

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS  
NATURALES**



## **TESIS**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO  
DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA EL  
RIEGO DE ÁREAS VERDES EN EL SISTEMA DE LODOS  
ACTIVADOS DE LA PLANTA PILOTO DE LA FIARN-  
UNAC.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**

**AUTOR:**

**Bach. MIRIAM ELIZABETH FARFAN REYES**

**Callao, 2015**

**PERÚ**

COMISION DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

Nº 004-2015-JEDT-FIARN

Siendo las 13:20 horas del día viernes 12 de junio de 2015, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales ubicado en la Av. Juan Pablo II Nº 306 Bellavista-Callao; se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **“Evaluación de la Eficiencia del Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas para el Riego de Áreas Verdes en el Sistema de Lodos Activados de la Planta Piloto de la FIARN-UNAC”** presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de la Bachiller Miriam Elizabeth Farfán Reyes.

Contando con la asistencia del Jurado Evaluador y Asesor a fin de dar cumplimiento a la Resolución Nº 025-2015-D-FIARN de fecha 08/06/2015, los mismos que están integrados por los siguientes docentes:

MsC. Carmen Elizabeth Barreto Pío	Presidenta
Lic. Janet Mamani Ramos	Secretaria
Ing. Godofredo Teodoro León Ramírez	Vocal
Mg. Ing. Máximo Fidel Baca Neglia	Asesor

Terminada la exposición, el Jurado Evaluador invita a los Bachilleres y al público en general se retiren del auditorio para las deliberaciones del caso.

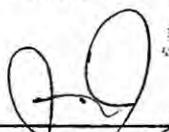
Luego de las deliberaciones y no habiendo observación alguna, el Jurado Evaluador acuerda: **APROBAR POR UNANIMIDAD** la Sustentación de Tesis titulada: **“Evaluación de la Eficiencia del Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas para el Riego de Áreas Verdes en el Sistema de Lodos Activados de la Planta Piloto de la FIARN-UNAC”**.

Con el Calificativo de **BUENO** se da por terminado el acto de exposición.

En señal de conformidad firman el Jurado Evaluador y Asesor, siendo las 14:30 horas del día 12 de junio de 2015.

  
MsC. Carmen Elizabeth Barreto Pío  
Presidenta

  
Lic. Janet Mamani Ramos  
Secretaria

  
Ing. Godofredo Teodoro León Ramírez  
Vocal

  
Mg. Ing. Máximo Fidel Baca Neglia  
Asesor

EL SECRETARIO GENERAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO que suscribe, CERTIFICA: Que la presente copia fotostática es fiel del original. Se expide a presente certificación a solicitud del (a) interesado (a) para los fines que juzgo convenientes.  
Fecha: 24<sup>º</sup> AGO 2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
Oficina de Secretaría General



### **DEDICATORIA.**

A Dios, por ser quien renueva mis fuerzas, está conmigo e hizo lo imposible para que este informe se desarrolle.

A mis padres por su constante apoyo moral y económico, mis hermanos, mi líder espiritual, amigos (a) y a Yenshin por sus palabras motivadoras.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por ser el impulsor para el desarrollo de esta tesis ya que gracias a la Fe que tengo no me desesperé ni hice nada a mis fuerzas.

Agradezco de todo corazón a cada una de las personas que hicieron posible la realización de esta tesis; entre ellos cabe mencionar al Mg. Máximo Fidel Baca Neglia, quien ha sido asesor de esta Tesis y al Ing. Yenshin Velasquez Muñoz, por su apoyo en el mantenimiento de los equipos.

Agradezco a la Universidad Nacional del Callao y en especial a la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales por el espacio proporcionado para la ubicación del proyecto.

Agradezco a la empresa GEOLAB SRL, empresa donde laboré, y que en todo momento me brindó su apoyo en cuanto a permisos para el desarrollo de este estudio.

# EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA EL RIEGO DE ÁREAS VERDES EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS DE LA PLANTA PILOTO DE LA FIARN-UNAC.

## Índice

RESUMEN .....	5
1. PLATEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
1.1. Identificación del problema .....	7
1.2. Formulación del problema .....	8
1.3. Objetivos de la Investigación .....	8
1.3.1. Objetivo general. ....	8
1.3.2. Objetivos específicos. ....	8
1.4. Justificación.....	8
1.5. Importancia .....	9
1.5.1. Ambiental .....	9
1.5.2. Legal.....	9
1.5.3. Social.....	9
1.5.4. Económico.....	9
2. MARCO TEÓRICO .....	10
2.1. Antecedentes del Estudio .....	10
2.1.1. Cárdenas Carmen, Yabroudi Suher, Benitez Adrina, et. al (2012); Desempeño de un Reactor Biologico Secuencial (RBS) en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas; Venezuela.....	10
2.1.2. Cárdenas Tejero Jorge et al. (2007); Análisis del Reactor de Lodos Activados de La Planta Centenario; División de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo Boulevard Bahía s/n, esq. Ignacio Comonfort, Col. Del Bosque, Chetumal, Quintana Roo; México.....	11
2.1.3. Cárdenas Carmen, et al. (2006); Remoción de Nutrientes en un Reactor Discontinuo Secuencial; Centro de Investigación del Agua (CIA), LUZ, Venezuela .....	11
2.1.4. Méndez L et al. (2004); Tratamiento de Aguas Residuales mediante Lodos Activados a Escala de Laboratorio; Revista del Instituto de Investigación FIGMMG, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú.-.....	12
2.1.5. Castelló Elena (2002); Optimización del funcionamiento de un SBR para la remoción de materia orgánica y nutrientes; Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y ambiental; Uruguay.....	13
2.1.6. Perez M. & Dautant R; Estudio del Proceso de Remoción de Fósforo y Nitrógeno en un Reactor Discontinuo Secuencial (SBR) variando los Tiempos de Ciclo; Venezuela.-.....	14
2.2. Bases teóricas.....	15

2.2.1. Aguas residuales municipales.....	15
2.2.2. Sistema Reactor Discontinuo Secuencial (SBR).....	16
c. Descripción del Proceso.....	17
2.2.3. Factores que inciden en la operación de un SBR.....	20
2.2.4. Tratamiento biológico de las aguas residuales.....	25
2.2.5. Componentes del sistema de lodos activados de la FIARN.....	26
2.2.6. Parámetros de operación.....	28
2.3. Marco Legal.....	30
2.3.1. Constitución Política del Perú.....	30
2.3.2. Ley 28611-Ley general del Ambiente.....	31
2.3.3. D.L. N° 1055-Decreto legislativo que modifica la ley N° 28611, Ley General del Ambiente.-.....	31
2.3.4. Ley N° 29338- Ley de recursos hídricos.-.....	32
2.3.5. Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.....	32
2.3.6. Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM- Límites máximos permisibles de efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales domésticas o municipales. ....	33
2.4. Definiciones.....	33
3. VARIABLES E HIPÓTESIS.....	35
3.1. Variables de la investigación.....	35
3.2. Operacionalización de variables.....	35
3.3. Hipótesis general.....	36
4. METODOLOGÍA.....	37
4.1. Tipo de investigación.....	37
4.2. Diseño de la investigación.....	37
4.3. Población y muestra.....	37
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	38
4.4.1. Técnicas utilizadas:.....	38
4.4.2. Instrumentos de recolección de datos.....	38
4.5. Procedimiento de recolección de datos.....	39
4.5.1. Evaluación de los parámetros del proceso de lodos activados.....	39
4.5.2. Caracterización del agua residual doméstica y tratada.....	40
4.5.3. Evaluación de la eficiencia.....	41
4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos.....	41
5. RESULTADOS.....	43
5.1. Evaluación de los parámetros de la planta de tratamiento de lodos activados.....	43
5.1.1. Tiempos de retención, caudal y relación F/M, alimento/microorganismo.....	43
5.1.2. Concentración de lodos.....	44
5.2. Evaluación de la calidad del agua.....	44

5.2.1. Potencial de Hidrógeno (pH).....	45
5.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).....	45
5.2.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	46
5.2.4. Sólidos Suspendedos totales.....	46
5.2.5. Aceites y Grasas.....	47
5.2.6. Coliformes Termotolerantes.....	47
5.3. Evaluación de la eficiencia del tratamiento de lodos activados.....	48
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	49
6.1. Contratación de la hipótesis con los resultados.....	49
6.1.1. Evaluación de los parámetros del proceso de lodos activados.....	49
6.1.2. Evaluación de la calidad de agua residual doméstica tratada.....	49
6.1.3. Evaluación de la eficiencia.....	56
7. CONCLUSIONES.....	59
8. RECOMENDACIONES.....	61
9. REFERENCIAS.....	62
9.1. BIBLIOGRÁFICAS.....	62
9.2. REVISTAS, FOLLETOS, OTROS.....	63
10. APÉNDICES.....	64
APÉNDICE N° 10.1.- TIEMPOS DE TRATAMIENTO PROGRAMADOS DURANTE EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	64
APÉNDICE N° 10.2. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE Lodos Activados.....	65
APÉNDICE N° 10.3.- REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA PARTE EXPERIMENTAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE Lodos Activados.....	69
APÉNDICE N° 10.4.- REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL MUESTREO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA.....	72
11. ANEXOS.....	74
ANEXO 11.1. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	74
ANEXO 11.2. INFORMES DE ENSAYO.....	75
ANEXO N° 11.3. FASES DE FUNCIONAMIENTO DE UN SBR.....	81
ANEXO N° 11. 4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE Lodos Activados.....	82
ANEXO N° 11. 5. DECRETO SUPREMO N° 002-2008-MINAM: "ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA", CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES (TALLO BAJO Y TALLO ALTO).....	83
ANEXO N° 11.6. DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES.....	85

## TABLAS DE CONTENIDO

### FIGURA

FIGURA N° 2.1 .....	15
---------------------	----

### TABLAS

TABLA N° 2.1 DATOS DE LOS REACTORES .....	27
TABLA N° 2.2 FASES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO .....	28
TABLA N° 4.1 TOMA DE MUESTRA Y PRESERVACIÓN.....	40
TABLA N° 4.2 PARÁMETROS Y MÉTODOS ANALÍTICOS EMPLEADOS POR EL LABORATORIO .....	41
TABLA N° 5.1 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DE LA PLANTA PILOTO.....	43
TABLA N° 5.2 VALORES DE CONCENTRACIÓN DE LODOS .....	44
TABLA N° 5.3 RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN A LOS TIEMPOS DE RETENCIÓN .....	44
TABLA N° 5.4 EFICIENCIA DE LOS PARÁMETROS A DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCIÓN.....	48

### GRÁFICOS

GRÁFICO N° 5.1 CURVA DE TENDENCIA DEL PH .....	45
GRÁFICO N° 5.2 CURVA DE TENDENCIA DE LA DBO .....	46
GRÁFICO N° 5.3 CURVA DE TENDENCIA DE LA DQO.....	46
GRÁFICO N° 5.4 CURVA DE TENDENCIA DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES .....	47
GRÁFICO N° 5.5 CURVA DE TENDENCIA DE ACEITES Y GRASAS.....	47
GRÁFICO N° 5.6 CURVA DE TENDENCIA DE COLIFORMES FECALES .....	48
GRÁFICO N° 6.1 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PH EN EL EFLUENTE CON LA NORMATIVA AMBIENTAL.....	50
GRÁFICO N° 6.2 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA DBO EN EL EFLUENTE CON LA NORMATIVA AMBIENTAL.....	51
GRÁFICO N° 6.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA DQO EN EL EFLUENTE CON LA NORMATIVA AMBIENTAL.....	53
GRÁFICO N° 6.4 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL EFLUENTE CON LA NORMATIVA AMBIENTAL.....	54
GRÁFICO N° 6.5 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE ACEITES Y GRASAS EN EL EFLUENTE CON LA NORMATIVA AMBIENTAL.....	55

## RESUMEN

El trabajo que se presenta a continuación, toma en cuenta la problemática de las aguas residuales domésticas tratadas, ya que en Lima, se está brindado sólo el 17% de tratamiento a las aguas residuales y de éste porcentaje el 5% sirve para darle un reúso, asimismo considerando que de un total de 2 300 L/s de agua destinada para el riego, solo 400 L/s provienen de las aguas residuales tratadas. Teniendo en cuenta esta situación, se estudió la capacidad remocional biológica de la materia orgánica del agua residual doméstica empleando un Reactor Biológico Secuencial a escala piloto con la finalidad de determinar la eficiencia del sistema para la obtención de agua para riego de áreas verdes.

El estudio fue dividido en tres pruebas principalmente, en las que se modificó la carga orgánica y la duración de las etapas, considerando una concentración de lodos de 21,6%.

Durante las tres pruebas se operó el sistema a diferentes tiempos de tratamiento (120 min, 170 min y 200 min), las concentraciones finales de DBO<sub>5</sub> 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 Sólidos suspendidos totales fueron 41,1 mg/L y 33,0 mg/L; aceites y grasas fueron 4,33 mg/L, 6,43 mg/L y 5,09 mg/L; de Coliformes fecales en cantidades de <1,8 NMP/100 mL, 7,9x10<sup>6</sup> NMP/100 mL y 4,6x10<sup>7</sup> NMP/100 mL, por último del pH fueron de 8,4, 8,5 y 7,8 unidades de pH respectivamente.

La máxima eficiencia registrada para la DBO 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 %.

De la comparación de los resultados con la normatividad ambiental vigente, se afirma que las concentraciones del efluente para los parámetros analizados DBO, DQO, Aceites y Grasas y sólidos suspendidos fueron superiores a la categoría III del ECA agua. Sin embargo estos mismos resultados cumplieron con los límites máximos permisibles para plantas de tratamiento (D.S. N° 003-2010-MINAM).

Se evaluó la eficiencia del sistema tomando en cuenta la composición del afluente y efluente. Así también mediante la comparación de los resultados del efluente con la normativa ambiental vigente, se concluye que el agua producida podrá ser utilizada para el riego de áreas verdes, adicionando al tratamiento la etapa de cloración, toda vez que se estableció evaluar la remoción del sistema de lodos activados, por lo que no fue considerado la cloración para el desarrollo del presente estudio.

## **ABSTRAC**

The work presented below, taking into account the problems of domestic wastewater treated, as in Lima, is provided only 17% of sewage treatment and 5% this percentage is used to give you a reuse also considering that a total of 2300 L / s of water used for irrigation, only 400 L / s come from the treated wastewater. Given this situation, remocional biological capacity of the organic matter of domestic wastewater using a sequential bioreactor pilot in order to determine the efficiency of the system for obtaining water for landscape irrigation scale was studied.

The study was divided into three main tests in which the organic load and the duration of the steps was altered, considering a slurry concentration of 21.6%.

In all three tests the system was operated at different times of treatment (120 min, 170 min and 200 min), final concentrations of BOD5 in the three tests were 67 mg / L, 58 mg / L and 34.8 mg / L , COD values were 317.3 mg / L, 356.9 mg / L and 192.1 mg / L total suspended solids were 41.1 mg / L and 33.0 mg / L; oils and fats were 4.33 mg / L, 6.43 mg / L and 5.09 mg / L; Fecal Coliform in amounts of <1.8 MPN / 100 mL, 7,9x10<sup>6</sup> NMP / 100 mL and 4,6x10<sup>7</sup> NMP / 100 mL, finally the pH was 8.4, 8.5 and 7.8 units pH respectively.

Maximum efficiency recorded for BOD was presented to 170 min with 82% efficiency for COD was presented to 120 min with 49.09% for suspended solids was presented to 170 min with 72.23% and for oils fats and 200 min with 75.29%.

Comparison of the results with current environmental regulations, it is stated that the effluent concentrations for the analyzed parameters BOD, COD, Oils and Fats and suspended solids were higher category III of the ECA water. However these same results met the maximum permissible limits for treatment plants (DS No. 003-2010-MINAM).

System efficiency was assessed taking into account the composition of the influent and effluent. And also by comparing the results of the effluent with current environmental legislation, it is concluded that the water produced can be used for irrigation of green areas, adding to the treatment the chlorination step, since it was established to evaluate the removal system activated sludge, which was not considered chlorination for the development of this study.

## **CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Identificación del problema**

El agua superficial disponible en el Perú es abundante, constituyendo un gran potencial, sin embargo, los factores que afectan el clima del país originan una gran variedad y discontinuidad del recurso del agua a través del tiempo. La pérdida de la calidad del agua es crítica en algunas regiones del país y se debe fundamentalmente a la contaminación por afluentes provenientes de las actividades productivas de la industria, sobre todo la industria minero-metalúrgica, y por los desechos domésticos y agroquímicos, que afectan fuentes de abastecimiento de agua y ponen en riesgo la salud de la población.

Una de las fuentes poco aprovechables son las aguas servidas cuya cobertura de tratamiento de aguas servidas se estimó en 27% a nivel nacional en el año 2007. Es decir que casi las tres cuartas partes de las aguas residuales generadas no recibieron ningún tipo de tratamiento previo a su disposición final, lo cual representa un serio problema de contaminación al medio ambiente. La cobertura de tratamiento de aguas residuales en el año 1997 fue de un 13%, esto es lo más perjudicial, porque lejos de aprovecharse a través de un tratamiento previo, se dispone a algún cuerpo receptor contaminándolo.

Al año 2011, se brindaba tratamiento secundario a 3 200 L/s de aguas residuales, lo que implica un 17% del total generado solo en la provincia de Lima.<sup>1</sup>

Por otro lado en esos momentos se estaba reusando apenas 1 000 L/s de agua residual tratada, valor que equivalía al 5% del volumen generado por la ciudad.

También se debe mencionar que las 3 700 ha de áreas verdes recreativas de Lima se están regando con 2 300 L/s, de los cuales 1 200 L/s son agua de río, 700 L/s de agua potable y subterránea, así como 400 L/s de aguas residuales tratadas<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Estudio de Opciones de Tratamiento y Reúso de Aguas Residuales en Lima Metropolitana, Lima, 2011

Asimismo se tiene que en la Universidad Nacional del Callao se consume un caudal promedio de agua potable de 2 035,30 m<sup>3</sup>/mes de los cuales se estima que el 30% se utiliza como agua para riego de las áreas verdes es decir cerca de 610,6 m<sup>3</sup>/mes (0,236 L/s) de los cuales tratamos algo más de 1,5 m<sup>3</sup>/día (Siendo la capacidad instalada de tratamiento cercana a los 7 m<sup>3</sup>/día, lo que equivale a 0.081 L/s).

## **1.2. Formulación del problema**

¿En qué medida la planta piloto del tipo de Lodos Activados de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales permitirá la obtención de agua de Categoría III del ECA para agua?

## **1.3. Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales domésticas en el sistema de Lodos Activados para la obtención de agua Categoría III.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Verificar el funcionamiento del sistema de lodos activados
- Realizar las pruebas al sistema de lodos activados.
- Evaluar la composición del agua al ingreso y salida del tratamiento.
- Analizar los resultados obtenidos en la evaluación del agua al ingreso y salida.
- Comparar los resultados del agua tratada con el ECA agua Categoría III.

## **1.4. Justificación**

La realización de esta investigación se justifica por la necesidad de reutilizar las aguas residuales domésticas para el riego de áreas verdes de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales - Universidad Nacional del Callao, con la finalidad de no utilizar el agua potable.

Universidad Nacional del Callao, con la finalidad de no utilizar el agua potable.

## **1.5. Importancia**

### **1.5.1. Ambiental**

Contribuir con la descontaminación de las fuentes naturales utilizadas como puntos de disposición final, dando tratamiento a los efluentes domésticos previos a su disposición final para su reutilización como agua de riego.

