DESARROLLO DE UN REACTOR DE MEZCLA COMPLETA PARA EL ESTUDIO DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS EN LODOS ACTIVADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

GUILLERMO EDMUNDO ERASO VILLOTA
DANIEL ALEJANDRO RUIZ ROSERO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2015

DESARROLLO DE UN REACTOR DE MEZCLA COMPLETA PARA EL ESTUDIO DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS EN LODOS ACTIVADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

GUILLERMO EDMUNDO ERASO VILLOTA
DANIEL ALEJANDRO RUIZ ROSERO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de Ingeniero Civil

Director:
ROBERTO SALAZAR CANO
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2015

NOTAS DE RESPONSABILIDAD

Las ideas aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de los autores.

Artículo 1° acuerdo N. 324 del 11 de Octubre de 1966 del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

"La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor"

Artículo 13, Acuerdo N. 005 de 2010 emanado del Honorable Consejo Académico.

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Presidente del jurado

_____

Jurado

_____

Jurado

San Juan de Pasto, Octubre 2015

Gracias Señor por brindarme la oportunidad de colaborar a la sociedad con mi profesión.

A mis padres por darme su amor, tener paciencia conmigo y apoyarme cuando lo necesitaba.

A mis hermanos por darme su ayuda comprensión y cariño.

A mis amigos por acompañarme en este camino que emprendí.

También agradezco en especial a mi profesor y director de trabajo el Ingeniero Roberto Salazar Cano, quien con sus enseñanzas a lo largo de mi carrera me impulso a culminar este camino.

Guillermo Edmundo Eraso Villota.

A Dios, por abrir ante mí las puertas al servicio a través de la ingeniera civil.

“El Puente No Lo Cruzara Su Constructor, Pero Si El Pueblo De Dios”.

A mis padres, Álvaro Ruiz y Marleny Rosero, que fueron mis primeros maestros, papá por su dedicación, mamá por su compresión, a ellos por enseñarme los valores de la vida.

A mis hermanos Juan Pablo y Francisco, su amistad y son consejos son mi más sólido pedestal.

Agradezco a Diana, quien con su amor y su alegría hoy me acompaña en esta travesía, tomados de la mano cruzando esta la delgada línea de pavimento de la vida.

Daniel Alejandro Ruiz Rosero

AGRADECIMIENTOS

Ingeniero Roberto Salazar, director de este trabajo de grado, por su gran apoyo, consejos, dedicación y ejemplo en este proceso y a lo largo de nuestro paso por el Alma Mater.

Directivos del departamento de Ingeniería Civil por su interés en nuestra educación y culminación de la carrera.

Al personal de laboratorios que nos acompañaron y guiaron para trabajar de forma óptima e idónea en este proceso.

A la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca y a su personal de laboratorios por su asesoría en este trabajo.

A nuestra Universidad de Nariño, Alma Mater, que nos brindó la oportunidad de culminar esta carrera, sede de nuestros éxitos y trabajos.

RESUMEN

Actualmente la Universidad de Nariño, carece de un equipo para el estudio de coeficientes cinéticos en lodos activados, por consiguiente el equipo herramienta para realizar estos estudios de tratabilidad de agua residuales efectuados a nivel de laboratorio. Por tal razón, se desarrolló el trabajo titulado “DESARROLLO DE UN REACTOR DE MEZCLA COMPLETA PARA EL ESTUDIO DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS EN LODOS ACTIVADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”, para uso investigativo y académico.

En primer lugar, se dotó al laboratorio de hidráulica y saneamiento de la facultad de Ingeniería de un reactor de mezcla completa experimental. Posteriormente, se realizó una evaluación técnica y de funcionalidad del equipo en cuanto a sus especificaciones físicas y de servicio.

Con todo este proceso se establece el protocolo en cuanto al funcionamiento, operación y mantenimiento del equipo como tal, y los procesos necesarios para la ejecución de los ensayos. Además, se incluye en este protocolo información acerca de las precauciones y controles específicos que se debe tener en cuenta a la hora de realizar estos ensayos en el laboratorio y manipulación de muestras para alcanzar resultados óptimos.

En base a esta información se evaluó los diferentes parámetros fisicoquimicos y microbiologicos, para la determinación de los coeficientes cineticos de crecimiento; obteniendo finalmente como resultado los coeficientes, k, Ks, Kd, Y, μ_m.

ABSTRACT

Currently the University of Nariño, lacks a apparatus to study kinetic coefficients in activated sludge, therefore the apparatus tool to perform these studies treatability of wastewater carried out in the laboratory. For this reason, the present development “DEVELOPING A MIXED REACTOR FOR THE STUDY OF KINETIC FACTORS IN ACTIVATED SLUDGE IN WASTEWATER TREATMENT”. For research and academic use.

First, the laboratory was equipped hydraulic and sanitation engineering faculty of an experimental reactor of complete mixing. Subsequently a technical and computer functionality evaluation was performed in terms of specifications physical and service.

Yet this process is determined, the protocol concerning the performance, operation and maintenance of equipment as such, and the processes necessary for the performance of the tests. Also they included in this protocol information about specific controls and precautions that should be taken into account when performing these tests in the laboratory and handling of samples to achieve optimal results.

Based on this information is evaluated the different physicochemical and microbiological parameters, for determining growth the kinetic coefficients; eventually resulting in the coefficients, $\boldsymbol{k}$, $\boldsymbol{Ks}$, $\boldsymbol{Kd}$, $\boldsymbol{Y}$, $\boldsymbol{\mu_m}$,.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN 21

1. MARCO REFERENCIAL 27

1.1. MARCO TEÓRICO 27

1.1.1. Estudio fisicoquímicos y microbiológicos 29

1.2. MARCO CONCEPTUAL 30

1.2.1. Volumen del tanque 30

1.2.2. Efectos de la temperatura 30

1.2.3. Aireación y transferencia de gases 31

1.2.4. Cinética del proceso 34

1.2.5. Consideraciones sobre el diseño 40

2. DESARROLLO DEL TRABAJO 42

2.1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR 42

2.2. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO 44

2.2.1. Volumen 44

2.2.2. Temperatura 45

2.2.3. Motobomba para recirculación de solidos 45

2.2.4. Aireación y transferencia de oxígeno 46

2.3. RECOLECCIÓN Y TOMA DE MUESTRAS 46

2.3.1. Preparación Del Reactor 46

2.3.2. Recolección de agua residual 47

2.3.2.1. Puntos de vertimiento 47

2.3.2.2. Origen de la muestra..... 49

2.3.2.3. Toma de muestras en el reactor 50

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 52

3.1. CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL 52

3.2. RESULTADOS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS..... 52

3.3. DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS 52

3.4. DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS A PARTIR DE DATOS DE LABORATORIO 55

3.5. EJEMPLO TEÓRICO PARA UN REACTOR REAL DE MEZCLA COMPLETA 59

3.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 62

3.7. PROTOCOLO PARA EL FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DEL EQUIPO “REACTOR DE MEZCLA EXPERIMENTAL” 64

4. CONCLUSIONES 65

5. RECOMENDACIONES 66

BIBLIOGRAFÍA 67

ANEXOS 69

LISTADO DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Coeficientes de temperatura para procesos biológicos de tratamiento....31

Tabla 2. Forma típica de presentación del resultado de un ensayo de aeración ...32

Tabla 3. Planteamiento general 37

Tabla 4. Coeficientes cinéticos típicos para el proceso de lodos activados. 40

Tabla 5. Puntos de vertimientos – características y localización 47

Tabla 6. Puntos de vertimiento – caudal calculado y carga contaminante.....49

Tabla 7. Resultados parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. 52

Tabla 8. Resultados percentil de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....55

Tabla 9. Tiempo de retención hidráulica θ. 55

Tabla 10. Resultados utilizados para el determinar los coeficientes cinéticos. 56

Tabla 11. Resultados de laboratorio para determinar los coeficientes cinéticos....56

Tabla 12. Procesamiento de datos para determinar los coeficientes *k, K_s*. 56

Tabla 13. Procesamiento de datos para determinar los coeficientes cinéticos. 58

Tabla 14. Valores de los coeficientes cinéticos.....59

Tabla 15. Análisis estadístico.....63

Tabla 16. Comparación de resultados, con resultados típicos. 63

LISTADO DE GRÁFICAS

Pág.

Gráfica 1. Determinación de Kla.....33

Gráfica 2. Grafico representativo de los efectos de un nutriente limitante sobre la velocidad específica de crecimiento.....34

Gráfica 3. Calibración del equipo nivel en centímetros vs volumen en litros.....44

Gráfica 4. Variación de pH. 53

Gráfica 5. Variación de solidos suspendidos totales y solidos suspendidos volátiles.....53

Gráfica 6. Variación oxígeno disuelto en relación al tiempo.....54

Gráfica 7. Variación de la DBO5 y la DQO. 54

Gráfica 8. Variación de los coliformes totales y Escherichia coli. 54

Gráfica 9. Datos experimentales para la determinación de los coeficientes cinéticos k y Ks. 57

Gráfica 10. Gráfico de datos experimentales para la determinación de los coeficientes cinéticos Y, kd.....58

LISTA DE IMÁGENES

Pág.

Imagen 1. Esquema de tratamiento de aguas residuales. 27

Imagen 2. Reactor de mezcla completa de laboratorio. 42

Imagen 3. Reactor de mezcla completa con recirculación de sólidos. 42

Imagen 4. Dimensiones del reactor de mezcla completa experimental. 43

Imagen 5. Diagrama del reactor con sus componentes. 43

Imagen 6. Verificación de uniones. 43

Imagen 7. Aforo cada 2000 ml con probeta 44

Imagen 8. Llenado del reactor hasta alcanzar los 100 Litros. 44

Imagen 9. Termostato 45

Imagen 10. Temperatura ambiente del agua de 18°C. 45

Imagen 11. Temperatura de 25°C a 1 hora. 45

Imagen 12. Motobomba. 45

Imagen 13. Sistema de recirculación de lodos a la cámara de aireación. 45

Imagen 14. Oxímetro digital. 46

Imagen 15. Sistema de aireación. 46

Imagen 16. Reactor de mezcla completa experimental. 47

Imagen 17. Puntos de Vertimiento - Sector Urbano 48

Imagen 18. Ubicación del vertedero JUAN XXIII, foto Google Earth. 49

Imagen 19. Ubicación del vertedero JUAN XXIII, plano POT Pasto 49

Imagen 20. Vertedero JUAN XXIII. 50

Imagen 21. Toma de oxígeno disuelto y temperatura en sitio. 50

Imagen 22. Vista superior del reactor de mezcla completa experimental. 50

Imagen 23. Vista frontal reactor de mezcla completa experimental.....50

Imagen 24. Toma de muestras con aspiradora manual.....51

Imagen 25. Refrigeración y conservación de las muestras tomadas en horarios nocturnos. 51

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO A 70

ANEXO B 80

ANEXO C 85

GLOSARIO

ACIDEZ: la acidez de un agua es su capacidad cuantitativa de neutralizar una base fuerte. La titulación con Hidróxido de Sodio NaOH mide la concentración de ácidos minerales como el ácido sulfúrico, el dióxido de carbono disuelto y de sales de hidrolisis ácida. La acidez se origina en la disolución de Dióxido de Carbono atmosférico, en la oxidación biológica de la materia orgánica o en la descarga de aguas residuales industriales.

AGUAS RESIDUALES: son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas domésticas y urbanas, y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales).

ALCALINIDAD: la alcalinidad es una medida de la capacidad de una muestra de neutralizar ácidos. La alcalinidad puede generarse por hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio o de amonio, siendo la causa más común los bicarbonatos de calcio y magnesio.

ANTROPOGÉNICO: se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas, a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.

CARACTERÍSTICAS CITOLÓGICAS: entre los factores que alteran el metabolismo bacteriano son los factores fisiológicos (que incluyen la capacidad de sintetizar, fuente de energía, la obtención de oxígeno, temperatura, pH y la reproducción) y bioquímicas (respiración, fermentación, putrefacción y otros).

CLORUROS: el ion cloruro, Cl-, forma sales en general muy solubles. Suele ir asociado al ión Na+, especialmente en aguas muy salinas. Las aguas dulces contienen entre 10 y 25 ppm de cloruros, pero no es raro encontrar valores mucho mayores. Las aguas salobres pueden tener centenares e incluso millares de ppm. El agua de mar contiene alrededor de 20.000 ppm. El contenido en cloruros afecta la potabilidad del agua y su potencial uso agrícola e industrial. A partir de 300 ppm el agua empieza a adquirir un sabor salado. Las aguas con cloruros pueden ser muy corrosivas debido al pequeño tamaño del ion que puede penetrar la capa protectora en la interfase óxido - metal y reaccionar con el hierro estructural.

COLIFORME: grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.

COLIFORMES TOTALES Y FECALES: los coliformes son bacilos cortos que se han definido como bacterias aerobias o anaerobias facultativas que fermentan la lactosa con producción de gas. Las principales especies de bacterias coliformes son el E. Coli y Enterobacter Aerogenes; no obstante, las especies que es posible que se ajusten a estos criterios, son más de veinte. El grupo de coliformes fecales incluye a los coliformes capaces de crecer a temperatura elevada 44.5 o 45°C.

COLOIDES: sólidos finamente divididos (que no disuelven) que permanecen dispersos en un líquido por largo tiempo debido a su menor diámetro y a la presencia de una carga eléctrica en su superficie, solución que espontáneamente tiende a agregar o formar coágulos.

COLOR APARENTE: el color causado por la materia en suspensión es llamado color aparente y es diferente al color debido a extractos vegetales u orgánicos, que son coloidales, al que se llama color real. En el análisis del agua es importante diferenciar entre el color aparente y el real.

CONDUCTIVIDAD: la conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua. El agua pura contribuye mínimamente a la conductividad, y en su casi totalidad es el resultado del movimiento de los iones de las impurezas presentes. La resistividad es la medida recíproca de la conductividad. El aparato utilizado es el conductivímetro cuyo fundamento es la medida eléctrica de la resistencia de paso de la electricidad entre las dos caras opuestas de una prima rectangular comparada con la de una solución de CIK a la misma temperatura y referida a 20 grados centígrados.

DBO_L: demanda bioquímica de oxígeno en el tiempo t=0, la relación entre la DOB_5 y la DBO_L es de 0.68.

DISOLUCIÓN: una disolución es una mezcla homogénea de sustancias puras.

DUREZA: la dureza, debida a la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio, mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones. Afecta tanto a las aguas domésticas como a las industriales, siendo la principal fuente de depósitos e incrustaciones en calderas, intercambiadores de calor, tuberías, etc. Por el contrario, las aguas muy blandas son agresivas y pueden no ser indicadas para el consumo.

ENTEROCOCOS: bacterias esféricas que forman sus colonias en grupos o cadenas. Se encuentran de manera natural en muchos organismos, incluidos los humanos, como parte de su flora intestinal.

ESCHERICHIA COLI: la temperatura óptima de crecimiento del microorganismo es de 37°C, con un intervalo de crecimiento de 10 a 40°C. Su pH óptimo de crecimiento es de 7,0 a 7,5 con un pH mínimo de crecimiento de valor de 4,0 y un pH máximo de crecimiento de valor de 8,5. Este microorganismo es relativamente termosensible y puede ser destruido con facilidad a temperaturas de pasteurización y también mediante la apropiada cocción de los alimentos.

ESTREPTOCOCOS: grupo de bacterias que crecen en pares formando cadenas, formado por cocos grampositivos, redondeada en forma de colonias que pueden producir enfermedades graves.

FILTROS PERCOLADORES: camas de grava o un medio plástico sobre los cual se rocían las aguas negras pretratadas.

FLOC BIOLÓGICO: macizo de sólidos que se forma en aguas residuales por acción biológica.

HIERRO TOTAL: el ión hierro se puede presentar como ión ferroso, Fe++, o en la forma más oxidada de ión férrico, Fe+3. La estabilidad de las distintas formas químicas depende del pH, condiciones oxidantes o reductoras del medio, composición de la solubilidad, presencia de materias orgánicas acomplejantes, etc. La presencia de hierro puede afectar a la potabilidad del agua y, en general, es un inconveniente en las aguas industriales por dar lugar a depósitos e incrustaciones. Se determina analíticamente por colorimetría y espectrofotometría de absorción atómica, dando el hierro total que incluye las formas soluble, coloidal y en suspensión fina.

MICROORGANISMOS PATÓGENOS: son organismos que no pueden ser observados si no es con la ayuda de un microscopio, y que causan enfermedades en los seres humanos.

OXÍGENO DISUELTO: el Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de cómo está contaminada el agua o de lo bien que puede dar soporte el agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto en el agua son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

pH: el termino pH es utilizado universalmente para determinar si una solución es acida o básica, es la forma de medir la concentración de iones hidronio de una disolución. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14, estos valores miden el grado de acidez o basicidad de una disolución. Los valores inferiores a 7 y próximos a 0 indican aumento de acidez, los que son mayores de 7

y próximos a 14 indican aumento de basicidad, mientras que cuando el valor es 7 indica neutralidad.

POBLACIÓN MICROBIANA: conjunto de organismos o individuos de la misma especie que coexisten en un mismo espacio y tiempo.

PROCESOS AEROBIOS: proceso de un ser vivo que se desarrolla en presencia de oxigeno diatómico.

PROCESOS BIOLÓGICOS: proceso de un ser vivo. Están hechos de algún número de reacciones químicas u otros eventos que resultan en una transformación de materia orgánica.

REACTOR: equipo capaz de desarrollar una reacción química en su interior. En su interior ocurre un cambio debido a la reacción química y están diseñados para maximizar la conversión y selectividad de la reacción con el menor costo, tiempo y mayor eficiencia posibles.

SEDIMENTACIÓN: proceso por el cual el sedimento en movimiento se deposita en el fondo de un río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin.

SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN: los sólidos en suspensión (SS), son una medida de los sólidos sedimentables (no disueltos) que pueden ser retenidos en un filtro. Se pueden determinar pesando el residuo que queda en el filtro, después de secado. Son indeseables en las aguas de proceso porque pueden causar depósitos en las conducciones, calderas, equipos, etc.

SOLIDOS TOTALES: los sólidos totales son la suma de los sólidos disueltos y de los sólidos en suspensión.

SOLIDOS DISUELTOS: los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. Corresponde al residuo seco con filtración previa. El origen de los sólidos disueltos puede ser múltiple, orgánico o inorgánico, tanto en aguas subterráneas como superficiales.

TURBIEDAD: la turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales.

INTRODUCCIÓN

Los diversos métodos de tratamiento de las aguas residuales de tipo doméstico, industrial y comercial han sido desarrollados para la reducción o eliminación de sus contaminantes, estas sustancias son tratadas con tratamientos primarios, segundarios y terciarios, encaminados a la reducción de materia orgánica, metales pesados, sustancias tóxicas y microorganismos patógenos.

En el tratamiento primario se utiliza operaciones físicas, como el desbaste y la sedimentación, para eliminar los sólidos sedimentables y partículas flotantes que se encuentran en las aguas residuales. En los tratamientos secundarios, los procesos biológicos y químicos se encargan de eliminar la mayoría de materia orgánica.

Uno de los métodos que se utilizan en el tratamiento secundario de las aguas residuales, consiste en emplear reactores biológicos, en donde crecen microorganismos capaces de degradar la materia orgánica. Dependiendo de la calidad y la composición del agua el tratamiento puede ser aerobio o anaerobio.

En respuesta a la necesidad de estudiar el crecimiento de una comunidad microbiana en un medio controlado, se diseñó y se construyó un dispositivo controlado para el tratamiento biológico de aguas residuales, en este caso un reactor de mezcla completa experimental de laboratorio, el cual se calibró en sus factores, volumen, temperatura y aireación para un funcionamiento en condiciones de flujo estáticas.

