2500.00
9	15/02/2017	2950.22	2400.30	31	09/03/2017	3562.24	2556.00	2500.00
10	16/02/2017	2700.22	2300.00	32	10/03/2017	2840.20	2600.00	2500.00
11	17/02/2017	2880.64	2400.40	33	11/03/2017	2916.20	2460.00	2500.00
12	18/02/2017	2893.33	2440.40	34	12/03/2017	2960.40	2430.60	2500.00
13	19/02/2017	2985.62	2450.80	35	13/03/2017	3306.20	2416.30	2500.00
14	20/02/2017	3356.22	2260.60	36	14/03/2017	2798.20	2540.30	2500.00
15	21/02/2017	2800.22	2300.00	37	15/03/2017	2980.50	2256.12	2500.00
16	22/02/2017	3330.00	2366.00	38	16/03/2017	3090.20	2150.30	2500.00
17	23/02/2017	2950.22	2560.70	39	17/03/2017	3010.10	2050.60	2500.00
18	24/02/2017	2600.22	2400.90	40	18/03/2017	3210.20	2010.50	2500.00
19	25/02/2017	2820.44	2260.60	41	19/03/2017	3200.30	2260.80	2500.00
20	26/02/2017	3238.40	2380.60	42	20/03/2017	2860.46	2260.80	2500.00
21	27/02/2017	2840.26	2150.20	43	21/03/2017	2980.40	2460.20	2500.00
22	27/02/2017	3520.30	2260.20					

Fuente: Autoría Propia.

Como se observa en la figura los valores respecto a las observaciones referidas a la Conductividad Eléctrica se hallan por debajo del valor exigido por los ECA equivalente a 2500 $\mu\text{S/cm}$, alcanzando a la salida el valor promedio de 2307.28 $\mu\text{S/cm}$, de modo que el valor correspondiente se halla dentro de los exigidos por los ECA, con una remoción del 23% con lo que se logra cumplir con el ECA.

Figura 6.2.5.
Monitoreo de la variación de la Conductividad Eléctrica de efluente del tipo doméstico desde el Ingreso a la Salida del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial.



Fuente: Autoría Propia.

6.2.6. Observaciones referidas a la Temperatura, (°C).- Con los valores monitoreados de la temperatura, específicamente tomada sobre el agua residual domestica a su Ingreso y a la Salida del el propio reactor biológico, se confecciono la Tabla 6.2.6. "Monitoreo de la variación de la Temperatura en el propio Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuencial". Con los valores de cada una de las observaciones de la temperatura se tabularon en el programa Excel, procesándose la distribución de tendencia, que se detalla en la Figura 6.2.6. "Variación de la Temperatura desde el Ingreso a la Salida del Sistema de Lodos Activados del Tipo Secuencial", la figura, muestra las variaciones de la Temperatura registrada al ingreso y a la salida del sistema de tratamiento compacto de Lodos Activados del tipo Secuencial.

Tabla 6.2.6.
Monitoreo de la variación de la Temperatura en el propio Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuencial

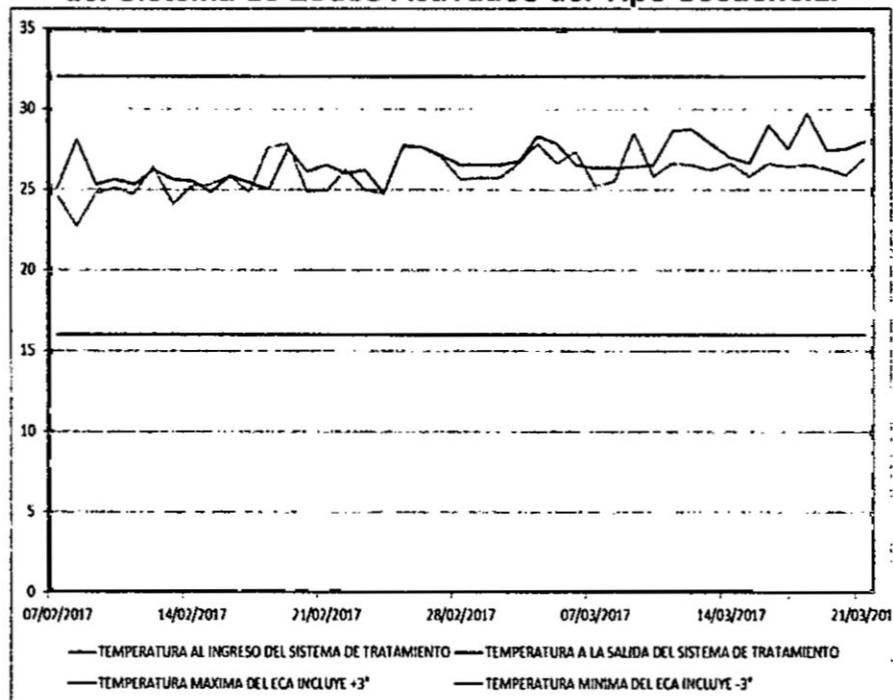
OBSERV.	DIA	EST Temp. °C	SST Temp. °C	ECA Temp. °C	OBSERV.	DIA	EST Temp. °C	SST Temp. °C	ECA Temp. °C
1	07/02/2017	24.60	25.10	32 - 16	23	01/03/2017	25.70	26.50	32 - 16
2	08/02/2017	22.70	28.10	32 - 16	24	02/03/2017	25.70	26.50	32 - 16
3	09/02/2017	24.70	25.30	32 - 16	25	03/03/2017	26.60	26.70	32 - 16
4	10/02/2017	25.10	25.60	32 - 16	26	04/03/2017	27.80	28.30	32 - 16
5	11/02/2017	24.70	25.30	32 - 16	27	05/03/2017	26.60	27.80	32 - 16
6	12/02/2017	26.40	26.20	32 - 16	28	06/03/2017	27.30	26.50	32 - 16
7	13/02/2017	24.10	25.60	32 - 16	29	07/03/2017	25.20	26.30	32 - 16
8	14/02/2017	25.20	25.50	32 - 16	30	08/03/2017	25.50	26.30	32 - 16
9	15/02/2017	25.30	24.80	32 - 16	31	09/03/2017	28.50	26.40	32 - 16
10	16/02/2017	25.80	25.80	32 - 16	32	10/03/2017	25.8	26.50	32 - 16
11	17/02/2017	24.80	25.40	32 - 16	33	11/03/2017	26.60	28.60	32 - 16
12	18/02/2017	27.60	25.00	32 - 16	34	12/03/2017	26.50	28.70	32 - 16
13	19/02/2017	27.80	27.50	32 - 16	35	13/03/2017	26.20	27.80	32 - 16
14	20/02/2017	24.90	26.10	32 - 16	36	14/03/2017	26.60	27.00	32 - 16
15	21/02/2017	24.90	26.50	32 - 16	37	15/03/2017	25.80	26.60	32 - 16
16	22/02/2017	26.20	26.00	32 - 16	38	16/03/2017	26.60	29.00	32 - 16
17	23/02/2017	25.00	26.20	32 - 16	39	17/03/2017	26.40	27.50	32 - 16
18	24/02/2017	24.70	24.70	32 - 16	40	18/03/2017	26.50	29.70	32 - 16
19	25/02/2017	27.60	27.70	32 - 16	41	19/03/2017	26.30	27.40	32 - 16
20	26/02/2017	27.60	27.60	32 - 16	42	20/03/2017	25.90	27.50	32 - 16
21	27/02/2017	27.00	27.10	32 - 16	43	21/03/2017	27.00	27.00	32 - 16
22	28/02/2017	25.60	26.50	32 - 16					

Fuente: Autoría Propia.

De modo que los valores del Temperatura a la salida se hallan próximos al valor del ECA o mejor dicho para el caso de la temperatura, la Figura 6.2.6. los ECA especifican un rango de temperatura que está determinado por la variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada el mismo que se puede apreciar en la Figura 6.2.6.a. "Diagrama de Variación de temperaturas durante Enero 2017 en el Callao", Figura 6.2.6.b. "Diagrama de Variación de temperaturas durante Febrero 2017 en el Callao" y la Figura 6.2.6.c. "Diagrama de Variación de temperaturas durante Marzo 2017 en el Callao",

las mismas que se ubican en los Anexos, en la que el rango promedio de temperatura oscila entre 29 y 19 °C, de modo que el de ECA será ente 32 y 16°C, siendo que los valores de Temperatura en °C cumplen con la exigencia de los ECA para la clase III, es decir de agua para riego.

Figura 6.2.6.
Variación de la Temperatura desde el Ingreso a la Salida del Sistema de Lodos Activados del Tipo Secuencial



Fuente: Autoría Propia.

6.2.7. Observaciones referidas al Potencial de Hidrogeno, (pH).-

Con los valores monitoreados referidas al pH, se confecciono la Tabla 6.2.7. "Monitoreo de las variaciones de pH de Ingreso y Salida en el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuencial", a partir de estos valores de cada una de las observaciones referidas al potencial de hidrogeno, se procesaron a través del programa Excel, y se obtuvo la distribución de tendencia, que se detalla en la Figura 6.2.7. "Variación del pH desde el Ingreso a la Salida".

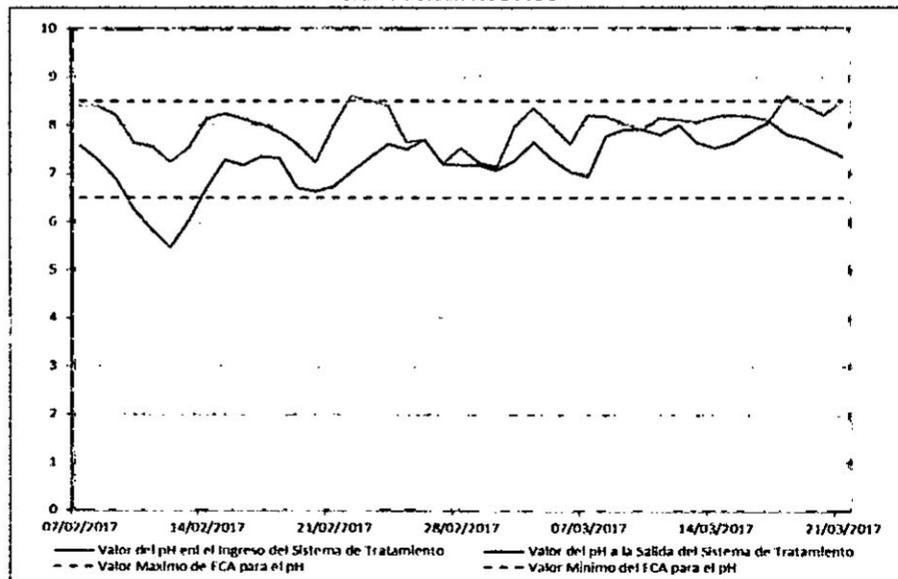
Tabla 6.2.7.
Monitoreo de las variaciones de pH de Ingreso y Salida en el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuencial.

OBSERV	DIA	EST-pH	SST-pH	ECA PARA EL pH	OBSERV	DIA	EST-pH	SST-pH	ECA PARA EL pH
1	07/02/2017	8.42	7.58	6.5 – 8.5	23	01/03/2017	7.23	7.17	6.5 – 8.5
2	08/02/2017	8.40	7.28	6.5 – 8.5	24	02/03/2017	7.13	7.07	6.5 – 8.5
3	09/02/2017	8.22	6.89	6.5 – 8.5	25	03/03/2017	7.97	7.27	6.5 – 8.5
4	10/02/2017	7.64	6.25	6.5 – 8.5	26	04/03/2017	8.35	7.65	6.5 – 8.5
5	11/02/2017	7.56	5.83	6.5 – 8.5	27	05/03/2017	8.00	7.30	6.5 – 8.5
6	12/02/2017	7.24	5.47	6.5 – 8.5	28	06/03/2017	7.60	7.03	6.5 – 8.5
7	13/02/2017	7.52	6.00	6.5 – 8.5	29	07/03/2017	8.20	6.93	6.5 – 8.5
8	14/02/2017	8.14	6.73	6.5 – 8.5	30	08/03/2017	8.17	7.77	6.5 – 8.5
9	15/02/2017	8.25	7.28	6.5 – 8.5	31	09/03/2017	8.03	7.90	6.5 – 8.5
10	16/02/2017	8.14	7.17	6.5 – 8.5	32	10/03/2017	7.90	7.91	6.5 – 8.5
11	17/02/2017	8.02	7.35	6.5 – 8.5	33	11/03/2017	8.15	7.80	6.5 – 8.5
12	18/02/2017	7.87	7.32	6.5 – 8.5	34	12/03/2017	8.10	8.00	6.5 – 8.5
13	19/02/2017	7.60	6.70	6.5 – 8.5	35	13/03/2017	8.07	7.63	6.5 – 8.5
14	20/02/2017	7.23	6.63	6.5 – 8.5	36	14/03/2017	8.17	7.53	6.5 – 8.5
15	21/02/2017	7.97	6.73	6.5 – 8.5	37	15/03/2017	8.20	7.63	6.5 – 8.5
16	22/02/2017	8.60	7.03	6.5 – 8.5	38	16/03/2017	8.17	7.87	6.5 – 8.5
17	23/02/2017	8.50	7.33	6.5 – 8.5	39	17/03/2017	8.10	8.07	6.5 – 8.5
18	24/02/2017	8.40	7.60	6.5 – 8.5	40	18/03/2017	8.60	7.80	6.5 – 8.5
19	25/02/2017	7.65	7.50	6.5 – 8.5	41	19/03/2017	8.40	7.70	6.5 – 8.5
20	26/02/2017	7.70	7.70	6.5 – 8.5	42	20/03/2017	8.20	7.53	6.5 – 8.5
21	27/02/2017	7.20	7.20	6.5 – 8.5	43	21/03/2017	8.50	7.35	6.5 – 8.5
22	28/02/2017	7.53	7.17	6.5 – 8.5					

Fuente: Autoría Propia.

La figura muestra las variaciones de pH registrada al ingreso y a la salida del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial, de modo que los valores del Potencial de Hidrogeno a la salida se hallan próximos al valor del ECA para este parámetro que se halla entre 6.5 a 8.5 unidades, de modo que los valores del Potencial de Hidrogeno cumplen con la exigencia de los ECA para la clase III, es decir de agua para riego, figura que se muestra a continuación:

Figura 6.2.7.
Variación del pH desde el Ingreso a la Salida del Sistema de Tratamiento



Fuente: Autoría Propia.

6.2.8. Observaciones referidas al Oxígeno Disuelto, (OD).- El monitoreo del Oxígeno Disuelto se realizó específicamente a la salida del efluente en tratamiento es decir posterior, cuando este se hallaba en el proceso de aireación (en el Reactor Biológico RB), que permitiera mantener una concentración adecuada para garantizar la reducción de la DBO₅ por parte de la acción de las bacterias, al mismo tiempo la calidad del efluente cumpla con los ECA (4 mg O₂/L). A partir de los valores de cada una de las observaciones referidas al Oxígeno Disuelto, se confecciono la Tabla 6.2.8. "Monitoreo de las Observaciones del Oxígeno Disuelto en la Salida del Reactor Biológico del Sistema de Tratamiento".

A partir de los valores tabulados de las observaciones referidas al Oxígeno Disuelto se desarrolló la distribución de tendencias que se muestra en la Figura 6.2.8. "Variación del Oxígeno Disuelto en la Salida del Reactor Biológico del Sistema de Tratamiento".

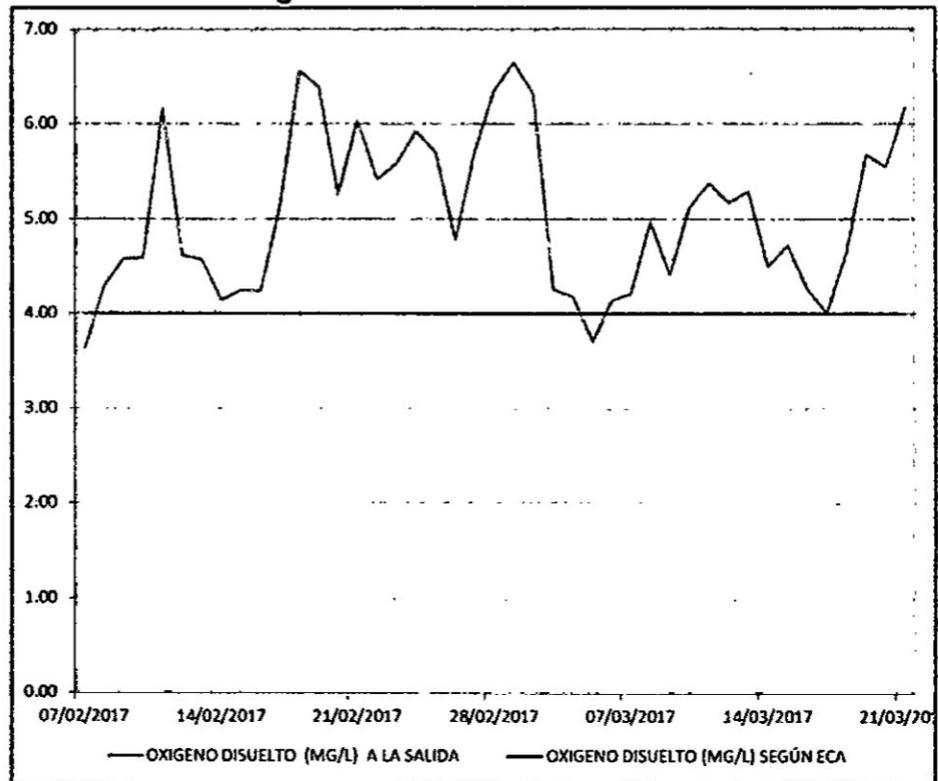
Tabla 6.2.8.
Monitoreo de las Observaciones del Oxígeno Disuelto en la Salida del Reactor Biológico del Sistema de Tratamiento

OBSERV.	DIA	Oxígeno Disuelto mg/L	Valor ECA para el OD mg/L	OBSERV.	DIA	Oxígeno Disuelto mg/L	Valor ECA para el OD mg/L
1	07/02/2017	3.63	4.00	23	01/03/2017	6.65	4.00
2	08/02/2017	4.30	4.00	24	02/03/2017	6.31	4.00
3	09/02/2017	4.58	4.00	25	03/03/2017	4.26	4.00
4	10/02/2017	4.59	4.00	26	04/03/2017	4.18	4.00
5	11/02/2017	6.16	4.00	27	05/03/2017	3.71	4.00
6	12/02/2017	4.62	4.00	28	06/03/2017	4.14	4.00
7	13/02/2017	4.57	4.00	29	07/03/2017	4.21	4.00
8	14/02/2017	4.14	4.00	30	08/03/2017	4.97	4.00
9	15/02/2017	4.25	4.00	31	09/03/2017	4.41	4.00
10	16/02/2017	4.24	4.00	32	10/03/2017	5.12	4.00
11	17/02/2017	5.15	4.00	33	11/03/2017	5.38	4.00
12	18/02/2017	6.56	4.00	34	12/03/2017	5.17	4.00
13	19/02/2017	6.39	4.00	35	13/03/2017	5.29	4.00
14	20/02/2017	5.25	4.00	36	14/03/2017	4.49	4.00
15	21/02/2017	6.04	4.00	37	15/03/2017	4.72	4.00
16	22/02/2017	5.41	4.00	38	16/03/2017	4.27	4.00
17	23/02/2017	5.58	4.00	39	17/03/2017	4.01	4.00
18	24/02/2017	5.08	4.00	40	18/03/2017	4.65	4.00
19	25/02/2017	5.70	4.00	41	19/03/2017	7.84	4.00
20	26/02/2017	4.78	4.00	42	20/03/2017	5.55	4.00
21	27/02/2017	5.72	4.00	43	21/03/2017	6.17	4.00
22	28/02/2017	6.35	4.00				

Fuente: Autoría Propia.