### **1.5.2. Legal**

Cumplir con la Normatividad Legal Vigente para aguas residuales tratadas previas a su disposición final.

### **1.5.3. Social**

Cambiar hábitos en el uso del agua y su disposición final de las aguas servidas previo tratamiento y reúso, de modo que el agua potable se destine a la demanda poblacional insatisfecha.

### **1.5.4. Económico**

Reducir los costos por el uso de agua potable en el riego de áreas verdes reemplazándose por el uso de aguas servidas previamente tratadas, de modo que se tengan que construir represas por aumentar la fuente para agua potable, o plantas de potabilización.

## **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes del Estudio**

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

Se estudió 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 DBO5 se alcanzaron durante la Fase 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-NH3/kg.SSV.día, esto debido al menor contenido de materia orgánica y a la baja relación DBO/NKT, mientras que durante las Fases III y IV estas fueron menores: 0,015 kg.N-NH3/kg.SSV.día durante la Fase III y 0,020 kg.N-NH3/kg.SSV.día en la Fase IV, sin embargo, fue en estas fases donde se alcanzaron los mayores niveles de desnitrificación durante la etapa anóxica, favorecido por una relación C/N adecuada, próxima de 4 kg.DBO/kg.N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 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 domésticas.

**2.1.2. Cárdenas Tejero Jorge et al. (2007); Análisis del Reactor de Lodos Activados de La Planta Centenario; División de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo Boulevard Bahía s/n, esq. Ignacio Comonfort, Col. Del Bosque, Chetumal, Quintana Roo; México.**

En este estudio se presentan los resultados de la evaluación del funcionamiento del reactor de lodos activados, de la Planta de tratamiento de aguas residuales "Centenario" ubicada en Chetumal, Quintana Roo. La evaluación se realizó mediante la estimación de parámetros cinéticos con un respirómetro conectado en línea al reactor y la medición de la remoción de materia orgánica y nitrógeno amoniacal. Estas mediciones permitieron el cálculo de la potencia suministrada al reactor y la producción de lodos.

Los datos colectados en éste estudio permiten una estrategia de optimización de costos del proceso del reactor de la Planta.

**2.1.3. Cárdenas Carmen, et al. (2006); Remoción de Nutrientes en un Reactor Discontinuo Secuencial; Centro de Investigación del Agua (CIA), LUZ, Venezuela**

La elevada concentración de nutrientes en efluentes no tratados puede tener efectos negativos en las aguas receptoras de lagos, ríos y embalses donde son vertidos, estimulando el crecimiento de algas y plantas, e interferir con los usos beneficiosos de los recursos hídricos, especialmente cuando se emplean en el abastecimiento de agua, cultivo de peces y/o usos recreativos. Para estudiar la remoción biológica de nutrientes de un agua residual doméstica se utilizó un reactor discontinuo secuencial (RDS o SBR, por sus siglas en inglés) a escala piloto, con un volumen de 2000 litros. Los ciclos de operación consistieron en una secuencia de etapas de llenado, mezclas anaeróbica, aeróbica y anóxica, sedimentación y vaciado, con variación del

tiempo de las etapas de las mezclas. Los parámetros medidos fueron demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), nitrógeno amoniacal ( $\text{N-NH}_3$ ), pH, temperatura, fósforo total (PT), sólidos suspendidos totales (SST) y volátiles (SSV), en las diferentes etapas de cada ciclo de evaluación. El ciclo con mejor rendimiento fue el que constaba de 1h de mezcla anaeróbica, 6h de mezcla aeróbica y 16h de mezcla anóxica, alcanzando valores de remoción promedios de 85% para la DQO, 92% para la DBO, 52% para el NT, 65% para el  $\text{N-NO}_3^-$  y 67% para el PT, demostrándose así la aplicabilidad de los SBR en la remoción de materia orgánica y nutrientes del agua residual doméstica.

**2.1.4. Méndez L et al. (2004); Tratamiento de Aguas Residuales mediante Lodos Activados a Escala de Laboratorio; Revista del Instituto de Investigación FIGMMG, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú.-**

Se realizó la prueba de tratamiento de aguas residuales a escala de laboratorio. Para lo cual se ha diseñado un módulo compuesto por 6 minirreactores, los cuales son una adaptación de los mostrados en la bibliografía. Las ecuaciones empleadas fueron deducidas según los procedimientos de Eckenfelder (1970) y Metcalf & Eddy (1998).

Con los resultados analíticos obtenidos se determinó las constantes cinéticas de crecimiento biológico, a escala de laboratorio, utilizando el método de lodos activados.

Las constantes cinéticas obtenidas empleando un agua residual sintética fueron: a: 0,8763 (Parámetro de utilización de oxígeno para la oxidación de sustrato), b: 0,0744 (Parámetro de utilización de oxígeno utilizado en la respiración endógena), Y: 0,0494 (Coeficiente de producción de biomasa por consumo de sustrato),

$k_d$ : 0,00048  $d^{-1}$  (Coeficiente de consumo de biomasa por respiración endógena),  $k$ :0,0025  $h^{-1} \cdot L/mg$  (Constante de velocidad de consumo de sustrato). Las aguas residuales fueron suministradas a cada minirreactor mediante un dosificador, el mismo que fue abastecido por medio de una bomba peristáltica.

Encontrándose dificultades en la distribución apropiada de los caudales. Por lo cual se recomienda realizar el experimento con una bomba peristáltica para cada unidad de los minirreactores, pues los dosificadores utilizados tuvieron dificultad en operar óptimamente al obstruirse continuamente.

**2.1.5. Castelló Elena (2002); Optimización del funcionamiento de un SBR para la remoción de materia orgánica y nutrientes; Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y ambiental; Uruguay.**

La utilización de reactores en secuencia batch (SBR) está teniendo gran aceptación para la remoción de materia orgánica y nutrientes en efluentes contaminados. En esta experiencia se ensayó la remoción de materia orgánica y nitrógeno de efluente de cervecería. Se utilizó un SBR de 15L de volumen útil y se siguió pH, OD y ORP en línea, utilizándose el programa LabView para adquirir datos y controlar el proceso. La eficiencia global (etapa aerobia y anóxica) de remoción de materia orgánica para una alimentación entre 300 y 500 mg/L de DQO fue del 70%. La remoción de nitrógeno luego de superado el inconveniente del lento crecimiento de las bacterias nitrificantes fue del 50% para el  $N-NH_4^+$  y mayor al 90% para el  $N-NO_x$ . El tiempo de sedimentación pudo reducirse a valores inferiores a los encontrados en la literatura, habiéndose seleccionado biomasa con muy buenas características de sedimentación. La curva pH-ORP es una herramienta útil ya que refleja los fenómenos que se suceden en las diferentes etapas. Este sistema puede ser

utilizado con otros efluentes y de esta forma determinar los parámetros de operación y control en forma sencilla. En escala real este sistema también es sencillo de controlar y operar además de la versatilidad que presenta.

**2.1.6. Perez M. & Dautant R; Estudio del Proceso de Remoción de Fósforo y Nitrógeno en un Reactor Discontinuo Secuencial (SBR) variando los Tiempos de Ciclo; Venezuela.-**

El presente trabajo tiene 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 contempla 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 ( $17 \pm 5$  mg/l), fósforo ( $20 \pm 4$  mg/l) y con una DBO de  $200 \pm 37$  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. Se logró nitrificación y desnitrificación lo que significa que el sistema ecológico desarrollado por el lodo anóxica –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 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.

## 2.2. Bases teóricas

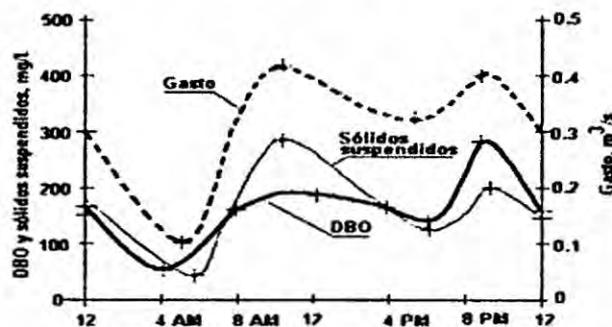
### 2.2.1. Aguas residuales municipales

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

La temperatura del agua residual es mayor que la del agua potable, varía entre 10 y 20°C esto se debe a que se añade calor al agua en los sistemas de plomería de las edificaciones. El agua colectada en los sistemas de alcantarillado municipal corresponde a una amplia variedad de usos.

El gasto y la composición de las aguas residuales de un sistema de alcantarillado reflejan los diferentes usos del agua potable. Dicha composición puede cambiar ligeramente de acuerdo con la estación del año, pero incluso es posible observar fluctuaciones diarias. La Figura N° 2.1 muestra las fluctuaciones diarias del gasto, sólidos suspendidos y DBO<sub>5</sub>. En general, los sistemas de localidades pequeñas con uso homogéneo del agua, experimentan mayores fluctuaciones en la composición de las aguas residuales.

**FIGURA N° 2.1 VARIACIÓN TÍPICA DEL GASTO, SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y DBO<sub>5</sub> EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES**



Fuente: Metcalf & Eddy, Inc.).

### **2.2.2. Sistema Reactor Discontinuo Secuencial (SBR)**

De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos un Reactor Discontinuo Secuencial (Sequencing Batch Reactor, SBR) es un sistema de tratamiento de lodos activados cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de ciclos de llenado y vaciado. En este sistema el agua residual entra en una tanda a un reactor único, recibe tratamiento para remover componentes indeseables y luego se descarga. La homogenización de caudales, la aireación y la sedimentación se logran en ese reactor único. Para optimizar el desempeño del sistema, se utilizan dos o más reactores en una secuencia de operación predeterminada. Los sistemas SBR han sido utilizados con éxito para tratar aguas residuales tanto municipales como industriales. Estos sistemas son especialmente efectivos para aplicaciones de tratamiento de agua residual caracterizadas por caudales reducidos o intermitentes<sup>2</sup>.

#### **a. Aplicabilidad**

Los sistemas SBR son utilizados típicamente para caudales iguales o menores a 5 millones de galones por día (mgd). La operación más sofisticada requerida para las plantas de SBR de mayor tamaño tiende a desestimular el uso de ese tipo de plantas para caudales mayores.

Debido a que esos sistemas tienen una superficie relativamente pequeña, son muy útiles en áreas en donde se tienen limitaciones de terreno. Además, los ciclos del sistema pueden ser fácilmente modificados para remoción de nutrientes si esto fuera requerido en el futuro. Esto hace que los sistemas SBR sean extremadamente flexibles para adaptarse a los cambios en las normas regulatorias de parámetros del efluente tales como la remoción de nutrientes. Los sistemas SBR son también muy efectivos en términos de costo de cuando se requieren tratamientos adicionales al biológico, tales como la filtración.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> EPA. Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales. SBR.EU. Sep de 1999. P.1

<sup>3</sup> Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Reactores secuenciales por tandas - EPA

## **b. Funcionamiento**

El proceso de los reactores discontinuos es una variación del sistema de lodos activados. En contraste con el sistema continuo, el agua residual es introducida al reactor en un tiempo definido previamente. La degradación bioquímica de los contaminantes y la separación posterior de la biomasa se llevan a cabo en el mismo tanque. Las fases del proceso son secuenciales y se repiten en forma periódica. Para lograr el almacenamiento de los fosfatos, la degradación del material orgánico en forma de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y la nitrificación, el contenido del tanque se oxigena a través de aireación.

En caso de que se requiera desnitrificación se lleva a cabo una fase anóxica después de la fase aeróbica. El orden y la duración de las fases, la cantidad de agua residual introducida al reactor (relacionada en porcentaje, con el volumen del reactor), y la cantidad de lodos desechados son factores que deberán ser seleccionados por el Ingeniero de diseño para alcanzar las características deseadas del efluente. El sistema se puede controlar por medio de timers o relojes programables, PLC y microprocesadores. El sistema tiene entonces una operación versátil al poderse modificar la programación de la secuencia de los pasos del proceso.

## **c. Descripción del Proceso**

El tratamiento del agua residual en un reactor SBR se realiza mediante fases en las cuales se van desarrollando procesos biológicos, los cuales permiten la degradación y síntesis de la materia orgánica, normalmente un reactor opera en cinco (05) fases que son: Fase de llenado, mezcla, llenado - reacción, sedimentación, decantación y purga de lodos.

La descripción de cada una de estas fases se muestra a continuación:

- **Fase de Llenado y Mezcla**

El proceso inicia con la apertura de la válvula de afluentes, la cual permite que el reactor comience a llenarse con el agua que va ingresando.

Como este tipo de proceso no descarga ni recircula lodos sino que los mantiene por un periodo entre 15 y 20 días, a medida que el agua va ingresando se va mezclando con estos lodos, este procedimiento es ayudado por una unidad mezcladora que se encuentra en la superficie del reactor.

- **Fase de Llenado y Reacción**

Durante esta fase el agua continúa entrando al reactor y el mezclador continúa operando, solo que en esta fase se enciende el suministro de oxígeno, es decir, que los sopladores comienzan a entregar oxígeno en el reactor, convirtiendo del estado anóxico de la fase anterior en un estado aeróbico.

Para este sistema piloto la inyección de oxígeno se realiza mediante difusores en el fondo de los tanques, esta aireación tiene el efecto de realizar la oxidación biológica de la materia orgánica y la remoción de nutrientes.

Debido a que este reactor se diseñó para lograr la nitrificación y desnitrificación, el sistema de aeración es encendido y apagado cíclicamente creando condiciones anóxicas y aeróbicas alternadamente, para los periodos aireados el oxígeno disuelto medido debe estar en un rango entre 2 a 4 mg/L y para el periodo anóxico entre 0.5 y 1 mg/L, esto para que ocurran los procesos de oxidación biológica, nitrificación, desnitrificación y remoción de fósforo<sup>4</sup>. En la presencia de oxígeno, el nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) se convierte primero a nitrógeno de nitrito ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) a través de las nitrosomonas, para luego convertirse en nitrógeno de nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) a través de las nitrobacterias.

- **Fase de Reacción**

Como en la fase anterior, en esta fase se encuentra funcionando el mezclador y los sopladores quienes se encargan de transferir oxígeno al agua para realizar el proceso de oxidación biológica y nitrificación.

---

<sup>4</sup> AQUA AEROBICS. Manual de Procesos de Tratamiento Reactor SBR., P 8

Esta fase presenta un reactor que siempre está en una condición completamente mezclada en un estado aeróbico.

La ausencia de flujo de carga orgánica proporciona una oportunidad para la limpieza de los contaminantes de las aguas residuales, produciendo una reducción del material orgánico y del nitrógeno presente en el reactor.

Al igual que en la fase anterior el promedio de oxígeno disuelto medido debe estar en un rango de 2 mg/l a 4 mg/l para que ocurran las reacciones de oxidación biológica y remoción de nutrientes.<sup>5</sup>

- **Fase de Sedimentación**

Durante esta fase los aireadores son apagados lo cual garantiza un ambiente inmóvil en el reactor permitiendo la sedimentación.

En este momento, las fases precedentes han logrado la reducción de compuestos orgánicos (DBO<sub>5</sub>), mediante los procesos de oxidación biológica, nitrificación, desnitrificación y remoción biológica de fósforo.

Para realizar estos procesos se recomienda que sea en las fases de llenado mezcla y reacción por que el proceso de desnitrificación genera burbujas que podrían colocar en ascenso el lodo que se encuentra sedimentando.

- **Fase de Descarga**

La extracción de los efluentes tratados se realiza mediante unas bombas de succión, estas bombas extraen el agua clarificada que se encuentra en la superficie lo cual evita poner en turbulencia el agua y los lodos sedimentados que se encuentran en el reactor.

Esta fase termina cuando se ha descargado un volumen de agua residual igual al ingresado en las fases de llenado.

Una vez el reactor ha sido decantado hasta la profundidad mínima de agua la fase termina automáticamente.

- **Fase de Purga de Lodos**

Los reactores SBR, como otras variaciones de procesos de lodos activados, son dependientes del desarrollo de una cultura mixta de

---

<sup>5</sup> AQUA AEROBICS. Manual de Procesos de Tratamiento Reactor SBR., P 8

bacterias y otras formas de vida microbiana para lograr los objetivos de tratamiento.

La duración de esta fase depende de la producción de lodos en el reactor y la cantidad de lodos que se desean extraer.

El resumen de las fases se muestra en el Anexo N° 11.2: **Fases del Funcionamiento de un SBR.**

### **2.2.3. Factores que inciden en la operación de un SBR**

En esta sección se tratan de forma general los factores que inciden en la operación de un Reactor Discontinuo Secuencial.

- **Control de Oxígeno Disuelto**

La medición de los niveles de oxígeno disuelto en un SBR son una parte importante en el control del proceso, ya que tienen un efecto profundo sobre muchos de los procesos que se realizan al interior del reactor, incluyendo la eliminación de  $\text{DBO}_5$ , nitrificación, denitrificación y eliminación de fósforo.

En general, se recomiendan concentraciones de O.D entre 2 mg/L y 4 mg/L en el reactor durante los periodos de aireación es decir en las fases de llenado reacción y reacción.<sup>6</sup>

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

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

- **Sedimentabilidad**

La sedimentabilidad de los sólidos en el sistema SBR es un factor importante para determinar si los objetivos del tratamiento se están cumpliendo. Existen diversos factores que pueden afectar la sedimentabilidad en un reactor tales como: Filamentos, edad del lodo,

---

<sup>6</sup> METCALF Y EDDY. Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento y Disposición. Tomo 2. Capítulo 7., P 459

concentración de SSLM y las características del afluente como lo es el bajo pH o la falta de nutrientes.

Generalmente se considera un lodo "adecuadamente" sedimentado aquel que sedimenta a aproximadamente 300 a 500 mL/L en un cono imhoff de 1000 mL después de 30 minutos. Una sedimentación a esta velocidad generalmente presentará una estructura de floculo bien formada y permitirá el paso de lodos finos del sobrenadante conforme sedimenta. El lodo que sedimenta a menor velocidad puede ocasionar que los sólidos se arrastren en la fase de decantación, aumentando la concentración de SST en el efluente<sup>7</sup>.

- **Control de Espuma**

La aparición de espuma tiene diferentes causas que son: presencia de filamentos, surfactantes orgánicos activos no degradados, sebos, aceites y grasas deficiencia de nutrientes, sobre aireación, denitrificación del lodo y una edad muy grande o corta del lodo.

A continuación se describen las causas y las medidas de control en caso de aparición de espuma.

- **Espuma café.-** Esto indica que el SBR está sub cargado es decir, que posee una relación de alimento masa muy baja, o hay una edad del lodo elevada, esto se controla incrementando la relación alimento-masa (si es posible) o en el segundo caso bajar los SSLM y reducirla edad del lodo mediante purgas más continuas o por mayor tiempo.
- **Espuma espesa y café.-** La causa principal es la denitrificación, esto puede ser solucionado corriendo una prueba de sedimentación para determinar si el manto de lodo está subiendo durante la fase de sedimentación, en este caso es necesario aumentar el tiempo de apagado del sistema de aireación generando la mayor liberación posible de N<sub>2</sub>.
- **Espuma ondulante blanca, jabonosa.-** La causa principal de esto es la sobre aireación, en este caso es necesario correr un perfil de

---

<sup>7</sup> AQUA AEROBICS. Manual de Procesos de Tratamiento Reactor SBR, P 149

oxígeno disuelto, si se presentan concentraciones superiores a 4.0 mg/L se debe reducir el tiempo de aireación.

