

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

INCIDENCIA DE LA GRANULACIÓN AEROBIA EN LA VELOCIDAD
DE DECANTACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS EN UN REACTOR SECUENCIAL

PLAN DE TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO
DE INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTOR/A: GUERRA AGUILAR DIEGO ANDRÉS

DIRECTOR
Ing. Jorge Granja

IBARRA-ECUADOR

2020

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

**CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ibarra, 16 de Junio del 2020

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: **“INCIDENCIA DE LA GRANULACIÓN AEROBIA EN LA VELOCIDAD DE DECANTACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN UN REACTOR SECUENCIAL.”** , de autoría del señor **DIEGO ANDRÉS GUERRA AGUILAR** estudiante de la Carrera de Recursos Naturales Renovables, el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que el autor o ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

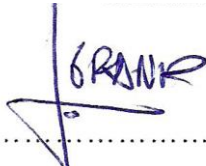
Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

Ing. Jorge Granja

.....
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

FIRMA



.....

MSc. Pedro Barba

.....
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



MSc.

Santiago

.....
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TRITULACIÓN



Cabrera



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA	1003681952		
APELLIDOS Y NOMBRES:	GUERRA AGUILAR DIEGO ANDRÉS		
DIRECCIÓN:	OTAVALO- CALLE GUAYAQUIL Y PIEDRAHIRA		
EMAIL:	daguerraa@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	928-185	TELÉFONO MÓVIL:	0988668175

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	INCIDENCIA DE LA GRANULACIÓN AEROBIA EN LA VELOCIDAD DE DECANTACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN UN REACTOR SECUENCIAL
AUTOR:	GUERRA AGUILAR DIEGO ANDRÉS
FECHA:	18/06/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
DIRECTOR:	ING. JORGE GRANJA

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de Junio del 2020

EL AUTOR:

.....
DIEGO GUERRA
1003681952

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco Dios por haberme dado la vida y la dicha de tener una familia, también por cada día que bendice mis pasos y por permitirme estar rodeado de los seres que más amo y que también me aman.

Agradezco a mis padres William Alfredo Guerra Torres y Jimena del Pilar Aguilar Aguilar, por ser los principales promotores de mis sueños y por haberme forjado por el camino del bien hasta convertirme en la persona que soy ahora. Me formaron con reglas y libertades, pero al final siempre me motivaron y apoyaron para alcanzar mis metas.

También agradezco a la Universidad Técnica del Norte y a sus docentes, quienes sin ningún interés me abrieron sus puertas y permitieron ser parte de su diario vivir, compartiendo sus conocimientos y sabiduría en este arduo camino para alcanzar mis sueños.

Diego Andrés Guerra Aguilar

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado con mucho amor a mi familia, quienes son el motor que impulsa mi camino día a día, a mis amigos, a Dios, a mis profesores y a todas las personas que formaron parte de este proceso y que me apoyan en el diario vivir encaminándome siempre a ser mejor.

Diego Andrés Guerra Aguilar

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Páginas
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Revisión Antecedentes	11
1.2 Problema de investigación y Justificación	12
1.3 Objetivos	13
1.3.1. Objetivo general	13
1.3.2Objetivos específicos	13
CAPÍTULO II	14
2.1 Marco Teórico.....	14
2.1.2 Uso del agua.....	14
2.1.3 Contaminacion del Agua en el Mundo.....	15
2.1.4 Modelo ASM3.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.5 Formación de lodo granular	16
2.1.6 Factores que afectan la granulación aerobia	17
2.1.7 Carga Orgánica.....	18
2.1.8 Tiempo de sedimentación	18
2.1.9 Utilización de Gránulos aerobios	19
2.2 Marco legal.....	20
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	25
3.1 Descripción del Área de Estudio.....	25
3.2 Métodos.....	26
3.2.1 Unidad Experimental	26
3.2.1.2 Arranque y estabilización del SBR	26
3.2.1.3 Caracterización del Agua Residual de la PTAR de la UTN.	27
3.2.1.4 Evaluación de la velocidad de decantación con lodos granulares aerobios	28

3.2.1.4.2 Medicion de la velocidad de decantacion del SBR(T1),Muestra Sin O2 (T2) Y Piscina Aerobia (T3).....	29
3.2.1.5 Observación Microscópica de los Gránulos Aerobios	29
3.2.1.6 Análisis Estadístico	29
3.3 Materiales y Equipos.....	30
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1 Resultados de la Caracterización de las Aguas Residuales de la PTAR de la UTN Ubicada en La Parroquia El Sagrario –Ibarra	31
4.1.1 Determinar el Caudal:	31
4.1.2 Análisis Físico Químicos:	32
4.2 Resultados del tiempo de decantación de las diferentes muestras de gránulos aerobios.	36
4.3 Resultados de la descripción morfológica de los gránulos aerobios con un óptimo tiempo de decantación mediante microscopia	41
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
5.1 Conclusiones	47
5.2 Recomendaciones:.....	48
REFERENCIAS	499
ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación UTM del área de estudio, WGS 84 Zona 17 Sur.....	25
Tabla 2. Materiales y Equipos	30
Tabla 3. Muestras compuestas tomadas en dos fechas diferentes.	31
Tabla 4. Análisis físico químico de las aguas residuales del 22-26-10-2018	32
Tabla 5. Análisis físico químico de las aguas residuales del 09-11-2019.....	33
Tabla 6. Resultados de la velocidad de sedimentación de la semana 1.....	36
Tabla 7. Resultados de la velocidad de sedimentación de la semana 2	37
Tabla 8. Resultados de la velocidad de sedimentación de la semana 3	37
Tabla 9. Resultados de la velocidad de sedimentación de la semana 4.....	37
Tabla 10. Resultados de la velocidad de sedimentación promedio.....	38
Tabla 11. Prueba no paramétrica Kruskal Wallis de los 3 tratamientos.....	38
Tabla 12. Resultados de la velocidad de sedimentación general durante 4 semanas.....	40
Tabla 13. Prueba no paramétrica Kruskal Wallis de los promedios de los 3 tratamientos.....	41
Tabla 14. Resultados de la caracterización morfológica del gránulo en la semana 1.....	41
Tabla 15. Resultados de la caracterización morfológica del gránulo en la semana 2.....	42
Tabla 16. Resultados de la caracterización morfológica del gránulo en la semana 3	42
Tabla 17. Resultados de la caracterización morfológica del gránulo en la semana 4.....	42
Tabla 18. Resultados de la caracterización morfológica del gránulo en la semana 5.....	42
Tabla 19. Resultados generales de la caracterización morfológica del gránulo...	43
Tabla 20. Cuadro de análisis de la varianza.....	45
Tabla 21. Test de Tukey.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio	25
Figura 2. Modelo ASM3 desarrollado por IWA.	27
Figura 3. Análisis Físico Químicos en diferentes fechas de DQO.....	35
Figura 4. Análisis Físico Químicos en diferentes fechas de DBO.....	35
Figura 5. Análisis Físico Químicos en diferentes fechas de SST.	36
Figura 6. Velocidad Promedio de Decantación Durante 4 semanas.....	40

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

INCIDENCIA DE LA GRANULACIÓN AEROBIA EN LA VELOCIDAD
DE DECANTACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS EN UN REACTOR SECUENCIAL.

GUERRA AGUILAR DIEGO ANDRÉS

RESUMEN

RESUMEN

Actualmente los gránulos aerobios se aplican en el tratamiento biológico de aguas residuales municipales e industriales, incluyendo la remoción biológica de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Esta tecnología funciona como una posible alternativa en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en pequeños asentamientos de población para mejorar la calidad de vida. La presente investigación tiene como propósito principal evaluar la incidencia de la velocidad de decantación de lodos granulares aerobios en el tratamiento de aguas residuales domesticas reales mediante un Reactor Secuencial tipo Batch (SBR acrónico en el idioma inglés). La observación experimental se realizó en tres etapas: la primera corresponde al arranque y estabilización del SBR, consiste en: llenado 3 minutos, aireación durante 4 horas, sedimentación 8 minutos y vaciado 4 minutos; monitoreándose los parámetros pH, DBO, DQO, oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno y temperatura diariamente. En la segunda etapa, se recolectó muestras del SBR (T1), planta piloto (T2) y agua sin oxígeno (T3) en 3 días de la semana, luego observarlos mediante microscopía. Las fotografías de la microscopía óptica mostraron la aparición y cambios estructurales de lodos granulares a partir del día 43, con forma esférica y ovalada, sin presencia de filamentos en su superficie. Finalmente la velocidad de decantación se evaluó a partir del día 44 en las muestras de los 3 tratamientos con una duración de 4 semanas. El T1 fue el único en presentar gránulos aerobios demostrando una gran diferencia en el tiempo de decantación de los T2 y T3 que reportaron flóculos. Los resultados realizados mediante análisis estadístico no paramétrico Kruskal Wallis y el método Tukey, mostraron que el tiempo de sedimentación es directamente proporcional con el tamaño del gránulo, siendo una alternativa eficiente en tratamientos para aguas residuales.

Palabras clave: velocidad de decantación, lodos granulares aerobios, reactor secuencial tipo Batch, planta de tratamiento de aguas residuales

ABSTRACT

Currently, aerobic granules are applied in the biological treatment of municipal and industrial wastewater, including the biological removal of nutrients (nitrogen and phosphorous). This technology works as a possible alternative in wastewater treatment plants (WWTP) in small population settlements, improving their quality of life. The main purpose of this research is to evaluate the incidence in the decantation speed of aerobic granular sludge in the treatment of real domestic wastewater using a Batch Sequential Reactor (BSR). The experimentation was carried out in 3 stages in a BSR. The first stage is the startup and stabilization of the BSR, which consisted of three main phases: filling, aeration and sedimentation, and emptying, in which the parameters pH, BOD, COD, dissolved oxygen, percentage of oxygen and temperature were monitored daily in order to stabilize the reactor and the filling time was set to 3 minutes, aeration for 4 hours, sedimentation to obtain granules in the BSR in 8 minutes, and a casting time of 4 minutes. In the second stage, the first aerobic granules were visible around day 35 with a hemispherical shape and mostly surrounded by flocs. From day 43, a greater presence of granular sludge of different sizes was evident. The decantation speed was evaluated from day 44 in 3 treatments: from samples taken from the BSR (T1), pilot plant and waters without O₂ with a duration of 4 weeks. No greater variation in decantation time was observed when comparing T1 for 4 weeks, which was the only one to present aerobic granules. However, there was a great difference in the decantation time in the samples where there were only flocs in formation, such as treatments 2 and 3. The light microscopy photographs showed the appearance and structural changes of the aerobic granules and flocs for 5 weeks, with a spherical and oval shape, without the presence of filaments on their surface. In this study, the results performed using Kruskal Wallis non-parametric statistical analysis and the Tukey method using the Infostat v.2019 program showed that the sedimentation time is directly proportional to the size of the granule, being a less expensive and innovative alternative in water treatments residual.

Key words: decantation speed, aerobic granular sludge, Batch Sequential Reactor, wastewater treatment plants.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de Antecedentes

El planeta Tierra se va deteriorando a medida que pasa los días, la pérdida y degradación de los recursos naturales de una manera acelerada es uno de los mayores problemas en la actualidad, siendo el agua uno de los principales para la vida (Instituto Cinara España, 2005). El crecimiento poblacional y la demanda de uso del agua han impulsado a una creciente contaminación.

El recurso hídrico constituye la principal fuente de vida de los seres vivos y cumple funciones en la estructura y dinámica de todos los organismos del planeta Tierra, siendo un elemento esencial para la vida y el desarrollo de flora y fauna (Borchardt, 2016). La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera una cantidad adecuada de agua para consumo humano (beber, cocinar, higiene personal, limpieza del hogar) 50 l/hab-día, equivalente al 10 % del consumo global.

Sin embargo, la contaminación producida por la actividad doméstica se ha sometido a diferentes procesos de tratamientos, siendo en un inicio muy costosas debido a la falta de tecnología, la cual ha ido evolucionando a medida de los años. Por esta razón los países desarrollados son ejemplo de utilización de tratamientos de aguas residuales. No obstante el problema de contaminación se extiende a países donde no existen políticas que rijan las condiciones de uso del agua y su eliminación al ambiente especialmente en fuentes de agua dulce natural. (ONU, 2016).

Según la Organización Mundial de la Salud (1995), en Ecuador menos del 5% de las aguas residuales reciben algún tipo de tratamiento, provocando que el 65% de las aguas en las microcuencas de la región Sierra ecuatoriana actualmente se encuentren contaminadas.

Se realizó una investigación donde participaron unas 16.000 personas en aproximadamente 4.400 hogares que incluyó una prueba química de ausencia o presencia de la bacteria *Escherichia Colí*, para medir la calidad del agua para beber. Un 79.3 % de agua a nivel nacional no está contaminada y un 20.7 % sí. En el sector urbano, el 84.6 % no está contaminada. El 15.4 % restante es agua contaminada, de esto el 28.6 % está embotellada o envasada. (Agua, Saneamiento e Higiene, Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2016).

En Ecuador se construyó la primera planta de tratamiento en la ciudad de Cuenca en 1999 con la finalidad de descontaminar y recuperar las aguas de los ríos Yanuncay y Tomebamba que atraviesan la zona central de la ciudad (Asociación de Municipalidades Ecuatorianas, Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2015)). En 2001 se inició la construcción de sistemas de tratamiento en el sector Norte del Ecuador.