Para el desarrollo de esta investigación se hizo funcionar el reactor, se cargó y se dejó reaccionar durante un periodo de tiempo definido para obtener las condiciones de crecimiento microbiano deseadas, se realizó estudios físico, químicos y organolépticos, permitiendo así como resultado analizar el crecimiento de la población microbiana y la influencia en la remoción de partículas en el tratamiento de agua residual.

TEMA

Titulo	Desarrollo de un reactor de mezcla completa para el estudio de los coeficientes cinéticos en lodos activados en el tratamiento de aguas residuales	
Investigador:	Guillermo Edmundo Eraso Villota E-mail: geraso5@udenar.edu.co Celular: 3005913571	
Investigador:	Daniel Alejandro Ruiz Rosero E-mail: daruiz33@gmail.com Celular: 3167460949	
Director:	Ing. Civil Roberto Salazar Cano E-mail: rosal246@hotmail.com Celular: 3136569585	
Línea: Ambiental Grupo de Investigación: GRAMA		Total de Investigadores: 2
Entidad: UNIVERSIDAD DE NARIÑO Sede de la Entidad: Pasto Departamento: Nariño Ciudad: San Juan de Pasto		
Tipo de Entidad: EDUCATIVA (Universidad Pública).		
Lugar de ejecución del trabajo: Laboratorios Universidad de Nariño Municipio de San Juan de Pasto Departamento: Nariño		
Duración del trabajo (en meses): 6 meses a partir de aprobación		
Tipo de trabajo: Investigación Aplicada		
Descriptores / Palabras claves: Coeficiente Cinético; Reactor de Mezcla Completa		

ALCANCE Y DELIMITACIONES

El alcance que tiene el trabajo "*desarrollo de un reactor de mezcla completa para el estudio de los coeficientes cinéticos en lodos activados en el tratamiento de aguas residuales*", es de carácter académico e investigativo, ya que este será soporte para los estudiantes y el personal de laboratorio del Departamento de Ingeniería Civil y otros programas, los cuales realizarán futuras investigaciones y practicas académicas.

La dotación de este dispositivo, "reactor de mezcla completa experimental", fue parte fundamental del proceso investigativo, ejemplarizando su funcionamiento con una muestra de agua residual proveniente del Vertedero JUAN XXIII, ubicado en el sector Juan XXIII de la ciudad de Pasto, al cual se evaluó los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y así se determinó sus coeficientes cinéticos, que sirvieron de soporte para establecer el protocolo en cuestión, el cual consta de:

- Manual de funcionamiento, control, mantenimiento preventivo y correctivo del equipo, titulado: "**Guía: conservación, mantenimiento y precauciones generales del equipo reactor de mezcla completa para el estudio de los coeficientes cinéticos en lodos activados en el tratamiento de aguas residuales."**

- Guía práctica de laboratorio para determinar los coeficientes cinéticos, titulada: "**Guía de laboratorio: reactor de mezcla completa – determinación de coeficientes cinéticos en logos activados en el tratamiento de aguas residuales."**

- Finalmente, se entregó un formato de registro y entrega de resultados.

PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO

Descripción del problema

En el sistema de lodos activos en el proceso secundario para tratamiento de aguas residuales se hace necesario determinar una serie de parámetros para su diseño, tanto físicos como químicos, y los procesos biológicos en las aguas a tratar.

Para aguas residuales el tratamiento secundario, tiene como objetivo eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de sedimentación.

Teniendo en cuenta que los lodos activados son de tipo biológico donde la mezcla entre el agua residual y los lodos biológicos es aireada, este proceso biológico es un proceso natural controlado en el cual participan poblaciones microbianas presentes en las aguas residuales.

En los tratamientos de aguas residuales es necesario el estudio de los procesos biológicos, por ello uno de los parámetros de diseño fundamentales es el estudio de los coeficientes cinéticos con lo que se determinan las tazas de crecimiento de la población en un reactor de mezcla completa que corresponde al siguiente estudio.

Formulación del problema

¿Cómo determinar experimentalmente los coeficientes cinéticos para el tratamiento de lodos activados en forma experimental en el laboratorio de hidráulica del programa de ingeniería civil?

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad es necesario el tratamiento de aguas residuales mediante métodos eficaces y económicos los cuales contribuyen al mejoramiento de la calidad del agua, para la conservación de recursos hídricos.

Para este estudio se tuvo en cuenta el tratamiento secundario, que tiene como objetivo eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de sedimentación. Este proceso biológico es un proceso natural controlado en el cual participan los microorganismos presentes en las aguas residuales que se desarrollan en un reactor biológico.

Este estudio pone especial énfasis en la necesidad de construir un reactor de mezcla completa experimental, para lodos activados, en el cual se pueda estudiar el crecimiento de una comunidad biológica en un medio controlado, junto con el estudio de los microorganismos de importancia para el tratamiento y sus características citológicas y metabólicas y sus formas de crecimiento.

Las condiciones ambientales pueden controlarse mediante regulación del pH, de la temperatura, adición de nutrientes o elementos de traza, o exclusión de oxígeno y también mediante una mezcla correcta. *“El control de las condiciones ambientales asegurará que los microrganismos tengan un medio indicado donde puede desarrollarse”.*

Para asegurar que los microrganismos crezcan, se les debe permitir que permanezcan en el sistema el tiempo suficiente para que se reproduzcan. Este periodo depende de la tasa de su crecimiento, la cual está en relación directa con la tasa a la que metabolizan o utilizan el residuo.

Teniendo las condiciones ambientales controladas, puede asegurarse una estabilización eficaz mediante el control de la tasa de crecimiento de los microorganismos.

Esto se realiza con el fin de estudiar los coeficientes cinéticos en lodos activados para el tratamiento de aguas residuales, que nos permita diseñar en campo un reactor de mezcla completa eficaz y eficiente para aguas residuales.

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar un reactor de mezcla completa experimental en el cual se estudiarán los coeficientes cinéticos en lodos activados en tratamientos secundarios de aguas residuales.

Objetivos específicos

- Evaluar los parámetros de diseño del reactor de mezcla completa experimental.
- Construir un reactor de mezcla completa experimental.
- Determinar los parámetros físicos, químicos, orgánicos y microbiológicos, del afluente y posteriormente al tratamiento de mesclado en el reactor con aireación del efluente, para el estudio de los coeficientes cinéticos del crecimiento de la población de microbiana.
- Determinar los coeficientes cinéticos en un reactor de mezcla completa experimental.
- Establecer un protocolo para el funcionamiento, operación y mantenimiento del equipo.
- Donación de equipo para utilización en prácticas académicas e investigativas por parte de los estudiantes.

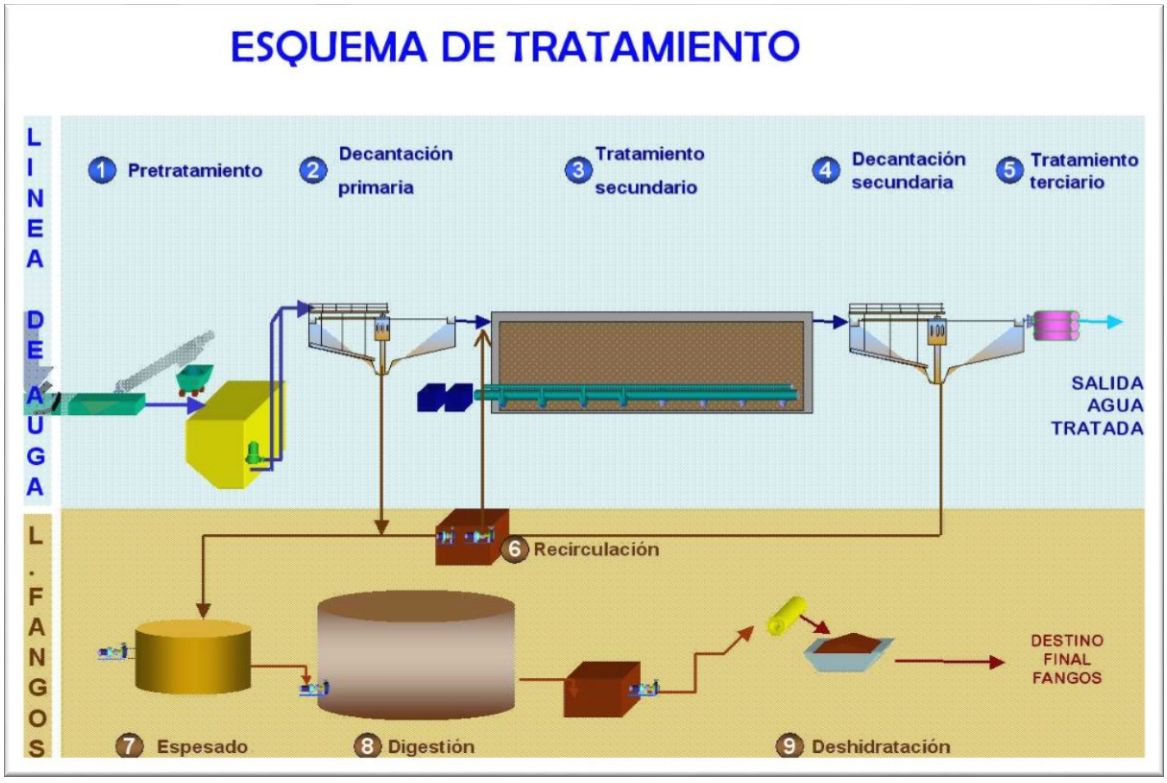
1. MARCO REFERENCIAL

1.1. MARCO TEÓRICO

Las aguas residuales normalmente contienen microorganismos patógenos. Las cantidades de microorganismos van desde 100.000 a 1'000.000 coliformes totales, 10.000 a 100.000 coliformes fecales, 1.000 a 10.000 Streptococos fecales y 100 a 1000 Enterococos, por cada 100 ml de agua. Por tal razón es necesario proceder a la desinfección del agua.[1]

El tratamiento de aguas residuales se puede dividir en cuatro etapas como se observa en la IMAGEN 1; preliminar, primaria, secundaria y terciaria:

Imagen 1. Esquema de tratamiento de aguas residuales.



Fuente: Esquema de tratamiento de aguas residuales, Disponible en: http://augasdegalicia.xunta.es/es/FuncionamentoEDAR.html

1 TCHOBANOGLOUS GEORGE. Procesos biológicos unitarios. Metcalf & Eddy Inc. 2003. Disponible en: http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/unitarios.pdf

Tratamiento preliminar: debe realizarse por medio de procesos físicos y/o mecánicos, como rejillas, desarenadores y trampas de grasa, dispuestos convencionalmente de modo que permitan la retención y remoción del material extraño presente en las aguas negras y que pueda interferir los procesos de tratamiento.[2]

Tratamiento primario: el objeto de este tratamiento es básicamente la remoción de los sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación.[3]

Tratamiento secundario: los procesos biológicos, o secundarios, se emplean para convertir la materia orgánica fina coloidal y disuelta en el agua residual, en floc biológico sedimentable y sólidos inorgánicos que pueden ser removidos en tanques de sedimentación.[4]

Tratamiento terciario: tiene el objetivo de remover contaminantes específicos, usualmente tóxicos o compuestos no biodegradables o aún la remoción complementaria de contaminantes no suficientemente removidos en el tratamiento secundario.[5]

Los procesos biológicos, en el tratamiento secundario, se pueden clasificar según el potencial de oxidación, o reducción del medio, y pueden ser, aerobios, anaerobios y anóxicos.

Los procesos aerobios: son aquellos que se utilizan para la oxidación de la materia orgánica, a los organismos heterótrofos aerobios, es decir que precisan oxígeno molecular para su desarrollo. Este es un proceso de respiración, donde el oxígeno libre es el único receptor final de electrones, el oxígeno es reducido y el carbono es oxidado, al igual que la materia orgánica o inorgánica. Todos los organismos que usan oxígeno libre como receptor de electrones son aerobios.[6]

Para llevar a efecto el proceso anterior se usan varios mecanismos, tales como: lodos activados, biodisco, lagunaje, filtro biológico. [7]

Lodos activados: es un tratamiento de tipo biológico en el cual una mezcla de agua residual y lodos biológicos es agitada y aireada. Los lodos biológicos producidos son separados y un porcentaje de ellos devueltos al tanque de aireación en la

2 Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS, año 2000, Tratamiento De Aguas Residuales, literal E 4.4.1, pág. E.50.
3. Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS, año 2000, Tratamiento De Aguas Residuales, literal E 4.5.1, pág. E.54
4. Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS, año 2000, Tratamiento De Aguas Residuales, literal E 4.6, pág. E.57.
5. RIGOLA LAPEÑA, Miguel. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, Editorial Marcombo. Pg. 150.
6. SALAZAR CANO, Roberto. TEORIA Y DISEÑO DE LOS TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto 2002. Pg 140 – 142
7. RIGOLA LAPEÑA, Miguel. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, Editorial Marcombo 1990. Pg. 142 - 151

cantidad que sea necesaria. En este sistema las bacterias utilizan el oxígeno suministrado artificialmente para desdoblar los compuestos orgánicos que a su vez son utilizados para su crecimiento.

Estos microorganismos, principalmente bacterias, se alimentan de los sólidos en suspensión y estado coloidal produciendo en su degradación anhídrido carbónico y agua, originándose una biomasa bacteriana que precipita en el decantador secundario. Así, el agua queda limpia a cambio de producirse unos fangos para los que se debe buscar un proceso para eliminarlos.[8]

1.1.1. Estudios fisicoquímicos y microbiológicos. En primer lugar, es pertinente hablar de la calidad de aguas, ya sea para su vertido, tratamiento de depuración, potabilización o cualquier otro uso, es imprescindible determinar una serie de parámetros fisicoquímicos mediante métodos normalizados, con objeto de conocer si el valor de estos parámetros se encuentra dentro del intervalo que relaciona valores máximos y mínimos permitidos. En el caso del tratamiento de aguas estos parámetros deben ser determinados en los lodos que son generados durante el proceso.[9]

Las metodologías para los parámetros fisicoquímicos que se realizan con mayor frecuencia para determinar la calidad y composición de los lodos, se encuentran referenciadas en el Standar Methods, donde relacionan las técnicas, procedimientos, cantidades de reactivos y de muestras, etc.[10]

Por otro lado, está la evaluación de la calidad microbiológica del agua ya que mediante esta se podrá determinar si es apta o no para consumo humano, esto va ligado a la presencia de microorganismos patógenos que puedan estar en ella y ser causantes de diversas clases de riesgos como enfermedades, infecciones, contaminación, entre otros. Para determinar los coeficientes cinéticos los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para aguas residuales estudiados fueron solidos suspendidos volátiles y demanda bioquímica de oxígeno, los cuales se ensayaron por laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

Solidos suspendidos volátiles (SSV), son los sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los sólidos suspendidos totales (SST) son calcinados a una temperatura de 500 ± 50°C, la concentración de solidos volátiles se suele considerar como una medida aproximada del contendido de materia orgánica.[11]

8. RAMON, J.A. Ph. D. GUALDRON, L.D. Ing. y MALDONADO, J.I. MSc. Determinación de los coeficientes cinéticos y estequimetricos del proceso de degradación aerobia en el tratamiento biológico del agua residual en reactores discontinuos. Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo (GIAAS). Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona. 2007.

9. M. MAHAMUD. A. GUTIÉRREZ y H. SASTRE. Biosólidos generados en la depuración de aguas: (II). Métodos de Tratamiento. Ingeniería del Agua, Vol. 3, Núm. 3, 1996.

10. Clesceri Leone S, Greenberg Arnold E, Eaton Andrew D. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition.

11. TCHOBANOGLOUS George. Procesos biológicos unitarios. Metcalf & Eddy Inc. 2003. Disponible en: http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/unitarios.pdf

Demanda química de oxígeno (DQO), se usa para medir el equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general Dicromato de Potasio, en un medio ácido y a alta temperatura.[12]

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. En condiciones normales, esta demanda se cuantifica a 20°C, el ensayo estándar se realiza a cinco días de incubación y se conoce convencionalmente como DBO^5 se expresa en unidades de mg/l.[13]

1.2. MARCO CONCEPTUAL

1.2.1. Volumen del tanque. La eficiencia del tratamiento en el reactor es afectado por el tiempo de retención en el tanque, para una determinada carga hidráulica, el agua residual tendrá un tiempo de retención que depende del volumen del tanque. En varias investigaciones realizadas con diferentes tamaños de tanques se ha comprobado que hay un volumen óptimo para este, con el cual se obtiene la máxima eficiencia de tratamiento con biopelícula que cubre la superficie del medio.

1.2.2. Efectos de la temperatura. La dependencia de la temperatura en las constantes de la velocidad de la reacción biológica, es muy importante a razón de asegurar la eficacia conjunta en el proceso del tratamiento biológico. La temperatura no solo influye en las actividades metabólicas de la población microbiana, sino que también tiene un profundo efecto sobre factores tales como la velocidad de transferencia de gases y sobre las características de sedimentación de los sólidos biológicos.[14]

El efecto de la temperatura sobre la velocidad de reacción de un proceso biológico se expresa así.

$$r_t = T_{20}\,\theta^{(T-20)} \quad (1)$$

Donde:

r_T = Velocidad de reacción a Tº C
T_{20} = Velocidad de reacción a 20º C
θ = Coeficiente de Actividad – Temperatura (TABLA 1)
T = Temperatura en ºC

12. Romero Rojas Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. Escuela Colombiana de Ingenierías, 2000.
13. Romero Rojas Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. Escuela Colombiana de Ingenierías, 2000.
14. SALAZAR CANO, Roberto. TEORIA Y DISEÑO DE LOS TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto 2002. Pg 148.

Tabla 1. Coeficientes de temperatura para procesos biológicos de tratamiento

Procesos	Valor de θ	
	Intervalo	Valor Típico
Fangos activados	1,00 - 1,04	1,02
Lagunas aireadas	1,06 - 1,12	1,08
Filtros percoladores	1,02 - 1,14	1,08

Fuente: BURTON Franklin, STENSEL H. David, TCHOBANOGLOUS George. Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor, s.a. 3 Edición 1994. Pg. 457

1.2.3. Aireación y transferencia de gases. Aireación es el proceso mediante el cual el agua se pone en contacto íntimo con el aire para modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella.

Transferencia de gases es un fenómeno físico acompañado de cambios químicos, bioquímicos y biológicos mediante el cual, moléculas de un gas son intercambiadas entre un líquido y un gas a una interfase gas – líquido. Como resultado se module el incremento de la concentración de gas o gases en la fase líquida, en tanto ésta fase no esté saturada con el gas a determinadas condiciones dadas, tales como: presión, temperatura (absorción del gas) y un decremento cuando la fase líquida está sobresaturada (desorción o escape de gas).

Este proceso es utilizado en el tratamiento de aguas residuales para eliminar por oxigenación gases disueltos no deseados o eliminar sustancias inorgánicas disueltas, tales como hierro o manganeso. El fenómeno más importante es la transferencia de oxígeno al Agua residual y luego al floculo bacteriano, cuyo objetivo es llevar a cabo todas las reacciones aerobias que son fundamentales en la procesos de lodos activados y filtros biológicos.

Uno de los parámetros importantes que se deben definir en los sistemas de aeración, es el coeficiente global de transferencia de oxígeno (Kla), el cual usualmente es determinado en laboratorios por los fabricantes de distintitos sistemas de aeración u oxigenación, sin embargo el método puede ser fácilmente realzado en terreno siguiendo el protocolo que se indica a continuación.

Normalmente el método de ensayo considera como fase liquida agua destilada a 20°C y a condiciones normales de una atmosfera de presión, para ajustar el valor del ensayo a condiciones reales ya sea por agua salada o contaminada o bien a una altura distinta de nivel del mar existen coeficientes o ecuaciones que se encargan de ello, sin embargo lo ideal es realizar el ensayo bajo condiciones reales de operación. El protocolo del ensayo se desarrolla de la siguiente manera.