Otra causa puede deberse a la presencia de compuestos orgánicos no degradados, esto puede ser solucionado incrementando los SSLM lo cual incrementa la masa disponible para el tratamiento de compuestos orgánicos, esto se logra disminuyendo el tiempo y la cantidad de lodos extraídos en la fase de purga de lodos.

La presencia de lodos jóvenes influye en la generación de espuma, esto se controla disminuyendo el purgado de lodo.

La generación de espuma ondulante de color blanco y ondulante puede deberse también a la presencia de residuos tóxicos o un pH elevado ya sea por acidez o alcalinidad.

– **Espuma negra.-** Esto es debido a condiciones anaerobias en el reactor, en este caso se recomienda correr un perfil de oxígeno disuelto al final de los periodos aireados y observar si se encuentra por debajo de 2.0 mg/L si esto ocurre es necesario aumentar los tiempos de aireación

– **Espuma delgada, fresca y de color café claro.-** Este es un buen signo de operación del sistema.

Como se observa, la presencia de espuma es un indicador de las fallas o de la buena operación del reactor, su correcta interpretación permitirá aplicar las correcciones necesarias según cada caso.

#### • **Nitrificación**

La nitrificación se define como la oxidación de amoníaco a nitrato. Las bacterias denominadas Nitrosomonas y Nitrobacterias que son autotróficas realizan la reacción de nitrificación en los ciclos aireados es decir fases de llenado reacción y reacción donde la concentración de O.D debe ser mínimo de 2 mg/L<sup>8</sup>.

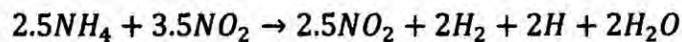
Para que se produzca la nitrificación es necesaria la actuación de las bacterias Nitrosomas y Nitrobácteres.

---

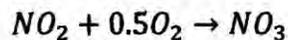
<sup>8</sup> AQUA AEROBICS. Manual de Procesos de Tratamiento Reactor SBR., P 150

Las Nitrosomas oxidan el amoníaco en nitrito (producto intermedio), mientras que los Nitrobácteres transforman el nitrito en nitrato. De forma aproximada estas son las reacciones que tienen lugar:

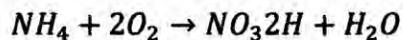
Conversión de Amonio a nitrito (nitrosomonas)



Conversión de Nitrito por las nitrobacter



Conversión global de amonio en nitrato



– **Factores que inciden el proceso de nitrificación:**

**Temperatura.-** La temperatura es un factor que determina la velocidad de nitrificación en el sistema pero es un factor en el cual el operador no tiene el control. Las bacterias nitrificantes se reproducen más lentamente y son menos activas conforme las temperaturas del agua residual disminuyen.

Si la temperatura del agua disminuye por debajo de los 10° C, es posible que se pierda parte de la población nitrificadora mientras se recupera una temperatura entre los 10°C y 35°C.

**Edad de lodos.-** La edad del lodo y las concentraciones de SSLM deben ser monitoreadas constantemente debido a que las bacterias nitrificantes tienen una velocidad de crecimiento más lenta que la mayoría de las bacterias que se encuentran en el tratamiento. Debido a esto, los sistemas que requieren nitrificación como este caso, requieren una edad de lodos mínima de 15 a 20 días.

**Oxígeno disuelto.-** Generalmente se recomienda una concentración de Oxígeno disuelto aproximadamente entre 2.0 mg/l y 4.0 mg/l durante los periodos aireados.<sup>9</sup>

**pH.-** Las velocidades óptimas de nitrificación ocurren en el rango de pH de 7,5 a 9,0 unidades. A valores fuera de este rango no es posible que ocurra nitrificación

---

<sup>9</sup> AQUA AEROBICS. Manual de Procesos de Tratamiento Reactor SBR. P210

- **Denitrificación**

La denitrificación es un proceso que se define como la conversión de nitrato a gas nitrógeno. La denitrificación se realiza bajo condiciones anóxicas en donde la concentración de O.D debe estar entre 0.5 y 1 mg/l. Este proceso es desarrollado por muchas de las bacterias heterotróficas que realizan la eliminación carbónica en el sistema de lodos activados<sup>10</sup>. Las condiciones anóxicas se definen como aquellas donde el nitrógeno oxidado está presente pero sin presencia de oxígeno luego entonces las bacterias facultativas utilizan el nitrato como una fuente de oxígeno.

La denitrificación deberá ocurrir después de que se ha llevado a cabo la nitrificación, por lo tanto, el sistema de suministro de oxígeno durante las fases de llenado mezclado y llenado reacción se ajustan para tener periodos de prendido y apagado de la aireación creando condiciones aeróbicas y anóxicas.

El proceso de reducción del nitrógeno es el siguiente:



Los tres últimos compuestos son gaseosos y se pueden liberar a la atmósfera.

– **Factores que inciden el proceso de denitrificación:**

**Oxígeno Disuelto.-** Con el fin de que ocurra denitrificación, se requieren condiciones anóxicas donde el Oxígeno Disuelto sea menor de 0.5 mg/L. Si los niveles no caen por debajo de este valor durante los periodos de apagado del sistema de aireación lo que ocasiona que los nitratos sean llevados hacia las fases siguientes de operación donde no se presenta aireación esto puede llegar a producir el levantamiento de lodos en la fase de sedimentación, aunque para que ocurra esto la concentración de nitrato debe ser superior a 40 mg/L<sup>11</sup>

**Temperatura.-** La velocidad de denitrificación en el SBR disminuye con la temperatura, por lo cual es importante mantener una operación

---

<sup>10</sup> Ibid., P.210

<sup>11</sup> Ibid., P. 211

estable y evitar un exceso de purgado de lodos o sobrecargar la biomasa durante la operación a temperaturas bajas.

Generalmente se recomienda incrementar la concentración de SSLM y la edad del lodo. Para este proceso también se recomienda que la temperatura permanezca en un rango de 10 a 35 ° C.

**pH.-** La velocidad de denitrificación ocurre más rápidamente en un rango de pH de 7.0 a 7.5.unidades.

#### **2.2.4. Tratamiento biológico de las aguas residuales<sup>12</sup>**

##### **a. Tratamiento Biológico**

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

Los complejos orgánicos, en especial prótidos y glúcidos normalmente presentes en aguas residuales, son transformados en dióxido de carbono, agua y compuestos simples nitrogenados ( $\text{NH}_3$  y  $\text{NO}_x$ ).

##### **b. Función de los Microorganismos**

Para proyectar correctamente un sistema de lodos activados con las debidas garantías de buen funcionamiento, es necesario comprender la importancia de los microorganismos dentro del sistema, estos microorganismos tienen un papel importante en estos sistemas porque son los encargados de descomponer la materia orgánica en el reactor y parte de esas bacterias del tipo facultativas o aeróbicas se encargarán de tomar energía y sintetizar el resto de la materia orgánica y transformarla en nuevas células. En este proceso solo una porción del residuo original es oxidado a compuestos de bajo contenido energético, tales como el:  $\text{NO}_3$ ;  $\text{SO}_4$ ;  $\text{CO}_2$ ; el resto es transformado a tejido celular.

---

<sup>12</sup> METCALF Y EDDY. *Ingeniería de las Aguas Residuales*. McGraw-Hill. España, 1995. Vol.1 y 2

### **2.2.5. Componentes del sistema de lodos activados de la FIARN**

La planta de lodos activados de tipo SBR está constituida de un sistema de 03 tanques. Dos tanques de función doble alternarán entre las fases de operación con aireación y sedimentación. El tercer tanque funciona con alimentación y aireación continua.

Además el sistema de tratamiento de la planta piloto está conformado por los siguientes componentes:

#### **a. Tanque de alimentación**

Las aguas residuales se captan a través de una rejilla de desbaste y se derivan hacia una cisterna de 1 m<sup>3</sup> de capacidad, esta cisterna cuenta con dos electrobombas de impulsor abierto de 2 Hp, electrobombas que trabajan automáticamente y permiten trasvasar el agua captada hacia dos tanques elevados de 300 Litros de capacidad c/u, los mismos que ubican a una altura de 2,93 m. y cuyo nivel es controlado por un sistema de sensor de nivel de agua por bollas (radar), hasta ese punto, se evita la presencia de sólidos suspendidos por acción de una pequeña rejilla metálica que protege la válvula de pie (check). La cisterna de 1 m<sup>3</sup> de almacenamiento hace las veces de tanque de homogenización puesto que las aguas que llegan ahí proceden a sedimentar todas las partículas sólidas y llegando a los tanques de aireación con una menor carga de estas, adicionalmente el tanque tiene una salida de emergencia regulada por medio de válvulas manuales, en su desagüe. (Ver vista N° 10.2.1 y 10.2.2 del Apéndice N° 10.2)

#### **b. Tanques recepcionadores**

Las aguas discurrirán por gravedad hacia los tanques de aireación por medio de una tubería de distribución diámetro 1 ½ pulgada.

Las aguas son llevadas al sistema de tanques tipo lineal (tanques de aireación), en donde el material orgánico se descompone en el tratamiento biológico, produciéndose una importante remoción de nitrógeno mediante la desnitrificación simultánea. Después del tratamiento biológico, tiene lugar la separación final del agua tratada y los lodos

activados en uno de los tanques de función doble del sistema tipo lineal.  
(Ver vista N° 10.2.3 del Apéndice N° 10.2)

**TABLA N° 2.1 DATOS DE LOS REACTORES**

**DATOS**

121,1 L  
0,74 m  
0,57 m  
0,70 m<sup>3</sup>/día  
21 L/min

Fuente: Elaboración Propia

**c. Control**

Se cuenta con una tarjeta micro controladora que al mandar una señal de 8 bits nos permitirá controlar el tiempo, el cual se apreciará con la tarjeta visualizadora y nos permite observar la información saliente de la tarjeta controladora y dirigida al comparador.

Se ha programado el número de válvulas a funcionar y 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.(Ver Vista N° 10.2.8 del Apéndice N° 10.2 y Anexo N° 11.3)

Durante el funcionamiento de la planta piloto de lodos activados secuenciales, se evaluó y modeló diferentes configuraciones para el activado y cierre de válvulas dentro del sistema.

La configuración inicial del PLC fue de 12 fases, pero se realizaron cambios para una mejor optimización del producto, quedando establecido seis (06) fases. Esta nueva configuración se muestra en la tabla N° 2.2.

**TABLA N° 2.2 FASES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

ANQUES	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	FASE 5	FASE 6
1	Alimentación V <sub>1</sub>	Aireación V <sub>2</sub>	No hay válvula activa	Salida	Salida	Salida
	Aireación V <sub>2</sub>					
2	Aireación V <sub>4</sub>	Alimentación V <sub>3</sub>	Aireación V <sub>4</sub>	Alimentación V <sub>3</sub>	Aireación V <sub>4</sub>	Alimentación V <sub>3</sub>
		Aireación V <sub>4</sub>		Aireación V <sub>4</sub>		Aireación V <sub>4</sub>
3	Salida	Salida	Salida	Alimentación V <sub>5</sub>	Aireación V <sub>6</sub>	No hay válvula activa
				Aireación V <sub>6</sub>		

Nota: V<sub>n</sub>, corresponde al número de válvula operando

#### d. Salida de Efluente

El agua descargada será enviada al tanque de cloración para recibir tratamiento. (Ver Vista N° 10.2.7 del Apéndice N° 10.2).

#### 2.2.6. Parámetros de operación

- **DBO<sub>5</sub>**. Un parámetro común es el término de DBO<sub>5,20</sub> en el cual se expresa el contenido o concentración de los nutrientes orgánicos en términos de la demanda de oxígeno. referido al valor de la DBO de 5 días o DBO<sub>5,20</sub>, este valor es una medida del consumo de oxígeno en el efluente y no se debe de olvidar que es una parte del total de la materia degradable presente, por lo tanto, el valor real es el medido en función de la DBO " última " o de 20 días y es 50% mayor que el valor medido a los 5 días, la demanda de oxígeno provocada por los compuestos nitrogenados no se mide en la prueba de la DBO<sub>5,20</sub>.
- **DQO**. Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico

por litro (mgO<sub>2</sub>/l). Aunque este método pretende medir principalmente la concentración de materia orgánica, sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros...), que también se reflejan en la medida.

- **Concentración de los Lodos.** La concentración de los lodos se expresa como una concentración de sólidos en suspensión en el tanque de aireación y se relaciona directamente como los " sólidos suspendidos en el licor mezclado " o SSLM, tomando en cuenta que en esos sólidos hay material inorgánico, es una totalidad en sólidos, es común que se represente el material sólido combustible como " sólidos volátiles suspendidos " o SVS que es una medida de la concentración de microorganismos. La concentración de los lodos en la etapa de la aireación se le llama "sólidos volátiles suspendidos en el licor mezcla " o SSVLM y da una medida de la concentración total de la materia orgánica presente, pero no establece diferenciación entre el material bioquímicamente activo y el material inerte presente en los lodos.

La concentración de SVS (microorganismos) dependerá de las condiciones de operación de la planta y la concentración de SVS en el agua de entrada a la planta de tratamiento o DBO inicial utilizando este término con cuidado). Los valores más comunes de SVS están en el rango de operación de 2,0 - 3,0 Kg. de sólidos por m<sup>3</sup> (peso seco).

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

$$V_s = \frac{Q \times (S_0 - S)}{V} ; \text{kg/m}^3 \cdot \text{d}$$

S<sub>0</sub> = Concentración de DBO o DQO en el afluente kg/m<sup>3</sup>

S = Concentración de DBO o de DQO en el efluente, kg/m<sup>3</sup>

V = Volumen del reactor (m<sup>3</sup>)

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/d)

- **Relación Alimento/Microorganismo ( F/M ).**- Este valor representa la razón los kg/día de DBO<sub>5</sub>, por Kg. de sólidos suspendidos en el reactor. Para determinar F/M se usa la expresión siguiente:

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{\theta X} \dots \dots (2), d^{-1}$$

S<sub>0</sub>= Concentración de DBO o DQO en el afluente kg/m<sup>3</sup>

θ= Tiempo de retención, d

X= Concentración de solidos suspendidos en el tanque de aireación, kg/m<sup>3</sup>

- **Tiempo De Retención (θ).** El tiempo de retención hidráulico, θ es el tiempo empleado por el líquido o efluente en el reactor.

$$\theta = \frac{V}{Q} \dots \dots (3), d$$

V=Volumen del tanque de aireación, m<sup>3</sup>

Q=Caudal de entrada, m<sup>3</sup>/d

- **Eficiencia (E).**- Diferencia de concentraciones de DBO o DQO del afluente y efluente.

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100 \dots \dots (4), \text{porcentaje}$$

## 2.3. Marco Legal

### 2.3.1. Constitución Política del Perú

En el **artículo 66**, Capítulo II indica, que los recursos naturales renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación y que el Estado es soberano de su aprovechamiento. Asimismo establece, que por Ley Orgánica se fija las condiciones de su utilización y su otorgamiento a particulares. La concesión se otorga a su titular un derecho legal, sujeto a dicha norma legal.

El **artículo 67** del mismo capítulo establece que el Estado determina la política Nacional del Medio Ambiente y promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.

En el **artículo 68**, del mismo capítulo, establece que el Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

Comentario.- El gobierno central a través de órganos e instituciones participa en la formulación de políticas, planes y proyectos que terminen en acciones concretas y en la factibilidad de la solución de problema.

### **2.3.2. Ley 28611-Ley general del Ambiente**

**Artículo 67.- Del saneamiento básico.-** Las autoridades públicas de nivel nacional, sectorial, regional y local priorizan medidas de saneamiento básico que incluyan la construcción y administración de infraestructura apropiada; la gestión y manejo adecuado del agua potable, las aguas pluviales, las aguas subterráneas, el sistema de alcantarillado público, el reúso de aguas servidas, la disposición de excretas y los residuos sólidos, en las zonas urbanas y rurales, promoviendo la universalidad, calidad y continuidad de 48 los servicios de saneamiento, así como el establecimiento de tarifas adecuadas y consistentes con el costo de dichos servicios, su administración y mejoramiento.

**Artículo 120.- De la protección de la calidad de las aguas.-** 120.1 El Estado, a través de las entidades señaladas en la Ley, está a cargo de la protección de la calidad del recurso hídrico del país.

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

### **2.3.3. D.L. N° 1055-Decreto legislativo que modifica la ley N° 28611, Ley General del Ambiente.-**

**Artículo 32°.- Del Límite Máximo Permisible.-** El Límite Máximo Permisible – LMP, es la medida de la concentración o grado de

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

#### **2.3.4. Ley N° 29338- Ley de recursos hídricos.-**

Artículo 82°.- Reutilización de agua residual.- La Autoridad Nacional, a través del Consejo de Cuenca, autoriza el reúso del agua residual tratada, según el fin para el que se destine la misma, en coordinación con la autoridad sectorial competente y, cuando corresponda, con la Autoridad Ambiental Nacional.

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

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

#### **2.3.5. Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.**

**Artículo 1°.- Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.-** Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

### 2.3.6. Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM- Límites máximos permisibles de efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales domésticas o municipales.

**Artículo 1°.-** Aprobación de límite máximo permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de tratamiento de aguas Residuales domesticas o Municipales (PTAR).

## 2.4. Definiciones<sup>13</sup>.

- **Aeración.-** Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).
- **Agua residual doméstica.-** Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.
- **Agua residual.-** Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.
- **Afluente.-** Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.
- **Carga superficial.-** Caudal o masa de un parámetro por unidad de área que se usa para dimensionar un proceso del tratamiento.
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).-** Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).
- **Demanda química de oxígeno (DQO).-** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidante sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.
- **Efluente.-** Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

---

<sup>13</sup> NTP OS.090, Planta de Tratamiento de Aguas residuales

- **Lodo activado.-** Lodo constituido principalmente de biomasa con alguna cantidad de sólidos inorgánicos que recircula del fondo del sedimentador secundario al tanque de aeración en el tratamiento con lodos activados.
- **Edad del lodo.-** Parámetro de diseño y operación propio de los procesos de lodos activados que resulta de la relación de la masa de sólidos volátiles presentes en el tanque de aeración dividido por la masa de sólidos volátiles removidos del sistema por día. El parámetro se expresa en días.
- **Eficiencia del tratamiento.-** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje.
- **pH.-** Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.
- **Planta de tratamiento.-** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales.
- **Planta piloto.-** Planta de tratamiento a escala, utilizada para la determinación de las constantes cinéticas y parámetros de diseño del proceso.
- **Proceso de lodos activados.-** Tratamiento de aguas residuales en el cual se somete a aeración una mezcla (licor mezclado) de lodo activado y agua residual. El licor mezclado es sometido a sedimentación para su posterior recirculación o disposición de lodo activado.
- **Tanque.-** Recipiente de gran tamaño, normalmente cerrado, destinado a contener líquidos o gases.
- **Fase.-** Cada uno de los distintos estados sucesivos de un fenómeno natural
- **Etapas.-** Fase en el desarrollo de una acción u obra.
- **Prueba.-** Ensayo o experimento que se hace de algo, para saber cómo resultará en su forma definitiva.