En esta Figura 6.2.8. Variación de Oxígeno Disuelto en la Salida del Reactor Biológico del Sistema de Tratamiento”, se puede observar que el valor del Oxígeno Disuelto se halla por encima del valor mínimo establecido por los ECA para la clase III, es decir para su uso como aguas de riego de áreas verdes, de modo que se cumple con la hipótesis establecida, independiente que este valor garantiza la sobrevivencia del conjunto de los diversos microorganismos de bacterias y otros que permiten la biodegradación de la materia orgánica.

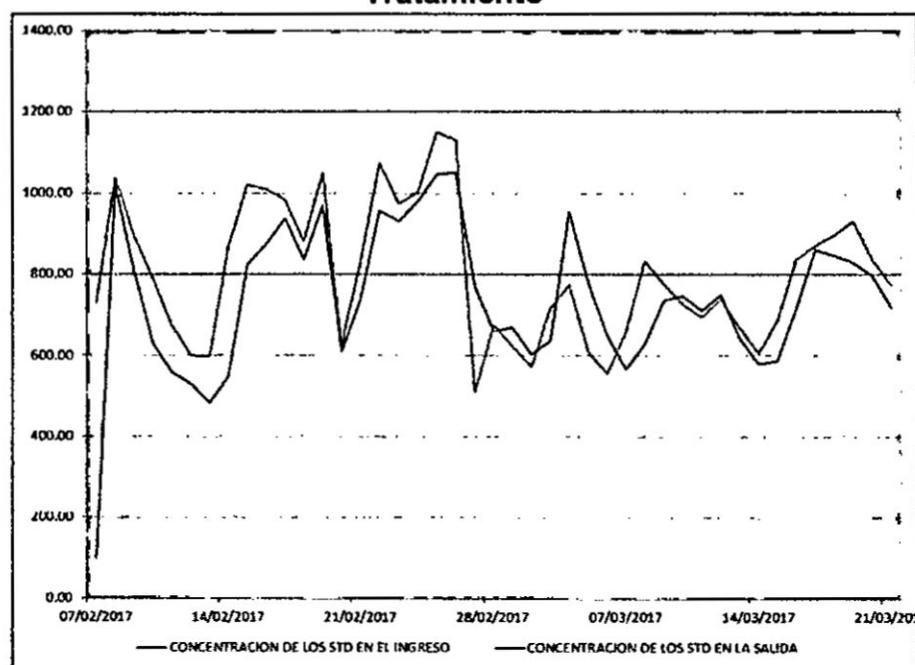
Figura 6.2.8.
“Variación del Oxígeno Disuelto en la Salida del Reactor Biológico del Sistema de Tratamiento”



Fuente: Autoría Propia

6.2.9. Observaciones referidas a los Sólidos Totales, (STD).- Con los valores obtenidos se confecciono la Tabla 6.2.9. “Monitoreo de las Observaciones de los STD en el Sistema de Tratamiento”, que muestra los resultados del monitoreo en el Sistema de Tratamiento de las concentraciones de STD a la entrada y a la salida, con estos valores de cada una de las observaciones referidas a los Sólidos Totales Disueltos, con el auxilio del programa Excel, se tabularon las observaciones obteniéndose la respectiva curvas de tendencias, que se muestra en la Figura 6.2.9. “Variación de la Concentración de los STD en el Sistema de Tratamiento”. La tabla y la figura se muestran respectivamente a continuación:

Figura 6.2.9.
Variación de la Concentración de los STD en el Sistema de Tratamiento



Fuente: Autoría Propia.

6.2.10. Observaciones referidas a la Turbiedad, (NTU).- A partir de los valores de cada una de las observaciones referidas a la Turbiedad, se confecciono la Tabla 6.2.10. "Monitoreo de las Observaciones de la Turbiedad de Afluente y Efluente en el Sistema de Tratamiento", que muestra los resultados del monitoreo en el Sistema de Tratamiento de las variaciones de Turbiedad (NTU) a la entrada y a la salida, del Sistema de Tratamiento.

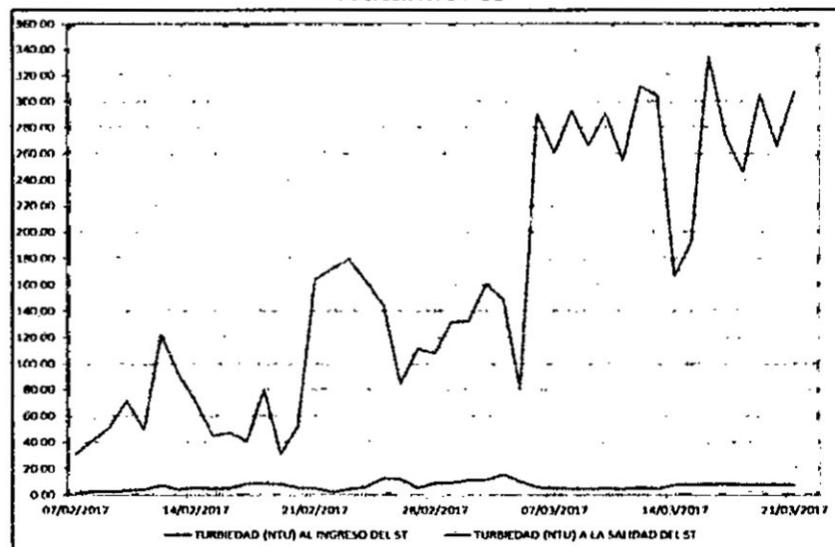
A partir de los valores tabulados se desarrolló la distribución de tendencias que se muestra en la Figura 6.2.10., en que se muestra los datos de Turbiedad a la entrada y a la salida del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuencial, no obstante que este parámetro no se halla regulado por los ECA, este mide la apariencia y presencia de sólidos en el agua, garantizando la calidad del agua.

Tabla 6.2.10.
"Monitoreo de las Observaciones de la Turbiedad de Afluente y Efluente en el Sistema de Tratamiento"

OBSERV.	DIA	EST - Turbiedad	SST - Turbiedad	OBSERV.	DIA	EST - Turbiedad	SST - Turbiedad
1	07/02/2017	31.00	1.20	23	01/03/2017	132.03	9.30
2	08/02/2017	42.00	2.40	24	02/03/2017	132.80	11.30
3	09/02/2017	51.60	2.60	25	03/03/2017	160.47	11.33
4	10/02/2017	71.60	3.20	26	04/03/2017	148.35	15.95
5	11/02/2017	49.50	4.30	27	05/03/2017	80.30	10.20
6	12/02/2017	122.30	7.00	28	06/03/2017	290.80	5.87
7	13/02/2017	91.60	4.20	29	07/03/2017	259.8	5.10
8	14/02/2017	72.30	5.30	30	08/03/2017	292.87	4.63
9	15/02/2017	45.20	4.80	31	09/03/2017	265.93	4.47
10	16/02/2017	47.20	5.10	32	10/03/2017	290.80	5.27
11	17/02/2017	40.90	8.50	33	11/03/2017	254.20	4.65
12	18/02/2017	80.50	8.60	34	12/03/2017	311.40	5.30
13	19/02/2017	30.60	7.90	35	13/03/2017	304.53	4.63
14	20/02/2017	52.40	5.60	36	14/03/2017	166.13	7.53
15	21/02/2017	164.10	5.10	37	15/03/2017	192.73	7.63
16	22/02/2017	172.40	1.90	38	16/03/2017	335.13	7.87
17	23/02/2017	179.20	4.50	39	17/03/2017	272.60	8.07
18	24/02/2017	162.40	6.50	40	18/03/2017	245.60	7.80
19	25/02/2017	144.83	12.80	41	19/03/2017	304.60	7.70
20	26/02/2017	84.40	12.10	42	20/03/2017	265.13	7.53
21	27/02/2017	112.00	5.50	43	21/03/2017	307.80	7.35
22	28/02/2017	107.53	8.83				

Fuente: Autoría Propia.

Figura 6.2.10.
"Variación de la Turbiedad (NTU) en el Sistema de Tratamiento"



Fuente: Autoría Propia.

VII. DISCUSIÓN

En términos sencillos, el propósito principal de este capítulo es mostrar las relaciones entre los hechos observados, es decir referidos a cada uno de los indicadores de la Variable Dependiente: "Calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización", evaluados en el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados, que han permitido demostrar la Hipótesis, por cuanto el efluente tratado finalmente cumple con la calidad para ser utilizado como agua de riego de áreas verdes y jardines según lo establecido por los ECA para agua de riego dentro de la Clase III (Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM - Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación), y cuyos resultados se muestran en el Capítulo VI "RESULTADOS".

De modo que para cada indicador se efectuara la Discusión de los resultados, específicamente para la DBO_5 , DQO, G y A, CF y CE los mismos que son indicadores de la Variable Dependiente, mientras que la Temperatura, pH, STD, OD son indicadores compartidos tanto de la Variable Independiente (indicadores que permiten operar el sistema lo más eficientemente) y de la Variable Dependiente como complemento de confirmar la Calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización, y que finalmente confirman la hipótesis del presente trabajo.

7.1. Discusión referida a la Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO_5).- Como se observa en la **Tabla y Figura 6.2.1.** la reducción de DBO_5 , a la salida del Sistema de Tratamiento se halla en un valor promedio de 11.57 mg/L, es decir por debajo de valor de 15 mg/L, exigido por los ECA, logrando una reducción del orden del 92.14 %, es decir dentro del rango del 85% al 95% que se reporta en la referencia bibliográfica Metcalf & Eddy, de modo que con ese valor



se cumple con lo normado por los ECA, es decir, para utilizar el efluente tratado como agua para riego de jardines y áreas verdes.

La remoción de la DBO_5 , se logra a través del tratamiento biológico del agua residual doméstica cuyo principal objetivo es la reducción de la materia orgánica presente y en muchos casos, la eliminación de nutrientes como nitrógeno y el fósforo, provocado por la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica²⁴.

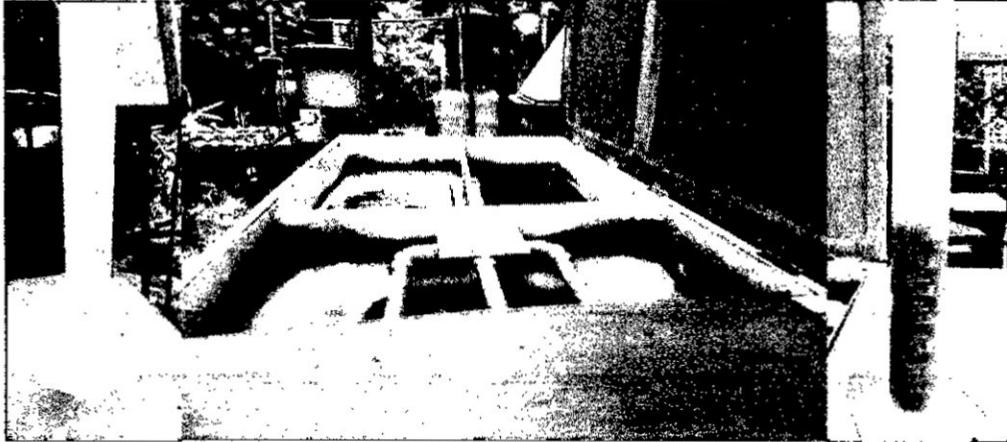
La eliminación de la DBO carbonosa, la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables, y la estabilización de la materia orgánica se consiguieron biológicamente, gracias a la acción de una variedad de microorganismos principalmente bacterias.

Los microorganismos se utilizan para convertir la materia orgánica carbonosa coloidal y disuelta en diferentes gases y tejido celular, dado que el tejido celular tiene un peso específico ligeramente superior al del agua, se puede eliminar por decantación, parte de estos constituyen los lodos propios lodos activados que incluye a la biomasa.

En la composición de Imágenes se ve la Figura 7.1. "Concentración de los Sólidos Totales del Agua residual Doméstico antes y durante su paso a través del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial", está constituida por tres imágenes, en la primera, observamos una probeta conteniendo el agua residual doméstica que ingresa al ST, la segunda imagen se refiere al propio ST, constituido de tres compartimientos, que lo conforman, dos están siendo aireados (Coagulación) y uno de ellos esta es proceso de decantación y generando el efluente tratado, la tercera imagen muestra el lodo producido por acción del proceso Biológico.

²⁴ METCALF & EDDY "Ingeniería de las Aguas Residuales" - VOLUMEN I, PAG.410

Figura 7.1.
Concentración de los Sólidos Totales del Agua residual Domestico antes y durante su paso a través del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial



Fuente: Autoría propia

7.2. Discusión referidas a la Demanda Química de Oxígeno, (DQO).-

Como se Observa en la Tabla y Figura 6.2.2. la reducción de la DQO, a la salida del Sistema de Tratamiento se hallan en su mayoría cerca o por debajo del valor (40 mg/L), exigido por los ECA, logrando una reducción del orden del 89.37 %, esta eficiencia se halla muy cerca al mayor valor reportado²⁵ entre 73 y 90%, para una afluente con promedio mensual de materia orgánica en términos de DQO del afluente de 290 mg/L, (mientras que en el efluente nuestro se halló en un promedio mucho mayor es decir de 324.68 mg/L), se encontró en el intervalo de 31 a 76 mg/L, estos resultados fueron reportados por los trabajos desarrollados en una planta a escala de laboratorio. Durante las dos primeras semanas de operación del sistema la DQO del efluente oscilo entre 76 y 58 mg/L, alcanzando eficiencias de remoción de hasta 80%. Sin embargo, se pudo observar que los valores de la DQO tendieron a estabilizarse entre 31 y 35 mg/L durante la tercera y cuarta semana de operación del sistema, alcanzando eficiencia de remoción de hasta el 90%, para

²⁵ Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio, Trabajo de Investigación realizado por el Ing. Ambiental de la Universidad del Bosque Julián Andrés Varila Quiroga y el Ingeniero Químico de la Universidad Nacional de Colombia Fabio Eduardo Díaz López, año 2007

un periodo de retención hidráulica (TRH) de (5 h, 14 h, 24 h y 36 h respectivamente por cada semana) y caudal de (20, 7.1, 4.9 y 3.2 mL/min respectivamente por cada semana). Mientras los valores de la DQO al ingreso del sistema de tratamiento como se observa en la **Tabla 6.2.2.**, superan fácilmente el valor del afluente de 290 mg/L (Varila y Díaz 2007), siendo el promedio de la DQO de nuestra investigación de 324.68 mg/L y del promedio de DQO a la salida del Sistema de Tratamiento de 34.50 mg/L, es decir por debajo de los exigido por los ECA (40 mg/L), resultados que se obtuvieron para un periodo de retención hidráulica (TRH) de 12 horas y caudal de 800 L/h (555.55 mL/min), alcanzando una eficiencia del orden de 89.37 %, muy cercana al 90 % registrada por las experiencias de Varila y Díaz.

7.3. Discusión referidas a las Observaciones de los Aceites y Grasas (A y G).- A partir de la tabulación de los datos, de la **Tabla y Figura 6.2.3.**, la reducción de la concentración de A y G registrada al ingreso y a la salida del Sistema de Tratamiento, alcanza el 93.60% , donde se observa que en todos los casos el valor de la concentración de A y G a la salida del Sistema de Tratamiento es inferior a 5 mg/L, es decir, al valor del ECA para este parámetro se encuentra dentro de la Clase III, es decir para su uso del efluente tratado en el riego de área verdes.

La concentración de aceite en el afluente es relativamente baja, siendo el promedio de 25.52 mg/L, el efluente resultante sale con una concentración de aceite prácticamente constante de 1.63 mg/L de grasas y aceite. Se observa que la eliminación de aceite es independiente de la carga másica, lo cual es concordante con los resultados obtenidos en la experiencia de laboratorio realizados por²⁶ la concentración alcanzo los 40 mg/l, mientras el efluente

²⁶ ELIMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN PLANTAS DE TRATAMIENTO POR FANGOS ACTIVOS, UNA COMPARACIÓN ENTRE EL LABORATORIO Y LA ESCALA REAL – Pedro Cisterna: Ingeniero Civil Químico, Dr. Ing. Químico - Subgerencia de

resultante sale con una concentración prácticamente constante de 5 mg/L de aceites y grasas, alcanzando una eficiencia del orden de 87.5%, eficiencia superada por nuestra experiencia, la que alcanzo el 93.60 % de remoción de aceites y grasas.

Por otro lado, podemos ratificar que previamente se ha podido separar en la cisterna de agua cruda la que actúa a su vez como trampa de aceite y grasa retiene un porcentaje de estos debido a su densidad, mientras el que la otra parte que logra pasar al sistema de tratamiento, que podrá ser reducido a través de la combinación de mecanismos de biodegradación y flotación, quedando como resultado final lo que no es biodegradado.