Desoxigenar el agua acercándose lo más posible al valor de cero de oxígeno disuelto, eso se consigue con la adición de Sulfito Sódico (Na_2SO_3), al cual se le adiciono como catalizador de la reacción Cloruro de Cobalto ($CoCl_2$).

$$Na_2SO_3 + 1/2\ O_2 \xrightarrow{CoCl_2} Na_2SO_4$$

La relación de estequiometria es:

$$\frac{Na_2SO_3}{{}^1/_2\ O_2} = \frac{126}{16} = 7.9$$

Esto significa que teóricamente 7.9 ppm de Na_2SO_3, son requeridas para eliminar 1ppm de O.D. En la práctica suele usarse en un 10% a 20% de este compuesto en exceso. A esta reacción se le añade como catalizador cloruro de cobalto en cantidad suficiente para tener una concentración de Co^{2+} mínima de 1.5 ppm.

Una vez que el O.D. es prácticamente nulo, se comenzará la aireación, midiendo el incremento de la concentración en intervalos de tiempo seleccionados. Teniendo en cuenta que la concentración de oxígeno aumentará con el tiempo, este método se denomina aireación en régimen transitorio.

Los resultados se deben ordenar como se presenta en la TABLA 2.

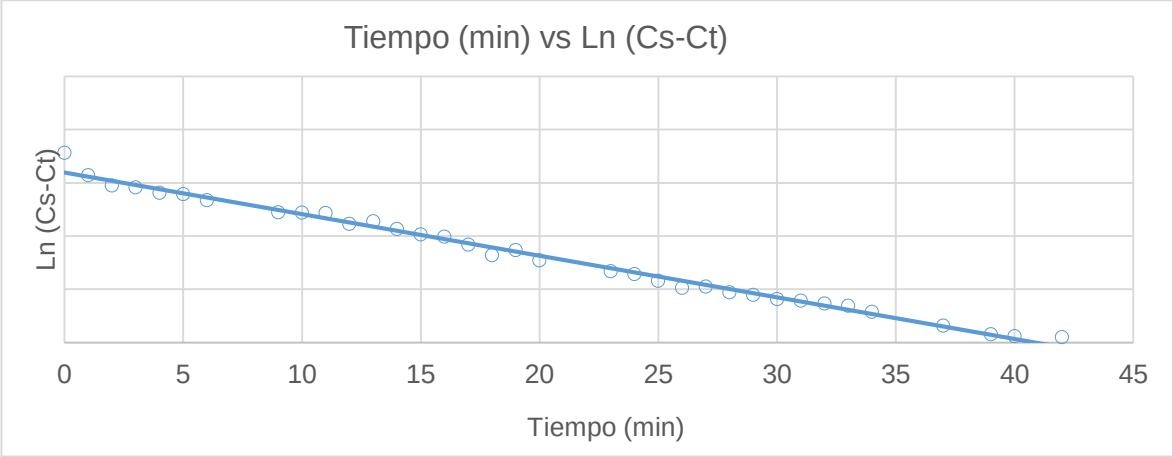
Tabla 2. Forma típica de presentación del resultado de un ensayo de aeración

Tiempo (min)	Oxígeno Disuelto Ct	Cs-Ct	Ln (Cs-Ct)
0	0	6,80	1,917
10	2.60	4,60	1,526
20	4.80	2,00	0,693

Donde Cs, es la lectura del oxígeno disuelto inicial en condiciones normales, generalmente para agua potable es superior de 6,5 mg/l.

Los datos deben ser graficados, donde Ln (Cs-Ct) está en función del tiempo, tal como se muestra en la Gráfica 1.

Gráfica 1. Determinación de K_{la}



La forma analítica para la solución se representará como la variación de la concentración de oxígeno de manera que:

$$\frac{dC}{dt} = K_{la}(Cs-C) \qquad (2)$$

Separando las variaciones e integrando en forma definida la expresión queda.

$$(K_{La})_{20} = \frac{\ln(Cs-Cs_2) - \ln(Cs-Cs_1)}{(t_1-t_2)} \qquad (3)$$

Donde:

t_1 y t_2 representan intervalo de tiempo en que se produce la oxigenación.

Cs_1 y Cs_2 representan el oxígeno disuelto en el intervalo de tiempo determinado.

Para obtener K_{la} a una temperatura distinta a 20°C se puede utilizar la ecuación (4).

$$(K_{La})_T = (K_{La})_{20} * 1.024^{T-20} \qquad (4)$$

Cantidad de oxígeno a transferir, este valor que normalmente es estimado en laboratorio, pero que puede ser fácilmente evaluado en terreno a través del incremente en la concentración de oxígeno en un volumen conocido para ello se puede utilizar ecuación (5).

$$SOTR = (K_{La})_{16} * Cs_{16} * V \qquad (5)$$

1.2.4. Cinética del proceso. Es necesario estudiar la cinética de crecimiento biológico para controlar la velocidad de crecimiento y reproducción de las bacterias, ya que en cuanto mayor sea el número de microorganismos, mayor es la velocidad a la cual es utilizado el alimento o sustrato. El control eficaz del medio ambiente en el tratamiento biológico de las aguas residuales se basa en el conocimiento de los principios básicos que gobierna el crecimiento de los microrganismos. Por tanto para el tratamiento biológico en un cultivo de alimentación, las bacterias aumentan en proporción a su masa en la fase de crecimiento logarítmico. La tasa de crecimiento para esta fase se define así:

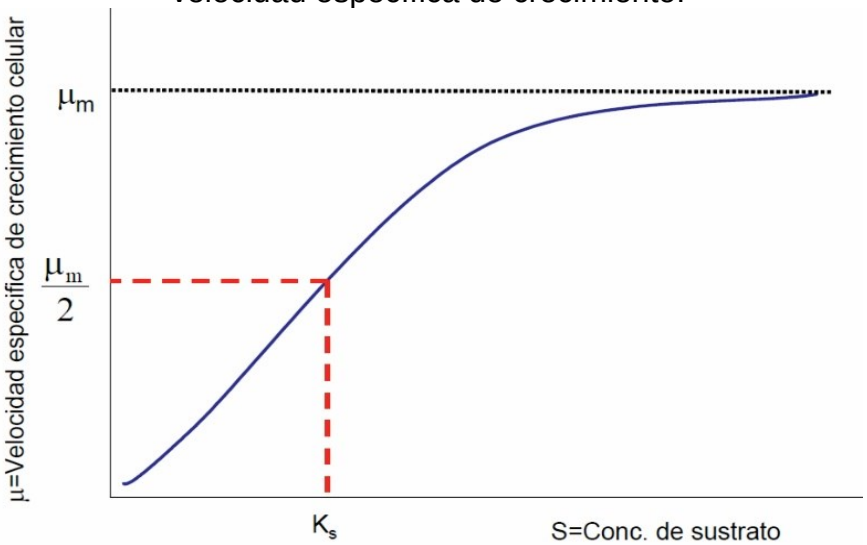
$$r_g = \mu X \qquad (6)$$

r_g = tasa de crecimiento bacteriano, masa/unidad de volumen.
μ = tasa de crecimiento específico, tiempo^{-1}.
X = Concentración de microrganismos, masa/unidad de volumen.

Crecimiento con sustrato limitado

Si el sistema tiene un limitante y este es el sustrato, una vez que éste empiece a escasear el cultivo de microorganismos termina de crecer, por lo que su crecimiento tiene un límite. En un cultivo continuo su crecimiento también es limitado, y el comportamiento del cultivo de microrganismos.

Gráfica 2. Grafico representativo de los efectos de un nutriente limitante sobre la velocidad específica de crecimiento.



Fuente: TCHOBANOGLOUS George. Procesos biológicos unitarios. Metcalf & Eddy Inc. 2003. Disponible en: http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/unitarios.pdf

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \qquad (7)$$

μ = velocidad especifica de crecimiento.
μ_m = máxima velocidad de crecimiento
K_s = constante promedio de velocidad. Concentración de sustrato a la mitad del máximo de velocidad de crecimiento, masa/unidad de volumen.
S = concentración del sustrato, masa/unidad de volumen

Sustituyendo la ecuación (7) en la ecuación (6), la relación resultante de la tasa de crecimiento, es:

$$r_g = \frac{\mu_m SX}{K_s + S} \qquad (8)$$

Crecimiento celular y utilización del sustrato

En los sistemas de cultivo de alimentación, tanto continuo como discontinuo, una parte del substrato se transforma en células nuevas y otra parte se oxida dando origen a productos finales orgánicos e inorgánicos. Dado que se ha observado que la cantidad de células nuevas producidas es la misma para un substrato dado, se ha desarrollado la relación entre el grado de utilización del substrato y la tasa de crecimiento así.[15]

$$r_g = -Yr_{su} \qquad (9)$$

Donde
r_g = tasa de crecimiento bacteriano, masa/unidad de volumen.
Y = coeficiente de producción máxima medido durante cualquier periodo finito de la fase de crecimiento logarítmico, definido como la relación entre la masa de células formadas y la masa de sustrato consumismo, masa/masa.
r_{su} = tasa de utilización de sustrato, masa/volumen * tiempo

Al sustituir el valor r_g, de la ecuación (8) en (9), el grado de utilización del sustrato r_{su}, se define así.

15. TCHOBANOGLOUS George. Procesos biológicos unitarios. Metcalf & Eddy Inc. 2003. Disponible en: http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/unitarios.pdf

$$r_{su} = \frac{\mu_m XS}{Y(K_s+S)} \qquad (10)$$

En la ecuación (10) el término μ_m/Y, se sustituye con el coeficiente *k*, definido como la tasa máxima de utilización del sustrato por unidad de masa de microorganismos, sustituyendo este término la expresión resultante es.

$$r_{su} = \frac{k\,XS}{K_s+S} \qquad (11)$$

Efectos del metabolismo endógeno

En sistemas bacteriológicos no todas las células se encuentran en la fase de crecimiento logarítmico. Parte de la energía producida al consumir el sustrato no es empleada para la síntesis de nuevo material celular, sino que se emplea en los requerimientos propios de la célula. Otros factores tales como la muerte natural de parte de las células y la extinción de poblaciones de microorganismos por depredadores también deben ser considerados. Este decremento en la masa celular es considerado como un todo y es directamente proporcional a la concentración de organismos. Este decremento se conoce en la literatura como decaimiento endógeno.[16]

$$r_d = k_d X \qquad (12)$$

Si se corrige por este efecto, $r'_g = r_g - r_d$ donde r'_g es la tasa o velocidad neta de crecimiento de las bacterias; r_g es la velocidad de crecimiento bacteriano en la fase logarítmica y r_d es la velocidad de decaimiento por respiración endógena.

$$r'_g = \frac{\mu_m XS}{K_s+S} - k_d X \qquad (13)$$

Aplicación de la cinética al tratamiento biológico

La producción de estos microrganismos, depende de: el estado de oxidación-reducción de la fuente de carbono y de los elementos nutrientes, del grado de polimerización del sustrato, de las vías del metabolismo, de la tasa de crecimiento y de diversos parámetros físicos de cultivo.

El planteamiento de un balance de masa, sobre microorganismos, para un reactor de flujo continuo puede expresarse como:

16. BURTON Franklin, STENSEL H. David, TCHOBANOGLOUS George. Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor, s.a. 3 Edición 1994. Pg. 455

Tabla 3. Planteamiento general[17]

Velocidad de acumulación de microrganismos dentro de los límites del sistema	=	Cantidad de microrganismos que entran en el sistema.	-	Cantidad de microrganismos que salen del sistema.	+	Crecimiento neto de microrganismos dentro de los límites del sistema.

Planteamiento simplificado

Acumulación = Entrada – Salida + Crecimiento Neto

Respuesta Simbólica

$$\frac{dX}{dt}V=QX_o-QX+V\left(r'_g\right) \qquad (14)$$

Donde:

dX/dt = Tasa de crecimiento de microorganismos medida en términos de masa (sólidos en suspensión volátiles), masa de SSV/und de volumen tiempo.
V = Volumen del reactor
Q = Caudal; Volumen/Tiempo
X = Concentración de microorganismos en el efluente masa de SSV/unidad de volumen tiempo.
Xo = Concentración de microorganismos en el reactor, masa de SSV/unidad de volumen tiempo.
r'g = Tasa neta de crecimiento de microrganismos, masa de SSV/unidad de volumen tiempo.

Se sustituye el valor r'_g, de la ecuación (13) en la ecuación (14)

$$\frac{dX}{dt}V=QX_o-QX+V\left(\frac{\mu_m XS}{K_s+S}-k_dX\right) \qquad (15)$$

Partiendo de la suposición que los microorganismos en el efluente puede despreciarse y que prevalecen las condiciones estacionarias, (dX/dt = 0) entonces la ecuación (15), se simplifica así:

17. BURTON Franklin, STENSEL H. David, TCHOBANOGLOUS George. Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor, s.a. 3 Edición 1994. Pg. 458

$$\frac{Q}{V} = -Y\frac{r_{su}}{X} - k_d = \frac{1}{\theta} \qquad (16)$$

Donde θ es el tiempo de retención hidráulica.

$$\theta = \frac{V}{Q} \qquad (17)$$

Al multiplicar Q y V, por la concentración celular X, esto se define como el tiempo medio de detención celular y se identifica así.

$$\theta_c = \frac{VXo}{QX} = \frac{\text{Masa de células en el reactor}}{\text{Masa de células extraídas del reactor}} \qquad (18)$$

Sustituyendo θc, por θ, en la ecuación (16) resulta.

$$\frac{1}{\theta_c} = -Y\frac{r_{su}}{X} - k_d \qquad (20)$$

El termino r_{su}, se determina por medio de la expresión (21).

$$r_{su} = \frac{Q}{V}(S_0 - S) = -\frac{S_0 - S}{\theta} = -\frac{k\,XS}{K_S + S} \qquad (21)$$

Donde

θ	=	Tiempo medio de detención celular hidráulica.
So	=	concentración de sustrato en el agua a tratar.
S	=	concentración de sustrato en el efluente.
X	=	concentración de células, masa/unidad volumen.
r_{su}	=	tasa de utilización de substrato, masa/volumen * tiempo.

Determinación de los coeficientes cinéticos

La utilización efectiva de un modelo determinado exige disponer de los valores correspondientes de los parámetros ***Y, k, K_s*** y ***k_d***. Para determinar estos coeficientes, se usan reactores a escala de laboratorio.

Y	=	Masa de células formadas por unidad de masa de sustrato consumido, masa/masa.
K	=	Velocidad de utilización de sustrato por unidad de masa de microorganismos.
K_s	=	Constante de velocidad media, concentración de sustrato para la mitad de la tasa máxima de crecimiento, masa/unidad de volumen
k_d	=	Coeficiente de descomposición endógena, tiempo^{-1}

En la determinación de estos coeficientes, el procedimiento usual consiste en hacer funcionar los reactores dentro de un intervalo de concentraciones de sustrato del efluente. Deben tomarse varios valores de θc; Utilizando los datos obtenidos en condiciones estacionarias, se pueden determinar los valores de ***θ, So, S, X*** y ***r_{su}***.[18]

$$r_{su} = -\frac{k\,XS}{K_S+S} = -\frac{S_0-S}{\theta} \qquad (21)$$

Dividiendo todo entre X en la ecuación (21), se obtiene:

$$\frac{k\,S}{K_S+S} = \frac{S_0-S}{X\theta} \qquad (22)$$

La forma lineal de la ecuación (22) obtenida tomando su inversa es:

$$\frac{X\theta}{S_0-S} = \frac{K_S}{k}\,\frac{1}{S} + \frac{1}{k} \qquad (23)$$

Los valores ***Ks*** y ***k*** se determinan representado gráficamente el término $[X\theta/(S_0 - S)]$ respecto a (1/S). Los valores ***Y*** y de ***k_d,*** se determinan utilizando la ecuación (20).[19]

$$\frac{1}{\theta_c} = -Y\frac{So-S}{X\theta} - k_d \qquad (20)$$

Representado *(1/θ_c)* respecto a (-*r_{su}/X)*, donde el termino (-*r_{su}/X)* se conoce como la tasa de utilización especifica del sustrato. La pendiente de la línea recta que pasa por los puntos correspondientes a los datos experimentales es igual a ***Y***, y la ordenada en el origen es igual a ***k_d***.[20]

18. BURTON Franklin, STENSEL H. David, TCHOBANOGLOUS George. Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor, s.a. 3 Edición 1994. Pg. 464.
19. BURTON Franklin, STENSEL H. David, TCHOBANOGLOUS George. Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor, s.a. 3 Edición 1994. Pg. 464.
20. BURTON Franklin, STENSEL H. David, TCHOBANOGLOUS George. Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor, s.a. 3 Edición 1994. Pg. 465

Tabla 4. Coeficientes cinéticos típicos para el proceso de lodos activados.

Coeficiente	Símbolo	Unidades	Intervalo		Típico
Velocidad especifica de consumo de sustrato.	k	d^{-1}	2	10	5
Concentración de sustrato a la mitad del máximo de velocidad de crecimiento.	Ks	Mg DBO/l	25	100	60
Producción de biomasa por consumo de sustrato.	Y	SSVM/mg DBO	0,4	0,8	0,6
Consumo de biomasa por respiración endógena.	kd	d^{-1}	0,04	0,075	0,06

Fuente: BURTON Franklin, STENSEL H. David, TCHOBANOGLOUS George. Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor, s.a. 3 Edición 1994. Pg. 474

La eficiencia del proceso se determina con la ecuación (24)

$$E_s = \frac{So - S}{So} * 100 \qquad (24)$$

1.2.5. Consideraciones sobre el diseño. Los factores a tener en cuenta en el diseño de un proceso de lodos activados, son: criterios de carga, selección del tipo de reactor, producción de lodos, transferencia y necesidad de oxígeno, necesidad de nutrientes, exigencias ambientales, separación de las fases sólida y liquida, y características del efluente.

El oxígeno teóricamente necesario puede determinarse conociendo la DBO_5 del agua residual y la cantidad de organismos purgados del sistema diariamente así, si toda la DBO_5 se convierte en productos finales, la cantidad total de oxígeno necesaria se calcula convirtiendo la DBO_5 a DBO_L utilizando un factor de conversión adecuado. Parte de la materia orgánica se convierte en células nuevas que seguidamente son purgadas del sistema. Por lo tanto si la DBO_L de las células purgadas es sustraída del total, la cantidad restante representa la cantidad de oxígeno que debe siniestrarse.

La cantidad teórica de oxígeno que necesita un sistema de lodos activados se calcula con la ecuación (25).

$$O_2 kg/d = \frac{Q(So\text{-}S) * (10^3 g/kg)^{-1}}{f} \text{-} 1.42Px \qquad (25)$$

Donde

f = factor de conversión de DBO_5 a DBO_L, este es de 0,68.

Para determinar los lodos a purgar se utiliza la ecuación (25) y la ecuación (26).

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1+(k_d \theta_c^d)} \qquad (25)$$

Donde

Y_{obs} = relación entre la velocidad de decaimiento por respiración endógena y la velocidad neta de crecimiento de las bacterias

La masa de lodo activado volátil para purgar se puede determinar por medio de la ecuación (26).

$$Px = \frac{Y_{obs} Q(So-S)}{(10^3 g/kg)} \qquad (26)$$

Tratándose de un reactor de mezcla completa con recirculación de sólidos, es posible conseguir un alto tiempo de retención celular ***θc***, y por consiguiente un alta eficacia del tratamiento sin aumentar los tiempos de retención hidráulica en el proceso; por lo tanto estos parámetros están directamente relacionados con el volumen del reactor.