## CAPÍTULO III VARIABLES E HIPÓTESIS

### 3.1. Variables de la investigación

- **Variable Independiente:** Planta de Tratamiento de lodos activados
  - Caudal ( $M^3/\text{seg}$ )  $X_1$
  - Carga volumétrica ( $Kg/M^3.d$ )  $X_2$
  - Periodo de tratamiento  $X_3$
  - Concentración de lodos  $X_4$
- **Variable Dependiente:** Calidad de agua tratada.
  - Potencial Hidrogeno (pH).  $Y_1$
  - Demanda Química de Oxígeno (DQO)  $Y_2$
  - Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ).  $Y_3$
  - Aceites y Grasas.  $Y_4$
  - Sólidos suspendidos.  $Y_5$
  - Coliformes Fecales.  $Y_6$

### 3.2. Operacionalización de variables

Para demostrar y comprobar la hipótesis anteriormente formulada, será necesario 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, sometido el efluente a su paso a través de la planta piloto Lodos Activados, se evaluará la Variable Dependiente:  $Y =$  Calidad del agua tratada, para los cual se establecieron sus Indicadores:

Concentración de componentes físicos químicos:

- Potencial Hidrogeno (pH)  $Y_1$
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)  $Y_2$
- Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ )  $Y_3$
- Aceites y Grasas.  $Y_4$
- Sólidos totales  $Y_5$
- Existencia de Coliformes Fecales  $Y_6$

Durante las pruebas experimentales se realizarán 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 y a la salida de la planta piloto de lodos activados del tipo secuencial, manteniendo fijo los indicadores de la Variable Independiente.

### **3.3. Hipótesis general**

La planta piloto de lodos activados secuenciales, producirá agua tratada de calidad de categoría III, según Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.

## **CAPITULO IV METODOLOGÍA**

### **4.1. Tipo de investigación**

De acuerdo a las variables establecidas, se concluye que esta investigación es de tipo: Experimental, tipología que se deduce a partir de las variables en las 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 problema (efluente domestico) al Sistema de Tratamiento Piloto SBR, en la que la variable independiente hipotéticamente será una de las causas que generó el supuesto cambio en las variable dependiente, en este caso sobre el efluente doméstico, lo que se evidenció al evaluar los valores de sus indicadores durante las observaciones realizadas<sup>14</sup>.

### **4.2. Diseño de la investigación**

Una vez que precisáramos el planteamiento del problema, se definió el alcance inicial de nuestra investigación, formulando la hipótesis, procedimos a diseñar nuestra investigación, que nos permitió demostrar la hipótesis planteada, además de cubrir los objetivos específicos fijados<sup>15</sup>.

### **4.3. Población y muestra**

La población para el presente trabajo de investigación son las propias aguas residuales que se generan en la Ciudad Universitaria del Callao y que se captaran de la alcantarilla que pasa próxima a la red de la Facultad Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, cuyo caudal de muestra será de 1,5 m<sup>3</sup>/día como máximo, que corresponde a la capacidad de la planta piloto de Lodos Activados del tipo secuencial.

---

<sup>13,14</sup> BACA NEGLIA M. "TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES DOMESTICOS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL RIEGO DE AREAS VERDES EN EL DISTRITO DE SAN JUAN DE MARCONA", TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE ACADEMICO DE MAESTRO EN INVESTIGACION Y DOCENCIA UNIVERSITARIA- 2012.

#### **4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

##### **4.4.1. Técnicas utilizadas:**

Para la recolección de datos se utilizaron técnicas experimentales, estadísticas y de laboratorio. En el caso de las técnicas experimentales consistió en la observación del aspecto del agua tratada a diferentes tiempos de retención; respecto a las técnicas de laboratorio corresponde al análisis cuantitativo de cada parámetro evaluado, finalmente para el análisis de los datos que se obtuvieron en las pruebas de la planta piloto se aplicó la técnica de estadísticas descriptiva (promedio) y el uso de gráficas de tendencia.

Entre las principales técnicas de laboratorio fueron: SMEWW-APHA-WEF y EPA Methods 1664. Asimismo como técnica estadística se utilizó el programa Microsoft Excel.

##### **4.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

- **Materiales**

- Envases de plásticos y de vidrio color ámbar de 1L, para la toma de muestras.
- Probeta graduada de 500 mL y cono imhoff, para las mediciones volumétricas.
- Cajas térmicas y preservantes químicos, para el traslado, conservación y preservación de las muestras de agua.
- Plumones indelebles y libreta de campo, para el etiquetado de los envases y anotación de observaciones.

- **Equipos**

- pH metro, para la medición de pH.
- Compresora, utilizado para el suministro de aire comprimido.
- Cronómetro, utilizado para la medición de caudal.

- **Indumentaria de Protección**

- Guardapolvo, Guantes de látex descartables, Guantes de jebe antideslizantes; utilizado para la protección personal y manipuleo de muestras.

## 4.5. Procedimiento de recolección de datos

### 4.5.1. Evaluación de los parámetros del proceso de lodos activados

- **Determinación de las variables independientes:**

- **Caudal (Q):** Medido tomando en cuenta los valores del volumen del proceso de lodos activados y el tiempo de retención hidráulico.

$$Q = \frac{V}{\theta} \dots \dots (3), L/min$$

V: Volumen del proceso (L)

$\theta$ : Tiempo de retención hidráulica (min)

- **Carga volumétrica (Vs):** Representada por la razón de utilización del sustrato en  $kg/m^3$  de DBO aplicado, asimismo es calculada tomando en cuenta la concentración de  $DBO_5$  del afluente ( $S_0$ ) y del efluente (S) en  $kg/m^3$ , el caudal del afluente (Q) en  $m^3/día$  y volumen de los reactor (V) en  $m^3$ .

La fórmula utilizada es la siguiente:

$$V_S = \frac{Q \times (S_0 - S)}{V}, Kg/m^3 \cdot d$$

- **Relación Alimento/microorganismo (F/M).**- Valor calculado mediante la siguiente relación:

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{\theta X}, d^{-1}$$

$S_0$ = Concentración de DBO o DQO en el afluente  $kg/m^3$

$\theta$ = Tiempo de retención, d

X= Concentración de sólidos suspendidos en el tanque de aireación,  $kg/m^3$

- **Tiempo de retención hidráulica ( $\theta$ ).**- Tiempos asumidos de acuerdo a las características del agua y duración de cada fase de tratamiento.<sup>16</sup>
- **Concentración de lodos:** Se toma una muestra de agua de 1L de cualquiera de los reactores y éste es vertido en un cono

---

<sup>16</sup> Las fases están relacionadas a la Tabla N° 1: Fases del sistema de tratamiento

imhoff para la sedimentación del lodo en un intervalo de tiempo de una (01) hora. Mediante la relación de volúmenes de lodo por volumen de agua total se calcula la concentración en porcentaje (%).

Se debe considerar que para la puesta en marcha del sistema se inoculó lodo activado cuya procedencia fue la PTAR San Antonio de Carapongo ubicado en Lurigancho-Chosica (Lodos activados de aireación extendida). Este lodo activado presentaba una concentración de 950 mL lodo/1000 mL agua, con pH 9,19 y Oxígeno disuelto 1,51 mg/L. Se trasladó 10 galones a la planta piloto y éste fue repartido de manera equitativa a los tres (03) reactores. Se tomó como tiempo de aclimatación dos (02) semanas.

#### 4.5.2. Caracterización del agua residual doméstica y tratada

- **Toma de muestra:** Para la caracterización del afluente y efluente se tomó muestras de agua en dos (02) puntos de muestreo (punto E y Punto S) a diferentes tiempos de retención ( $\theta_1$ ,  $\theta_2$  y  $\theta_3$ ). (Ver apéndice N° 10.2)

**TABLA N° 4.1 TOMA DE MUESTRA Y PRESERVACIÓN**

Parámetro	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$
pH	Se tomó muestra al ingreso del afluente (punto E) y salida del efluente (punto S), y midiendo con un phmetro se obtuvo los valores de ph.		
DBO <sub>5</sub>	Se tomó muestra al ingreso del afluente (punto E) y salida del efluente (punto S) en botella de plástico de 1L.		
DQO	Se tomó muestra al ingreso del afluente (punto E) y salida del efluente (punto S) en botella de vidrio ámbar de 1L, con adición del preservante H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .		
Aceites y grasas	Se tomó muestra al ingreso del afluente (punto E) y salida del efluente (punto S) en botella de plástico de 1L, con adición de preservante Ag NO <sub>3</sub> .		
Solidos suspendidos	Se tomó muestra al ingreso del afluente (punto E) y salida del efluente (punto S) en botella de plástico de 1L.		
Coliformes fecales	Se tomó muestra al ingreso del afluente (punto E) y salida del efluente (punto S) en botella de plástico en condiciones estériles de 1L.		

Fuente: Elaboración propia

- **Métodos analíticos:** Luego de la toma de muestra, las botellas son transportadas al laboratorio (CERPER S.A.) para la determinación de las concentraciones y cantidad de Coliformes fecales, utilizando los siguientes métodos analíticos:

**TABLA N° 4.2 PARÁMETROS Y MÉTODOS ANALÍTICOS EMPLEADOS POR EL LABORATORIO**

Parámetro	Unidad	Límite de Detección	Método
pH	pH	1,00 unidad de pH	SMEWW Part 4500-H B.22 nd. Electrometric Method.
DBO <sub>5</sub>	mg/L	2,00 mg/L	SMEWW Part 5210 D, 22 nd. Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5-Day BOD Test.
DQO	mg/L	10,0 mg/L	SMEWW Part 5220 D, 22 nd. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, colorimetric method
Aceites y grasas	mg/L	0,50 mg/L	EPA B 2010, by Extraction and Gravimetry.
Sólidos suspendidos	mg/L	5,0 mg/L	SMEWW Part 2540 B, 22 nd Total Solids Dried al 103 °C – 105 °C
Coliformes fecales	NMP/100mL	-	SMEWW. Part 9221 E-1, 22 <sup>nd</sup> . Multiple – Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Fecal Coliform, Procedures. Thermotolerant coliform test (EC medium)

Fuente: CERPER S.A.

#### 4.5.3. Evaluación de la eficiencia

Finalmente para la evaluación de la eficiencia se consideró los resultados obtenidos en la caracterización del afluente y efluente. Estas concentraciones fueron utilizadas en la siguiente fórmula:

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

$S_0$  = Concentración de DBO o DQO en el afluente  $\text{kg/m}^3$

$S$  = Concentración de DBO o de DQO en el efluente,  $\text{kg/m}^3$

#### 4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos

El procesamiento de los datos obtenidos en cada tiempo diferente será procesado mediante gráficos de tendencia y estos a su vez serán comparados con la normativa ambiental vigente: D.S. N° 003-2010-

**MINAM, Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas o municipales y DS 002-2008-MINAM, Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua”, Categoría 3: Riego de Vegetales (Tallo Bajo y Tallo Alto). (Ver anexo N° 11.4 D. S. N° 002-2008-MINAM y Anexo 11.5 D.S. N° 003-2010-MINAM).**

## **CAPÍTULO V RESULTADOS**

El desarrollo de este capítulo corresponde a la evaluación del agua residual doméstica antes y después del tratamiento de lodos activados secuenciales.

Se realiza esta caracterización del agua residual para el análisis de la eficiencia del sistema; en base a los resultados de laboratorio de la toma de muestras realizadas en campo. Asimismo, mediante los porcentajes de eficiencia de cada muestreo, se determinó el tiempo óptimo por cada parámetro; tal como se aprecia en el presente capítulo.

### **5.1. Evaluación de los parámetros de la planta de tratamiento de lodos activados**

#### **5.1.1. Tiempos de retención, caudal y relación F/M, alimento/microorganismo**

Durante el desarrollo de la parte experimental del sistema de tratamiento se estableció diferentes tiempos de retención, de acuerdo a los resultados reportados en los muestreos. Asimismo se determinó el caudal y la relación alimento/microorganismo.

**TABLA N° 5.1 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DE LA PLANTA PILOTO**

$\theta_1$	120	3,03	363	-	-
$\theta_2$	170	2,14	363	148	0,79
$\theta_3$	200	1,82	363	79,1	0,52

Fuente: Elaboración Propia

Para efectos de esta experimentación se realizó la operación del sistema de lodos activados a diferentes tiempos de retención hidráulica, para poder determinar el tiempo óptimo de tratamiento de la planta piloto, tomando en cuenta el valor de la eficiencia. Los valores de la relación de alimento/microorganismo (F/M) del sistema de lodos activados varía entre

0,52 a 0,79 d<sup>-1</sup>. Este rango está dentro de los típicos valores que se encuentran en la literatura (0,05 -1,0)<sup>17</sup>.

### 5.1.2. Concentración de lodos

Antes de la puesta en marcha del sistema, se midió la concentración al paso de dos (02) semana de inoculación de lodo (PTAR Lurigancho). Las concentraciones para cada prueba, se presenta en la siguiente tabla:

**TABLA N° 5.2 VALORES DE CONCENTRACIÓN DE LODOS**

$\theta_1$	120	54 mL/250 mL	21,6
$\theta_2$	170	50 mL/250 mL	20,0
$\theta_3$	200	15 mL/250 MI	6,0

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la literatura el ítem 2.2.3 factores que inciden en la operación de un SBR, del presente informe, describe que la concentración de lodos debería mantenerse entre un rango de 300 – 500 ml en 1000 mL para poder llamarlo como un lodo “Adecuado”.

### 5.2. Evaluación de la calidad del agua

En la tabla 5.3 se muestra los resultados de la calidad del agua del afluente y efluente, en función de los tiempos de tratamiento:

**TABLA N° 5.3 RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN A LOS TIEMPOS DE RETENCIÓN**

Parámetros	Unidades						
		$\theta_1= 120$ min		$\theta_2= 170$ min		$\theta_3= 200$ min	
		E	S	E	S	E	S
pH	Und. pH	8,48	8,4	8,59	8,5	8,27	7,8
DBO <sub>5</sub>	mg/L	194	67,0	334	58,0	138	34,8
DQO	mg/L	623,3	317,3	630,4	356,9	291,9	192,1
aceites y grasas	mg/L	8,91	4,33	20,6	6,43	20,6	5,09

<sup>17</sup> Metcalf & Eddy (1998); Ingeniería de Aguas Residuales; Mc Graw-Hill; Cap. 10;Pg.609

Parámetros	Unidades	θ: Retención					
		θ <sub>1</sub> = 120 min		θ <sub>2</sub> = 170 min		θ <sub>3</sub> = 200 min	
		E	S	E	S	E	S
SST	mg/L	-	-	148,0	41,1	79,1	33,0
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1,80	<1,80	4,9 x 10 <sup>6</sup>	7,9 x 10 <sup>6</sup>	7,9 x 10 <sup>5</sup>	4,6 x 10 <sup>7</sup>

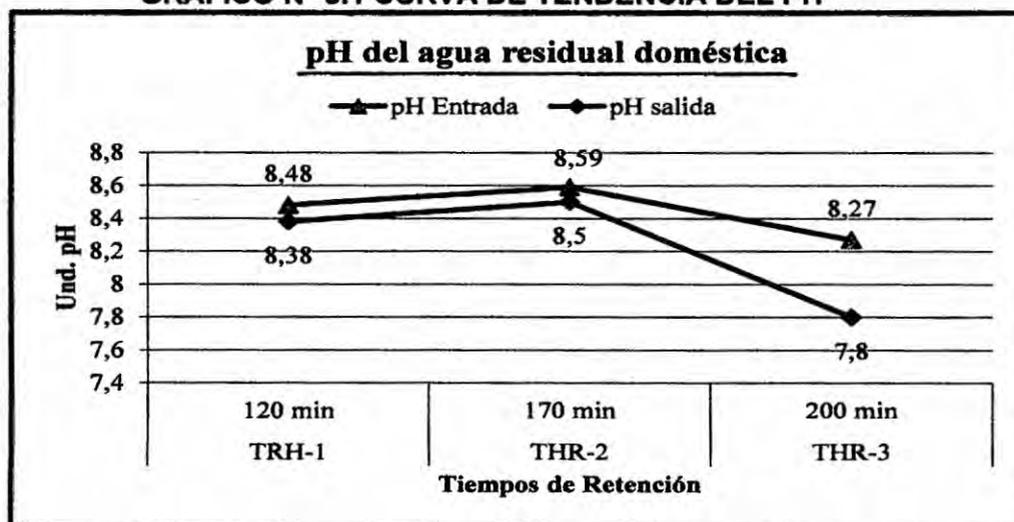
Fuente: Elaboración Propia

Las curvas de tendencia para cada parámetro analizado en relación a los tiempos de retención se muestran a continuación:

### 5.2.1. Potencial de Hidrógeno (pH)

En la gráfica 5.1 se muestra la tendencia del pH en las tres pruebas realizadas. Se puede observar que el pH del afluente estuvo en el rango de 8,27 a 8,48 und. pH.

GRÁFICO N° 5.1 CURVA DE TENDENCIA DEL PH

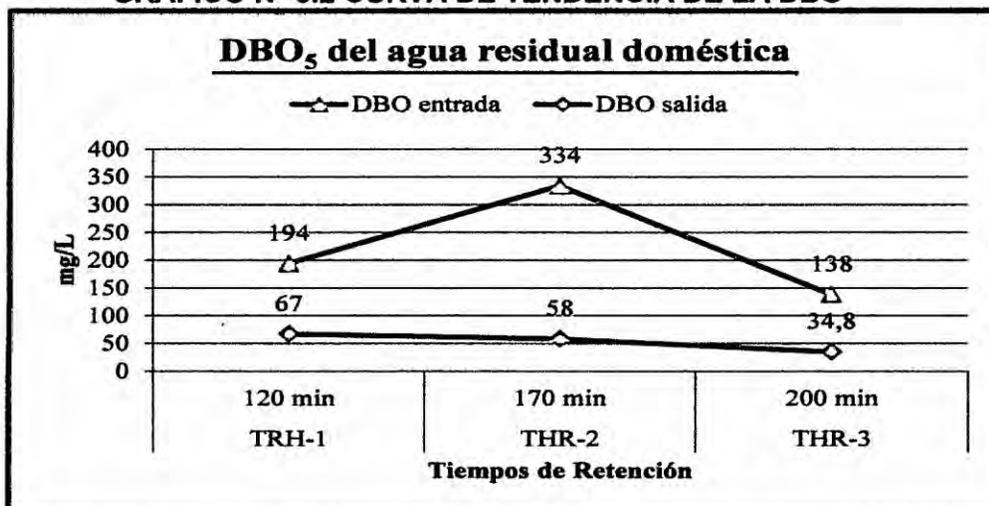


FUENTE: Elaboración Propia

### 5.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

En la gráfica N° 5.2 se muestra la curva de tendencia de la DBO, donde se observa que la concentración del afluente fue variado, en un rango de 138 a 334 mg/L.

