

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



TITULO

**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE
LODOS ACTIVADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA
RESIDUAL DOMESTICA DEL DISTRITO DE SAN
MIGUEL”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR

**CASTILLO MELGAREJO ROSA EMILIA
CÁRDENAS MEJIA JONATHAN CHRISTIAN**

ASESOR

ING. JUAN TAUMATURGO MEDINA COLLANA

CALLAO – 2019

PERÚ

DEDICATORIA

A mis padres Alfredo y Emilia por su inmenso amor incondicional y las fuerzas brindadas en esta etapa de desarrollo de la investigación, por siempre creer en mí.

A mi hermano Jesús y mi prima Denis por su constante apoyo

A mis grandes amigos William y Jorge por guiar mi desarrollo profesional

Nim, Andrea, Wess, Peggy, Jon por su bella amistad y los ánimos brindados.

A todos mis familiares por festejar cada uno de mis logros como propios.

Emilia Castillo Melgarejo

DEDICATORIA

A DIOS, por su bendición en esta lucha constante, a mis padres Alfonso y Noemí por su constante apoyo, por sus palabras de aliento y por su inmenso amor de padres en esta meta profesional.

A mis hermanos; Kevin, Yessenia y Gabriela, por sus palabras de aliento y alegría que me brindan día a día en mi vida.

A mis grandes amistades como Santiago, Roberto y Emilia por sus consejos y ánimos brindados.

A mis familiares en general por la motivación y ánimos brindados en todo momento.

Jonathan Cárdenas Mejía

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	15
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1. Determinación del problema.....	16
1.2. Formulación del problema	17
1.2.1. Problema general.....	17
1.2.2. Problema específico.....	17
1.3. Objetivos de la investigación	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. Limitantes de la investigación.....	18
1.4.1. Teórico	18
1.4.2. Temporal.....	18
1.4.3. Espacial.....	18
II. MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes de estudio.....	20
2.1.1. Internacionales.....	20
2.1.2. Nacionales.....	21
2.2. Bases Teóricas.....	22
2.2.1. Proceso de la planta de tratamiento del agua residual en San Miguel.....	22
2.2.2. Aguas residuales.....	27
2.2.3. Aguas residuales domesticas.....	31
2.2.4. Marco legal.....	36
2.3. Conceptual.....	38
2.3.1. Proceso aerobio de cultivo en suspensión.....	38
2.3.2. Lodos activados.....	38
2.3.3. Clasificación de lodos producidos en el proceso.....	38
2.3.4. Descripción del proceso de lodos activados.....	39
2.3.5. Componentes del proceso de lodos activados.....	40
2.3.6. Tipos de procesos de lodos activados.....	41
2.3.7. Mecanismo de remoción.....	42
2.3.8. Microbiología de lodo activado.....	42
2.3.9. Cinética de crecimiento.....	43
2.3.10. Parámetros operacionales.....	45
2.3.11. Parámetros de diseño.....	46
2.3.12. Descripción del proyecto.....	52

2.4. Definición de términos básicos.....	53
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	56
3.1. Hipótesis.....	56
3.1.1. Hipótesis general.....	56
3.1.2. Hipótesis específica.....	56
3.2. Definición conceptual de variables.....	56
3.2.1. Operacionalización de variables.....	57
IV. DISEÑO METODOLÓGICO.....	58
4.1. Tipo y diseño de investigación.....	58
4.1.1. Tipo de investigación.....	58
4.1.2. Diseño de investigación.....	58
4.2. Método de investigación.....	60
4.2.1. Determinación de las variables de diseño.....	60
4.2.2. Diseño de Taguchi de la experimentación.....	61
4.3. Población y muestra.....	64
4.3.1. Población.....	64
4.3.2. Muestra.....	64
4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado.....	64
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de información.....	65
4.5.1. Técnicas analíticas.....	65
4.5.2. Instrumentos para la recolección de datos.....	67
4.6. Análisis y procesamiento de datos.....	72
4.6.1. Procesamiento operativos en la construcción puesta en marcha y evaluación de los parámetros.....	72
4.6.2. Evaluación de los parámetros de operación del proceso de lodos activados.....	90
4.6.3. Caracterización fisicoquímica del agua residual doméstica.....	91
4.6.4. Proceso de lodos activados.....	93
4.6.5. Evaluación de la eficiencia.....	95
V. RESULTADOS.....	96
5.1. Resultados descriptivos.....	96
5.2. Resultados inferenciales.....	102
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	125
CONCLUSIONES.....	127
RECOMENDACIONES.....	128

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	129
ANEXOS	132
– Matriz de consistencia.....	132
– Resultados experimentales.....	133
– Parámetros de control del proceso de lodos activados.....	134
– Determinación de los sólidos suspendidos totales.....	134
– Obtención de los sólidos suspendidos totales.....	136
– Determinación de los sólidos suspendidos volátiles.....	136
– Obtención de los sólidos suspendidos volátiles.....	138
– Montaje del modelo del tratamiento del agua residual domestica.....	138
– Informe de laboratorio acreditado del agua residual domestica sin tratamiento.....	139
– Informe de laboratorio acreditado del agua residual domestica con tratamiento.....	142
– Certificación de los análisis de los sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles en el Instituto de investigación de Especialización de Agroindustria.....	145

Tablas de contenido

Tabla 1. Clasificación de los microorganismos.....	31
Tabla 2. Composición de las aguas residuales domesticas.....	32
Tabla 3. Tipos de tratamientos de aguas residuales.....	34
Tabla 4. Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR.....	37
Tabla 5. Tipos de procesos de lodos.....	41
Tabla 6. Operacionalización de variables.....	57
Tabla 7. Variables de diseño.....	61
Tabla 8. Factores y niveles seleccionados.....	62
Tabla 9. Código de valores.....	62
Tabla 10. Diseño de Taguchi de las combinaciones de las variables del proceso.....	63
Tabla 11. Materiales de vidrio usado en el proceso.....	67
Tabla 12. Accesorios del módulo de tratamiento por lodos activados.....	69
Tabla 13. Equipos de trabajo.....	71
Tabla 14. Reactivos.....	72
Tabla 15. Medida de SSV del reactor.....	77
Tabla 16. Medida de los caudales suministrados.....	79
Tabla 17. Medida de los SSV en el sistema.....	86
Tabla 18. Condiciones de sedimentabilidad.....	87
Tabla 19. Condiciones de sedimentabilidad producido en el tratamiento.....	88

Tabla 20. Resultados de relación alimento-microorganismo (F/M).....	89
Tabla 21. Caracterización del agua residual domestica cruda.....	96
Tabla 22. Parámetros de control del proceso de lodos activados en el reactor.....	96
Tabla 23. Parámetros de control del proceso de lodos activados en el reactor.....	98
Tabla 24. Caracterización final del agua residual domestica para el % remoción DQO.....	99
Tabla 25. Caracterización final del agua residual domestica para el % remoción SST.....	100
Tabla 26. Caracterización final del agua residual domestica para el % Turbidez.....	101
Tabla 27. Análisis de Taguchi.....	102
Tabla 28. Coeficientes de modelos estimados para relaciones SN.....	102
Tabla 29. Resumen del modelo.....	103
Tabla 30. Análisis de varianza de relaciones SN.....	103
Tabla 31. Tabla de respuestas para relaciones de señal a ruido.....	103
Tabla 32. Tabla de respuestas para medias.....	104
Tabla 33. Información del factor.....	105
Tabla 34. Análisis de varianza.....	106
Tabla 35. Resumen del modelo.....	106
Tabla 36. Coeficientes.....	106
Tabla 37. Parámetros experimentales.....	107
Tabla 38. Análisis de Taguchi.....	108

Tabla 39. Coeficientes de modelos estimados para relaciones SN.....	109
Tabla 40. Resumen del modelo.....	109
Tabla 41. Análisis de varianza de relaciones SN.....	109
Tabla 42. Tabla de respuestas para relaciones de señal a ruido.....	110
Tabla 43. Tablas de respuesta para medias.....	111
Tabla 44. Información del factor.....	112
Tabla 45. Análisis de varianza.....	113
Tabla 46. Resumen del modelo.....	113
Tabla 47. Coeficientes.....	113
Tabla 48. Parámetros experimentales.....	114
Tabla 49. Análisis de Taguchi.....	115
Tabla 50. Coeficientes de modelos estimados para relaciones SN.....	116
Tabla 51. Resumen del modelo.....	116
Tabla 52. Análisis de varianza de relaciones SN.....	117
Tabla 53. Tablas de respuesta para relaciones de señal a ruido.....	117
Tabla 54. Tabla de respuesta para medias.....	118
Tabla 55. Información del factor.....	119
Tabla 56. Análisis de varianza.....	120
Tabla 57. Resumen del modelo.....	120
Tabla 58. Coeficientes.....	120
Tabla 59. Parámetros experimentales.....	121
Tabla 60. Análisis de Taguchi.....	122

Tabla 61. % DQO vs TRH (horas), Concentración de coagulante (ppm), pH.....	123
Tabla 62. Configuración.....	123
Tabla 63. % SST vs TRH (horas), Concentración de coagulante (ppm), pH.....	123
Tabla 64. Configuración.....	123
Tabla 65. %Turbidez vs TRH (horas), Concentración de coagulante (ppm), pH	
Tabla 66. Configuración.....	124

Tabla de figuras

Figura 1. Planta de tratamiento de San Miguel (sección A).....	23
Figura 2. Planta de tratamiento de San Miguel (sección B).....	23
Figura 3. Planta de tratamiento de San Miguel (sección C).....	24
Figura 4. Planta de tratamiento de San Miguel (sección D).....	24
Figura 5. Planta de tratamiento de San Miguel (sección E).....	25
Figura 6. Planta de tratamiento de San Miguel (sección F).....	25
Figura 7. Diagrama de flujo de PTAR San Miguel.....	26
Figura 8. Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.....	35
Figura 9. Esquemas generales del proceso de lodos activados.....	39
Figura 10. Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.....	44
Figura 11. Curva característica de crecimiento bacteriano en términos del registro del número viable de organismos.....	45
Figura 12. Esquema de un tratamiento biológico aeróbico con recirculación de lodos biológicos.....	48
Figura 13. Diagrama de bloques del sistema de tratamiento por la tecnología de lodos activados.....	53
Figura 14. Diagrama general del proceso.....	58
Figura 15. Diagrama de bloques del plan de acción a seguir en la investigación.....	59
Figura 16. Diagrama de bloques del diseño de la experimentación.....	60
Figura 17. Colorímetro HACH modelo DR 900.....	65
Figura 18. Turbidímetro HACH modelo 2100 Q.....	66

Figura 19. Equipos de vidrio.....	68
Figura 20. Bomba melba.....	69
Figura 21. Panel de control.....	69
Figura 22. Sedimentador.....	70
Figura 23. Compresor.....	70
Figura 24. Accesorios de pvc.....	70
Figura 25. Piedra difusora.....	70
Figura 26. Oxímetro.....	71
Figura 27. Módulo de tratamiento a escala laboratorio.....	73
Figura 28. Tanque de almacenamiento.....	74
Figura 29. Reactor biológico.....	74
Figura 30. Sedimentador.....	74
Figura 31. Boyas eléctricas.....	74
Figura 32. Red de difusores.....	75
Figura 33. Bomba de recirculación.....	75
Figura 34. Compresor de aireación.....	76
Figura 35. Panel de control.....	76
Figura 36. Inoculación de bacterias.....	77
Figura 37. Muestra de agua residual.....	78
Figura 38. Conservación de muestras.....	78
Figura 39. Regulación del caudal.....	79
Figura 40. Reactor biológico.....	80

Figura 41. Reactor con biomasa.....	80
Figura 42. Sedimentador vista 1.....	81
Figura 43. Sedimentador vista 2.....	81
Figura 44. Sedimentador vista 3.....	81
Figura 45. Sedimentador vista 4.....	81
Figura 46. Reactores con aireación heterogénea.....	82
Figura 47. Reactores en estado anoxico.....	82
Figura 48. Efecto bulking presente en el sedimentador.....	83
Figura 49. Lodos sin sedimentación.....	83
Figura 50. Lodos sedimentables.....	84
Figura 51. Separación solidos – líquidos.....	84
Figura 52. Medición del oxígeno disuelto en el reactor.....	85
Figura 53. Recirculación de lodos.....	85
Figura 54. Lodos sedimentables.....	88
Figura 55. Sedimentación del reactor y efluente.....	88
Figura 56. Determinación de la concentración optima de coagulante.....	90
Figura 57. Test de Jarras.....	91
Figura 58. Análisis del agua residual sin tratamiento.....	91
Figura 59. Análisis del DQO.....	92
Figura 60. Análisis de turbidez.....	92
Figura 61. Análisis del agua residual durante el proceso.....	92
Figura 62. Análisis del agua tratada.....	92

Figura 63. Reactor de lodos activados a escala piloto.....	93
Figura 64. Proceso de lodos activados a escala piloto vista 1.....	94
Figura 65. Proceso de lodos activados a escala piloto vista 2.....	94
Figura 66. Efluente posterior al tratamiento.....	95
Figura 67. Concentración de SSVLM en función del tiempo de retención hidráulico.....	97
Figura 68. Relación de Kg DBO5/Kg SSV en función del tiempo de retención hidráulico.....	97
Figura 69. Índice volumétrico de lodos en función del tiempo de retención hidráulico.....	98
Figura 70. %Remoción de DQO durante las tres semanas de operación del sistema.....	99
Figura 71. %Remoción de SST durante las tres semanas de operación del sistema.....	100
Figura 72. %Remoción de turbidez durante las tres semanas de operación del sistema.....	101
Figura 73. Grafica de efectos principales para relaciones SN.....	104
Figura 74. Grafica de efectos principales para medias.....	105
Figura 75. Grafica de contorno del % remoción DQO.....	108
Figura 76. Grafica de efectos principales para relaciones SN.....	111
Figura 77. Grafica de efectos principales para medias.....	112
Figura 78. Grafica de contorno del % Remoción SST.....	115
Figura 79. Grafica de efectos principales para relaciones SN.....	118
Figura 80. Grafica de efectos principales para medias.....	119

Figura 81. Grafica de contorno del % remoción turbidez.....122

RESUMEN

El agua residual doméstica proveniente de las zonas urbanas se caracteriza por presentar un alto contenido de carga contaminante biodegradable. La descarga al cuerpo receptor de estas aguas sin un previo tratamiento produce un impacto ambiental poco favorable.

Lo expuesto, nos motiva a buscar nuevas y mejores alternativas de tratamiento del agua residual doméstica, se propone el proceso de lodos activados en suspensión por presentar altos valores de rendimiento en la eliminación de carga orgánica, además de ser una tecnología limpia y de bajos costos de operación.

El presente trabajo de investigación expone la evaluación de eficiencia del módulo de tratamiento mediante el proceso de lodos activados en la remoción de contaminantes de aguas residuales domésticas. La caracterización fisicoquímica del afluente y efluente, se obtuvieron mediante análisis de laboratorio y el rendimiento del proceso mediante pruebas experimentales efectuadas a escala laboratorio, de este modo se obtuvieron los resultados para su análisis.

Se planteó un diseño experimental Taguchi de tres factores y tres niveles a saber: Tiempo de retención hidráulica, concentración de coagulante y pH. En base a toda la información obtenida se evaluó la eficiencia del sistema, mediante la tecnología de lodos activados se logró la eliminación de DBO₅, DQO, SST y Turbidez con porcentajes de remoción de 99% (6.0mg/L) y 98% (30mg/L) 99% (10 mg/L) y 98% (6NTU) respectivamente, logrando valores dentro de los límites máximos permisibles para plantas de tratamiento (LMP decreto supremo N°003-2010-MINAM).

Palabras clave: Aguas residuales domésticas, Lodos activados, DBO₅, DQO, SST, Turbidez, Modulo de Tratamiento, eficiencia

ABSTRACT

The Domestic sewage from urban areas are Incorporated with a high content of biodegradable pollutant agent. the segregation of these waters to the sewerage system without prior treatment produces an unfavorable environmental impact.

This motivates us to look for new and better alternatives for the treatment of domestic sewage, the sludge process activated in suspension is proposed because it has high performance values in the elimination of organic components, likewise it is a clean technology and it is a low operating costs.

The research exposes evaluation module efficiency of treatment by activated process in removing pollutants from domestic sewage sludge. The physicochemical characterization of influent and effluent were obtained by laboratory analysis and process performance by experimental tests at laboratory scale, thus the results were obtained for its analysis.

A three-factor, three-level Taguchi experimental design was proposed: Trh, coagulant concentration and Ph, and with all the information obtained, the efficiency of the system was evaluated, by means of activated sludge technology the elimination of BOD, COD, TSS was achieved. and Turbidity with removal percentages of 99% (6.0mg / L) and 98% (30mg / L) 99% (10 mg / L) and 98% (6NTU), respectively, achieving values within the maximum permissible limits for plants of Treatment (MPL Supreme Decree No. 003-2010-MINAM)

Key words: Domestic Water, : Activated sludge, BOD, COD, TSS, Turbidity, Treatment Module, efficiency

INTRODUCCIÓN

En la actualidad una de las mayores problemáticas a nivel mundial es la gran cantidad de aguas residuales producidas por el hombre, que son vertidas a los cuerpos receptores como ríos y lagos sin ningún tipo de tratamiento previo, ello ha promovido el uso de métodos para el control de los efluentes, lo que representa reducir considerablemente la carga contaminante que se dispone en los cuerpos receptores superficiales.

La búsqueda de tecnologías para la reducción o eliminación de los contaminantes nos lleva a investigar nuevas y mejores alternativas de tratamiento que sean cada vez más eficientes.

Una de las tecnologías más usadas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, son los lodos activados, que es un proceso biológico y estable que consiste en el desarrollo de un cultivo de diversas bacterias no patógenas en suspensión en forma de flóculos. El agua residual ingresa al reactor aireado, en el que se encuentran con los microorganismos, que son capaces de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos presentes en el agua residual.

El presente trabajo tiene como objetivo brindar información experimental obtenida a través de pruebas de laboratorio. El proyecto consistió en la construcción de un módulo biológico de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales domésticas, los verdaderos protagonistas del proceso son los microorganismos que fueron sometidos a una adecuada climatización en el reactor para su crecimiento y lograr porcentajes óptimos de remoción. Además el control se realizó a través de monitoreos diarios de los parámetros físicos, químicos y organolépticos por un tiempo determinado y así determinar la eficiencia del proceso.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Determinación del problema

El agua es vital e importante para la vida humana, en el Perú existe la problemática de su inadecuada distribución. Antonio Brack Egg explica que en el país se dispone de 77 600 metros cúbicos de aguas por habitante, sin embargo la disponibilidad del recurso hídrico es muy heterogénea en el territorio nacional siendo la zona abundante de agua con cerca del 98% de disponibilidad hídrica, la zona del país donde se encuentra la menor densidad poblacional y viceversa. En la zona oeste donde se encuentra la mayor densidad poblacional solo existe el 1,8% de recursos hídricos.

Todos necesitamos agua, y cuando la utilizamos para satisfacer nuestras necesidades personales, industriales agropecuarias, esta se disponen al cuerpo del agua con poco o casi nada de tratamiento, ocasionando que el cuerpo receptor altere su calidad y no pueda utilizarse, producto de esto el agua puede contener materia orgánica e inorgánica, sales, sólidos suspendidos, que alteran las características fisicoquímicas y microbiológicos, con ello cada vez más la cantidad de agua dulce accesible disminuye produciendo la contaminación ambiental del agua por tales aportes , problema latente que debe ser solucionado por medio de un adecuado tratamiento.

Existen diversas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, proponemos el desarrollo del proceso de lodos activados con el fin de lograr la remoción de contaminantes orgánicos, teniendo como indicadores DQO, DBO5, SST y Turbidez expresados en concentraciones en los afluentes y efluentes, para obtener agua residual tratada que pueda cumplir con los estándares de calidad y la norma de límites máximos permisibles para efluentes de PTAR.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál será la eficiencia de remoción en un módulo de lodos activados para el tratamiento de agua residual domestica del distrito de san miguel”

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua residual domestica cruda?
- b. ¿Cuáles son los parámetros de operación del proceso de lodos activados?
- c. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua residual domestica posterior al tratamiento de lodos activados?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Determinar la eficiencia de remoción en un módulo de lodos activados para el tratamiento de agua residual domestica del distrito de san miguel”

1.3.2. Objetivos Específicos

- a. Definir la caracterización fisicoquímica del agua residual domestica cruda.
- b. Determinar los parámetros de operación del módulo de lodos activados
- c. Determinar las características fisicoquímicas del agua residual domestica posterior al tratamiento de lodos activados.

1.4. Limitantes de la investigación

El presente proyecto pone énfasis en la necesidad de construir un módulo de mezcla completa y flujo continuo para contener los lodos activados, el estudio se basa en explorar las condiciones favorables en el reactor para el adecuado crecimiento microbiano y lograr un alto porcentaje de remoción de carga orgánica presente en el agua residual doméstica.

1.4.1 Teórico

Se establecieron como limitantes teóricas que debido a ser un proyecto pionero a desarrollarse en las instalaciones de la FIQ- UNAC, se necesitó además de las fuentes bibliográficas de libros e internet, concertar entrevistas con jefes de proyectos que vienen trabajando con la tecnología de lodos activados, para recopilar su feedback y de ese modo poner en marcha la construcción de los equipos.

1.4.2 Temporal

El periodo de tiempo en la recolección de datos experimentales fue insuficiente. Según antecedentes bibliográficos el proceso de lodos activados se desarrolla en un tiempo de 5 meses a más.

La puesta en marcha del módulo de lodos activados tomo más de dos semanas debido a que no se pudo estabilizar el proceso. Todo ello con llevo a un desajuste en nuestro programa.

1.4.3 Espacial

El sustrato que se manejó durante los 4 meses en el que se desarrolló el proyecto fueron aguas residuales domésticas, estas aguas si no se manejan de forma correcta en un espacio ventilado, provocan malos olores debido a su degradación.

Por otro lado el reactor de lodos activados es de tipo biológico, necesita una adecuada aireación generada por un equipo electromecánico, para no generar la producción de ácido sulfhídrico. Este acido le da el olor a huevos podridos en el reactor.

Debido a problemas presentados del manejo de las aguas residuales, por las fugas iniciales en los tanques, se nos dispuso trabajar en un ambiente exterior a las instalaciones de LOPU, de ese modo cualquier problema de olores seria controlado y no perjudicaría el ambiente donde se reciben clases de pregrado.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

De acuerdo a las diversas referencias bibliográficas hemos considerado las que para nosotros son las investigaciones más selectivas e importantes, las cuales proporcionan perspectivas teóricas y metodológicas convenientes.

2.1.1. Internacionales

- Tejero, Jorge et al. (2007). *Análisis del Reactor de Lodos Activados de la Planta Centenario. Revista Caos Conciencia. Vol 2.*

Según los investigadores los resultados de la evaluación del funcionamiento del reactor de lodos activados se realizaron determinando los parámetros cinéticos con un respirómetro que es un equipo para medir la frecuencia respiratoria de diferentes organismos vivos y de ese modo determinar la relación entre el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono, este dispositivo tomo valores en el bio reactor y se determinó la remoción de materia orgánica. Estas mediciones permitieron la evaluación de potencia suministrada al reactor y la producción de lodos para el análisis.

- Morales, G. (2014). *Evaluación de la Estabilidad de un Sistema de Lodos Activados mediante Indicadores Fisicoquímicos y Biológicos* (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción, Chile.