No obstante, el alto costo para implementar una planta de tratamiento de aguas residuales dentro de cada ciudad es un inconveniente más. Ecuador cuenta con 416 plantas de tratamiento que cumplen con la tecnología y los requerimientos necesarios para el uso dentro de ciudades, es decir el 74.42% cumple y el 25.58% no cumple. (Asociación de Municipalidades Ecuatorianas, Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2015).

El 61.86% (133) de los GAD Municipales realizan tratamientos de sus aguas residuales, sin embargo, el 38.14% (82) aun no realizan ningún tratamiento que garantice el agua potable necesaria para la población. A nivel regional, la Sierra posee el mayor número de plantas para el tratamiento del agua residual con un 49.88% Según el (Asociación de Municipalidades Ecuatorianas, Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2015).

En Imbabura existen solamente cuatro ciudades que dan tratamiento adecuado a las aguas residuales domésticas mediante métodos tradicionales. Ibarra realiza

dicho manejo, teniendo aguas contaminadas derramadas principalmente al río Tahuando el cuál es el principal cuerpo receptor. De acuerdo con información proporcionada por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra (EMAPA-I), en el cantón Ibarra se trata el 90% del total de aguas residuales generadas.

1.2 Problema de investigación y Justificación

El crecimiento poblacional y la demanda de uso del agua han impulsado a una creciente contaminación. El agua dulce es un recurso renovable, sin embargo, debido al aumento demográfico, la demanda crece convirtiendo a este en un recurso finito que se encuentra sin tratamiento alguno, teniendo índices superiores sin tratar al 80 % según la Organización Mundial de la Salud (2013). El agua se considera contaminada cuando se altera su composición o condición natural por una degradación instantánea o paulatina de su calidad, hasta dejar de ser apta para el uso previsto (Echarri, 2007).

La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante sin duda es la provocada por el hombre. Una de las principales causas de la contaminación de los diferentes cuerpos de agua es la gran cantidad de desechos y materia orgánica que son vertidos en ellos como resultado de las diferentes actividades (Echarri, 2007).

La actividad doméstica produce principalmente residuos orgánicos, pero el alcantarillado arrastra además todo tipo de sustancias: emisiones de los automóviles (hidrocarburos, plomo, otros metales, etc.), sales, ácidos, etc. Las aguas residuales se componen básicamente de 99% de agua y 1% de sólidos disueltos, suspendidos o coloidales (Ulsido, 2013).

De acuerdo con información de la (ONU 2017), mil ochocientos millones de personas utilizan agua contaminada con materia fecal, lo que puede desarrollar enfermedades como el cólera, disentería, tifus y polio; esto causa más de 842 mil

muerdes al año. América Latina presenta el 85% de aguas residuales no tratadas y un 15% de aguas tratadas. Ecuador, cuenta únicamente con el 18% de aguas residuales domésticas tratadas. (ONU, 2017).

Es por esta razón que este trabajo se enfocó en el recurso hídrico, dándole una mayor importancia debido a la creciente demanda de uso en el mundo, la contaminación acelerada y el uso necesario de un tratamiento a las aguas residuales, impulsando a buscar nuevas alternativas tanto eficientes como de un costo más accesible para todo el mundo. Es así que la tecnología que se implementa aquí está basada en lodos granulares aerobios para el tratamiento de aguas residuales domésticas, determinando el tiempo óptimo de decantación de los lodos y mediante microscopía, determinar la forma y composición del granulo. Se trata de demostrar que la tecnología de lodos granulares aerobios es rentable, fácil de usar y sobre todo sostenible para comunidades con poblaciones pequeñas que requieren agua saludable para su utilización diaria.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la incidencia de la granulación aerobia en la velocidad de decantación para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el agua residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la UTN ubicada en la parroquia el Sagrario -Ibarra
- Evaluar el tiempo de decantación con énfasis a la granulación aerobia.
- Analizar la morfología de los gránulos mediante microscopía óptica.

1.4 Pregunta(s) directriz (ces) de la investigación

¿La velocidad de decantación está directamente relacionada con la forma del granulo?

CAPÍTULO II

2.1 Marco Teórico

2.1.2 Uso del agua

Se estima que aproximadamente el 70 % del agua dulce se destina a la agricultura. El agua en la industria absorbe una media del 20 % del consumo mundial, empleándose en tareas de refrigeración, transporte y como disolvente en una gran variedad de procesos industriales. El consumo doméstico absorbe el 10 % restante, según el informe de la Organización de las Naciones Unidas (2003), sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, agua para todos, agua para la vida.

2.1.3 Contaminación del Agua en el Mundo

El agua se considera contaminada cuando se altera su composición o condición natural por una degradación instantánea o paulatina de su calidad hasta dejar de ser apta para el uso previsto. El manejo y tratamiento de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas conlleva que el agua que beben cientos de millones de personas se vea peligrosamente contaminada (Cobos L. 2009).

En la actualidad el 80% de aguas residuales industriales y domésticas en el mundo, son principalmente vertidas a ríos, lagos y zonas costeras, acelerando la eutrofización de estas. El exceso de nutrientes en el agua principalmente nitrógeno y fósforo, genera un deterioro del recurso hídrico y en general de los ecosistemas acuáticos debido a la afectación de la calidad fisicoquímica del agua (Bedoya, 2009).

A pesar que nuestro planeta tiene una superficie de 71% de agua, tan solo el 2 % es potable, por lo que debe ser utilizada a conciencia y no promover el desperdicio, ya que alrededor de mil seiscientos millones de personas viven en escasez absoluta, mientras que seiscientos sesenta y tres millones viven sin un

suministro cercano, es así que si el desperdicio y la contaminación del agua continúan para el 2025, mil ochocientos millones de personas vivirán en zonas de escasez de agua (ONU, 2017). Sin embargo para el 2019 en el planeta viven más de setecientos setenta millones de personas, de las cuales dos mil cien millones (3 de cada 10) carecen de acceso a abastecimiento de agua, casi dos tercios de la población mundial padecen escasez grave de agua durante al menos un mes al año, además, cuatro mil quinientos millones de personas (6 de cada 10) no disponen de un saneamiento seguro (ONU 2019).

2.1.4 Modelo ASM3

El ASM3 permite obtener una buena representación de la evolución de las variables de estado, y está compuesto por más de treinta parámetros y por trece ecuaciones (Raduly, 2007). Dentro de los parámetros que conforman el modelo ASM3 están: altura, longitud, capacidad de litros, pH, DBO, DQO, OD, T, los cuales son los principales usados para la construcción y estabilización del reactor.

Altura: Es una longitud o una distancia de una dimensión geométrica, usualmente vertical o en la dirección de la gravedad. Este término también se utiliza para designar la coordenada vertical de la parte más elevada de un objeto.

Longitud: Dimensión mayor de una figura plana o de un cuerpo de tres dimensiones; en general, es notablemente mayor con respecto a las otras dimensiones.

pH: El pH es una medida de acidez o alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución o sustancia. Las siglas pH significan potencial hidrógeno

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): es un parámetro que mide la cantidad de di oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida. Es la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir

propriadamente el grado de contaminación. Normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO^5) y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro ($\text{mg O}_2 / \text{l}$).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro ($\text{mg O}_2/\text{l}$).

Oxígeno Disuelto (OD): el oxígeno disuelto se establece como la concentración actual (mg/L) o como la cantidad de oxígeno que puede tener el agua a una temperatura determinada. Se conoce también como el porcentaje de saturación

Temperatura (T): La temperatura es una medida de la energía cinética media de las moléculas de agua. Se mide en una escala lineal de grados Centígrados o grados Fahrenheit.

También se usan ecuaciones en espacio de estados del proceso de lodos activados para cada componente usados por la simulación del modelo ASM3. (Cegarra, 2014), Sin embargo las ecuaciones pueden o no ser utilizadas.

2.1.5 Formación de lodo granular

El desarrollo de los lodos granulares aerobios aparecieron por primera vez en el año 1991, en un reactor de flujo ascendente donde se desarrollan gránulos con diámetros entre 2 a 8 mm con buenas propiedades de sedimentación. La granulación aerobia se ha observado en reactores discontinuos y se ha usado en agua residuales recientemente con contenidos altos de concentraciones de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, sin embargo la granulación aerobia no han sido estudiada completamente (Jiang y Moy, 2003).

El lodo aerobio granular se forma mediante la operación de reactores discontinuos. Aunque esto no se ha estudiado directamente, algunos autores llegan a la conclusión que una alimentación por pulsos es un requisito para la formación del gránulo, reforzando la teoría de gradientes de concentración para acumulación y posterior metabolización por las células. Generalmente, una velocidad de aire alta y una agitación constante se requieren para la formación del gránulo, sin embargo, la aplicación de ciclos de tratamiento biológico y una fuerza cortante alta no aseguran el desarrollo de un gránulo aerobio estable (De Kreuk, 2006).

Estos gránulos se pueden definir como una unión de células auto inmovilizadas dentro de una matriz de forma esférica y se considera un caso especial de crecimiento de biofilm (Beun, 2002). La mayoría de los gránulos aerobios se han cultivado en reactores discontinuos y tienen varias ventajas comparadas con flóculos de lodos activados convencionales. Esto incluye una estructura densa y fuerte con buenas propiedades de sedimentación, alta retención de la biomasa y la habilidad para resistir cargas orgánicas altas (Lin, 2003)

2.1.6 Factores que afectan la granulación aerobia

El desarrollo de gránulos aerobios se identifica por varios sustratos incluyendo glucosa, acetato, fenol, acetato y aguas residuales. Donde en estudios recientes optaron en la posibilidad de la formación de gránulos aerobios con aguas residuales domesticas en plantas de tratamientos (Dekreuk y Van loosdrecht, 2006). Cuando los gránulos se alimentan con glucosa han presentado una estructura donde destacan la formación de filamentos, la microestructura bacteriana y la diversidad de especies dependen del tipo de la fuente del carbono orgánico.

El tiempo de sedimentación actúa como una selección de la presión hidráulica en la comunidad microbiana. Un tiempo de sedimentación pequeño se selecciona preferentemente para el crecimiento de bacterias de rápida sedimentación y para desechar el lodo con una pobre sedimentabilidad. Qin (2004), reportaron que los

gránulos aerobios se cultivaron exitosamente y fueron dominantes en un reactor discontinuo operado a un tiempo de sedimentación de 5 minutos. La mezcla de gránulos aerobios y lodo suspendido se observó en reactores discontinuos operando con tiempos de sedimentación de 20, 15 y 10 minutos. La producción de polisacáridos extracelulares se estimuló y la superficie celular hidrofóbica aumentó significativamente a tiempos de sedimentación cortos. Los gránulos con excelentes propiedades de sedimentación son esenciales para un funcionamiento efectivo de sistemas de tratamiento biológico.

2.1.7 Carga Orgánica

La carga orgánica es un parámetro operacional muy importante en los procesos de lodos activados convencionales, se define como la tasa de alimentación del sustrato a la masa de microorganismos. En la formación de gránulos anaerobios la carga orgánica es uno de los factores críticos; al incrementar la carga orgánica aumenta la formación de gránulos anaerobios de flujo ascendente. Sin embargo, los gránulos aerobios se forman en un amplio rango de cargas orgánicas de 1.5 a 2.5 kg DQO /m³ ·d (Moy, 2002).

Un estudio acerca del efecto de la carga orgánica en la formación y estabilidad de los gránulos mostró que una carga orgánica baja produce una formación lenta de gránulos y se requiere un tiempo más largo para alcanzar un estado estacionario. Un incremento en la carga orgánica puede mejorar la velocidad de crecimiento de la biomasa, por lo que puede ocurrir la debilidad de la estructura tridimensional de la comunidad microbiana (Liu, 2003).

2.1.8 Tiempo de sedimentación

El abultamiento de lodo se debe estrictamente al crecimiento excesivo de organismos filamentosos. Cuando un excesivo número de filamentosos crece fuera del flóculo, los filamentos interactúan con otros y los flóculos no pueden tener una sedimentación compacta. Como resultado, el lodo no se puede separar

eficientemente del agua tratada resultado en un efluente de baja calidad (Chiesa, 1992).

El tiempo de sedimentación actúa como una selección de la presión hidráulica en la comunidad microbiana. Un tiempo de sedimentación pequeño se selecciona preferentemente para el crecimiento de bacterias de rápida sedimentación y para desechar el lodo con una pobre sedimentabilidad. Se reportó que los gránulos aerobios se cultivaron exitosamente y fueron dominantes en un reactor discontinuo operado a un tiempo de sedimentación de 5 minutos. La producción de polisacáridos extracelulares se estimuló y la superficie celular hidrofóbica aumentó significativamente a tiempos de sedimentación cortos. Los gránulos con excelentes propiedades de sedimentación son esenciales para un funcionamiento efectivo de sistemas de tratamiento biológico (Qin, 2004).

2.1.9 Utilización de Gránulos aerobios

En la mayoría de las plantas de tratamiento es muy frecuente la utilización de lodos activados, por esta razón las aguas residuales contienen materia orgánica soluble que se mezcla con el lodo activado en el reactor aireado y la biomasa consume los posibles compuestos orgánicos e inorgánicos del agua residual como fuente de carbono y nutrientes. Las aguas residuales entran y salen continuamente del reactor de lodos que posteriormente serán descargados en un tanque de sedimentación donde el lodo activado se separa del agua residual tratada por la gravedad (Bruin, 2004).