**GRÁFICO N° 5.2 CURVA DE TENDENCIA DE LA DBO**

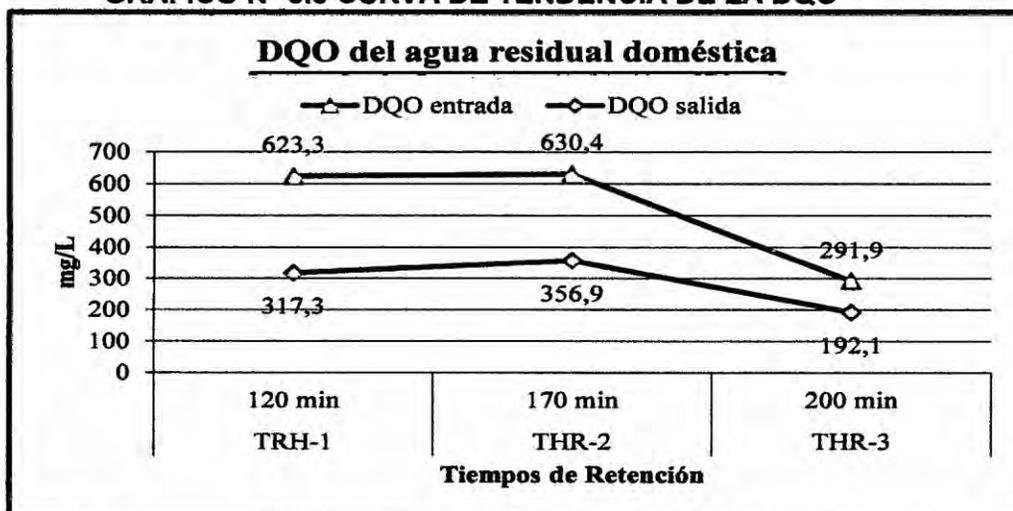


FUENTE: Elaboración Propia

### 5.2.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En la gráfica N° 5.3 curva de tendencia de la DQO se puede observar que el afluente presentó concentraciones en un rango de 291,9 a 630,4 mg/L.

**GRÁFICO N° 5.3 CURVA DE TENDENCIA DE LA DQO**



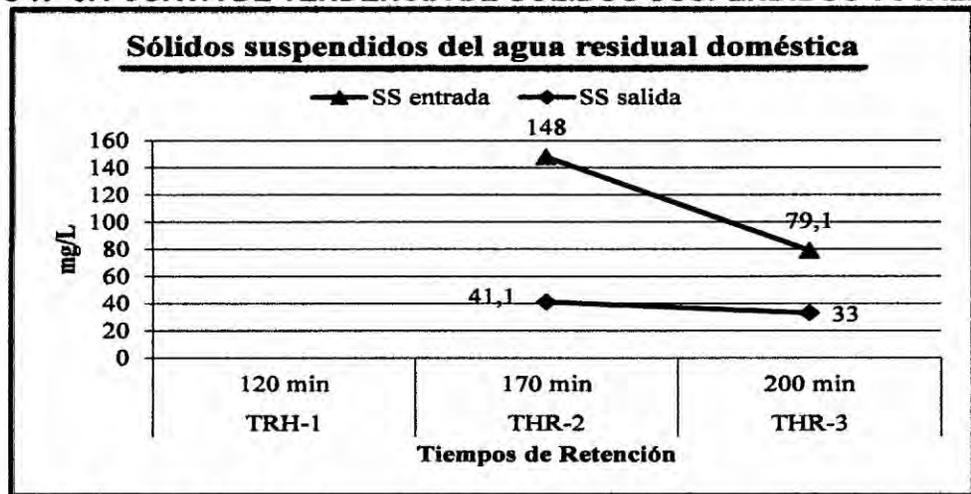
FUENTE: Elaboración Propia

### 5.2.4. Sólidos Suspendidos totales

En la gráfica N° 5.4 se muestra la tendencia de los sólidos suspendidos totales. Se observa que para la prueba de 120 min no se presenta una concentración debido a que en laboratorio realizaron la medición de

sólidos totales, valor que puede verse en el anexo (Anexo11.1 Informes de ensayo).

**GRÁFICO N° 5.4 CURVA DE TENDENCIA DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**

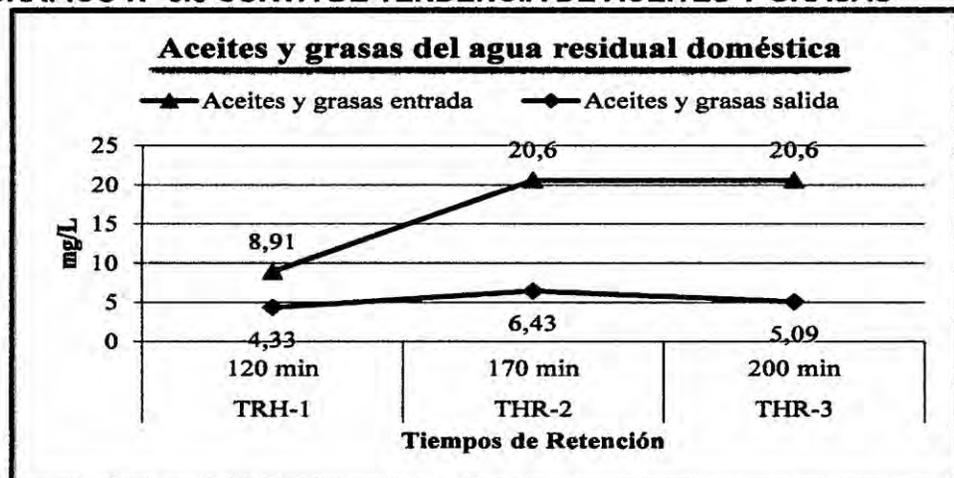


FUENTE: Elaboración Propia

### 5.2.5. Aceites y Grasas

En la gráfica N° 5.5 se muestra la curva de tendencia del parámetro aceites y grasas, pudiendo observarse que la concentración del afluente estuvo en el rango de 8,91 a 20,6 mg/L.

**GRÁFICO N° 5.5 CURVA DE TENDENCIA DE ACEITES Y GRASAS**



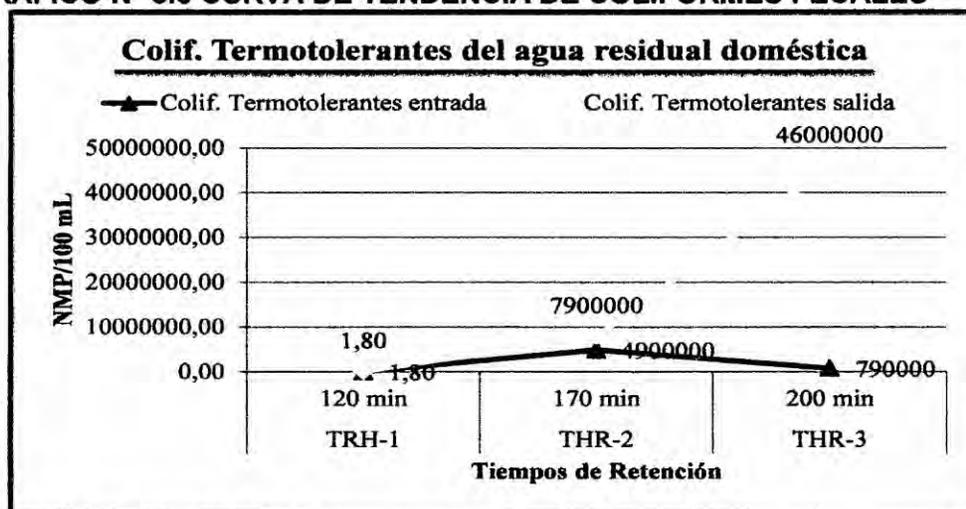
FUENTE: Elaboración Propia

### 5.2.6. Coliformes Termotolerantes

En la gráfica N° 5.6 se muestra la curva de tendencia de los Coliformes fecales. Se puede apreciar que la cantidad de éstos en el efluente se

presentó en un rango de <1,8 NMP/100 mL (TRH-1) a  $46 \times 10^6$  NMP/100 mL (TRH-3).

**GRÁFICO N° 5.6 CURVA DE TENDENCIA DE COLIFORMES FECALES**



FUENTE: Elaboración Propia

### 5.3. Evaluación de la eficiencia del tratamiento de lodos activados

De los resultados obtenidos del afluente y efluente, se aplicó la fórmula de eficiencia para cada parámetro en los diferentes tiempos de retención. Estas eficiencias se muestran en la siguiente tabla:

**TABLA N° 5.4 EFICIENCIA DE LOS PARÁMETROS A DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCIÓN**

	E-1 %	E-2 %	E-3 %
	120 min	170 min	200 min
DBO <sub>5</sub>	65,46	82,63	74,78
DQO	49,09	43,39	34,19
Solidos Suspendidos Totales	-	72,23	57,52
Aceites y grasas	51,40	68,79	75,29
pH	1,18	1,05	5,68

Fuente: Elaboración Propia

## **CAPITULO VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se analizará a mayor detalle los resultados obtenidos en las tres pruebas realizadas, descritos en el anterior capítulo. Asimismo se realizará una comparación con la normativa ambiental vigente y se relacionará estos mismos resultados con otras experiencias realizadas; con la finalidad de poder contrastar la hipótesis planteada.

### **6.1. Contrastación de la hipótesis con los resultados**

#### **6.1.1. Evaluación de los parámetros del proceso de lodos activados**

Se debe tener en cuenta que la presente investigación está relacionada a la evaluación del funcionamiento del sistema de lodos activados y no a la construcción y diseño de la misma. Sólo fueron considerados algunos parámetros de diseño ya que eran necesarios para la presente evaluación. Es por ello que se asumió diferentes tiempos de retención; con la finalidad de poder poner en marcha el sistema y evaluar su eficiencia.

Respecto a las concentraciones de lodos, según lo citado en el ítem 5.1.2 Concentración de lodos; el sistema sufrió una variación adicional en la variable independiente "Concentración de lodos", ya que el valor descendió a 6,0 %.

El descenso de esta variable modificó lo que se tenía planteado de manera inicial. Asimismo aun conociendo la concentración de lodos se procedió a continuar el tratamiento, con la finalidad de conocer los cambios que esto produciría.

#### **6.1.2. Evaluación de la calidad de agua residual doméstica tratada**

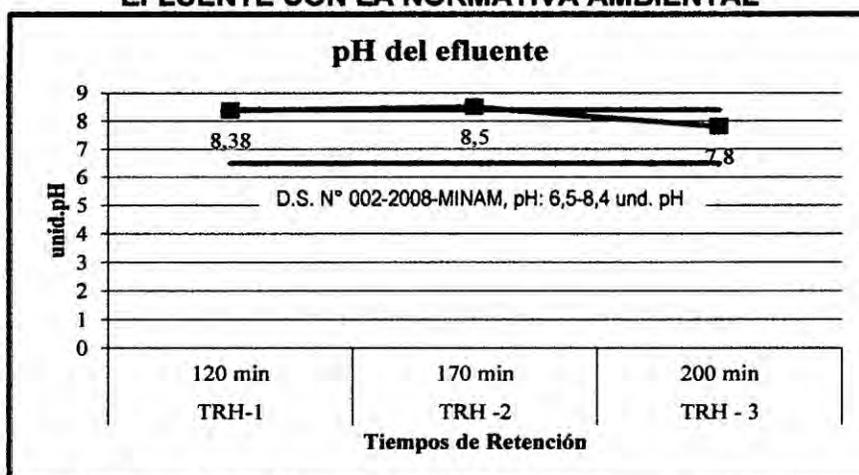
La curva de tendencia de cada parámetro es analizado en el capítulo V, y para efectos del presente, se procedió a su comparación con la finalidad de poder definir la eficiencia en función de la normativa ambiental vigente; ya que todo uso de agua tratada en el Perú está regulado por normas específicas.

Para esta comparación se utilizó la norma de Estándares de calidad Ambiental para agua D.S. N° 002-2008 MINAM (en adelante ECA) para poder contrastar la hipótesis y los Límites máximos permisibles para los efluentes de Planta de tratamiento de Aguas Residuales domésticas o municipales D.S. N° 003-2010 MINAM (en adelante LMP) con la finalidad de poder evaluar que el efluente producido cumple las características mínimas para una PTAR, según se muestra a continuación:

#### a. Potencial de hidrógeno (pH)

El gráfico N° 6.1 se presenta la curva de tendencia de los resultados obtenidos de pH durante los tres pruebas y las comparaciones de los resultados con los LMP y el ECA, Categoría 3: Riego de Vegetales (Tallo Bajo y Tallo Alto); observándose que los resultados se encuentran cumpliendo con la normativa aplicada para ambos casos. Asimismo se observa que el pH del efluente presenta valores superiores a 8 para las dos primeras pruebas (TRH-1 y TRH-2), sin embargo para el tercer tiempo de retención el valor de pH había disminuido a un pH de 7,8. Este último valor puede incidir en el proceso de nitrificación, ya que necesita un rango de pH de 7,5 a 9 unidades<sup>18</sup>. Si bien el valor está dentro del rango, no descarta que el sistema pueda disminuir más su pH.

**GRÁFICO N° 6.1 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PH EN EL EFLUENTE CON LA NORMATIVA AMBIENTAL**



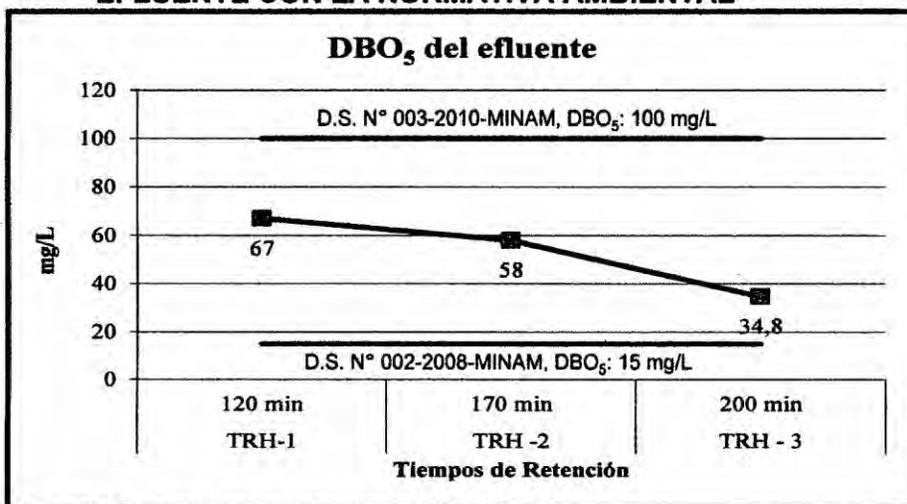
Fuente: Elaboración Propia

<sup>18</sup> Ítem 3.3.2 Factores que inciden en la operación de un SBR-nitrificación del presente informe.

## b. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

El Gráfico N° 6.2 se presenta la curva de tendencia de los resultados obtenidos de la demanda bioquímica de oxígeno durante los tres muestreos y las comparaciones de los resultados de los resultados con los LMP y el ECA, Categoría 3: Riego de Vegetales (Tallo Bajo y Tallo Alto); observándose que los parámetros cumplen el LMP, pero supera el valor establecido por el ECA categoría 3. Asimismo la concentración del efluente fue disminuyendo desde la primera prueba (67 mg/L) hasta la última (34,8 mg/L). Si bien la concentración registrada para el tercer tiempo de retención (200 min) fue menor a las anteriores concentraciones, se debe tener en cuenta que no se desarrolló una buena remoción de la materia orgánica ya que el afluente presentó la menor concentración de DBO.

**GRÁFICO N° 6.2 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA DBO EN EL EFLUENTE CON LA NORMATIVA AMBIENTAL**



Fuente: Elaboración Propia

En comparación con otros estudios, se tiene:

La concentración de DBO<sub>5</sub> del presente estudio (34,8 mg/L) y la que se obtuvo en el estudio del Desempeño de un Reactor Biológico Secuencial (RBS) en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas<sup>19</sup> (37 mg/L) fue inferior a la investigación citada.

<sup>19</sup> Carmen Cárdenas, Suher Carolina Yabroudi, etc.; 2012

–De la investigación citada, los resultados obtenidos muestran que las mayores eficiencias de remoción de materia orgánica en términos de DBO se alcanzaron durante la Fases III (91%) y IV (82%). Siendo estas fases las de mayor eficiencia se toma como referencia que el tratamiento en la planta piloto de lodos activados también es eficiente con los resultados que se han podido alcanzar.

De manera general, de las 143 plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas de Lima metropolitana, se obtiene que ninguna de las 67 PTAR cuyo efluente se vierte a ríos, quebradas, lagos o al mar, cumplen con los ECA de DBO<sub>5</sub> y CF.<sup>20</sup>

### c. **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

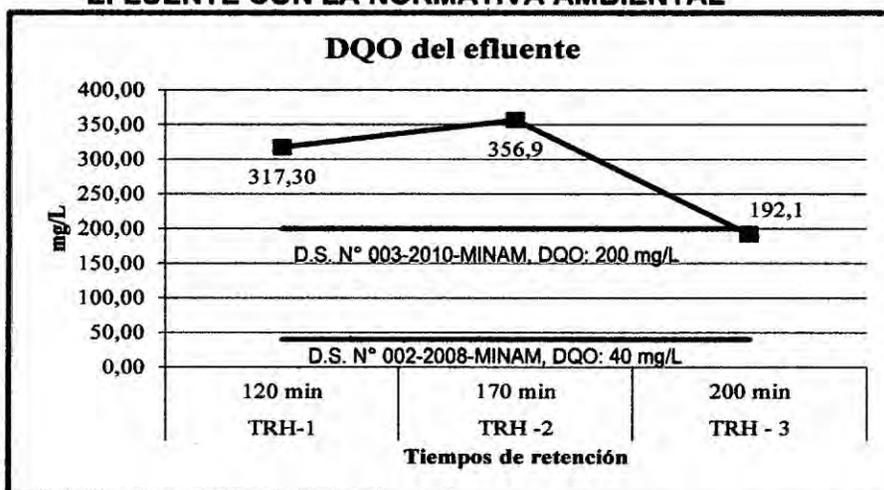
El Gráfico N° 6.3 se presenta la curva de tendencia de los resultados obtenidos de los resultados con los LMP y el ECA, Categoría 3: Riego de Vegetales (Tallo Bajo y Tallo Alto); observándose que la concentración en los dos primeros muestreos superan el LMP; mientras que en el tercer muestreo la concentración registrada está por debajo del LMP; asimismo las concentraciones registradas superan el valor establecido por el ECA Categoría 3.

Se puede observar que la concentración de DQO del efluente disminuyó en la tercera prueba (192,1 mg/L - 120 min) respecto a la primera (317,3 mg/L - 200 min). Sin embargo, se puede ver en la gráfica que para la tercera prueba no se evidenció una buena remoción ya que la concentración del afluente fue la menor de las tres pruebas realizadas. Este valor se relaciona al valor de pH reportado.

---

<sup>20</sup> SUNASS, Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución, (2008).

**GRÁFICO N° 6.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA DQO EN EL EFLUENTE CON LA NORMATIVA AMBIENTAL**



Fuente: Elaboración Propia

En comparación con otros estudios, se tiene:

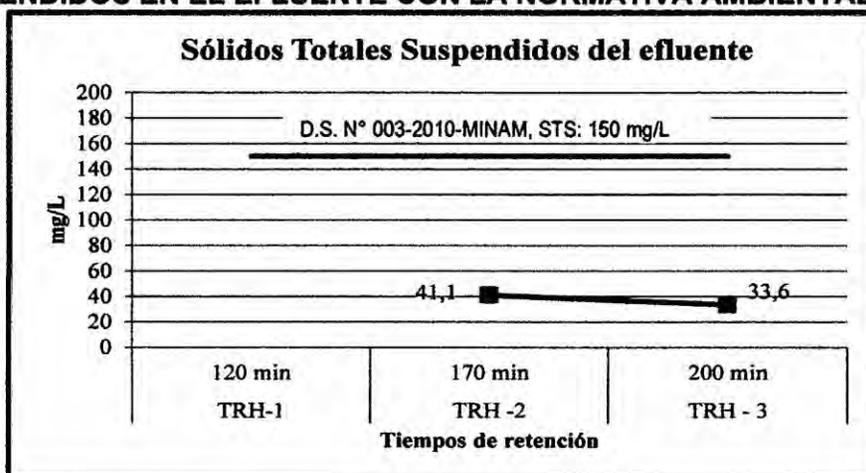
La concentración de DQO, del presente estudio (192,1 mg/L) y la que se obtuvo en el estudio del Desempeño de un Reactor Biológico Secuencial (RBS) en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas<sup>21</sup> (102 mg/L), fue un valor cuasi similar.