De acuerdo a la presente investigación se menciona que las industrias de celulosa se han esforzado en disminuir el impacto ambiental que provocan. De esta manera, dentro de sus procesos de tratamiento consisten en fases primarias y secundarias para la eliminación de SST Y DQO respectivamente, la materia orgánica es bio-degradada a través de sistemas biológicos, como los lodos activados

- Diaz, F, & Varila, J. (2008). *Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. Revista de tecnología. Vol 7.*

Como señalan Diaz y Varilas se planteó como primera etapa de su experimentación el diseño, la construcción, la puesta en marcha y operación del sistema biológico. El sistema trabajo como sustrato, agua residual sintética y composición conocida como gelatina, almidón y leche en polvo en otros. La experimentación se realizó durante cuatro semanas teniendo como variable

independiente el tiempos de retención hidráulica y celular , La información generada permitió observar que el sistema alcanzo eficiencias de remoción de materia orgánica en términos de DQO entre 85 y 90 %

2.1.2. Nacionales

- Condori, M, & Ruelas, J. (2017). *Instalación y Evaluación de un Sistema de Reactores para Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas por proceso de Lodos Activados* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Antiplano, Puno, Perú.

Según el autor, el desarrollo del tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la evaluación de reactores para el “Proceso de Lodos Activados”, consistio en poner reactivos con el propósito de remocionar el sustrato de materia orgánica disuelto en el agua residual que se manifiestan en el Nivel de concentración y de los sustratos de DQO, SSV y SST. Así mismo la evaluación del DQO nos indica el nivel de la degradación de la materia orgánica Carbonacea y Nitrogenada y otros componentes solubles en el agua por proceso de oxidación por los microorganismos activados por aireación, procesados en su mismo seno y la concentración de los SSV nos indica el nivel de la población de microorganismos desarrollados por la operación de aireación que degradan la materia orgánica, y son obtenidos como producto de lodos biológicos, y de esta manera obtener como producto agua residual tratada, exento de materia orgánica disuelto y libre de microorganismos biológicos.

- Grimaldo, J. (2003). *Optimización del proceso de lodos activados en la planta piloto Puente Piedra* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

El presente estudio, estuvo orientado hacia la determinación de los parámetros óptimos de operación del proceso de tratamiento, trabajando con edades de lodos entre 9 y 18 días y relaciones de F/M entre 0,077 y 0.134 kg DBO/kg SST día que nos permitan obtener la mejor calidad del efluente, en cuanto a la eficiencia de remoción de la DBO5 y separación de solidos suspendidos. En su parte práctica, se enfoca la influencia de la edad del lodo, las características de

sedimentabilidad del lodo y se presentan los principales microorganismos identificados que se desarrollan en torno al lodo activado.

- Cotrado, M. (2005). *Determinación experimental de los parámetros biocinéticos necesarios para el diseño de reactores de lodos activados* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

El objetivo del presente trabajo es proporcionar información experimental obtenida a nivel de pruebas de laboratorio relacionada a la determinación de las constantes cinéticas para el adecuado diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante el método de Lodos Activados. Las constantes cinéticas obtenidas fueron: a: 0,7780 (Parámetro de utilización de oxígeno para la oxidación de sustrato) b: 0,0019 h⁻¹(Parámetro de utilización de oxígeno utilizado en la respiración endógena) Y: 0,5422 (Coeficiente de producción de biomasa por consumo de sustrato) kd: 0.0120 d.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Proceso de la planta de tratamiento del agua residual en San Miguel

La planta de tratamiento captará el agua residual de diez manzanas aledañas a la avenida de La Marina, la cual será tratada mediante un moderno sistema biológico, llamada MBBR que no es más que la modificación del sistema convencional de lodos activados, el cual tiene como objeto obtener agua idónea para el riego de las áreas verdes.

La capacidad de producción de la planta es de 2300 metros cúbicos por día, la misma que será conducida a los reservorios para su posterior uso en el riego de parques.

A continuación, se describirán los procesos de la línea de tratamiento:

a. Ingreso de agua residual

Extraída de los alrededores de la urbanización de San miguel



Figura 1. Planta de tratamiento de San Miguel sección A
Elaboración propia

b. Pre tratamiento

La PTAR cuenta con el equipo HUBER para realizar el proceso de tratamiento primario, este equipo cuenta con mallas jhonson de 2mm y rodillo rotatorio que separa la arena la grasa y residuos solidos

Este proceso es muy importante para todo el sistema ya que de ello depende que todo el tren de procesos funcione de manera óptima



Figura 2. Planta de tratamiento de San Miguel sección B
Elaboración propia

c. Tanque ecualizador

Se homogenizan las características fisicoquímicas. Esta planta recibe variaciones de caudal y de carga orgánica debidos a los cortes de agua en la zona. Con este paso de ecualización de las aguas, evita que se dañe el bio-

reactor. En este punto el agua residual domestica está libre de grasas y sólidos.



Figura 3. Planta de tratamiento de San Miguel sección C
Elaboración propia

d. Reactor Biológico

Se desintegra la materia orgánica. El proceso más importante de la PTAR. Está compuesta por carries que aumentan el área superficial en el reactor. Ocurre una oxidación completa tanque de 150 metros cúbicos. Tiempo de residencia de 5-7 horas



Figura 4. Planta de tratamiento de San Miguel sección D
Elaboración propia

e. Cámara de Mezcla

Se adicionan elementos químicos para facilitar la separación de la materia orgánica. Se Agregan floculantes como Cloruro férrico.

f. Clarificador

Este proceso cuenta con un sedimentador secundario compuesta de un barredor. Separa el lodo del agua que se dirige para un proceso de pulido y así aumentar la calidad del agua.



Figura 5. Planta de tratamiento de San Miguel sección E
Elaboración propia

g. Ultrafiltración

Se filtran los virus y las bacterias. Con este último proceso se cumple con la normativa de acuerdo a ley para el riego de parques.



Figura 6. Planta de tratamiento de San Miguel sección F
Elaboración propia

h. Sistema de Riego

Se cuenta con un sistema de riego, mediante bombas que trasladan el agua tratada a las zonas verdes del distrito de san miguel.

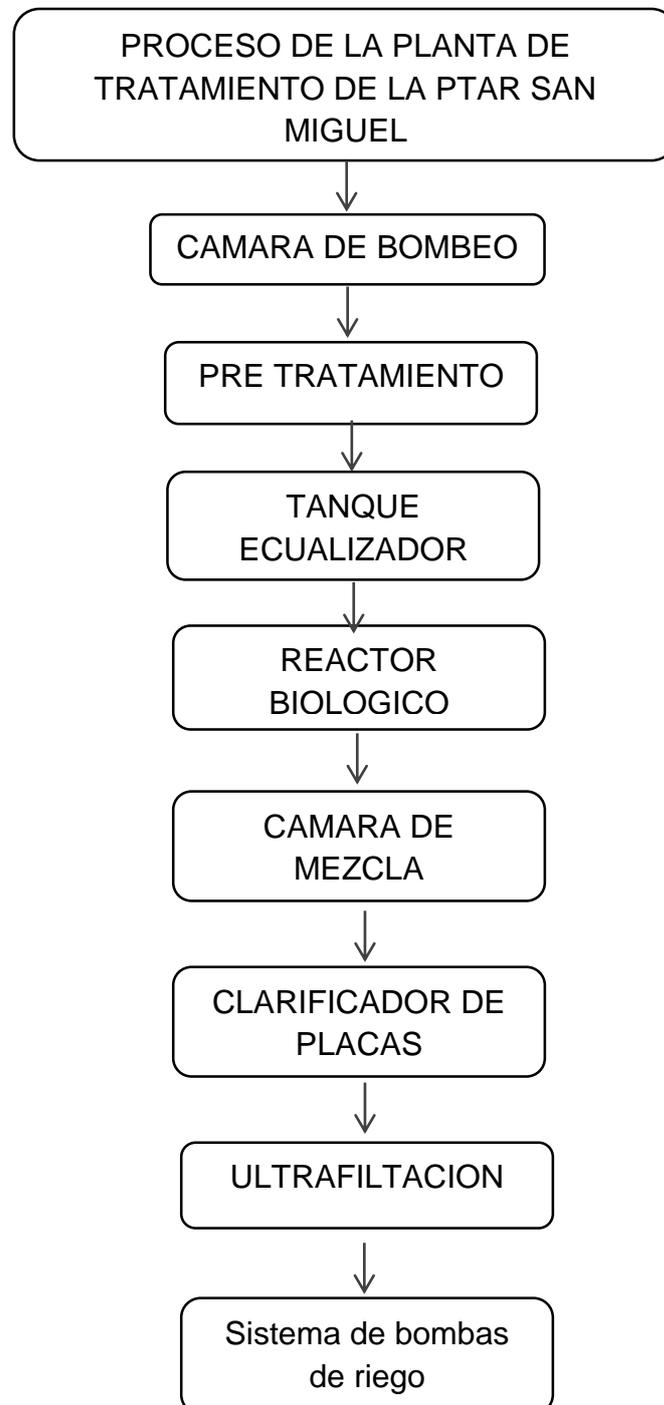


Figura 7. Diagrama de flujo de PTAR San Miguel

Elaboración propia

2.2.2. Aguas residuales

Se entiende por aguas residuales aquellas que han sido utilizadas con un fin consuntivo, incorporando a ellas sustancias que deterioran su calidad original (contaminación), disminuyendo su potencialidad de uso.

a. Clasificación de las aguas residuales

Una clasificación recurrente para las aguas residuales es la siguiente:

- **Aguas residuales domesticas.**- Aquellas procedentes de zonas de vivienda y de servicios generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades. (Metcalf & Eddy. 1995).
- **Aguas residuales industriales.**- Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial. (Metcalf & Eddy. 1995).
- **Aguas urbanas o municipales.**- Las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial. Todas ellas habitualmente se recogen en un sistema colector y son enviadas mediante un emisario terrestre a una planta EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales). (Metcalf & Eddy. 1995).

Las industrias que realicen el vertido de sus aguas residuales en esta red colectora, habrán de acondicionar previamente sus aguas. Los compuestos orgánicos e inorgánicos se encuentran en aguas residuales procedentes de instalaciones industriales diversas. A diferencia de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo. (Metcalf & Eddy. 1995).

b. Principales características de las aguas residuales

Estas características de las aguas de las aguas residuales son parámetros importantes para el tipo de tratamiento, así como para la gestión técnica de la calidad ambiental.

• Características físicas

Temperatura.- según el autor la temperatura del agua residual en la mayoría de los casos es más elevada que la del agua del suministro debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas como cocinas o duchas, además es una parámetro importante en el proceso para el crecimiento de los microorganismos las reacciones dentro del reactor (Metcalf & Eddy. 1995).

Turbiedad.- La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. En términos generales, no hay relación entre turbidez y concentración de sólidos suspendidos. La turbiedad varía de acuerdo a la fuente de luz . (Metcalf & Eddy. 1995).

Sólidos Totales.- Analíticamente, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. (Metcalf & Eddy. 1995).

•Características químicas: Las características químicas estarán dadas, principalmente, en función de los desechos que ingresan al agua servida.

Materia Orgánica.- Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrogeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como el azufre, fosforo o hierro. Otro compuesto orgánico con

importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la urea. No obstante, debido a la velocidad del proceso de descomposición de la urea, los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual es de un 40- 60% de proteínas, 25-50% de carbohidratos, 10% de grasas - aceites (Metcalf & Eddy. 1995).

Materia Inorgánica.- Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua. Puesto que pueden afectar mucho a los usos del agua, conviene analizar la naturaleza de algunos de ellos, especialmente aquellos que han sido incorporados al agua superficial durante su ciclo de uso. (Metcalf & Eddy. 1995).

pH.- La concentración de ión hidrogeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. (Metcalf & Eddy. 1995).

Cloruros.- Otro parámetro de calidad importante es la concentración de cloruros. Los cloruros que se encuentran en el agua natural proceden de la disolución de suelos y rocas que los contenga y que están en contacto con el agua. (Metcalf & Eddy. 1995).

Alcalinidad.- La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoniaco. Dentro de todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. La alcalinidad ayuda a regular los cambios del pH producido por la adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea, y los materiales añadidos en los usos domésticos. (Metcalf & Eddy. 1995).

Nitrógeno.- Los elementos nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de protista y plantas, son los principales elementos nutritivos. Puesto que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas. (Metcalf & Eddy. 1995).

• **Gases.-** Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son los siguientes :

Oxígeno disuelto.- Es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno no es sólo ligeramente soluble en agua. La cantidad real de oxígeno y otros gases que puedan estar presentes en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos: solubilidad de gas; presión parcial del gas en la atmósfera; temperatura y pureza del agua (salinidad, sólidos en suspensión, etc.) (Metcalf & Eddy. 1995).

Sulfuro de hidrogeno.- El sulfuro de hidrogeno se forma durante el proceso de descomposición de la materia orgánica que contiene azufre, o en la reducción de sulfitos y sulfatos minerales, mientras que su formación queda inhibida en presencia de grandes cantidades de oxígeno. Es un gas incoloro, inflamable, con un olor típicamente característico que recuerda al de huevos podridos.

Metano.- El metano es un hidrocarburo combustible de alto valor energético, incoloro e inodoro. El principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual es el gas metano. . (Metcalf & Eddy. 1995).

• **Características biológicas :**

Microorganismos.- Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias.

Bacterias.- Las bacterias se pueden clasificar como eubacterias, procariotas, unicelulares. El papel que desempeña las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de las, materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento, es amplio y de gran importancia. . (Metcalf & Eddy. 1995).

Tabla 1**Clasificación de los microorganismos**

Grupo	Estructura celular	Caracterización	Miembros representativos
Eucariotas	Eucariota	Multicelular con gran diferenciación de las células y el tejido.	Plantas (Plantas de semilla, musgos, helechos) Animales (vertebrados e invertebrados).
		Unicelular o coenocítica o micelial con escasa o nula diferenciación de tejidos	Protistas (algas, hongos, protozoos)
Eubacterias	Procariota	Química celular parecida a las eucariotas	La mayoría de las bacterias.
Arqueobacterias	Procariota	Química celular distintiva	Metanógenos, halófilos, termacidófilos.

Metcalf & Eddy, (1995). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización, Madrid, España, Mc Graw-Hill / Interamericana de España, S.A.

2.2.3. Aguas residuales domesticas

El estudio de tratamientos de depuración de aguas residuales domésticas en reactores prototipo y a nivel de laboratorio, es difícil debido a varias razones entre las que se cuentan:

- dificultad de transporte de grandes muestras para ser llevadas al laboratorio para alimentar los reactores
- demanda importante de tiempo para trasladarse a tomar permanentemente muestras para alimentar dichos reactores

- variabilidad en las características fisicoquímicas y bacteriológicas de las ARD crudas; d) peligrosidad en la manipulación del ARD por la presencia de microorganismos patógenos.

El agua residual doméstica (ARD) está compuesta de constituyentes física, química y biológica. Es una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas, suspendidas o disueltas. La mayor parte de la materia orgánica consiste en residuos alimenticios, excretas, materia vegetal, sales minerales y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos. La fracción orgánica corresponde al 70% de la cantidad de materia sólida existente; el 30% Composición orgánica en aguas residuales según diferentes autores. (Metcalf & Eddy. 1995).

Tabla 2

Composición de las aguas residuales domésticas

Compuesto	Scotti (1968)	Tebutt (1977)	Metcalf & Eddy (1979)
Orgánico			
Proteínas	40	65	40-60
Carbohidratos	50	25	25-50
Lípidos	10	10	10

Sette, R. (1996). Tratamiento de Aguas Residuales, Barcelona, España, Reverté, S.A.

Las ARD pueden contener varios tipos de proteínas y, como ejemplo, pueden citarse las albúminas, globulinas de diversos orígenes y enzimas industriales (detergentes) o resultantes de la actividad microbiana en la propia agua residual. Los carbohidratos están presentes en sus formas más comunes, tales como glucosa, sacarosa, almidón y celulosa; algunos, como la glucosa y la sacarosa, son más fácilmente degradados por microorganismos, siendo los polisacáridos como la celulosa y el almidón más resistentes al ataque microbiano y siendo el almidón más fácilmente descompuesto que la celulosa. Las grasas animales y aceites son el tercer componente de los alimentos,

están siempre presentes en ARD provenientes de carnes, del uso de aceites vegetales, etc.

➤ **Tratamiento de aguas residuales domesticas**

• **Niveles de tratamiento**

El grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de los límites de vertido para el efluente. El cuadro siguiente presenta una clasificación convencional de los procesos de tratamiento de aguas residuales. El tratamiento primario se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes, impuesta por los límites, tanto de descarga al medio receptor como para poder llevar los efluentes a un tratamiento secundario, bien directamente o pasando por una neutralización u homogenización.

El tratamiento secundario comprende tratamiento biológico convencional. En cuanto al tratamiento terciario su objetivo fundamental es la eliminación de contaminantes que no se eliminan con los tratamientos biológicos convencionales.

Tabla 3

Tipos de tratamientos de aguas residuales

Nivel de tratamiento	Mecanismos predominantes	Contaminantes removidos	Eficiencias de reducción
Preliminar	Físico	Sólidos gruesos(basuras, arenas) Grasas Acondicionamiento químico(pH)	SS:<10% DBO:<10% Coliformes:= 0% Nutrientes:= 0%
Primario	Físico	Sólidos suspendidos sedimentables Materia orgánica suspendida(parcialmente)	SS:40-50 % DBO: 25-35 % Coliformes:30-40% Nutrientes: 20%
Primario avanzado	Físico y químico	Sólidos suspendidos sedimentables y no sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente) Fósforo	SS:70-85% DBO:45-55% Coliformes:60-90% Nutrientes:20%N,50-95%P
Secundario	Biológico o químico	Sólidos no sedimentables Materia orgánica suspendida fina/soluble(parcialmente) Nutrientes(parcialmente) Patógenos(parcialmente)	SS:60-99 % DBO: 60-99 % Coliformes:60-99% Nutrientes: 10-50%
Terciario	Biológico o químico	Contaminantes específicos Materia orgánica finita y soluble Nutrientes	SS>:99 % DBO:>99 % Coliformes:99,9% Nutrientes:90%

Metcalf & Eddy, (1995). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización, Madrid, España, Mc Graw-Hill / Interamericana de España, S.A.

➤ **Tecnologías de tratamiento de aguas residuales**

En la figura 8 se señalan cinco sistemas de tratamiento de lodos (biológicos y fisicoquímicos) los cuales deben ser integrados con los sistemas de tratamiento de agua residual dentro de lo que se denomina el tren integral de tratamiento de aguas residuales (tratamiento de agua y lodos).

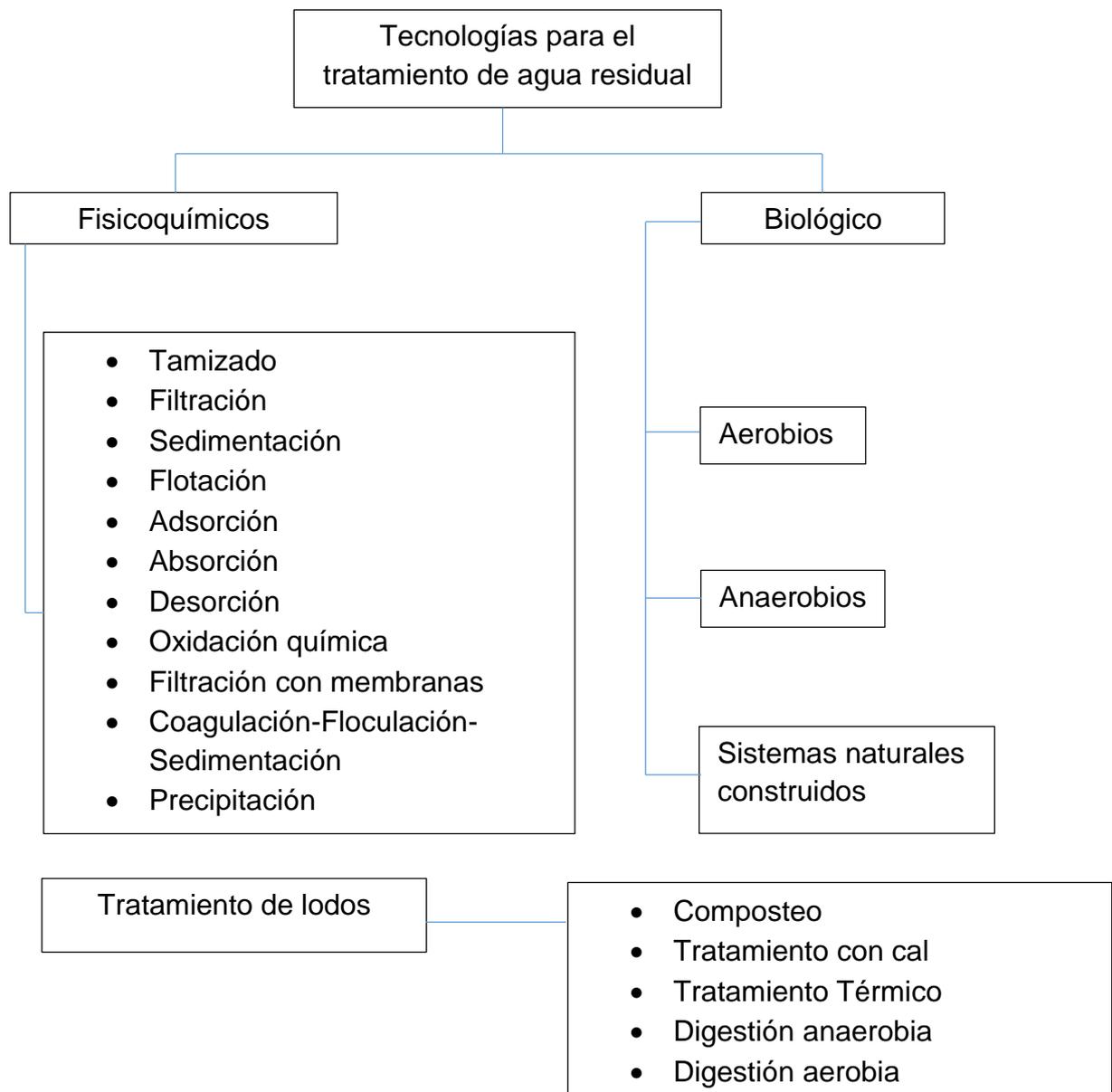


Figura 8. Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales

Morgan, Juan et al. (2013). Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas, 2(1). Recuperado desde: http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

2.2.4. Marco legal

En el Perú la gestión de los recursos hídricos está regulada por la ley de recursos hídricos:

1. Ley N° 29338

Se establece en el artículo N°2 que todas las aguas sin excepción alguna, son de propiedad del Estado y su dominio es inalienable e imprescriptible y se establece que por ley orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares y que la concesión otorga a su titular un derecho real, sujeto a dicha norma legal

La presente investigación está enmarcada fundamentalmente dentro las principales normas vigentes en nuestro país, referidas a la construcción y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales.

2. R.J. N°224-2013- ANA

Nuevo reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reúso de aguas residuales tratadas, disposiciones y modificaciones.

3. D.S. N°021-2009- VIVIENDA Y D.S. N°003-2011- VIVIENDA

Decreto de aprobación de los valores máximos admisibles (VMA) para la descarga al alcantarillado público y su reglamento.

4. D.S. N°003-2010- MINAM Definición de los límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de las PTAR domésticas o municipales.

5. Reglamento nacional de edificaciones, NORMA OS.090 Planta de tratamiento de aguas residuales.

Define estándares de diseño para diferentes tecnologías de tratamiento de aguas residuales.

6. D.S. N.° 002-2008- MINAM Aprueban los estándares de calidad ambiental para agua (ECA AGUA)

Tabla 4***Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR***

PARAMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
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 mL/L	150
Suspensión		
Temperatura	°C	<35

Normas legales, Límites máximos permisibles, Decreto supremo N° 003-2010- MINAM

2.3. Conceptual

2.3.1 Proceso aerobio de Cultivo en suspensión

Entre los principales tratamiento biológicos de cultivo en suspensión el proceso de lodos activados es el más ampliamente empelados para el tratamiento de aguas urbanas y/ domesticas. En este tipo de proceso la biomasa creada suele seguir de una decantación y una recirculación para retener en el sistema la biomasa creada. (Metcalf & Eddy. 1995).