La velocidad de sedimentación depende de la estructura física de la biomasa, este es un factor limitante para el tamaño de las plantas de tratamiento, ya que se requiere sedimentadores de gran volumen. Luego, las biomasas forman los flóculos densos, estos sedimentan rápidamente permitiendo que el efluente tratado sea descargado eficientemente, libre de biomasa suspendida. Se toma en cuenta que para determinar la velocidad de sedimentación y la disminución del índice volumétrico de lodos para mejorar en las características de sedimentabilidad de la

biomasa depende primero de la selección y la capacidad de crecimiento de los microorganismos, y segundo, de la eficiencia de separación de los microorganismos del efluente tratado (McSwain y Irvine, 2008).

Se ha demostrado que los reactores discontinuos secuenciales son capaces de biodegradar compuestos inhibitorios. Se han buscado métodos para dar robustez al sistema discontinuo secuencial; entre ellos destaca la granulación aerobia. Una de las funciones que presenta la granulación aerobia es la operación de un bioreactor discontinuo secuencial para la selección de microorganismos con capacidades para degradar 4-clorofenol y para formar gránulos aerobios. Se emplean pruebas fisicoquímicas para evaluar la eficiencia del reactor y de biología molecular para analizar el cambio en la biodiversidad de la población a lo largo del proceso. (McSwain y Irvine, 2008).

2.2 Marco legal

En cuanto al marco legal y político es bastante extenso, tomando en cuenta la Constitución de la República del Ecuador, 2008, enfatiza el reconocimiento de los derechos de la naturaleza, como una respuesta contundente al estado actual, orientando los esfuerzos al respeto integral de existencia, al mantenimiento y a la regeneración de ciclos vitales y procesos evolutivos.

Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021

Como menciona el objetivo 3 del Plan Nacional de Desarrollo, 2017 - 2021, Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones; en su Política 3.1. “Conservar, recuperar y regular el aprovechamiento del patrimonio natural y social, rural y urbano, continental, insular y marino-costero, que asegure y precautele los derechos de las presentes y futuras generaciones.”. Es decir, la importancia de la protección ambiental es responsabilidad de todos los ciudadanos.

Sección Séptima – Salud.

Art. 32.- La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos al agua, la alimentación, la educación, la cultura física, el trabajo, la seguridad social, los ambientes sanos y otros que sustentan el buen vivir.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Art. 15.- El estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientales limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectara el derecho del agua.

Código Orgánico Ambiental (COA)

Título II Sistema Único de Manejo Ambiental

Capítulo V Calidad de los Componentes Abióticos y Estado de los Componentes Bióticos

Art. 190.- De la calidad ambiental para el funcionamiento de los ecosistemas. Las actividades que causen riesgos o impactos ambientales en el territorio nacional deberán velar por la protección y conservación de los ecosistemas y sus componentes bióticos y abióticos, de tal manera que estos impactos no afecten a las dinámicas de las poblaciones y la regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, o que impida su restauración

Art. 191.- Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de

conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto.

Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código.

Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción.

Art. 196.- Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre. Las obras deberán ser previamente aprobadas a través de las autorizaciones respectivas emitidas por las autoridades

Capítulo VIII Calidad de los Componentes Bióticos y Abióticos en la Sección III Calidad de Componentes Abióticos

Art. 208: Entiéndase a los componentes sin vida que conforman un espacio físico que pueden ser alterados de su estado natural por actividades antrópicas, siendo entre otros: el agua, el suelo, los sedimentos, el aire, los factores climáticos, así como los fenómenos físicos.

Parágrafo I del Agua

Art. 209 De la calidad del agua. Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua y la hacen apta para satisfacer la salud, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico. La evaluación y control de la calidad de agua, se la realizará con procedimientos analíticos, muestreos y monitoreos de descargas, vertidos y cuerpos receptores; dichos lineamientos se encuentran detallados en el Anexo I.

En cualquier caso, la Autoridad Ambiental Competente, podrá disponer al Sujeto de Control responsable de las descargas y vertidos, que realice muestreos de sus descargas así como del cuerpo de agua receptor.

Toda actividad antrópica deberá realizar las acciones preventivas necesarias para no alterar y asegurar la calidad y cantidad de agua de las cuencas hídricas, la alteración de la composición físico-química y biológica de fuentes de agua por efecto de descargas y vertidos líquidos o disposición de desechos en general u otras acciones negativas sobre sus componentes, conllevará las sanciones que correspondan a cada caso

Art. 210 Prohibición. De conformidad con la normativa legal vigente:

Se prohíbe la utilización de agua de cualquier fuente, incluida las subterráneas, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados;

Se prohíbe la descarga y vertido que sobrepase los límites permisibles o criterios de calidad correspondientes establecidos en este Libro, en las normas técnicas o anexos de aplicación;

Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, en quebradas secas o nacimientos de cuerpos hídricos u ojos de agua; y,

Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, sobre cuerpos hídricos, cuyo caudal mínimo anual no esté en capacidad de soportar la descarga; es decir que, sobrepase la capacidad de carga del cuerpo hídrico.

La Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con las autoridades del Agua y agencias de regulación competentes, son quienes establecerán los criterios bajo los cuales se definirá la capacidad de carga de los cuerpos hídricos mencionados.

Art. 211 Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, verificará el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de tratamiento implementados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados.

Las actividades productivas, se sujetarán a lo dispuesto en el presente Libro y a la normativa técnica que para el efecto emita la Autoridad Ambiental Nacional. La gestión y el mantenimiento de sistemas de tratamiento de agua deberán ser monitoreados y evaluados por medio de los mecanismos de control y seguimiento establecidos en este Libro.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Descripción del Área de Estudio

El área de estudio se localiza en la parroquia El Sagrario, en los predios de la Universidad Técnica del Norte la cual tiene un espacio total de 83.061 metros cuadrados.

Tomamos en cuenta las siguientes coordenadas del área de estudio donde se realizó el presente proyecto (Tabla 1, Figura 1).

Tabla 1. Ubicación UTM del área de estudio, WGS 84 Zona 17 Sur

PUNTO	COORDENADA X	COORDENADA Y	ALTITUD
1	820184	10042056	2240 msnm
2	820406	10042155	2218 msnm
3	820509	10041829	2228 msnm
4	820181	10041836	2256 msnm

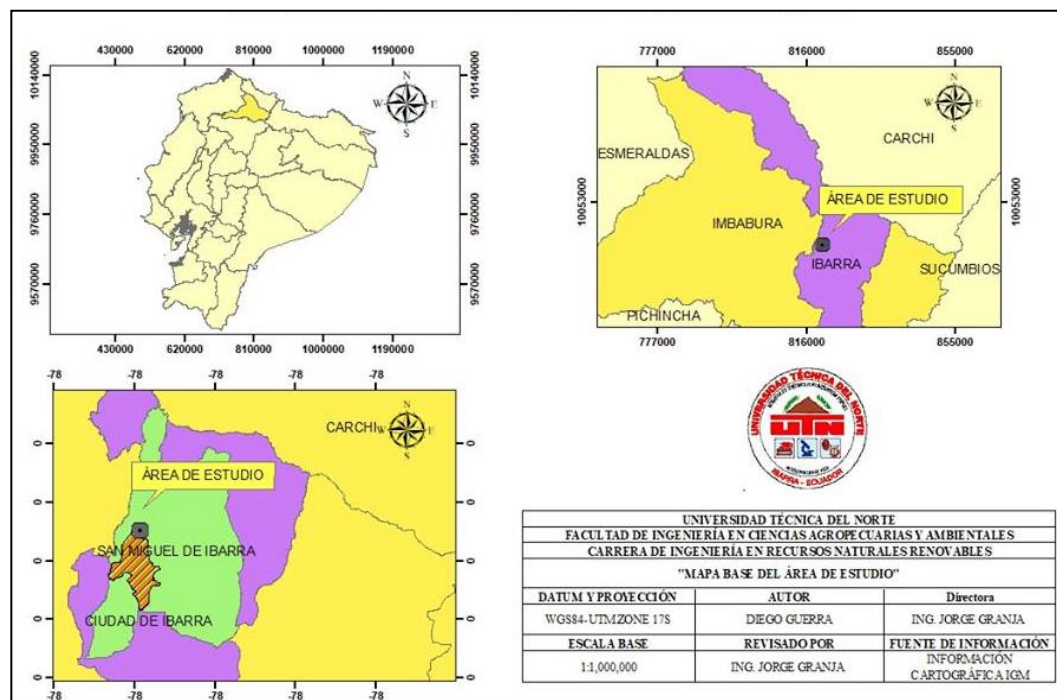


Figura 1. Mapa de ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la UTN

3.2 Métodos

La metodología está dividida en 3 etapas: Arranque y estabilización del SBR, etapa de evaluación de la velocidad de decantación y observación microscópica de los gránulos. En la primera etapa se iniciará con el arranque y estabilización del reactor cargado del sustrato extraído de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la UTN, con operación discontinua secuencial (Secuencial Botch Reactor SBR por sus siglas en inglés). En la segunda etapa está previsto evaluar el tiempo de decantación en el SBR transparente con relación a la granulación aerobia en condiciones de operación estables. Finalmente se realizará un análisis morfológico de los gránulos mediante microscopía óptica.

3.2.1 Unidad Experimental

3.2.1.2 Arranque y estabilización del SBR

Los lodos granulares utilizados para la investigación fueron obtenidos en un reactor SBR, construido previo al arranque del experimento con ciclos de operación estables como: llenado, aireación, sedimentación y vaciado que incluye la fase periódica de hambre (Tay, 2001), importante para la granulación aerobia.

El SBR se ajusta a los criterios del modelo ASM3 desarrollado por IWA (International Water Association) (Figura 2), utilizado en forma general ayudando con la estabilización del SBR determinando parámetros esenciales como: DBO, DQO, PH, OD, T y aspectos de construcción como altura, longitud y volumen de litros utilizados. Henze et al. (2000).

Este modelo fue utilizado con tiempos de llenado establecidos en 3 minutos, aireación o reacción de 4 horas, sedimentación de 8 minutos y vaciado de 4

minutos, además del control diario de los parámetros: DBO, DQO, ph, T, OD siendo un ciclo repetitivo durante todo el proceso de la investigación para la obtención de los lodos granulares.

De esta manera poder visualizar los procesos bioquímicos, basado en ecuaciones cinéticas, crecimiento de comunidades bacterianas, utilización del sustrato, decaimiento de las bacterias, como también la hidrólisis de la materia orgánica (Alasino, 2009) (Figura 2).

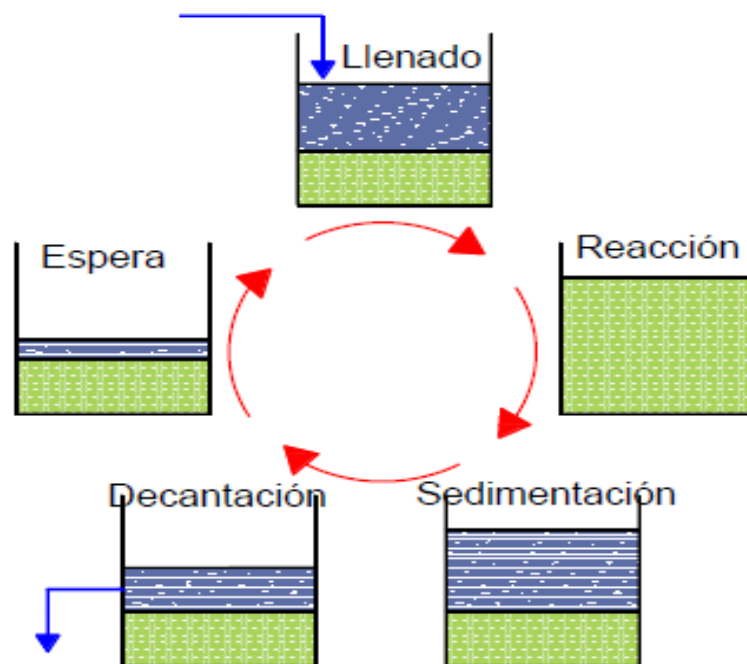


Figura 2. Modelo ASM3 desarrollado por IWA (International Water Association)
Modelo en base a las fases de llenado, aireación o reacción, sedimentación y vaciado.

3.2.1.3 Caracterización del Agua Residual de la PTAR de la UTN.

Se tomó la muestra del caudal y se determinó los siguientes parámetros: DBO, DQO, SSV, SST, T, DO, en diferentes días a la semana, siendo las horas determinadas con mayor efluente de agua residual las 6:00 am, 11:00 am y 16:00 pm, en los días lunes, miércoles y viernes (entre semana) dándonos un caudal de 12 litros. Esto se realizó siguiendo los criterios establecidos por Buitron (2007).

Una vez determinado los parámetros a analizarse se tomó muestras de agua del vertedero (entrada) y piscina aerobia en las fechas 22 al 26 de octubre del 2018 siendo EMAPA-I la empresa encargada de darnos los resultados.

Una vez estabilizado el SBR y con los resultados de los análisis Físico- Químicos de las muestras tomadas el mes de Octubre del 2018, se procedió al control diario de los parámetros establecidos según Tay, (2011) y confirmado por McSwain, (2004) con valores de: DBO 40 a 80 mg/l, DQO 200 y 250 mg/l, T entre 20° y 25°, OD 50 y 75 mg/l, COD 10-15 mg/l durante 5 semanas. El día 9 de octubre del 2019 se realizaron nuevos análisis Físico- Químicos que evidenciaron y ratificaron la eficiencia en el funcionamiento del reactor.