7.4. Discusión respecto a las Observaciones de los Coliformes Fecales, (CF).- Como observamos en la Tabla 6.2.4. y Figura 6.2.4. nos indica la presencia de los Coliformes Fecales en afluente como en el efluente del sistema de tratamiento compacto de lodos activados del tipo secuencial, lo que nos confirma que este sistema de tratamiento biológico promueve la presencia de bacterias, dentro de las cuales se encuentran un conjunto de familias que reducen la materia biodegradable, las concentraciones de los Coliforme Fecales tanto en el afluente como en el efluente del sistema de tratamiento es una confirmación de que se tratan de aguas residuales domésticas según la Tabla 7.4 que se muestra a continuación:

Tabla 7.4.
Tipos y número de microorganismos típicamente presentes en las aguas residuales domésticas brutas

Organismos	Concentración, Número/ml
Coliformes totales	$10^5 - 10^6$
Coliformes fecales	$10^4 - 10^5$
Estreptococos fecales	$10^3 - 10^4$
Esterococos fecales	$10^2 - 10^3$

Adaptado parcialmente de la bibliografía de Metcalf & Eddy, "INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES", Volumen 1 – Tercera Edición.

Medio Ambiente, ESSBIO S.A. Pedro Aguirre Cerda 1129, Concepción, Concepción, Chile e-mail: pcistern@essbio.cl,

La desinfección del efluente tratado para su uso como agua de riego eliminara la presencia de los Coliformes fecales por debajo del valor admitido por los ECA (5000 NMP/100 mL), para ello se dosificara hipoclorito de sodio o de potasio, en su dosis necesaria.

Como se explica en el último párrafo de introducción del Capítulo **VII Discusión**, sobre las observaciones de cada uno de los indicadores específicos referidas a la Variable Dependiente (Y): Calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización, cuya discusión se ha desarrollado hasta este momento, y a continuación, desarrollaremos la discusión de las observaciones de los indicadores compartidos por la Variable Dependiente (complementos de la Calidad del efluente Tratado para su reutilización) previamente citada y de la Variable Independiente (necesarias para operar el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del tipo Secuencial).

7.5. Discusión respecto a las Observaciones de la Conductividad Eléctrica, (CE).- La conductividad eléctrica (CE) es la medida de la capacidad de una solución para concluir la corriente eléctrica. Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, aumento en la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad. Por tanto, el valor de la medida de CE es usado como un parámetro sustituto de la concentración de sólidos disueltos totales (SDT). En la actualidad, el parámetro más importante para determinar la posibilidad de uso de un agua para riego es CE; es así como la salinidad de determinada agua residual tratada que se desea usar para riego se establece mediante la medición de su conductividad eléctrica²⁷.

El valor de la CE requerido para las aguas de uso en riego y exigido por los ECA el valor de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para nuestra experiencia como se observa en la **Tabla N° 6.2.5.** se han tabulado los resultados del

²⁷ RON CRITES & GEORGE TCHOBANOGLOUS; Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones; Editorial Mc Graw Hill; año 2000, Pág. 47 y 48.



monitoreo efectuado durante nuestro trabajo de investigación, se ha determinado el valor promedio de 2307.28 $\mu\text{S/cm}$, de modo que el agua tratada cumple con las exigencias de los ECA, con tan solo remover el 22.97%

7.6. Discusión respecto a las Observaciones de la Temperatura ($^{\circ}\text{C}$).- La dependencia de la temperatura de las constantes biológicas de la velocidad de reacción es muy importante para evaluar la eficiencia general de un proceso de tratamiento biológico. La temperatura no solo influye sobre la actividad metabólica de la población bacteriana, sino que tiene un efecto profundo en factores tales como las tasas de transferencias de gas y las características de asentamiento de los sólidos biológicos²⁸. La temperatura es de importancia como parte del control de los ECA, cuyo valor exigido se refiere a $\Delta 3$ (variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada), de modo que la evaluación de la temperatura registrada en el área donde se realizó la investigación, es decir en la propia Ciudad Universitaria del Callao, ubicada en el distrito de Bellavista – Región Callao, durante el primer trimestre del año 2017 es decir de enero a marzo ascendió el rango de temperatura entre la Máxima de 29 $^{\circ}\text{C}$ y la temperatura Mínima de 19 $^{\circ}\text{C}$, aplicando la concepción de la exigencia del ECA respecto a la temperatura como se registra en la **Figura 6.2.6.** el rango de cumplimiento sería entre 32 y 16 $^{\circ}\text{C}$, de modo que la variación de la temperatura del efluente tratado a la salida del sistema de tratamiento se halla dentro del rango citado, es decir que cumple con la exigencia del ECA, por otro lado, esta exigencia es compatible con la necesaria, "dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles... La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad

²⁸ RON CRITES & GEORGE TCHOBANOGLIOUS; Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones; Editorial Mc Graw Hill, año 2000; Colombia; Pág. 362.

bacteriana se sitúa entre los valores de 25 y los 35 °C...²⁹ es decir, "que las necesidades medioambientales de temperatura y de pH tienen un papel importante en la supervivencia y crecimiento de las bacterias.

A pesar de que las bacterias pueden sobrevivir en un intervalo bastante amplio de valores de la temperatura y pH, el crecimiento óptimo se puede producir en un intervalo muy restringido de valores y de estos dos parámetros. Las temperaturas por debajo de la óptima tienen efectos más importantes sobre el crecimiento bacteriano que las superiores a aquéllas; se ha podido comprobar que la tasa de crecimiento se dobla por cada aumento de 10 °C de la temperatura hasta alcanzar el valor óptimo. Según el intervalo de temperatura en el que el desarrollo bacteriano es óptimo, las bacterias se pueden clasificar en psicrófilas, mesófilas y termófilas. los intervalos de temperatura óptima típicos para las bacterias de estas tres categorías señaladas, están indicadas en la Tabla 7.5. "Intervalos de temperatura típicos para algunas bacterias", que se muestra a continuación.

Tabla N° 7.5.
Intervalos de temperatura típicos para algunas bacterias³⁰

Tipo	Temperatura, °C	
	Intervalo	Temperatura óptima
Psicrófilas ^a	-10 - 30	12 - 18
Mesófilas	20 - 50	25 - 40
Termófilas	35 - 75	55 - 65

^a También llamadas criófilas

7.7. Discusión respecto a las Observaciones al Potencial de Hidrogeno, (pH).- Al igual que la temperatura el pH del efluente

²⁹ METCALF Y EDDY. *Ingeniería de las Aguas Residuales*. McGraw-Hill. España, 1995. Vol.1, págs. 71 y 72.

³⁰ METCALF Y EDDY. *Ingeniería de las Aguas Residuales*. McGraw-Hill. España, 1995. Vol.1, págs. 416 y 417.

antes y después del tratamiento constituye un factor clave para el crecimiento de los microorganismos como bacterias que contribuyen al proceso biológico de los efluentes en el sistema de tratamiento, la mayoría de las bacterias no toleran niveles de pH por debajo de 4.0 ni superiores a 9.5, en general el pH óptimo para el crecimiento bacteriano se sitúa entre 6.5 y 7.5³¹ siendo este pH las condiciones de su medio ambiente.

De la evaluación de la **Figura 6.2.7**. Variación del pH desde el Ingreso a la Salida del Sistema de Tratamiento, en la que se ha desarrollado las curvas de tendencias a partir de las observaciones tabuladas en la **Tabla 6.2.7**. Monitoreo de las variaciones de pH de Ingreso y Salida en el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuencial, en el que podemos apreciar que el efluente tratado cumple las condiciones de pH exigidos por los ECA es decir el rango de 6.5 a 8.5 y por otro lado, las exigencias necesarias de medio ambiente para el crecimiento óptimo de las bacterias también se cumple en el rango 6.5 a 7.5, recomendados por las referencias especializadas.

Por otro lado, comparando nuestros resultados con los trabajos realizados en el 2007, "Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio", trabajo de investigación realizado por el Ing. Ambiental de la Universidad del Bosque Julián Andrés Varila Quiroga y el Ingeniero Químico de la Universidad Nacional de Colombia Fabio Eduardo Díaz López, en la que optimizaron el pH entre los valores que oscilaban entre 7.2 y 7.5, durante toda la etapa de evaluación de su reactor piloto, logrando buenas condiciones para la formación y desarrollo de los microorganismos, lo que coincide con los resultados obtenidos en nuestra investigación y los exigidos por los ECA, paralelamente con

³¹ METCALF Y EDDY. **Ingeniería de las Aguas Residuales**. McGraw-Hill. España, 1995. Vol.1, págs. 4.17.

la temperatura entre 20 a 25 °C y concentración de Oxígeno Disuelto entre 4.2 y 4.8 mg/L.

7.8. Discusión respecto a las Observaciones referidas al Oxígeno Disuelto, (OD).- A partir de la **Figura 6.2.8.** se puede visualizar que los valores del OD a la salida del sistema de tratamiento superan el valor mínimo de 4 mg/L exigido por los ECA, lo que es un indicador favorable para el efluente tratado, alcanzando un valor promedio de OD de 5.05 mg/L, valor significativamente referencial que nos permitió conocer la reducción de la DBO₅. El oxígeno disuelto es absolutamente esencial y necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como otras formas vidas. Sin embargo el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua. Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en las épocas estivales es decir por debajo del ECA. De modo que un adecuado nivel de oxígeno disuelto como el exigido por los ECA es necesario para una buena calidad de agua, su falta afecta a un vasto número de indicadores, no solo bioquímicos, también estéticos como el olor, claridad del agua y sabor. Consecuentemente, el oxígeno es quizás el más estabilizado de los indicadores de calidad de agua.

De los resultados de la experiencia realizada en el 2007, en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad El Bosque de Colombia, durante la operación de un **BIOREACTOR DE LODOS ACTIVADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO**, modelo adaptado del propuesto por Reynolds & Richards (2006), donde el pH, la temperatura y el Oxígeno Disuelto del reactor oscilaron entre 7.2 y 7.4, 20 y 24 C°, 4.2 y 4.8 mg/L respectivamente. El comportamiento de estos tres parámetros a lo largo de la evaluación indicó una buena condición para la formación y desarrollo de los microorganismos, situación en la cual nuestros resultados han coincidido con los obtenidos por la

experiencia antecedida, lo que ha confirmado el buen funcionamiento de nuestro Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial.

7.9. Discusión respecto a los Sólidos Totales, (STD).- Los Sólidos Totales Disueltos es la cantidad de sólidos que se mantienen en suspensión después de 10 minutos. Estos están constituidos por compuestos orgánicos más inorgánicos, cuando se realiza su análisis por métodos de secado, por definición son los residuos que quedan una vez que la parte líquida se ha evaporado y el remanente se ha secado a peso constante a 103 °C, de modo que los sólidos totales disueltos es la diferencia obtenida a partir de restar de los sólidos totales el valor de los sólidos suspendidos totales. Mientras que como ya se ha explicado los STD mantienen una estrecha relación con la CE, debido a que su mayor o menor presencia es directamente proporcional a la Conductividad Eléctrica, y que de acuerdo al monitoreo obtenido y cuya tabulación de las observaciones que se muestran en las **Tabla 6.2.9. y Figura 6.2.9.** para el caso de la STD, estos se hallaron en el promedio de 802.47 y 741.30 mg/L entre la entrada y salida respectivamente del Sistema de Tratamiento, con solo una remoción del orden de 7.7%, (esto se entiende porque la remoción para este caso se lograría con un tratamiento físico químico), si bien es cierto no existe un valor referido a ellos en los ECA, la extensa literatura de tratamiento de aguas residuales y específicamente para el caso de los efluentes del tipo doméstico lo precisan Ver en Anexo la **Tabla 4.2.2.a.** Composición Típica de un agua residual doméstica bruta, en la que se especifica para el caso de los STD, estos se hallan en el rango de 250 a 850 mg/L y que las aguas tratadas en el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados y monitoreadas en el presente trabajo de investigación se hallaron en un valor promedio al ingreso de 802.47 mg/L para un total de 43 observaciones, es decir que los efluentes son similares a los residuales domésticos.

7.10. Discusión respeto a la Turbiedad, (NTU).- La turbiedad, como una medida de las propiedades de dispersión de la luz de un agua, es otro parámetro usado para indicar la calidad de las aguas naturales y las aguas residuales tratadas con relación al material coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se realiza por comparación entre la intensidad de luz dispersa en una muestra y la luz dispersa por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones (Standart Methods, 2005). La materia coloidal dispersa o absorbe la luz, impidiendo su trasmisión. Aun así, no es posible afirmar que exista una relación entre la turbiedad y la concentración de sólidos en suspensión de un agua tratada. No obstante, sí están razonablemente ligados la turbiedad y los sólidos en suspensión en el caso de efluentes procedentes de la decantación secundaria en el proceso de lodos activados³², es decir durante la descarga o decantación del reactor biológico del sistema de lodos activados del tipo secuencial.

A partir de la ecuación 6 - 39³³:

Sólidos en suspensión, SS, mg/L = (2.3 2.4) x (Turbiedad, NTU)

Que a partir de la **Tabla 6.2.10.** que contiene los valores de cada una de las observaciones referidas a la Turbiedad del efluente al ingreso y a la salida del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial, se determina un promedio de turbiedad de 162.08 y 6.68 NTU entre la entrada y salida respectivamente del sistema de tratamiento, alcanzando una remoción del orden de 95.89 %, de modo que aplicando la ecuación 6 -39:

Sólidos en suspensión, SS, mg/L = (2.3 2.4) x (Turbiedad, NTU) y para el promedio de turbiedad desde el ingreso y salida del ST se tiene:

³² METCALF & EDYY; **Ingeniería de Aguas Residuales**; 3° Edición; Mc Graw Hill; Vol. 1, año 1995, pág. 72.

³³ METCALF & EDYY; **Ingeniería de Aguas Residuales**; 3° Edición; Mc Graw Hill; Vol. 1, año 1995, pág. 294.

• Sólidos en Suspensión prom. en el ingreso al ST = $2.35 \times 162.08 = 380.9$ mg/L

• Sólidos en Suspensión prom. en la salida del ST = $2.35 \times 6.68 = 15.698$ mg/L

Que comparando el valor promedio de los SS con el de la **Tabla 4.2.2.a. Composición Típica de un agua residual domestica bruta**, (Ver Anexo) en la que se especifica para el caso de los SS, estos se hallan en el rango de 100 a 350 mg/L y que las aguas tratadas en el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados y monitoreadas en el presente trabajo de investigación se hallaron entonces en un valor promedio al ingreso de 380.90 mg/L para un total de 43 observaciones, este es un valor ligeramente mayor al indicado en la tabla para los efluentes residuales domésticos crudos, no obstante ello la remoción alcanzada es del 95.87%, lo que incide sobre la calidad del efluente tratado, desde el punto de vista de la turbiedad o de la presencia de sólidos en suspensión.

7.11. Conclusiones.- El trabajo de investigación, ha consistido, fundamentalmente en evaluar un sistema compacto para el tratamiento de los efluentes domésticos, demostrando que es posible su uso para el riego de modo que a la vez sera posible la implementación de un Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial, para tratar los efluentes domésticos que se generan en la vivienda con fines de reúso para el riego de sus propios jardines y áreas verdes. Dicho trabajo de investigación ha sido posible al diseñar y poner en operación el Sistema de Tratamiento, se ha comprobado y demostrado que el sistema diseñado satisface con tratar el efluente y obtener un producto para su reusó dentro de las exigencias de los Estándares de Calidad Ambiental. Los resultados sistematizados que han permitido esta demostración se muestran a continuación.

7.11.1. Caracterización del efluente domestico previo a su ingreso en el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial, las mismas que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 7.10.1.
CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE DOMESTICO
PREVIOS A SU TRATAMIENTO**

Parámetros	Valores ECA para Clase III	Valor Monitoreado, (*)
Caudal (M ³ /d)	–	0.80
DBO ₅ (mg/L)	15.00	130.47
DQO (mg/L)	40.00	324.68
Grasas y Aceites (mg/L)	5.00	22.18
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	5 x 10 ³	16 x 10 ⁴
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	2500.00	2995.14
Temperatura (°C), (**)	16.00 – 32.00	25.98
Potencial de Hidrogeno (unid. pH)	6.5 – 8.5	7.98
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4.00	0.00
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	–	802.47
Turbiedad	–	162.70

Nota: Valores de ECA para clase III, es decir agua para riego.

(*) Valores promedio después del desbaste y trampa de grasas y sólidos, los valores en rojo no cumple con ECA.

(**), Valores estimados aplicando $\Delta 3$, para variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Debemos precisar que la operación de desbaste que se realiza al nivel de la captación permite reducir entre el 15 al 50 % del Valor de la DBO₅; mientras para el caso de la trampa de grasas y sólidos, este reduce en cerca del 50 al 80% el valor de la DBO₅.

7.11.2. El Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial, diseñado para su uso a nivel viviendas unifamiliares o de conjuntos habitacionales, tiene las siguientes características:

a. Parámetros de Diseño del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo SBR:

- Caudal: 0.80 M³/día
- Ingreso de la DBO₅: 175.525 mg/L

horas el volumen de 800 litros por día, distribuyéndose el mismo conforme se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 4.1.
Tiempos de las Fases para el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial programados para la investigación

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

Fuente: Autoría propia.

7.11.4. Las características del efluente doméstico tratado en Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo SBR se encuentra dentro de las exigencias de los ECA, es decir dentro de la Clase III de agua para riego, según se muestra en la Tabla 7.10.4. "Características del efluente doméstico tratado en el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo SBR" que se muestra a continuación:

Tabla 7.10.4.
Características del efluente doméstico tratado en el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo SBR

Parámetros	Valores ECA para Clase III	Valor Monitoreado, (*)
DBO ₅ (mg/L)	15.00	11.57
DQO (mg/L)	40.00	34.50
Aceites y Grasas (mg/L)	5.00	1.63
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	5 x 10 ³	(**) 4 x 10 ³
Conductividad Eléctrica (μS/cm)	2500.00	2360.77
Temperatura (°C), (***)	16.00 – 32.00	19.00 – 29.00
Potencial de Hidrogeno (unid. pH)	6.5 – 8.5	7.25
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4.00	5.05
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	--	741.30
Turbiedad (NTU)	--	6.68

Nota: Valores de ECA para clase III, es decir agua para riego.

(*), Valores promedio después del tratamiento en el sistema compacto de lodos activados.

(**), Valor promedio a la salida del sistema de tratamiento, sin dosis de desinfectante.