2.3.2 Lodos Activados

Es un proceso aerobio en el que el agua residual ingresa al reactor, encontrándose con un cultivo de bacterias en suspensión, llamando a ese conjunto licor de mezcla, su composición del lodo activado depende de la composición del sustrato y de los parámetros del proceso.

Las condiciones aerobias y la materia homogénea en suspensión se mantiene debido al suministro de aire por acción mecánica. (Metcalf & Eddy. 1995).

➤ Inoculo

Al empezar a trabajar en un reactor nuevo, resulta más sencillo inocular y/o sembrar con lodos activados de otra planta de tratamiento que se encuentren en las condiciones requeridas de Ph, nutrientes y otros. En caso no se disponga de las facilidades, será necesario incubar por unos determinados días y generar la climatización de los microorganismos agregando N y P, eliminando la toxicidad hasta obtener los sólidos suspendidos suficientes en un rango mayor de 1000 ppm. Una vez se alcanzado se empieza a alimentar con el agua residual cruda con contenido orgánico. (Metcalf & Eddy. 1995).

2.3.3 Clasificación de lodos producidos en el proceso

De acuerdo a su origen se puede clasificar a los lodos de la siguiente manera:

- a. Lodos primarios.-** Son aquellos que provienen del tratamiento primario, generalmente de sedimentadores primarios, compuestos de solidos orgánicos, arena, material fino inorgánico
- b. Lodos secundarios.-** Lodo biológico o bio sólidos provenientes de procesos como los lodos activados, filtros percoladores o bio discos, en

general provienen del tratamiento biológico y son predominantemente orgánicos

- c. **Lodos mezclados.**- Combinación de lodos primarios y lodos secundarios, con características proporcionales a la composición individual de cada uno de los componentes.

2.3.4 Descripción del proceso de lodos activados

El lodo activado es una masa floculante de microorganismos, materia orgánica muerta y materiales inorgánicos, poseen una superficie altamente activa para la adsorción de materiales coloidales y suspendidos; a esta propiedad deben su nombre de activados.

En los sistemas de fangos activos es preciso separar la biomasa en suspensión del agua efluente y devolverla al reactor para mantener en él una determinada concentración. Los cultivos en suspensión están compuestos por flóculos biológicos, de un tamaño tan reducido que en teoría los sustratos disueltos (oxígeno, carbono, amonio, etc.) están disponibles para todas las células. Por ello, las cinéticas de los procesos de fangos activos están en general caracterizadas por las concentraciones en el seno del líquido. Todos los procesos de lodos activados tienen en común el contacto de aguas residuales con floc biológico previamente formado en un tanque de aireación.

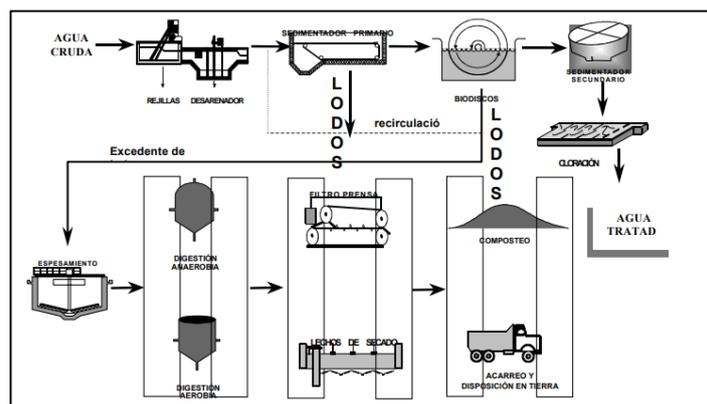


Figura 9. Esquema general del proceso de lodos activados Metcalf & Eddy, (1995). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización, Madrid, España, Mc Graw-Hill / Interamericana de España, S.A.

2.3.5 Componentes del proceso de lodos activados

El proceso de lodos activados está compuesto se una serie de componentes que están interrelacionados entre sí:

- a. Bioreactor aireado diseño para una mezcla completa.
- b. Mecanismo de aireación que transfiere oxígeno y además realiza la mezcla homogénea en el sistema, están compuestos de soplados, difusores, aireación electromecánica o inyección de oxígeno puro.
- c. Sedimentador diseñado para separar la biomasa del agua tratada
- d. Sistemas de tuberías y bombas con la finalidad de recircular la biomasa del sedimentador nuevamente al reactor a este proceso de le llama recirculación de lodos
- e. Desecho de lodos. Luego del crecimiento de los microorganismos de produce su muerte, estos lodos son desechos conociéndose a este proceso como purga de lodos.

2.3.6 Tipos de procesos de lodos activados

Los procesos de lodos activados se clasifican según:

Tabla 5
Tipos de procesos de lodos

Proceso	Ventajas	Limitaciones
Mezcla completa	Proceso común. Adaptable a muchos tipos de aguas residuales. Gran capacidad de dilución de choque de tóxicos. La demanda de oxígeno es uniforme. El diseño es relativamente sencillo. Aptos para todo tipo de equipos de aireación.	Susceptibles al
Conventional plug flow	Proceso probado, puede alcanzar un nivel algo más alto de remoción de amonio que el proceso de mezcla completa. Adaptable a muchos esquemas operativos. Incluyendo en la etapa de alimentación, el diseño y los procesos de selección anóxicas / aerobias.	Diseño y funcionamiento para la aireación cónico es más compleja, puede ser difícil para que coincida con el suministro de oxígeno a la demanda de oxígeno en la primera pasada
Alta carga	Requiere menos volumen del tanque de aireación que el del flujo pistón convencional, utiliza menos energía de aireación	Operación menos estable; produce efluentes de menor calidad, no es adecuado para la nitrificación. Los flujos altos picos pueden interrumpir la operación lavando MLSS
Contact stabilization	Requiere menor volumen de aireación, se ocupa de los flujos de lavado sin pérdida de MLSS.	Tiene poca o ninguna capacidad de nitrificación. Operación algo más complejo.
Aireación extendida	Distribución de cargas para proporcionar la demanda de oxígeno más uniforme. El funcionamiento es flexible, adaptable a muchos esquemas de operación incluyendo los procesos aerobios / anoxico.	Operación compleja. Flujo no se suele medir con precisión o saber. El diseño más complicado para el sistema de aireación.
Con oxígeno puro	Requiere un volumen relativamente pequeño para el tanque de aireación. Emite menos COV y volumen de gas de escape. En general, buena decantación de lodos. El funcionamiento y el control de la DO son relativamente poco complicados. Adaptable a muchos tipos de aguas residuales.	Capacidad limitada para la nitrificación, equipos más complejos de instalar, operar y mantener, la formación de espuma Nocardia, flujos altos picos
Oxidation ditch	Proceso altamente fiable; operación simple. Apto para el tratamiento de las cargas de choque / tóxicos sin afectar a la calidad del efluente. Utiliza menos energía de aireación. Adaptable a la eliminación de nutrientes. Lodos bien estabilizada; baja producción de biosólidos.	Gran estructura. Mayor necesidad de espacio. Algunas modificaciones en el proceso zanja de oxidación son propietaria y derechos de licencia puedan requerido. Requiere más energía de aireación.
SBR (Sequencing Batch Reactor)	Proceso se simplifica; clarificadores finales y el bombeo RAS no es necesario. Instalación compacta. La operación es flexible; la eliminación de nutrientes puede lograrse mediante cambios operacionales.	Puede requerir equalización antes de la filtración y desinfección, habilidades superiores de mantenimiento requeridos para los instrumentos. Dispositivos de control y válvulas automáticas, dispositivos de aireación algún de uso menos eficientes.

Metcalf & Eddy, (1995). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización, Madrid, España, Mc Graw-Hill / Interamericana de España, S.A.

2.3.7 Mecanismo de remoción

Un análisis profundo de los mecanismos de remoción biológica en aguas residuales ha revelado que mucha de las dificultades en encontrar una descripción conceptual del proceso puede estar asociada con el análisis de la materia orgánica por medio de parámetros colectivos tal como la DBO y la DQO. Un nuevo concepto emerge de las observaciones de los dos principales componentes de las aguas residuales: sustrato fácilmente biodegradable, compuesto principalmente de sustancias solubles las cuales pueden ser aprovechadas fácilmente por las células para sus actividades metabólicas, y sustrato lentamente biodegradable que consiste de compuestos solubles y coloidales con estructura compleja, los cuales requieren de una hidrólisis antes de la adsorción. Esto también ha desencadenado un esfuerzo para un mejor entendimiento de las características del agua residual las cuales ahora incluyen además de la fracción orgánica, la biodegradabilidad a diferentes velocidades, los compuestos inertes y los productos residuales microbianos. (Metcalf & Eddy, 1995).

2.3.8 Microbiología del lodo activado

El proceso básico consiste en que las aguas residuales se pongan en contacto con una población microbiana mixta, en forma de suspensión floculenta en un sistema airado y agitado. La materia en suspensión y la coloidal, se eliminan rápidamente de las aguas residuales por adsorción y aglomeración en los flóculos microbianos. Esta materia y los nutrientes disueltos se descomponen lentamente por metabolismo microbiano, proceso conocido como estabilización. En ésta parte el material nutriente se oxida a sustancias simples como el anhídrido carbónico (mineralización), y parte se convierte en materia celular microbiana o biomasa (proceso metabólico de asimilación). Parte de la masa microbiana se descompone a su vez mediante un proceso llamado respiración endógena. El proceso oxidativo suministra la energía necesaria para la operación de los procesos de adsorción y asimilación. Una vez que se alcanza el grado de tratamiento que se desea, la masa microbiana floculenta conocida como lodo activado, se separa del agua residual por asentamiento,

por lo general, en recipientes separados, especialmente diseñados para ello. La etapa de separación se conoce como clarificación o sedimentación. (Ramírez L, 2015).

Hay grupos adicionales de microorganismos: los virus, que no pueden ser clasificados en ninguna de las dos clases anteriores y, por lo tanto, se consideran por separado.

a. Bacterias

Las bacterias tienen como función descomponer la carga orgánica del agua residual (Metcalf & Eddy, 1995)

b. Protozoos ciliados

Los protozoos ciliados se consumen a las bacterias. (Sette, R, 1996).

c. Rotífero

El rotífero se encarga de alimentarse de las bacterias que se encuentran dispersas y floculadas, su presencia conlleva a que se genere un proceso aerobio muy eficiente (Metcalf & Eddy, 1995).

d. Algas

Las algas son microorganismos eucariotes, autotróficos, fotosintéticos, contienen clorofila y actúan como las principales productoras de materia orgánica en un ambiente acuático. Los compuestos inorgánicos tales como el bióxido de carbono, el amoníaco, el nitrato y el fosfato proporcionan la fuente de alimento para sintetizar nuevas células de algas y para producir oxígeno. (Metcalf & Eddy, 1995).

2.3.9 Cinética de crecimiento

Para tener un control del proceso que se realiza en el reactor es necesario conocer el crecimiento de los microorganismos que realizan la oxidación de la materia orgánica, que básicamente son bacterias. (Jiménez N, 2014)

El modelo de crecimiento basado en la evolución del número de células tiene cuatro etapas que describimos a continuación:

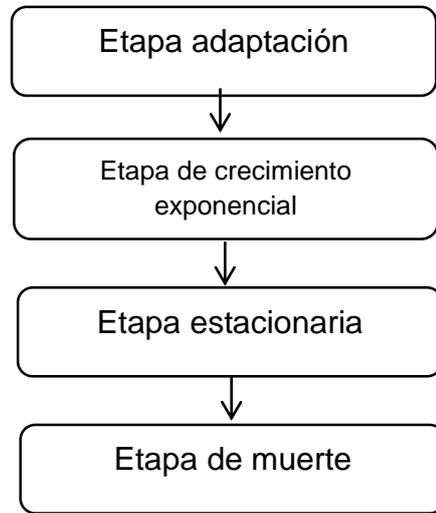


Figura 10. Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales

Jimenez N. (2014) Diseño de un reactor biológico de Fangos Activos (tesis de pregrado) Universidad de Almería , España

- a. **Fase Adaptación:** Se inicia al agregar un inóculo a un medio de cultivo, representa el tiempo que requieren los organismos para aclimatarse a su nuevo ambiente y empezar a dividirse. (Jimenez N. 2014)
- b. **Fase exponencial.** Durante este periodo las células se dividen a cierta tasa determinada en función de su tiempo de generación y su habilidad para procesar el alimento. (Jimenez N. 2014)
- c. **Fase estacionaria.** Aquí la población permanece estacionaria. Las causas que explican este fenómeno son a) las células agotaron el sustrato o los nutrientes necesarios para su crecimiento y b) el crecimiento de células nuevas se compensa con el número de células muertas.(Jiménez N. 2014)
- d. **Fase de muerte exponencial.** Durante esta fase, la tasa de mortalidad de las bacterias excede la producción de células nuevas. La tasa de mortalidad generalmente es una función de la población inversa de la fase de crecimiento exponencial. (Jiménez N. 2014)

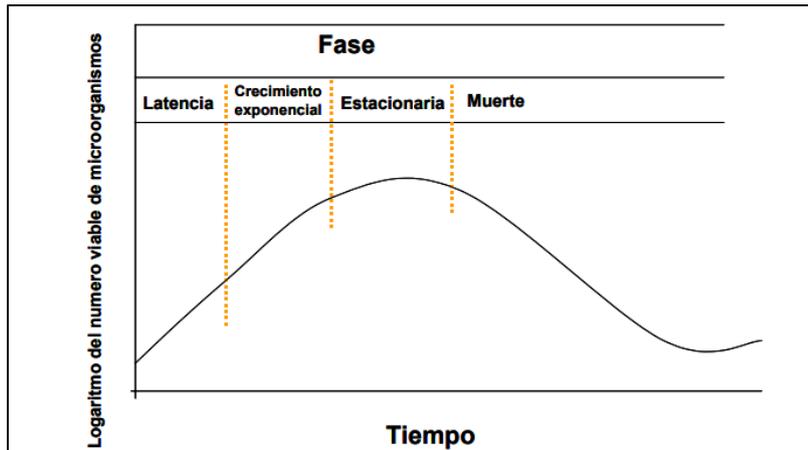


Figura 11. Curva característica de crecimiento bacteriano en términos del registro del número viable de organismos
Jimenez N. (2014) Diseño de un reactor biológico de Fangos Activos (tesis de pregrado)
Universidad de Almería , España

2.3.10 Parámetros operacionales

Permiten el correcto funcionamiento del proceso de lodos activados y el desarrollo de la actividad bacteriana dentro del reactor. (Metcalf & Eddy, 1995).

- **pH**

El pH es el medio donde se genera el desarrollo de la actividad bacteriana, en las cuales las bacterias se manejan en un pH de 4.0 a 9.5, como intervalo adecuado de desarrollo microbiano entre un pH de 6.5 y 7.5. Con pH menores a 6.5, se genera crecimientos de hongos y pH mayores a 9 genera inhibición de la actividad bacteriana (Sette, R, 1996).

- **Temperatura**

La temperatura tiene importancia en la actividad microbiana e influencia en la sedimentación de la carga orgánica biológica (Metcalf & Eddy, 1995).

- **Oxígeno disuelto**

En el proceso de lodos activados, es conveniente que la concentración de oxígeno disuelto (OD) mayores a 2 ppm de oxígeno, genera una correcta respiración de los microorganismos dentro del reactor (Metcalf & Eddy, 1995).

- **Tiempo de retención hidráulico**

Representa la interacción física que se genera entre la carga orgánica del agua residual y los microorganismos presentes en el reactor (Metcalf & Eddy, 1995).

- **Concentración de la biomasa en el reactor**

La concentración de la biomasa en el reactor es la formación de carga orgánica que se forma del agua residual para el aprovechamiento energético por los microorganismos (Metcalf & Eddy, 1995).

- **Relación alimento microorganismos**

Es la representación de la cantidad de carga orgánica presente en el agua residual con respecto a la cantidad de microorganismos presentes en el reactor (Metcalf & Eddy, 1995).

- **Recirculación**

La recirculación que se da en el proceso de lodos activados es de vital importancia para que no varíe la concentración de biomasa en el reactor (Metcalf & Eddy, 1995).

- **Eficiencia de eliminación**

Es la diferencia que se da entre la caracterización el agua residual antes de entrar al sistema y al terminar el proceso de lodos activados, la cual se refleja como medidas de DQO y DBO5 ,donde se indica el porcentaje de remoción de carga orgánica que se generó al terminar el proceso de lodos activados (Metcalf & Eddy, 1995).

- **Aireación**

La aireación que se genera en el reactor debido al burbujeo, contribuye a la homogenización del agua residual domestica junto a los microorganismos presente en el reactor (Metcalf & Eddy, 1995).

2.3.11 Parámetros de diseño

Para llevar a cabo el diseño de un reactor biológico se emplearán fórmulas tomadas de diversas bibliografías.

Donde:

Q_f : Caudal de afluente o agua residual

- Sf** : Concentración de DBO soluble en el afluente.
- Xv,f** : Concentración de solidos suspendidos volátiles en el afluente
- Xnv,f** : Concentración de solidos suspendidos no volátiles en el afluente
- Qo** : Caudal de alimentación combinado, caudal de reciclado más caudal de afluente
- So** : Concentración de DBO soluble en la alimentación combinada
- Xv,o** : Concentración de solidos suspendidos volátiles en la alimentación combinada
- Xnv,o** : Concentración de solidos suspendidos no volátiles en la alimentación combinada
- Se** : Concentración de DBO soluble en el reactor
- Xv,a** : Concentración de solidos suspendidos volátiles en el reactor
- Xnv,a** : Concentración de solidos suspendidos no volátiles en el reactor
- V** : Volumen de reactor
- ΔXv** : Producción de lodos
- Se** : Concentración de DBO soluble en la salida del reactor
- Qe** : Caudal de efluente final
- Xv,e** : Concentración de solidos suspendidos volátiles en el efluente
- Xnv,e** : Concentración de solidos suspendidos no volátiles en el efluente
- Qu** : Caudal de descarga del clarificador
- Xv,u** : Concentración de solidos suspendidos volátiles en la descarga del clarificador
- Xnv,u** : Concentración de solidos suspendidos no volátiles en la descarga del clarificador
- Qw** : Caudal de purga

QR : rQf

Caudal de recirculación

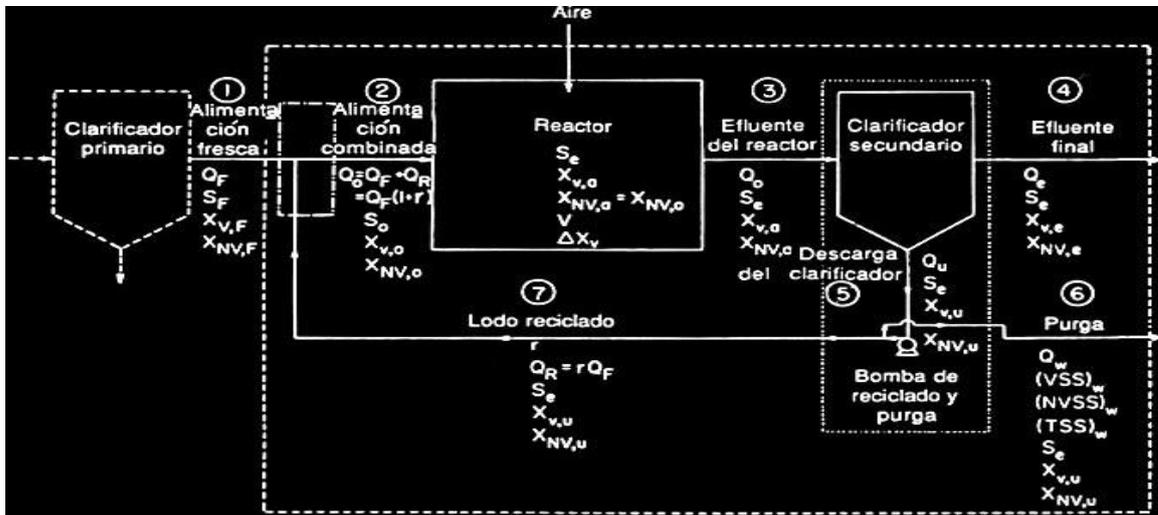


Figura12. Esquema de un tratamiento biológico aeróbico con recirculación de lodos biológicos

Sette, R. (1996). Tratamiento de Aguas Residuales, Barcelona, España, Reverté, S.A.

➤ Caudal

$$Q = \frac{v}{t}$$

Donde:

V : Volumen (m³)

t : Tiempo (s)

➤ DBO del efluente

$$S_e = DBO_e - (0,63)SS$$

Donde :

Se : DBO del efluente (mg/L)

DBO_e : DBO total deseada del efluente (mg/L)

SS : Sólidos suspendidos del efluente (mg/L)

➤ **Biomasa del reactor**

$$XV = \frac{e_c Y Q (S_o - S_e)}{1 + k_d \theta_c}$$

Donde :

θ_c : Tiempo medio de retención celular

Y y k_d : Coeficientes biocinéticas

S₀ : DBO del agua residual cruda

S_e : DBO del efluente

➤ **Volumen del reactor**

$$V = \frac{XV}{X}$$

Donde :

X : Concentración de SSV en el tanque de aireación, SSVLM (mg/L)

➤ **Tiempo de retención hidráulico**

$$\tau = \frac{V}{Q}$$

Donde :

V : Volumen total

Q : Caudal afluente

➤ **Tiempo medio de la retención**

$$\theta_c = \frac{VrX}{QwXr + QeXe}$$

Donde:

- Vr** : Volumen del reactor (m³)
- Qw** : Tasa de purga de lodos desde el caudal de recirculación (m³/d)
- Qe** : Caudal del efluente tratado (m³/d)
- X** : Concentración de SSV en el tanque de aireación, SSVLM (mg/L)
- Xe** : Concentración de SSV en el efluente tratado (mg/L)
- Xr** : Concentración de SSV en el lodo dispuesto (mg/L)

➤ Producción de recirculación

$$Px = \frac{Y Q(So - Se)}{1 + k_d \theta_c} = \frac{XV}{\theta_c}$$

Donde :

- Px** : Tasa de producción de lodos (g SSV/d)
- θc** : Tiempo medio de retención celular
- Y y Kd** : Coeficientes biocinéticos
- S0** : DBO del agua residual cruda
- Se** : DBO del efluente

➤ Caudal de recirculación

$$Q_r = \frac{QX}{X_R - X}$$

Donde :

- X** : Concentración de SSV en el tanque de aireación
SSVLM Xr : Concentración de SSV en el lodo dispuesto

➤ **Índice volumétrico**

$$IVL = \frac{V_{30}}{X_r} * 1\ 000$$

Donde:

- V₃₀** : Volumen Lodo sedimentado en 30 minutos en una probeta de 1 L (ml/L)
XT : Concentración de SSTLM (mg/L)

➤ **Relación alimento microorganismo**

$$\frac{A}{M} = \frac{Q * S_o}{VX}$$

Dónde :

- Q** : Caudal de agua residual cruda (m³/d)
So : DBO del agua residual cruda (mg/L)
V : Volumen del líquido en el tanque de aireación (m³)
X : Concentración de SSV en el tanque de aireación, SSVLM (mg/L)

➤ **Demanda de Oxigeno**

$$DO = 1,5 Q (S_o - S_e) - 1,42 X_r Q_w$$

Donde:

- QW** : Caudal de lodos de desecho (m³/d)

- S₀** : DBO del agua residual cruda (mg/L)
- X_r** : Concentración de SSV en el lodo dispuesto
- S_e** : DBO del efluente

➤ **Volumen de aire requerido**

$$\frac{Q_{aire}}{DBO} = \frac{Q_{aire\ real} (1\ 000)}{S_o Q}$$

Donde:

- Q** : Caudal de agua residual cruda
- S₀** : DBO del agua residual cruda (mg/L)

2.3.12 Descripción del proyecto

a. Volumen del tanque

La eficiencia del tratamiento en el reactor es afectado por el tiempo de retención hidráulica en el tanque, para una determinada carga hidráulica, el tiempo de retención tendrá un tiempo que dependerá del volumen del tanque

Según varios investigadores se ha comprobado que existe un volumen óptimo para este, con la cual se tiene la máxima eficiencia.

$$V = TRH * Q$$

V= volumen (L)

TRH: tiempo de retención hidráulica (h)

Q: Caudal (m³/h)

b. Aireación

La aireación del proceso mediante el cual el agua se pone en contacto con el aire para modificar las concentraciones de sustancias volátiles en ella. La transferencia de gases es un fenómeno físico, químico y biológico mediante el

cual moléculas de un gas son intercambiadas entre un líquido y un gas. En una interfase gas- líquido.