3.2.1.4 Evaluación de la velocidad de decantación con lodos granulares aerobios

Los lodos granulares obtenidos fueron sometidos a un procedimiento cronológico para el análisis de sedimentación de una muestra utilizando el método de Cloe y Clevenger (1916), el cual se basa en ensayos de sedimentación discontinua para hallar, mediante una serie de repeticiones de varias muestras de gránulos aerobios la velocidad de caída de una partícula en el seno de un fluido teniendo en cuenta las fuerzas que sobre ella actúan.

Por una parte, actúa la gravedad en sentido vertical descendente y por otra, en sentido opuesto, actúan la fuerza de rozamiento y el empuje ascendente debido al volumen de fluido desalojado; esta última es constante, pero la de rozamiento aumenta con la velocidad de la partícula y llegará un momento en el que la suma de las dos igualará a la de la gravedad y la partícula caerá con velocidad uniforme (Cloe y Clevenger, 1916).

Estas velocidades serán medidas en 3 tratamientos siendo estos: SBR (T1), agua residual sin oxígeno (T2) y Piscina Aerobia (T3).

3.2.1.4.2 Medicion de la velocidad de decantacion del SBR(T1), Muestra Sin O2 (T2) Y Piscina Aerobia (T3).

Los ensayos se realizaron en un tubo de vidrio de unas dos pulgadas de diámetro y de 1,20 m altura utilizado para el T1 debido a que fue el único en presentar gránulos aerobios, graduado con una hoja milimetrada teniendo una medida exacta; mientras que para los T2 Y T3 se utilizó dos probetas de 250 ml. Se tapó y se agito fuertemente a fin de homogenizar la mezcla. (Cloe y Clevenger, 1916).

A continuación, se deja el tubo y las probetas sobre la mesa de laboratorio y simultáneamente se mide el tiempo que transcurre durante la sedimentación, se realiza 6 repeticiones con un intervalo de 5min de descanso durante 4 días a la semana en un total de 4 semanas.

3.2.1.5 Observación Microscópica de los Gránulos Aerobios

Una vez obtenidos los primeros gránulos aerobios se procedió a tomar una muestra de 10 ml de gránulos con materia orgánica a partir de los 3 tratamientos. Las muestras fueron colocadas en una caja Petri, lavadas con agua destilada y posteriormente homogeneizadas para ser observadas utilizando el microscopio Leica, modelo DM IL LED y el software EZ (APHA, 1995).

Este proceso se repitió durante 3 días de la semana (lunes, miércoles y viernes) con una duración total de 5 semanas seguidas.

Finalmente, se identificó parámetros físicos del gránulo mediante microscopia óptica como: tamaño, forma, diámetro, en diferentes muestras, teniendo en cuenta un total de 50 partículas por muestra en el caso del T1 y un número infinito en los otros 2 tratamientos por presentar flóculos propiamente dichos.

Todo el proceso de observación microscópica fue registrado mediante fotografías diariamente durante 5 semanas.

3.2.1.6 Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa InfoStat-Statistical Software 2019, además se complementó con el método no paramétrico Kruskal Wallis con un valor de $p < 0,0005$, análisis estadístico Anova y el Test de Tukey con un valor de $p < 0,05$.

El método no paramétrico Kruskal Wallis fue utilizado en la etapa de evaluación de la velocidad de decantación con lodos granulares aerobios, teniendo en cuenta que se utilizaron los datos por semana de los 3 tratamientos.

El análisis Anova y el método Tukey fueron utilizados para verificar el crecimiento y aumento de tamaños durante las 5 semanas de observación microscópica.

3.3 Materiales y Equipos

Tabla 2. Materiales y Equipos

Materiales y Equipos	Cantidad
Reactor Secuencial tipo Batch (SBR)	1
Programadores automáticos	3
Tanques herméticos	3
Congelador para conservación de muestras	1
Compresor de aire	1
Válvulas de paso automáticas	2
Equipos Multiparametros (CONSORT, modelo:C562)	2
Reactivos BUFER 04,07,010	3
Probetas 100 ml	2
Tubo transparente 1,20m	1
Microscopio Fluorescente Leica DM I LED	1
Software EZ	1
Bomba de succión manual	2

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de la Caracterización de las Aguas Residuales de la PTAR de la UTN Ubicada en La Parroquia El Sagrario –Ibarra

4.1.1 Determinar el Caudal:

Se determinó que en la muestra compuesta tomada en 3 días de la semana (lunes – miércoles y viernes) en el período del 22 al 26 de octubre del 2018, el caudal promedio es de 4,9 L/min. Al compararla con las muestras tomadas en el fin de semana del 26 al 28 de octubre del 2018, con un resultado de 5,2 L/min, existe una variación de 0,3 L/min, siendo ésta una diferencia no significativa (Tabla 3).

Tabla 3. *Tabla comparativa de las muestras compuestas tomadas en dos fechas diferentes.*

MUESTRAS TOMADAS 22-26-10-2018					MUESTRAS TOMADAS 26-28-10-2018			
H/am- pm	Día 1 l/min	Día 2 l/min	Día 3 l/min	Promedio l/min	Día 1 l/min	Día 2 l/min	Día 3 l/min	Promedio l/min
6:00	5,0	4,8	5,2	5,0	4,0	4,9	5	4,6
6:10	5,0	4,8	5,2	5,0	4,3	5,4	5,1	4,9
6:20	5,0	4,8	5,1	5,0	5,0	6,3	4,9	5,4
6:30	5,0	4,9	5,1	5,0	6,7	5,2	6,0	6,0
11:00	4,5	4,5	4,6	4,5	5,9	5,9	5,0	5,6
11:10	4,5	4,6	4,6	4,6	5,7	5,2	4,9	5,3
11:20	4,5	4,6	4,5	4,5	5,1	5,0	4,8	5,0
11:30	4,5	4,5	4,5	4,5	4,9	4,8	5,0	4,9
16:00	5,2	5,0	5,0	5,1	4,9	5,0	5,0	5,0
16:10	5,2	5,1	5,0	5,1	5,0	5,2	5,0	5,1
16:20	5,1	5,1	5,1	5,1	5,0	5,2	5,1	5,1
16:30	5,1	5,2	5,1	5,1	5,1	5,3	5,2	5,2
Promedio Total				4,9	Promedio Total			5,2

Con las muestras tomadas y el promedio evaluado para las dos situaciones, la variación de l/min no tiene variación significativa, evidenciándose que la población utiliza la misma cantidad de agua durante toda la semana.

El aumento de caudal en el fin de semana es identificado en las horas de 11:00 am hasta las 11:30, se asume que esta variación se debe a la presencia de mayor población dentro de las muestras tomadas en el fin de semana.

4.1.2 Análisis Físico-Químicos:

Los 7 parámetros analizados del agua que ingresa a la planta de tratamiento contienen variaciones en las dos muestras tomadas de la entrada y de la piscina aerobia en las fechas del 22 al 26 de octubre del 2018; la muestra de la salida de estas fechas no se monitoreo ya que para empezar la segunda fase se necesita la estabilización recomendada por la literatura en un reactor. (Tabla 4, Anexo 2)

Tabla 4. Análisis físico químico de las aguas residuales realizado en los laboratorios de EMAPA-I en la semana del 22-26 de octubre del 2018

Análisis	Muestra 1 (Entrada) mg/l	Muestra 2 (Piscina Aerobia) mg/l	Método del Ensayo
Sólidos suspendidos totales (SST)	112,10	140,50	SM 2540D
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	192,0	275,0	PEE-EMAPA-I-003 (Método HACH 8000)
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)	70,0	120,0	SM 5210
Nitratos (NO3)	5,20	4,70	Método HACH 8039
Fósforo Total	3,2	3,9	Método HACH 8048 x el factor
Nitrógeno Total	57,0	60,0	HACH 10072
Fosfatos (PO4)	9,8	11,9	Método HACH 8048

Se realizó nuevos análisis el 9 de noviembre del 2019, obteniendo resultados dentro de los parámetros establecidos como: DBO, DQO, SST, que la eficiencia y

estabilidad del SBR está encaminada con la obtención de lodos granulares. (Tabla 5, Anexo 3)

Tabla 5. *Análisis físico químico de las aguas residuales realizado en los laboratorios de EMAPA-I con fecha 9 de noviembre del 2019*

Análisis	Muestra1 (Entrada) mg/l	Muestra2 (SBR) mg/l	Muestra 3 (Salida) mg/l	Método del Ensayo
Sólidos suspendidos totales (SST)	10620	178,95	-	SM 2540D
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	3900	75,79	-	SM 2540E
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1214	223	116	PEE-EMAPA-I-003 (Método HACH 8000)
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)	860	45	20	SM 5210

Cabe recalcar que cada parámetro fue analizado con un método adecuado, siendo el método HACH el más común dentro de estos análisis.

De acuerdo a Linlin et al. (2005) es posible llevar a cabo la granulación aerobia en un reactor de operación discontinua inoculando gránulos anaerobios. La caracterización del agua residual previo al arranque de la formación de gránulos aerobios es vital para determinar el porcentaje y los ciclos de alimentación y hambre para concretar la formación y maduración de los gránulos. Estos autores reportan que los gránulos anaerobios experimentan un proceso de desintegración, recombinación y crecimiento. En primer lugar, los lodos anaerobios en condiciones aerobias se desintegran después de la inoculación, formando pequeños flóculos irregulares y detritos; a continuación los flóculos y los detritos se recombinan en condiciones aerobias, y por último, crecen dando lugar a la formación de gránulos aerobios.

Estudios realizados por Beun et al (2001), menciona que en un reactor secuencial con condiciones especiales como tamaño del gránulo, concentración de oxígeno y relación DQO/N pueden producir un agregado rico en sustrato con una zona libre de oxígeno en el interior (limitación de oxígeno), en el cual se lleva a cabo la desnitrificación. Esta teoría reafirma el rol importante que desempeña una caracterización de las aguas residuales con que se va a trabajar para poder obtener resultados deseados o incluso mejores de los esperados.

Según Buitrón (2007), la caracterización del agua residual es primordial para poder realizar las diferentes pruebas tanto en reactores secuenciales BATCH así como en otro tipo de reactores secuenciales, siendo el primer paso para encontrar soluciones alternativas eficientes.

Según Isanta (2012), quien en su estudio menciona que obtuvo concentraciones altas tanto de DBO, DQO y NH₄ al analizar sus aguas residuales, afirma que la caracterización de las aguas residuales son el primer paso para la implementación, arranque y estabilización de reactores secuenciales en tratamiento de aguas residuales. La efectividad de los resultados deseados es influenciada directamente con la caracterización de las aguas residuales a utilizarse durante el experimento.

En estudios realizados por Freytez (2018), afirma la eficacia y la importancia de estabilizar y comparar las muestras tomadas antes de someter a procesos realizados en reactores, ratificando dicho enunciado al reducir la demanda de DBO de 5210 mg/l a 1234 mg/l, DQO de 5584 mg/l a 1546 mg/l al analizar las aguas de la salida del reactor. Según McSwain (2004), la granulación aerobia es favorable bajo una alimentación intermitente que contribuye en el SBR a lodos granulares aerobios compactos, es decir cortos períodos de hambre contribuyen a una granulación rápida.

Con base a las características generales del sustrato en las aguas residuales domésticas, el SBR utilizado obedece a un diseño de alto grado de realización en

este campo y con una visión a la aplicación de la tecnología de lodos granulares aerobios. (Figura 2, 3,4)

La salida de la muestra del 22-10-2018 no fue analizada debido a que aún no arrancaba el proceso de estabilización del reactor

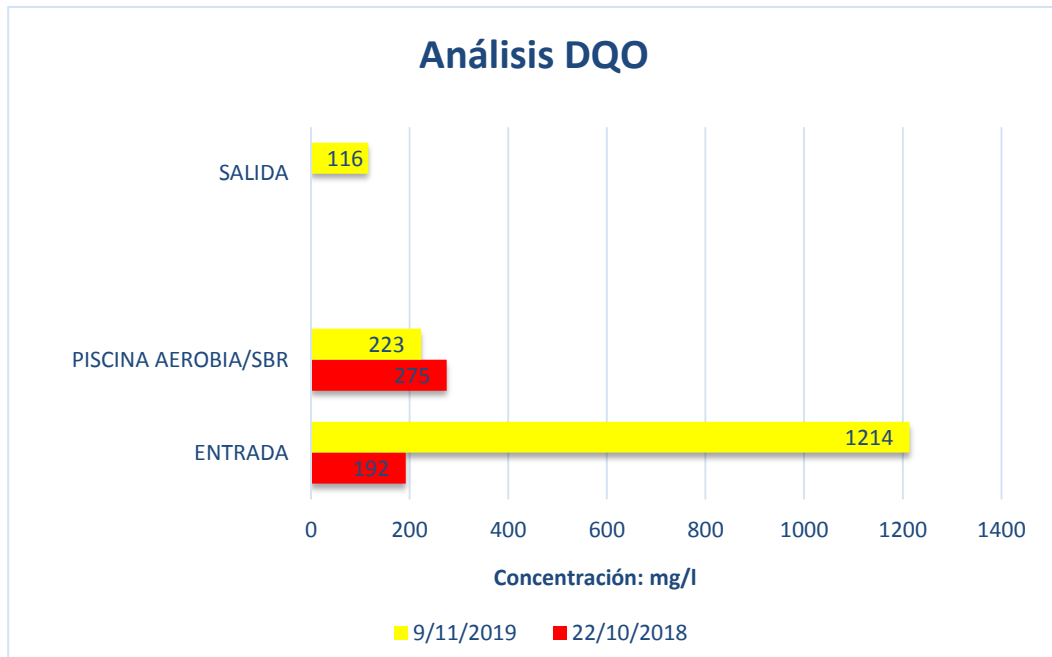


Figura 3. Comparativa de los análisis Físico Químicos s de DQO en dos momentos diferentes.