El volumen del reactor se puede determinar mediante la ecuación (27) la cual se refiere a la concentración de microorganismos X en el reactor, y la ecuación (17) la cual se refiere al tiempo de retención hidráulico.

$$X = \frac{\theta c}{\theta} \frac{Y(So-S)}{1+(k_d \theta c)} \qquad (27)$$

Sustituyendo θ=V/Q en la ecuación (27) y despejando V, resulta.

$$V = \frac{\theta_c^d Q Y(So-S)}{X(1+(k_d \theta_c^d))} \qquad (28)$$

2. DESARROLLO DEL TRABAJO

Para la evaluación de los coeficientes cinéticos en lodos activos, se realizó un estudio sobre un reactor de mezcla completa experimental, que se diseñó y se construyó para este fin, en el cual se analizó una muestra de agua residual tomada de unos de los vertederos de la ciudad de Pasto.

Inicialmente se diseñó un tanque con un volumen de 120 litros, que sirvió como reactor de mezcla completa, cuyo volumen efectivo real es de 105 litros; el reactor se doto con los equipos de aireación y control de temperatura.

Posteriormente, se analizó una muestra de agua residual tomada del vertedero JUAN XXIII, ubicado al respaldo del club de tenis de la ciudad de Pasto, a la cual se le evaluaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, para determinar los coeficientes cinéticos de esta.

2.1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR

Para la construcción del tanque, se diseñó un reactor experimental basado en el modelo presentado por BURTON Franklin, STENSEL H. David, TCHOBANOGLOUS George, en su libro “Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales” cuyo modelo se presenta en la IMAGEN 2 y la IMAGEN 3.

Imagen 2. Reactor de mezcla completa de laboratorio.[21]

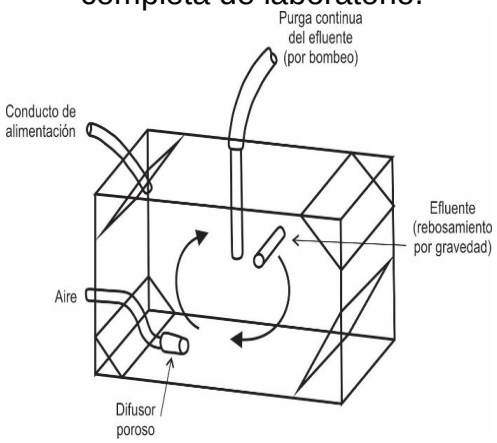
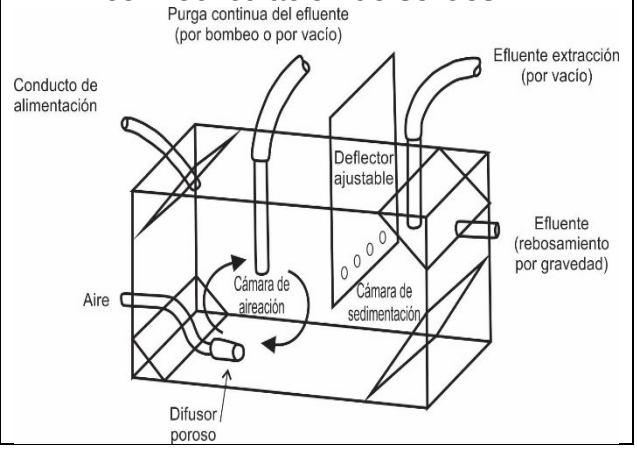


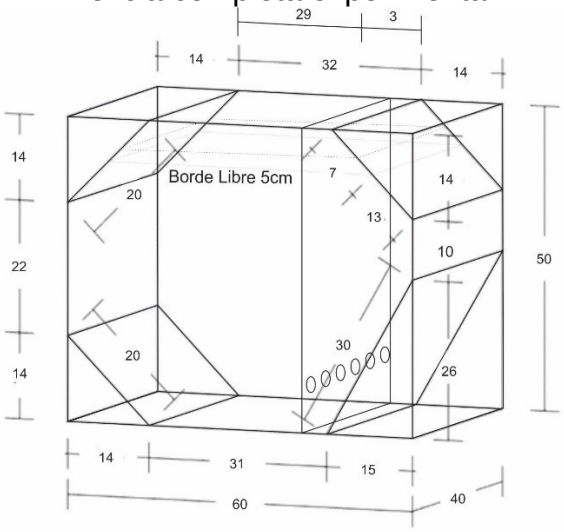
Imagen 3. Reactor de mezcla completa con recirculación de sólidos.[22]



21. BURTON Franklin, STENSEL H. David, TCHOBANOGLOUS George. Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor, s.a. 3 Edición 1994. Pg. 465
22. BURTON Franklin, STENSEL H. David, TCHOBANOGLOUS George. Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor, s.a. 3 Edición 1994. Pg. 465

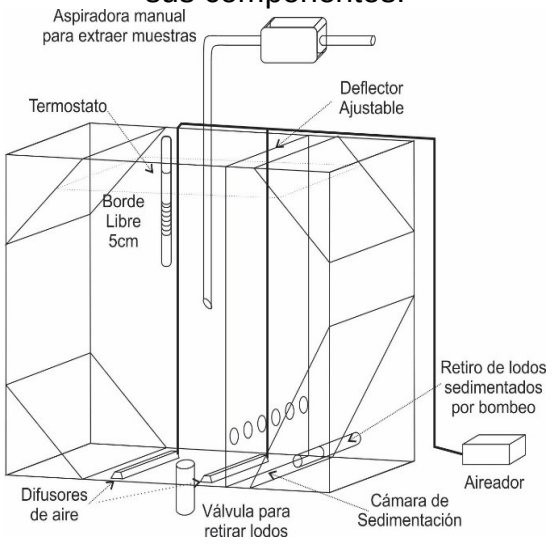
Teniendo en cuenta que se trabajó un proceso de lodos activados, se diseñó y se construyó un reactor de mezcla completa experimental con recirculación de sólidos cuyo modelo se presenta en la IMAGEN 4 y la IMAGEN 5.

Imagen 4. Dimensiones del reactor de mezcla completa experimental.



Nota: Dimensiones en centímetros.

Imagen 5. Diagrama del reactor con sus componentes.



Se construyó este equipo en láminas transparentes de acrílico de 5 milímetros de espesor para garantizar la visualización durante el tratamiento y el comportamiento hidráulico, adicionalmente se doto con un deflector ajustable para separar la cámara de aireación de la cámara de sedimentación de lodos para su recirculación al tanque de aireación.

Imagen 6. Verificación de uniones.

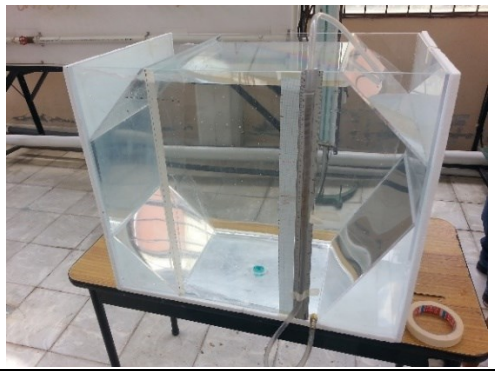
2.2. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

La IMAGEN 5, presenta el diagrama del reactor con sus equipos: el aireador con sus respectivos difusores, termostato, aspiradora manual para el retiro de muestras, bomba al vacío para extraer lodos sedimentados de la cámara de sedimentación y una válvula en la parte inferior del reactor para el retiro de lodos, sedimentos, descargas limpieza etc.

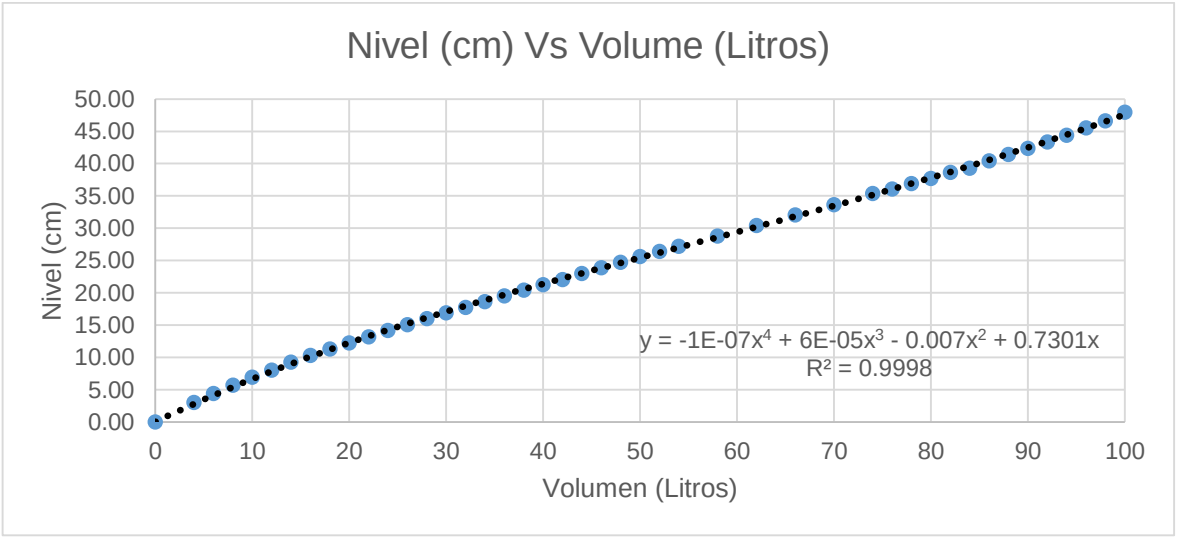
2.2.1. Volumen. El volumen del tanque se calibro a través de un método volumétrico el cual consiste en llenarlo con un fluido, en este caso agua, aforándolo cada 2 litros con un recipiente contenedor patrón (Probeta de 2000 ml.) por llenado tomando la escala de medida en centímetros y así posteriormente mediante formula de regresión lineal se ajusta para obtener la capacidad del tanque.

Imagen 7. Aforo cada 2000 ml con probeta

Imagen 8. Llenado del reactor hasta alcanzar los 100 Litros.



Gráfica 3. Calibración del equipo nivel en centímetros vs volumen en litros.



2.2.2. Temperatura. Para el reactor de mezcla completa experimental se utilizó un termostato de 150W, para controlar la temperatura, para esta investigación se maneja a 25°C, y para conservar está se aisló el equipo con láminas de poliestireno expandido (icopor) de 1 centímetro.

Imagen 9. Termostato.

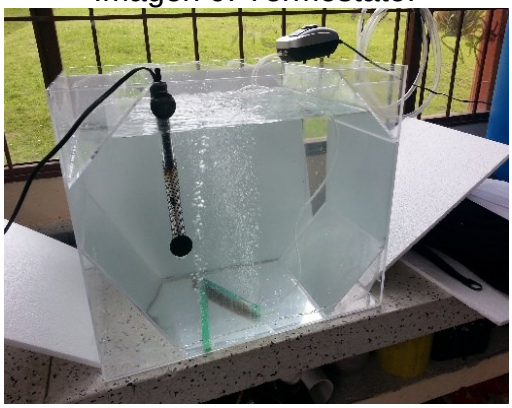


Imagen 10. Temperatura ambiente del agua de 18°C.

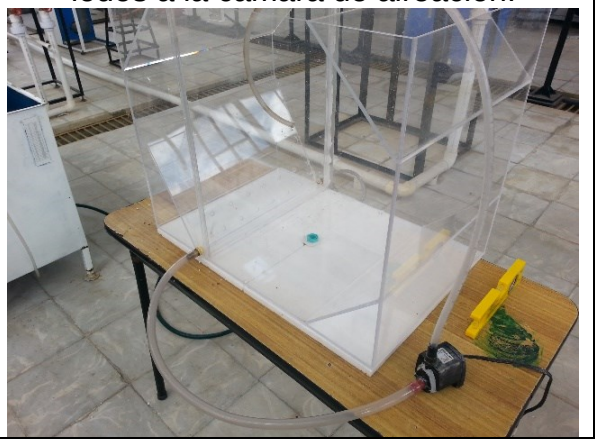
Imagen 11. Temperatura de 25°C a 1 hora.

El equipo transfiere y regula la temperatura, de una inicial de 18°C a una temperatura final de 25°C en un tiempo aproximado de 1 hora.

2.2.3. Motobomba para recirculación de sólidos. La motobomba, como se muestra en la IMAGEN 5, está ubicada a un costado del reactor con. Con ella se recircularon los lodos de la cámara de sedimentación a la cámara de aireación, con un caudal constante de 220 litros/hora.

Imagen 12. Motobomba.

Imagen 13. Sistema de recirculación de lodos a la cámara de aireación.



2.2.4. Aireación y transferencia de oxígeno. Para determinar la transferencia de oxígeno del sistema de aireación utilizado en el reactor, se realizó tres pruebas, que consistieron en reducir químicamente el oxígeno disuelto presente en el agua prueba, y seguido a esto se hizo funcionar el sistema de aireación, se midió el aumento del oxígeno disuelto, para calcular la rata de transferencia de oxígeno normal.

Para el procedimiento detallado, el análisis y los resultados para cada prueba remitirse al ANEXO A.

Imagen 14. Oxímetro digital.

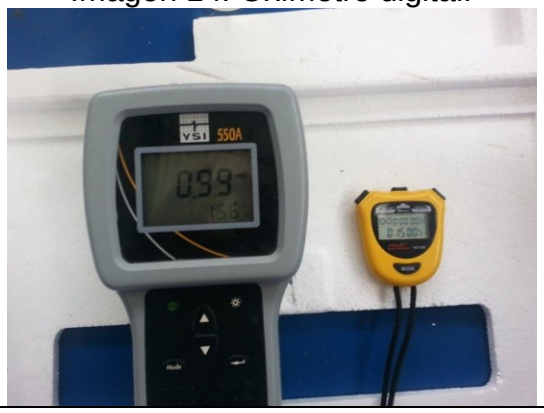


Imagen 15. Sistema de aireación.

Se promedió los resultados de las tres pruebas, concluyendo que la rata de transferencia de oxígeno normal del aireador y sus difusores es.

$$SOTR = \frac{SOTR_1 + SOTR_2 + SOTR_3}{3}$$

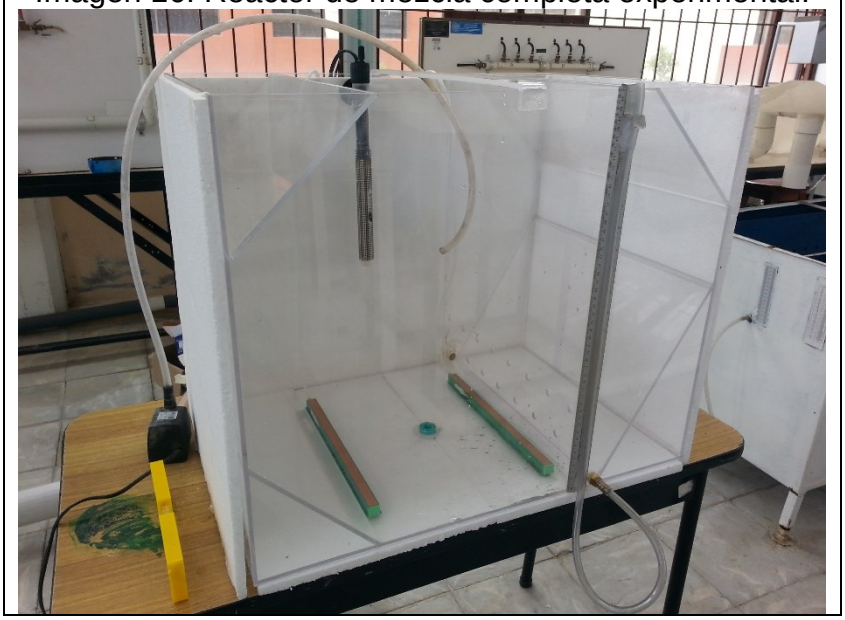
$$SOTR = \frac{1.9617 + 2.6019 + 2.4431}{3}$$

$$SOTR = 2.3355 \ \frac{gr\ O_2}{hora}$$

2.3. RECOLECCIÓN Y TOMA DE MUESTRAS

2.3.1. Preparación del reactor. Antes de tomar la muestra, se ubicó el reactor en el sitio donde se realizó el estudio dentro del laboratorio de ingeniería civil y saneamiento básico; se verifico el funcionamiento de los equipos y se dispuso a colocar la muestra.

Imagen 16. Reactor de mezcla completa experimental.



2.3.2. Recolección de agua residual

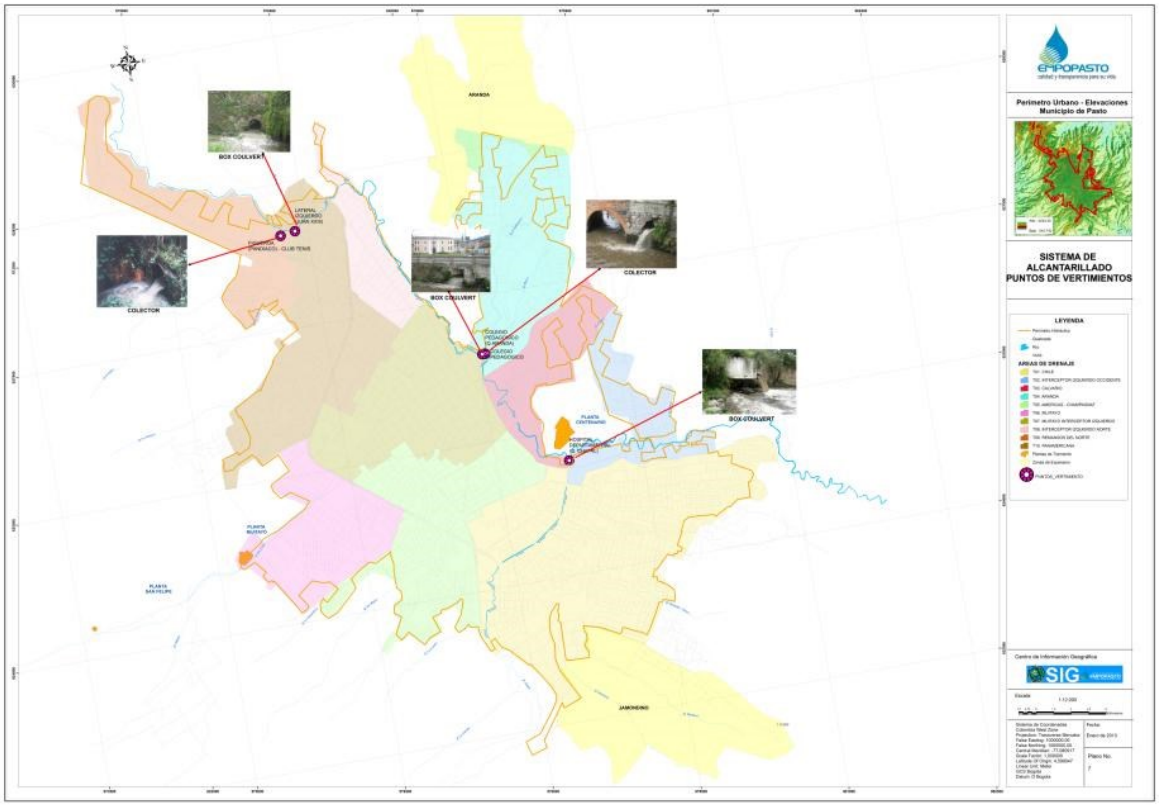
2.3.2.1. Puntos de vertimiento. En el trascurso del recorrido del rio Pasto por la zona urbana recibe la descarga de aguas residuales en 5 puntos donde se ubican los emisores identificados en la TABLA 5.