El fenómeno más importante es la transferencia de oxígeno al agua residual y luego al floculo bacteriano, el objetivo es llevar a cabo todas las reacciones aerobias.

c. Temperatura

La dependencia de la temperatura en la velocidad de la reacción biológica es importante para asegurar la eficacia conjunta en el proceso de tratamiento, la temperatura no solo influye en las actividades metabólicas de los microorganismos sino que también lo hacen en la velocidad de transferencia de gases y las características de sedimentación de proceso

Mostraremos un diagrama del sistema de tratamiento que será implementado

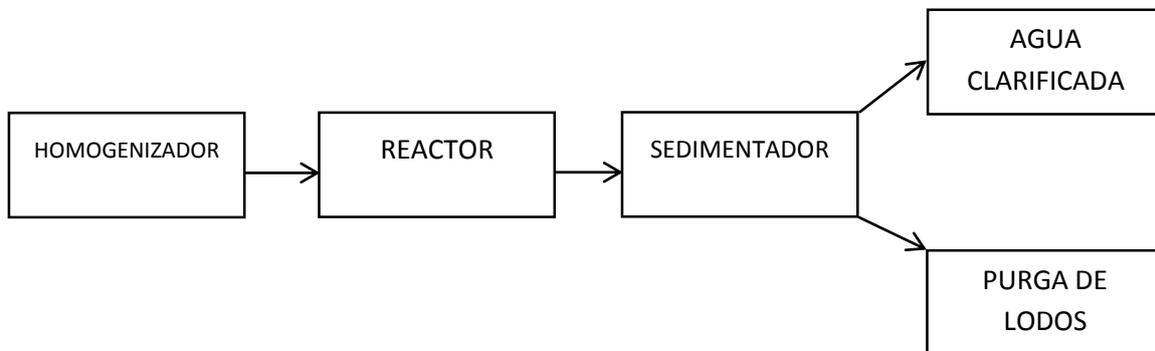


Figura 13. Diagrama de bloques del sistema de tratamiento por la tecnología de lodos activados

Elaboración propia

2.4 Definición de términos básicos

- **Aguas residuales:** Es el agua utilizada por las personas en una urbanización y desechadas en los alcantarillados.

- **Agua residual domestica:** Aguas de composición variable, proveniente de las descarga de usos domésticos.
- **Alcantarillado:** Sistema de estructuras y tuberías usados para el transporte de aguas residuales o servidas (alcantarillado sanitario) ,o aguas de lluvia,(alcantarillado pluvial) desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que vierten a cauce o se tratan.
- **Biomasa:** Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen.
- **Caudal:** Es la relación de la cantidad de líquido en un determinado de tiempo.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO:** Es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en generales residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.
- **Demanda Química de Oxígeno DQO:** Es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg O₂ / Litro.
- **Materia orgánica:** Sustancia constituyente o procedente de los seres vivos.
- **Microorganismos:** En su mayoría son unicelulares, aunque en algunos casos se trate de organismos cenóticos compuestos por células multinucleadas, o incluso multicelulares.

- **Nitrificación:** La nitrificación es la oxidación biológica de amonio con oxígeno en nitrito, seguido por la oxidación de esos nitritos en nitratos.
- **Sólidos:** La presencia de sólidos en el agua no se refiere sólo a elementos de gran tamaño visibles a simple visto y susceptible de flotar o depositarse, sino que incluye a los sólidos microscópicos que permanecen en suspensión en el agua y a los sólidos disueltos de tamaño iónico que están presentes en ella.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

La determinación de la eficiencia de remoción del módulo de lodos activados para el tratamiento de agua residual doméstica del distrito de San Miguel, será superior al 90%.

3.1.2 Hipótesis específica

- a. Al realizar la caracterización del agua cruda se obtendrán valores mayores a los límites máximos permisibles.
- b. El TRH, la concentración del coagulante de sulfato de aluminio y el pH, en el sistema de lodos activados influirán determinadamente en el proceso.
- c. Se obtendrán resultados de la caracterización físicoquímica de las aguas residuales domésticas tratadas con valores óptimos, que se encontrarán dentro de la norma establecida LMP

3.2 Definición conceptual de variables

a. Variable independiente

- X: Parámetros de operación del módulo de tratamiento mediante Lodos activados

b. Variable dependiente

- Y: % de Remoción de carga orgánica del agua residual doméstica

3.2 .1 Operacionalización de variables

Tabla 6

Operacionalización de variables

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADOR	METÓDO
Y = % de Remoción de la carga orgánica del agua residual doméstica	$\% = \frac{C0 - CF}{C0} * 100\%$ C0=Concentración inicial (mg/L) CF=Concentración final (mg/L)	Y1:DBO	- Analítico
		Y2:DQO	- Analítico
		Y3:SST	- Analítico
		Y4:Turbidez	- Analítico
VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADOR	METÓDO
X = Parámetros de operación del módulo de tratamiento mediante lodos activados	T1=5, t2=10, t3=15 (horas) C1=0,C2=150,C3=300 (ppm) pH1=6.5,pH2=7.0,pH3=7.5	X1:TRH	- Experimental
		X2:Concentración coagulante	- Experimental
		X3:pH	- Experimental

Elaboración propia

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

De acuerdo al problema propuesto y los objetivos planteados en el presente trabajo, el tipo de investigación:

- Según el propósito, es de tipo aplicada porque se basa en la necesidad de mejorar la calidad del agua mediante el estudio del tratamiento de lodos activados.
- Según a los medios utilizados para la obtención de datos, es de tipo experimental debido a la manipulación de las variables lo que fuera medido a través de sus indicadores, en la que la variable independiente incidirá sobre la dependiente.
- Según al nivel de conocimiento es explicativa, se pretende determinar cómo influye los parámetros de operación en la remoción de carga orgánica y porque sucede el fenómeno.

4.1.2 Diseño de investigación

La selección del diseño de investigación es de tipo experimental, el objetivo es averiguar si los factores establecidos como tiempo de retención, concentración del coagulante y pH, influyen en la remoción de contaminantes. Este procedimiento nos permitió demostrar la hipótesis planteada y a la vez cubrir los objetivos propuestos.



Figura14. Diagrama general del proceso

Elaboración propia

A través de este diseño, desarrollamos el plan de acción a seguir durante la ejecución de la misma

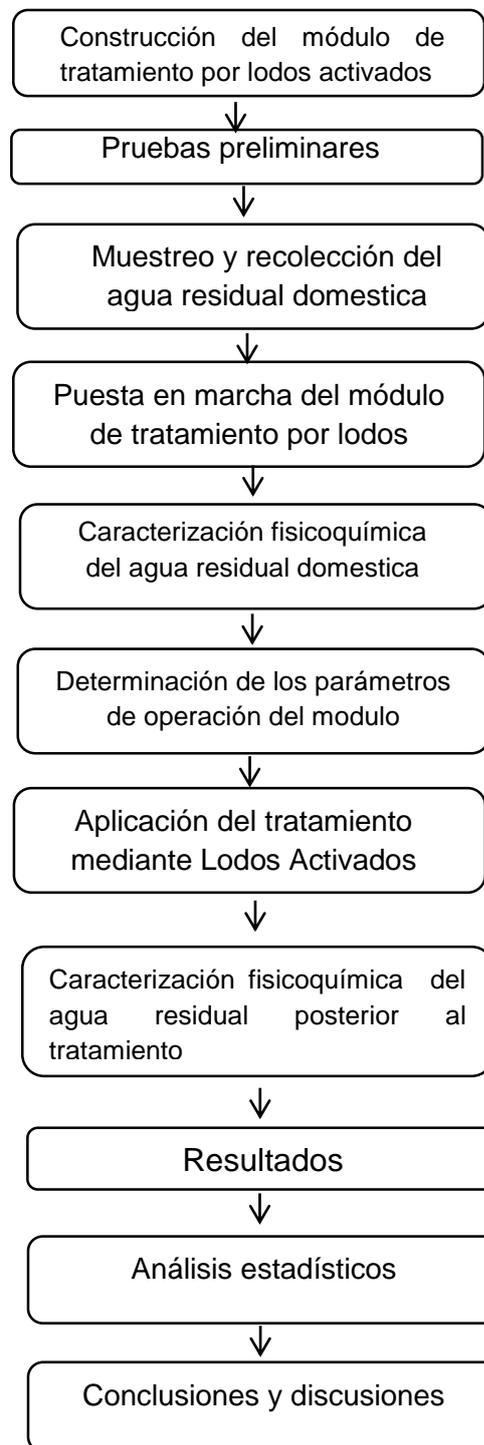


Figura 15. Diagrama de bloques del plan de acción a seguir en la investigación
Elaboración propia

Las fases del experimento se desarrollaron de la siguiente manera:

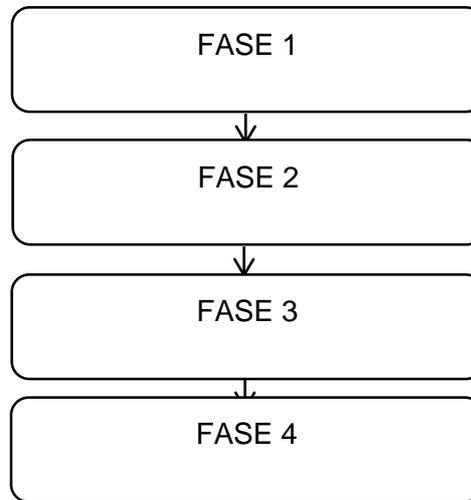


Figura 16. Diagrama de bloques del Diseño de la experimentación
Elaboración propia

Las siguientes fases siguientes:

Fase 1: Construcción y puesta en marcha del módulo de tratamiento por Lodos Activados

Fase 2 : Determinación de los parámetros de operación

Fase 3: Caracterización del agua residual domestica cruda

Fase 4: Caracterización fisicoquímica del agua tratada por lodos Activados

4.2 Método de investigación

El método de investigación en el presente trabajo es experimental al variar las condiciones del proceso para detectar cambios significativos en la respuesta.

4.2.1 Determinación de las variables de diseño

Se establecieron las variables de entrada y de salida en el proceso. Las variables de respuesta se medirán en resultados porcentuales, de las concentraciones obtenidas en cada punto del proceso.

Tabla 7**Variables de diseño**

Variable Dependiente	Indicador	Unidades
% Remoción	Concentración en el agua	mg/l
	cruda y posterior al	mg/l
	tratamiento	mg/l
	(DBO,DQO,SST,Turbidez)	NTU
Variable Independiente	Indicador	Unidades
Tiempo de retención	horas	horas
hidráulica		
Concentración de	mg/l	mg/l
coagulante		
pH	-	-

Elaboración propia

4.2.2 Diseño de Taguchi de la experimentación

En el diseño de Taguchi se utilizó arreglos ortogonales, los cuales estimaron los efectos de los factores en la media de respuesta y en la varianza.

Mediante este método se obtuvieron el número de tratamientos y la combinación de las variables que fue generado por el programa Minitab.

El Software del programa estadístico Minitab nos arroja 9 tratamientos, que consiste en tres factores y tres niveles.

$$\text{Numero de tratamientos: } 3 \times 3 = 9$$

En los tratamientos establecidos se realizaron tomas de medidas en 5 puntos en cada uno del tratamiento, arrojándonos 45 corridas experimentales que nos brindó la mayor información durante el proceso.

Los factores de tratamiento y el número de niveles son los siguientes:

Tabla 8**Factores y niveles seleccionados**

Variables	Código de valores		
	(-1)	(0)	(+1)
Tiempo de retención hidráulica (horas)	5	10	15
Concentración del coagulante(mg/l)	0	150	300
pH	6.5	7.0	7.5

Elaboración propia

Tabla 9**Código de valores**

Tratamientos	TRH	CONCENTRACION	pH
1	-1	-1	-1
2	-1	0	0
3	-1	1	1
4	0	-1	0
5	0	0	1
6	0	1	-1
7	1	-1	1
8	1	0	-1
9	1	1	0

Elaboración propia

Tabla 10

Diseño de Taguchi de las combinaciones de las variables del proceso

N°	TRH(horas)	C(ppm)	pH
1	5	0	6.5
2	5	150	7
3	5	300	7.5
4	10	0	7
5	10	150	7.5
6	10	300	6.5
7	15	0	7.5
8	15	150	6.5
9	15	300	7

Elaboración propia

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población de esta investigación está conformada por las aguas residuales domesticas provenientes de la PTAR del distrito de San Miguel, ubicado en Av la Mar con José de la Riva Agüero 167, dentro del parque Juan Pablo II. La planta de tratamiento capta el agua de las alcantarillas de la red de aguas servidas de la Urbanización Miramar, Pando, Pablo VI, Maranga en sus 5 etapas.

4.3.2 Muestra

Se recogieron las muestras de la PTAR del distrito de San Miguel en el punto de salida del homogenizador, debido a que las aguas servidas pasan por un previo tratamiento primario que elimina los sólidos, materiales inertes además de grasas y arenas. Esto facilita que el tratamiento que realizaremos cuente con un agua homogénea, sin materiales que interfieran con nuestro proceso. Las muestras recogidas fueron tomadas en horas de la mañana a partir de las 7:00 am- 9:00 am porque son las horas picos de mayor carga orgánica, el volumen tomado fue de 80 litros los días lunes durante 6 semanas. La capacidad de nuestro módulo de tratamiento por lodos activados es de 60 litros.

4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado

La construcción del equipo, puesta en marcha del módulo de tratamiento por lodos activados y evaluación de los parámetros de operación se realizaron en el laboratorio de Operaciones Unitarias (LOPU) Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Callao. Los análisis de la caracterización del agua residual doméstica se trabajaron en el laboratorio del Instituto de Investigación de Especialización en Agroindustria – Universidad Nacional del Callao. El periodo de estudio consistió desde la recopilación de información bibliográfica hasta la ejecución del proyecto que duro 7 meses.

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de información

4.5.1. Técnicas Analíticas

En el presente trabajo de investigación se utilizaron técnicas experimentales, estadísticos y de laboratorio.

- Para el caso del agua residual doméstica tratada a diferentes tiempos de retención hidráulica, consistió en la técnica de observación del aspecto del agua.
- El análisis de laboratorio de la caracterización fisicoquímica del agua cruda y posterior a su tratamiento corresponde a técnicas de análisis cuantitativo de cada parámetro evaluado en el tratamiento
- En análisis de datos que se obtuvieron en las pruebas realizadas en el módulo de tratamiento por lodos activados se aplicó la técnica de estadísticas descriptiva e inferencial utilizando el programa estadístico Minitab.

Entre las principales técnicas de laboratorio empleadas fueron:

a. Medida de la demanda química de Oxígeno (DQO)

La medida de la DQO se ha llevado a cabo en un colorímetro HACH modelo DR900. Consiste que la oxidación se da en el tubo de digestión en el que se le introduce 2 ml de muestra, 1.5 de Dicromato de Potasio, 3.5 de ácido sulfúrico, luego de la agitación se lleva al biodigestor a 150 °C durante dos horas, se deja enfriar a temperatura ambiente y se realiza la medición de DQO en el colorímetro. Generalmente el error de la medida es inferior al 10%. El mejor tratamiento del proceso fue enviado al laboratorio acreditado.



Figura 17. Colorímetro HACH modelo DR900

Elaboración propia

b. Medida de la Demanda biológica de Oxígeno (DBO)

El mejor tratamiento del proceso fue enviado al laboratorio acreditado que uso el método AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methodos

c. Medida de los sólidos suspendidos totales.

Se realizó por el método **APHA** 1998 Standard Methods

d. Medida de Turbidez

La medida de la turbidez se ha llevado a cabo en el turbidímetro de marca HACH modelo 2100 Q .Consiste en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra y de la solución patrón en idénticas condiciones.



Figura 18. Turbidímetro HACH modelo 2100 Q

Elaboración propia

4.5.2 Instrumentos para la recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizaron los instrumentos para los análisis y tratamientos.

a. Materiales Vidrio

Tabla 11

Materiales de vidrio usado en el proceso

Vidrio	Descripción
Probeta graduada de 1 litro y 100 ml	Se utilizó para la graduación del caudal
Vaso precipitado de 500 ml	Se utilizó para los análisis de tomas de muestras
Fiola de 100 ml	se realizaron las soluciones digestoras en las medición de DQO
Erlenmeyer con tubuladura lateral/ Crisol Gooch	Se filtró los sólidos del agua residual doméstica para su posterior medición de los sólidos suspendidos totales

Elaboración propia

b. Equipos

Dispositivo experimental:

- **Unidades del módulo de tratamiento**
 1. Tanque de almacenamiento de agua residual doméstica cruda
 2. Reactor biológico
 3. Dosificador de coagulante
 4. Sedimentador
 5. Sistema de recirculación
 6. Tanque de almacenamiento de agua residual tratada



Figura19. Equipos de vidrio

Elaboración propia

- **Módulo de tratamiento de Lodos Activados**

El módulo de tratamiento es de mezcla completa, cuando el agua residual entra en contacto con las bacterias en el reactor, se homogenizan por acción de la aireación suministrada por un compresor de potencia 2 HP.

Tabla 12

Accesorios del módulo de tratamiento por lodos activados

Módulo de tratamiento
2 Tanques de plástico de 80 litros
Reactor de acrílico de 60 litros
Sedimentador acrílico de 23 litros
Tubos de PVC de 1 y $\frac{3}{4}$ pulgadas
Tablero de control compuesta por timers
Bomba melba de $\frac{1}{2}$ HP
Compresor

Elaboración propia



Figura 20. Bomba melba

Elaboración propia



Figura 21. Panel de control

Elaboración propia



Figura 22. sedimentador

Elaboración propia



Figura 23: compresor

Elaboración propia



Figura 24. Accesorios de pvc

Elaboración propia



Figura 25: piedra difusora

Elaboración propia

- **Mediciones de parámetros**

Para las mediciones de los parámetros de operación y de control se usaron los siguientes equipos:

Tabla 13

Equipos de trabajo

Equipos de mediciones
Colorímetro
Oxímetro
Ph-metro
Turbidímetro
Estufa
Balanza
Bomba al vacío
Mufla

Elaboración propia



Figura 26: oxímetro

Elaboración propia

Tabla 14

Reactivos

Reactivos del proceso
Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)
Hidróxido de sodio (NaOH)
Ácido fosfórico (H_3PO_4)
Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$)
Sulfato de plata (Ag_2SO_4)
Agua destilada (H_2O)

Elaboración propia

4.6 Análisis y procesamiento de datos

4.6.1 Procedimientos operativos en la construcción puesta en marcha y evaluación de los parámetros.

a. Montaje del módulo de tratamiento

Para la construcción del módulo de tratamiento se diseñó un reactor experimental basado en el dimensionamiento de la investigación “Tratamiento de aguas residuales domesticas provenientes de un camal mediante un sistemas de lodos activados a escala laboratorio” presentado por Jorge Rubio y

Rómulo Padilla, el tren de procesos se basó en la simular una PTAR a escala piloto. Teniendo en cuenta que se trabajó un proceso de lodos activados se construyó un reactor de mezcla completa de flujo continuo y recirculación de sólidos.

El sistema fue ensamblado en el laboratorio de operaciones Unitarias (LOPU) de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.



Figura 27. Módulo de tratamiento a escala laboratorio

Elaboración propia

Se construyó el reactor de acrílico que recibe el agua residual por gravedad del tanque de almacenamiento, se le realizó un orificio para la salida del efluente hacia el sedimentador. La inyección de oxígeno al sistema, fue realizada a través de 10 piedras difusoras distribuidas en una red que cubre la superficie de la base del reactor de tal manera que este fuera suministrado homogéneamente y al mismo tiempo mantuviera el agua residual dentro del reactor en estado de mezcla completa. El agua residual fue contenida en un recipiente de 80 litros de capacidad, en la parte baja del tanque se instaló una tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgadas de diámetro que conduce el afluente de agua residual hacia el reactor. El caudal fue regulado por medio de dos llaves tipo bola. Al pasar hacia el sedimentador el floculo se separa, la parte clarificada se dirige al tanque de recepción de agua tratada y la biomasa regresa al reactor.



Figura 28. Tanque de almacenamiento

Elaboración propia



Figura 29. Reactor biológico

Elaboración propia



Figura 30. Sedimentador

Elaboración propia



Figura 31. Boyas eléctricas

Elaboración propia



Figura 32. Red de difusores

Elaboración propia

b. Calibración del equipo

- **Bomba de recirculación**

Se trabajó con un bomba Meba de $\frac{1}{2}$ Hp instalada en la salida del sedimentador para recircular los lodos al reactor y de este modo conservar la concentración de la biomasa en la cámara aireada; este proceso se repetía cada tres horas, la bomba tiene instalada una línea de purga para evacuar los lodos envejecidos.



Figura 33. Bomba de recirculación

Elaboración propia

- **Compresor de aireación**

Se trabajó con una compresora de 2.5 Hp de potencia que suministro oxígeno al reactor de manera continua.



Figura 34. Compresor de aireación

Elaboración propia

- **Tablero de control** El módulo de tratamiento conto con un panel de control semiautomático que controlaba la recirculación, aireación y el llenado del tanque de almacenamiento por boyas eléctricas



Figura 35. Panel de control

Elaboración propia

c. Preparación del reactor

➤ Inoculo

La biomasa bacteriana utilizada como inoculo (siembra de microorganismos) proveniente de la planta de tratamiento de San Miguel 2 fue extraída del reactor tipo MMBR. Se inoculo en nuestro reactor piloto, 20 litros de bacterias acondicionadas en alimento, temperatura y pH. Se determinó la concentración de SSV en el licor de mezcla, que es la cantidad de microorganismos presentes en el reactor.

Tabla 15

Medida de SSV del reactor

Parámetro de control	Valor (mg/L)
SSV (mg/L)	2827

Fuente propia



Figura 36. Inoculación de bacterias

Elaboración propia

➤ **Puesta en marcha**

1. Extracción del agua residual cruda

Para el estudio se tomó muestras de agua residual con la ayuda del personal de la PTAR de san Miguel. El día 15 de junio de 2019 a las 8:00 am. Se tomó 80 litros de muestra del homogeneizador, in situ se realizaron análisis de pH, oxígeno disuelto y temperatura, posteriormente a ello se llevó las muestras al laboratorio de procesos unitarios (LOPU). Además se realizaron los análisis de DBO Y DQO, preservando 2 litros de muestra a temperaturas menores de 10°C y agregando ácido sulfúrico.



Figura 37. Muestras agua residual

Elaboración propia



Figura 38. Conservación de muestras

Elaboración propia

2. Regulación de las válvulas de entrada.

Una vez que se determinó el tiempo de retención y teniendo el volumen del tanque aerobio constante se hallaron los caudales que serán regulados para el ingreso del agua residual al reactor.

Tabla 16

Medida de los caudales suministrados

TRH (h)	CAUDAL (ml/ minuto)
5	130
10	65
15	43.33

Elaboración propia



Figura 39. Regulación del caudal

Elaboración propia

3. Funcionamiento del reactor

Una vez que se realizó la inoculación de los microorganismos, se tomaron dos semanas para que el sistema alcanzara el equilibrio creando las condiciones óptimas para que los microorganismos se aglutinen y formen los floculos suficientemente densos para su sedimentación, el sistema fue operado en función del tiempo de retención. Se realizaron mediciones diarias de pH, OD y temperatura en el tanque aireado para controlar el proceso. Se midieron valores de IVL para conocer la cantidad de microorganismos existentes.