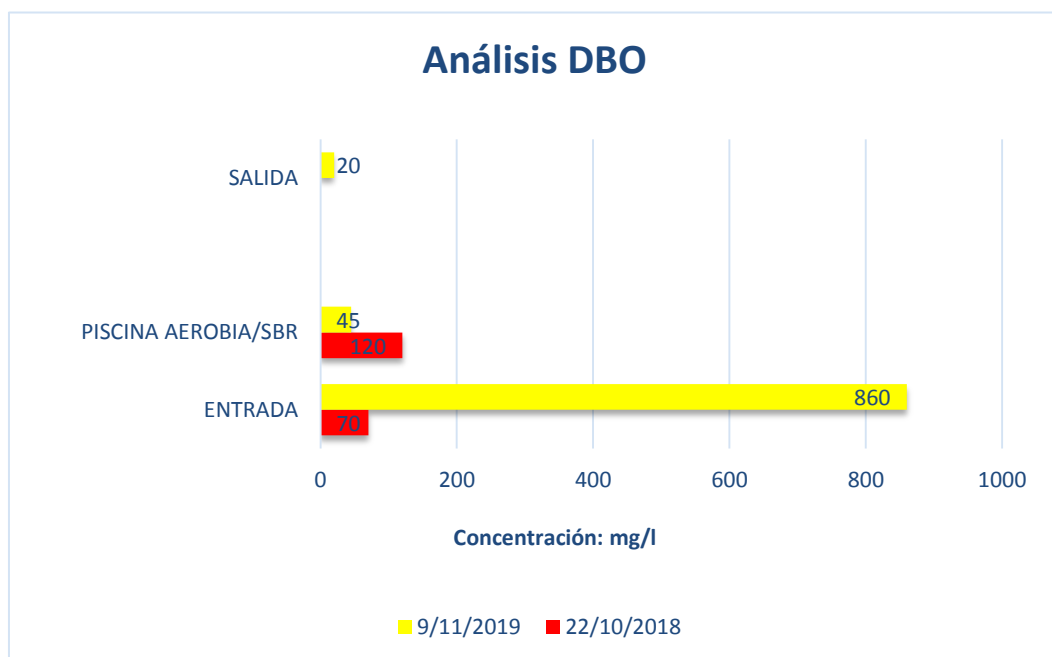


Figura 4. Comparativa de los análisis Físico Químicos de DBO en dos momentos diferentes.

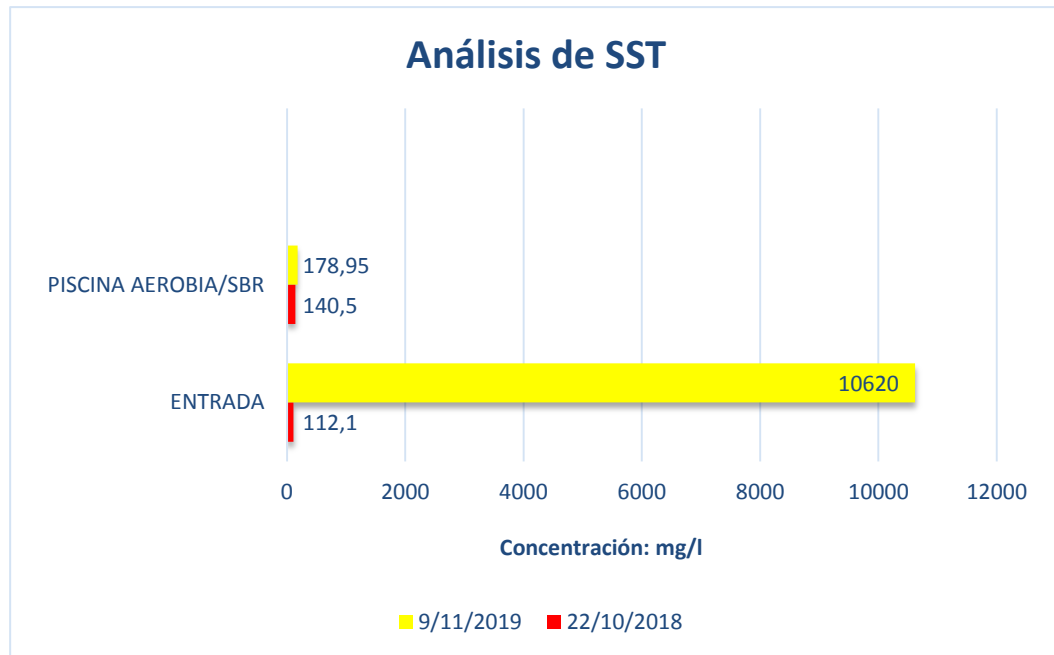


Figura 5. Comparativa de los análisis Físico Químicos de SST en dos momentos diferentes.

4.2 Resultados del tiempo de decantación de las diferentes muestras de gránulos aerobios.

La medición de la velocidad de decantación se realizó durante 4 semanas consecutivas a los 3 tratamientos, utilizando el método de Cloe y Clevenger (1916) (Anexo 4).

En la semana 1, la velocidad del T1 fue evidentemente más eficaz al momento de decantar con un tiempo de 12 minutos, los T2 y el T3 marcaron tiempos que rodeaban entre 30 a 31 minutos (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados de la velocidad de sedimentación semana 1

SEMANA 1			
REPETICIONES	T1(min)	T2(/min)	T3(min)
1	12,14	29,49	31,52
2	12,37	30,10	30,59
3	12,33	29,56	31,49
4	12,38	30,00	31,45
5	12,35	29,52	31,40
6	12,41	30,02	31,55

En la semana 2, el tiempo de decantación no vario en ninguno de los 3 tratamientos, sin embargo, la presencia de un mayor número de gránulos en el T1 arroja una pequeña variedad de la velocidad de decantación, resultando insignificante, ya que se mantiene en el rango de los 12 minutos (Tabla 7).

Tabla 7. Resultados de la velocidad de sedimentación semana 2

SEMANA 2			
REPETICIONES	T1(min)	T2(min)	T3(min)
1	12,03	30,49	31,52
2	12,07	30,50	31,59
3	12,01	30,56	31,51
4	12,05	30,35	31,48
5	12,03	30,52	31,56
6	12,04	30,32	31,59

Al llegar a la semana 3 y obtener los tiempos de la velocidad de decantación, se observa una nueva variación mínima de tiempo en el T1 que a simple vista es la mejor semana que se ha registrado debido a la reducción de tiempo de decantación. Sin embargo, el rango de los 12 minutos se sigue manteniendo (Tabla 8).

Tabla 8. Resultados de la velocidad de sedimentación semana 3

SEMANA 3			
REPETICIONES	T1(min)	T2(min)	T3(min)
1	11,59	30,49	31,52
2	12,01	30,55	31,59
3	12,00	30,56	31,51
4	12,03	30,35	31,48
5	12,02	30,52	31,56
6	12,01	30,32	31,59

Finalmente, en la semana 4 no se observa mayor variación ni cambios en el rango de tiempo establecido en 12 minutos con respecto a la velocidad de decantación del T1, por lo que se asume que los gránulos se han estabilizado en tamaño y

forma. Los T2 y T3 no presentan variaciones ya que siguen con presencia de flóculos propiamente dichos (Tabla 9).

Tabla 9. Resultados de la velocidad de sedimentación semana 4

SEMANA 4			
REPETICIONES	T1(min)	T2(min)	T3(min)
1	12,10	30,49	31,55
2	12,07	30,35	31,51
3	12,11	30,40	31,52
4	12,09	30,35	31,56
5	12,11	30,32	31,59
6	12,08	30,39	31,57

Además, se obtuvo como resultados un promedio por semana de la velocidad de sedimentación, tomando en cuenta que fueron 4 días consecutivos con un total de 6 repeticiones diarias, observándose el tiempo de la semana 3 del T1 en 12.01min; este registró la mayor velocidad en el tiempo establecido. El T2 registró una velocidad de 29.78min y el T3 una velocidad de 31.47min. Los 3 tratamientos registraron una velocidad similar en las 4 semanas (Tabla 10, Figura 6).

No obstante, cabe mencionar que la velocidad de sedimentación del gránulo depende de la alimentación, hambruna y el volumen de la materia orgánica de la cual está compuesta el agua residual utilizada, como se menciona en la literatura (McSwain y Irvine 2008).

Tabla 10. Resultados de la velocidad de sedimentación promedio

SEMANAS	VELOCIDAD/PROMEDIO		
	T1	T2	T3
1	12,33	29,78	31,47
2	12,04	30,46	31,54
3	12,01	30,47	31,54
4	12,09	30,38	31,55

Al realizar el análisis no paramétrico Kruskal Wallis obtenemos como resultado que el T1 durante las 4 semanas es el más eficiente ya que obtuvo un $p=0,0001$ con respecto a la comparación de probabilidad aceptable establecida de $p= 0,0005$ (Tabla 11).

Tabla 11. Prueba no paramétrica Kruskal Wallis de los 3 tratamientos

Variable	Intervalo	N	Medias	D.E.	Medianas	H	P
T1	1	6	12,33	0,10	12,36	20,62	0,0001
T1	2	6	12,04	0,02	12,04		
T1	3	6	12,01	0,01	12,01		
T1	4	6	12,09	0,02	12,10		
T2	1	6	29,78	0,29	29,78	14,26	0,0024
T2	2	6	30,46	0,10	30,50		
T2	3	6	30,47	0,10	30,51		
T2	4	6	30,38	0,06	30,37		
T3	1	6	31,47	0,06	31,47	6,19	0,0978
T3	2	6	31,54	0,05	31,54		
T3	3	6	31,54	0,05	31,54		
T3	4	6	31,55	0,03	31,56		

Los resultados de la velocidad promedio por semana obtenidos en aguas residuales reales fueron: 12.33; 12.04; 12.01; 12.09 minutos en el T1. Al comparar estos datos con el trabajo de Ferrara-Giner (2013), el cual afirma la eficacia en la velocidad de sedimentación en reactores al registrar tiempos promedios de 8.7; 8.3; 8.5 minutos en aguas sintéticas. Estos valores se encuentran dentro del rango aceptable de experiencias similares reportadas por otros investigadores en aguas sintéticas (Pophali *et al.* 2009).

Sin embargo, Martínez, D. (2010), reporto tiempos de 5, 10 y 15 minutos en la velocidad de decantación utilizando dos reactores secuenciales en diferentes épocas del año con aguas sintéticas.

De igual manera López-Palau, (2011), en su estudio de Sistema de Tratamiento de Carga Orgánica Usando Reactores Secuenciales por Carga en aguas residuales

domesticas reales afirma que no todos los reactores son adecuados para la formación de gránulos y la sedimentación más efectiva, ya que registro tiempos de 20 minutos en la velocidad de sedimentación en 36 pruebas, que al ser comparado con el estudio realizado por Metcalf (2003), donde registra un rango aceptable de 12 a 15 minutos de sedimentación son totalmente poco aceptables. Por este motivo la velocidad promedio obtenida en este estudio están dentro del rango aceptable al reportar tiempos de 12 minutos continuamente.

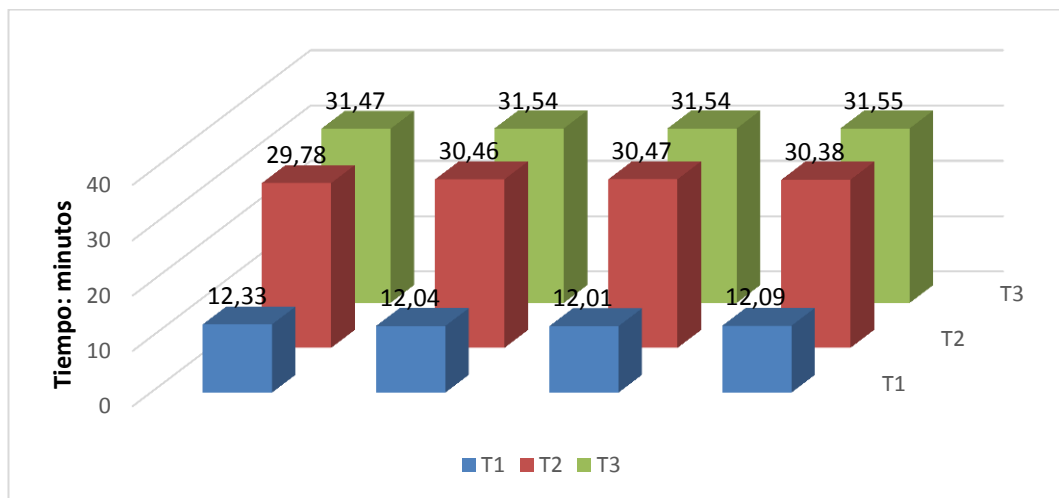


Figura 6. Velocidad Promedio de Decantación Durante 4 semanas

Una vez obtenido el promedio de la velocidad de decantación de cada uno de los tratamientos, se relaciona el tamaño de los gránulos obtenidos en la microscopia con la velocidad que se determina para cada uno de los tratamientos en la primera semana. Los resultados obtenidos nos indican que el T1 es el más efectivo con respecto a la velocidad, esto debido a la presencia de gránulos formados, mientras que en los T2 y T3 la velocidad es más lenta y entre sí no tiene una mayor diferencia ya que están compuestos por flóculos propiamente dichos (Tabla 12).