#### d. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

El Gráfico N° 6.4 se presenta la curva de tendencia de los resultados obtenidos de los sólidos suspendidos totales durante los tres muestreos y las comparaciones de los resultados con el LMP y de manera referencial con los valores establecidos por la normativa internacional de la FAO; observándose que los resultados en el segundo y tercer muestreo cumplen con la normativa aplicada. Asimismo en las posteriores pruebas se pudo observar que el afluente presentó concentraciones de 79,1 (TRH-3) y 148 mg/L (TRH-2); siendo la tercera prueba la que presentó una menor sedimentabilidad respecto al valor inicial.

<sup>21</sup> Carmen Cárdenas, Suher Carolina Yabroudi, etc.; 2012

**GRÁFICO N° 6.4 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL EFLUENTE CON LA NORMATIVA AMBIENTAL**



Fuente: Elaboración Propia

La concentración de sólidos suspendidos del efluente en el presente estudio registró valores en el rango de 33,6 y 41,1 mg/L. Comparando los resultados con la investigación citada<sup>22</sup>; las concentraciones de SST en el agua residual bruta alimentada al sistema y los valores del sobrenadante tratado después de pasar por las reacciones que conforman cada etapa del tratamiento, los rendimientos de eliminación oscilaron entre 66 y 90%. Asimismo las eficiencias encontradas en la presente investigación se encontraron en el rango de 57,52 y 72,23 %. Valores que en contraste con la investigación citada se puede concluir que el sistema es eficiente.

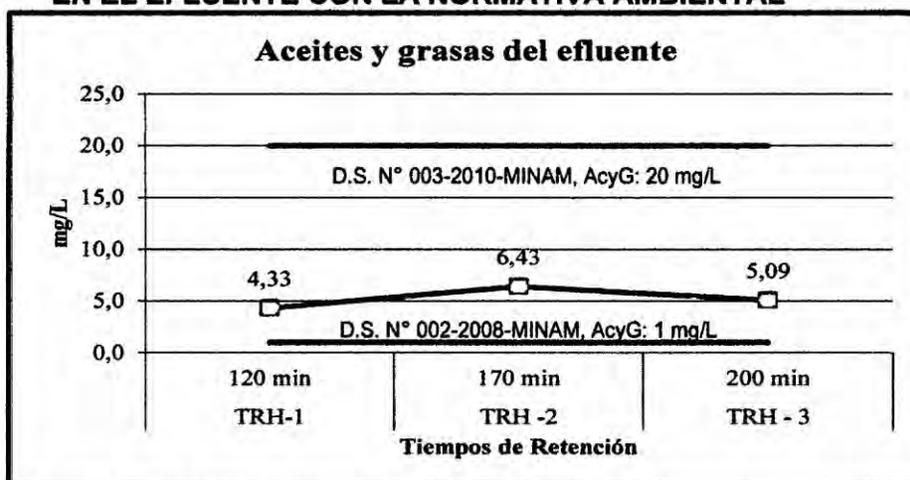
#### e. Aceites y Grasas

El Gráfico N° 6.5 se presenta la curva de tendencia de los resultados obtenidos de aceites y grasas durante los tres muestreos y las comparaciones de los resultados con los LMP y el ECA; Categoría 3: Riego de Vegetales (Tallo Bajo y Tallo Alto); observándose que los resultados registrados en los tres muestreos son inferiores a los LMP, pero superiores al valor establecido por el ECA categoría 3. Asimismo se observa que las concentraciones del efluente se presentan en el rango de 4,33 (TRH-1) a 6,43 (TRH-2) mg/L. De acuerdo con lo establecido por

<sup>22</sup> Carmen Cárdenas, Suher Carolina Yabroudi, etc.; 2012

Metcalf<sup>23</sup>, la concentración de aceites y grasas en la muestra se puede catalogar como “débil”.

**GRÁFICO N° 6.5 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE ACEITES Y GRASAS EN EL EFLUENTE CON LA NORMATIVA AMBIENTAL**



Fuente: Elaboración Propia

#### f. Coliformes Termotolerantes

Se puede apreciar que el afluente en la primera prueba registró valor menor al límite de detección (<1,8 NMP/100 mL), en la segunda y tercera prueba la cantidad de Coliformes fecales varió; registrando un máximo de  $4,9 \times 10^6$  NMP/100 mL.

Esta alta cantidad de Coliformes se debe a que la muestra fue tomada antes de la etapa de cloración. El presente estudio no considera la etapa de cloración.

Este incremento de Coliformes está relacionado a uno de los problemas más frecuentes en la explotación de los procesos de fangos activados que son el fango voluminoso (bulking). Un fango voluminoso es aquel que posee pobres características de sedimentabilidad y escasa compactibilidad. Este problema de bulking está relacionado al crecimiento de organismos filamentosos u organismos que crecen en

<sup>23</sup> Metcalf, Op. Cit., p. 125.

forma filamentosa bajo condiciones adversas, y es la tipología del fenómeno que se presenta con mayor frecuencia.<sup>24</sup>

### 6.1.3. Evaluación de la eficiencia

La mayor eficiencia alcanzada en el presente estudio en términos de remoción de DBO fue de 82,63% (E-2), asimismo existió dificultades en el proceso que ocasionaron tener una menor eficiencia en la tercera prueba.

En el presente capítulo se realiza la comparación de los resultados con la normatividad ambiental, tomando en cuenta este análisis se podrá determinar si las concentraciones finales de cada parámetro evaluado cumplen con la legislación ambiental vigente.

Asimismo de la tabla N° 5.4 Eficiencia de cada parámetro a diferentes tiempos de retención, se tiene lo siguiente:

- El tiempo de retención óptimo para la DBO<sub>5</sub> se presentó a 170 min (E-2) donde la eficiencia de remoción es 82,63 %, esta eficiencia se ajusta a lo descrito en el Metcalf<sup>25</sup> y Norma OS 090<sup>26</sup> de Plantas de tratamiento de aguas residuales; donde se presenta los rangos de (85 - 95 %) y (70 – 95 %) de remoción para un sistema de lodos activados. Este comportamiento se debe a que en el tiempo de 170 minutos se produce buenas condiciones (aireación y concentración de lodos) para la reproducción de las bacterias, y por ende una mayor descomposición de materia orgánica. Asimismo la eficiencia de DBO<sub>5</sub> en E-2 es mayor a E-1 y E-3 debido a que en E-1 se consideró un tiempo de retención menor y en E-3 existió una menor concentración de lodos<sup>27</sup>, por lo que hubo una menor descomposición de materia orgánica.

---

<sup>24</sup> Metcalf & Eddy (1998); Ingeniería de Aguas Residuales; Mc Graw-Hill; Cap. 10;Pg. 630

<sup>25</sup> Metcalf & Eddy (1998). Ingeniería de aguas residuales. (Tomo II - Pg.624).McGraw-Hill

<sup>26,21</sup> Ministerio de Vivienda y construcción. Norma OS.090 Plantas de tratamiento de aguas Residuales.

<sup>27</sup> Tabla N° 5. ¡Error! Sólo el documento principal.: Valores de concentración de lodos

- El tiempo de retención óptimo para los Sólidos suspendidos totales se presentó a 170 min (E-2) donde la eficiencia es 72,23 %. La elección del tiempo óptimo está relacionado a la eficiencia que se presenta en esta prueba; ya que según ítem 4.3.13 selección de los procesos de tratamiento de las aguas residuales<sup>22</sup>; menciona que el sistema de lodos activados obtendrá una remoción de sólidos suspendidos de 70 a 95 %. Este comportamiento es debido a que al existir buenas condiciones en el proceso, iguales que en la DBO existe un consumo de sólidos; reduciendo así su concentración. Es por ello que la eficiencia en E-2 es mayor que en E-3.
- El tiempo de retención óptimo para la DQO y aceites y grasas se presentó a 120 min y 200 min respectivamente. Estas selecciones se realizaron de acuerdo al porcentaje de eficiencia que se presenta para cada caso.

De los resultados obtenidos, el tiempo de tratamiento óptimo para la planta piloto de sistema de lodos activados, es de 170 min, tomando en cuenta que el sistema se adecua a lo descrito en la Norma OS.090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, respecto a la eficiencia. Asimismo se elige este tiempo debido a que se trabajó en condiciones favorables ya sea en el nivel de oxígeno proporcionado, concentración de lodos y a su vez el desarrollo de microorganismos.

Asimismo, teniendo en cuenta las similitudes encontradas se afirma que la mayor eficiencia encontrada se presenta en el segundo tiempo de retención.

Para garantizar una nitrificación completa se requieren edades de lodo entre 12 y 20 días (Romero, 2000). La presente investigación consideró de manera referencial lo descrito en la PTAR San Antonio de Caropongo (Lurigancho-Chosica)(lodos activados) de 10 días de edad de lodo y el tiempo de aclimatación que se utilizó para estabilizar el lodo en los reactores de la planta piloto (15 días). Es así que de manera referencial

se consideró una edad de lodo de 20 días. Ya que para el presente estudio no se estableció un análisis de lodos.

**Finalmente:**

De acuerdo a la comparación realizada se planteó como hipótesis que el agua producida tendría una calidad para el riego de áreas verdes, relacionándose con la categoría III del estándar de calidad ambiental para agua (D.S. N° 002-2008 MINAM). Vale decir también que el ECA es aplicado en cuerpos receptores; pero para el presente estudio se pretendió dar un mayor énfasis a la calidad del agua producida por esta planta piloto; haciendo que ésta presente concentraciones menores a los establecidos por el ECA.

En la actualidad todas las plantas de tratamiento están reguladas por los límites máximo permisibles para plantas de tratamiento de aguas residuales (DS-003-2010 MINAM). Sin embargo para el presente estudio se pretendió producir agua a concentraciones más ajustadas.

De los resultados registrados, concluimos que el agua producida cumple con los LMP requeridos por la autoridad competente, aunque no se pudo llegar a obtener en su totalidad concentraciones inferiores al ECA. El agua producida podría ser utilizada para el riego de áreas verdes, tomando en cuenta que para este uso se deberán realizar actividades adicionales, como:

- Realizar un muestreo adicional de parámetros biológicos del efluente luego de un tratamiento terciario, con la finalidad de que el agua reusada no genere en las áreas verdes en foco de contaminación.
- Establecer los permisos respectivos para el reúso de aguas residuales tratadas, regulada por la Autoridad Nacional del Agua.

## **CAPÍTULO VII CONCLUSIONES**

De la evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas de lodos activados secuenciales, se concluye lo siguiente:

- Se verificó el funcionamiento del sistema de Lodos Activados, revisando el estado de las válvulas tipo solenoide, realizando el mantenimiento de la compresora, revisando estado de las bombas de succión, revisando las conexiones eléctricas, estableciendo la programación del PLC, asegurando la disponibilidad del agua a tratar y aclimatando los lodos activados.
- Se realizó las pruebas al sistema, eligiendo un tiempo de retención inicial para la puesta en marcha. Asimismo, observando el comportamiento de cada tanque en el tratamiento y observando la claridad del agua tratada; se realizó ajustes en el volumen de oxígeno (teniendo en cuenta el OD el cual se mantuvo entre 2 a 8 mg/L), que ingresaba al sistema (abertura aproximada de 45°) y tiempo de retención inicial. Estableciéndose un tiempo inicial de retención de 120 min para la primera prueba, 170 min para la segunda prueba y 200 min para la tercera prueba.
- Se evaluó la composición del agua en tres oportunidades, teniendo en cuenta los tiempos de retención de: 120 min, 170 min y 200 min, presentándose en la tabla N° 5.3 del presente informe, los resultados de calidad de agua del afluente y efluente.
- Se analizó los resultados obtenidos, relacionando al Tiempo de Retención Hidráulica (TRH), conforme fue aumentando (1er Prueba y 2da Prueba), fue incrementándose el porcentaje de remoción. Sin embargo para la 3ra Prueba, adicionalmente a la variación del TRH, también existió una variación significativa en la concentración de lodos. Por lo que el principio citado no se cumplió a exactitud. La máxima eficiencia registrada para la DBO se presentó a 170 min con 82% de eficiencia, para la DQO se presentó a 120 min con 49,09%, para los STS presentó a 170 min con 72,23 % y para los A y G a 200 min con 75,29 %.

- Se comparó los resultados del efluente con la normatividad ambiental vigente (Cat. III del D.S. N° 002-2008-MINAM), para los parámetros de DBO, DQO, Aceites y Grasas y Sólidos Suspendidos, siendo ligeramente superiores a la norma. Sin embargo estos mismos resultados cumplieron con los límites máximos permisibles para plantas de tratamiento (D.S. N° 003-2010-MINAM).

Finalmente, se evaluó la eficiencia del sistema tomando en cuenta la composición del afluente y efluente. Así también mediante la comparación de los resultados del efluente con la normativa ambiental vigente, se concluye que el agua producida podrá ser utilizada para el riego de áreas verdes, de los resultados con respecto a los CF, estos han de ser reducidos adicionando la etapa de desinfección con dosis de cloro, etapa que no se consideró en el presente trabajo de investigación.

## **CAPITULO VIII RECOMENDACIONES**

- Tener en cuenta los parámetros del proceso de lodos activados, ya que la mínima variación de éstos influye en la concentración de la DBO, DQO, AyG, SST y pH.
- Realizar el mantenimiento de las bombas, compresora, válvulas y sistema de control.
- Implementar el sistema de lodos Activados como unidad operativa para la docencia, propiciando la investigación científica, con tendencia a buscar alternativas técnicas de solución a la problemática de tratamiento, disposición y reúso inadecuado de las aguas residuales domésticas.
- Implementar en el riego de áreas verdes, considerando los siguientes aspectos:
  - Realizar un muestreo adicional de parámetros biológicos del efluente luego de un tratamiento terciario (cloración), con la finalidad de que el agua reusada no genere en las áreas verdes un foco de contaminación.
  - Establecer los permisos respectivos para el reúso de aguas residuales tratadas, regulada por la Autoridad Nacional del Agua.
- Se propone el uso de enzimas o biopelículas para optimizar tiempos de tratamiento y una mejor eficiencia de remoción.
- Implementar el sistema en pequeñas dimensiones para ser utilizada en las edificaciones residenciales multifamiliares.

## **CAPITULO IX REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **9.1. BIBLIOGRÁFICAS.-**

- **BACA NEGLIA M., “Tratamiento de los Efluentes Domésticos mediante Humedales Artificiales para el Riego de Aéreas Verdes en el Distrito de San Juan de Marcona”, Tesis para optar el Grado Académico Maestro en Investigación y Docencia Universitaria - 2012.**
- **METCALF Y EDDY, Ingeniería de las Aguas Residuales. Vol. I, II. España, Editorial McGraw-Hill. 1998.**
- **STANDARD METHODS, FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, Tomos I y II, Prepared and Publishes Jointly by APHA, AWWA and WEF. 2005.**
- **U.S. ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY: Secuencing Batch Reactors, EPA/625/8-86/011, Cincinnati, OH, Octubre 1986.**
- **Von Sperling M, Principios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Lodos Ativados. Belo Horizonte, Brasil. 2ª ed. DESA, UFMG. 2002.**
- **Cesar Valdez, Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales, México, fundación ICA, 2003**
- **AQUA AEROBICS. Manual de Procesos de Tratamiento Reactor SBR., P 8**
- **Universidad de la Salle, Diagnostico y Optimización del Sistema Operativo y de Mantenimiento del Proceso de Lodos Activados en la Planta de Tratamiento “Los Arellano” en el Estado de Aguascalientes, México, Colombia, 2010**
- **VIVIENDA, D.S. N° 011-2006- Reglamento nacional de Edificaciones, OS.090 Plantas de Tratamiento de Aguas residuales, P 3-15. 2006**
- **MINAM, D.S. N° 003-2010- Límites máximos permisibles para plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, 2010**
- **MINAM, D.S. N° 002-2008- Estándares de Calidad Ambiental para agua, 2008.**

## 9.2. REVISTAS, FOLLETOS, OTROS.-

- Cardenas Carmen, Yabroudi Suher, Benitez Adrina, et. al (2012); **Desempeño de un Reactor Biologico Secuencial (RBS) en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas**; Venezuela, Disponible en:  
<<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/37294/39458>>
- CARDENAS, Carmen et al. **Remoción de nutrientes en un reactor discontinuo secuencial**. *INCI*. 2006, vol.31, pp. 794 - 801. Disponible en:  
<[http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442006001100004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006001100004&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0378-1844.
- FIGMMG instituto de investigación. **Tratamiento de Aguas Residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio** [en línea]. 2004, Vol. 7, N°14, 74-83 [citado 2013-08-13], Disponible en:  
<<http://revistas.concytec.gob.pe/pdf/iigeo/v7n14/a10v7n14.pdf>
- TEJERO, Jorge et al. (2007); **Análisis del Reactor de Lodos Activados de La Planta Centenario**. Disponible en:  
<[http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2007\\_Vol\\_2/Num\\_1/7\\_JT\\_VolIII\\_63-71\\_2007.pdf](http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2007_Vol_2/Num_1/7_JT_VolIII_63-71_2007.pdf)
- Moscoso, Julio Cesar (2011); **Estudio de Opciones de Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales en Lima Metropolitana**. 2011, Disponible en:  
<[http://www.lima-water.de/documents/jmoscoso\\_informe.pdf](http://www.lima-water.de/documents/jmoscoso_informe.pdf)

**X APÉNDICES**

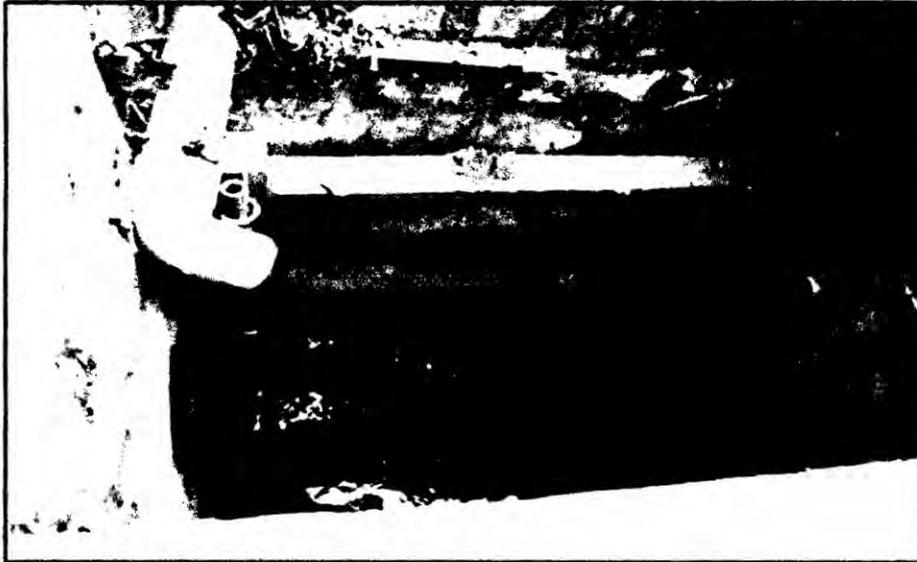
**APÉNDICE N° 10.1.- TIEMPOS DE TRATAMIENTO PROGRAMADOS DURANTE EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