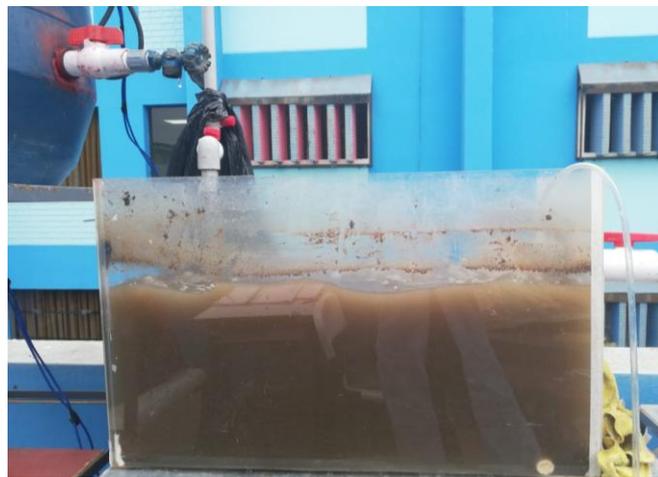


Figura 40. Reactor biológico

Elaboración propia



Figura 41. Reactor con biomasa

Elaboración propia

4. Funcionamiento del Sedimentador

El reactor tiene la capacidad de 23 litros, cumple la función de separar la biomasa del agua clarificada. Tiene la siguiente línea

- Línea de recirculación
- Línea de purga

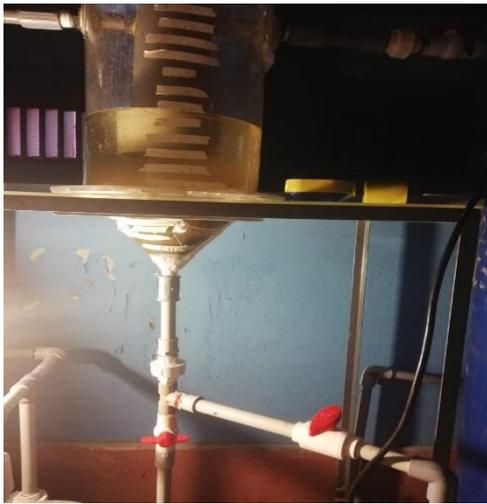


Figura 42. Sedimentador vista 1

Elaboración propia



Figura 43. Sedimentador vista 2

Elaboración propia



Figura 44. Sedimentador vista 3

Elaboración propia



Figura 45. Sedimentador vista 4

Elaboración propia

5. Problemas de separación en el proceso de lodos activados

Se encontraron problemas operativos antes de llegar al equilibrio del sistema.

Entre ellos tenemos:

- **Efecto anóxico:** se produce cuando el ambiente en el reactor se encuentra en ausencia de oxígeno. Esto surgió debido a que la red de difusores no cubrió en su totalidad la base del reactor, produciendo zonas en las que no fueron correctamente aireadas y homogenizadas. Se fabricó una nueva línea eliminando el problema.



Figura 46. Reactores con aireación heterogénea

Elaboración propia



Figura 47. Reactores en estado anoxico

Elaboración propia

- **Efecto bulking filamentoso:** Se produce por un exceso de organismos filamentosos, este fallo produce floculos separados haciendo que la sedimentación y compactación seas deficientes, en casos severos el manto de lodos sale con los efluentes.



Figura 48. Efecto bulking presente en el sedimentador
Elaboración propia



Figura 49. Lodos sin sedimentación
Elaboración propia

Posterior a los problemas mencionados, se trabajó controlando la oxigenación suministrada al reactor y la purga de lodos, estas operaciones lograron que el sistema llegue al equilibrio como se muestra en las siguientes figuras:



Figura 50. Lodos sedimentables

Elaboración propia

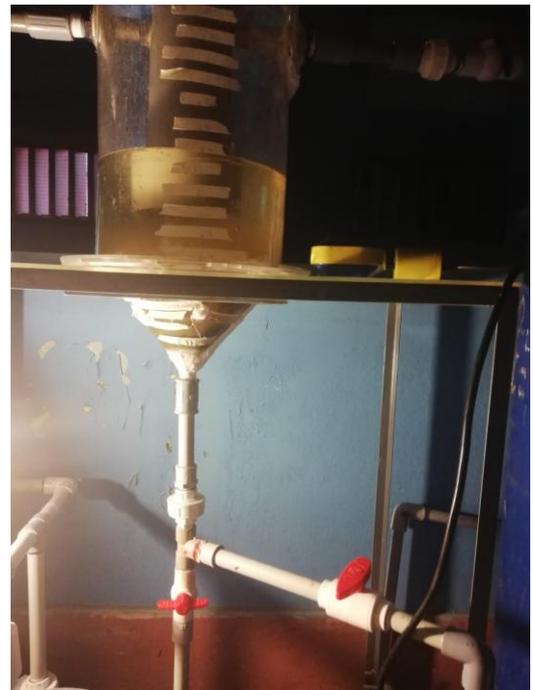


Figura 51. Separación sólidos – líquido

Elaboración propia

Se observa una sedimentabilidad correcta de la biomasa y una separación eficiente entre los lodos y el agua clarificada.

Monitoreando estas operaciones se logra una mayor eficiencia del sistema logrando porcentajes de remoción óptimos de la carga orgánica.

➤ **Control del proceso**

Para mantener el proceso estable y elevar los valores de eficiencia de remoción de la carga orgánica, frente a las variaciones de las condiciones de los parámetros de funcionamiento (tiempo de retención, coagulante y pH) es importante manejar los factores durante el proceso:

1. Regular el oxígeno disuelto (OD)

El nivel de oxígeno en el reactor es un parámetro muy importante, si la concentración es baja inhibe la actividad microbiana, cuando hay mucho oxígeno afecta a la sedimentabilidad de los lodos. Las mediciones de este parámetro en el reactor se efectuaron de forma diaria estableciéndose en un rango de 2 y 5 mg/L.



Figura 52. Separación sólidos – líquido

Elaboración propia

2. Controlar la recirculación de lodo

Para mantener la concentración de microorganismos en el reactor, los floculos que son arrastrados al sedimentador regresan al tanque aireado mediante la línea de recirculación compuesta por una bomba, este procedimiento se realizaba cada tres horas durante el día. Estos datos fueron establecidos en la puesta en marcha



Figura 53. Recirculación de lodos

Elaboración propia

3. Control de purga de lodos:

Nuestro sistema cuenta con una línea de purga compuesta por una bomba que desecha los lodos con el objetivo de mantener la edad de lodo intermedio ni joven ni viejo.

- Tiempo de retención Celular
Se calcula con la siguiente ecuación:

$$TRC = \frac{kg\ SSVLM}{kgSSVP + kgSSVE}$$

.kg SSVLM= Solidos suspendidos volátiles del reactor

.kgSSVP= Solidos suspendidos volátiles de la línea de purga

.kgSSVE = Solidos suspendidos volátiles del efluente

Tabla 17

Medida de los SSV del sistema

Solidos Suspendidos	Valores promediados (mg/L)
SSVLM	2000
SSVP	1200
SSVE	-

Elaboración propia

Según los cálculos nos arroja:

$$TRC = 5\ dias$$

A mayor purga menor TRC y menor purga y viceversa, este valor de tiempo de retención obtenido es suficiente para la formación de un lodo saludable,

d. Parámetros de control del proceso de lodos activados

➤ Índice volumétrico de lodos (IVL)

El índice volumétrico de lodos, muestra la característica física de sedimentabilidad que se produce en el lodo durante el proceso.

$$IVL = \frac{V_{30}}{X_T} * 1\ 000$$

Donde:

V_{30} : Volumen Lodo sedimentado en 30 minutos en una probeta de 1 L (ml/L)

X_T : Concentración de SSTLM (mg/L)

Tabla 18

Condiciones de sedimentabilidad

Condición	Características
IVL < 90 ml/g	Excelente sedimentabilidad
90 < IVL < 150 ml/g	Buena sedimentabilidad
IVL > 150 ml/g	Malas condiciones de sedimentabilidad

Cálculos básicos de PTAR ,canelones

http://www.ose.com.uy/descargas/reclutamiento/calculos_basicos.docx

Se realizó los cálculos promedios por semana para cada tiempo de retención hidráulico, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 19

Condiciones de sedimentabilidad producido en el tratamiento

Semana	TRH (h)	V30(ml/l)	SST(mg/l)	IVL(ml/g)
1	5	385	3392	113.90
2	10	296.66	3136.66	94.71
3	15	263.33	3224.33	81.48

Elaboración propia



Figura 54. Lodos sedimentables

Elaboración propia



Figura 55. Sedimentación del reactor y efluente

Elaboración propia

El lodo presenta buena sedimentabilidad, es decir precipita lo suficientemente lento para arrastrar las partículas suspendidas en el agua y rápido para la clarificación en el sedimentador

➤ **Relación alimento-microorganismo (F/M)**

Es la relación que existe de entre la cantidad de carga orgánica que hay en el reactor y la cantidad de microorganismos que se encuentran en el reactor.

$$\frac{F}{M} = \frac{Q * S_o}{VX}$$

Dónde:

- Q : Caudal de agua residual cruda (m³/d)
- So : DBO del agua residual cruda (mg/L)
- V : Volumen del líquido en el tanque de aireación (m³)
- X : Concentración de SSV en el tanque de aireación, (mg/L)

Se realizó los cálculos promedios por semana para cada tiempo de retención hidráulico, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 20

Resultados de relación alimento-microorganismo (F/M)

Semana	TRH(h)	Q(ml/min)	DBO5(mg/L)	V(L)	SSVLM(mg/L)	F/M
1	5	130.00	920.40	39	2520.33	1.76
2	10	65.00	920.40	39	2472.33	0.93
3	15	43.33	920.40	39	2386.67	0.60

Elaboración propia

En la primera semana con un tiempo de retención hidráulico de 5 horas, se registró un valor de F/M de 1.76, significando que la alimentación de los microorganismos en la primera semana es alta con respecto a la alta carga

orgánica en el reactor. Cabe indicar que en la primera semana según el valor de F/M, nos encontramos en un proceso de aireación de alta tasa.

En la tercera semana con tiempo de retención hidráulico de 15 horas, se registró un valor de F/M de 0.60, significando que la alimentación de los microorganismos en la tercera semana es baja con respecto a la baja carga orgánica en el reactor. Cabe indicar que en la tercera semana según el valor de F/M, nos encontramos en un proceso de mezcla completa.

4.6.2 Evaluación de los parámetros de operación del proceso de Lodos activados

a. Tiempo de retención hidráulico

Los tiempos de retención en el sistema son suficientemente grandes como para lograr que los compuestos orgánicos inicialmente presentes en el agua se hidrolicen a sustancias más pequeñas y solubles. Se asumió tiempos de 5, 10 y 15 horas para cada fase del tratamiento. Con estos tiempos establecidos y el volumen conocido se determinó los caudales a trabajar durante el proceso.

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

b. Concentración del coagulante

Para la eliminación de los sólidos suspendidos se seleccionó el coagulante sulfato de aluminio $AL_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$. Se establecieron las dosis en el proceso: sin coagulante, 150 ppm y 300 ppm.

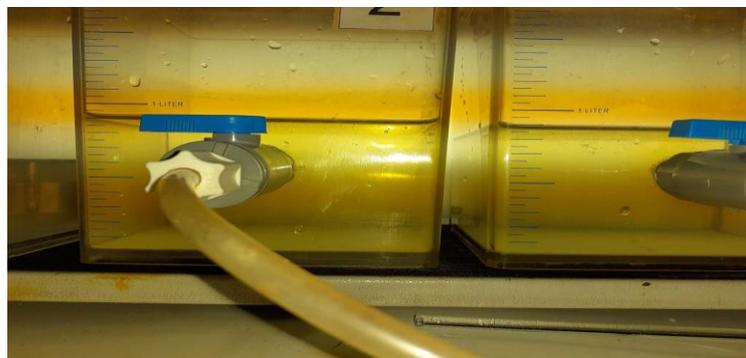


Figura 56. Determinación de la concentración óptima de coagulante

Elaboración propia

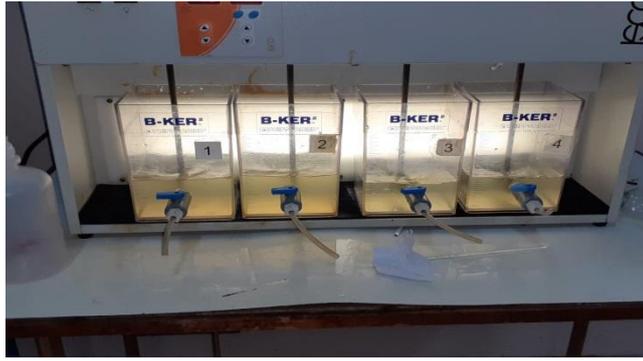


Figura 57. Test de Jarras

Elaboración propia

c. pH

El reactor trabaja en un rango óptimo de pH de 6 a 8. Para mantenerlo estable se determinó trabajar dentro de estos valores, la modificación del pH se logró con la adición de hidróxido de sodio y ácido fosfórico.

4.6.3 Caracterización fisicoquímica del agua residual doméstica.

La toma de muestras para la caracterización de afluente se realizó in situ en la PTAR del distrito de San Miguel. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio IEA SAC para su respectivo análisis para la medición del DBO

Los análisis de cauterización de SST, DQO, pH, turbidez fueron determinados en las instalaciones del laboratorio de FIQ- UNAC



Figura 58. Análisis de agua residual sin tratamiento

Elaboración propia



Figura 59. Análisis de DQO

Elaboración propia



Figura 60. Análisis de turbidez

Elaboración propia



Figura 61. Análisis de agua residual en el proceso

Elaboración propia



Figura 62. Análisis de agua tratada

Elaboración propia

4.6.4 Proceso de Lodos Activados

El sistema de lodos activados fue operado en flujo continuo por un periodo de 6 semanas, a una temperatura constante de 21 °C las condiciones de operación del sistema fueron tiempo de retención, coagulante y pH. Con el primer parámetro se trabajó en tres tiempos de retención hidráulico de 5, 10 y 15 horas respectivamente.

El reactor era alimentado por el agua residual domestica de manera continua. La siguiente condición de funcionamiento fue el pH dentro de un rango de 6.5, 7.0 y 7.5. Estas condiciones fueron dadas para no producir la desestabilización del sistema, la variación en el pH se produjo agregando soda y acido.

El coagulante de sulfato de aluminio se trabajó sin la adición del mismo a 150 y 300 ppm

Para evaluar el sistema biológico en las condiciones establecidas se determinaron parámetros de control en el reactor como IVL, F/M y OD. La etapa de adaptación de las bacterias en el reactor fue de 2 semanas en las que se estabilizo el sistema. La concentración de oxígeno disuelto promedio en el reactor se mantuvo en 4.5 mg/L mediante difusores de oxigeno que además de brindar aireación permiten la homogenización de la biomasa en el reactor. La recirculación se realizó cada 3 horas durante en el día. Para evaluar la estabilidad de reactor se analizó el IVL diariamente y temperatura.



Figura 63. Reactor lodos activados escala piloto

Elaboración propia



Figura 64. Proceso lodos activados escala piloto vista 1

Elaboración propia



Figura 65. Proceso lodos activados escala piloto vista 2

Elaboración propia



Figura 66. Efluente posterior al tratamiento

Elaboración propia

4.6.5 Evaluación de la eficiencia

Para la evaluación de la eficiencia se considera los resultados obtenidos en la caracterización del afluente y del efluente

Utilizamos en la siguiente formula.

$$E\% = \frac{S_0 - S}{S_0 * 100}$$

S₀ = Concentración de DBO o DQO, SST afluente mg/L

S = Concentración de DBO o DQO, SST efluente mg/L

V. RESULTADOS

5.1 Resultados Descriptivos

Una vez culminada las corridas experimentales, utilizando la metodología planteada, se llegó a identificar y cuantificar la influencia de la variación del tiempo de retención hidráulico, concentración de coagulante y el pH en la disminución de la carga orgánica contaminante del agua residual doméstica.

Tabla 21

Caracterización del agua residual domestica cruda

Parámetro	Unidad	Valores
DBO5	mg/L	920.4
DQO	mg/L	1250
SST	mg/L	435
TURBIDEZ	NTU	600
Temperatura	°C	21.74
pH	-	7.5

Elaboración propia

a. Parámetros de control del proceso de lodos activados

En la tabla 20 y en la tabla 21, se muestran los valores promediados semanales de temperatura, índice volumétrico de lodos (IVL), oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla(SSVLM) y la relación de alimentación de la carga orgánica con respecto a la cantidad de microorganismo (F/M).

Tabla 22

Parámetros de control del proceso de lodos activados en el Reactor

Semana	TRH(h)	Temperatura(°C)	OD(mg/l)	SSVLM(mg/l)	F/M
1	5	21.56	4,25	2520.33	1.76
2	10	21.67	4.75	2472.33	0.93
3	15	21.24	4.51	2386.67	0.60

Elaboración propia

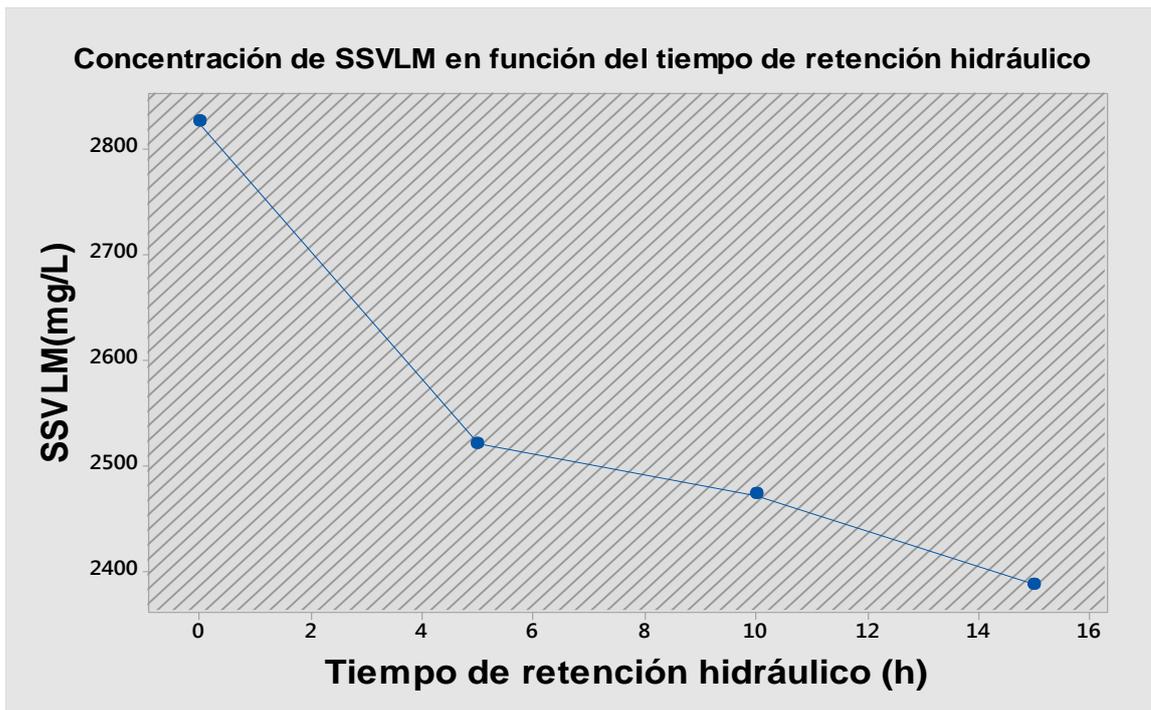


Figura 67. Concentración de SSVLM en función del tiempo de retención hidráulico

Elaboración propia

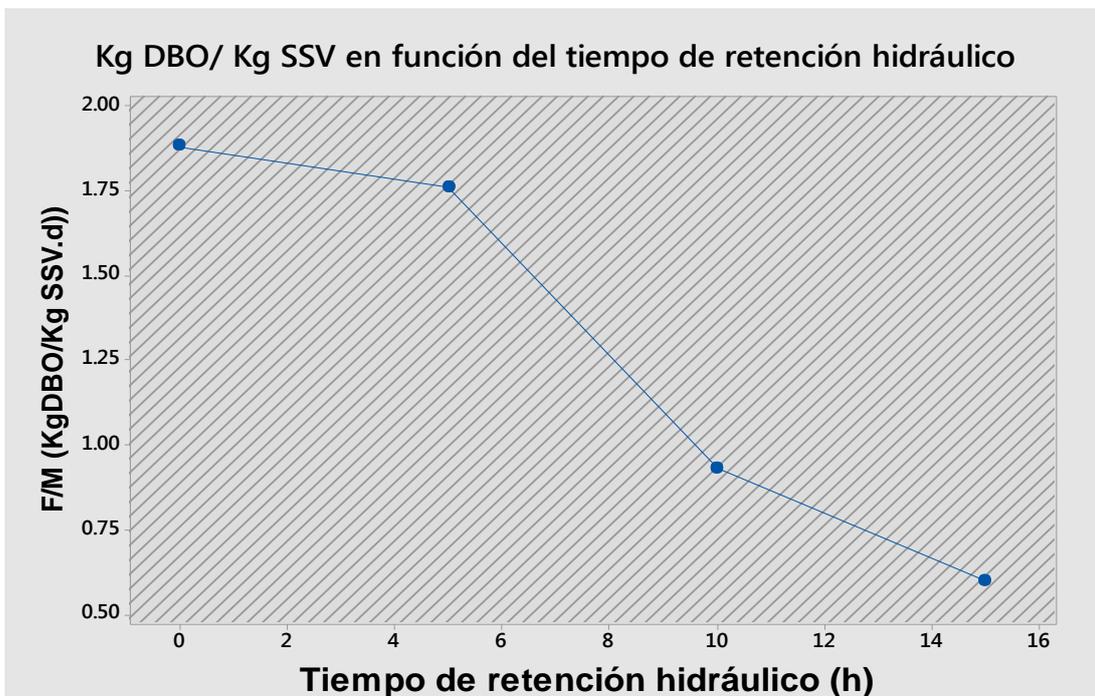


Figura 68. Relación de Kg DBO/Kg SSV en función del tiempo de retención hidráulico