Tabla 12. Resultados de la velocidad de sedimentación general durante 4 semanas

Semana 1-4			
TRATAMIENTOS	TAMAÑO μm	DIÁMETRO μm	VELOCIDAD min
T1	10x15 μm	17,5 μm	

	15x20 μm	25 μm	12,12
	40x20 μm	50 μm	
T2	0	-	30,27
T3	0	-	31,53

Al aplicar el método no paramétrico Kruskal Wallis, se reafirma que el T1 es el

Variable	Trat	N	Medias	D.E.	gl	H	P
Datos	1	24	12,12	0,14	2	63,12	<0,0001
Datos	2	24	30,27	0,33			
Datos	3	24	31,53	0,06			

más efectivo con respecto a la velocidad de sedimentación, ya que nos arroja una probabilidad $p=<0,0001$; tomando en cuenta que la probabilidad establecida recomendada es $p=<0,05$ (Tabla 13).

Tabla 13. Prueba no paramétrica Kruskal Wallis de los promedios de los 3 tratamientos

4.3 Resultados de la descripción morfológica de los gránulos aerobios con un óptimo tiempo de decantación mediante microscopia

En las muestras tomadas de los 3 tratamientos en las 5 semanas se observó en el microscopio Leica, modelo DM IL LED y el software EZ, diferentes tamaños y formas de gránulos aerobios en el T1, mientras que en los T2 y T3 no se observaron presencia de gránulos, existiendo muestras de flóculos en aparente formación (Tabla 14-18, Anexo 5-9).

Durante la observación de la primera semana fue evidente que el crecimiento de lodos granulares aerobios empezaba a notarse, existiendo gránulos con un tamaño de 6 μm x 10 μm , sin embargo, en los 3 tratamientos predominaban flóculos (Tabla 14).

Tabla 14. Resultados de la caracterización morfológica del gránulo en la semana 1

Semana 1			
TAMAÑOS/ μm	T1	T2	T3

Flóculos	10	8	11
6 μm x 10 μm	2	0	0
10 μm x 15 μm	0	0	0
15 μm x 20 μm	0	0	0
20 μm x 25 μm	0	0	0
30 μm x 30 μm	0	0	0
40 μm x 20 μm	0	0	0

En la segunda semana la presencia de flóculos en el T1 había disminuido y el aumento de gránulos aerobios fue evidente, existiendo variación de tamaño como: 6 μm x 10 μm , 10 μm x 15 μm y 15 μm x 20 μm . En los otros 2 tratamientos la presencia de flóculos era igual que la semana 1 (Tabla 15).

Según Martínez (2010), alrededor del día 40 se observó formas de gránulos con una estructura semiesférica con textura suave y superficie con pocos filamentos, al compararlos con los observados en esta investigación existe una similitud en la aparición de gránulos más no en la forma, se presume que se debe a la utilización de diferentes aguas en los dos experimentos.

Sin embargo Bing (2013), afirma haber obtenido los primeros gránulos aerobios en la primera semana, luego de 15 días, es decir 2 semanas de observación, aparecieron gránulos visibles en los dos reactores. Si comparamos los dos trabajos realizados se evidencia el comportamiento correcto con variación de días debido a la utilización de aguas sintéticas en el primer caso y aguas reales en el segundo caso.

Tabla 15. Resultados de la caracterización morfológica del gránulo en la semana 2

Semana 2			
TAMAÑOS/ μm	T1	T2	T3
Flóculos	3	9	13
6 μm x 10 μm	4	0	0
10 μm x 15 μm	6	0	0
15 μm x 20 μm	3	0	0
20 μm x 25 μm	0	0	0
30 μm x 30 μm	0	0	0
40 μm x 20 μm	0	0	0

Al realizar la microscopia de la 3 semana la presencia de flóculos había desaparecido en el T1, el mismo que registro un aumento significativo en presencia y variedad de tamaños de gránulos aerobios. Los T2 y T3 seguían sin registrar gránulos pero con flóculos en su totalidad (Tabla 16).

Tabla 16. Resultados de la caracterización morfológica del gránulo en la semana 3

Semana 3			
TAMAÑOS/ μm	T1	T2	T3
Flóculos	0	10	12
6 μm x 10 μm	3	0	0
10 μm x 15 μm	21	0	0
15 μm x 20 μm	15	0	0
20 μm x 25 μm	9	0	0
30 μm x 30 μm	3	0	0
40 μm x 20 μm	0	0	0

De igual manera en la semana 4 las tendencias de crecimiento y presencia de gránulos aerobios eran notables en el T1, identificándose variación de formas mientras que en los T2 y T3 no existían cambios predominando la presencia de flóculos (Tabla 17).

Tabla 17. Resultados de la caracterización morfológica del gránulo en la semana 4

Semana 4			
TAMAÑOS/ μm	T1	T2	T3
Flóculos	0	11	12
6 μm x 10 μm	1	0	0
10 μm x 15 μm	17	0	0
15 μm x 20 μm	13	0	0
20 μm x 25 μm	5	0	0
30 μm x 30 μm	2	0	0
40 μm x 20 μm	1	0	0

Siguiendo las recomendaciones de la literatura, se observó el crecimiento y aparición de gránulos aerobios durante 5 semanas. No hubo modificaciones en los tres tratamientos observados ya que se presume se estabilizo el crecimiento granular. Si lo comparamos con el trabajo realizado de Bing (2013), que a la 5 semanas concluye que los gránulos han madurado debido a que y ano hay variación con los tamaños observados podemos deducir y afirmar que el trabajo

realizado esta dentro de las recomendaciones y anotaciones de la literatura (Tabla 18).

Tabla 18. Resultados de la caracterización morfológica del gránulo en la semana 5

Semana 5			
TAMAÑOS/ μm	T1	T2	T3
Flóculos	0	11	11
6 μm x 10 μm	2	0	0
10 μm x 15 μm	21	0	0
15 μm x 20 μm	15	0	0
20 μm x 25 μm	1	0	0
30 μm x 30 μm	0	0	0
40 μm x 20 μm	0	0	0

Al finalizar las 5 semanas de microscopía óptica y con la obtención de gránulos aerobios estables y de diferentes tamaños en el T1, se determinó un promedio de gránulos comprendidos entre 10 μm x 15 μm con 17.5 μm de diámetro con una forma esférica equivalente al 42%, de 15 μm x 20 μm con 20 μm de diámetro de forma esférica equivalente al 32% y de 30 μm x 30 μm con 45 μm de diámetro que corresponde al 4% de forma ovalada. En los T2 y T3 se pudo registrar un 6% correspondiente al total de flóculos presentes durante las 5 semanas (Tabla 19).

Estudios realizados en aguas sintéticas por Martínez (2010), afirman haber obtenido gránulos aerobios de forma semi-esférica, con presencia de pocos filamentos en el día 40, sin embargo, al llegar el día 75 el gránulo había alcanzado la forma esférica completa con filamentos en su totalidad y de un tamaño de 2 mm a 5 mm que al compararlos con el trabajo realizado en este documento la variación de tamaños es considerable debido a la diferencia de aguas utilizadas.

Según los estudios de Cobos et al (2011), obtuvo gránulos aerobios de 0.8 a 1.0 mm en 35 días con concentraciones promedio de 0.36 kgDQO/kgSST. Posteriormente, los gránulos se volvieron más compactos, con forma medianamente esférica y con diámetros entre 0.8 y 1.5 mm, bajo cargas orgánicas promedio entre 0.26 y 0.43 kgDQO/kgSST, Sin presencia de filamentos y con forma esférica definida. Si lo comparamos con este trabajo es notorio la diferencia

de tamaños debido a que la concentración de DQO y DBO fueron diferentes al compararlo con el estudio mencionado, siendo esenciales en el crecimiento granular al igual que su tiempo de alimentación, reacción y sedimentación y vaciado.

Según los estudios de Bing y Ni (2013), quienes reportaron gránulos aerobios de 1.2 a 1.5 mm en 35 días siendo estos catalogados como maduros utilizando dos reactores con aguas sintéticas. Al compararlo con este trabajo la diferencia de tamaños es evidente debido a la utilización de aguas reales que toman un tiempo diferente y más extenso para poder alcanzar la maduración total.

Tabla 19. Resultados generales de la caracterización morfológica del gránulo

Semana 1-5			
TRATAMIENTOS	TAMAÑO μm	DIÁMETRO μm	FORMA
	10x15 μm	17,5 μm	Esférica
T1	15x20 μm	25 μm	Esférica
	40x20 μm	50 μm	Ovalada
T2	Flóculos	-	-
T3	Flóculos	-	-

Una vez aplicado el análisis estadístico Anova y el método Tukey, se observa que si hay diferencia de tamaños entre las 5 semanas ya que se observó un $*P=<0,05$; siendo esta la probabilidad establecida para el análisis Anova (Tabla 20)

Para el Método Tukey nos indica que la semana 3 y 4 obtuvieron la mayor presencia de tamaños de gránulos aerobios, los cuales son representados como E.E= A, haciendo referencia a la relación con la mejor velocidad de sedimentación registrada en la semana 3 del experimento (Tabla 21).

Finalmente, con el análisis estadístico aplicado se puede relacionar la velocidad de decantación de cada semana con la presencia de gránulos aerobios observados en el T1, siendo estos directamente proporcionales para la mayor eficacia del proceso de tratamientos de aguas residuales en poblaciones pequeñas, medianas y en un futuro en grandes ciudades.

Cabe recalcar que para determinar la forma de los gránulos observados se utilizó la función SI, determinando los valores para la forma esférica equivalentes a $< 25 \mu\text{m}$ de diámetro y $> 50 \mu\text{m}$ de diámetro para la forma ovalada.

Tabla 20. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	862,86	10	86,29	3,77	0,0037
Semana	173,26	4	43,31	1,89	0,1446
Tamaños	689,60	6	114,93	5,02	0,0018
Error	549,54	24	22,90		
Total	1412,40	34			

Tabla 21. Test de Tukey del tamaño de los gránulos aerobios en 5 semanas. (Alfa =0,05)

Tamaños	Medias	N	E.E	
3	13,00	5	2,14	A
4	9,20	5	2,14	A B
5	3,00	5	2,14	B
2	2,40	5	2,14	B
1	2,00	5	2,14	B
6	1,00	5	2,14	B
7	0,20	5	2,14	B

CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La caracterización de las aguas residuales y los parámetros evaluados bajo análisis físico-químicos en el laboratorio mostraron la importancia de realizar estos análisis y comprender el estado de la materia prima que se usó en el experimento, ya que son parte principal para determinar el arranque, estabilidad y funcionamiento del reactor y consecuentemente la formación de los diferentes gránulos obtenidos para la fase de sedimentación.

El promedio de velocidad de decantación tomada de cada una de las semanas nos dio como resultado que el rango de tiempo es de 12 minutos para el T1 sin tener variación, al compararlo con estudios similares en reactores pero con aguas sintéticas nos afirma que está dentro de un rango aceptable que va de 8 a 12 minutos. Para el T2 y T3 quienes presentaron flóculos, el promedio fue de 29.78 y 31.47 minutos respectivamente, y se ubicaron fuera de los rangos establecidos en la literatura y catalogados como poco efectivos para la sedimentación.

Las fotografías del microscopio Leica DM I LED mostraron una variación de tamaños predominando las medidas de: 10x15 μm , 15x20 μm , 40x20 μm , con diámetros de: 17.5 μm , 25 μm , 50 μm y de forma esférica y ovalada las cuales hacen referencia solo al T1. En los otros 2 tratamientos la principal característica fue la presencia notoria de flóculos en formación.

En este estudio los resultados realizados mediante análisis estadístico no paramétrico mostraron que el tiempo de sedimentación es totalmente influido por el tamaño del gránulo y su capacidad de captar oxígeno

La 3ra semana registró un promedio de 12,01 minutos en la medición de la velocidad de decantación, con mayor presencia en número de gránulos de forma esférica compactada; por esta razón se concluye que el tamaño y la forma de los gránulos si influye en la velocidad de decantación. Los otros 2 tratamientos es evidente la poca eficacia por presentar solo flóculos que no sedimentan de una forma completa.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda un monitoreo y análisis semestrales de las aguas que ingresan a la PTAR de la UTN para tener un registro de las variaciones en los diferentes parámetros estudiados.

Se recomienda el equipamiento de mejores materiales y la presencia del microscopio en un mismo lugar para la facilidad en la manipulación y obtención de datos más confiables en diferentes estudios a futuro.

Se recomienda un mayor interés en temas de tecnologías alternativas de bajo costo, pero a su vez con gran eficiencia de efectividad en resultados y aplicaciones dentro y fuera de la provincia y alrededor del país.