Tabla 5. Puntos de vertimientos – características y localización

Colectores	Ducto	Dirección	Coordenadas	Tipo
H. DEPARTAMENTAL (Q. Chapal)	Boxcoulvert	Cr 9 Cl 22	N625175 E978750	COMBINADO
COL. PEDAGOGICO (Q. Aranda)	Boxcoulvert	Cl 22 B Cr 26	N626400 E976090	SANITARIO
COLEGIO PEDAGÓGICO	Colector	Cl 22 B Cr 26	N626395 E978060	COMBINADO
LATERAL IZQUIERDO (Juan XXIII)	Interceptor	Cl 19 B Cr 45	N628100 E976415	COMBINADO
FIGUEROA - CLUB TENIS (Pandiaco)	Interceptor	Cr 46 Cl 18	N627970 E976222	SANITARIO

Fuente: Documento Plan de Saneamiento y manejo de vertimientos PSMV corregido pág. 98

Imagen 17. Puntos de vertimiento - sector urbano



Fuente: Sección Infraestructura SIG - EMPOPASTO S.A. E.S.P. S.A. E.S.P. y PSMV presentación. Diapositiva 21.

EMPOPASTO S.A. E.S.P. realiza muestreos en diferentes jornadas, en los principales puntos que descargan sobre esta fuente hídrica, según Plano 4 para el cálculo de las cargas contaminantes al Río Pasto. Adicionalmente se puede determinar las variaciones en el caudal descargado e identificar los sitios con mayores índices de contaminación del río en el sector urbano, está información suministrada por el laboratorio de la empresa se realizó durante el periodo 2004 – 2009 y el promedio obtenido en el año 2009.

Tabla 6. Puntos de vertimiento – caudal calculado y carga contaminante

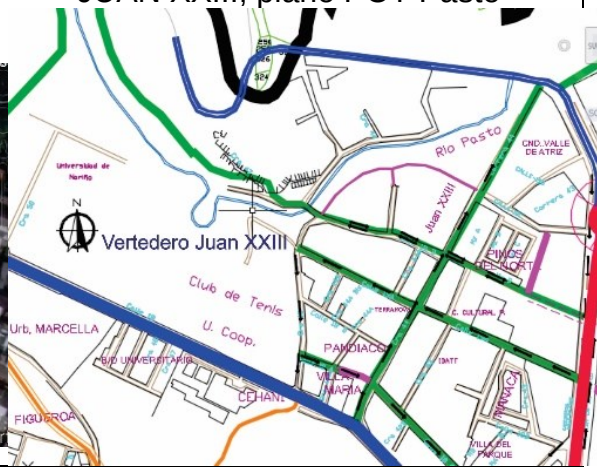
Puntos de Vertimiento	Cuerpo Receptor	Q. Calculado L/D	Población	Parámetro	Concentr. Mg/l	Carga generada Kg/día
BOX H. DPTAL	Río Pasto	50.766.600	253.833	DBO5	133,57	6.780,9
				SST	221,17	11.228,0
BOX COLEGIO	Río Pasto	18.306.800	91.534	DBO5	67,71	1.239,6
				SST	120	2.196,8
COLECTOR CIRCULAR PEDAG.	Río Pasto	10.133.200	50.666	DBO5	308,4	3.125,1
				SST	283,15	2.869,2
INTERCEPTOR JUAN XXIII	**Río Pasto**	**47.033.200**	**235.166**	**DBO5**	**229,67**	**10.802,1**
				SST	**215,78**	**10.148,8**
CIRCULAR CLUB TENNIS	Río Pasto	4.835.600	24.178	DBO5	152,07	735,3
				SST	185,27	895,9

Fuente: Documento Plan de Saneamiento y manejo de vertimientos PSMV corregido pág. 115.

2.3.2.2. Origen de la muestra. Para este estudio se tomó una muestra de agua residual con la ayuda del personal de EMPOPASTO S.A. E.S.P, el 22 de Septiembre del 2015 a las 10:00 am, en el vertedero JUAN XXIII ubicado en el sector Juan XXIII al respaldo del Club de Tenis de la ciudad de Pasto como se muestra en la IMAGEN 25 y la IMAGEN 26.

Imagen 18. Ubicación del vertedero JUAN XXIII, foto Google Earth.

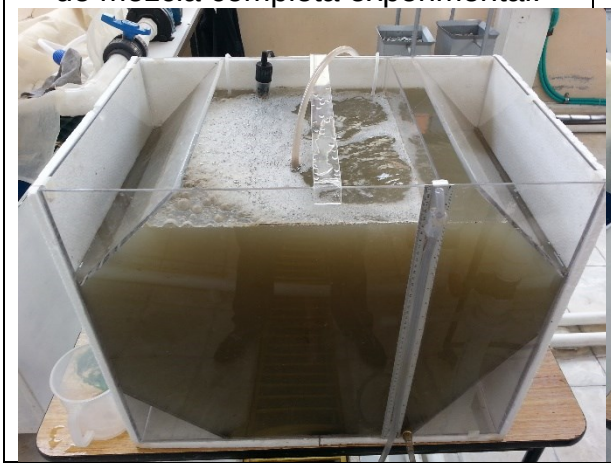
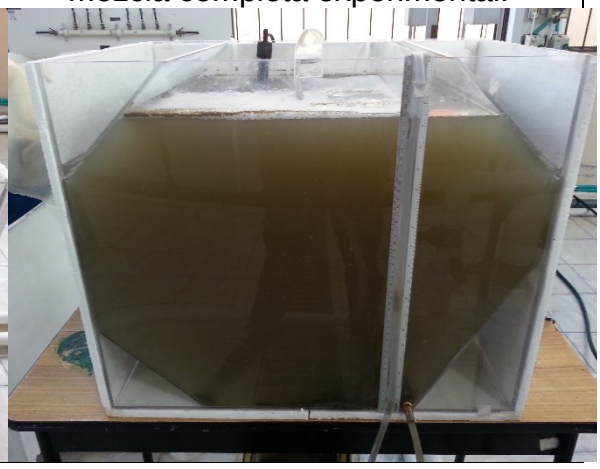
Imagen 19. Ubicación del vertedero JUAN XXIII, plano POT Pasto



Se tomó 120 litros de agua residual y en sitio se tomó datos de oxígeno disuelto y temperatura, posteriormente se llevó dicha muestra a los laboratorios de la universidad para depositarla en el reactor de mezcla completa experimental.

Imagen 20. Vertedero JUAN XXIII.	Imagen 21. Toma de oxígeno disuelto y temperatura en sitio.

2.3.2.3. Toma de muestras en el reactor. Eventualmente y como se propuso en el trabajo se dejó la muestra por un periodo de retención de 16 horas, las cuales comenzaron desde las 10:00 am del día 22 de Septiembre del 2015, hora en la cual se tomó la muestra en el vertedero, hasta las 2:00 am del día 23 de Septiembre del 2015.

Imagen 22. Vista superior del reactor de mezcla completa experimental.	Imagen 23. Vista frontal reactor de mezcla completa experimental.
	

Durante este periodo se tomaron muestras del reactor cada 4 horas, se refrigeraron para mantener dichas muestras, y así conservarlas para poder ser examinadas en laboratorios especializados de la Universidad de Nariño. Las muestras se retiraron del reactor como se planteó en el diagrama de la IMAGEN 5 con una aspiradora

manual, por cada muestra se retiraron 2 LITROS, cantidad suficiente para realizar los ensayos de laboratorio especificados.

Imagen 24. Toma de muestras con aspiradora manual.

Imagen 25. Refrigeración y conservación de las muestras tomadas en horarios nocturnos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL

La caracterización inicial del agua residual combinada tomada del vertedero JUAN XXIII, permitió determinar las concentraciones tanto de los microrganismos como los parámetros fisicoquímicos evaluados durante el estudio.

3.2. RESULTADOS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la muestra inicial tomada del vertedero JUAN XIII y las 4 muestras retiradas del reactor de mezcla completa experimental, se recopilaron después de su análisis en laboratorios especializados, y se presenta su información resumida en la TABLA 7.

La información completa en cuanto a métodos y técnicas utilizados para el desarrollo de estos ensayos se presenta en el ANEXO B, informe el cual entrega laboratorios especializados.

Tabla 7. Resultados parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

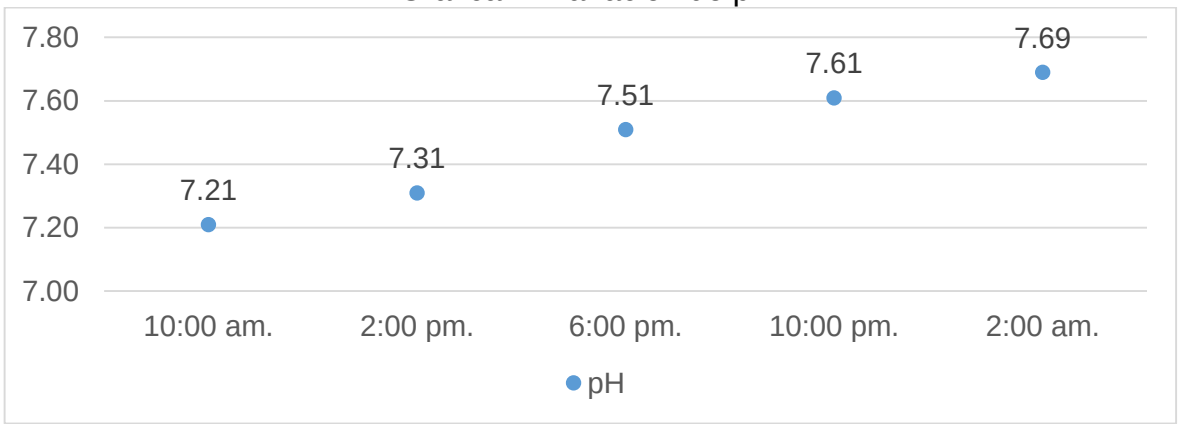
Muestra	**Unidad**	**Inicial**	**1**	**2**	**3**	**4**
Parámetros	**Hora**	**10:00 am.**	**2:00 pm.**	**6:00 pm.**	**10:00 pm.**	**2:00 am.**
pH	pH	7,21	7,31	7,51	7,61	7,69
Solidos suspendidos totales	mg/l	535	150	255	205	380
Solidos suspendidos volátiles	mg/l	410	125	210	200	325
Oxígeno disuelto	mg Co/l	0,62	1,98	2,17	2,45	2,67
Demanda bioquímica de oxigeno	mg O2/l	393	322	202	94	113
Demanda química de oxigeno	mg O2/l	1178	844	544	467	660
Coliformes totales	UFC/100ml	4050000	6750000	21000000	27000000	34000000
Escherichia coli	UFC/100ml	1500000	5400000	13500000	16200000	27000000

Nota: El sistema de aireación, recirculación y calefacción del equipo funcionaron correctamente las 16 horas del ensayo.

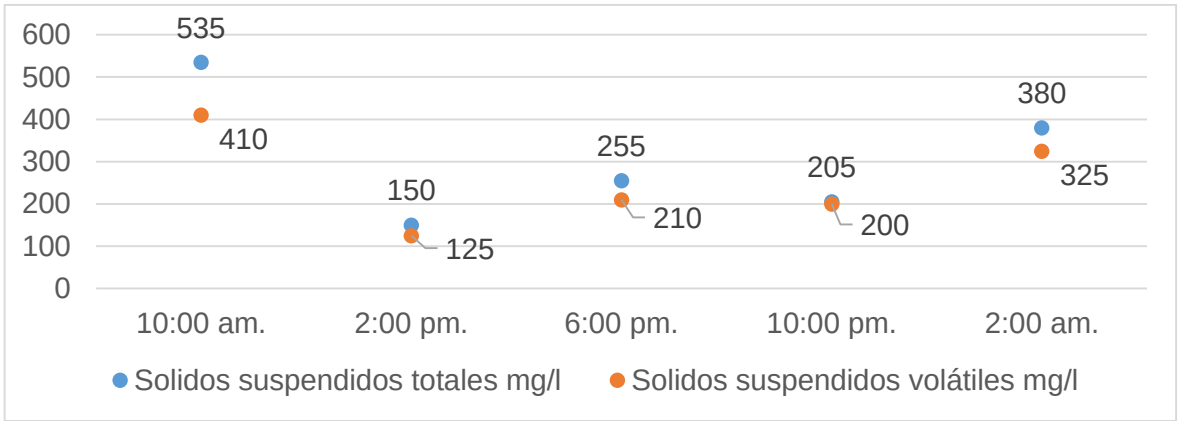
3.3. DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS

Las gráficas de distribución se presentaron detallando la variación de los parámetros analizados en relación al tiempo, respecto a las 16 horas que se realizó el estudio a cada 4 horas que se tomaron las muestras. Las gráficas se muestran detalladamente continuación.

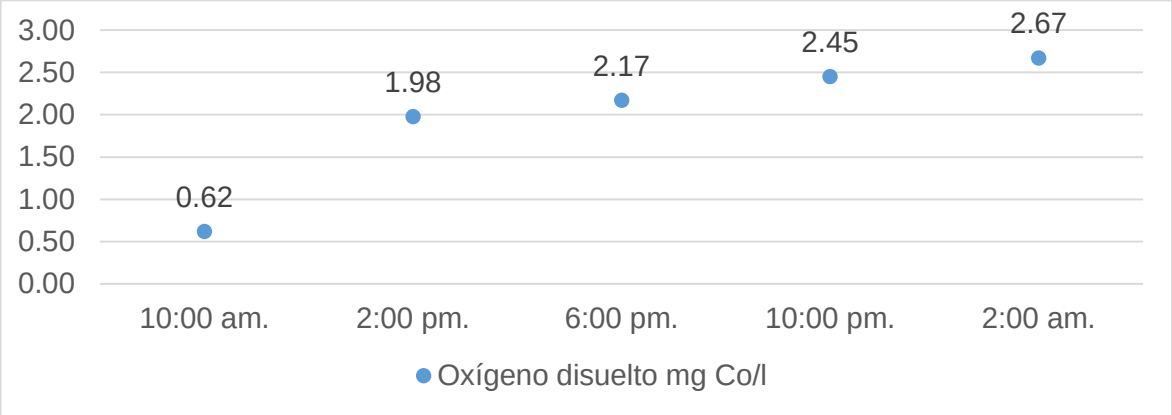
Gráfica 4. Variación de pH.



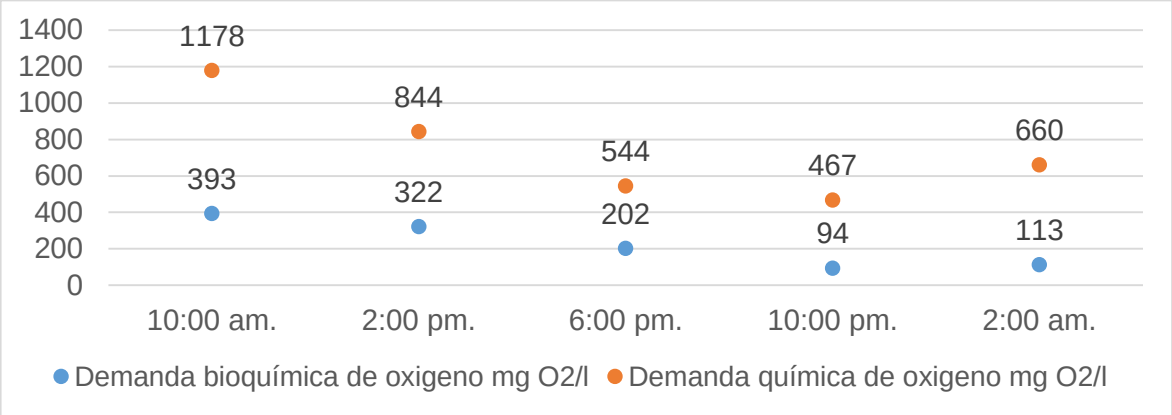
Gráfica 5. Variación de solidos suspendidos totales y solidos suspendidos volátiles.



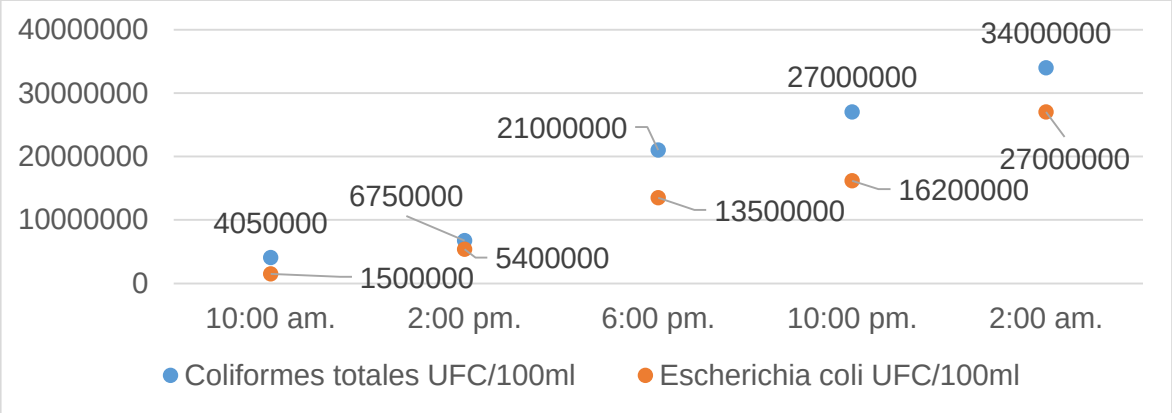
Gráfica 6. Variación oxígeno disuelto en relación al tiempo.



Gráfica 7. Variación de la DBO_5 y la DQO.



Gráfica 8. Variación de los Coliformes totales y Escherichia coli.



En la TABLA 8 se muestra la variación en porcentaje respecto al tiempo de acuerdo a los parámetros iniciales.

Tabla 8. Resultados percentil de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Muestra	Unidad	Inicial	1	2	3	4
Parámetros	**Hora**	**10:00 am.**	**2:00 pm.**	**6:00 pm.**	**10:00 pm.**	**2:00 am.**
Solidos suspendidos totales	mg/l	535	-72%	-52%	-62%	-29%
Solidos suspendidos volátiles	mg/l	410	-70%	-49%	-51%	-21%
Oxígeno disuelto	mg Co/l	0,62	219%	250%	295%	331%
Demanda bioquímica de oxigeno	mg O2/l	393	-18%	-49%	-76%	-71%
Demanda química de oxigeno	mg O2/l	1178	-28%	-54%	-60%	-44%
Coliformes totales	UFC/100ml	4050000	67%	419%	567%	740%
Escherichia coli	UFC/100ml	1500000	260%	800%	980%	1700%

3.4. DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS A PARTIR DE DATOS DE LABORATORIO

Los datos obtenidos de la prueba con agua residual tomada del reactor de mezcla completa experimental, se ajustaron a las ecuaciones lineales del balance del sustrato y biomasa, presentadas en el marco teórico, así se determinó los valores de los coeficientes k, K_s, μ_m, Y, y k_d.

El tiempo de retención hidráulica θ, está definido por la ecuación (17), este se determinó por el volumen del tanque y el caudal de los sólidos en recirculación.

$$\theta = \frac{V}{Q} \qquad (17)$$

Tabla 9. Tiempo de retención hidráulica θ.

Muestra	Unidad	Inicial	1	2	3	4
Parámetros	**Hora**	**10:00 am.**	**2:00 pm.**	**6:00 pm.**	**10:00 pm.**	**2:00 am.**
Volumen	litros	-	100	98	96	94
Caudal	l/horas	-	220	220	220	220
Tiempo de retención hidráulica θ días		-	0,455	0,445	0,436	0,427

Tabla 10. Resultados utilizados para el determinar los coeficientes cinéticos.

Muestra	**Unidad**	**Inicial**	**1**	**2**	**3**	**4**
Parámetros	**Hora**	**10:00 am.**	**2:00 pm.**	**6:00 pm.**	**10:00 pm.**	**2:00 am.**
Solidos Suspendidos Volátiles	mg/l	410	125	210	200	325
Demanda bioquímica de oxígeno	mg O2/l	393	322	202	94	113
Tiempo de retención hidráulica θ días	días	-	0,455	0,445	0,436	0,427

Utilizando los datos anteriores, se resume en la TABLA 11 los datos para determinar los coeficientes cinéticos.