Elaboración propia

Tabla 23

Parámetros de control del proceso de lodos activados en el Reactor

Semana	TRH(h)	IVL/(mg/l)
1	5	113.90
2	10	94.71
3	15	81.48

Elaboración propia

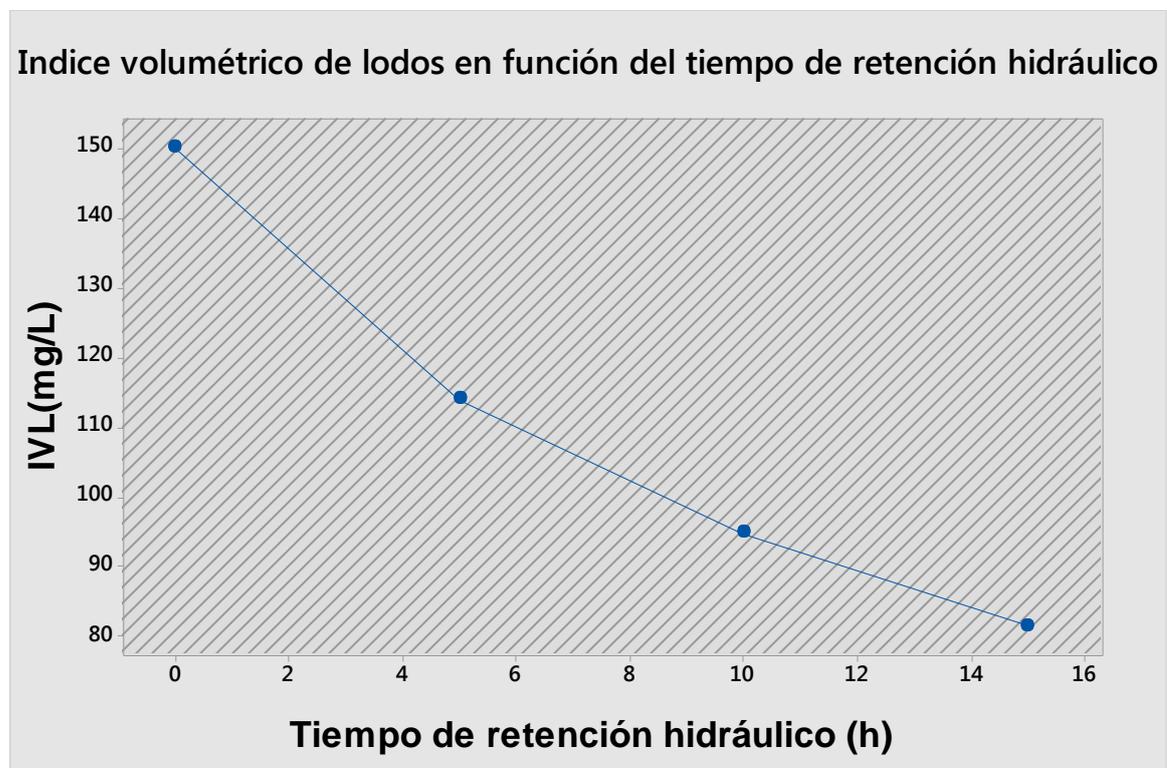


Figura 69. Índice volumétrico de lodos en función del tiempo de retención hidráulico

Elaboración propia

Tabla 24

Caracterización final del agua residual domestica para el % Remoción DQO

Semana	TRH(h)	DQO Afluente (mg/l)	DQO Efluente (mg/l)	% Remoción DQO
1	5	1250	90	93
2	10	1250	80	94
3	15	1250	30	98

Elaboración propia

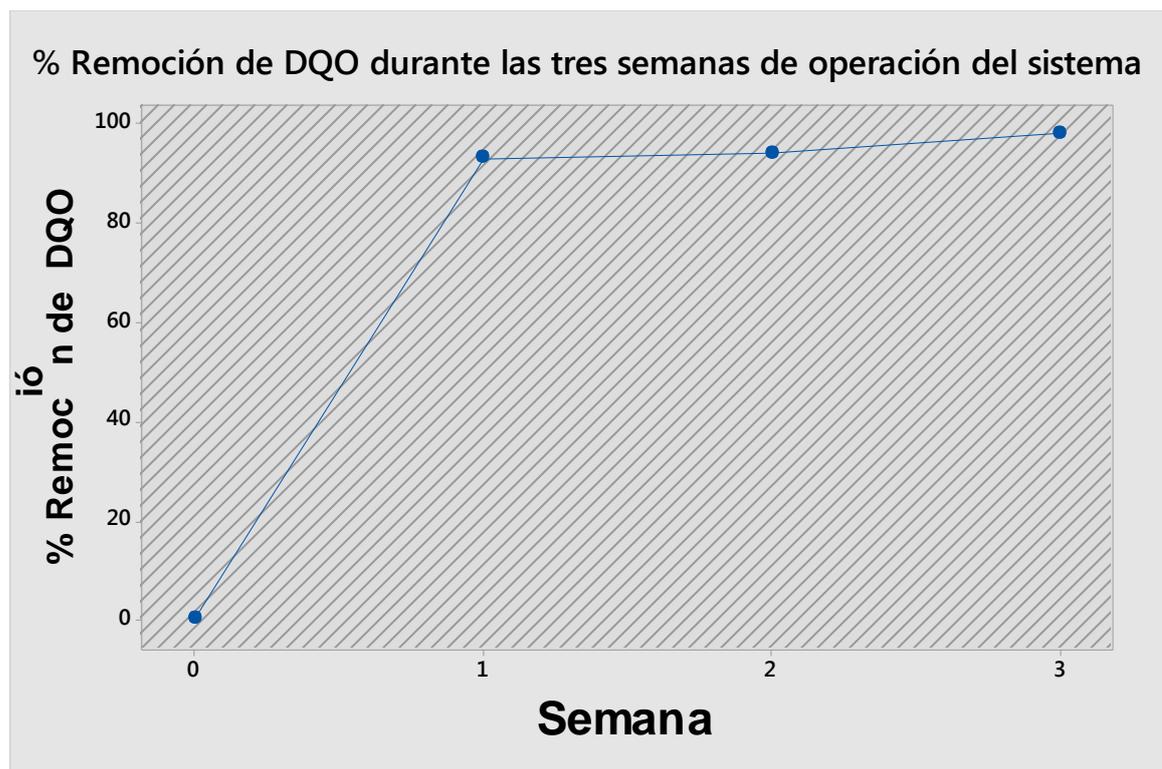


Figura 70. % Remoción de DQO durante las tres semanas de operación del sistema

Elaboración propia

Tabla 25

Caracterización final del agua residual domestica para el % Remoción SST

Semana	TRH(h)	SST Afluente (mg/l)	SST Efluente (mg/l)	% Remoción SST
1	5	435	39	91
2	10	435	23	95
3	15	435	10	98

Elaboración propia

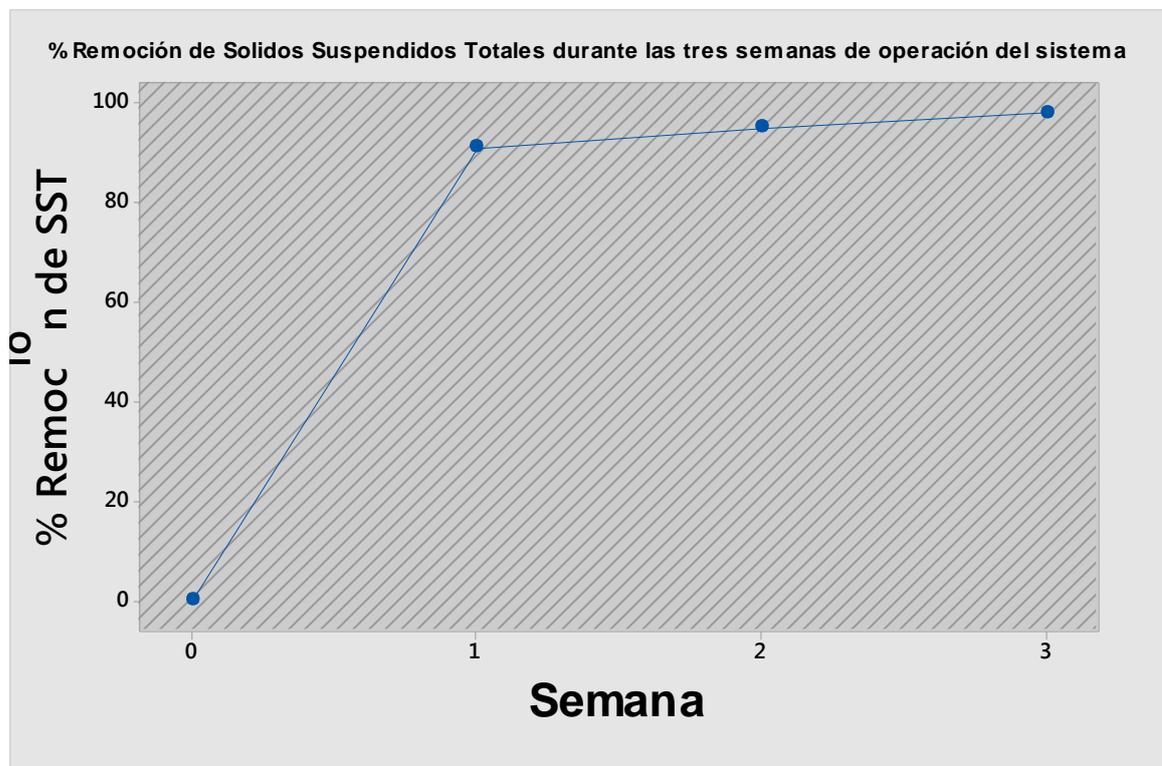


Figura 71. % Remoción de SST durante las tres semanas de operación del sistema

Elaboración propia

Tabla 26

Caracterización final del agua residual domestica para % Turbidez

Semana	TRH(h)	Turbidez Afluente (mg/l)	Turbidez Efluente (mg/l)	% Remoción Turbidez
1	5	600	85	86
2	10	600	21	97
3	15	600	6	99

Elaboración propia

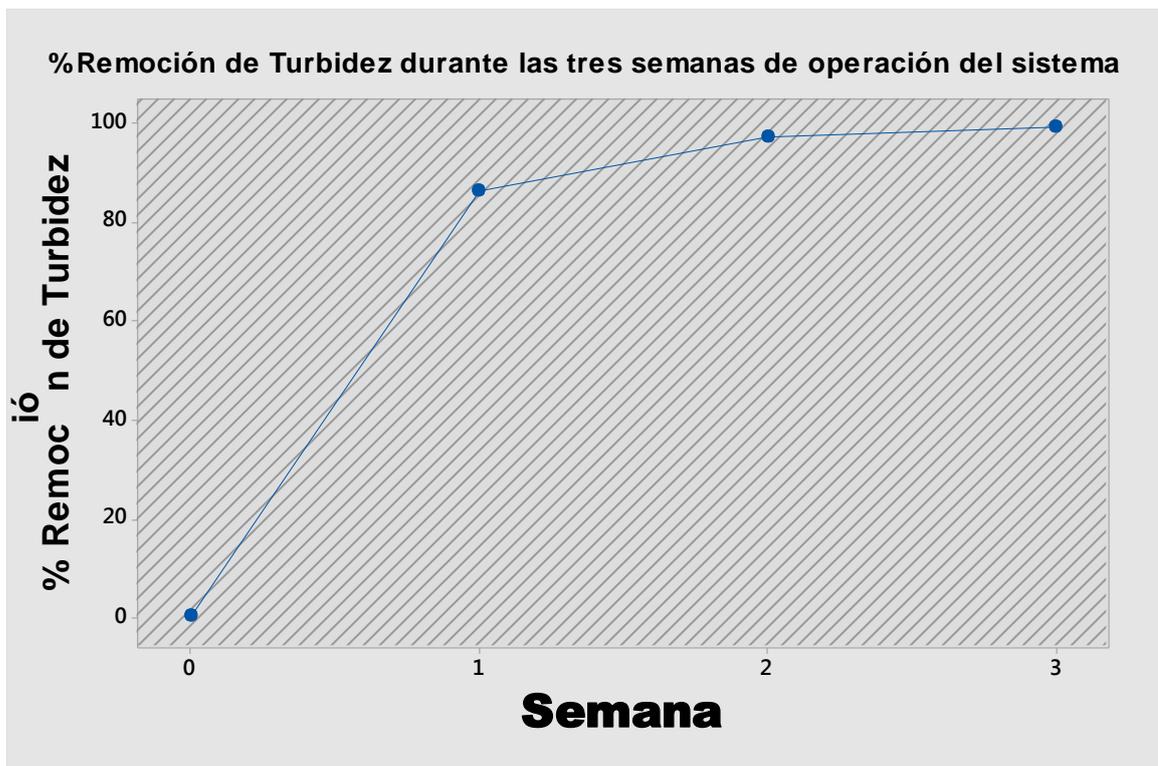


Figura 72. % Remoción de Turbidez durante las tres semanas de operación del sistema

Elaboración propia

5.2 Resultados Inferenciales

Se utilizó el programa estadístico Minitab, mediante el Análisis de Taguchi, para evaluar nuestras variables de entrada (Tiempo de retención hidráulica, concentración de coagulante y pH) con respecto a nuestras variables de salida (% Remoción DQO, % Remoción SST, % Remoción turbidez) y poder observar la correlación entre ellas.

a. % DQO vs. TRH (horas), CONCENTRACIÓN DE COAGULANTE (ppm), pH

Tabla 27

Análisis de Taguchi

TRH(horas)	C(ppm)	pH	% DQO
5	0	6.5	90
5	150	7	91
5	300	7.5	93
10	0	7	92
10	150	7.5	93
10	300	6.5	94
15	0	7.5	96
15	150	6.5	97
15	300	7	98

Elaboración propia

Análisis de modelo lineal: Relaciones SN vs. TRH (horas), CONC (ppm), pH

Tabla 28

Coefficientes de modelos estimados para Relaciones SN

Término	Coef	EE del coef.	T	P
Constante	39.4387	0.01081	3648.007	0.000
TRH(hora 5)	-0.2270	0.01529	-14.845	0.005
TRH(hora 10)	-0.0694	0.01529	-4.540	0.045
CONC(ppm 0)	-0.1034	0.01529	-6.763	0.021
CONC(ppm 150)	-0.0101	0.01529	-0.661	0.577

pH 6.5	-0.0111	0.01529	-0.728	0.542
pH 7.0	-0.0117	0.01529	-0.766	0.524

Programa estadístico Minitab

Tabla 29

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0.0324	99.59%	98.34%

Programa estadístico Minitab

Tabla 30

Análisis de Varianza de Relaciones SN

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
TRH(horas)	2	0.432525	0.432525	0.216263	205.59	0.005
CONC(ppm)	2	0.071029	0.071029	0.035515	33.76	0.029
pH	2	0.002347	0.002347	0.001174	1.12	0.473
Error residual	2	0.002104	0.002104	0.001052		
Total	8	0.508006				

Programa estadístico Minitab

Tabla 31

Tabla de respuesta para relaciones de señal a ruido

Más grande es mejor

Nivel	TRH(horas)	CONC(ppm)	pH
1	39.21	39.34	39.43
2	39.37	39.43	39.43
3	39.74	39.55	39.46
Delta	0.52	0.22	0.03

Programa estadístico Minitab

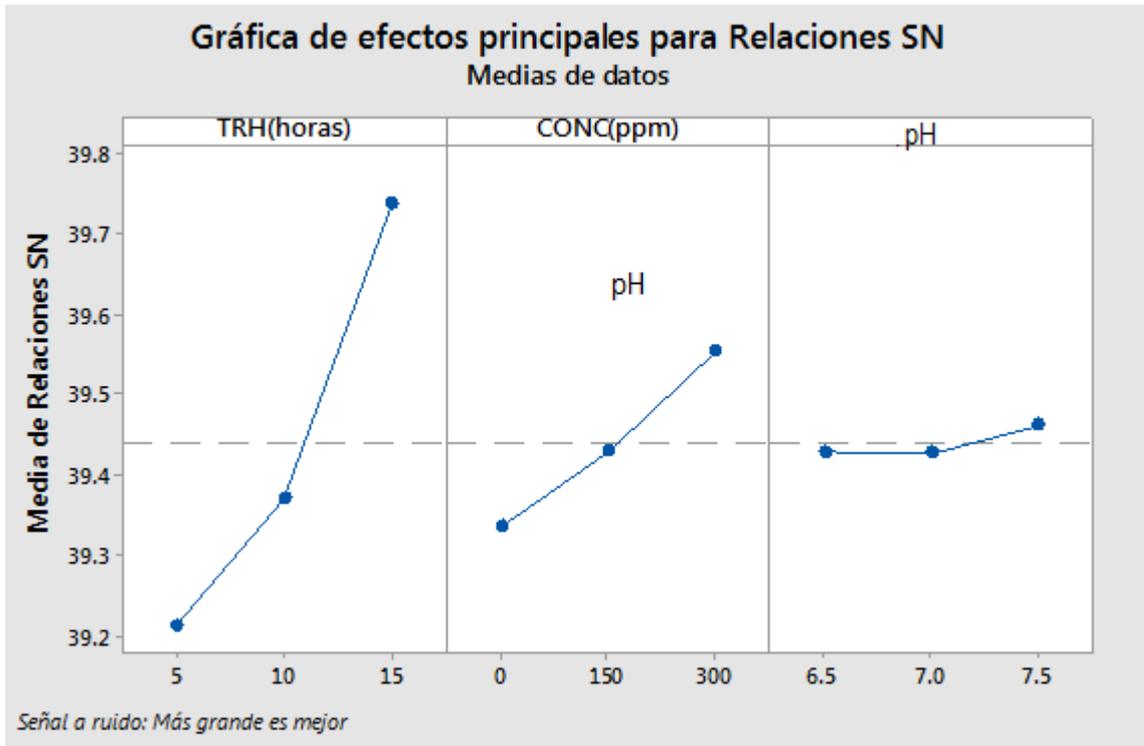


Figura 73. Grafica de efectos principales para Relaciones SN

Programa estadístico Minitab

Tabla 32

Tabla de respuesta para medias

Nivel	TRH(horas)	CONC(ppm)	pH
1	91.33	92.67	93.67
2	93.00	93.67	93.67
3	97.00	95.00	94.00
Delta	5.67	2.33	0.33
Clasificar	1	2	3

Programa estadístico Minitab

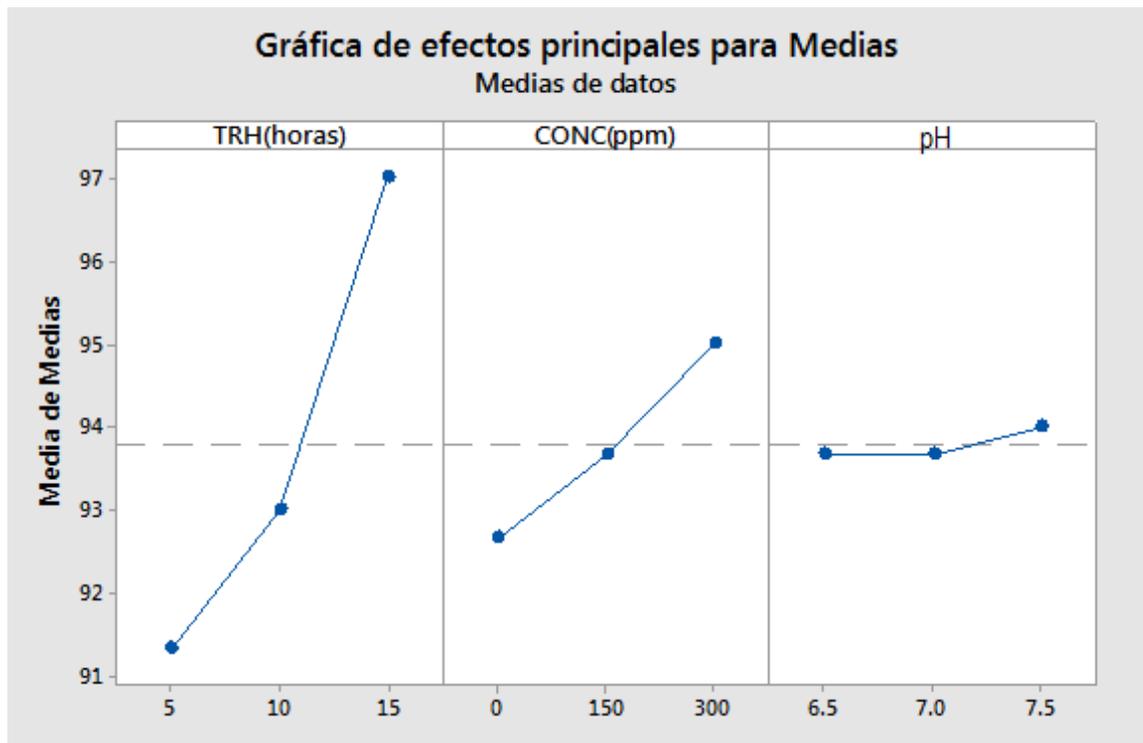


Figura 74. Grafica de efectos principales para Medias

Programa estadístico Minitab

Modelo Lineal General

% DQO vs TRH (horas), CONC (ppm), pH

Método

Codificación de Factores (-1, 0, +1)

Tabla 33

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
TRH(horas)	Fijo	3	5, 10, 15
CONC(ppm)	Fijo	3	0, 150, 300
pH	Fijo	3	6.5, 7.0, 7.5

Programa estadístico Minitab

Tabla 34**Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRH(horas)	2	50.8889	85.45%	50.8889	25.4444	229.00	0.004
CONC(ppm)	2	8.2222	13.81%	8.2222	4.1111	37.00	0.026
pH	2	0.2222	0.37%	0.2222	0.1111	1.00	0.500
Error	2	0.2222	0.37%	0.2222	0.1111		
Total	8	59.5556	100.00%				

Programa estadístico Minitab

Tabla 35**Resumen del Modelo**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	PRESS	R-cuad. (pred)
0.333333	99.63%	98.51%	4.5	92.44%

Programa estadístico Minitab

Tabla 36**Coefficientes**

Término	Coef	EE del coef.	IC de 95%	Valor T	Valor p	FIV
Constante	93.778	0.111	(93.300, 94.256)	844.00	0.000	
TRH(horas)						
5	-2.444	0.157	(-3.121, - 1.768)	-15.56	0.004	1.33
10	-0.778	0.157	(-1.454, - 0.102)	-4.95	0.038	1.33
CONC(ppm)						
0	-1.111	0.157	(-1.787, - 0.435)	-7.07	0.019	1.33
150	-0.111	0.157	(-0.787, 0.565)	-0.71	0.553	1.33

			0.565)			
pH						
6.5	-0.111	0.157	(-0.787, 0.565)	-0.71	0.553	1.33
7.0	-0.111	0.157	(-0.787, 0.565)	-0.71	0.553	1.33

Programa estadístico Minitab

Tabla 37

Parámetros Experimentales

Parámetros	Notación 1	Notación 2	Valores
		X11	5
TRH(horas)	X1	X12	10
		X13	15
		X21	0
CONC.COAGULANTE(ppm)	X2	X22	150
		X23	300
		X31	6.5
pH	X3	X32	7.0
		X33	7.5

Elaboración propia

Ecuación de Regresión

$$\% \text{ DQO} = 93.778 - 2.444 \cdot X_{11} - 0.778 \cdot X_{12} + 3.222 \cdot X_{13} - 1.111 \cdot X_{21} - 0.111 \cdot X_{22} + 1.222 \cdot X_{23} - 0.111 \cdot X_{31} - 0.111 \cdot X_{32} + 0.222 \cdot X_{33}$$

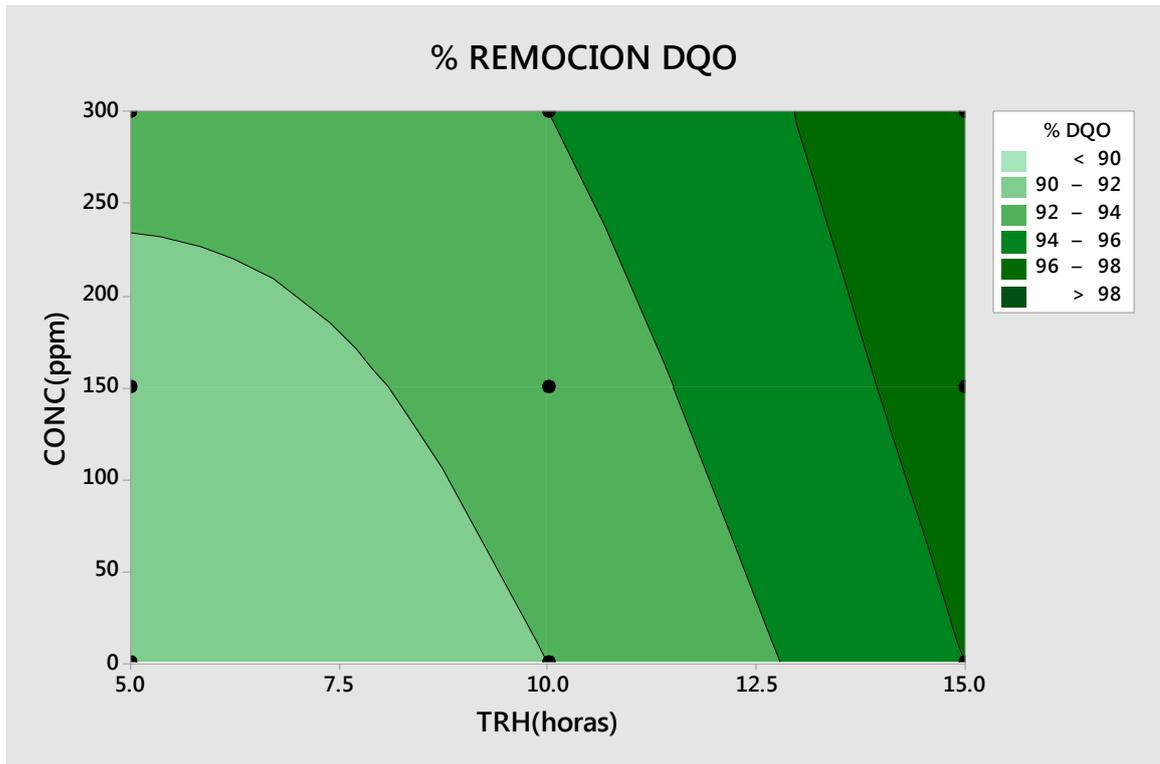


Figura 75. Grafica de contorno del % Remoción DQO

Elaboración propia

b. % SST vs. TRH (horas), CONCENTRACIÓN DE COAGULANTE (ppm), PH

Tabla 38

Análisis de Taguchi

TRH(horas)	C(ppm)	pH	% SST
5	0	6.5	80
5	150	7	85
5	300	7.5	91
10	0	7	93
10	150	7.5	95
10	300	6.5	95
15	0	7.5	96
15	150	6.5	96
15	300	7	98