(***), Valores estimados aplicando Δ3, para variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

7.11.5. La eficiencia de remoción frente a cada uno de los parámetros controlados por los ECA es la siguiente.

Tabla 5.2.4.
Eficiencia de Remoción del efluente doméstico tratado en el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo SBR

Parámetros	Valores Promedio		Eficiencia de Remoción en %
	Entrada	Salida	
DBO ₅ (mg/L)	147.13	11.57	92.14
DQO (mg/L)	324.68	34.50	89.37
Aceites y Grasas (mg/L)	25.52	1.63	93.60
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	16 x 10 ⁴	54 x 10 ³	66.25
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	2995.14	2307.28	22.97
Temperatura (°C)	25.98	26.72	--
Potencial de Hidrogeno (unid. pH)	7.98	7.25	--
Oxígeno Disuelto (mg/L)	0.00	5.05	--
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	802.47	741.30	7.62
Turbiedad (NTU)	162.08	6.68	95.87

7.11.6. De la Operación del Sistema de Tratamiento: Durante la puesta en operación se pudo observar que la propia operación del sistema resulta ser bastante entendible y viable, dado que una vez programado, trabaja de forma automática, su operación requiere solo de personal adiestrado en conceptos básicos, por lo que su operación resulta bastante sencilla y amigable, además es sostenible y contribuye básicamente con una buena gestión de uso del agua ya que permite el ahorro del agua potable, reutilizando el agua para el riego del jardín o de las áreas verdes, de modo que se puede derivar el agua potables para el sector que tiene problemas de abastecimiento en la medida que el sistema se pueda ir implementando.

- 7.11.7.** En cuanto al sistema de riego, se hizo uso del existente, instalado en los jardines de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, lugar donde se ubicó nuestro Sistema Compacto de Tratamiento de Lodos Activados del Tipo Secuencial, cuyo efluente tratado se descargó al sistema de riego, como se puede apreciar en las vistas que se hallan en el Apéndice.
- 7.11.8.** Las implicancias científicas de la investigación es que se ha podido acondicionar un Sistema Compacto de Tratamiento de Lodos Activados del Tipo Secuencial (800 L/día), como similar resultados que si se estuviese operando uno de gran tamaño como los adoptados en un distrito para la atención del efluente generado en una gran ciudad es decir de gran caudal de tratamiento, caso de la Planta de Puente Piedra (0.500 M³/Seg), con igual eficiencia de calidad, como se ha demostrado al exponer los resultados.
- 7.11.9.** A la luz de los resultados que permiten demostrar la hipótesis de trabajo, en cuanto a que es viable tratar los efluentes domésticos en un sistema compacto de lodos activados del tipo secuencial, para su reutilización en el riego de áreas verdes y jardines de la propias viviendas, del mismo modo que se hace viable implementar esta opción con fines de reusó del agua, lo que permite con esta implementación de contar con mayor recurso de agua potable para derivarla a consumo humano y no malgastara en fines de riego. Si bien es cierto el fin del trabajo de investigación fue demostrar la viabilidad del funcionamiento de este sistema de tratamiento, el esfuerzo no ha de quedar en esto sino que se ha de buscar el mecanismo de fabricación de este sistema para su comercialización con el fin de que se pueda realizar una adecuada gestión del agua a medida que el sistema se implemente.

7.12. Recomendaciones.- Existen aún algunas otras alternativas que permitirán aumentar la eficiencia del sistema de tratamiento y por ende hacerla aún más compacta, al menos reducir la escala horizontal, por lo que se recomienda continuar con investigar:

7.12.1. La implementación en el sistema de tratamiento, el uso de superficie de contacto haciendo uso de un relleno plástico especial (Carrier), que se destina como soporte de la masa bacteriana, (aumento de la superficie del reactor) en el seno del reactor biológico aerobio, de modo que se puede reducir aún más el tamaño de los reactores, pasando a denominarse luego "Reactor biológico de Lecho Móvil".

7.12.2. Experimentar el uso de enzimas como catalizador de la función de biodegradación de la materia orgánica, enzimas las cuales son catalizadores orgánicos y son producidas por los propios microorganismos. Químicamente las enzimas son proteínas combinadas o con una molécula inorgánica o con una molécula orgánica de bajo peso molecular, de modo que al dosificarse enzimas fabricadas por síntesis química pueden catalizar la biodegradación de la carga orgánica, siendo más eficiente el proceso.

7.12.3. Para asegurar la mejor operación y control del Sistema Compacto de Tratamiento de Lodos Activados del Tipo Secuencial se recomienda la implementación de sensores de control en tiempo real, tales como, Sensores de Oxígeno Disuelto, Turbiedad, pH, Temperatura, Conductividad, Concentración de Sólidos, entre otros que permita su mejor operatividad.



VIII. REFERENCIALES

- 8.1. APHA, AWWA & WPCF. **Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales.** Ediciones Díaz de Santos. Madrid.; 1992.
- 8.2. ANDREA SPERANZA. **Ecología Profunda y Autorrealización: Introducción a la Filosofía Ecológica de Arne Naess.**; Editorial BIBLOS, en Castellano, Argentina, 2006.
- 8.3. BUGALLO Alicia Irene, **Algunos aspectos distintivos de la filosofía ambiental, en lo que hace a su relación con la ciencia.** en Revista Ideas Ambientales, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manisales, 2006
- 8.4. BUGALLO, Alicia Irene, **La filosofía ambiental en Arne Naess. Influencias de Spinoza y James, Ediciones del ICALA (Intercambio Cultural Alemán-Latinoamericano),** Río Cuarto, Argentina, 2011.
- 8.5. BACA NEGLIA M; **Tratamiento de los efluentes domésticos mediante Humedales Artificiales para el riego de áreas verdes en el Distrito de San Juan de Marcona.** Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Investigación y Docencia Universitaria. 2012.
- 8.6. CANO A. A. J, COLLADO L. R, **La lenteja de agua como sistema blando de depuración de aguas residuales de bajo coste,** en **Tecnología del Agua** No. 174, marzo de 1998, pág 18-25.
- 8.7. CARL MITCHAM, **Cuestiones éticas en ciencia y tecnología: análisis introductorio y bibliografía,** Ciencia, Tecnología y Sustentabilidad - El Escorial, julio 2004.
- 8.8. CARRANZA RAYMUNDO M; **Instrumentos de Gestión Ambiental en el Perú.** Auspicio Académico: Universidad Nacional del Callao, RRN 536 – 2014 R; Editotial R. Carranza – PENTAGRAF, 2014.

- 8.9. CASTILLO, G., P. RODRÍGUEZ, M. GARCÉS. **Microbiología de aguas servidas. Evaluación Operación Lodos Activados (en línea)**. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, U. de Chile, 2010.
- 8.10. CASTRO DE ESPARZA Y LEÓN SUEMATSU, GUILLERMO, **Estudios Preliminares de la Remoción de Vibrio Cholerae en algunas Lagunas de Estabilización de San Juan de Miraflores Lima - Perú** CEPIS 1992.
- 8.11. CORTINA, A. y MARTÍNEZ NAVARRO, E. (1996): **Ética**. Akal. Madrid.
- 8.12. CRITES, TCHOBANDGLOUS; **Sistema de Manejo de Aguas Residuales**; Ed. Mc Graw Hill, 2000 pag. (563-640).
- 8.13. DEGREMONT, **Manual Técnico del Agua, 1979**. Cuarta Edición— España.
- 8.14. EDITORES: HARBERL R., PERFLER R., LABER J., COOPER P. **Wetland Systems for water pollution control 1996**, en Water Science and Technology Vol 35, No 5, 1997.
- 8.15. GARCÍA, J. RUIZ, A. & JUNQUERTAS, X. **Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales construidos**. Tecnología del Agua. 165: 58-65. 1997
- 8.16. HERNANDEZ MUÑOZ, HERNANDEZ LEHMANN, **Manual de Depuración Uralita**, Ed. Paraninfo S.A, Primera edición, Madrid 1995.
- 8.17. LAZCANO CARREÑO C., **Biotecnología ambiental de Aguas y aguas residuales**, 1ª Ed. Fondo Editorial de la UNMSM, Junio 2014.
- 8.18. LIND D., MARCHAL W., MASON R.; **Estadística para Administración y Economía**. 2004, 11ª Edición, Editorial Alfaomega
- 8.19. MENDOCA S., **"Aguas residuales"**, 1987.
- 8.20. METCALF & EDDY, **Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización**, 3ª Ed. Mc Graw-Hill, 1995.
- 8.21. MOREIRA P. y CEVALLOS O. 2008. **Tratamiento de aguas servidas situación en Chile: (en línea)**. Chi. Consultado, 18 de

Enero del 2012. Formato pdf. Disponible en:
<http://www.cienciaytrabajo>.

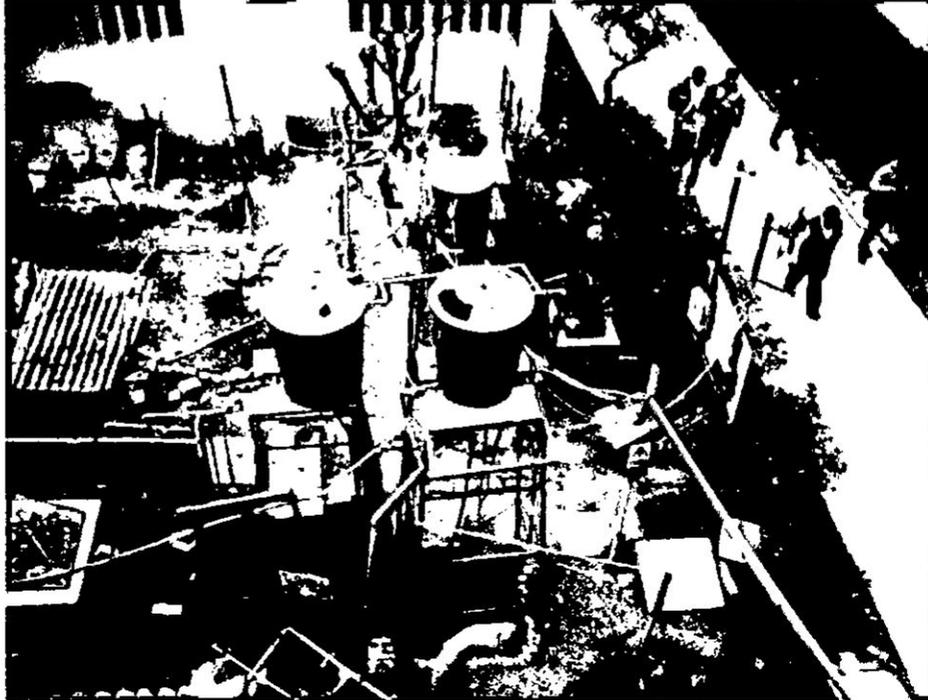
- 8.22. MOSCOSO J. y ALFARO T., **Panorama de Experiencias Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en Lima Metropolitana y Callao**, IPES Promoción del Desarrollo Sostenible. Lima - Perú, abril 2008.
- 8.23. MOSCOSO J., **Estudio de opciones de tratamiento y reúso de aguas residuales en Lima Metropolitana**. 2011
- 8.24. LEOPOLD A. (1970), **A Sand County Almanac: With Essays on Conservation from Round River**, Nueva York: Ballantine, 295 pp.
Aldo Leopold (1887-1948)
- 8.25. OROZCO BARRENECHEA C. et. al.; **Contaminación Ambiental – Una visión desde la Química**, Ed. Thomson, España, 2004. Pág. 193 – 298
- 8.26. ROUTLEDGE KEGAN, P. **Spinoza and ecology**, Speculum Spinozanum, London – New York, 2001, vol. IV. pág. 14
- 8.27. TOM D. REYNOLDS, PAUL RICHARDS. (1996) **Unit Operations and Processes in Environmental Engineering**, 2nd Edition
- 8.28. TORRES BARDALES, C. **El Proyecto de Investigación Científica**. Lima, Editorial Libros y Publicaciones, Tercera Edición 2005, 251 pp.
- 8.29. TORRES BARDALES, C. **Metodología de la Investigación Científica**. Lima, Editorial: Libros y Publicaciones, Novena Edición 2007, 376 pp.
- 8.30. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, **Desing Manual Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment**, EPA, 1988.
- 8.31. WEF /ASCE (WATER ENVIRONMENT FEDERATION / AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS), **Design of Municipal Waste Water Treatment Plants**, Vols, I, II, Brattleboro, Wt. Book Press 1992



IX. APENDICE

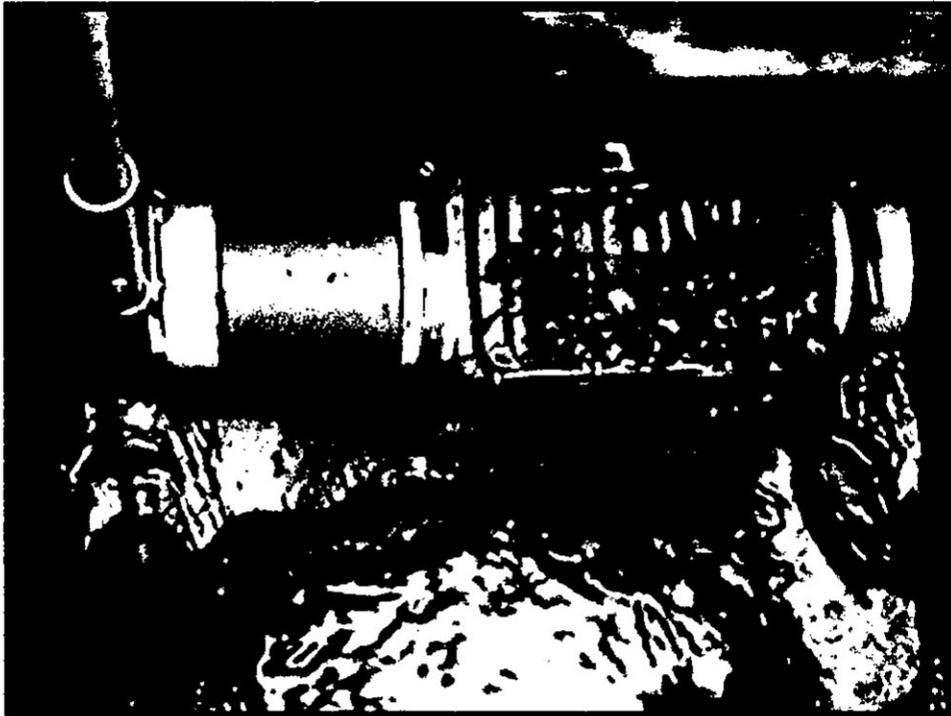
Figuras:

Figura 5.3.c. Vista del área donde se observa el Jardín de la FIARN



Fuente: Autoría Propia

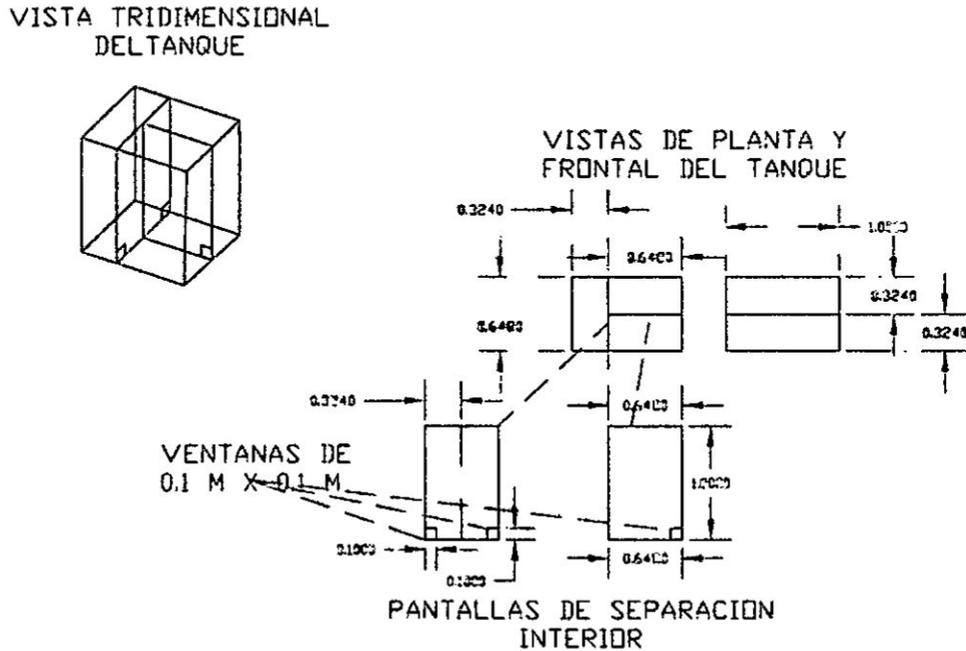
Figura 5.3.d. Buzón (ME1)



Fuente: Autoría Propia

Nota: Donde se observa la rejilla de Desbaste para captar aguas hacia la Cisterna de Aguas Negras tipo Domésticas"

Figura 5.3.1.a. Plano del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuenciales (SBR).