Tabla 11. Resultados de laboratorio para determinar los coeficientes cinéticos.

Muestra	**So, mg/l DBO_5**	**Si, mg/l DBO_5**	**S, mg/l DBO_5**	**θ=θc, días**	**X, SSV/l**
1	393	322	71	0,455	125
2	393	202	191	0,445	210
3	393	94	299	0,436	200
4	393	113	280	0,427	325

Donde:

So = concentración de sustrato en el agua a tratar.

Si = concentración de sustrato para cada una de las muestras

S = concentración de sustrato en el efluente, representada como la diferencia entre la concentración inicial y la concentración para cada una de las muestras, S = So - Si.

Nota: Para el estudio de coeficientes cinéticos θ=θc.

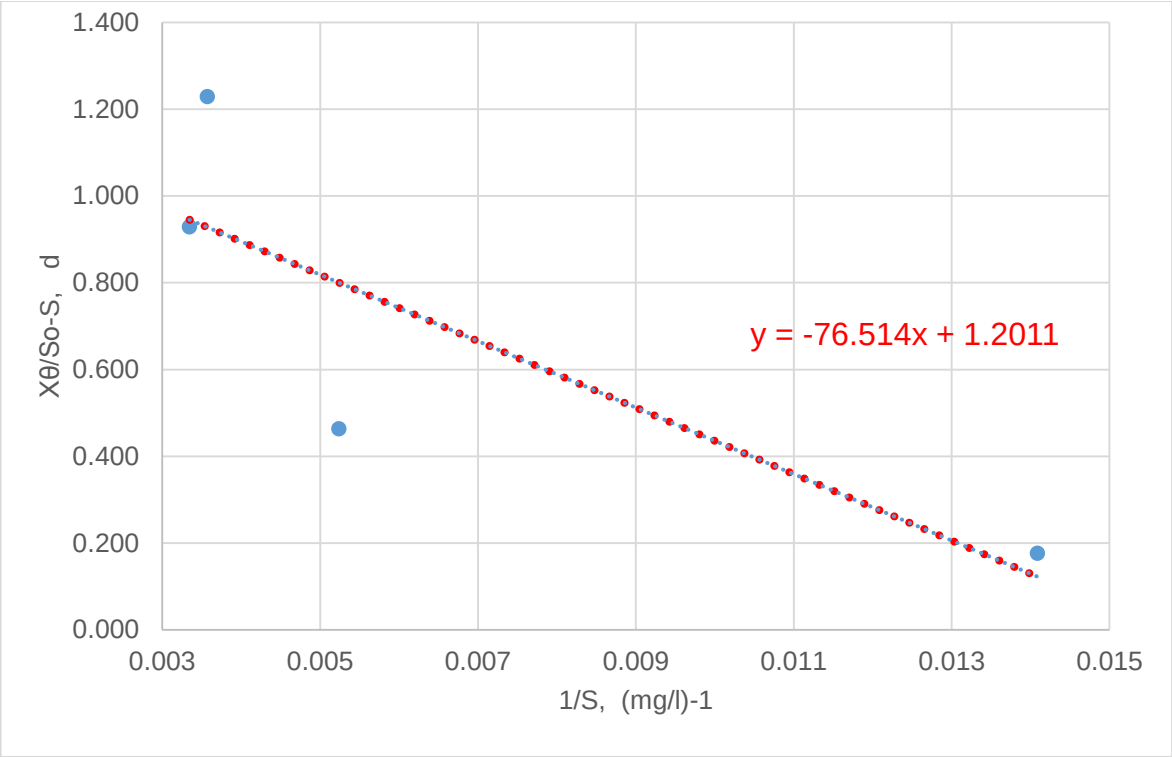
Utilizando la ecuación (23), se estableció una tabla de cálculo (TABLA 12) para determinar los parámetros *k, K_s*.

$$\frac{X\theta}{S_0-S} = \frac{K_S}{k}\frac{1}{S} + \frac{1}{k} \qquad (23)$$

Tabla 12. Procesamiento de datos para determinar los coeficientes *k, K_s*.

Muestra	So-S	Xθ	Xθ/So-S	1/S
1	322	56,818	0,176	0,014
2	202	93,545	0,463	0,005
3	94	87,273	0,928	0,003
4	113	138,864	1,229	0,004

Gráfica 9. Datos experimentales para la determinación de los coeficientes cinéticos *k* y K_s.



De la ecuación (23), y de la GRÁFICA 9 se deduce que la ordenada en el origen es igual a (1/*k*).

$$\frac{X\theta}{S_0-S} = \frac{K_S}{k}\frac{1}{S} + \frac{1}{k} \qquad (23)$$

$$\frac{1}{k} = 1{,}2011 \text{ d}$$

$$k = 0{,}8326 \text{ d}^{-1}$$

A partir de la ecuación (23), se deduce que la pendiente de la curva de la GRÁFICA 9, es igual a Ks/k.

$$\frac{Ks}{k} = -76{,}514 \frac{mg}{d.l}$$

$$Ks = -76{,}514 \frac{mg}{d.l} * (0{,}8326 \text{ d}^{-1}) = -20{,}712 \frac{mg}{l}$$

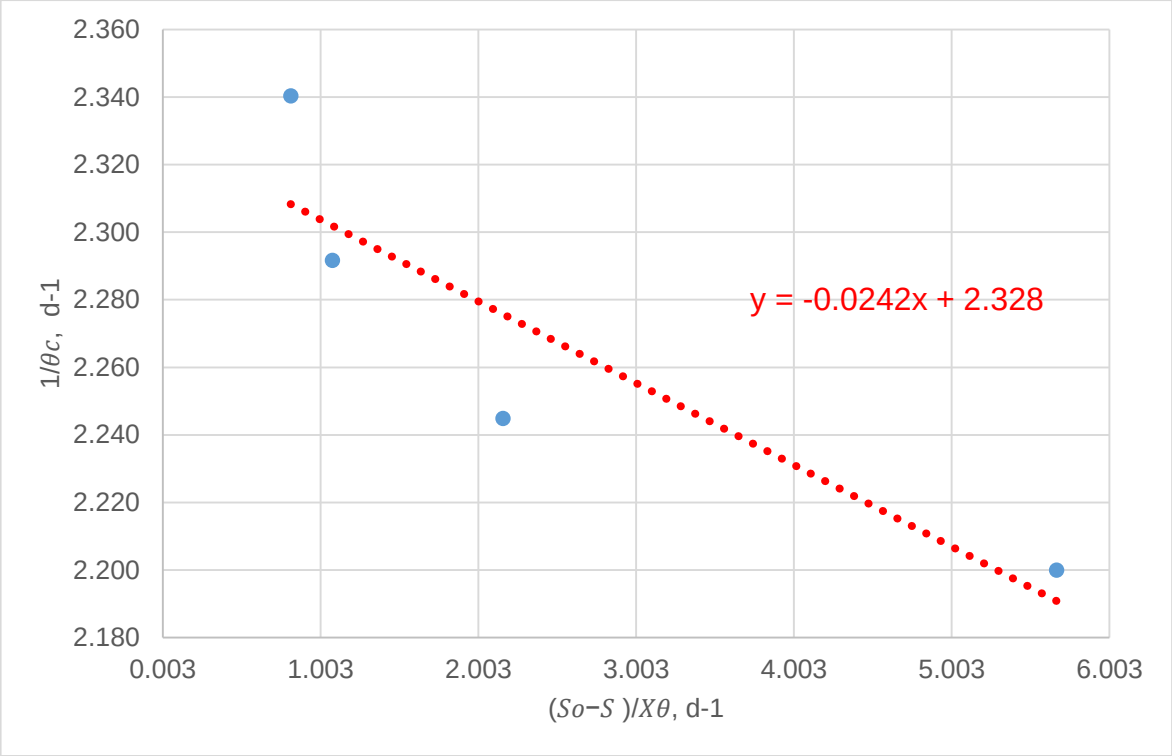
Utilizando la ecuación (20), se estableció una tabla de cálculo (TABLA 13) para determinar los coeficientes faltantes *Y*, k_d, μ_m.

$$\frac{1}{\theta c} = Y\frac{So-S}{X\theta} - k_d \qquad (20)$$

Tabla 13. Procesamiento de datos para determinar los coeficientes cinéticos.

Muestra	$\frac{1}{\theta c}$	$\frac{So-S}{X\theta}$
2	2,200	4,242
3	2,245	1,914
4	2,292	0,848
5	2,340	0,619

Gráfica 10. Gráfico de datos experimentales para la determinación de los coeficientes cinéticos *Y*, k_d.



De la ecuación (20), se deduce que la pendiente de la curva de la GRÁFICA 13, es igual a Y.

$$Y = -0,0242$$

De la ecuación (20), y de la GRÁFICA 13 se deduce que la ordenada en el origen es igual a $-k_d$.

$$k_d = 2,328$$

Finalmente se encuentra el coeficiente μ_m.

$$\mu_m = k*Y$$

$$\mu_m = (0,8326\ d^{-1}) * (-0,0242)$$

$$\mu_m = -0,0201\ d^{-1}$$

Recopilación de datos de los coeficientes cinéticos.

Tabla 14. Valores de los coeficientes cinéticos.

Coeficiente	Símbolo	Unidad	Valor
Velocidad especifica de consumo de sustrato.	**K**	d^{-1}	**0,8326**
Concentración de sustrato a la mitad del máximo de velocidad de crecimiento.	**Ks**	Mg DBO/l	**20,7123**
Consumo de biomasa por respiración endógena.	**k_d**	d^{-1}	**2,3280**
Producción de biomasa por consumo de sustrato.	**Y**	SSVM/mg DBO	**0,0242**
Máxima velocidad de crecimiento cinético.	**μ_m**	d^{-1}	**0,0201**

Nota: Los valores de los coeficientes cinéticos se presentan en valor absoluto.

3.5. EJEMPLO TEÓRICO PARA UN REACTOR REAL DE MEZCLA COMPLETA

Se realizó un ejemplo basándose en la teoría de BURTON Franklin, STENSEL H. David, TCHOBANOGLOUS George, en su libro “Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales” con datos de la información brindada por EMPOPASTO S.A. E.S.P.

Para este ejemplo se tomó el interceptor del sector JUAN XXIII, el cual recibe las aguas residuales del interceptor lateral izquierdo que se le han incorporado otros colectores como el del Hospital Infantil, los vertimientos del colector Mijitayo con los afluentes de la quebrada Mijitayo y el alcantarillado del sector suroccidental de la ciudad, depositando un caudal de agua residual de 47033,2 m^3/día.

A continuación, se presenta las siguientes condiciones y requisitos para proyectar un proceso de lodos activos de mezcla completa, considerando que el efluente debe contener 20 mg/l o menos de DBO_5.

- Régimen hidráulico del reactor: Mezcla completa.
- Tiempo medio de retención celular $\theta^d c$ = 10 días.
- Solidos suspendidos volátiles del líquido muestra = 175,74 mg/l.
- DBO_5 soluble del afluente = 229,67 mg/l.
- Producción de biomasa por consumo de sustrato, *coeficiente cinético* ***Y*** = 0,0242
- Consumo de biomasa por respiración endógena, *coeficiente cinético* k_d = 2,328 d^{-1}
- Temperatura ambiente 22°C.
- Temperatura del agua residual 17°C.
- Altitud = 2500 m.

Solución para el diseño del reactor.

a) Estimar la concentración de DBO_5 soluble en el afluente.

Considerando que el 70% de los sólidos biológicos son degradables, y la DBO_5 del efluente contiene 22 mg/l, se utiliza la ecuación (24) para obtener la DBO_L última de sólidos biodegradables del efluente.

$$DBO_L=(0,70(22\ mg/l)\ )\ *1,42\ =21,868\ mg/l$$

La DBO_5 de los sólidos en suspensión del afluente se encuentra con la relación entre la DBO_L y la DBO_5, se supuso de 0,68 así.

$$DBO_5=21,868\ mg/l*0,68=14,87\ mg/l$$

La DBO_5 soluble del agua a tratar que escapa al tratamiento es.

$$20\ mg/l = S + 14,87\ mg/l$$
$$S = 5,13$$

b) Determinar la eficacia del tratamiento E por medio de la ecuación (24).

$$E_s=\frac{So-S}{So}*100 \qquad (24)$$

La eficacia basada en la DBO_5 soluble es.

$$E_s=\frac{(229,67-5,13)mg/l}{229,67\ mg/l}*100=98\%$$

La eficacia conjunta de la planta es.

$$E_s = \frac{(229{,}67\text{-}20)\,mg/l}{229{,}67\ mg/l} * 100 = 91\%$$

c) Para el calcular el volumen del rector se utilizó la ecuación (28).

$$V = \frac{\theta_c^d Q Y (So\text{-}S)}{X(1+(k_d \theta_c^d))} \qquad (28)$$

$$V = \frac{(10d)(47033{,}2\ m^3/día)(0{,}0242)((229{,}67\text{-}5{,}13)mg/l)}{(175{,}74\ mg/l)(1+(2{,}328*10)} = 599 m^3$$

Volumen 600 metros cúbicos

d) Para determinar la cantidad de fango a purgar diariamente se utilizó las ecuaciones (25) y (26).

Determinar Y_{obs} por medio de la ecuación (25).

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1+(k_d \theta_c^d)} \qquad (25)$$

$$Y_{obs} = \frac{0{,}0242}{1+(2{,}328*10)} = 9{,}967x10^{-4}$$

La masa de lodo activado volátil para purgar se determinó por medio de la ecuación (26).

$$Px = \frac{Y_{obs} Q (So\text{-}S)}{(10^3 g/kg)} \qquad (26)$$

$$Px = \frac{0{,}0009967*47033{,}2\ m^3/día\left((229{,}67\text{-}5{,}13)mg/l\right)}{(10^3 g/kg)} = 11\ kg/d$$

e) Para determinara el oxígeno necesario se utilizó la ecuación (24), y se supuso un factor de conversión de DBO_5 a DBO_L de 0,68.

$$O_2 kg/d = \frac{Q(So\text{-}S)*(10^3 g/kg)^{-1}}{f} - 1{,}42Px \qquad (24)$$

$$O_2 kg/d = \frac{47033{,}2\ m^3/d((229{,}67-5{,}13)mg/l)}{0{,}68(1000\ g/kg)} - 1{,}42(15kg/d) = 15516\ kg/d$$

f) El tiempo de retención hidráulica θ, está definido por la ecuación (17).

$$\theta = \frac{V}{Q} \qquad (17)$$

$$\theta = \frac{600 m^3}{47033{,}2\ m^3/día} = 0{,}01275\ d = 18{,}4\ minutos$$

3.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El sistema de aireación empleado en el reactor de mezcla completa cumplió con su finalidad en el proceso aerobio resaltando el aumento del oxígeno disuelto, el cual este debe ser tomado directamente en el reactor, y se registró un aumento de 0,62 mg/l inicialmente, a 2,67 mg/l a las 16 horas sometido a aireación. De la misma forma, se observó que este es suficiente para realizar la mezcla completa del líquido presente en el reactor.

En la TABLA 8 (Resultados percentil de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos), se resalta el alto porcentaje en el crecimiento de los microrganismos, “Coliformes Totales” y “Escherichia coli”, los cuales incrementaron en 16 horas de retención, 739.51% y 1700% respectivamente, sometidos a una aireación de 2.33 gr O_2 / hora. De igual forma, los parámetros fisicoquímicos, como se muestra en el numeral 3.3, donde se presenta sus gráficas de variación vs tiempo, se resalta la disminución la demanda bioquímica de oxígeno a un 71% y la demanda química de oxígeno que se reduce a un 44%. Resaltando con ello el funcionamiento óptimo del equipo como tratamiento para aguas residuales.

En la graficas de los parámetros demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno, se puede observar un aumento en el último periodo de 4 horas, eso se debe a la saturación de la muestra respecto al incremento de los microorganismos, lo que significa que el tiempo de retención hidráulico está en sus límites, por ello se considera hacer un estudio más prolongado para investigar su comportamiento después de ese periodo.

Los datos obtenidos están influenciados por el día que se tomó la muestra del vertedero, ya que se presentaba para esa época un periodo de verano.
Teniendo en cuenta que las muestras tienen que ser preservadas para su estudio y otros factores como el día y lugar de la muestra, se asignó un nivel de confianza del 90%, cuyo valor Z es de 1,645, y para un análisis estadístico se asume un límite aceptable de error muestra (e) del 3%.

Se calculó un promedio de los datos obtenidos del estudio, y se determinó datos estadísticos para determinar el número de la muestras para analizar.

Tabla 15. Análisis estadístico.

Parámetros	Promedio	Desviación estándar	Valor critico	Intervalo de Confianza		Numero de muestras
				Inferior	Superior	
Solidos suspendidos totales	458	26,694	12	446	470	5
Solidos suspendidos volátiles	358	26,694	12	346	370	5
Oxígeno disuelto	1,98	0,719	0,321	1,657	2,299	5
Demanda bioquímica de oxigeno	171	55,225	25	147	196	5
Demanda química de oxigeno	610	150,298	67	543	677	5
Coliformes totales	18.560.000	11.537.738	5.159.833	13400167	23719833	5
Escherichia coli	12.720.000	8.900.652	3.980.492	8739508	16700492	5

Como se menciona en el numeral 3.4, se entrega en la TABLA 14 el resultado de los coeficientes cinéticos los cuales se registran en valor absoluto, y se comparan con los valores típicos mencionados en la TABLA 4, y se presenta su información en la TABLA 16.

Tabla 16. Comparación de resultados, con resultados típicos.

Coeficiente	Unidades	Resultado	Intervalo		Típico
K	d^{-1}	0,83	2	10	5
Ks	Mg DBO/L	20,71	25	100	60
Y	SSVM/mg DBO	0,0242	0,4	0,8	0,6
kd	d^{-1}	2,32	0,04	0,075	0,06

Con la información estadística de la TABLA 15, se establece un intervalo de confianza para cada parámetro estudiado del ensayo, junto con esto y analizando las gráficas para determinar los coeficientes cinéticos mencionados en el numeral 3.4, se deduce que el número de muestras no es representativo, ya que como se

detalla en la TABLA 16 los valores de los coeficientes cinéticos encontrados se desfasan considerablemente de los valores típicos.

Finalmente en el numeral 3.5 se entregó un ejemplo práctico donde se utilizan los coeficientes científicos para proyectarse un proceso de lodos activados para el diseño de un reactor de mezcla completa, con ello se resalta la aplicabilidad de este estudio, cabe mencionar que el estudio de coeficientes cinéticos tiene gran aplicabilidad en tratamientos secundarios detallados en la literatura mencionada.

3.7. PROTOCOLO PARA EL FUNCIONAMIENTO, CONTROL Y OPERACIÓN DEL EQUIPO "REACTOR DE MEZCLA EXPERIMENTAL"

Se estableció un protocolo en cuanto al funcionamiento y operación del equipo "Reactor de mezcla completa experimental". Por otro lado se dejó una guía de uso, cuidado, mantenimiento y precauciones generales de laboratorio para la conservación el equipo, así mismo una guía de precaución al manipular muestras de aguas residuales.

Estas guías se apoyan en la evaluación del equipo como tal y en la evaluación de parámetros de ensayos y determinaciones realizadas en este trabajo.

- Guía: conservación, mantenimiento y precauciones generales del equipo reactor de mezcla completa para el estudio de los coeficientes cinéticos en lodos activados en el tratamiento de aguas residuales. Remitirse ANEXO D.

- Guía de laboratorio: reactor de mezcla completa experimental – determinación de coeficientes cinéticos en lodos activados en el tratamiento de aguas residuales. Remitirse ANEXO D.

- Formato de registro y entrega de resultados. Remitirse ANEXO D.