Elaboración propia

Análisis de modelo lineal: Relaciones SN vs. TRH (horas), CONC (ppm), pH

Tabla 39

Coefficientes de modelos estimados para Relaciones SN

Término	Coef	EE del coef.	T	P
Constante	39.2694	0.07274	539.875	0.000
TRH(hora 5)	-0.6591	0.10287	-6.407	0.024
TRH(hora 10)	0.2234	0.10287	2.172	0.162
CONC(ppm 0)	-0.2438	0.10287	-2.370	0.141
CONC(ppm 150)	-0.0067	0.10287	-0.065	0.954
pH 6.5	-0.1822	0.10287	-1.771	0.219
pH 7.0	-0.0086	0.10287	-0.083	0.941

Programa estadístico Minitab

Tabla 40

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0.2182	96.46%	85.86%

Programa estadístico Minitab

Tabla 41

Análisis de Varianza de Relaciones SN

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC		
				Ajust.	F	P
TRH(horas)	2	2.02248	2.02248	1.01124	21.24	0.045
CONC(ppm)	2	0.36672	0.36672	0.18336	3.85	0.206
pH	2	0.20904	0.20904	0.10452	2.19	0.313
Error residual	2	0.09523	0.09523	0.04762		

Total 8 2.69347

Programa estadístico Minitab

Tabla 42

Tabla de respuesta para relaciones de señal a ruido

Más grande es mejor

Nivel	TRH(horas)	CONC(ppm)	pH
1	38.61	39.03	39.09
2	39.49	39.26	39.26
3	39.71	39.52	39.46
Delta	1.09	0.49	0.37
Clasificar	1	2	3

Programa estadístico Minitab

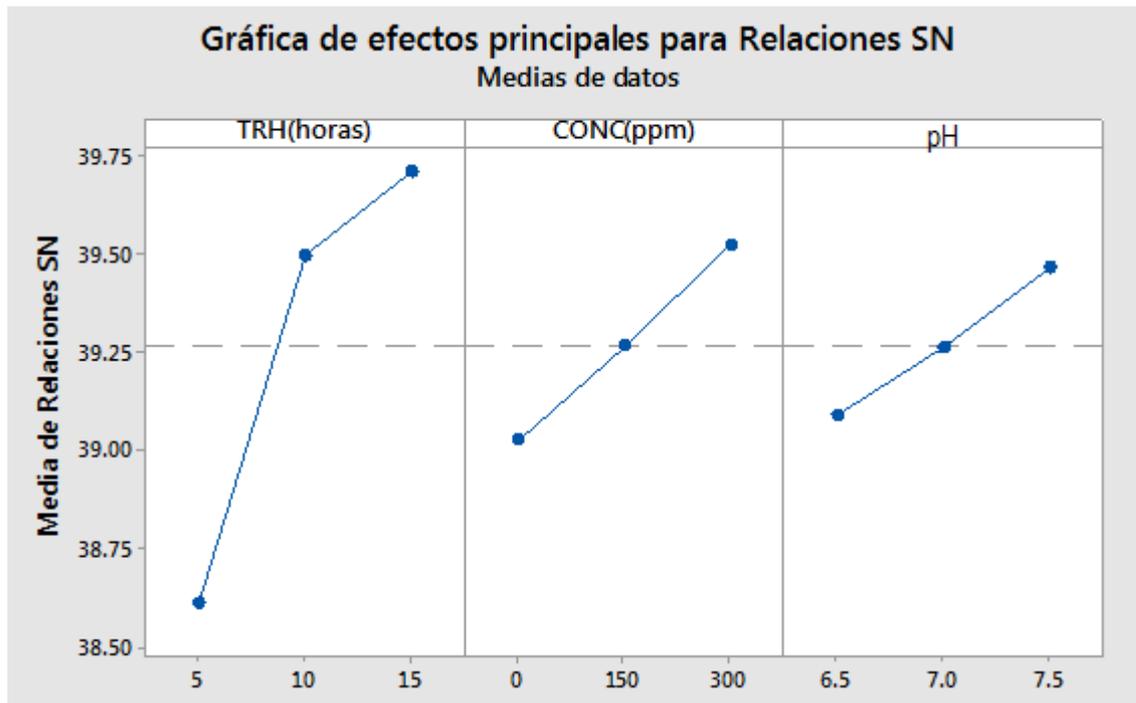


Figura 76. Grafica de efectos principales para Relaciones SN

Programa estadístico Minitab

Tabla 43

Tabla de respuesta para medias

Nivel	TRH(horas)	CONC(ppm)	pH
1	85.33	89.67	90.33
2	94.33	92.00	92.00
3	96.67	94.67	94.00
Delta	11.33	5.00	3.67
Clasificar	1	2	3

Programa estadístico Minitab

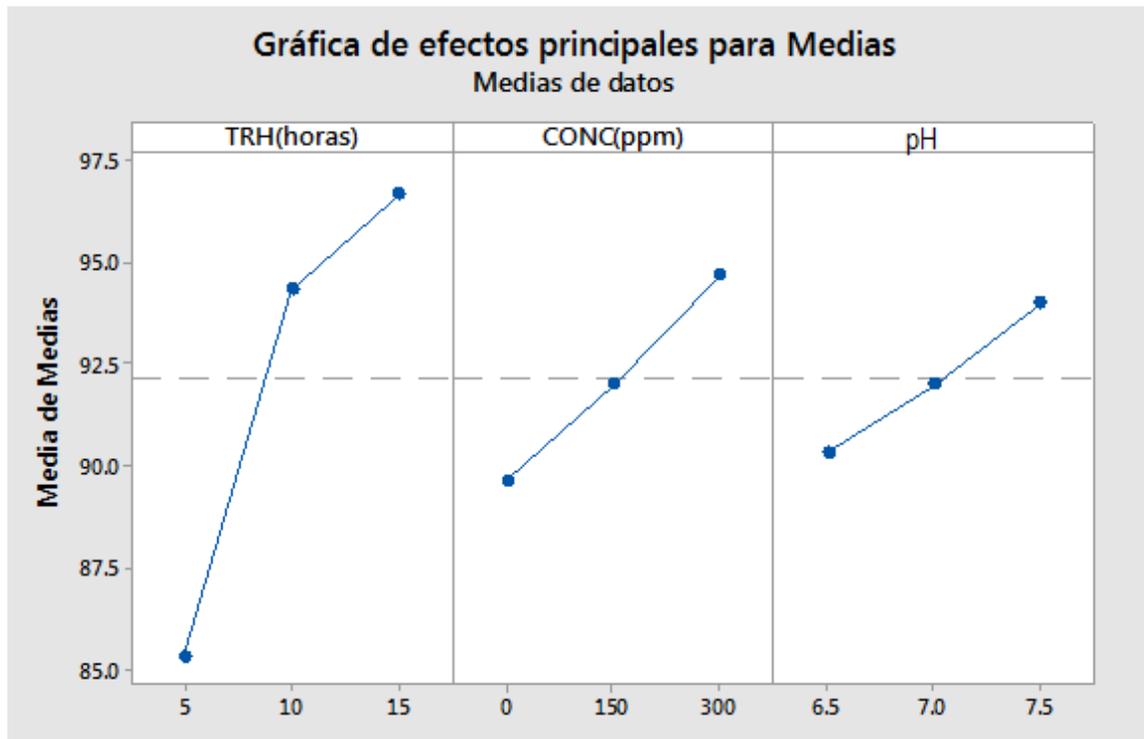


Figura 77. Grafica de efectos principales para Medias

Programa estadístico Minitab

Modelo Lineal General

% SST vs TRH (horas), CONC (ppm),pH

Método

Codificación de Factores (-1, 0, +1)

Tabla 44

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
TRH(horas)	Fijo	3	5, 10, 15
CONC(ppm)	Fijo	3	0, 150, 300
pH	Fijo	3	6.5, 7.0, 7.5

Programa estadístico Minitab

Tabla 45**Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRH(horas)	2	214.889	76.50%	214.889	107.444	26.14	0.037
CONC(ppm)	2	37.556	13.37%	37.556	18.778	4.57	0.180
pH	2	20.222	7.20%	20.222	10.111	2.46	0.289
Error	2	8.222	2.93%	8.222	4.111		
Total	8	280.889	100.00%				

Programa estadístico Minitab

Tabla 46**Resumen del Modelo**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	PRESS	R-cuad. (pred)
2.02759	97.07%	88.29%	166.5	40.72%

Programa estadístico Minitab

Tabla 47**Coeficientes**

Término	Coef	EE del coef.	IC de 95%	Valor T	Valor p	FIV
Constante	92.111	0.676	(89.203, 95.019)	136.29	0.000	
TRH(horas)						
5	-6.778	0.956	(-10.890, -2.665)	-7.09	0.019	1.33
10	2.222	0.956	(-1.890, 6.335)	2.32	0.146	1.33
CONC(ppm)						
0	-2.444	0.956	(-6.557, 1.668)	-2.56	0.125	1.33
150	-0.111	0.956	(-4.224, 4.001)	-0.12	0.918	1.33
pH						
6.5	-1.778	0.956	(-5.890, 2.335)	-1.86	0.204	1.33

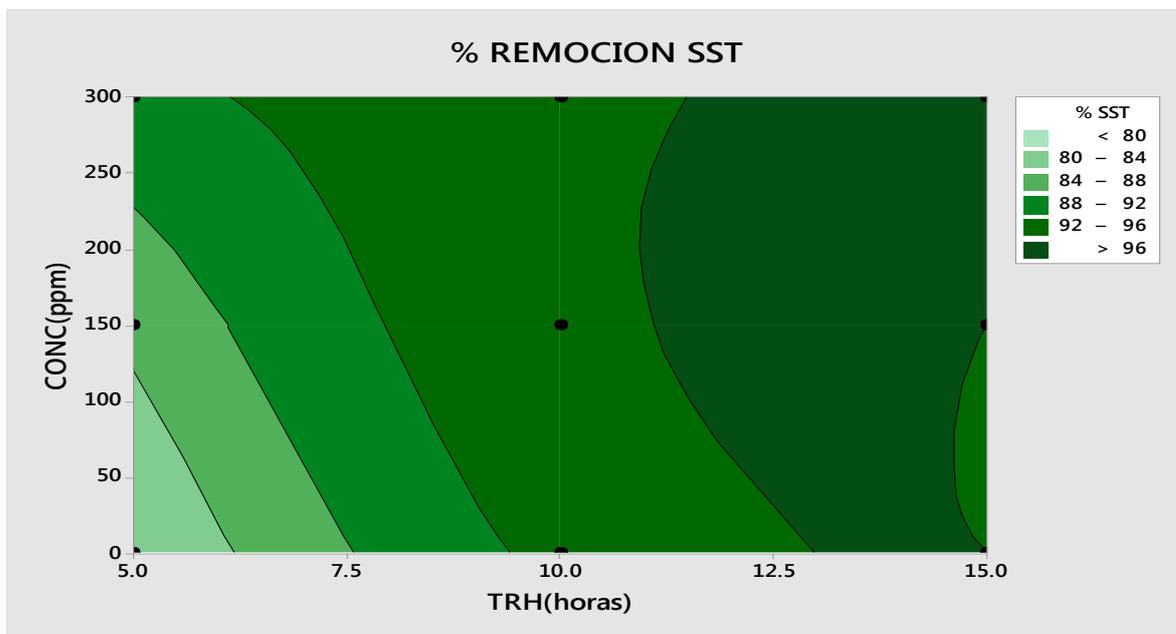


Figura 78. Grafica de contorno del % Remoción SS

Elaboración propia

c. % TURBIDEZ vs. TRH (horas), CONCENTRACIÓN DE COAGULANTE (ppm), pH

Tabla 49

Análisis de Taguchi

TRH(horas)	C(ppm)	pH	% TURBIDEZ
5	0	6.5	88
5	150	7	85
5	300	7.5	86
10	0	7	88
10	150	7.5	93
10	300	6.5	97
15	0	7.5	96
15	150	6.5	97
15	300	7	99

Elaboración propia

Análisis de modelo lineal: Relaciones SN vs. TRH (horas), CONC (ppm), pH

Tabla 50

Coefficientes de modelos estimados para Relaciones SN

Término	Coef	EE del coef.	T	P
Constante	39.2729	0.08619	455.656	0.000
TRH(hora 5)	-0.5503	0.12189	-4.514	0.046
TRH(hora 10)	0.0587	0.12189	0.481	0.678
CONC(ppm 0)	-0.1313	0.12189	-1.078	0.394
CONC(ppm 150)	-0.0418	0.12189	-0.343	0.765
pH 6.5	0.1806	0.12189	1.482	0.277
pH 7.0	-0.1427	0.12189	-1.171	0.362

Programa estadístico Minitab

Tabla 51

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0.2586	93.59%	74.38%

Programa estadístico Minitab

Tabla 52***Análisis de Varianza de Relaciones SN***

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
TRH(horas)	2	1.6437	1.6437	0.82184	12.29	0.075
CONC(ppm)	2	0.1469	0.1469	0.07345	1.10	0.477
pH	2	0.1632	0.1632	0.08161	1.22	0.450
Error residual	2	0.1337	0.1337	0.06686		
Total	8	2.0875				

Programa estadístico Minitab

Tabla 53***Tabla de respuesta para relaciones de señal a ruido******Más grande es mejor***

Nivel	TRH(horas)	CONC(ppm)	pH
1	38.72	39.14	39.45
2	39.33	39.23	39.13
3	39.76	39.45	39.24
Delta	1.04	0.30	0.32
Clasificar	1	3	2

Programa estadístico Minitab

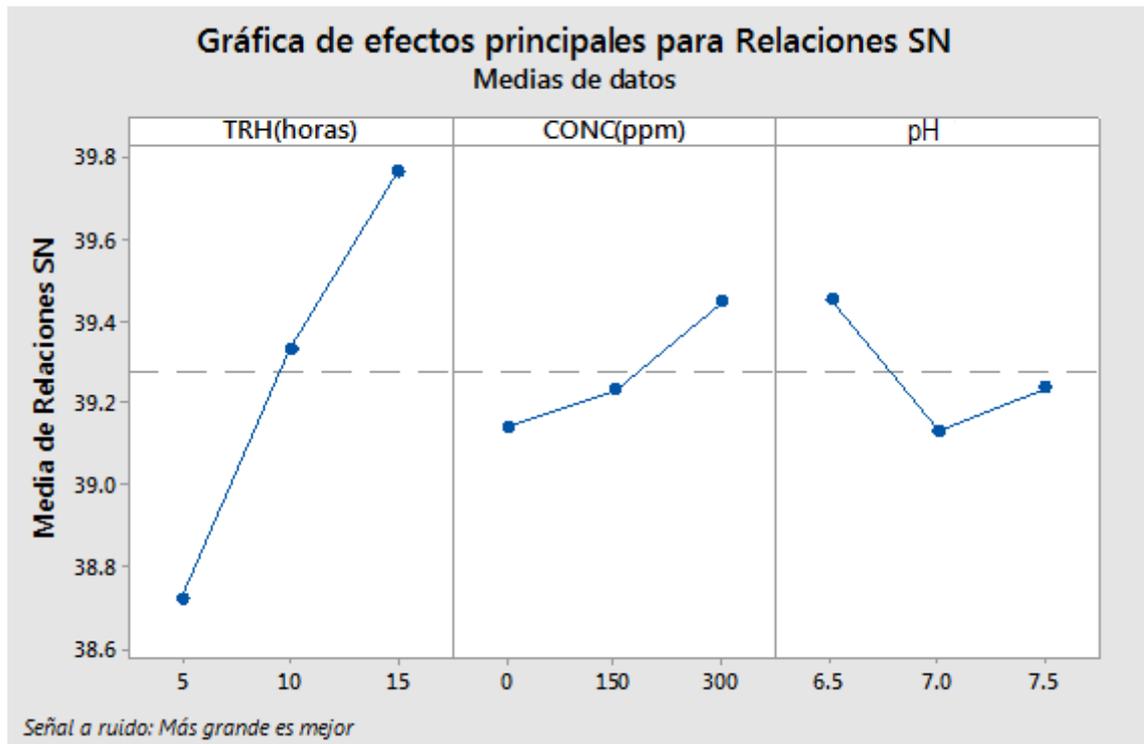


Figura 79. Grafica de efectos principales para Relaciones SN
Programa estadístico Minitab

Tabla 54

Tabla de respuesta para medias

Nivel	TRH(horas)	CONC(ppm)	pH
1	86.33	90.67	94.00
2	92.67	91.67	90.67
3	97.33	94.00	91.67
Delta	11.00	3.33	3.33
Clasificar	1	2.5	2.5

Programa estadístico Minitab

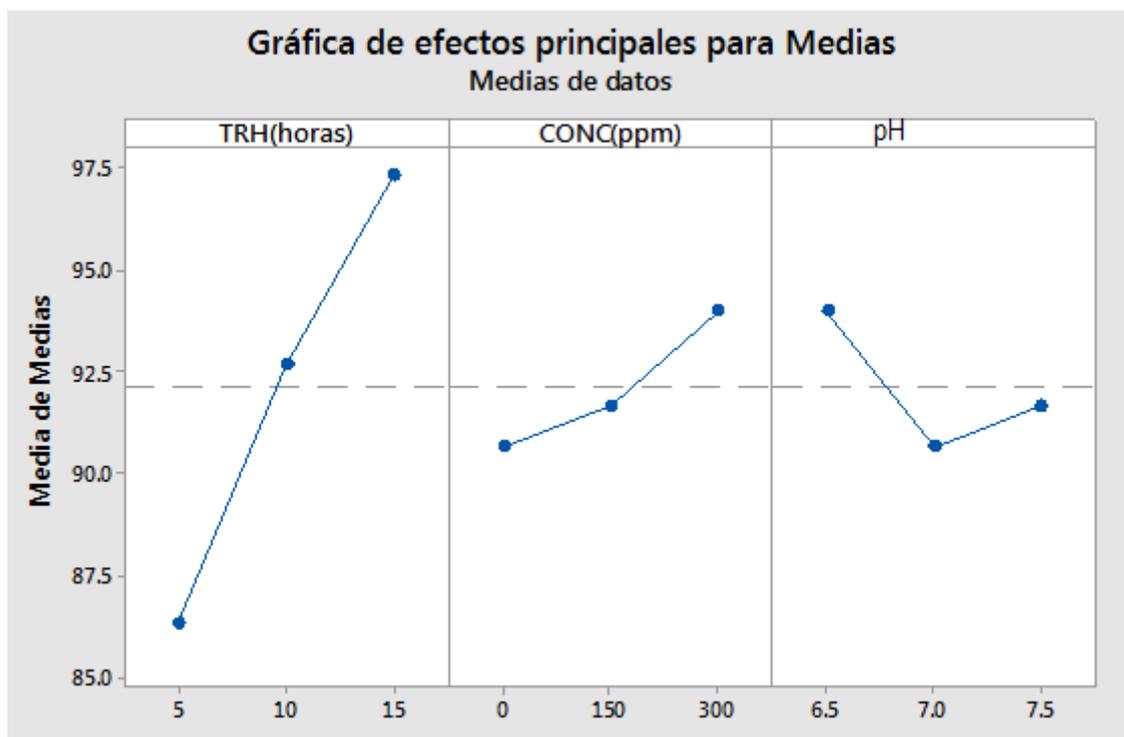


Figura 80. Grafica de efectos principales para Medias
Programa estadístico Minitab

Modelo Lineal General

% TURBIDEZ vs TRH (horas), CONC (ppm), pH

Método

Codificación de Factores (-1, 0, +1)

Tabla 55

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
TRH(horas)	Fijo	3	5, 10, 15
CONC(ppm)	Fijo	3	0, 150, 300
pH	Fijo	3	6.5, 7.0, 7.5

Programa estadístico Minitab

Tabla 56**Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRH(horas)	2	182.89	78.53%	182.89	91.444	12.28	0.075
CONC(ppm)	2	17.56	7.54%	17.56	8.778	1.18	0.459
pH	2	17.56	7.54%	17.56	8.778	1.18	0.459
Error	2	14.89	6.39%	14.89	7.444		
Total	8	232.89	100.00%				

Programa estadístico Minitab

Tabla 57**Resumen del Modelo**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	PRESS	R-cuad. (pred)
2.72845	93.61%	74.43%	301.5	0.00%

Programa estadístico Minitab

Tabla 58**Coefficientes**

Término	Coef	EE del coef.	IC de 95%	Valor T	Valor p	FIV
Constante	92.111	0.909	(88.198, 96.024)	101.28	0.000	
TRH(horas)						
5	-5.78	1.29	(-11.31, - 0.24)	-4.49	0.046	1.33
10	0.56	1.29	(-4.98, 6.09)	0.43	0.708	1.33
CONC(ppm)						
0	-1.44	1.29	(-6.98, 4.09)	-1.12	0.378	1.33
150	-0.44	1.29	(-5.98, 5.09)	-0.35	0.763	1.33
pH						
6.5	1.89	1.29	(-3.65, 7.42)	1.47	0.280	1.33

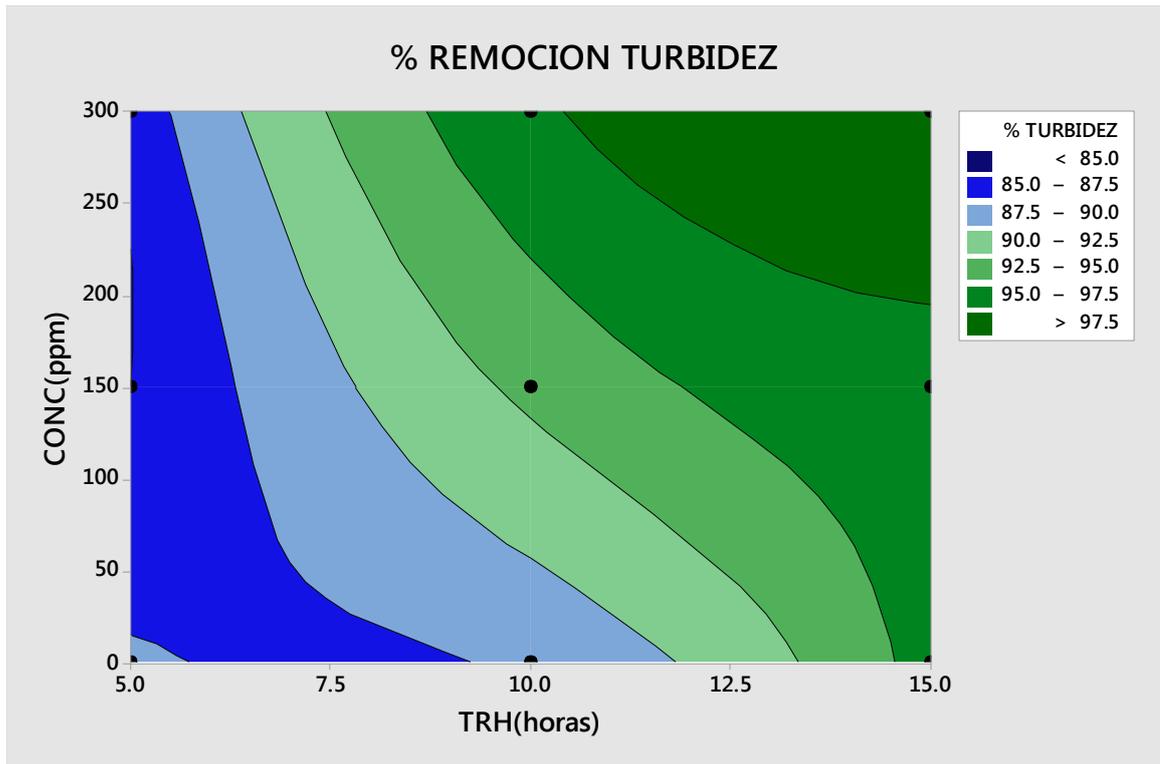


Figura 81. Grafica de contorno del % Remoción Turbidez

Elaboración propia

d. Resultados Óptimos

Tabla 60

Análisis de Taguchi

TRH(horas)	C(ppm)	pH	% DQO	% SST	% TURBIDEZ
5	0	6.5	90	80	88
5	150	7	91	85	85
5	300	7.5	93	91	86
10	0	7	92	93	88
10	150	7.5	93	95	93
10	300	6.5	94	95	97
15	0	7.5	96	96	96
15	150	6.5	97	96	97
15	300	7	98	98	99

Elaboración propia

Tabla 61

Predicción: % DQO vs. TRH (horas), Concentración de Coagulante (ppm), pH

S/R	Media
39.8715	98.4444

Programa estadístico Minitab

Tabla 62

Configuración

TRH(horas)	Conc(ppm)	pH
15	300	7.5

Programa estadístico Minitab

Tabla 63

Predicción: % SST vs. TRH (horas), Concentración de Coagulante (ppm), pH

S/R	Media
40.1464	98.5267

Programa estadístico Minitab

Tabla 64

Configuración

TRH(horas)	Conc(ppm)	pH
15	300	7.5

Programa estadístico Minitab

Tabla 65

Predicción: % Turbidez vs. TRH (horas), Concentración de Coagulante (ppm), pH

S/R	Media
40.3159	99.1258

Programa estadístico Minitab

Tabla 66

Configuración

TRH(horas)	Conc(ppm)	PH
15	300	6.5

Programa estadístico Minitab

Prueba ANOVA

Para la DQO, en el análisis de varianza, solo las variables de tiempo de retención hidráulica (TRH) ($0.004 < 0.05$) y la variable de concentración de coagulante de sulfato de aluminio (CONC) ($0.026 < 0.05$) son estadísticamente significativas, esto indica que el tiempo de retención hidráulica y la concentración de coagulante de sulfato de aluminio influyen en mayor proporción en el % Remoción de la carga orgánica del agua residual; mientras que la variable pH influye en menor medida en el % Remoción de la carga orgánica del agua residual ya que no es significativa ($0.500 > 0.05$).