Fuente: Autoría Propia

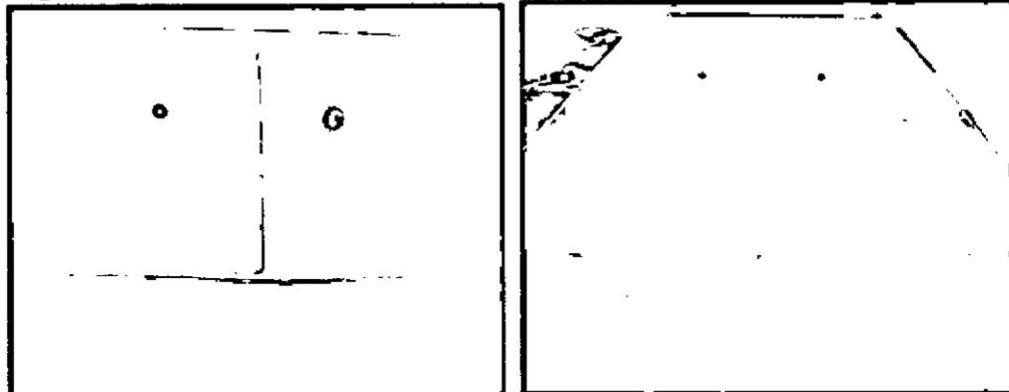
Figura 5.3.1.b. Tanque fabricado en fibra de vidrio del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados Secuenciales (SBR)



Fuente: Autoría Propia

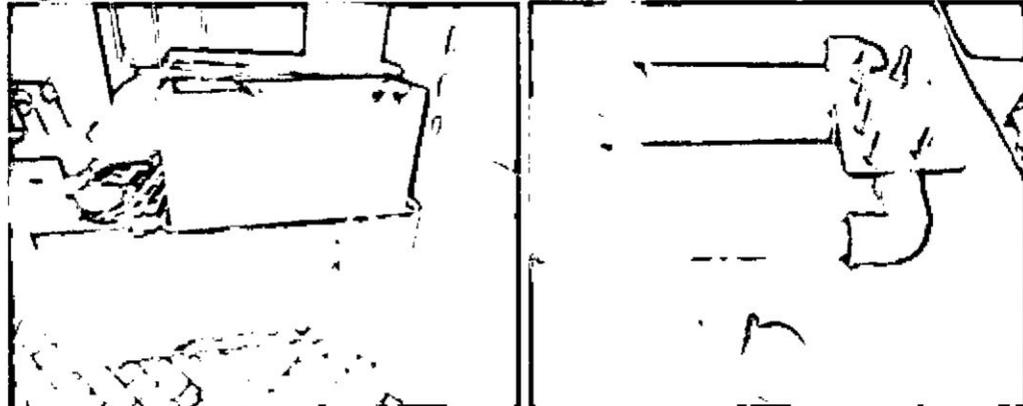


Figura 5.3.1.c. Otras dos vistas del tanque fabricado en fibra de vidrio



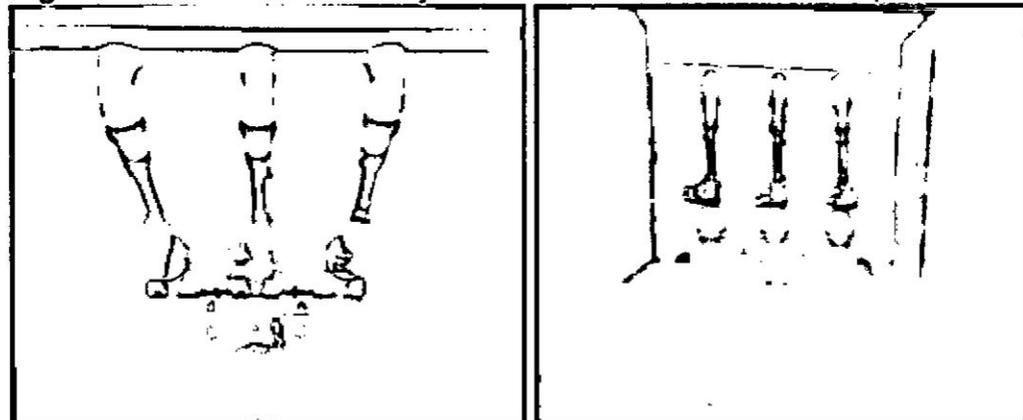
Fuente: Autoría Propia

Figura 5.3.1.d. "Dos Vistas del Reactor durante el montaje"



Fuente: Autoría Propia

Figura 5.3.3.d. Vistas del conjunto de Válvulas de Solenoides para el aire



Fuente: Autoría Propia

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

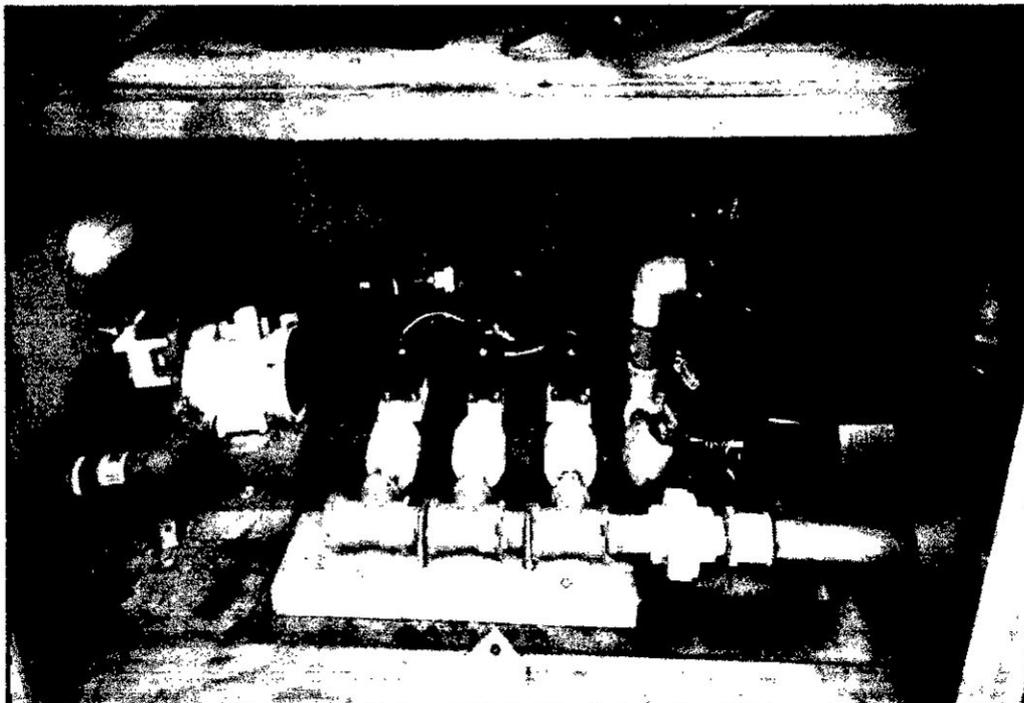
Figura 5.3.3.e. Vista de los dos Sopladores Electromagnéticos.



Fuente: Autoría Propia

Nota: La vista muestra el compartimiento donde están alojados los dos compresores para aire de servicio.

Figura 5.3.3.f. Vista que muestra las dos Electrobombas para aguas crudas.



Fuente: Autoría Propia

Nota: La vista muestra el compartimiento donde están alojados las dos electrobombas para las aguas crudas, también se observa las tres válvulas de solenoide que distribuyen el agua hacia cada una de las cámaras de aireación, por último se observa la bomba centrífuga para el retiro de lodos.

Figura 5.3.3.g. Vista de tablero eléctrico y de la Caja donde se ubica la Tarjeta de Control.



Nota: Vista que muestra los tableros el primero de suministro eléctrico y el segundo, muestra el tablero donde se aloja la tarjeta para el control secuencial.

Fuente: Autoria Propia

Figura 5.3.3.h. Vista anterior y posterior de la Tarjeta de Control



Nota: Vista que muestran la parte posterior de los tableros, obsérvese el transformador de 220v/12v para las válvulas de solenoide y el Cooler para enfriamiento de la tarjeta de control; mientras la segunda vista corresponde a tarjeta de control

Fuente: Autoria Propia

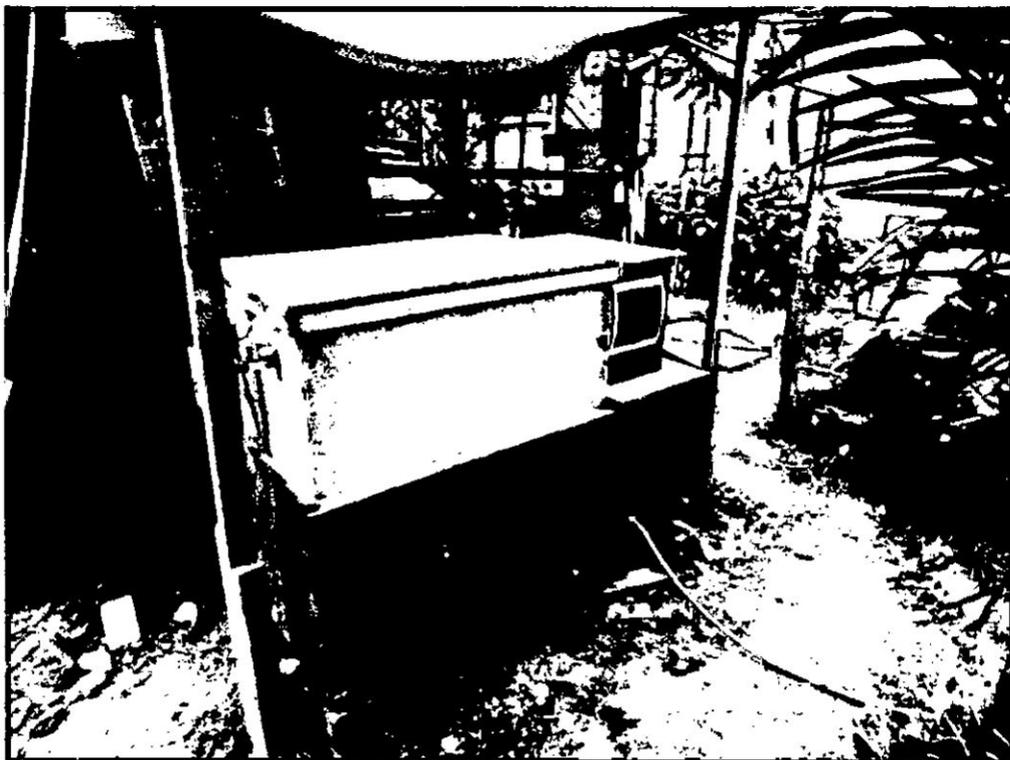
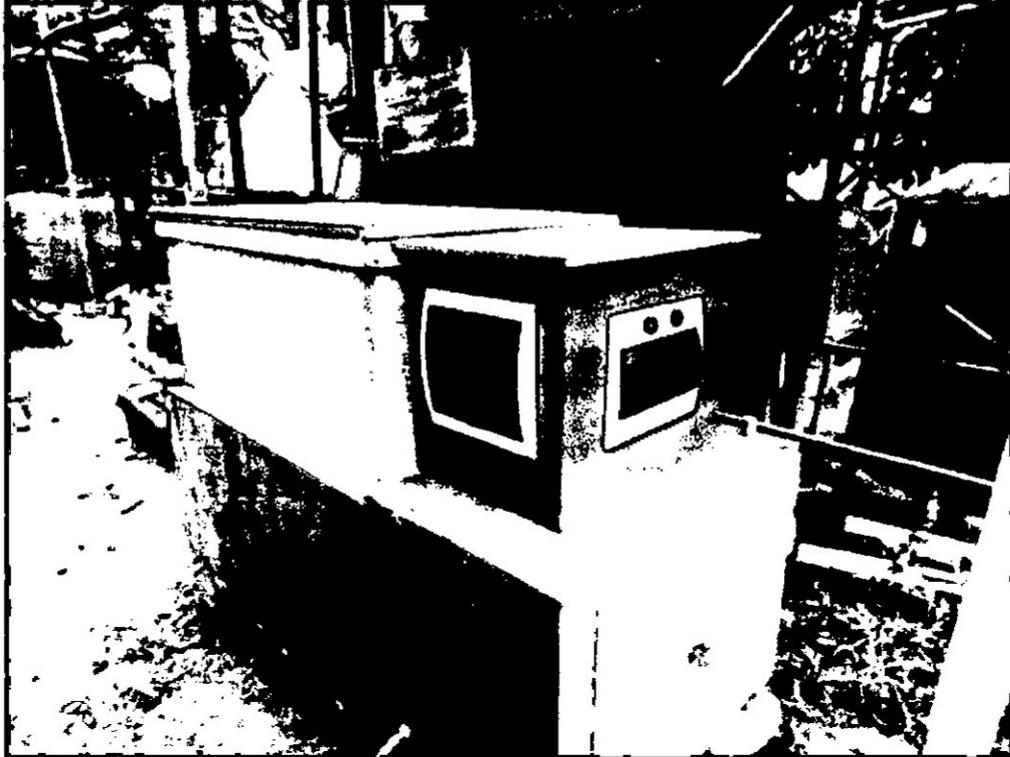
Figura 5.3.3.i. Vista durante la instalación de la electrobomba sumergible.



Nota: Vista durante la instalación de la electrobomba sumergible en la cisterna de captación del agua cruda, que permita llenar el tanque superficial de un m³ garantizando el agua para las pruebas con el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial.

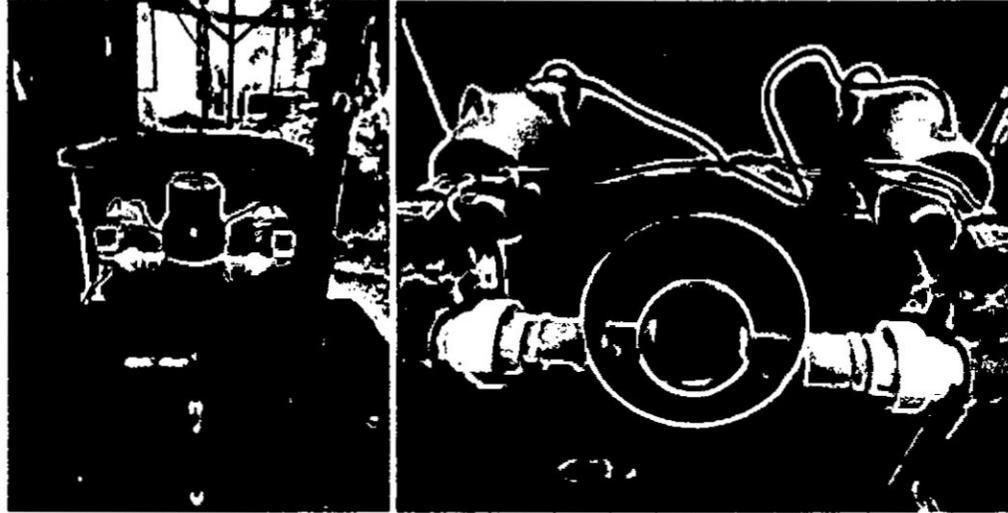
Fuente: Autoria Propia

Figura 5.3.3.j. Vistas del Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial.



Fuente: Autoria Propia

Figura 5.3.3.k. Vista de las valvulas de salida del efluente tratado



Nota: Las vistas muestran las dos electroválvulas solenoides de efluente tratado y del depósito de reunión del efluente.

Fuente: Autoría Propia

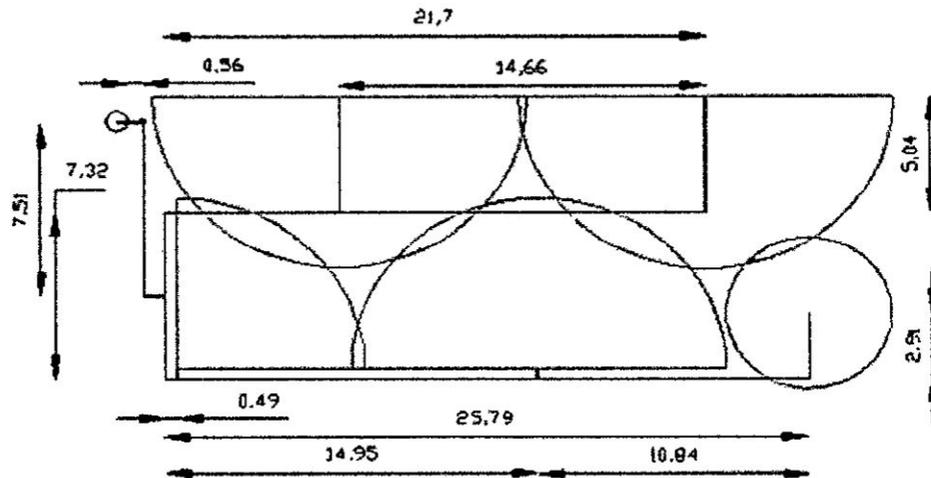
Figura 5.3.5.a. Jardín de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales – FIARN.



Nota: La vista el jardín de la FIARN con el sistema de riego, constituido de la cisterna de almacenamiento de agua tratada de clase III para riego, la electrobomba de presión y la red de difusores de riego.

Fuente: Autoría Propia

Figura 5.3.5.b. Plano de distribución de los difusores de riego del jardín de la FIARN



Nota: Cada arco o círculo representa el alcance de riego del difusor, el cual consta de cinco difusores.

Fuente: Autoria Propia

Figura 5.3.5.c. Vista en Proyección del Sistema de Tratamiento con el Sistema de Riego de la FIARN.



Nota: En la vista se puede apreciar una proyección en la que se observa en primer plano el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial y al fondo en segundo plano el Sistema de Riego en la actualidad

Fuente: Autoria Propia

Figura 5.3.5.d. Vista en proyección desde el Sistema de Riego de la FIARN al Sistema de Tratamiento.



Nota: En la vista vista podemos apreciar la electrobomba y la cisterna de las aguas tratadas de Clase III y a la derecha en segundopiano se puede observar el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial montadas en el Jardín de la FIARN.

Fuente: Autoria Propia

Figura 5.3.5.e. Vista del lado derecho del Sistema de Tratamiento con el Sistema de Riego de la FIARN



Nota: en esta vista apreciamos de derecha a izquierda el Sistema de Tratamiento, seguido de la cisterna de almacenamiento de agua tratada de clase III para riego y en segundo plano la electrobomba de agua para riego.

Fuente: Autoria Propia

Autor: Mg. Máximo Fidel Baca Neglia

Tablas:

Tabla 3.5. Valores promedio de los parámetros que caracteriza el efluente monitoreado en la Ciudad Universitaria de la UNAC.

Parámetro	Unidades
Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO ₅	206.50 mg/L
Demanda Química de Oxígeno – DQO	317.30 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales – SST	113.55 mg/L

Fuente: Autoría propia.

Tabla 4.1. Tiempos de las Fases para el Sistema de Tratamiento Compacto de Lodos Activados del Tipo Secuencial programados para la investigación.

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

Fuente: Autoría propia.

Tabla 5.3.4. Métodos Normalizados y Equipos para Monitoreo de Aguas Residuales.