4. CONCLUSIONES

Para este estudio, los coeficientes cinéticos se han deducido a partir de datos obtenidos utilizando un reactor de mezcla completa experimental con recirculación de sólidos para un proceso de lodos activados, de igual forma se puede obtener datos similares con reactores de mezcla completa sin recirculación de sólidos variando sus tiempos de retención para procesos de lagunas aireadas, esto se puede hacer ya que el equipo que se entrega puede utilizarse también como un reactor de mezcla completa sin recirculación de sólidos retirando su deflector ajustable.

Se evaluó los parámetros de diseño y se construyó un reactor de mezcla completa experimental de laboratorio con recirculación de sólidos, para estudio de coeficientes cinéticos en lodos activados para el tratamiento de aguas residuales. El reactor implementado es útil para el estudio del tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales siempre que estas no degraden el material del reactor.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, del afluente y el efluente, se pudo observar el efectivo funcionamiento del reactor en cuanto a su tratamiento, resaltando la disminución de parámetros tales como la “demanda bioquímica de oxígeno” y la “demanda química de oxígeno”, así mismo se resalta el incremento de los parámetros microbiológicos estudiados, en este caso “Coliformes Totales” y “Escherichia coli”, y el aumento considerable del “oxígeno disuelto” presente en el ensayo, ya que estos parámetros son de gran importancia en el estudio biológico en tratamientos de aguas residuales.

Los ensayos ejecutados en este trabajo sirvieron de apoyo en la estructuración de todo el protocolo de funcionamiento y operación del equipo, para ejecución de ensayos de academia, estudios reales y futuras investigaciones, ya que dicho equipo tiene amplia aplicación en el campo de la tratabilidad de aguas residuales.

Se logró determinar los coeficientes cinéticos del agua a tratar, tomada del vertedero JUAN XXIII, y si establecen como modelo comparativo para futuras investigaciones.

Finalmente y a manera didáctica con los resultados encontrados de los coeficientes cinéticos se estableció un ejemplo para proyectar un reactor de mezcla completa con recirculación de sólidos para lodos activados, resaltando así la aplicabilidad de este estudio.

5. RECOMENDACIONES

Ampliar el tiempo de retención y tomar un mayor número de ensayos ya que el agua residual tomada de los vertederos se verá afectada por las condiciones físicas y ambientales de la época donde se haga el muestreo.

Evitar detener el reactor para la toma de muestras toda vez que este no debe haber detenido su actividad, ya que puede ocasionar que los resultados, especialmente el de los parámetros microbiológicos se vean fuertemente afectados.

Realizar mantenimiento periódico y calibración de los equipos utilizados en el proceso de tratamiento de aguas residuales de una forma periódica por personal especializado y así lograr resultados de mayor confiabilidad y óptimo funcionamiento.

Tomar datos de oxígeno disuelto directamente en el reactor, siendo esta más precisa, ya que el agua a tratar está siendo aireada constantemente.

Realizar un estudio para reactores anaerobios, cuya cinética tiene el mismo proceso, pero se diferencia en el diseño del reactor.

Desarrollar investigaciones que permitan sacar mayor provecho a este reactor, ya que existe gran variedad de procesos de aireación y mezclado, puesto que el equipo está diseñado para garantizar la uniformidad del flujo.

Implementar un dispositivo de agitación para realizar la mezcla del agua presente en el reactor, siempre y cuando el sistema de aireación no contribuya significativamente a la mezcla del líquido contenido en el reactor.

BIBLIOGRAFÍA

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá, Mc Graw Hill y ACODAL, 2000.

BURTON Franklin, STENSEL H. David, TCHOBANOGLOUS George. Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor, s.a. 3 Edición 1994.

CALDERON R. John – ZAMBRANO A. NAPOLEON. Saneamiento Ambiental. Universidad de Cauca. Facultad de Ingeniería Civil. 1992.

CEPIS. Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del aguapara consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe / OPS, 1995, disponible en: Http://www.cepis.ops-oms.org/es

Determinación de Microorganismos en Lodos activados, Disponible en: Catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lcf/morales_a_gm/capitulo10.pdf

MATIZ, A. Soluciones individuales en potabilización de agua, Experiencias en la búsqueda de alternativas sostenibles, Guía para la reflexión y análisis en la toma de decisiones, año 2009

Microbiología de los Lodos Activados. Disponible en: www.priet.unlu.edu.ar/agua%20latin.pdf

Nuevas aplicaciones de Lodos residuales, Disponible en: www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TA/EO/TAO-67.pdf

RAMON, J.A. Ph. D. GUALDRON, L.D. Ing. y MALDONADO, J.I. MSc. Determinación de los coeficientes cinéticos y estequimetricos del proceso de degradación aerobia en el tratamiento biológico del agua residual en reactores discontinuos. Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo (GIAAS). Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona. 2007, Disponible en: www.unipamplona.edu.co_unipamplona_portalIG_home_10_recursos_general_pag_contenido_publicaciones_revista_ambiental_06082010_rev_ambiental_vol2_num1_art3

Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000.

RIGOLA LAPEÑA, Miguel. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, Editorial Marcombo. 1997.

RODRÍGUEZ, Carlos. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1995.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acuiquímica. Primera Edición. Departamento de publicaciones Escuela Colombiana de Ingenierías, 1996 ysegunda edición, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá Colombia, 2002.

RAMALHO Rubens, JIMÉNEZ Domingo. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverte, S.A. 1996.

SALAZAR CANO**,** Roberto. Plantas de Potabilización, Segunda edición. Universidad de Nariño. 2002.

SALAZAR CANO, Roberto. TEORIA Y DISEÑO DE LOS TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto 2002.

SEÓNEZ, Calvo Mariano. Angulo, Aguado Irene. Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Mundi prensa libros S.A, 1995.

TCHOBANOGLOUS George. Procesos biológicos unitarios. Metcalf & Eddy Inc. 2003. Disponible en: http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/unitarios.pdf

ANEXOS

ANEXO A

SISTEMA DE AIREACIÓN Y TRANSFERENCIA DE OXIGENO

Para determinar la transferencia de oxígeno del aireador utilizado en el reactor, se realizó tres pruebas, que consistió en reducir químicamente el oxígeno disuelto presente el agua prueba, y en seguida a esto se hizo funcionar el sistema de aireación para calcular la rata de transferencia de oxígeno normal.

El reactor contiene 95 litros (0.095 metros cúbicos) de agua limpia tomada directamente del grifo, con una lectura inicial de oxígeno disuelto 5.20 mg/l de O_2. Para las tres muestras se agregó el reactivo Sulfito Sódico Na_2SO_4, en una concentración de 7.9 ppm, para poder disminuir el oxígeno disuelto, a valores entre 0.5 y 1.5 de mg/l de O_2.

7.9 ppm de Na_2SO_4	1 mg/l
X	5.20 mg/l de O_2

X = 41.08 mg/l de Na_2SO_4

Para 95 Litros de H_2O = 41.08 mg/l de Na_2SO_4 * 95 Litros = 3902.6 Na_2SO_4 = 3.9 gr Na_2SO_4.

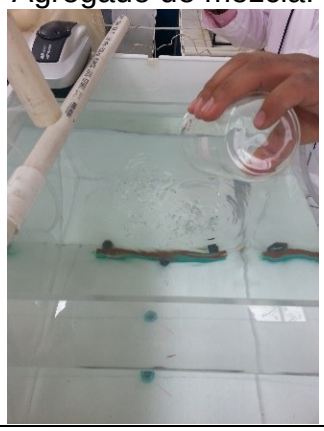
Como se requiere en exceso se aumenta en un 20% = 3.9 gr Na_2SO_4 * 1.15 = 4.5 gr Na_2SO_4.

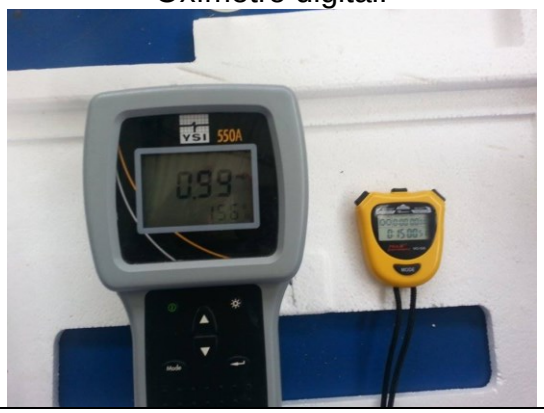
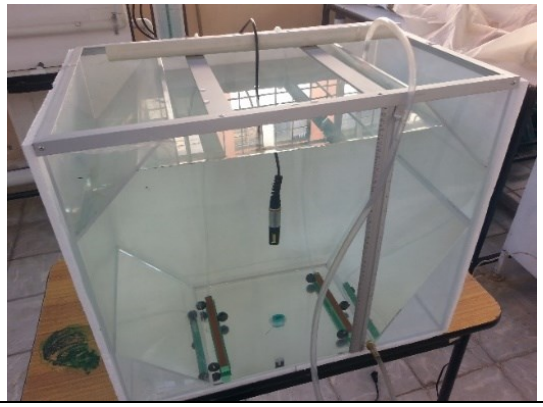
Igualmente se agregó el catalizador, Cloruro de Cobalto ($CoCl_2$) en una concentración de 1.5 ppm.

Para 95 litros de H_2O = 1.5 ppm de $CoCl_2$ * 95 litros = 142.5 mg de $CoCl_2$ = 0.15 gr de $CoCl_2$.

Calibración de balanza.	Pesaje de Na_2SO_4	Pesaje de $CoCl_2$.

Para el desarrollo de las tres pruebas, para 95 Litros de H_2O con un Oxígeno disuelto de 5.20 mg/l, se requieran 4.7 gr Na_2SO_4 y 0.15 gr de $CoCl_2$.

Mezcla del reactivo y el catalizador.	Agregado de mezcla.	Agitación de la muestra.
		

Oxímetro digital.	Sistema de aireación.
	

Después de un periodo de 30 minutos de agregado el reactivo y el catalizador a cada una de las muestras en el reactor, se logró disminuir la cantidad de oxígeno disuelto a 1,26 OD mg/l, 0,96 OD mg/l y 0,89 OD mg/l, respectivamente por cada

muestra. Al momento de la aireación se obtuvo una carga estable de oxígeno disuelto en el agua de 6,83 OD mg/l a los 65 minutos de encender el aireador para la primera prueba, 5,76 OD mg/l a los 40 minutos de encender el aireador y 5,90 OD mg/l a los 30 minutos de encender el aireador. Para obtener el valor de saturación de oxígeno disuelto del agua utilizada para la muestra se utilizó la siguiente tabla.

Valores de saturación de oxígeno para agua en condiciones normales 1 (atm).

Temperatura (C°)	Temperatura (F°)	O_2 (mg/l)
10	50	11.3
15	59	10.2
16	61	10.0
20	68	9.2

Fuente: RAMALHO Rubens, JIMÉNEZ Domingo. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverte, S.A. 1996. Pág. 705.

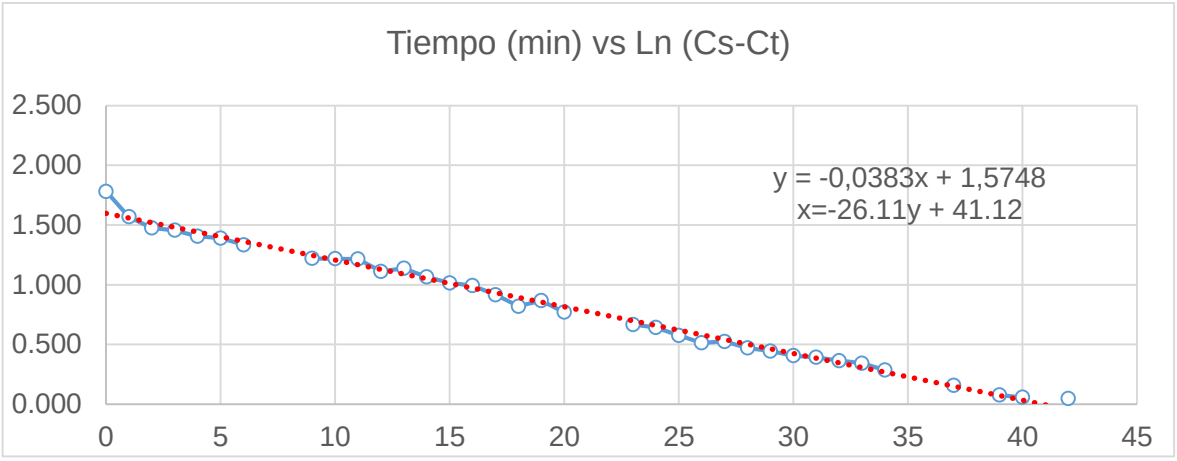
Se usa una aproximación que por cada 82.5m la presión disminuye en 1%, siendo Cs corregido para 16°C a 2500 sobre el nivel del mar, Cs16 = 7.20 mg/l de oxígeno disuelto.

Análisis de resultados de aeración y transferencia de oxígeno prueba 1

Datos de transferencia de oxígeno prueba 1.

Tiempo (min)	Oxígeno Disuelto Ct	Cs-Ct	Ln (Cs-Ct)	Tiempo (min)	Oxígeno Disuelto Ct	Cs-Ct	Ln (Cs-Ct)
0	1,26	5,94	1,782	33	5,79	1,41	0,344
1	2,4	4,8	1,569	34	5,87	1,33	0,285
2	2,83	4,37	1,475	35	6,02	1,18	0,166
3	2,91	4,29	1,456	36	6,1	1,1	0,095
4	3,12	4,08	1,406	37	6,03	1,17	0,157
5	3,18	4,02	1,391	38	6,17	1,03	0,03
6	3,4	3,8	1,335	39	6,12	1,08	0,077
7	3,92	3,28	1,188	40	6,14	1,06	0,058
8	3,34	3,86	1,351	41	6,11	1,09	0,086
9	3,81	3,39	1,221	42	6,15	1,05	0,049
10	3,82	3,38	1,218	43	6,25	0,95	-0,051
11	3,83	3,37	1,215	44	6,34	0,86	-0,151
12	4,16	3,04	1,112	45	6,29	0,91	-0,094
13	4,08	3,12	1,138	46	6,34	0,86	-0,151
14	4,3	2,9	1,065	47	6,34	0,86	-0,151
16	4,5	2,7	0,993	49	6,36	0,84	-0,174
17	4,7	2,5	0,916	50	6,43	0,77	-0,261
18	4,93	2,27	0,82	51	6,42	0,78	-0,248
19	4,82	2,38	0,867	52	6,45	0,75	-0,288
20	5,04	2,16	0,77	53	6,47	0,73	-0,315
21	5,24	1,96	0,673	54	6,59	0,61	-0,494
22	5,4	1,8	0,588	55	6,57	0,63	-0,462
23	5,25	1,95	0,668	56	6,53	0,67	-0,4
24	5,3	1,9	0,642	57	6,62	0,58	-0,545
25	5,42	1,78	0,577	58	6,64	0,56	-0,58
26	5,53	1,67	0,513	59	6,7	0,5	-0,693
27	5,51	1,69	0,525	60	6,71	0,49	-0,713
28	5,6	1,6	0,47	61	6,75	0,45	-0,799
29	5,64	1,56	0,445	62	6,78	0,42	-0,868
30	5,7	1,5	0,405	63	6,76	0,44	-0,821
31	5,72	1,48	0,392	64	6,75	0,45	-0,799
32	5,76	1,44	0,365	65	6,83	0,37	-0,994

Tiempo (min) vs Ln (Cs-Ct), resultados prueba 1.



Se toma un intervalo de oxígeno disuelto de saturación, entre el 80% y el 20%, y con la regresión lineal mostrada en la que se encuentra el tiempo para cada uno de estos datos así.

Cs_1 = Cs * 80% Oxígeno Disuelto de saturación = 7.20 * 0.80 = 5.75 mg/l
t_1 = 31.60 min
Cs_2 = Cs * 20% Oxígeno Disuelto de saturación = 7.20 * 0.20 = 1.44 mg/l
t_2 = -4.59 min

Utilizando la ecuación (4), se encuentra el coeficiente global de transferencia de oxígeno.

$$(K_{La})_{20} = \frac{\ln(Cs-Cs_2) - \ln(Cs-Cs_1)}{(t_1-t_2)/60\ \text{min/hora}}$$

$$(K_{La})_{20} = \frac{\ln(7.20-1.44) - \ln(7.20-5.45)}{(31.60-(-4.59))/60\ \text{min/hora}} = 2.30 \text{ horas}$$

Como la temperatura es de 16°C, se utiliza la ecuación (4), de corrección de temperatura.

$$(K_{La})_T = (K_{La})_{20} * 1.024^{T-20} = 2.30 * 1.024^{16-20} = 2.09 \text{ horas}$$

Cantidad de oxígeno a transferir se encuentra con la ecuación (5), para la primera prueba es.

$$SOTR = (K_{La})_{16} * Cs_{16} * V \qquad (5)$$

$$SOTR_1 = 2.09 \text{ horas} * 9.88 \text{ mg/l} * 0.095 \text{ m}^3$$

$$SOTR_1 = 1.9617 \frac{\text{gr } O_2}{\text{hora}}$$

Análisis de resultados de aeración y transferencia de oxígeno prueba 2

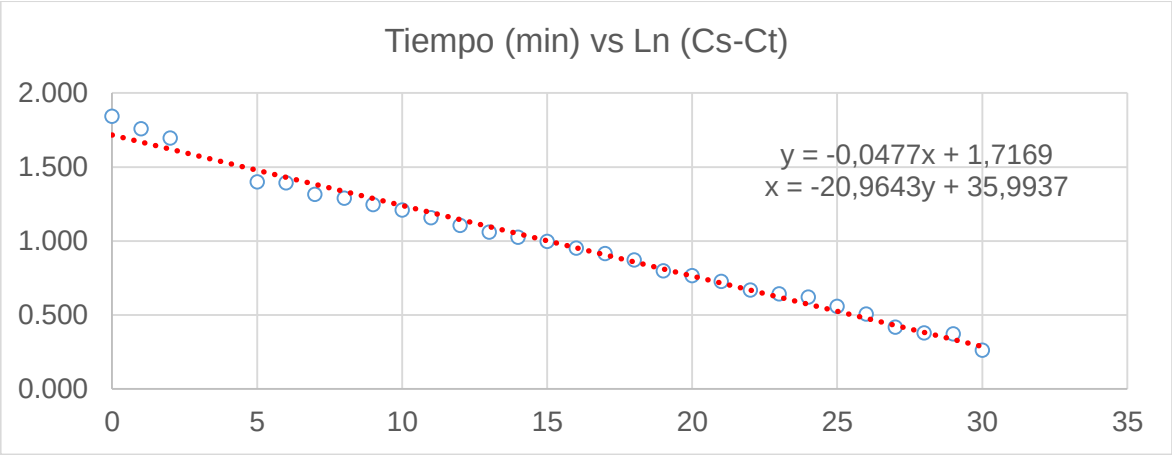
Datos de transferencia de oxígeno prueba 2

.

Tiempo (min)	Oxígeno Disuelto Ct	Cs – Ct	Ln (Cs-Ct)
0	0,89	6,31	1,842
1	1,39	5,81	1,76
2	1,75	5,45	1,696
3	3,48	3,72	1,314
4	3,6	3,6	1,281
5	3,15	4,05	1,399
6	3,17	4,03	1,394
7	3,48	3,72	1,314
8	3,57	3,63	1,289
9	3,72	3,48	1,247
10	3,85	3,35	1,209
11	4,02	3,18	1,157
12	4,18	3,02	1,105
13	4,31	2,89	1,061
14	4,41	2,79	1,026

Tiempo (min)	Oxígeno Disuelto Ct	Cs – Ct	Ln (Cs-Ct)
15	4,49	2,71	0,997
16	4,61	2,59	0,952
17	4,7	2,5	0,916
18	4,81	2,39	0,871
19	4,98	2,22	0,798
20	5,05	2,15	0,765
21	5,13	2,07	0,728
22	5,25	1,95	0,668
23	5,3	1,9	0,642
24	5,34	1,86	0,621
25	5,45	1,75	0,56
26	5,54	1,66	0,507
27	5,68	1,52	0,419
28	5,74	1,46	0,378
29	5,75	1,45	0,372
30	5,9	1,3	0,262

Tiempo (min) vs Ln (Cs-Ct), resultados prueba 2.