Pruebas										
1	15	20	25	15	20	25	2 h	Efluente claro, sin presencia de partículas a simple vista.		
2	20	30	30	20	30	30	2 h 40 min	Presencia de Turbiedad en el efluente		
3	20	30	45	20	30	45	3 h 10 min	Presencia de Turbiedad en el efluente		
4	15	15	15	15	15	15	1h 30 min	Presencia de mayor turbiedad del efluente		
5	20	30	35	20	30	35	2 h 50 min	El efluente se mostró más claro en comparación con el afluente		
6	25	35	40	25	35	40	3 h 20 min	El efluente se mostró más claro en comparación con el afluente		

**APÉNDICE N° 10.2. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS**

**Vista N° 10.2.1.**

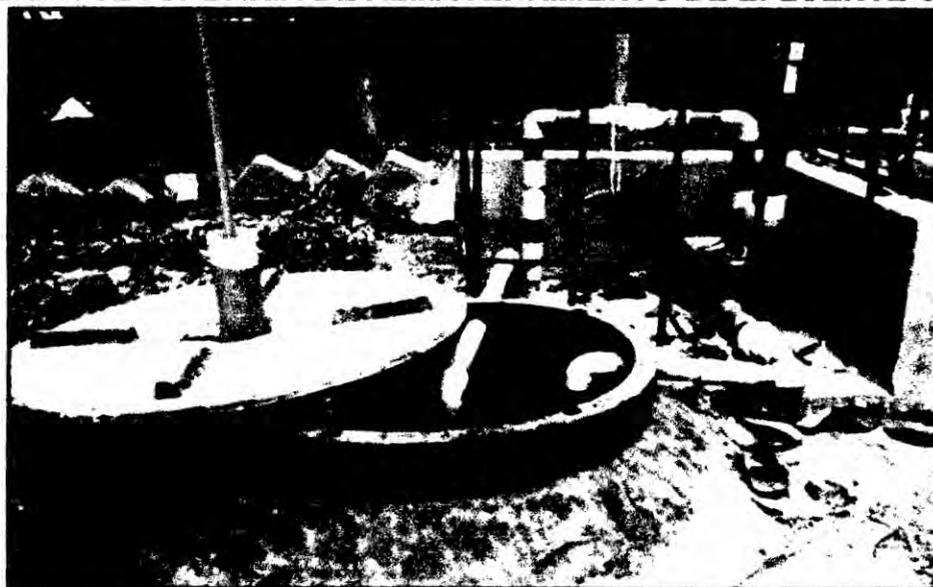
**REJA DE DESBASTE DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Vista N° 10.2.2.**

**CISTERNA SECUNDARIA DE ALMACENAMIENTO DE EFLUENTE CRUDO**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Vista N° 10.2.3.**

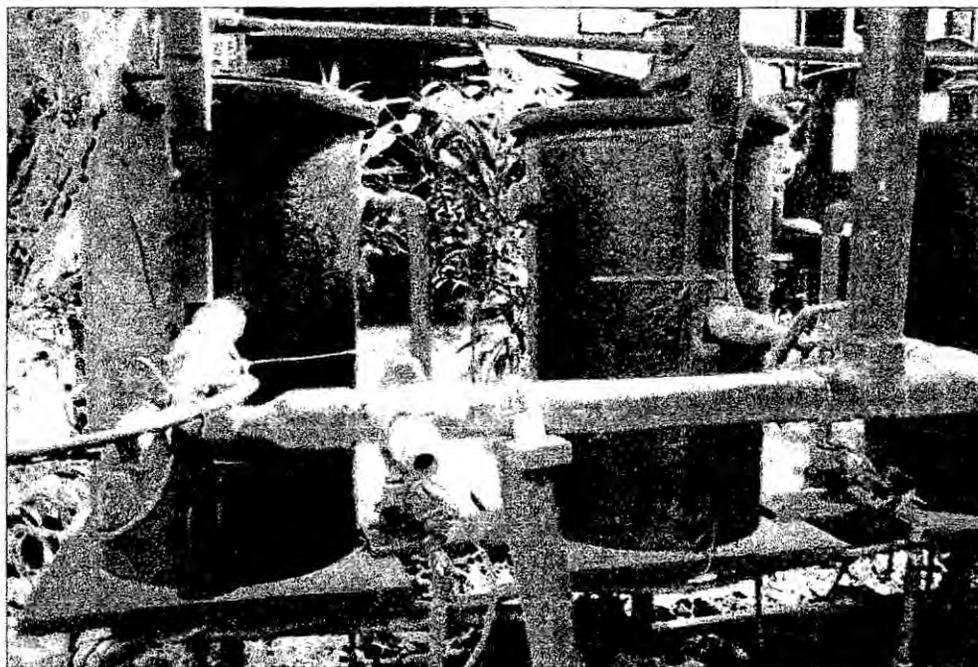
**TANQUES ELEVADOS PARA DISTRIBUIR POR GRAVEDAD EL AGUA  
CRUDA**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Vista N° 10.2.4.**

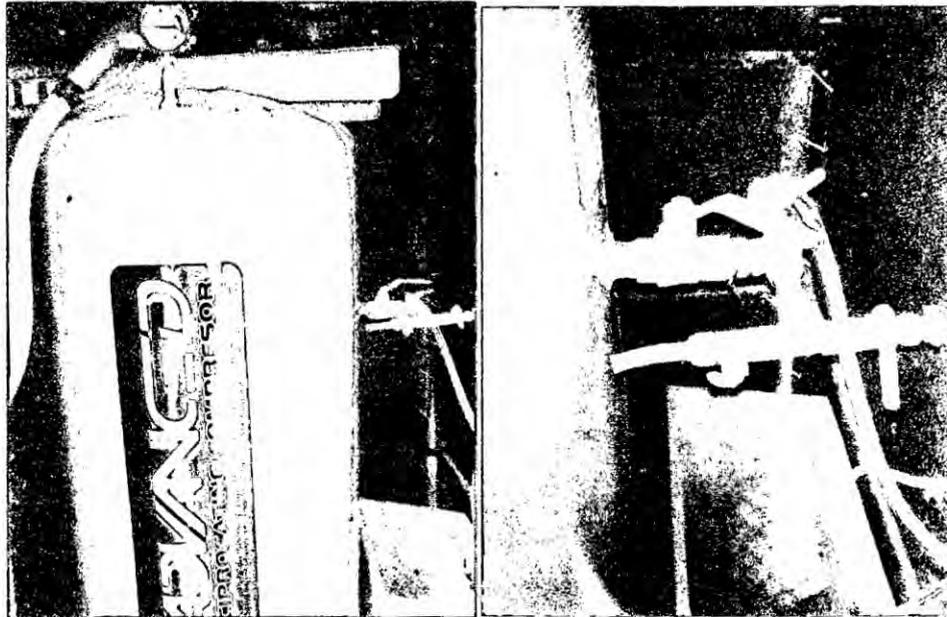
**TUBERÍA DE INGRESO DEL AFLUENTE Y LLAVE PARA TOMA DE  
MUESTRA**



**Fuente: Elaboración Propia**

Vista N° 10.2.5.

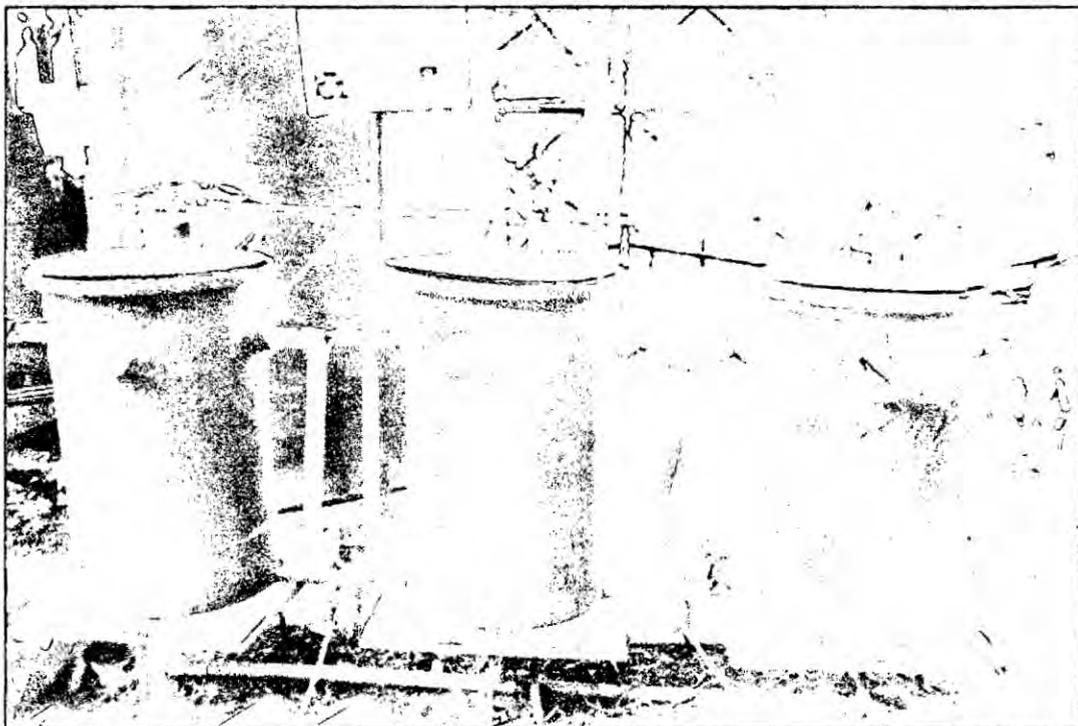
**COMPRESORA Y SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE**



Fuente: Elaboración Propia

Vista N° 10.2.6.

**TANQUES REACTORES PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA CRUDA**



Fuente: Elaboración Propia

Vista N° 10.2.7.

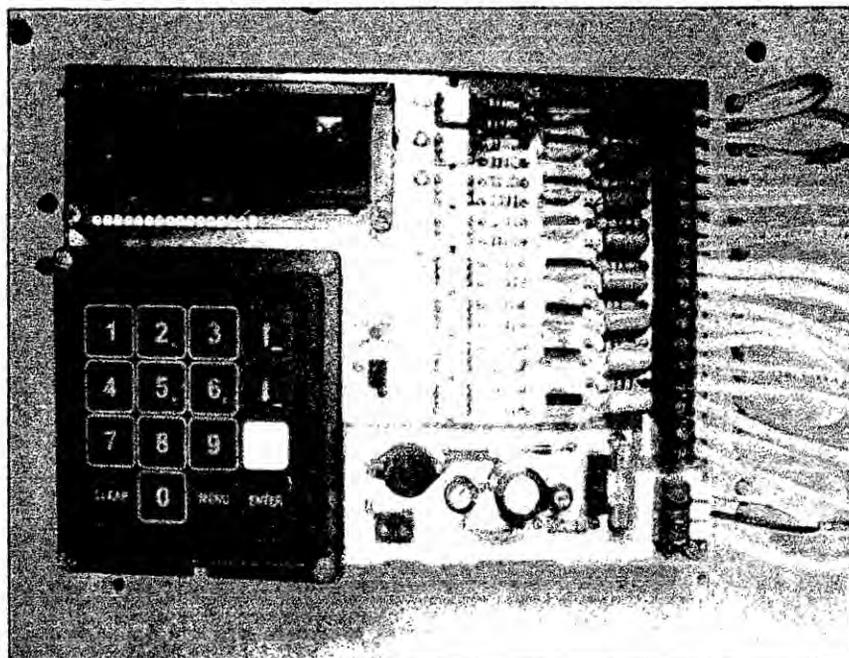
**SALIDA DEL EFLUENTE TRATADO Y LLAVE  
PARA TOMA DE MUESTRA**



Fuente: Elaboración Propia

Vista N° 10.2.8.

**SISTEMA DE CONTROL DEL TRATAMIENTO**



Fuente: Elaboración Propia

**APÉNDICE Nº 10.3.- REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA PARTE EXPERIMENTAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS**

**Vista Nº 10.3.1.**

**ADICIÓN DE LODOS ACTIVADOS**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Vista Nº 10.3.2.**

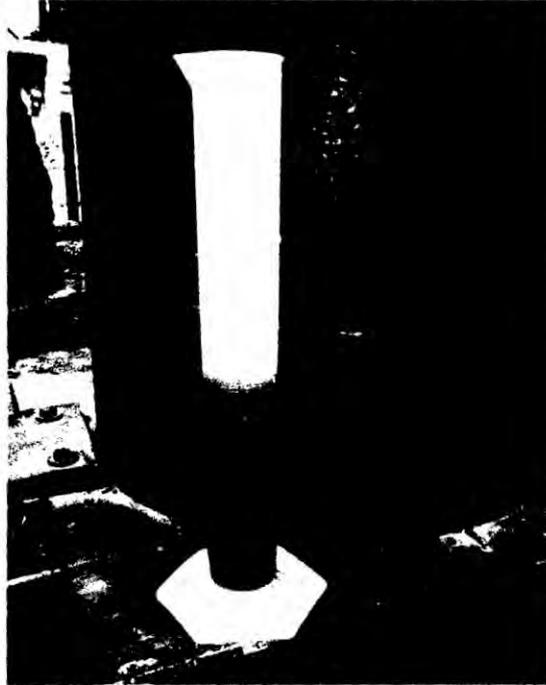
**REACCIÓN DEL SISTEMA**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Vista N° 10.3.3.**

**MEDICION DE LA CONCENTRACION DE LODOS**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Vista N° 10.3.4.**

**FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE ESPUMAS**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Vista N° 10.3.5.**

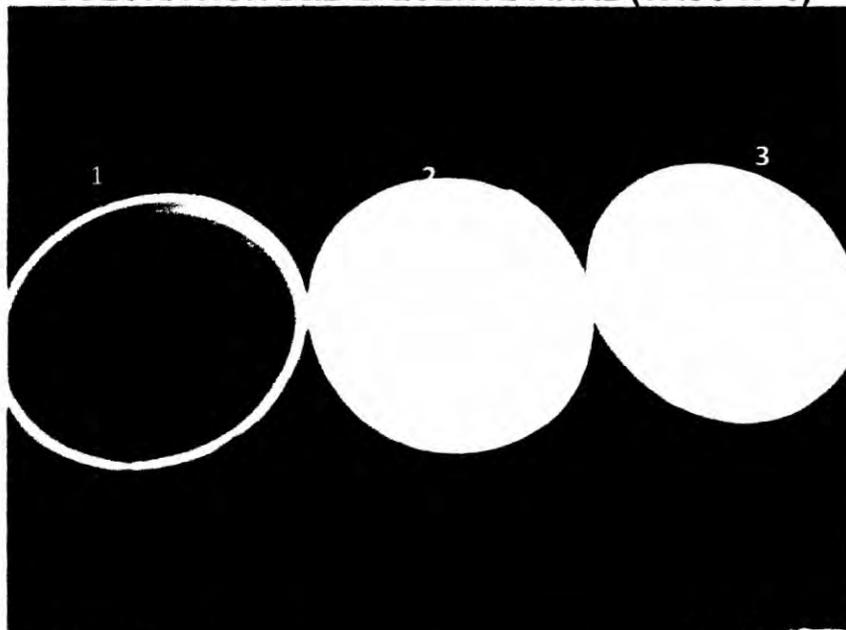
**MEDICIÓN DEL CAUDAL DEL EFLUENTE**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Vista N° 10.3.6.**

**COLORACIÓN DEL EFLUENTE FINAL (VASO N° 3)**



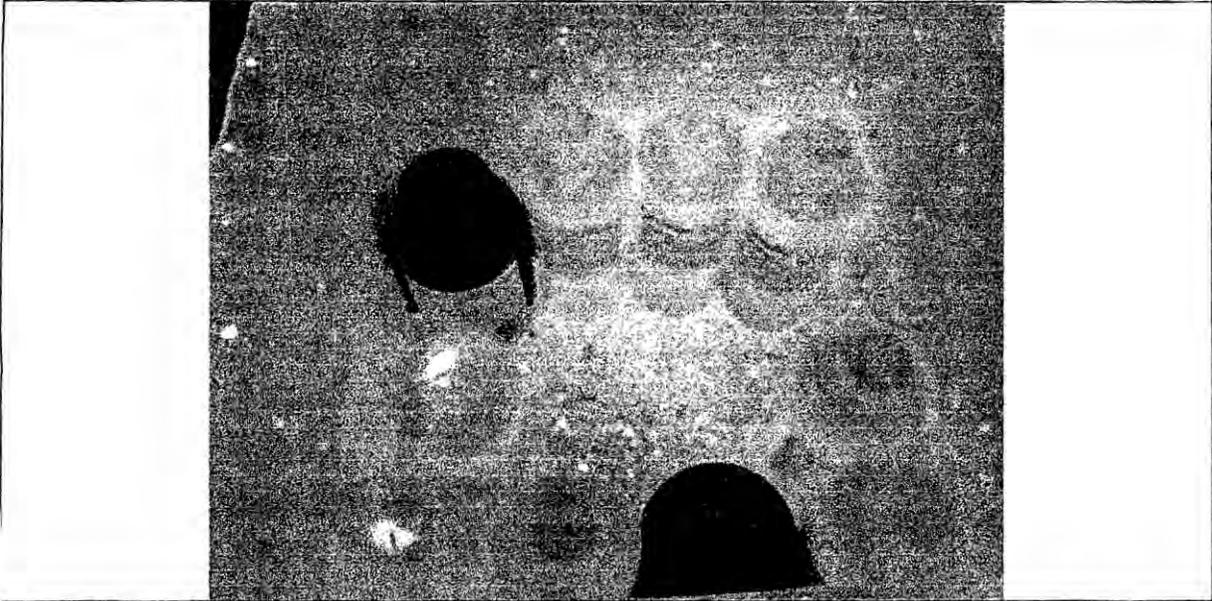
**Fuente: Elaboración Propia**

**APÉNDICE N° 10.4.- REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL MUESTREO DEL  
AGUA RESIDUAL TRATADA**

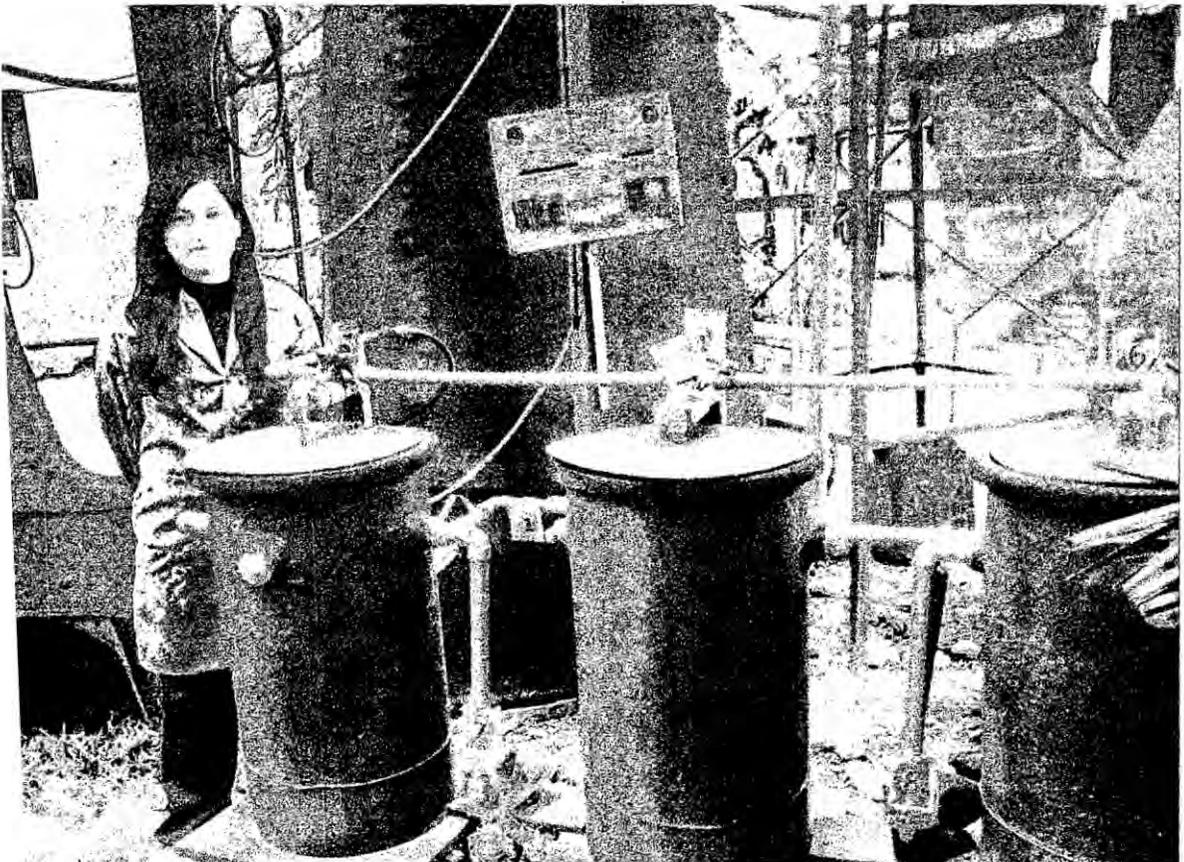
**10.4.1. Muestreo del efluente (DBO, DQO, pH, STS, Ac y G)**