Para los SST, en el análisis de varianza, solo la variable de tiempo de retención hidráulica (TRH) ($0.037 < 0.05$) es estadísticamente significativa, esto indica que el tiempo de retención hidráulica influye en mayor proporción en el % Remoción de la carga orgánica del agua residual; mientras que las variables de concentración de coagulante de sulfato de aluminio (CONC) y la variable pH influyen en menor medida en el % Remoción de la carga orgánica del agua residual ya que no son significativas ($0.180, 0.289 > 0.05$).

Para la turbidez, en el análisis de varianza, las variables de tiempo de retención hidráulica (TRH), la variable de concentración de coagulante de sulfato de aluminio (CONC) y la variable pH; influyen en menor medida en el % Remoción de la carga orgánica del agua residual ya que no son significativas ($0.075, 0.459$ y $0.459 > 0.05$).

VI. DISCUSION DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Según los resultados, se llegó a obtener una disminución de carga orgánica contaminante del agua residual domestica trabajando en un tratamiento durante 3 semanas, en la cual se trabajó con un tiempo de retención hidráulica de 15 horas y concentración de coagulante de sulfato de aluminio de 300 ppm donde se obtuvo 98 % de remoción de DQO y 98 % de remoción de solidos suspendidos totales.

Para la obtención de porcentaje de remoción del 99% de turbidez se obtuvo en función del tiempo de retención hidráulica de 15 horas, ya que influye en mayor proporción con respeto a la concentración de coagulante de sulfato de aluminio y el pH, llevando a corroborar que a mayor tiempo de retención hidráulica en el sistema, disminuye considerablemente la turbidez.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Se analizó el agua residual domestica proveniente de la PTAR del Distrito de San Miguel, y se comparó valores promediados iniciales y finales del DQO, las cuales fueron tomadas la primera semana con un tiempo de retención hidráulico de 5 horas con concentración de coagulante de sulfato de aluminio de 300 ppm, la cual fue un valor de DQO de 90 ppm ,obteniéndose un porcentaje de remoción del 93%, y la tercera semana con un tiempo de retención hidráulico de 15 horas con concentración de coagulante de sulfato de aluminio de 300 ppm, la cual fue un valor de DQO de 30 ppm, obteniéndose un porcentaje de remoción del 98% .

Se determinó los sólidos suspendidos totales promedio tomados la tercera semana con un tiempo de retención hidráulico de 15 horas con concentración de coagulante de sulfato de aluminio de 300 ppm, dándonos un valor de 10 ppm, y obteniéndose un 98% de remoción, este valor guarda similitud con el análisis del trabajo de investigación titulado, Instalación y evaluación de un sistema de reactores para tratamiento de aguas residuales urbanas por proceso de lodos activados, hecho por Meyner Condori y Julio Ruelas (2017), que registro los sólidos suspendidos totales promedio tomado en su última

semana de trabajo con un valor de 39 ppm y obteniéndose un 98.1% de remoción.

CONCLUSIONES

- a. En base a los resultados obtenidos de la evaluación del sistema de lodos activados, tomando en cuenta la composición del afluente y efluente, queda demostrada la eficiencia del proceso en donde se alcanzó porcentajes mayores de 98% de remoción.
- b. Las características fisicoquímicas del agua residual domestica cruda sin tratamiento fueron de DBO_5 (920,40mg/L), DQO (1380 mg/L), SST (435,2) y Turbidez (651,0 NTU).
- c. Los parámetros de operación en el proceso de lodos activados son el tiempo de retención hidráulica evaluado a 15 horas, concentración del coagulante evaluado a 300 ppm y finalmente el pH en el valor 7. Esta combinación de factores es el tratamiento optimo para la obtención del mayor porcentaje de remoción de la carga orgánica presente en el agua residual doméstica. El porcentaje de remoción de la DQO y DBO_5 aumenta a medida que se incrementa el tiempo de retención hidráulica llegando a remover el 98% de carga contaminante. Los parámetros óptimos de control del proceso fueron el oxígeno disuelto en un rango de 4.5 mg/l en el reactor, la temperatura es constante a 20.5 °C, el IVL fue 81.48 mg/l, F/M fue de 0.60 Kg DBO_5 / kg SSV.
- d. Las características fisicoquímicas del agua residual domestica posterior tratamiento fueron de DBO_5 (6.0 mg/L), DQO (30 mg/L), SST (10) y Turbidez (6.0 NTU). Obteniendo tasas de remoción del 99%, 98%,98% y 99% respectivamente. Se concluye que el agua producida en el tratamiento cumple la normativa vigente de los LMP.

RECOMENDACIONES

- a. Se recomienda realizar la investigación usando una bomba peristáltica, pues se presentaron dificultades en el momento de dosificar el caudal de agua al reactor. Debido a que nuestro proyecto fue instalado con válvulas tipo globo, que al disminuir la presión en el tanque de almacenamiento de agua residual el caudal regulado variaba continuamente.
- b. Se recomienda utilizar una bomba sumergible en vez de las piedras difusoras, debido que a la inadecuada distribución de la red de piedras aireadores ocasiono un estado anóxico en el proceso. Se mejoró el sistema cambiando la distribución de la red y de este modo se eliminaron los punto muertos.
- c. Se sugiere realizar la recirculación del sedimentador al reactor de forma semi-continua, la mala operación de este parámetro de control ocasionara el envejecimiento de los lodos.
- d. Implementar un sistema de agitación de mezcla del agua residual cruda en el tanque de almacenamiento para que la carga orgánica se mantenga uniforme en el proceso, ya que debido a la falta del mismo, los sólidos suspendidos se depositan en la parte baja del tanque de almacenamiento.
- e. Se recomienda para futuras investigaciones trabajar a condiciones de pH con un rango más amplio, esto permitiría observar las diferencias en la eficiencia de remoción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antonio Brack Egg (2008) *Diagnóstico Ambiental del Perú. Propuesta para un ministerio del ambiente (R. M. No. 025-2008-PCM)*.

Revista de tecnología Recuperado desde:

<file:///C:/Users/Pc/Downloads/363.pdf>

APHA (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Editions 20. APHA/AWWA/WPCF. 2-57 pp

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18 th Edition. Washington DC, APHA, AWWA, WWCF, 1992,pp 5-6-5-10.

Condori, M, & Ruelas, J. (2017). *Instalación y Evaluación de un Sistema de Reactores para Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas por proceso de Lodos Activados* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Antiplano, Puno, Perú.

Cotrado, M. (2005). *Determinación experimental de los parámetros biocinéticos necesarios para el diseño de reactores de lodos activados* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

Diaz, F, & Varila, J. (2008). *Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio*. *Revista de tecnología*, 7(2). Recuperado desde:

https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43575223/tratamiento_aguas_residuales_lodos_activados.pdf?response-con

- Grimaldo, J. (2003). *Optimización del proceso de lodos activados en la planta piloto Puente Piedra* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Jiménez, N. (2014). *Diseño de un reactor biológico de Fangos Activos* (Tesis de pregrado). Universidad de Almería, España.
- Metcalf & Eddy, (1995). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*, Madrid, España, Mc Graw-Hill / Interamericana de España, S.A.
- Morales, G. (2014). *Evaluación de la Estabilidad de un Sistema de Lodos Activados mediante Indicadores Físicoquímicos y Biológicos* (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción, Chile.
- Morgan, Juan et al. (2013). Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. *Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas, 2(1)*. Recuperado desde: http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf
- Rubio, J, & Padilla, R. (2009). *Tratamiento de agua residuales provenientes de un camal, mediante un sistema de lodos activados a escala de laboratorio* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Ramírez, L. (2015) *.Manual de Microbiología*. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, Escuela de Química. Colombia Recuperado desde <http://blog.utp.edu.co/lilianabueno/files/2015/08/Microbiolog%C3%ADa.pdf>

Sette, R. (1996). *Tratamiento de Aguas Residuales*, Barcelona, España, Reverté, S.A.

Tejero, Jorge et al. (2007). Análisis del Reactor de Lodos Activados de La Planta Centenario. *Revista Caos Conciencia*, 2(1). Recuperado desde:

http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2007_Vol_2/Num_1/7_JT_VolIII_6_3-71_2007.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

TITULO: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE LODOS ACTIVADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADOR	DIMENSIONES	
¿Cuál será la eficiencia de remoción en un módulo de lodos activados para el tratamiento de agua residual domestica del distrito de san miguel?"	1Determinar la eficiencia de remoción en un módulo de lodos activados para el tratamiento de agua residual domestica del distrito de san miguel"	La determinación de la eficiencia de remoción del módulo de lodos activados para el tratamiento de agua residual domestica del distrito de san miguel, será superior al 90%,	Y: % de remoción de contaminantes orgánicos del agua residual doméstica.	Y1: DBO Y2: DBO Y3: SST Y3 : Turbidez	$\% = \frac{C_0 - C_f}{C_0} * 100$ C_0 =concentración inicial C_f = concentración final (mg/L)	
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECIFICA	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADOR	DIMENSIONES	
¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua residual domestica cruda?	a) Realizar la caracterización fisicoquímica del agua residual domestica cruda.	Al realizar la caracterización del agua cruda se obtendrá valores mayores a los límites máximos permisibles.	X : Parámetros de operación del módulo de tratamiento mediante Lodos activados	X1: TRH	t1=5,t2=10,t3=1	
¿Cuáles son los parámetros de operación del proceso de lodos activados?	b) Determinar los parámetros de operación del módulo de lodos activados	El TRH, la concentración del coagulante de sulfato de aluminio y el pH, en el sistema de lodos activados influirán determinadamente en el proceso.			X2: Concentración coagulante	C1=0,C2=150,C3=300
¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua residual domestica posterior al tratamiento de lodos activados?	c) Determinar las características fisicoquímicas del agua residual domestica posterior al tratamiento de lodos activados.	cSe obtendrán resultados de la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales			X3: pH	pH1=6.5,pH2=7,pH3=7.5

Anexo 2. Resultados experimentales

Semana	TRH(h)	DQO		% Remoción DQO
		Afluente (mg/l)	Efluente (mg/l)	
1	5	1250	90	93
2	10	1250	80	94
3	15	1250	30	98

Semana	TRH(h)	SST		% Remoción SST
		Afluente (mg/l)	Efluente (mg/l)	
1	5	435	39	91
2	10	435	23	95
3	15	435	10	98

Semana	TRH(h)	Turbidez		% Remoción Turbidez
		Afluente (mg/l)	Efluente (mg/l)	
1	5	600	85	86
2	10	600	21	97
3	15	600	6	99

Anexo 3. Parámetros de control del proceso de lodos activados

Semana	TRH (h)	V30(ml/l)	SST(mg/l)	IVL(ml/g)
1	5	385	3392	113.90
2	10	296.66	3136.66	94.71
3	15	263.33	3224.33	81.48

Semana	TRH(h)	Q(ml/min)	DBO5(mg/L)	V(L)	SSVLM(mg/L)	F/M
1	5	130.00	920.40	39	2520.33	1.76
2	10	65.00	920.40	39	2472.33	0.93
3	15	43.33	920.40	39	2386.67	0.60

Anexo 4. Determinación de los sólidos suspendidos totales

Determinación de SST

Determinación de los sólidos suspendidos totales presentes en una muestra de agua residual doméstica.

Equipos y Materiales

- Bomba al vacío
- Balanza analítica
- Estufa para secado, para operar en el intervalo de 103 a 105°C
- Desecador
- Erlenmeyer con tubuladura lateral

- Crisol Gooch
- Probeta de 100 ml
- Agua destilada
- Papel filtro whatman # 42
- Papel de aluminio

Procedimiento

- Alistar la estufa a una temperatura entre 103 a 105°C.
- Empleando grafito, marcar el filtro de forma inequívoca, mediante numeración consecutiva.
- Pesar el papel filtro y registrarse los datos.
- Colocar el papel filtro (con la cara rugosa hacia arriba), en el equipo de filtración.
- Aplicar al vacío y lavar el papel filtro con 3 porciones sucesivas de 10 ml de agua destilada.
- Agregar el agua residual doméstica en la probeta de 100 ml y agregar sobre el papel filtro.
- Mantener la filtración hasta la remoción total de las trazas de agua. Desechar el filtrado.
- Retirar el papel filtro, colocarlo en un papel de aluminio y secarlo en una estufa a 103 a 105°C, durante una hora.
- Enfriar en el desecador a temperatura ambiente hasta su empleo, pesar el papel filtro, y registrarse los datos.

Cálculos y presentación de resultados

$$SST = \frac{(B - A) * 1000}{V}$$

Dónde:

A : Peso del papel filtro seco antes de la filtración (en mg)

- B : Peso del papel filtro + residuo seco (en mg)
V : Volumen de la muestra de agua residual domestica (ml)

Anexo 5. Obtención de los sólidos suspendidos totales



Anexo 6. Determinación de los sólidos suspendidos volátiles

Determinación de SSV

Determinación de los sólidos suspendidos volátiles presentes en el residuo seco que se obtuvo después de la determinación de los sólidos suspendidos totales de la muestra de agua residual doméstica.

Equipos y Materiales

- Mufla para la calcinación, para operar en el intervalo de 500 a 550 °C.
- Balanza analítica
- Desecador
- Crisol

Procedimiento

- Alistar la mufla a una temperatura entre 500 a 550 °C.
- Una vez terminada el procedimiento de los sólidos suspendidos totales introducir el (papel filtro + residuo seco) en el crisol, pesarse y registrarse los datos.
- Introducir el crisol y secarlo en una mufla entre 500 a 550°C, durante una hora.
- Enfriar en el desecador a temperatura ambiente hasta su empleo, pesar el papel filtro, y registrarse los datos.

Cálculos y presentación de resultados

$$SSV = \frac{(A - B) * 1000}{V}$$

Dónde:

- A : Peso del (papel filtro + residuo seco + crisol) antes de la mufla (mg)
- B : Peso del (papel filtro + residuo seco + crisol)
- V : Volumen de la muestra de agua residual domestica (ml)

Anexo 7. Obtención de los sólidos suspendidos volátiles



Anexo 8. Montaje del modelo del tratamiento del agua residual domestica



Anexo 9. Informe de laboratorio acreditado del agua residual domestica sin tratamiento



INFORME DE ENSAYO N° 19002

CLIENTE	:	ROSA EMILIA CASTILLA MELGAREJO
MATRIZ	:	AGUA RESIDUAL DOMESTICA
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	:	PTAR SAN MIGUEL
NOMBRE DEL PROYECTO	:	TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA PILOTO.
MUESTREADO POR	:	CLIENTE
CANTIDAD DE MUESTRA	:	01
FECHA INICIO DE LA TOMA DE MUESTRA	:	15/06/19
ESTACIÓN DE LA TOMA DE MUESTRA	:	AC
FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	:	15/06/19
FECHA DE INICIO DE LOS ENSAYOS	:	15/06/19
FECHA DE FIN DE LOS ENSAYOS	:	15/06/19
FECHA DE EMISION DE INFORMES	:	21/06/19

Fecha: 21/06/2019



Página 1 de 3



Calle Pacifico Mz. 29 Lt. 9 A.H
 Nueva Lurin (km 40) - Lima
 proyectos@ieaciencia.com
 945 224 080 - 988 905 817



INFORME DE ENSAYO N° 19002

Código de Laboratorio		19002-1	
Identificación		AC	
Fecha y hora de muestreo		15/06/2019 09:30 hrs	
Parámetro	LCM	Unidad	Resultado
Análisis Fisicoquímicos			
Turbidez	0.01	NTU	651
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2.0	mg/L	920.4
Demanda Química de Oxígeno	3	mg/L	1380
Sólidos suspendidos Totales	1.0	mg/L	435.2

*L.C.M.: Límite de Cuantificación del Método

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. Los resultados de los ensayos, 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


Doris Iván De la Cruz Torres
Químico Químico



Fecha: 21/06/2019

Página 2 de 3



IEA
INSTITUTO DE EDUCACIÓN
AMBIENTAL

INFORME DE ENSAYO N° 19002

Métodos de ensayo empleados			
Tipo de Ensayo	Método de referencia	Año	Título
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B 23rd Ed.	2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD)
Demanda Química de Oxígeno DQO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D. 23rd Ed.	2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric
Sólidos Totales en Suspensión SST	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D. 23rd Ed.	2017	Total Suspended Solids dried at 103-105 °C
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B. 23rd Ed.	2017	Turbidity, Nephelometric Method


Quiro Torres
Coordinador Técnico



Fecha: 21/06/2019

Página 3 de 3



IEA
INSTITUTO DE EDUCACIÓN
AMBIENTAL

Calle Pacífico Mz. 29 Lt. 9 A.H
Nuevo Lurin (km 40) - Lima
proyectos@ieaciencia.com
945 224 080 - 988 905 817

Anexo 10. Informe de laboratorio acreditado del agua residual domestica con tratamiento



INFORME DE ENSAYO N° 19003

CLIENTE	:	ROSA EMILIA CASTILLA MELGAREJO
MATRIZ	:	AGUA RESIDUAL DOMESTICA
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	:	PTAR SAN MIGUEL
NOMBRE DEL PROYECTO	:	TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA PILOTO.
MUESTREADO POR	:	CLIENTE
CANTIDAD DE MUESTRA	:	02
FECHA INICIO DE LA TOMA DE MUESTRA	:	30/07/19
ESTACIÓN DE LA TOMA DE MUESTRA	:	-AT9C -ATCC
FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	:	30/07/19
FECHA DE INICIO DE LOS ENSAYOS	:	31/07/19
FECHA DE FIN DE LOS ENSAYOS	:	06/08/19
FECHA DE EMISION DE INFORMES	:	09/08/19

Fecha: 09/08/2019

Juan Luis
 Juan Luis Lozano Torres
 Coordinador Químico



Página 1 de 3



Calle Pacífico Mz. 29 Lt. 9 A.H
 Nuevo Lurín (km 40) - Lima
 proyectos@ieaciencia.com
 945 224 080 - 988 905 817



INFORME DE ENSAYO N° 19003

Código de Laboratorio			19003-1	19003-2
Identificación			AT&C	ATCC
Fecha y hora de muestreo			30/07/2019 14:30 hrs	30/07/2019 16:40 hrs
Parámetro	LCM	Unidad	Resultado	Resultado
Análisis Fisicoquímicos				
Turbidez	0.01	NTU	23	6
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2.0	mg/L	10.0	6.0
Demanda Química de Oxígeno	3	mg/L	57	30
Sólidos suspendidos Totales	1.0	mg/L	85.0	10.0

L.C.M.: Límite de Cuantificación del Método

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
Los resultados de los ensayos, 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


Químico Francisco Javier Torres
Coordinador Químico



Fecha: 09/08/2019

Página 2 de 3

INFORME DE ENSAYO N° 19003

<i>Métodos de ensayo empleados</i>			
<i>Tipo de Ensayo</i>	<i>Método de referencia</i>	<i>Año</i>	<i>Título</i>
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B 23rd Ed.	2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD)
Demanda Química de Oxígeno DQO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5200 D. 23rd Ed.	2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric
Sólidos Totales en Suspensión SST	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D; 23rd Ed.	2017	Total Suspended Solids dried at 103-105 °C
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B. 23rd Ed.	2017	Turbidity, Nephelometric Method


 Juan Luis Torres
 Coordinador Químico



Fecha: 09/08/2019

Página 3 de 3

Anexo 11. Certificación de los análisis de los sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles en el Instituto de Investigación de Especialización de Agroindustria

 **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**
Vicerrectorado de Investigación
Instituto de Investigación de Especialización
en Agroindustria 

"Hacia la Lucha contra la corrupción e impunidad"

Bellavista, 14 de Agosto del 2018

Ing.
Juan Medina Collana
Asesor de Tesis
Facultad de Ingeniería Química
Universidad Nacional del Callao
Presente. -

De mi consideración:

Tengo el grado de dirigirme a Ud. para saludarlo muy cordialmente y asimismo hago de su conocimiento que el **Sr. Jhonatan Cardemas Mejía**, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Callao, con Código N° **092856-E** y DNI N° **44513693**, desarrollo corridas preliminares para su tesis en el **mes de Julio del año 2019**, en el Laboratorio de Química, demostrando conocimiento en los análisis de ensayos microbiológicos y químicos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para reiterarle los sentimientos de mi consideración y estima.

Atentamente,


Mg. Zoila Margarita Diaz Cordova
DIRECTORA (a)

Saludad
Cc.

An. Juan Pablo II N° 306 - Bellavista
Callao 02 - PERÚ. Tel.: (511) 4652325
e-mail: invest@unac.pe