Se toma un intervalo de oxígeno disuelto de saturación, entre el 80% y el 20%, y con la regresión lineal mostrada en la que se encuentra el tiempo para cada uno de estos datos así.

Cs_1 = Cs * 80% Oxígeno Disuelto de saturación = 7.20 * 0.80 = 5.75 mg/l
t_1 = 22.35 min
Cs_2 = Cs * 20% Oxígeno Disuelto de saturación = 7.20 * 0.20 = 1.44 mg/l
t_2 = -4.93 min

Utilizando la ecuación (4), se encuentra el coeficiente global de transferencia de oxígeno.

$$(K_{La})_{20} = \frac{\ln(Cs-Cs_2) - \ln(Cs-Cs_1)}{(t_1-t_2)/60\ \text{min/hora}}$$

$$(K_{La})_{20} = \frac{\ln(7.20-1.44) - \ln(7.20-5.45)}{(22.35-(-4.93))/60\ \text{min/hora}} = 3.05\ \text{horas}$$

Como la temperatura es de 16°C, se utiliza la ecuación (4), de corrección de temperatura.

$$(K_{La})_T = (K_{La})_{20} * 1.024^{T-20} = 3.05 * 1.024^{16-20} = 2.77\ \text{horas}$$

Cantidad de oxígeno a transferir se encuentra con la ecuación (5), para la primera prueba es.

$$SOTR = (K_{La})_{16} * Cs_{16} * V \qquad (5)$$

$$SOTR = 2.77 \text{ horas} * 9.88 \ \mathrm{mg/l} * 0.095 \ m^3$$

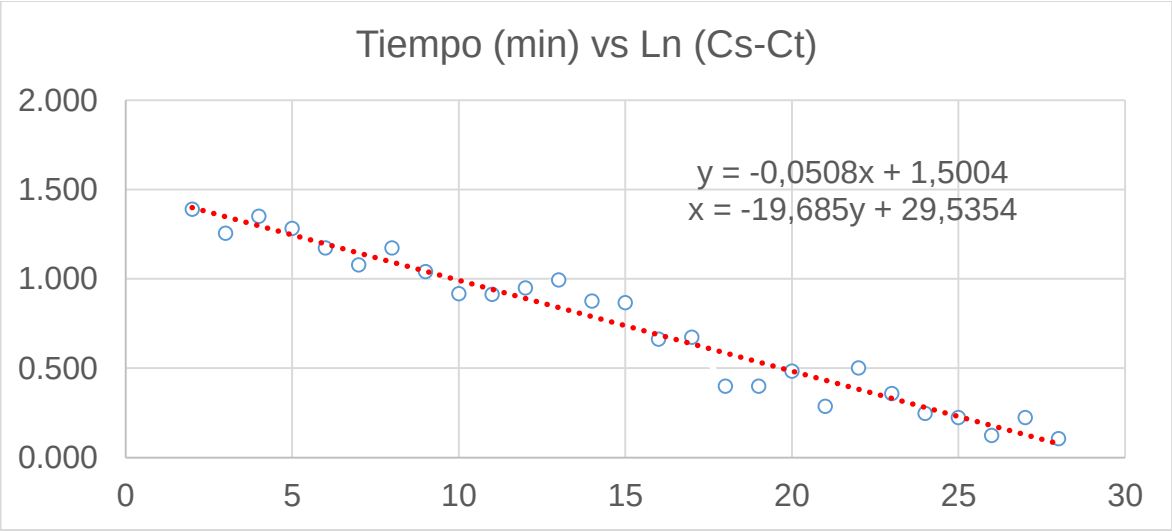
$$SOTR_2 = 2.6019 \ \frac{\text{gr } O_2}{\text{hora}}$$

Análisis de resultados de aeración y transferencia de oxígeno prueba 3

Datos de transferencia de oxígeno prueba 3.

Tiempo (min)	Oxígeno Disuelto Ct	Cs – Ct	Ln (Cs-Ct)	Tiempo (min)	Oxígeno Disuelto Ct	Cs – Ct	Ln (Cs-Ct)
0	0,96	6,24	1,831	16	5,26	1,94	0,663
1	1,87	5,33	1,673	17	5,24	1,96	0,673
2	3,19	4,01	1,389	18	5,71	1,49	0,399
3	3,69	3,51	1,256	19	5,71	1,49	0,399
4	3,34	3,86	1,351	20	5,58	1,62	0,482
5	3,6	3,6	1,281	21	5,87	1,33	0,285
6	3,97	3,23	1,172	22	5,55	1,65	0,501
7	4,26	2,94	1,078	23	5,77	1,43	0,358
8	3,97	3,23	1,172	24	5,92	1,28	0,247
9	4,37	2,83	1,04	25	5,95	1,25	0,223
10	4,7	2,5	0,916	26	6,07	1,13	0,122
11	4,71	2,49	0,912	27	5,95	1,25	0,223
12	4,62	2,58	0,948	28	6,09	1,11	0,104
13	4,5	2,7	0,993	30	6,28	0,92	-0,083
14	4,8	2,4	0,875	35	6,56	0,64	-0,446
15	4,82	2,38	0,867	40	5,76	1,44	0,365

Tiempo (min) vs Ln (Cs-Ct), resultados prueba 3



Se toma un intervalo de oxígeno disuelto de saturación, entre el 80% y el 20%, y con la regresión lineal mostrada en la que se encuentra el tiempo para cada uno de estos datos así.

Cs_1 = Cs * 80% Oxígeno Disuelto de saturación = 7.20 * 0.80 = 5.75 mg/l
t_1 = 28.34 min
Cs_2 = Cs * 20% Oxígeno Disuelto de saturación = 7.20 * 0.20 = 1.44 mg/l
t_2 = -0.71 min

Utilizando la ecuación (4), se encuentra el coeficiente global de transferencia de oxígeno.

$$(K_{La})_{20} = \frac{\ln(Cs-Cs_2) - \ln(Cs-Cs_1)}{(t_1-t_2)/60\ \text{min/hora}}$$

$$(K_{La})_{20} = \frac{\ln(7.20-1.44) - \ln(7.20-5.45)}{(28.34-(-0.71))/60\text{min/hora}} = 2.86 \text{ horas}$$

Como la temperatura es de 16°C, se utiliza la ecuación (4), de corrección de temperatura.

$$(K_{La})_T = (K_{La})_{20} * 1.024^{T-20} = 2.30 * 1.024^{16-20} = 2.60 \text{ horas}$$

Cantidad de oxígeno a transferir se encuentra con la ecuación (5), para la primera prueba es.

$$SOTR= (K_{La})_{16}*Cs_{16}*V \qquad (5)$$

$$SOTR= 2.09 \text{ horas}*9.88 \text{ mg/l}*0.095 \text{ m}^3$$

$$SOTR_3=2.4431 \ \frac{\text{gr } O_2}{\text{hora}}$$

Se promedió los resultados de las tres pruebas, concluyendo que la rata de transferencia de oxígeno normal del aireador y sus difusores es.

$$SOTR= \frac{SOTR_1+SOTR_2+SOTR_3}{3}$$

$$SOTR= \frac{1.9617+2.6019+2.4431}{3}$$

$$SOTR=2.3355 \ \frac{\text{gr } O_2}{\text{hora}}$$

ANEXO B
INFORME DE RESULTADOS – SECCIÓN DE LABORATORIOS ESPECIALIZADOS

Universidad de Nariño	SECCION DE LABORATORIOS INFORME DE RESULTADOS	**Código:** LBE- **Página:** 1 **Versión:** 03 Vigente a partir de : 2014-05-19

"Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parametros, pH, GRASAS Y ACEITES, SOLIDOS TOTALES, SOLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO, DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO, según Resolución No 3566 del 11 de diciembre de 2014"

FECHA EMISION RESULTADOS:	2015-10-06	**REPORTE No:**	LAQ-R-299A-15
AREA:	**LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO Y AGUAS**		

DATOS USUARIO		DATOS MUESTRAS	
Solicitante:	GUILLERMO ERASO	Tipo de Muestra:	**AGUA RESIDUAL**
Dirección:	CALL E SUR No 22A-49	Tipo de Muestreo:	SIMPLE
Teléfono:	3005913571	Sitio de Toma:	VERTEDERO JUAN XXIII
nit:	12750495	Responsable del Muestreo:	DANIEL RUIZ
e-mail	ingguillermoevil@gmail.com	Fecha de Muestreo:	2015-09-22
Solicitud No:	LAQ-C-339-15	Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:	2015-09-22

TIPO DE ANALIS SOLICITADOS	FISICOQUIMICO

Código Muestra	**Descripción**
LAQ-1159-15	MUESTRA INICIAL 10:00 am

PARAMETRO	METODO	TECNICA	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	CODIGO MUESTRA LAQ-1159-15
PH	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 4500 - H	ELECTROMETRICA	pH	2015-09-22	7,21
SOLIDOS SUSPENDIDOS	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 2540 - D	GRAVIMETRICA	mg/L	2015-09-23	535
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 2540 - E	GRAVIMETRICA	mg/L	2015-09-23	410
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	STANDAR METODOS EDICION No 22 5210- B ASTM D888-05	LUMINISCENCIA	mg O2/ L	2015-09-23	393
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 5220- D	COLORIM. REF. CERRADO	mg O2/ L	2015-09-23	1178

OBSERVACIONES

DESVIACIONES / EXLCUSIONES / ACLARACIONES AL INFORME	**FIN INFORME DE RESULTADOS**

LOS RESULTADO SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL SIN PREVIA AUTORIZACION DEL LABORATORIO

Elaboró:	2015/10/06 KTM
Revisó:	2015/10/06 AO

ANGELICA ORDOÑEZ
Química PQ -3471 CPQ
Universidad de Nariño

Universidad de Nariño	SECCION DE LABORATORIOS INFORME DE RESULTADOS	Código: LBE- Página: 1 Versión: 03 Vigente a partir de : 2014-05-19

"Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parametros, pH, GRASAS Y ACEITES, SOLIDOS TOTALES, SOLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO, DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO, según Resolución No 3566 del 11 de diciembre de 2014"

IDEAM

FECHA EMISION RESULTADOS:	2015-10-06	REPORTE No:	LAQ-R-299B-15
AREA:	LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO Y AGUAS		

DATOS USUARIO		DATOS MUESTRAS	
Solicitante:	GUILLERMO ERASO	Tipo de Muestra:	**AGUA RESIDUAL**
Dirección:	CALL E SUR No 22A-49	Tipo de Muestreo:	SIMPLE
Teléfono:	3005913571	Sitio de Toma:	REACTOR
nit:	12750495	Responsable del Muestreo:	DANIEL RUIZ
e-mail	ingguillermoevil@gmail.com	Fecha de Muestreo:	2015-09-22
Solicitud No:	LAQ-C-339-15	Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:	2015-09-22

TIPO DE ANALIS SOLICITADOS	FISICOQUIMICO

Código Muestra LAQ-1160-15	**Descripción**
	MUESTRA 1 2:00 pm

PARAMETRO	METODO	TECNICA	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	CODIGO MUESTRA
					LAQ-1160-15
PH	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 4500 - H	ELECTROMETRICA	pH	2015-09-22	7,31
SOLIDOS SUSPENDIDOS	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 2540 - D	GRAVIMETRICA	mg/L	2015-09-23	150
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 2540 - D	GRAVIMETRICA	mg/l	2015-09-23	125
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	STANDAR METODOS EDICION No 22 5210- B ASTM D888-05	LUMINISCENCIA	mg O2/ L	2015-09-23	322
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 5220- D	COLORIM. REF. CERRADO	mg O2/ L	2015-09-23	844

OBSERVACIONES

DESVIACIONES / EXLCUSIONES / ACLARACIONES AL INFORME	**FIN INFORME DE RESULTADOS**

LOS RESULTADO SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL SIN PREVIA AUTORIZACION DEL LABORATORIO

Elaboró:	2015/10/06 KTM
Revisó:	2015/10/06 AO

ANGELICA ORDOÑEZ
Química PQ -3471 CPQ
Universidad de Nariño

Universidad de Nariño	SECCION DE LABORATORIOS INFORME DE RESULTADOS	Código: LBE- Página: 1 Versión: 03 Vigente a partir de : 2014-05-19

"Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parametros, pH, GRASAS Y ACEITES, SOLIDOS TOTALES, SOLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO, DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO, según Resolución No 3566 del 11 de diciembre de 2014"

IDEAM

FECHA EMISION RESULTADOS:	2015-10-06	REPORTE No:	LAQ-R-299C-15
AREA:	LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO Y AGUAS		

DATOS USUARIO		DATOS MUESTRAS	
Solicitante:	GUILLERMO ERASO	Tipo de Muestra:	**AGUA RESIDUAL**
Dirección:	CALL E SUR No 22A-49	Tipo de Muestreo:	SIMPLE
Teléfono:	3005913571	Sitio de Toma:	REACTOR
nit:	12750495	Responsable del Muestreo:	DANIEL RUIZ
e-mail	ingguillermoevil@gmail.com	Fecha de Muestreo:	2015-09-22
Solicitud No:	LAQ-C-339-15	Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:	2015-09-22

TIPO DE ANALIS SOLICITADOS	FISICOQUIMICO
Código Muestra LAQ-1161-15	**Descripción** MUESTRA 2 6:00 pm

PARAMETRO	METODO	TECNICA	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	CODIGO MUESTRA LAQ-1161-15
PH	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 4500 - H	ELECTROMETRICA	pH	2015/0923	7,51
SOLIDOS SUSPENDIDOS	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 2540 - D	GRAVIMETRICA	mg/L	2015-09-23	255
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 2540 - D	GRAVIMETRICA	mg/L	2015-09-23	210
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	STANDAR METODOS EDICION No 22 5210- B ASTM D888-05	LUMINISCENCIA	mg O2/ L	2015-09-23	202
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 5220- D	COLORIM. REF. CERRADO	mg O2/ L	2015-09-23	544,0

OBSERVACIONES

DESVIACIONES / EXLCUSIONES / ACLARACIONES AL INFORME	**FIN INFORME DE RESULTADOS**

LOS RESULTADO SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL SIN PREVIA AUTORIZACION DEL LABORATORIO

Elaboró:	2015/10/06 KTM
Revisó:	2015/10/06 AO

ANGELICA ORDOÑEZ
Química PQ -3471 CPQ
Universidad de Nariño

Universidad de Nariño	SECCION DE LABORATORIOS INFORME DE RESULTADOS	Código: LBE- Página: 1 Versión: 03 Vigente a partir de : 2014-05-19

"Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parametros, pH, GRASAS Y ACEITES, SOLIDOS TOTALES, SOLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO, DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO, según Resolución No 3566 del 11 de diciembre de 2014"

IDEAM

FECHA EMISION RESULTADOS:	2015-10-06	REPORTE No:	LAQ-R-299D-15
AREA:	LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO Y AGUAS		

DATOS USUARIO		DATOS MUESTRAS	
Solicitante:	GUILLERMO ERASO	Tipo de Muestra:	**AGUA RESIDUAL**
Dirección:	CALL E SUR No 22A-49	Tipo de Muestreo:	SIMPLE
Teléfono:	3005913571	Sitio de Toma:	REACTOR
nit:	12750495	Responsable del Muestreo:	DANIEL RUIZ
e-mail	ingguillermoevil@gmail.com	Fecha de Muestreo:	2015-09-22
Solicitud No:	LAQ-C-339-15	Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:	2015-09-23

TIPO DE ANALIS SOLICITADOS	FISICOQUIMICO

Código Muestra LAQ-1182-15	**Descripción**
	MUESTRA 3 10:00 pm

PARAMETRO	METODO	TECNICA	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	CODIGO MUESTRA
					LAQ-1182-15
PH	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 4500 - H	ELECTROMETRICA	pH	2015-09-23	7,59
SOLIDOS SUSPENDIDOS	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 2540 - D	GRAVIMETRICA	mg/L	2015-09-24	205
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 2540 - D	GRAVIMETRICA	mg/L	2015-09-24	200
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	STANDAR METODOS EDICION No 22 5210 - B ASTM D888-05	LUMINISCENCIA	mg O2/ L	2015-09-24	94
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 5220- D	COLORIM. REF. CERRADO	mg O2/ L	2015-09-24	467

OBSERVACIONES

DESVIACIONES / EXLCUSIONES / ACLARACIONES AL INFORME	**FIN INFORME DE RESULTADOS**

LOS RESULTADO SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL SIN PREVIA AUTORIZACION DEL LABORATORIO

Elaboró:	2015/10/06 KTM
Revisó:	2015/10/06 AO

ANGELICA ORDOÑEZ
Química PQ -3471 CPQ
Universidad de Nariño

Universidad de Nariño	SECCION DE LABORATORIOS INFORME DE RESULTADOS	Código: LBE- Página: 1 Versión: 03 Vigente a partir de : 2014-05-19

"Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parametros, pH, GRASAS Y ACEITES, SOLIDOS TOTALES, SOLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO, DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO, según Resolución No 3566 del 11 de diciembre de 2014"

FECHA EMISION RESULTADOS:	2015-10-06	REPORTE No:	LAQ-R-299E-15
AREA:	LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO Y AGUAS		

DATOS USUARIO		DATOS MUESTRAS	
Solicitante:	GUILLERMO ERASO	Tipo de Muestra:	**AGUA RESIDUAL**
Dirección:	CALL E SUR No 22A-49	Tipo de Muestreo:	SIMPLE
Teléfono:	3005913571	Sitio de Toma:	REACTOR
nit:	12750495	Responsable del Muestreo:	DANIEL RUIZ
e-mail	ingguillermoevil@gmail.com	Fecha de Muestreo:	2015-09-23
Solicitud No:	LAQ-C-339-15	Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:	2015-09-23

TIPO DE ANALIS SOLICITADOS	FISICOQUIMICO
Código Muestra LAQ-1183-15	**Descripción** MUESTRA 4 2:00 am

PARAMETRO	METODO	TECNICA	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	CODIGO MUESTRA LAQ-1183-15
PH	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 4500 - H	ELECTROMETRICA	UpH	2015-09-23	7,69
SOLIDOS SUSPENDIDOS	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 2540 - D	GRAVIMETRIA	mg/L	2015-09-24	380
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 2540 - D	GRAVIMETRICA	mg/L	2015-09-24	325
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	STANDAR METODOS EDICION No 22 5210- B ASTM D888-09	LUMINISCENCIA	mg O2/ L	2015-09-24	113
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 5220- D	COLORIM. REF. CERRADO	mg O2/ L	2015-09-24	660

OBSERVACIONES

DESVIACIONES / EXLCUSIONES / ACLARACIONES AL INFORME	**FIN INFORME DE RESULTADOS**

LOS RESULTADO SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL SIN PREVIA AUTORIZACION DEL LABORATORIO

Elaboró:	2015/10/06 KTM
Revisó:	2015/10/06 AO

ANGELICA ORDOÑEZ
Química PQ -3471 CPQ
Universidad de Nariño

ANEXO C

Guía: conservación, mantenimiento y precauciones generales del equipo reactor de mezcla completa para el estudio de los coeficientes cinéticos en lodos activados en el tratamiento de aguas residuales

Guía de laboratorio: reactor de mezcla completa determinación de coeficientes cinéticos en logos activados en el tratamiento de aguas residuales.

Formato de registro y entrega de resultados.