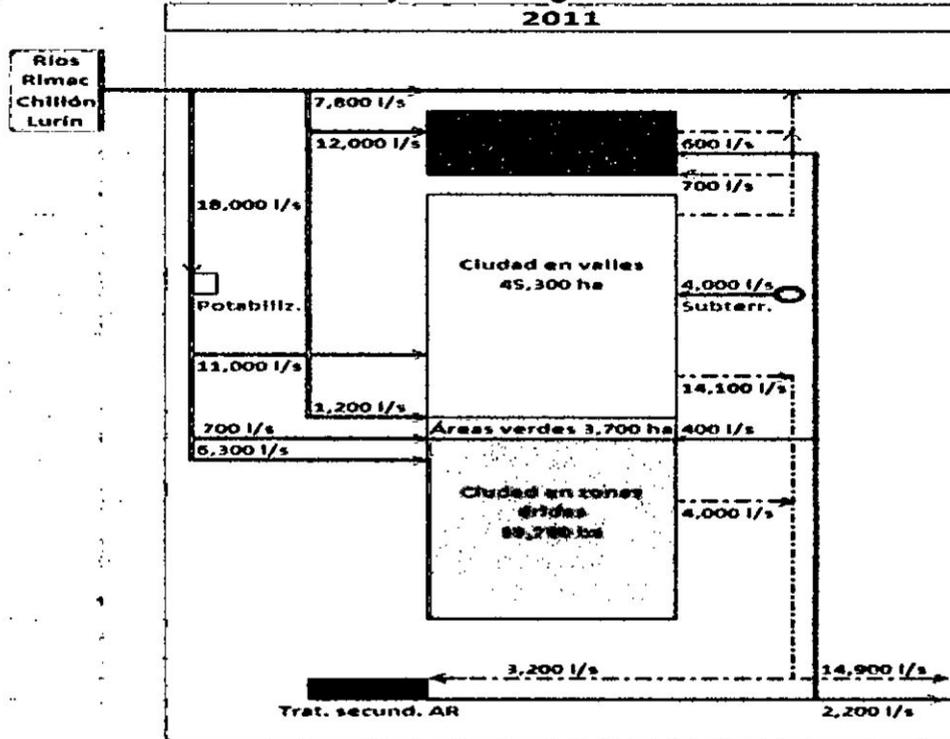
Parámetros	Standar Methods APHA	Métodos	Equipos	Unidades
Temperatura	2550-B	Termométrico	Termómetro	°C
DBO ₅	5210-B	DBO ₅ (5 días, 20°C)	Incubadora	mg DBO ₅ /L
Sólidos Disueltos Totales	2540-C	Gravimétrico	Balanza analítica, capsulas y mufla	mg/L
DQO	5220-B	Reflujo cerrado	Colorímetro	mg/L
Oxígeno Disuelto	4500-O G	Electrodo de Membrana	Oxímetro	mg/L
Turbiedad	2130-B	Nephelometric	Turbidímetro	NTU
Coliformes Fecales	9221-E	Tubos múltiples	Laboratorio	NMP/100ml
Conductividad Eléctrica	2510-B	Celda o electrodo de conductividad	Conductímetro	µmhos/cm.
Volumen de Lodos	2710-C	Volumétrico	Probeta de Sedimentación	mL/L
Aceites y Grasas	5520-B	Extracción Líquido-Líquido	Pera de decantación y destilador	mg/L

Nota: Elaborado a partir de: Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater 21 edition, 2005 - APHA, AWWA – WPCF.

X. ANEXOS

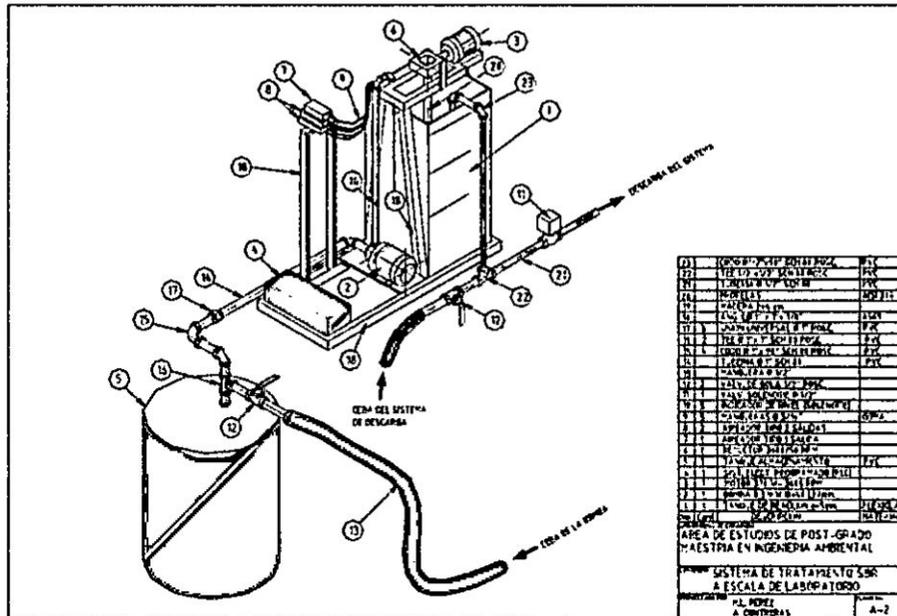
FIGURAS:

Figura 3: Situación del Manejo de las Aguas Residuales en Lima.



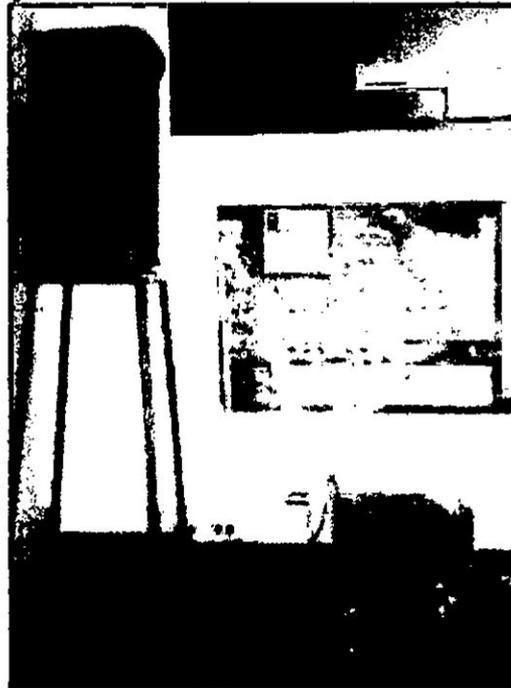
Fuente: Estudio de opciones de tratamiento y Reúso de Aguas Residuales en Lima Metropolitana – 2011 (Ing. Guillermo Moscoso Cavallini)

Figura 4.1.1. Sistema de Tratamiento SBR a Escala de Laboratorio



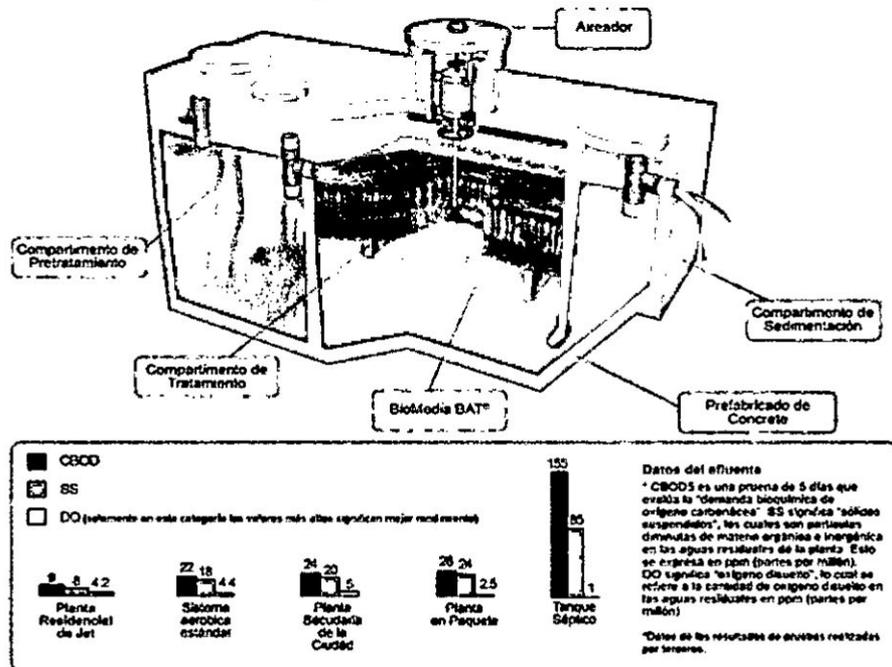
Fuente: Rafael Dautan, M.L.Pérez, A. Contreras, A. Marzana, B. Rincones. El Trigal Centro, Calle Pocaterra N° 82-89. Valencia, Estado Carabobo, Venezuela.

Figura 4.1.2. Montaje del Sistema de Laboratorio de Lodos Activados.



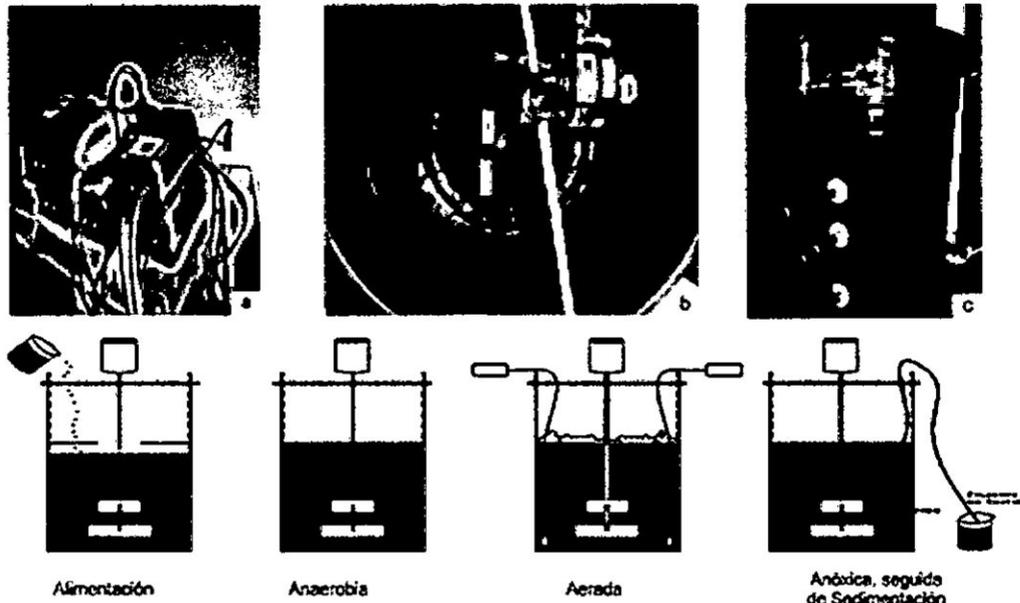
Fuente: "Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio", elaborado por el Ing. Julián Andrés Varila Quiroga y M.Sc. Ing. Fabio Eduardo Díaz López, Revista Tecnología – Vol. 7, N° 2 Julio – Diciembre 2008

Figura 4.1.3. Planta Compacta Residencial Jet Serie 1500.



Fuente: JET Inc.

Figura 4.1.4. Reactor Bilógico Secuencial (RBS) a escala piloto.



Fuente: Desempeño de un reactor biológico secuencial (RBS) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Figura: RBS a escala piloto; a) Sistema de aireación. b) Sistema de mezclado. c) Reactor Biológico Secuencial (SBR), d) Secuencia cronológica de los ciclos de tratamiento.

Figura 4.1.6. Planta Piloto de Lodos Activados (SBR), de la FIARN – UNAC

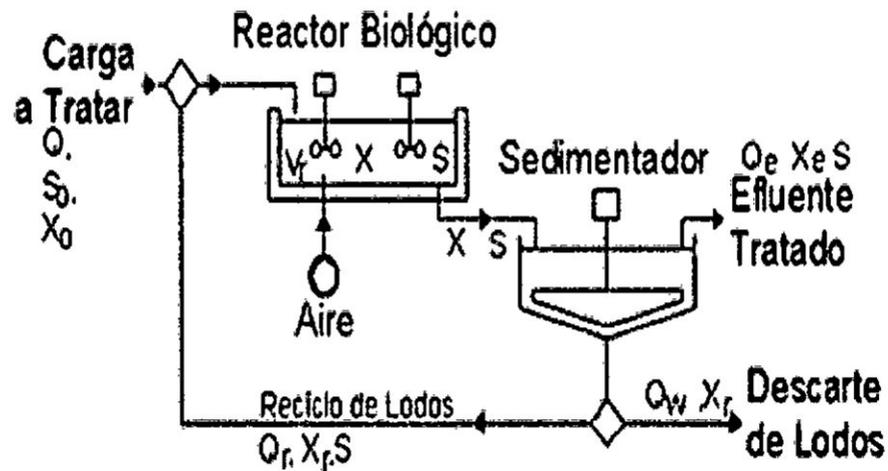


Fuente: "Evaluación de la eficiencia del Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas para el riego de áreas verdes en el Sistema de Lodos Activados de la Planta Piloto de las FIARN – UNAC".

Tesis presentada por la Bachiller Mirian Elizabeth Farfán Reyes,

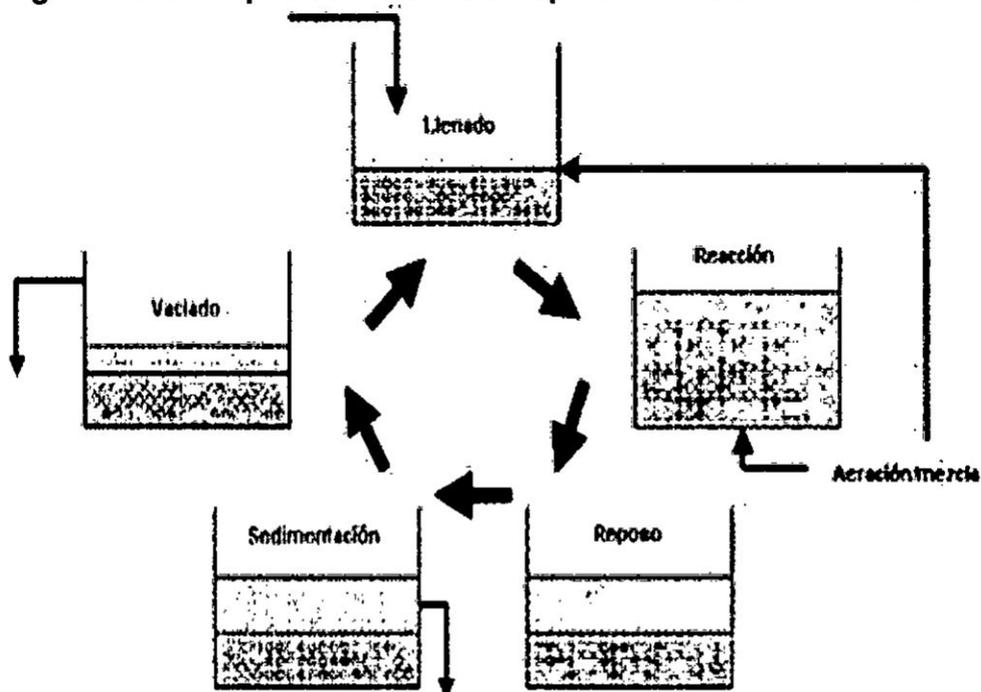
Mirian Elizabeth Farfán Reyes

Figura 4.3.a. Sistema de Lodos Activados Continuo.



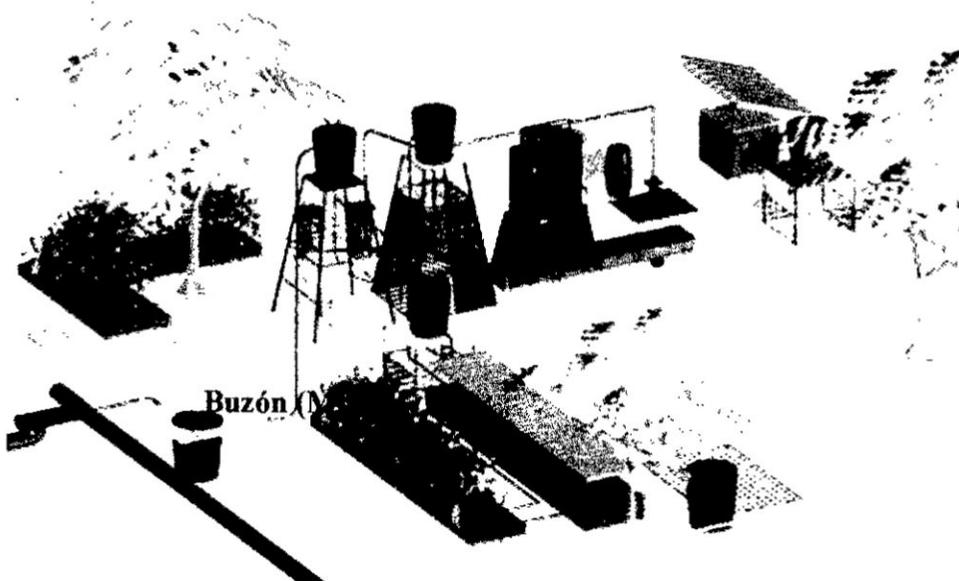
Fuente: Grupo de Procesos y Sistemas de Ingeniería Ambiental, Universidad Autónoma de Madrid - Publicado por José Aguado Alonso el 1 diciembre, 2006.

Figura 4.3.b. Etapas de un Ciclo de operación de un Reactor SBR.



Fuente: Grupo de Procesos y Sistemas de Ingeniería Ambiental, Universidad Autónoma de Madrid - Publicado por José Aguado Alonso el 1 diciembre, 2006

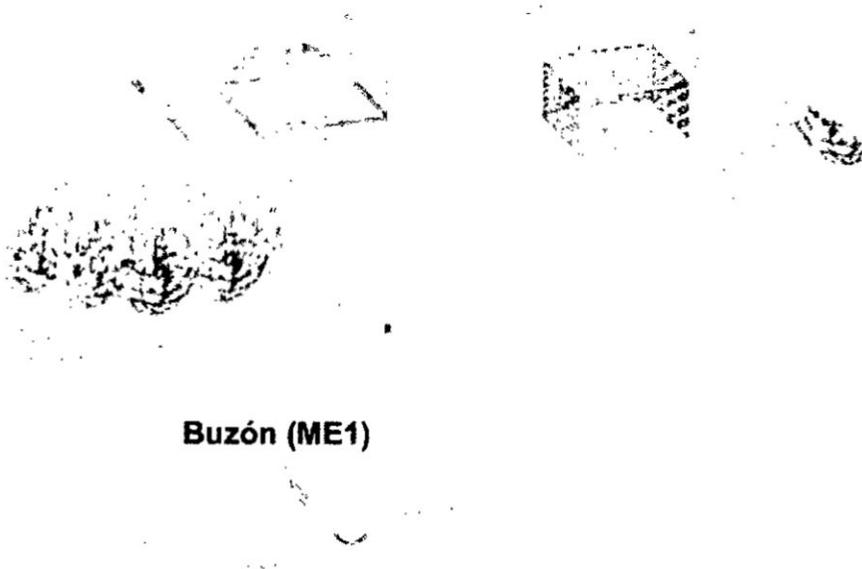
Figura 5.3.a. Vista del Jardín de la FIARN



Nota: Se observa el punto de muestreo **Buzón (ME1)**.