REFERENCIAS

- Abellán (2006). “Evaluación del impacto de proyectos y actividades agroforestales”. Universidad de Castilla- La Mancha. Vol.48.
- Agua, Saneamiento e Higiene, Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2016), Indicadores ODS de Agua, Saneamiento e Higiene. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/Diagnostico_ASH_pobreza_INEC_BM.pdf
- Alasino, N., Scenna, N. y Mussati, M. (2009). Síntesis y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina
- Asociación de Municipalidades Ecuatorianas, Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2015), Registro de Gestión de Agua Potable y Alcantarillado. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Documento_Tecnico-Gestion_de_Agua_y_Alcantarillado_2015.pdf
- Bedoya S., J.M. (2009). Propuesta Metodológica para el Manejo de Acuíferos Costeros: El Problema de la Intrusión Salina. Medellín, Colombia.
- Bertomeu, Ramón y García, (2006). La revolución química: Entre la historia y la memoria. Publicaciones Universidad de Valencia: Historia oferta **131**. Universidad de Valencia, 249-250.
- Beun, J.J., van Loosdrecht, M.C.M. y Heijnen, J.J. (2001). N-removal in a granular sludge sequencing batch airlift reactor. *Biotechnol. Bioeng.* 75(1), 82-92.
- Beun J. (2002). Granulación aeróbica en un reactor de transporte aéreo por lotes secuencial. *Investigación del Agua*. Vol. 36, No. 3, 702-712

- Bing y Jien N. (2013). Formation, Characterization and Mathematical Modeling of the Aerobic Granular Sludge.
- Bortone, G. Gemelli, S. Rambaldi, A. y Tilche, A. (1992) “Nitrification, denitrification and biological phosphate removal in sequencing batch reactors treating piggery wastewater”. *Water Science*. 26, 977
- Brevis, y I. Cruz, (2008). Incidencia y factores de riesgo asociados a delirio en pacientes críticos sometidos a ventilación mecánica. *Medicina Intensiva*, 23, 18-24.
- Borchardt D. (2016). La contaminación aumenta en la mayoría de los ríos de América Latina, África y Asia. *El PAIS*. Recuperado de <https://www.elpais.com>
- Bruin L.M.M., de Kreuk M.K., van der Roest H.F.R., Uijterlinde C. y Van Loosdrecht M.C.M. (2004). Aerobic granular sludge technology: and alternative to activated sludge.
- Buitron, g., Moreno-Andrade, I., y Moreno, J.A. (2007). Evaluation of on optimal fill strategy to biodegrade inhibitory wastewater in an industrial prototype discontinuous reactor. *Water Science and Technology*. 55 (7), 47-54.
- Cegarra, L; Gómez, L., Márquez, R. y Ríos-Bolívar, M. (2014). Promediación de un proceso de tratamientos de aguas residuales con lodos activados basados en el modelo ASM3.
- Chiesa, S.C. e Irvine, R.L. (1985). Growth and control of filamentous microbes in activated sludge: an integrated hypothesis. *Water Res*. 19(4), 471-479.
- Chiesa, S.C., Irvine, R.L. y Manning, J.F. (1985). Feast/famine growth environments and activated sludge population selection. *Biotechnol and bioeng*. 27, 562-569.
- Chulde D. (2014). Plan de manejo participativo del páramo comunal para el cuidado de las fuentes de agua dentro de la organización (UCCIBT); Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Chang y Gómez (2003). “Calidad de agua”. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, Guayaquil.
- Cobos, L. (2009). Eliminación de nitrógeno amoniacal y nitratos usando gránulos aerobios. Tesis de maestría. Instituto de Ingeniería de la UNAM. México.

- Cobos-Becerra, Y., González-Martínez, S., González-Barceló, O. (2011), Gránulos aerobios para la eliminación de nitrógeno amoniacal y nitratos en aguas residuales. *REVISTA AIDIS de Ingeniería y Ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*. Vol. 4, No. 1, 1 - 11
- Constitución de la República del Ecuador (2008).
- Coppus R., L.Endera, M. Nonhebel, V. Mera, S. León , P. Mena,...Hofstede. (2001). El estado de salud de algunos páramos del Ecuador.
- Echarri, L. (2007). Contaminación del agua. Universidad de Navarra. 10.
- E. Isanta, M. Suárez-Ojeda, Á. del Río, N. Morales, J. Pérez, and J. Carrera. Long term operation of a granular sequencing batch reactor at pilot scale treating a low-strength wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 198-199:163–170, 2012
- Elizondo, R., García, M., Guzmán, S., López, N., Garza, O., y Mohamed, K. (2008). Curso de anatomía humana con base en el razonamiento clínico. *Medicina Universitaria*, 10, 54-58
- Espinoza, A. (1996). Algunos factores que afectan la desnitrificación biológica en un reactor por carga secuencial. TEG. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. UCV.
- Ferrara-Giner, G., Ramírez, A. (2013). Análisis de la sedimentabilidad de los lodos biológicos producidos en un RCS durante la desnitrificación de un efluente de un biorreactor de crecimiento adherido. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 28 (1). Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652013000100005.
- Freire Espín, P. (2012). “Análisis Y Evaluación De Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Para La Empresa Teimsa-Ambato” (Tesis Ingeniería Mecánica no publicada) Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba-Ecuador.
- Freytez, E., Alvarado, L., Pire, M., Guevara, E. (2018). Diseño, construcción y evaluación del desempeño de un reactor de carga secuencial para tratamiento de aguas residuales de tenerías. *Revista INGENIERÍA UC*, vol. 26, núm. 1, 2019.

- Gómez-Gavilanes, J. (2006). Diseño Del Sistema De Alcantarillado Sanitario De La Comunidad De “Huaycopungo” (Tesis Pregrado no publicada). Escuela Politécnica Nacional, Quito- Ecuador.
- Grover, B., N. Burnett, y M. McGarry. (1983). Water Supply and Sanitation Project Preparation Handbook, 3. Washington, D.C
- Henze, M., Gujer, W., Mino, T. y Van Loosdrecht, M. (2000). Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. IWA Publishing, Gran Bretaña, Londres.
- H. S, Cloe y Clevenger. (1916). Trans. A. I. M. E. 55, P.356
- Jiang, and Moy, (2003). Augmentation for enhancement of aerobically grown microbial granules in sludge blanket reactors. Biotechnology, 25, 95-9.
- Jones, W., Wilderer, P., Schroeder, E. (1990). Operation of three-stage SBR System for nitrogen removal from wastewater. Research Journal WPCF, 62 (3), 268-274.
- Lin, Y. (2003). Development and characteristics of phosphorous-accumulating granules in sequencing batch reactor. Appl. Microbiol. Biotechnol. 62, 430-435.
- Linlin, H., Jianlong, W., Xianghuna, W. y Yi, Q. (2005). The formation and characteristic of aerobic granules in sequencing batch reactor (SBR) by seeding anaerobic granules. Process Biochem. 40, 5-11.
- López-Palau, S. (2011). Sistema de Tratamiento de Carga Orgánica Usando Reactores Secuenciales por Carga. Recuperado de <https://www.cec.uchile.cl/~leherrer/BT53A/SBR/sbrdise.htm>.
- McSwain, B., Irvine, R. (2008). Dissolved oxygen as a keyparameter to aerobic granule formation. Water Science Technology. 58, 781-787.
- Metcalf & Eddy (2003). Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. McGraw Hill. New York, 1819 pp.
- Martínez, D. (2010). *Influencia Del Tiempo De Aireación En La Formación De Gránulos Aerobios En Un Reactor Secuencial Por Lotes*. (Tesis de Maestria). Universidad Autónoma de México, México.
- Martínez Sanabria, B. (2008). Contornos en el derecho. (Tesis Licenciatura no publicada). Universidad Centroamericana, Managua, Nicaragua.

- Organización Mundial de la Salud. (1995). Informe nacional sobre la gestión del agua en el Ecuador.
- Organización Mundial de la Salud. (2016). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater in Agriculture and Aquaculture. Ginebra, Suiza, OMS
- Organización de las Naciones Unidas. (2017). La importancia del agua, su conservación y el desarrollo de recursos para llevarla a lugares donde no tienen fácil acceso o está contaminada. ONU
- Palange, R.C, y A. Zavala. (1987). Water Pollution Control: Guidelines for Project Planning and Financing. Trabajo Técnico No. 73 del Banco Mundial. Washington, D.C.: Banco Mundial.
- Pophali, G.R., Kaul, S.N., Nandy, T., Devotta, S. (2009). Development of a novel circular secondary clarifier for improving solids liquid separation in wastewater treatment. *Water Env. Research*, Vol. 81, Nº 2, 140-149.
- Portillo, M. (1994). Efecto del tiempo de aireación sobre la desnitrificación biológica en reactores por carga secuenciales. TEG. Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. UCV.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2003). Circular Economy: An Alternative Model for Economic Development. París, PNUMA
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2016). Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo. París, UNESCO
- Qin, L. (2004). Selection pressure is a driving force of aerobic granulation in sequencing batch reactors. *Process Biochem.* 39, 579-584.
- Raduly, B., Gemaey, K.V, Capodaglio, A.G. and Henze, M. (2007). Artificial neural networks for rapid WWTO performance evaluation: Methodology and case study. *Environn. Model. Softw.*, 22(8), 1208-1216.
- Tamayo y Tamayo. (2003). "Proceso de la Investigación Científica". Editorial Noriega Editores. Cuarta Edición: México.

- Tay J.-H., Liu Q.-S. and Liu Y. (2001). The effects of shear force on the formation, structure and metabolism of aerobic granules. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 57, N° 1-2, pp. 227-233.
- Sánchez, G. (1983). Criterios de credibilidad en la investigación naturalista. En A. Pérez Gómez (Eds.), *La enseñanza: su teoría y práctica*. (148-165). Madrid-Akal.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (1995). American Public Health Association, Washington, 19th edn. APHA.
- Szilveszter, S., Ráduly, B., Miklóssy, I., Ábrahám, B. (2010). Lab Scale Sequencing Batch Reactor Construction and Characterization for Dynamic Modelling with Activated Sludge Model
- Ulsido, M. D. (2013). *Water Supply and Urban Drainage Engineering*. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing.
- Valencia, R., N., Pitman, S. León-Yanez y P.M. Jorgensen (Eds. 2000). *Herbario CA*, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. Ecuador.
- Vázquez-Contreras, E. (2016) «Los puentes de hidrógeno». *Bioquímica y Biología Molecular en línea*. Instituto de Química, UNAM. México.

ANEXOS

Anexo 1. Reactor secuencial tipo Batch (SBR), vacío y con carga de agua de la PTAR



Anexo 1.1 Reactor secuencial tipo Batch (SBR), válvulas de paso, programadores automatizados con carga de agua de la PTAR



Anexo 2. Análisis Físico- Químicos emitidos por EMAPA-I en Octubre del 2018

INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUAL	FMC2306-01
Informe de Ensayo Nro: IERE- 18-092	Pág. 1 de 1
Cliente: Sr. Diego Guerra Dirección : Otavalo, Guayaquil y Piedrahita	
Fecha de recepción: 25 de Octubre del 2018 Identificación muestra: Muestra #1 - P.aerobia	
Fecha de realización de ensayos: 25/10/2018 - 31/10/2018 Tipo de muestra: Residual Cod. Lab: MER18-101	Fecha de emisión: 31 de Octubre del 2018


REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

PARÁMETROS	Unidades	MUESTRA	Valores de Referencia ¹	Método del Ensayo
Sólidos suspendidos totales**	mg/l	112,10		SM 2540D

REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICOS

PARÁMETROS	Unidades	MUESTRA	Valores de Referencia ¹	Método del Ensayo
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	192,0	-	PEE-EMAPA-I-003 (Método HACH 8000)
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)**	mg/l	70,0	-	SM 5210
Nitratos (NO ₃ ⁻)**	mg/l	5,20	-	Método HACH 8039
Fosforo Total	mg/l	3,2	-	Método HACH 8048 x el factor

Anexo 3. Análisis Físico- Químicos emitidos por EMAPA-I en Noviembre del 2019 de la entrada, SBR y salida.



LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE ENSAYO	FIIR 7.8-01 Revisión 01
Informe de Ensayo Nro: IERE19-035	Pág. 1 de 2

Cliente: Diego Guerra
Dirección: Otavalo

Fecha de recepción: 27 de Noviembre 2019	Toma de muestra realizada por: El Cliente
Identificación muestra cliente: Entrada	
Tipo de muestra: Residual	

Código de Laboratorio: MER19-021	Lugar de análisis: Laboratorio EMAPA-I
Fecha de realización de ensayos: 29/11/2019	Fecha de emisión informe: 09 de Diciembre 2019

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS	incertidumbre expandida con K=2	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
			MER19-021		
Sólidos Suspendidos Totales (*)	Standard Methods 2540D	mg/l	10620	N/A	-
Sólidos Suspendidos Volátiles (*)	Standard Methods 2540E	mg/l	3900	N/A	-

Análisis Físico-Químicos de la Salida



LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE ENSAYO		FIR 7.8-01 Revisión 01
Informe de Ensayo Nro: IERE19-036		Pág. 1 de 2
Cliente: Diego Guerra Dirección: Otavalo		
Fecha de recepción: 27 de Noviembre 2019	Toma de muestra realizada por: El Cliente	
Identificación muestra cliente: Tratamiento		
Tipo de muestra: Residual		
Código de Laboratorio: MER19-022	Lugar de análisis: Laboratorio EMAPA-I	
Fecha de realización de ensayos: 29/11/2019	Fecha de emisión informe: 09 de Diciembre 2019	


REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS	Incertidumbre expandida con K=2	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
			MER19-022		
Sólidos Suspendidos Totales (*)	Standard Methods 2540D	mg/l	178,95	N/A	-
Sólidos Suspendidos Volátiles (*)	Standard Methods 2540E	mg/l	75,79	N/A	-

REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS	Incertidumbre expandida con K=2	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
			MER19-022		
Demanda química de oxígeno (DQO) (*)	Método HACH 8000	mg/l	223	N/A	-
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) (*)	Standard Methods 5210 D	mg/l	45	N/A	-

Análisis Físico-Químicos de la Salida

		LABORATORIO EMAPA-I
INFORME DE ENSAYO		FIIR 7.8-01 Revisión 01
Informe de Ensayo Nro: IERE19-037		Pág. 1 de 2
Cliente: Diego Guerra Dirección: Otavalo		
Fecha de recepción: 27 de Noviembre 2019	Toma de muestra realizada por: El Cliente	
Identificación muestra cliente: Tratamiento Tipo de muestra: Residual		
Código de Laboratorio: MER19-023	Lugar de análisis: Laboratorio EMAPA-I	
Fecha de realización de ensayos: 29/11/2019	Fecha de emisión informe: 09 de Diciembre 2019	

REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS	Incertidumbre expandida con K=2	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
			MER19-023		
Demanda química de oxígeno (DQO) (*)	Método HACH 8000	mg/l	116	N/A	-
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) (*)	Standard Methods 5210 D	mg/l	20	N/A	-

Análisis Físico-Químicos de la Salida

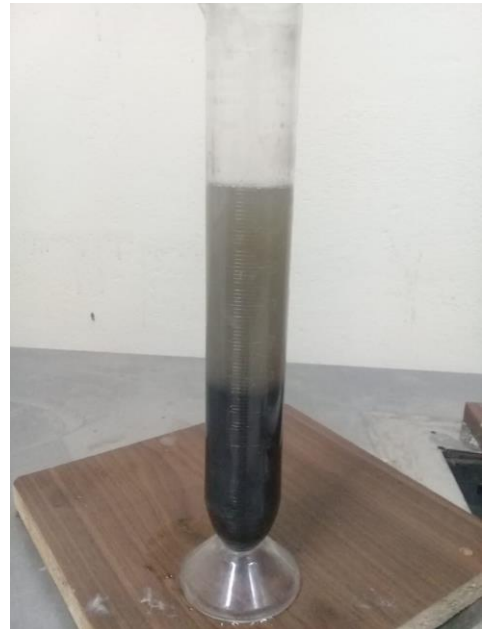
Anexo 4. Materiales utilizados para la medición del tiempo de decantación



Pobretas de 250ml y 100ml con lodos granulares sedimentados



Probeta de 100 ml con lodos floculos



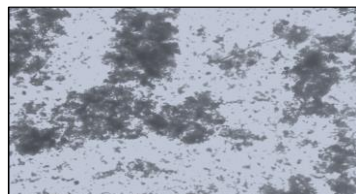
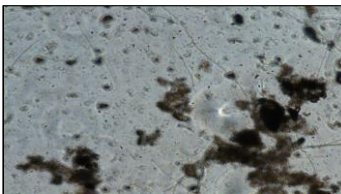
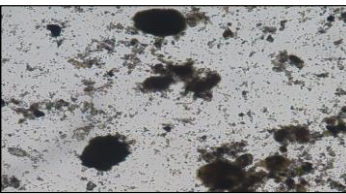
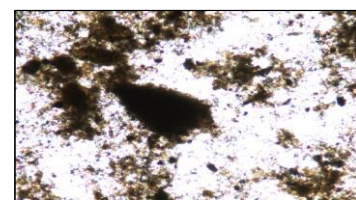
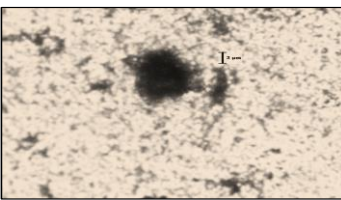
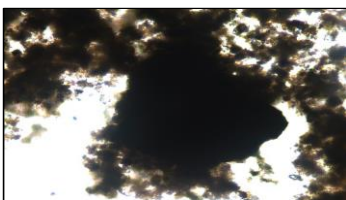
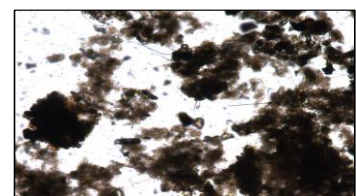
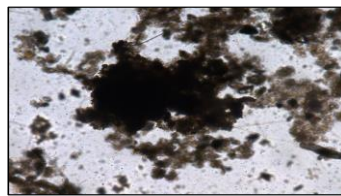
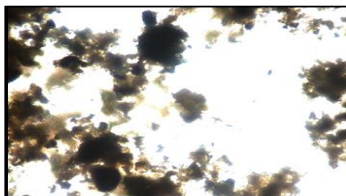
Probeta de 250 ml con lodos granulares

Anexo 5. Observación microscópica de la Semana 1 (21 - 25) OCTUBRE

T1: SBR

T2: SIN O₂

T3: PISCINA AEROBIA (PA)

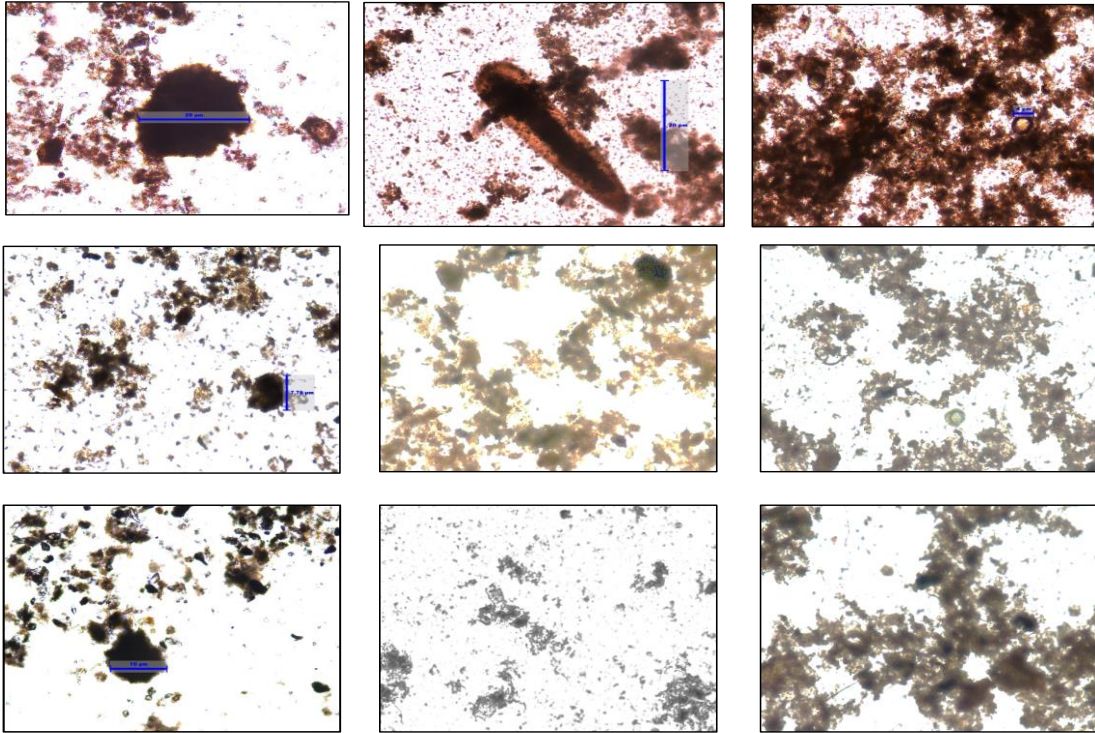


Anexo 6. Observación microscópica de la Semana 2(28-31) OCTUBRE

T1: SBR

T2: SIN O2

T3: PISCINA AEROBIA (PA)

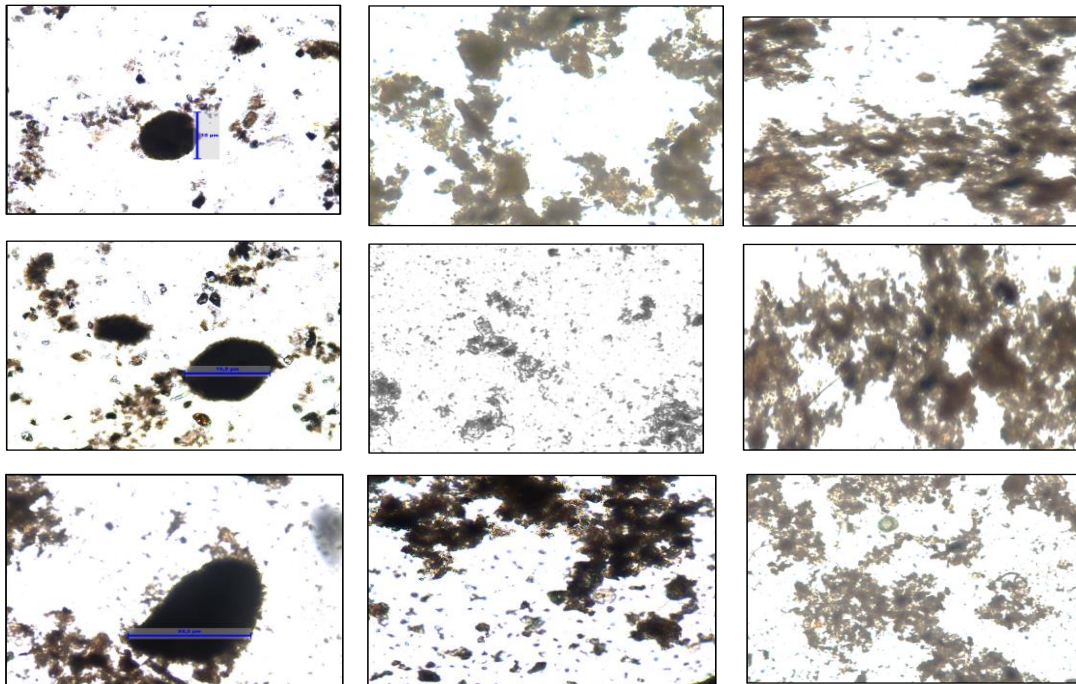


Anexo 7. Observación microscópica de la Semana 3 (5-9) Noviembre

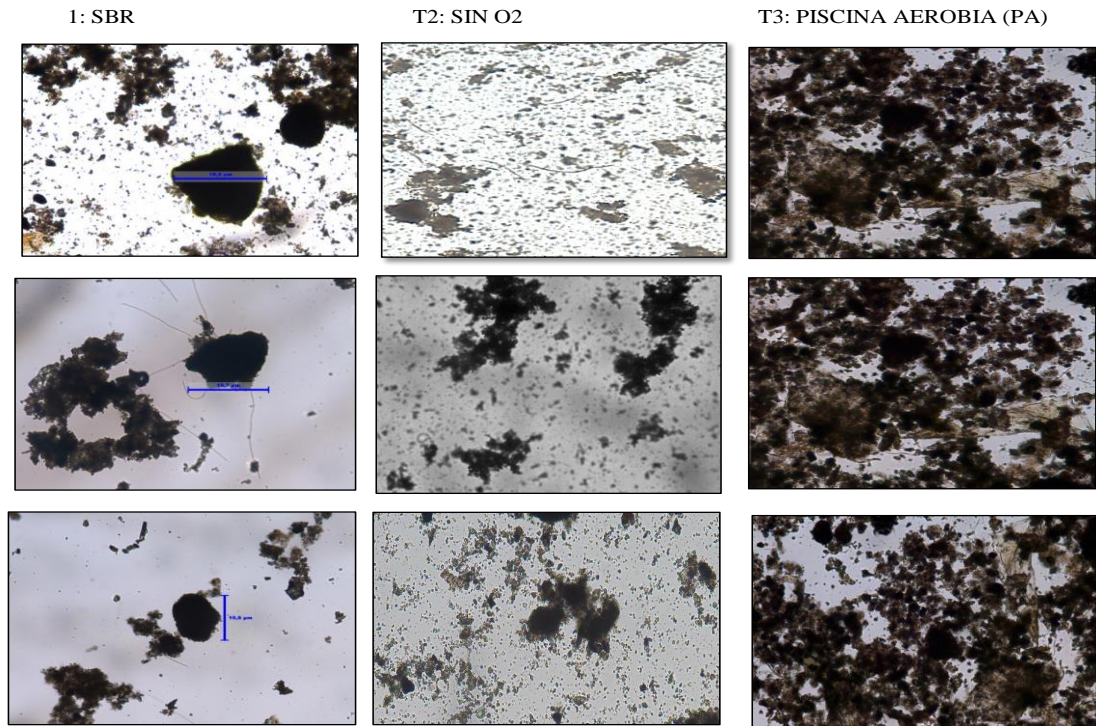
T1: SBR

T2: SIN O2

T3: PISCINA AEROBIA (PA)



Anexo 8. Observación microscópica de la Semana 4(11-15) Noviembre



Anexo 9. Observación microscópica de la Semana 5(18-22) Noviembre