	
<p><b>Toma de muestra efluente (DBO)</b></p>	<p><b>Toma de muestra efluente (colif. Termotolerantes)</b></p>
	
<p><b>Toma de muestra efluente (AyG)</b></p>	<p><b>Toma de muestra afluente (ph, STS)</b></p>

#### 10.4.2. Traslado de muestras



#### 10.4.3. Sistema de Lodos activados



ANEJO 11.1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA EL RIEGO DE ÁREAS VERDES EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS DE LA PLANTA PILOTO DE LA FIARN-UNAC					
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	VARIABLE	INDICADOR	MÉTODO A EMPLEAR
<p>En qué medida la planta piloto del tipo de Lodos Activados de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales permitirá la obtención de agua de Categoría III del ECA?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL:</b>                      Evaluar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales domésticas en el sistema de lodos activados para la obtención de agua Categoría III.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar el funcionamiento del sistema de lodos activados.</li> <li>• Realizar las pruebas al sistema de lodos activados.</li> <li>• Evaluar la composición del agua al ingreso y salida del tratamiento</li> <li>• Analizar los resultados obtenidos en la evaluación del agua al ingreso y salida</li> <li>• Comparar los resultados del agua tratada con el ECA agua Categoría III</li> </ul>	<p>La planta piloto de lodos activados al operar eficientemente producirá agua de calidad tratada, que cumpla con los parámetros de la Categoría III (ECA Agua).</p>	<p><b>Independiente X:</b>                      Planta piloto de lodos activados.</p> <p><b>Dependiente Y:</b>                      Calidad de agua de categoría III</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal, (M<sup>3</sup>/s)</li> <li>- Carga volumétrica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d)</li> <li>- Periodo de tratamiento</li> <li>- Concentración de lodos</li> <li>- Potencial Hidrogeno (pH)</li> <li>- Demanda Química de Oxígeno (DQO)</li> <li>- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>3</sub>)</li> <li>- Aceites y Grasas.</li> <li>- Sólidos Totales</li> <li>- Suspendedos</li> <li>- Coliformes Fecales. NMP/100 ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Correntómetro</li> <li>Diseño Hidráulico</li> <li>Diseño Hidráulico</li> <li>Cono Inhoff</li> <li>4500-H</li> <li>5220-B</li> <li>5210-B</li> <li>5220-B</li> <li>2540-D</li> <li>9221-E</li> </ul>



## INFORME DE ENSAYO N° 3-12880/14

Pág. 2/2

**Métodos:**

**Aceites y Grasas:** EPA Methods 1664, Revisión B 2010. n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 5210 B, 22 nd. Ed. 2012. Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 - Day BOD Test.

**Demanda Química de Oxígeno:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012 Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, colorimetric method.

**pH:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-H<sup>+</sup> B. 22 nd. Ed. 2012. pH Value. Electrometric Method.

**Sólidos totales:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2540 B. 22 nd Ed. 2012. Solids. Total Solids Dried at 103 °C – 105 °C.

**Coliformes termotolerantes:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 E-1. 22nd. Ed. 2012. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform, Procedures. Thermotolerant coliform test (EC medium).

### OBSERVACIONES

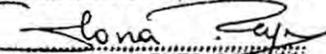
Prohibida la reproducción total o parcial de este Informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

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

Callao, 18 de Julio del 2014

WL

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

  
QUIM. GLORIA REYES ROBLES  
C.C.P. N° 400  
JEFE DE LABORATORIOS

**INFORME DE ENSAYO N° 3-13943/14**

Pág. 1/2

Solicitante : **FARFAN REYES, MIRIAM**  
Domicilio Legal : Jr. Ferrocarril N° 169 José Gálvez – Villa Maria del Triunfo – Lima  
Producto Declarado : **AGUA RESIDUAL**  
Cantidad de muestra para ensayo : 02 muestras x 10 L.  
**Muestra proporcionada por el Solicitante**  
Forma de Presentación : En frascos de plástico y vidrio cerrados, preservados y refrigerados.  
Identificación de la muestra : Según se indica.  
Fecha de recepción : 2014 – 07 – 25  
Fecha de inicio del ensayo : 2014 – 07 – 25  
Fecha de término del ensayo : 2014 – 08 – 01  
Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / Microbiología  
Identificada con : **H/S 14011104 ( 12251 )**  
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita.

**Análisis Microbiológico:**

Muestras	Ensayo / Resultados
	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)
E02	4 900 000
S02	7 900 000

**Análisis Físico Químico:**

Ensayos	Muestras / Resultados	
	E02	S02
Aceites y Grasas (mg/L) (LD: 0.50 mg/L)	20.6	6.43
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2.00 mg/L)	334	58.0
Demanda Química de Oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L) (LD: 10.0 mg/L)	530.4	356.9
Sólidos totales (mg/L) (LD: 5.00 mg/L)	148	41.1
pH (LD: 1.00 unidad de pH)	8.59	8.50

LD: Límite de detección





**INFORME DE ENSAYO N° 3-13943/14**

**Métodos:**

• **Extractivos y Grasas:** EPA Methods 1664, Revisión B 2010. n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.

• **Demanda Bioquímica de Oxígeno:** SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part 5210 B, 22 nd. Ed. 2012. Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 - Day BOD Test.

• **Demanda Química de Oxígeno:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012 Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, colorimetric method.

• **pH:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-H<sup>+</sup> B. 22 nd. Ed. 2012, pH Value. Electrometric Method.

• **Sólidos totales:** SMEWW- APHA-AWWA-WEF, Part 2540 B, 22 nd Ed. 2012. Solids. Total Solids Dried at 103 °C – 105 °C.

• **Coliformos termotolerantes:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 E-1, 22nd. Ed. 2012. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform, Procedures. Thermotolerant coliform test (EC medium).

**OBSERVACIONES**

Queda prohibida la reproducción total o parcial de este Informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

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

Callao, 05 de Agosto del 2014

A

ERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. ROSA PALOMINO LOO  
C.I.P. N° 48302  
JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

**INFORME DE ENSAYO N° 3-15197/14**

Solicitante : **FARFAN REYES, MIRIAM**  
 Domicilio Legal : Jr. Ferrocarril N° 169 José Gálvez – Villa Maria del Triunfo – Lima  
 Producto Declarado : **AGUA RESIDUAL**  
 Cantidad de muestra para ensayo : 02 muestras x 10 L.  
**Muestra proporcionada por el Solicitante**  
 Forma de Presentación : En frascos de plástico y vidrio cerrados, preservados y refrigerados.  
 Identificación de la muestra : **Fecha de muestreo: 2014.08.12**  
 Según se indica.  
 Fecha de recepción : 2014 – 08 – 12  
 Fecha de inicio del ensayo : 2014 – 08 – 12  
 Fecha de término del ensayo : 2014 – 08 – 17  
 Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / Microbiología  
 Identificada con : **H/S 14011987 ( 13200 )**  
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita.

**Análisis Microbiológico:**

Muestras	Ensayo / Resultados
	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)
S03	46 000 000
E03	790 000

**Análisis Físico Químico:**

Ensayos	Muestras / Resultados	
	S03	E03
Aceites y Grasas (mg/L) (LD: 0,50 mg/L)	5,09	20,6
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	34,8	138
Demanda Química de Oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L) (LD: 10,0 mg/L)	192,1	291,9
pH (LD: 1,00 unidad de pH)	7,80	8,27
Sólidos suspendidos totales (mg/L) (LD: 5,00 mg/L)	33,6	79,1

LD: Limite de detección





## INFORME DE ENSAYO N° 3-15197/14

**Métodos:**

**Coliformes termotolerantes:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 E-1, 22nd. Ed. 2012. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform. Procedures. Thermotolerant coliform test (EC medium).  
**Aceites y Grasas:** EPA Methods 1664, Revisión B 2010. n-Hexane Extractable Material (HEM: Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM: Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.  
**Demanda Bioquímica de Oxígeno:** SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part 5210 B, 22 nd. Ed. 2012. Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 - Day BOD Test.  
**Demanda Química de Oxígeno:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux. colorimetric method.  
**pH:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-H<sup>+</sup> B. 22 nd. Ed. 2012. pH Value. Electrometric Method.  
**Sólidos Suspensos:** SMEWW- APHA AWWA-WEF Part 2540 D. 22 nd Ed. 2012. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 – 105°C.

### OBSERVACIONES

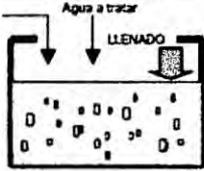
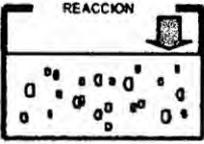
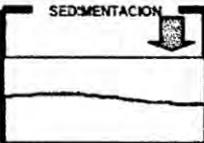
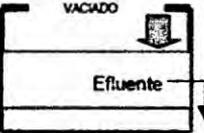
Prohibida la reproducción total o parcial de este Informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.  
Los resultados de los ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 20 de Agosto del 2014  
NB

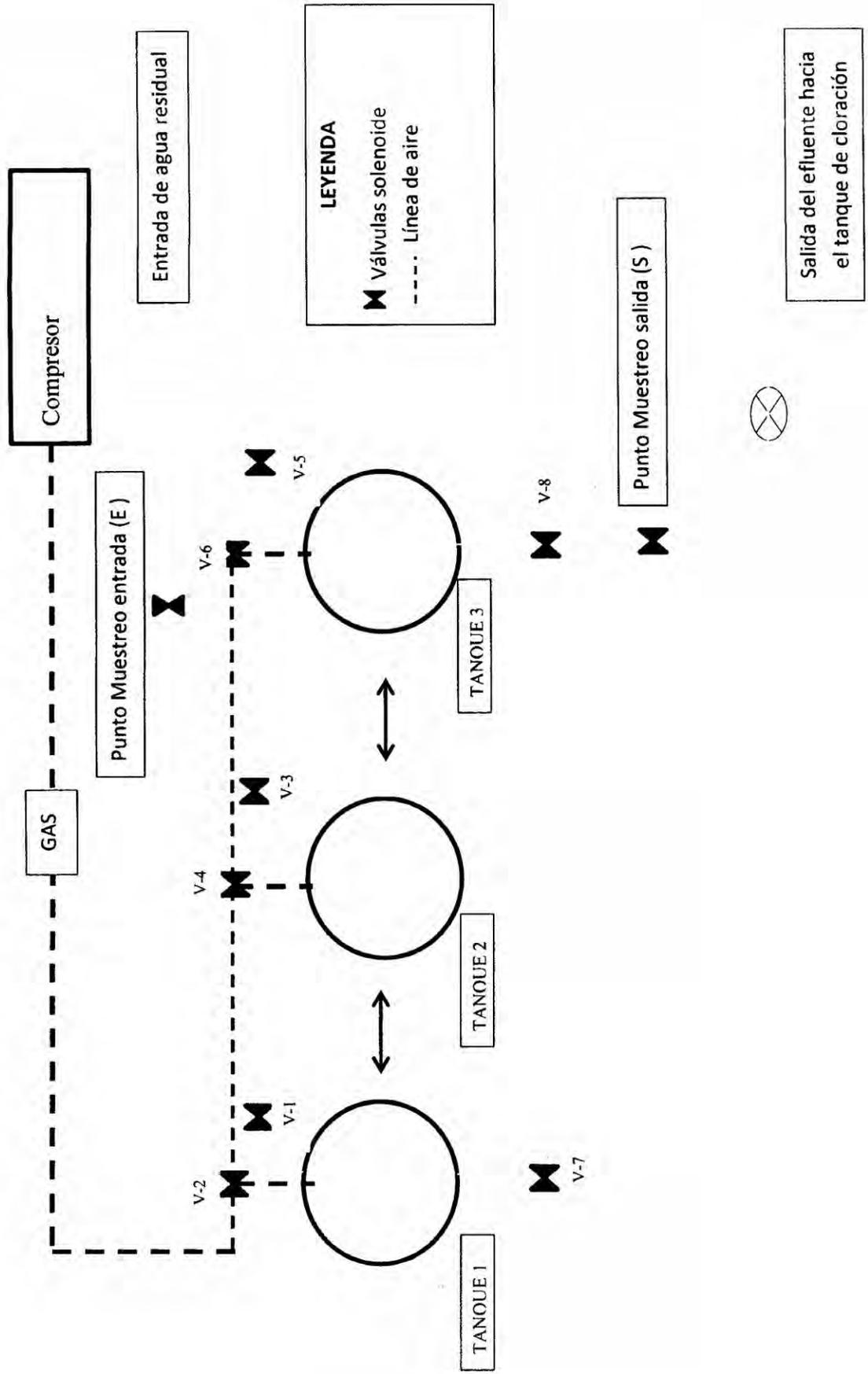
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. ROSA PALOMINO LOO  
C.I.P. N° 40302  
JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

### ANEXO N° 11.3. FASES DE FUNCIONAMIENTO DE UN SBR.

de nami o		% de Volume n	Duraci ón del ciclo		Objetiv Operac
do	El objetivo de esta fase es la adición de sustrato (agua residual bruta o efluente primario) al reactor. Esta fase permite que el nivel del líquido en el depósito ascienda desde cerca del 25 por 100 de la capacidad (al final de la fase inactiva hasta el 100 por 100 de su capacidad. Este proceso suele llevar aproximadamente el 25 por 100 de la duración total del ciclo.	25 a 100	25		Aire On /Off  Adición Sustrato
ión	El propósito de esta fase es que se completen las reacciones iniciadas durante la fase de llenado. El licor mezclado se airea por un tiempo específico hasta alcanzar el efluente de diseño. Suele ocupar el 35 por 100 de la duración total del ciclo.	100	35		Aire On /Ciclo  Tiempo de Reacción
ntac i	Se detiene la aireación y los sólidos se sedimentan en el fondo del tanque. El objetivo de esta fase es permitir la separación de sólidos, para conseguir un sobrenadante clarificado como efluente. En un reactor de este tipo, este proceso suele ser mucho más eficiente que un reactor de flujo continuo debido a que el contenido del reactor está completamente en reposo.	100	20		Aire Off Clarificac
do	El propósito de esta fase es la extracción del agua clarificada del reactor. Actualmente se emplean muchos métodos de decantación siendo los más empleados los vertederos flotantes o ajustables. El tiempo que se dedica al vaciado del reactor puede durar entre el 20 y el 50 por 100 de la duración total del ciclo (entre 15 minutos y 2 horas), siendo 45 minutos una duración típica.	100 a 35	15		Aire Off Vaciado efluente
e iva	El objetivo de esta fase en un sistema de múltiples tanques es permitir que un reactor termine su fase de llenado antes de conectar a otra unidad. Puesto que no es una fase necesaria, en algunos casos se omite.	35 a 25	5		Aire On /Off  Purga Fangos

ANEXO N° 11. 4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS.



**ANEXO N° 11. 5. DECRETO SUPREMO N° 002-2008-MINAM:  
“ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA”,  
CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES (TALLO BAJO Y TALLO ALTO).**

<b>PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>Fisicoquímicos</b>		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	< 2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos- P	mg/L	1
Nitratos (NO <sub>3</sub> - N)	mg/L	10
Nitritos (NO <sub>2</sub> - N)	mg/L	0.06
Oxígeno Disuelto	mg/L	$\geq$ 4
Ph	Unidad de pH	6.5 - 8.5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0.05
<b>Inorgánicos</b>		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0.05
Bario total	mg/L	0.7
Boro	mg/L	0.5 – 6
Cadmio	mg/L	0.005
Cianuro Wad	mg/L	0.1
Cobalto	mg/L	0.05
Cobre	mg/L	0.2
Cromo (6+)	mg/L	0.1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2.5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0.2
Mercurio	mg/L	0.001
Níquel	mg/L	0.2
Plata	mg/L	0.05
Plomo	mg/L	0.05
Selenio	mg/L	0.05
Zinc	mg/L	2
<b>Orgánicos</b>		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0.001
S.A.A. M. (Detergentes)	mg/L	1
<b>Plaguicidas</b>		
Aldicarb	$\mu$ g/L	1
Aldrín (CAS 309-00-2)	$\mu$ g/L	0.004

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
Parámetros	Unidad	Valor
Clordano (CAS 57-74-9)	µg/L	0.3
DDT	µg/L	0.001
Dieldrín (N° CAS 72-20-8)	µg/L	0.7
Endrín	µg/L	0.004
Endosulfán	µg/L	0.02
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y Heptacloripoxido	µg/L	0.1
Lindano	µg/L	4
Paratión	µg/L	7.5

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES			
Parámetros	Unidad	Vegetales Tallo Bajo	Vegetales Tallo Alto
		Valor	Valor
<b>Biológicos</b>			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000	2000 (3)
Coliformes Totales	NMP/100 mL	5000	5000 (3)
Enterococos	NMP/100 mL	20	100
Escherichia coli	NMP/100 mL	100	100
Huevos de Helmintos	huevos/litro	< 1	< 1 (1)
Salmonella sp.	Ausente		Ausente
Vibrión cholerae	Ausente		Ausente

**NOTA:**

**NMP/100:** Número más probable en 100 mL.

**Vegetales de Tallo Alto:** Son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tienen una buena longitud de tallo. Las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros). Ejemplo: Forestales, árboles frutales, etc.

**Vegetales de Tallo Bajo:** Son plantas cultivables o no, frecuentemente porte herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo (10 a 50 cm). Ejemplo: Hortalizas y verduras de tallo corto, como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y arveja, etc.

**S.A.A.M.:** Sustancias activas de azul de metileno.

**ANEXO N° 11.6. DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS</b>
Aceites y Grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
Ph	Unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35