Fuente: Estudiantes de la asignatura de Diseño de Planta de Tratamiento – FIARN-UNAC.

Figura 5.3.b. Vista Lateral del Jardín de la FIARN



Nota: Se observa el punto de muestreo **Buzón (ME1)**.

Fuente: Estudiantes de la asignatura de Diseño de Planta de Tratamiento – FIARN-UNAC.

Figura 6.2.a. INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 21201L/17-MA.



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

INSPESITUBIL

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 21201L/17-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Unidades	LC	LC	LC
Dureza del agua de consumo	7.0	7.0	10.0
Acidez	1.0	0.0	1.5
Dureza Química de Calcio	6.0	6.0	8.5

INACAL

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

INSPESITUBIL

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 21201L/17-MA

CLIENTE : CONSULTORA Y ASESORIA MUNDO ESPERANZA E.I.R.L.
 Av. Indio Chirco Ocho Nro. 200 Urb. Lucuyana Tr. El. (Chuzo con Av. Universidad) Lima - Lima - Carabaylilla

PRODUCTO : Agua residual

MATRIZ : Agua residual doméstica

NÚMERO DE MUESTRAS : 6

PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico. Frascos de vidrio amber

PROVENIENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No aplica

FECHA DE MUESTREO : 2017-02-07

LUGAR DE MUESTREO : Barahuta - Cuzco - Cuzco

REFERENCIA DEL CLIENTE : Págs. - 5BR

FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2017-02-07

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2017-02-07

FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017-02-14

ORDEN DE SERVICIO : 00201-17LMA

Colonia, 17 de Febrero de 2017

Ing. Elmer Faucett



Figura 6.2.c. INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 21868L/17-MA-MB.



INPRESIDENTE

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



INACAL
DA - PERU
DA - PERU

Pág. 1/10

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 21868L/17-MA-MB

CLIENTE
COMBATORIA Y ASESORIA MUNDO ESPERANZA E.I.R.L.
Av. Incael Chiriqui, Calle N°s 206 Los Lucheros 1° y B, (Chico con Av. Universidad) Lima - LIMA - Callao

PRODUCTO
Agua residual

MATRIZ
Agua residual doméstica

NÚMERO DE MUESTRAS
9

PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS
Frascos de plástico, Frascos de vidrio ámbar, Frascos de vidrio azul

PROVENIENCIA DE LAS MUESTRAS
Muestras enviadas por el cliente

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO
No aplica

FECHA DE MUESTREO
2017-08-21

LUGAR DE MUESTREO
-

REFERENCIA DEL CLIENTE
-

FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS
2017-08-21

FECHA DE EMISIÓN DE ENSAYO
2017-08-21

FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO
2017-08-28

ORDEN DE SERVICIO
87046-17/LMA

ANÁLISIS DE MUESTRAS

Ítem	Unidad	S.C.	L.D.	Resultado	Norma
Presencia Suspensión en Colores	mg/L	0.0	0.0	04.8	17.6
Asesorio y Oloros	mg/L	0.0	0.0	21.6	11
Sólidos Totales	mg/L	0.0	0.0	10.8	14.98
Dureza Dura de Calcio	mg/L	0.0	0.0	20.7	20.4

FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS
2017-08-21

FECHA DE EMISIÓN DE ENSAYO
2017-08-21

FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO
2017-08-28

ORDEN DE SERVICIO
87046-17/LMA

INFORMACIÓN ADICIONAL:

El presente informe es válido para el uso que se indica en el mismo. No es válido para otros fines. El laboratorio no es responsable de los errores que se cometan al utilizar este informe. El cliente es responsable de la correcta interpretación de los resultados. El presente informe es válido por un periodo de 90 días desde la fecha de emisión. El presente informe es válido para el uso que se indica en el mismo. No es válido para otros fines. El laboratorio no es responsable de los errores que se cometan al utilizar este informe. El cliente es responsable de la correcta interpretación de los resultados. El presente informe es válido por un periodo de 90 días desde la fecha de emisión.

Callao 28 de febrero de 2017


 Ing. Oscar Francisco Rodríguez
 INACAL - DA - PERU
 LABORATORIO DE ENSAYO



"EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO COMPACTO DE LODOS ACTIVADOS DEL TIPO SECUENCIAL PARA LOS EFLUENTES DOMÉSTICOS Y SU REÚSO EN EL RIEGO DE JARDINES Y ÁREAS VERDES"

Figura 6.2.e. INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 35530L/17-MA-MB.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 831



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 831



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 831

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 35530L/17-MA-MB

CLIENTE
COMERCIALIZADORA Y ASESORIA MUNDO ESPERANZA E P.R.L.
Av. Eloy Chacón Cacha 1165, 06B Los Lujanes 115, 81, Chicla
San Agustín (Urb. San Agustín) Lima - Callao - Perú

PRODUCTO
Agua residual
Agua residual doméstica

NUMERO DE MUESTRA
8

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS
Frascos de plástico, Frascos de vidrio ámbar, Frascos de
plástico azul

PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS
Muestras enviadas por el cliente

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO
No aplica

FECHA DE MUESTREO
2017-03-07

LUGAR DE MUESTREO
Barridos - Callao - Callao

REFERENCIA DEL CLIENTE
Sistema de tratamiento de aguas residuales para reuso en
el riego de áreas verdes y jardines

FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS
2017-03-07

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO
2017-03-07

FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO
2017-03-14

ORDEN DE SERVICIO
00031173JAA

Ítem	Unidad	L.C	L.B	Valor	Unidad	Ítem	Unidad	Valor
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	mg/L	0.0	1.0	172.2	mg/L	1	mg/L	11
Acidez y Alkalinidad	mg/L	1.0	0.1	21.6	mg/L	2	mg/L	1.0
Difusividad (cm ² /seg)	cm ² /seg	1.0	0.1	1.0E-07	cm ² /seg	3	cm ² /seg	1.0E-07
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	0.0	1.0	201.0	mg O ₂ /L	4	mg O ₂ /L	20.0

Nota: Todos los resultados expresados en mg/L, salvo indicación en contrario.
 Unidad de medida: mg/L, salvo indicación en contrario.
 Método de ensayo: N° 100, N° 101, N° 102, N° 103, N° 104, N° 105, N° 106, N° 107, N° 108, N° 109, N° 110, N° 111, N° 112, N° 113, N° 114, N° 115, N° 116, N° 117, N° 118, N° 119, N° 120, N° 121, N° 122, N° 123, N° 124, N° 125, N° 126, N° 127, N° 128, N° 129, N° 130, N° 131, N° 132, N° 133, N° 134, N° 135, N° 136, N° 137, N° 138, N° 139, N° 140, N° 141, N° 142, N° 143, N° 144, N° 145, N° 146, N° 147, N° 148, N° 149, N° 150, N° 151, N° 152, N° 153, N° 154, N° 155, N° 156, N° 157, N° 158, N° 159, N° 160, N° 161, N° 162, N° 163, N° 164, N° 165, N° 166, N° 167, N° 168, N° 169, N° 170, N° 171, N° 172, N° 173, N° 174, N° 175, N° 176, N° 177, N° 178, N° 179, N° 180, N° 181, N° 182, N° 183, N° 184, N° 185, N° 186, N° 187, N° 188, N° 189, N° 190, N° 191, N° 192, N° 193, N° 194, N° 195, N° 196, N° 197, N° 198, N° 199, N° 200, N° 201, N° 202, N° 203, N° 204, N° 205, N° 206, N° 207, N° 208, N° 209, N° 210, N° 211, N° 212, N° 213, N° 214, N° 215, N° 216, N° 217, N° 218, N° 219, N° 220, N° 221, N° 222, N° 223, N° 224, N° 225, N° 226, N° 227, N° 228, N° 229, N° 230, N° 231, N° 232, N° 233, N° 234, N° 235, N° 236, N° 237, N° 238, N° 239, N° 240, N° 241, N° 242, N° 243, N° 244, N° 245, N° 246, N° 247, N° 248, N° 249, N° 250, N° 251, N° 252, N° 253, N° 254, N° 255, N° 256, N° 257, N° 258, N° 259, N° 260, N° 261, N° 262, N° 263, N° 264, N° 265, N° 266, N° 267, N° 268, N° 269, N° 270, N° 271, N° 272, N° 273, N° 274, N° 275, N° 276, N° 277, N° 278, N° 279, N° 280, N° 281, N° 282, N° 283, N° 284, N° 285, N° 286, N° 287, N° 288, N° 289, N° 290, N° 291, N° 292, N° 293, N° 294, N° 295, N° 296, N° 297, N° 298, N° 299, N° 300, N° 301, N° 302, N° 303, N° 304, N° 305, N° 306, N° 307, N° 308, N° 309, N° 310, N° 311, N° 312, N° 313, N° 314, N° 315, N° 316, N° 317, N° 318, N° 319, N° 320, N° 321, N° 322, N° 323, N° 324, N° 325, N° 326, N° 327, N° 328, N° 329, N° 330, N° 331, N° 332, N° 333, N° 334, N° 335, N° 336, N° 337, N° 338, N° 339, N° 340, N° 341, N° 342, N° 343, N° 344, N° 345, N° 346, N° 347, N° 348, N° 349, N° 350, N° 351, N° 352, N° 353, N° 354, N° 355, N° 356, N° 357, N° 358, N° 359, N° 360, N° 361, N° 362, N° 363, N° 364, N° 365, N° 366, N° 367, N° 368, N° 369, N° 370, N° 371, N° 372, N° 373, N° 374, N° 375, N° 376, N° 377, N° 378, N° 379, N° 380, N° 381, N° 382, N° 383, N° 384, N° 385, N° 386, N° 387, N° 388, N° 389, N° 390, N° 391, N° 392, N° 393, N° 394, N° 395, N° 396, N° 397, N° 398, N° 399, N° 400, N° 401, N° 402, N° 403, N° 404, N° 405, N° 406, N° 407, N° 408, N° 409, N° 410, N° 411, N° 412, N° 413, N° 414, N° 415, N° 416, N° 417, N° 418, N° 419, N° 420, N° 421, N° 422, N° 423, N° 424, N° 425, N° 426, N° 427, N° 428, N° 429, N° 430, N° 431, N° 432, N° 433, N° 434, N° 435, N° 436, N° 437, N° 438, N° 439, N° 440, N° 441, N° 442, N° 443, N° 444, N° 445, N° 446, N° 447, N° 448, N° 449, N° 450, N° 451, N° 452, N° 453, N° 454, N° 455, N° 456, N° 457, N° 458, N° 459, N° 460, N° 461, N° 462, N° 463, N° 464, N° 465, N° 466, N° 467, N° 468, N° 469, N° 470, N° 471, N° 472, N° 473, N° 474, N° 475, N° 476, N° 477, N° 478, N° 479, N° 480, N° 481, N° 482, N° 483, N° 484, N° 485, N° 486, N° 487, N° 488, N° 489, N° 490, N° 491, N° 492, N° 493, N° 494, N° 495, N° 496, N° 497, N° 498, N° 499, N° 500, N° 501, N° 502, N° 503, N° 504, N° 505, N° 506, N° 507, N° 508, N° 509, N° 510, N° 511, N° 512, N° 513, N° 514, N° 515, N° 516, N° 517, N° 518, N° 519, N° 520, N° 521, N° 522, N° 523, N° 524, N° 525, N° 526, N° 527, N° 528, N° 529, N° 530, N° 531, N° 532, N° 533, N° 534, N° 535, N° 536, N° 537, N° 538, N° 539, N° 540, N° 541, N° 542, N° 543, N° 544, N° 545, N° 546, N° 547, N° 548, N° 549, N° 550, N° 551, N° 552, N° 553, N° 554, N° 555, N° 556, N° 557, N° 558, N° 559, N° 560, N° 561, N° 562, N° 563, N° 564, N° 565, N° 566, N° 567, N° 568, N° 569, N° 570, N° 571, N° 572, N° 573, N° 574, N° 575, N° 576, N° 577, N° 578, N° 579, N° 580, N° 581, N° 582, N° 583, N° 584, N° 585, N° 586, N° 587, N° 588, N° 589, N° 590, N° 591, N° 592, N° 593, N° 594, N° 595, N° 596, N° 597, N° 598, N° 599, N° 600, N° 601, N° 602, N° 603, N° 604, N° 605, N° 606, N° 607, N° 608, N° 609, N° 610, N° 611, N° 612, N° 613, N° 614, N° 615, N° 616, N° 617, N° 618, N° 619, N° 620, N° 621, N° 622, N° 623, N° 624, N° 625, N° 626, N° 627, N° 628, N° 629, N° 630, N° 631, N° 632, N° 633, N° 634, N° 635, N° 636, N° 637, N° 638, N° 639, N° 640, N° 641, N° 642, N° 643, N° 644, N° 645, N° 646, N° 647, N° 648, N° 649, N° 650, N° 651, N° 652, N° 653, N° 654, N° 655, N° 656, N° 657, N° 658, N° 659, N° 660, N° 661, N° 662, N° 663, N° 664, N° 665, N° 666, N° 667, N° 668, N° 669, N° 670, N° 671, N° 672, N° 673, N° 674, N° 675, N° 676, N° 677, N° 678, N° 679, N° 680, N° 681, N° 682, N° 683, N° 684, N° 685, N° 686, N° 687, N° 688, N° 689, N° 690, N° 691, N° 692, N° 693, N° 694, N° 695, N° 696, N° 697, N° 698, N° 699, N° 700, N° 701, N° 702, N° 703, N° 704, N° 705, N° 706, N° 707, N° 708, N° 709, N° 710, N° 711, N° 712, N° 713, N° 714, N° 715, N° 716, N° 717, N° 718, N° 719, N° 720, N° 721, N° 722, N° 723, N° 724, N° 725, N° 726, N° 727, N° 728, N° 729, N° 730, N° 731, N° 732, N° 733, N° 734, N° 735, N° 736, N° 737, N° 738, N° 739, N° 740, N° 741, N° 742, N° 743, N° 744, N° 745, N° 746, N° 747, N° 748, N° 749, N° 750, N° 751, N° 752, N° 753, N° 754, N° 755, N° 756, N° 757, N° 758, N° 759, N° 760, N° 761, N° 762, N° 763, N° 764, N° 765, N° 766, N° 767, N° 768, N° 769, N° 770, N° 771, N° 772, N° 773, N° 774, N° 775, N° 776, N° 777, N° 778, N° 779, N° 780, N° 781, N° 782, N° 783, N° 784, N° 785, N° 786, N° 787, N° 788, N° 789, N° 790, N° 791, N° 792, N° 793, N° 794, N° 795, N° 796, N° 797, N° 798, N° 799, N° 800, N° 801, N° 802, N° 803, N° 804, N° 805, N° 806, N° 807, N° 808, N° 809, N° 810, N° 811, N° 812, N° 813, N° 814, N° 815, N° 816, N° 817, N° 818, N° 819, N° 820, N° 821, N° 822, N° 823, N° 824, N° 825, N° 826, N° 827, N° 828, N° 829, N° 830, N° 831, N° 832, N° 833, N° 834, N° 835, N° 836, N° 837, N° 838, N° 839, N° 840, N° 841, N° 842, N° 843, N° 844, N° 845, N° 846, N° 847, N° 848, N° 849, N° 850, N° 851, N° 852, N° 853, N° 854, N° 855, N° 856, N° 857, N° 858, N° 859, N° 860, N° 861, N° 862, N° 863, N° 864, N° 865, N° 866, N° 867, N° 868, N° 869, N° 870, N° 871, N° 872, N° 873, N° 874, N° 875, N° 876, N° 877, N° 878, N° 879, N° 880, N° 881, N° 882, N° 883, N° 884, N° 885, N° 886, N° 887, N° 888, N° 889, N° 890, N° 891, N° 892, N° 893, N° 894, N° 895, N° 896, N° 897, N° 898, N° 899, N° 900, N° 901, N° 902, N° 903, N° 904, N° 905, N° 906, N° 907, N° 908, N° 909, N° 910, N° 911, N° 912, N° 913, N° 914, N° 915, N° 916, N° 917, N° 918, N° 919, N° 920, N° 921, N° 922, N° 923, N° 924, N° 925, N° 926, N° 927, N° 928, N° 929, N° 930, N° 931, N° 932, N° 933, N° 934, N° 935, N° 936, N° 937, N° 938, N° 939, N° 940, N° 941, N° 942, N° 943, N° 944, N° 945, N° 946, N° 947, N° 948, N° 949, N° 950, N° 951, N° 952, N° 953, N° 954, N° 955, N° 956, N° 957, N° 958, N° 959, N° 960, N° 961, N° 962, N° 963, N° 964, N° 965, N° 966, N° 967, N° 968, N° 969, N° 970, N° 971, N° 972, N° 973, N° 974, N° 975, N° 976, N° 977, N° 978, N° 979, N° 980, N° 981, N° 982, N° 983, N° 984, N° 985, N° 986, N° 987, N° 988, N° 989, N° 990, N° 991, N° 992, N° 993, N° 994, N° 995, N° 996, N° 997, N° 998, N° 999, N° 1000.

CLIENTE
COMERCIALIZADORA Y ASESORIA MUNDO ESPERANZA E P.R.L.
Av. Eloy Chacón Cacha 1165, 06B Los Lujanes 115, 81, Chicla
San Agustín (Urb. San Agustín) Lima - Callao - Perú

PRODUCTO
Agua residual
Agua residual doméstica

NUMERO DE MUESTRA
8

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS
Frascos de plástico, Frascos de vidrio ámbar, Frascos de
plástico azul

PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS
Muestras enviadas por el cliente

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO
No aplica

FECHA DE MUESTREO
2017-03-07

LUGAR DE MUESTREO
Barridos - Callao - Callao

REFERENCIA DEL CLIENTE
Sistema de tratamiento de aguas residuales para reuso en
el riego de áreas verdes y jardines

FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS
2017-03-07

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO
2017-03-07

FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO
2017-03-14

ORDEN DE SERVICIO
00031173JAA

Callao, 17 de marzo de 2017


 Ing. César Fajardo N° 444
 Callao - Perú / Correo: (51) 913-8888 Fax: (51) 625-6818
 www.inspector.com.pe



Figura 6.2.6.a. Diagrama de Variación de temperaturas durante Enero 2017 en el Callao.

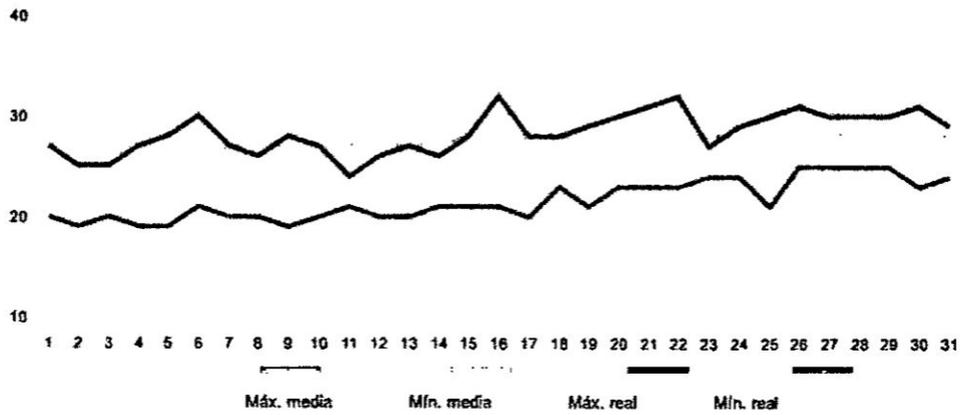


Figura 6.2.6.b. Diagrama de Variación de temperaturas durante Febrero 2017 en el Callao.

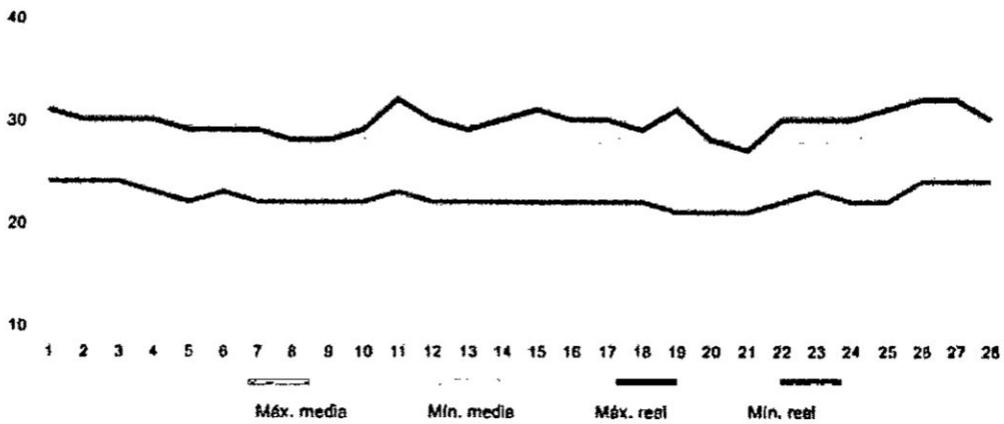
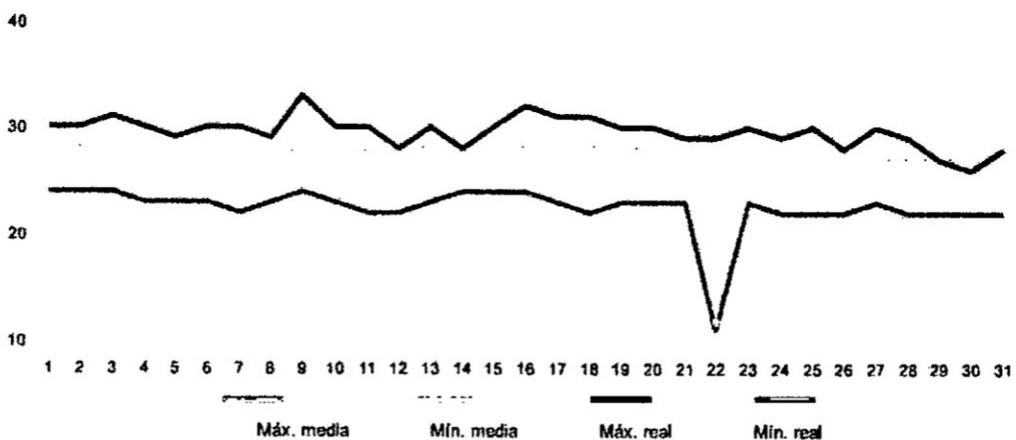


Figura 6.2.6.c. Diagrama de Variación de temperaturas durante Marzo 2017 en el Callao.



Fuente: Free Weather Widget, Accu Weather.com

TABLAS:

Tabla 3. Consumo de Agua para el Riego de áreas Verdes de Lima y Callao.

Fuente	Caudal m³/s	Volumen Anual Millones M³
Agua de rio	0.1000	3.15
Agua de rio pre-tratada	0.0144	0.45
Agua potable y de pozo	1.7856	56.31
Agua residual tratada	0.4000	12.61
Total:	2.3000	72.52

Fuente: Estudio de opciones de tratamiento y Reúso de Aguas Residuales en Lima Metropolitana – 2011 (Ing. Guillermo Moscoso Cavallini)

Tabla 3.a. Proyección de áreas verdes urbanas en los distritos de Lima Metropolitana en función a niveles económicos y tipo de fisiografía

Distrito	Superficie	Población	Densidad poblacional	Cobertura área verde (m ² /hab)		Área verde (ha)		Fuente
	(km ²)			(hab/km ²)	Actual	Potencial	Actual	
Nivel económico alto:	121.97	569,588	4,670	4.61	5.39	262.86	307.65	
La Molina	65.75	132,498	2,015			61.15	71.41	
San Isidro	11.10	58,056	5,230	6.66	8.23	38.67	47.78	IMP, 2010
La Punta	0.75	4,370	5,827	6.93	6.93	3.03	3.03	IMP, 2008
Santiago de Surco	34.75	289,597	8,334	4.17	4.82	120.76	139.59	IMP, 2010
Miraflores	9.62	85,065	8,843			39.26	45.85	
Nivel económico medio:	66.60	888,475	13,340	3.35	3.86	297.71	351.20	
Barranco	3.33	33,903	10,181	2.17		7.36	13.07	IMP, 2008
San Borja	9.96	105,076	10,550	4.74	5.40	49.81	56.74	IMP, 2010
San Miguel	10.72	129,107	12,044	3.03	3.64	39.12	46.99	IMP, 2010
Cercado de Lima	21.98	299,493	13,626			100.36	115.46	
Jesús María	4.57	66,171	14,479			22.17	25.51	
Magdalena del Mar	3.61	50,764	14,062			17.01	19.57	
San Luis	3.49	54,634	15,654	2.17	2.98	11.86	16.28	IMP, 2010
Bellavista	4.56	75,163	16,483			25.19	28.98	
Pueblo Libre	4.38	74,164	16,932			24.85	28.59	
Nivel económico bajo:	34.01	707,333	20,798	1.80	2.60	127.51	197.83	
Santa Anita	10.69	184,614	17,270	2.45	3.36	45.23	62.03	IMP, 2010
Lince	3.03	55,242	18,232	0.60		3.31	15.45	IMP, 2008
Carmen de la Legua	2.12	41,863	19,747			7.55	11.71	
Surquillo	3.46	89,283	25,804	2.30	3.05	20.54	27.23	IMP, 2010
La Victoria	8.74	192,724	22,051	1.91	2.14	36.81	41.24	IMP, 2010
La Perla	2.75	61,698	22,436			11.12	17.26	
Breña	3.22	81,909	25,438	0.36		2.95	22.91	IMP, 2008
Con áreas montañosas:	470.47	2,925,251	6,218	1.50	3.44	439.96	1,007.40	
Chaclacayo	39.50	41,110	1,041	5.40	5.40	22.20	22.20	IMP, 2010
Ventanilla	73.52	277,895	3,780			41.60	95.70	
Villa María del Triunfo	70.57	378,470	5,363			56.92	130.34	
San Juan de Lurigancho	131.25	898,443	6,845	1.37		123.09	309.41	IMP, 2008
Chorrillos	38.94	286,977	7,370			43.16	98.83	
Ate	77.72	478,278	6,154			71.93	164.71	
Independencia	14.56	207,647	14,261	1.04	3.98	21.60	82.64	IMP, 2010
El Agustino	12.54	180,262	14,375	2.33	2.38	42.00	42.90	IMP, 2010
Rímac	11.87	176,169	14,842	0.98		17.26	60.67	IMP, 2008
Con zonas agrícolas:	1,445.21	3,319,452	2,297	2.52	3.08	835.98	1,231.97	
Cleneguilla	240.33	26,725	111	3.34	3.34	8.93	8.93	IMP, 2010
Lurín	181.12	62,940	348	0.78		4.91	19.38	IMP, 2008
Pachacámac	160.23	68,441	427	0.25		1.71	21.07	IMP, 2008
Carabayllo	346.88	213,386	615			53.74	65.69	
Lurigancho-Chosica	236.47	169,359	716			42.65	52.14	
Puente Piedra	71.18	233,602	3,282	1.59	1.71	37.14	39.95	IMP, 2010
Cajalao	45.65	415,688	9,110			104.74	128.04	
Comas	48.75	486,977	9,989	1.14	1.78	55.52	86.68	IMP, 2010
Villa El Salvador	35.46	381,790	10,767	2.05	8.58	78.27	327.58	IMP, 2008
San Juan de Miraflores	23.98	362,643	15,123	4.76	4.78	172.62	173.34	IMP, 2010
San Martín de Porras	36.91	579,561	15,702			145.96	178.42	
Los Olivos	18.25	318,140	17,432	4.08	4.11	129.80	130.76	IMP, 2010
Con zonas áridas - balnearios:	663.37	72,522	109	6.68	8.58	48.44	62.22	
Santa María del Mar	9.81	161	16	6.68		0.11	0.14	IMP, 2008
Punta Negra	130.50	5,284	40			3.53	4.53	
Punta Hermosa	119.50	5,762	48			3.85	4.94	
Ancón	299.22	33,367	112			22.29	28.63	
San Bartolo	45.01	6,412	142			4.28	5.50	
Pucusana	37.83	10,633	281			7.10	9.12	
Santa Rosa	21.50	10,903	507			7.28	9.35	
Total Lima Metropolitana	2,801.63	8,482,619	3,028	2.37	3.72	2,012.46	3,158.27	

Fuente: IMP, 2008, IMP, 2010, Estudio de opciones de tratamiento y Reúso de Aguas Residuales en Lima Metropolitana – 2011 (Ing. Guillermo Moscoso Cavallini)

Tabla 4.2.2.a. Composición Típica del Agua Residual Doméstica

Contaminantes	Concentración			
	Unidad.	Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/L	350	720	1,200
Disueltos totales (SDT)	mg/L	250	500	850
Fijos	mg/L	145	300	525
Volátiles	mg/L	105	220	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/L	100	220	350
Fijos	mg/L	20	55	75
Volátiles	mg/L	80	165	275
Sólidos sedimentables	ml/L	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/L	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	250	500	1,000
Nitrógeno (total de la forma N)	mg/L	20	40	85
Orgánico	mg/L	8	15	35
Amoníaco libre	mg/L	12	25	50
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo (total de la forma P)	mg/L	4	8	15
Orgánico	mg/L	1	3	5
Inorgánico	mg/L	3	5	10
Cloruros	mg/L	30	50	100
Sulfatos	mg/L	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/L	50	100	200
Grasa	mg/L	50	100	150
Coliformes totales	Nº/100 mL	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁶ - 10 ⁸	10 ⁶ - 10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles, (COVs)	µg/L	< 100	100 - 400	> 400

Fuente: METCALF & EDYY; Ingeniería de Aguas Residuales; 3ª Edición; Mc Graw Hill; Vol. 1, año 1995, pág. 125.

Tabla 4.2.2.b. Operaciones, Procesos Unitarios y Sistemas de Tratamiento Utilizados para eliminar la mayoría de contaminantes presentes en las Aguas Residuales

Contaminante	Operación unitaria, proceso unitario o sistema de tratamiento
Sólidos en Suspensión	Desbaste y dilaceración, Desarenado, Sedimentación, Filtración, Flotación, Adición de polímeros, Coagulación/sedimentación, Sistemas naturales (tratamiento por evacuación al terreno).
Materia orgánica biodegradable	Variantes de fangos activados, películas fija: Filtros percoladores ó biodiscos (RBC), Variantes del lagunaje, Filtración intermitente en arena, sistemas físico químicos, sistemas naturales.
Compuestos orgánicos volátiles	Arrastre por aire, Tratamiento de gases, Adsorción con Carbón,
Patógenos	Cloración, Hipo cloración, Cloruro de bromo, Ozonización, Radiación U.V. Sistemas naturales
Nutrientes Nitrogenadas	Variantes de sistemas de cultivo en suspensión con nitrificación y desnitrificación, Variantes de sistemas de película fija con nitrificación desnitrificación, Arrastre de amoníaco, Intercambio iónico, Cloración, Sistemas naturales.
Fósforo	Adición de sales metálicas, Coagulación y sedimentación con cal, eliminación biológica del fósforo, eliminación biológica – química del P, Sistemas naturales.
Nitrógeno y fósforo	Eliminación biológica de nutrientes,
Materia orgánica refractaria	Adsorción de carbón, Ozonización terciaria, Sistema naturales.
Metales pesados	Precipitación química, Intercambio iónico, sistema de tratamiento en el terreno.
Sólidos orgánicos domésticos	Intercambio iónico, Osmosis inversas, electro diálisis.

Fuente: METCALF & EDDY – INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES

Tabla 4.3.1. Parámetros de diseño para los procesos de fangos activados.

Modificación de proceso	Θ_c , d	F/M Kg DBO ₅ aplicada/kg SSVLM .d	Carga volumétrica, kg de DBO ₅ aplicada/m ³ .d	SSLM, mg/l	V/Q, h	Qr/Q
Convencional	5 - 15	0,2 - 0,4	0,32 - 0,64	1.500 - 3.000	4 - 8	0,23 - 0,75
Mezcla completa	5 - 15	0,2 - 0,6	0,80 - 1,92	2.500 - 4.000	3 - 5	0,25 - 1,00
Alimentación escalonada	5 - 15	0,2 - 0,4	0,64 - 0,96	2.000 - 3.500	3 - 5	0,25 - 0,75
Aireación modificada	0,2 - 0,5	1,5 - 5,0	1,20 - 2,40	200 - 1.000	1,5 - 3	0,05 - 0,25
Contacto y estabilización	5 - 15	0,2 - 0,6	0,96 - 1,20	(1.000 - 3.000) ^a (4.000 - 1000) ^b	(0,5 - 1,0) ^a (3 - 6) ^b	0,5 - 1,50
Aireación prolongada	20 - 30	0,05 - 0,15	0,16 - 0,40	3.000 - 6.000	18 - 36	0,5 - 1,50
Aireación de alta carga	5 - 10	0,4 - 1,5	1,60 - 1,60	4.000 - 10.000	2 - 4	1,0 - 5,0
Proceso Krauss	5 - 15	0,3 - 0,8	0,64 - 1,60	2.000 - 3.000	4 - 8	0,5 - 1,0
Oxígeno puro	3 - 10	0,25 - 1,0	1,60 - 3,20	2.000 - 5.000	1 - 3	0,25 - 0,5
Canal de oxidación	10 - 30	0,05 - 0,30	0,08 - 0,48	3.000 - 6.000	8 - 36	0,75 - 1,50
Reactor de flujo discontinuo secuencial	NA	0,05 - 0,30	0,08 - 0,24	1.500 - 5.000 ^d	12 - 50	NA
Reactor Deep Shaft	SI	0,5 - 5,0	SI	SI	0,5 - 5	SI
Nitrificación de etapa única	8 - 20	0,10 - 0,25 (0,02 - 0,15) ^e	0,08 - 0,32	2.000 - 3.500	6 - 15	0,50 - 1,50
Nitrificación en etapas separadas	15 - 100	0,05 - 0,20 (0,04 - 0,15) ^e	0,05 - 0,14	2.000 - 3.500	3 - 6	0,50 - 2,00

^a Unidad de contacto

^b Unidad de estabilización de sólidos

^c NKT /SSVLM

^d Los SSLM varían en función de la fase del ciclo operativo

NA = No aplica

SI = Sin información

Fuente: Metcalf & Eddy, "INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES", Volumen 2 Tratamiento, vertido y reutilización; Tercera Edición, pag.626.

Tabla 5.8.1. Criterios para Recolección, Preservación y Almacenamiento.

Parámetros	Volumen mínimo	Recipiente	Preservación con Refrigeración	Tiempo de Almacenamiento
DBO ₅	1000 ml	Poliétileno o Vidrio	a 4°C	Inmediato
DQO	100 ml	Frasco de vidrio boca ancha	a 4°C, a pH<2, con H ₂ SO ₄	48 horas
Aceites y grasas	1000 ml	Frasco de vidrio boca ancha	a 4°C, a pH<2, con HCl	28 días
Coliformes Totales	500 ml	Frasco de vidrio boca ancha	a 4°C	24 horas
Coliformes Fecales	500 ml	Frasco de vidrio boca ancha	a 4°C	24 horas

Fuente: Protocolo de Monitoreo de Efluentes Líquidos – MITINCI

Tabla 5.8.2. Valores de los Indicadores de la Variable Dependientes según los ECA para Agua Categoría 3.

CATEGORIAS		ECA AGUA CATEGORIA 3	
PARAMETRO	UNIDAD	PARAMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES	PARAMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES
		D1: RIEGO DE CULTIVOS DE TALLO ALTO Y BAJO	D2: BEBIDAS DE ANIMALES
FISICO - QUIMICOS			
Aceites y grasas	mg/L	5	10
Conductividad Eléctrica	µS/cm	2500	5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	40
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	4	5
Potencial de Hidrogeno (pH)	Unidad de pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
MICROBIOLOGICO Y PARASITOLÓGICOS			
Coliformes Totales (35 - 37 °C)	NMP/100mL	1000	5000

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

Fuente: Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM - Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación.