



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN REACTOR
BIOLÓGICO SECUENCIAL (SBR) CONSTRUIDO PARA LA
REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS**

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

AUTOR:

CATUCUAGO CATUCUAGO EDWIN MAURICIO

DIRECTOR:

ING. GRANJA RUALES JORGE EDWIN

Ibarra – Ecuador

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE
TITULACIÓN

Ibarra, 22 de agosto del 2020

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL (SBR) CONSTRUIDO PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”**, de autoría del señor **CATUCUAGO CATUCUAGO EDWIN MAURICIO** estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que el autor ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

FIRMA

Ing. Jorge Granja

DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

MSc. Pedro Barba

MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Eleonora Layana

MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TRITULACIÓN

Misión Institucional:

Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



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 Orgánica de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte de manera digital para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA :	1723978670
NOMBRES Y APELLIDOS:	CATUCUAGO CATUCUAGO EDWIN MAURICIO
DIRECCIÓN:	TABACUNDO, BARRIO SAN JOSÉ
EMAIL:	catued@hotmail.com
TELEFONO MOVIL:	0990587576

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL (SBR) CONSTRUIDO PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”
AUTOR:	CATUCUAGO CATUCUAGO EDWIN MAURICIO
FECHA:	23/08/2020
SOLO PARA TRABAJO DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PRESGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO 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 22 días del mes de agosto del 2020

EL AUTOR

Firma: 

Catcuago Catcuago Edwin Mauricio

AGRADECIMIENTOS

Agradezco por sobre todas las cosas a Dios por haberme dado la vida y el privilegio de estudiar para poder formarme académicamente y por darme la oportunidad de cumplir mis objetivos.

A la Universidad Técnica del Norte, en especial a la Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables por abrirme las puertas a la educación superior y a sus docentes quienes fueron parte de mi formación académica.

A mi director Ing. Jorge Granja, por su paciencia, apoyo, confianza y amistad en el proceso de elaboración y redacción de este documento de investigación.

A mis asesores MSc Pedro Barba y MSc. Melissa Layana por compartir sus conocimientos e invertir tiempo y paciencia para el desempeño de la investigación.

Por último, agradezco a mis familiares y amigos con quienes compartimos momentos y experiencias inolvidables ya que también aportaron con su ayuda para terminar mis estudios.

¡Gracias a ustedes!

Edwin Catucuago

DEDICATORIA

Esta investigación va dedicada a:

A Dios, por darme la fortaleza para continuar y culminar una meta más, por iluminar mi alma y mi corazón.

A mi familia, que siempre está presente en cada objetivo que emprendo, gracias por su apoyo incondicional. Pilar fundamental constituido por mis padres, a quienes admiro por su trabajo, comprensión y sacrificio para lograr este propósito.

A mis padres Ramón y Rosa por sus enseñanzas y valores inculcados desde mi infancia, enseñándome que todo sacrificio tiene su recompensa y por más duras que sean las pruebas nunca rendirme y dar siempre lo mejor de mí

A mis compañeros, amistades y personas que de una u otra manera me apoyaron en el desarrollo de mi trabajo de tesis.

¡Esto es posible gracias a ustedes!

Edwin Catucuago

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Revisión de antecedentes	1
1.2 Problema de investigación y justificación	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Preguntas directrices de la investigación o hipótesis.....	4
CAPÍTULO II	5
2 MARCO TEÓRICO	5
2.1 Revisión de la Literatura.....	5
2.1.1 Uso del agua.....	5
2.1.2 Contaminación del agua en Ecuador	5
2.1.3 El agua residual.....	6
2.1.4 Parámetros Importantes de las Aguas Residuales.....	8
2.1.5 Reactor Biológico Secuencial (SBR).....	12
2.2 Marco Legal.....	13
2.2.1 Constitución de la República del Ecuador.....	13
2.2.2 Código Orgánico del Ambiente (COA).....	14

2.2.3	Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	15
2.2.4	Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua (TULSMA).....	15
CAPÍTULO III.....		17
3	METODOLOGÍA.....	17
3.1	Descripción del área de estudio	17
3.2	Materiales y equipos	19
3.3	Métodos	19
3.3.1	Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales domésticas reales.....	19
3.3.2	Construcción del reactor biológico secuencial (SBR).....	24
3.3.3	Análisis estadístico	27
3.3.4	Determinar los ciclos óptimos del reactor biológico secuencial para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales domésticas.....	28
CAPÍTULO IV.....		29
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1	Resultados de la caracterización de las aguas residuales domésticas reales.....	29
4.1.1	Determinación del caudal medio semanal	29
4.1.2	Análisis Fisicoquímicos.....	32
4.2	Resultados de la construcción del reactor biológico secuencial (SBR).....	33
4.2.1	Arranque y estabilización del SBR.....	35
4.3	Análisis Estadístico.....	39
4.3.1	Análisis Clúster Clásico.....	39

4.4	Resultados de la determinación los ciclos óptimos del reactor biológico secuencial (SBR) para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales domésticas	40
	CAPÍTULO V	43
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1	Conclusiones.....	43
5.2	Recomendaciones.....	44
	REFERENCIAS.....	45
	ANEXOS	49
	Anexo 1. Tablas	49
	Anexo 2. Registro Fotográfico.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación UTM del área de estudio, WGS 84 Zona 17 Sur	18
Tabla 2. Materiales y Equipos.....	19
Tabla 3. Parámetros a analizar	23
Tabla 4. Ciclo de operación de un SBR	28
Tabla 5. Caudal medio	29
Tabla 6. Análisis físico químico de las aguas residuales realizado en los laboratorios de EMAPA-I	32
Tabla 7. Ciclos de operación de un SBR.....	34
Tabla 8. Análisis fisicoquímicos en 3 muestras	37
Tabla 9. La prueba de T Studen	39
Tabla 10. Parámetros óptimos en el estudio.....	40
Tabla 11. Ciclo óptimos en la programación del SBR.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 . Mapa de ubicación del área de estudio.....	18
Figura 2. Vertedero tipo Thomson.....	20
Figura 3. Reactor biológico secuencial (SBR) a escala piloto.....	25
Figura 4. Bombas de dos salidas con sus respectivos difusores de caña bambú.	26
Figura 5. Ciclo de funcionamiento del reactor biológico secuencial (SBR) a escala piloto	27
Figura 6. Curva diaria de caudal, (a) periodo entre semana y (b) periodo fin de semana	30
Figura 7. Curva diaria de caudal ponderado	31
Figura 8. Niveles de pH durante el tratamiento	35
Figura 9. Niveles de temperatura durante el tratamiento	36
Figura 10. Niveles de COD durante el tratamiento.....	37
Figura 11. Análisis Clúster clásico: a) DBO b) DQO ₅	40
Figura 12. Remoción de: a) SSV b) SST	41
Figura 13. Remoción de: a) Demanda química de oxígeno. b) Demanda bioquímica de oxígeno.....	42

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN REACTOR
BIOLÓGICO SECUENCIAL (SBR) CONSTRUIDO PARA LA
REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS

Trabajo de titulación

Nombre del estudiante: Catucuago Catucuago Edwin Mauricio

RESUMEN

La pérdida constante de aguas residuales es uno de los mayores problemas que el planeta enfrenta en la actualidad. El agua residual doméstica proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Técnica del Norte, está constituida básicamente por materia orgánica y altos contenidos de nitrógeno y fósforo. Es por ello que, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un reactor biológico secuencial (SBR) en la remoción de materia orgánica. El estudio fue dividido en tres etapas: 1) caracterización de aspectos fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas, 2) construcción y arranque del SBR y 3) determinación de los ciclos óptimos del SBR para la remoción de materia orgánica. Las aguas residuales domésticas presentaron un caudal promedio de 25.9 l/m con pH ácido, alto contenidos de sólidos totales, nitratos y fosfatos, donde la demanda biológica y química de oxígeno fueron altas en función de los parámetros permisibles por el TULSMA. En cuanto al SBR se obtuvo una eficiencia promedio del 73% en la reducción de los parámetros, facilitando así el control de la operación y la buena flexibilidad ante fluctuaciones de caudal y concentración de las aguas residuales. Los resultados obtenidos muestran los SBR son una alternativa eficiente y viable para la remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Palabras clave: materia orgánica, reactor biológico secuencial, remoción de nutrientes, tratamiento de aguas residuales

ABSTRACT

The constant loss of wastewater is one of the biggest problems the planet is facing today, domestic wastewater from the Universidad Técnica del Norte wastewater treatment plant is basically made up of organic matter and high nitrogen and phosphorous contents. That is why this research aimed to evaluate the efficiency of a sequential biological reactor SBR in removing organic matter. The study was divided into three stages: 1) characterization of physicochemical aspects of domestic wastewater, 2) construction and start-up of SBR and 3) determination of optimal cycles of SBR for removal of organic matter. The results obtained from domestic wastewater presented an average flow rate of 25.9 l/m with an acid pH, high content of total solids, nitrates and phosphates, where the biological and chemical oxygen demand were high comparing with the parameters allowed by the TULSMA. Regarding the SBR, an average efficiency of 73% was obtained in the reduction of the parameters, thus facilitating control of the operation and good flexibility in the face of fluctuations in flow and concentration of wastewater. The results obtained show that SBRs are an efficient and viable alternative for the removal of nutrients in the treatment of domestic wastewater.

Key words: organic matter, removal of nutrients, sequential biological reactor, wastewater treatment

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de antecedentes

El agua cubre más del 70 % de la superficie del planeta; se la encuentra en océanos, lagos, ríos, en el aire, en el suelo; y es la fuente y el sustento de la vida, contribuye a regular el clima del mundo y con su fuerza formidable modela la Tierra (Fernández, 2012). El agua en términos globales es uno de los principales recursos naturales, más abundante en la Tierra; constituida por el 96,5% de agua salada y el 3,5% agua dulce. El agua para consumo humano debe estar libre de microorganismos o patógenos que afectan a la salud (Cárdenas, 2005).

El agua dulce es el líquido vital para el desarrollo de la vida en el planeta. A pesar de ser un recurso renovable, mediante el aumento demográfico, avances económicos, desarrollo urbano y contaminación se está convirtiendo en un recurso finito (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO, 2013). La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, afirma que el 69% del agua dulce disponible es utilizado para realizar actividades agrícolas, el 23 % se destina a la industria y tan solo el 8% al consumo doméstico; por ello la demanda del recurso hídrico está creciendo aceleradamente (Broch, 2008).

La contaminación de los cuerpos de agua en Latino América se caracteriza por el exceso de nutrientes y materia orgánica, generando un deterioro de la calidad físico-química, afectando a los ecosistemas acuáticos. En la actualidad existen métodos tradicionales de tratamientos para las aguas residuales domésticas con una tecnología aplicada por más de 100 años, con un alto consumo energético, lo que conlleva a implementar nuevas alternativas amigables con el ambiente, como la innovadora tecnología granular aerobia (Pérez y González, 2002).

El recurso hídrico en el Ecuador es abundante y por ello en la actualidad se encuentra amenazado debido a la sobre explotación y contaminación; con una

marcada tendencia al desabastecimiento para las futuras generaciones (Da Ros, 1995). En el país la descarga excesiva de aguas residuales municipales domésticas e industriales sin tratamiento previo, a través de los sistemas de alcantarillado y desperdicios agrícolas en los diferentes cuerpos de agua (ríos, lagos y estuarios), constituyen un problema significativo que requiere de pronta solución (ETAPA, 2006).

En Imbabura existen cuatro ciudades que tratan las aguas residuales domésticas mediante métodos tradicionales, Ibarra se encuentra dentro de estas ciudades debido a que ésta cuenta con una planta tratamiento automatizada de aguas residuales. De acuerdo con información proporcionada por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra (EMAPA-I) en el cantón Ibarra se trata un 20% del total de aguas residuales generadas y un 80% de aguas contaminadas son derramadas principalmente al río Tahuando el cuál es el principal cuerpo receptor.

Durante el tratamiento de las aguas residuales se generan los lodos que deben ser sometidos a un tratamiento adicional con el fin de reducir su humedad, convertirlo en una materia orgánica estable y disminuir el contenido de patógenos (Appels, Baeyens, Degrève y Dewil, 2008). El tratamiento biológico de las aguas residuales es un proceso de oxidación en el cual la materia orgánica biodegradable es descompuesta por la acción de los microorganismos en un medio controlado que puede ser aeróbico o anaeróbico, formando compuestos o productos estables de composición más sencilla (Tchobanoglous y Burton, 1995).

En el medio ambiente se encuentran muchos nutrientes en el agua, los cuales se eliminan de manera gradual mediante procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren naturalmente. De forma artificial, los mismos procesos se realizan en depósitos, embalses y tanques como reactores. La velocidad que ocurren esos procesos depende de los componentes involucrados y las condiciones en el reactor, como las características de temperatura e hidráulica (mezclado) (Ramos y Saldarriaga, 2017).

El Reactor Biológico Secuencial (SBR) es un sistema de crecimiento suspendido en el que el agua residual se mezcla con un lodo biológico existente en un medio aireado. Es el único proceso biológico en el que se combina en un mismo tanque el proceso de reacción, aeración y clarificación. Éstos reactores son agitados durante el periodo de reacción de tal forma que las aguas residuales son homogéneas en un determinado periodo variando las concentraciones con referencia al tiempo, donde el estudio de sistemas ideales facilita la comprensión de los procesos biológicos (Menéndez y Pérez, 2007).

1.2 Problema de investigación y justificación

La pérdida constante de aguas residuales es uno de los mayores problemas que el planeta enfrenta en la actualidad. Con el crecimiento poblacional y la demanda diaria ha incrementado su contaminación de forma acelerada, que es más evidente en aquellos sitios donde no existen políticas que rijan las condiciones de uso del agua y su eliminación al ambiente, especialmente en fuentes de agua dulce natural. Debido a todos estos hechos la tecnología aerobia tiene un gran potencial para ser la tecnología alternativa en el tratamiento de aguas residuales que permite una depuración eficaz de mejor calidad del agua con diseños compactos y sencillos (Ramos y Saldarriaga 2017).

Para dar solución a este problema en muchos países se aplica el tratamiento de aguas residuales, donde surge esta investigación debido a la reducción significativa del recurso agua, enfocándose en la contaminación especialmente por los desechos sólidos y líquidos provenientes de las aguas residuales domésticas, esto se debe al incremento de la población actual (Carabalí, 2017).

El principal propósito de esta investigación radica en la importancia de implementar la nueva tecnología de un SBR en el tratamiento de aguas residuales domésticas y por lo tanto comprender de mejor forma la influencia de los sustratos orgánicos presentes en las aguas residuales domésticas y las estructuras físicas y microbianas; trabajo que se ajusta a la línea de investigación trazada por la carrera de Recursos Naturales Renovables que es la del manejo óptimo de los recursos naturales.

El presente proyecto tiene la finalidad de realizar el tratamiento de aguas residuales domésticas en las instalaciones de la Universidad Técnica del Norte, siendo un desafío social, ecológico y económico, enmarcado a cumplir el objetivo 3 del Plan Nacional del Buen Vivir: mejorar la calidad de vida de la población.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la operación del reactor biológico secuencial SBR construido para remover la materia orgánica en las aguas residuales domésticas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los aspectos fisicoquímicos las aguas residuales domésticas.
- Construir el reactor biológico secuencial (SBR).
- Determinar los ciclos óptimos del reactor biológico secuencial (SBR) para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales domésticas.

1.4 Hipótesis

- El reactor biológico secuencial (SBR) construido para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales domésticas funciona eficazmente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Revisión de la Literatura

Para sustentar la presente investigación se realizó una revisión bibliográfica de diferentes autores que hablan sobre la caracterización de las aguas residuales domésticas y los reactores biológicos secuenciales, así como también la mitigación y remoción de la materia orgánica.

2.1.1 Uso del agua

El agua es un compuesto formado por hidrógeno y oxígeno con su fórmula H_2O , es uno de los componentes esenciales de la materia viva que constituye del 50 al 90% de su masa. De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas (PNUMA, 2003), en la superficie terrestre, el agua conforma el 75%, donde el agua salada cubre el 97,5% y solo el 2,5% corresponde a agua dulce. Los casquetes y los glaciales contienen 74% del agua dulce del mundo, el 0,3% del agua dulce se encuentra en los ríos y lagos, y la diferencia se encuentra como aguas subterráneas, cabe destacar que tan solo el 1% es accesible para el uso humano.

En los países desarrollados, se destina el consumo del agua de tal manera que el 59% va dirigido al uso industrial, el 30% a las actividades agrícola y el 11% al uso doméstico, según el informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo (Collado, 2001).

2.1.2 Contaminación del agua en Ecuador

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. La calidad de agua en Ecuador ha venido paulatinamente deteriorándose especialmente en los últimos veinte años. En la mayoría de las ciudades del país y sobre todo en las más pobladas como Quito, Guayaquil y Cuenca, se producen grandes cantidades de residuos contaminantes que son vertidos en los ríos y esteros sin ningún tipo de tratamiento (Da Ros, 1995).

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

En Ecuador se construyó la primera planta de tratamiento en el año 1999 en la ciudad de Cuenca con la finalidad de descontaminar y recuperar las aguas de los ríos Yanuncay y Tomebamba que atraviesan la zona central de la ciudad (ETAPA E, 2016). En el año 2006 ha iniciado la construcción de sistemas de tratamiento en el sector norte del Ecuador, específicamente en los cantones de Otavalo y Cotacachi en la provincia de Imbabura, en los cuales la prioridad es la descontaminación de agua residual doméstica empleando plantas acuáticas flotantes como *Lemna sp*, con la finalidad de mejorar los vertidos hacia las fuentes agua dulce natural como el lago San Pablo en Otavalo y los ríos Pitzambiche y Ambi en Cotacachi.

De acuerdo con información proporcionada por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra (EMAPA-I, 2012), en el cantón Ibarra se trata entre el 5% al 8% del total de aguas residuales generadas, siendo el principal cuerpo receptor el río Tahuando. Al no existir estudios propios para la situación actual, es difícil establecer tratamientos adecuados a la realidad cantonal.

2.1.3 El agua residual

El origen del agua residual proviene del uso del agua potable, mediante el contacto con desechos orgánicos e inorgánicos, generadas en las distintas actividades domésticas, donde el agua residual está compuesta del 99,9% de agua y 0,1% de sólidos orgánicos e inorgánicos, sólidos suspendidos y disueltos, los cuales son el motivo del tratamiento de las aguas residuales (Ferrer y Seco, 2008).

El agua residual que recibe la planta de tratamiento está constituida por:

- a) *Aguas residuales domésticas*: estas resultan de las actividades cotidianas que realizan normalmente las poblaciones, estas aguas contienen materias orgánicas en su mayoría y resultan de áreas residenciales, comerciales, públicas y similares.

- b) *Aguas residuales agrícolas*: estas provienen de zonas rurales, e incluyen o se originan de restos de animales y vegetales.
- c) *Aguas residuales Industriales*: se produce por diferentes procesos de industrialización donde las aguas residuales contienen compuestos químicos que son difíciles de degradar.
- d) *Aguas de lluvias*: las aguas procedentes de las precipitaciones que se escurren al sistema de drenaje, arrastrando contaminantes como: materia química, orgánica, y principalmente sólidos.
- e) *Aguas de infiltración*: se introducen al sistema de recolección por las grietas y poros de las paredes de la tubería.

2.1.3.1 Características de aguas residuales

Es importante conocer la características tanto física, química y biológica del agua residual de una planta de tratamiento, del cual pondremos identificar y ver su funcionamiento necesario y los diferentes contaminantes que puedan presentarse en el agua residual (Ronzano y Dapena, 2002).

2.1.3.2 Características fisicoquímicas y biológicas de las aguas residuales

Las aguas residuales domésticas provienen principalmente de aguas de lavado de platos, lavado de ropa, aseo personal y usos sanitarios. Estas actividades alteran el peso específico del agua. La gravedad específica del agua cloacal se puede estimar en 1,04, ésta condición del agua residual toma importancia en el diseño de los colectores, diámetro y pendiente (Cárdenas, 2005).

El agua residual se caracteriza por sus propiedades físicas como:

- a) *Olor*: los olores se producen debido a los gases liberados en los procesos de descomposición de la materia orgánica.
- b) *Color*: determina cualitativamente el tipo de aguas residuales, el agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce y el color cambia a negro, esta condición, se dice que el agua residual es séptica (Sierra, 2011).

- c) *Temperatura*: parámetro básico para el funcionamiento adecuado del sistema de tratamiento en su fase de tratamiento biológico.
- d) *Turbidez*: indica la calidad de los vertidos de aguas residuales con respecto a la materia suspendida.
- e) *Sólidos*: se presentan como sólidos suspendidos, sedimentados y floculados, la remoción de sólidos sedimentados permite proteger los equipos y tuberías de efectos de abrasión (Carabalí y Echeverry, 2017).

2.1.4 Parámetros Importantes de las Aguas Residuales

- *Parámetros físicos*: Son los que definen las características del agua que responden a los sentidos de la vista, del tacto, gusto y olfato.
- *Temperatura*: La temperatura es una magnitud física que expresa el nivel de calor y está vinculada a la noción de frío (menor temperatura) y caliente (mayor temperatura). La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento, como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La temperatura de los efluentes urbanos no plantea grandes problemas, ya que oscila entre 10 y 20° C; facilitando así el desarrollo de una fauna bacteriana y una flora autóctona, ejerciendo una acción amortiguadora frente a la temperatura ambiente, tanto en época seca como en lluviosa y en cualquier tipo de tratamiento biológico.
- *Sólidos*: Toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos es considerada como materia sólida. La definición más generalizada de sólidos es la que se refiere a toda materia sólida que permanece como residuo de evaporación y secado bajo una temperatura entre 103-105⁰C. Generalmente estas aguas contienen sólidos disueltos, sólidos sedimentables los cuales son partículas muy gruesas que se depositan por gravedad en el fondo de cuerpos receptores. Material flotante como trozos de vegetales, animales, basuras, etc. y aquellas que son visibles constituyen los sólidos en suspensión y sólidos en

flotación. A continuación, se detallan los tipos de sólidos presentes en las aguas residuales.

- a) Sólidos totales (ST). Residuo remanente después de que la muestra ha sido evaporada y secada a una temperatura específica.
 - b) Sólidos volátiles totales. (SVT). Pueden ser volatizados e incinerados cuando los ST son calcinados.
 - c) Sólidos fijos totales (SFT). Residuo permanente después de incinerar los ST.
 - d) Sólidos suspendidos totales (SST). Fracción de ST retenido sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secada a temperatura específica.
 - e) Sólidos disueltos totales (SDT). La cantidad total de sólidos disueltos en el agua, principalmente de las sales minerales. La medida comprende coloides y sólidos disueltos.
 - f) Sólidos Sedimentables (SS). Expresados como ml/l que se sedimentan por fuera de la suspensión dentro de un periodo de tiempo específico.
- *Conductividad eléctrica*: Refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua. Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, el aumento de la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad.
 - *Parámetros químicos*: El agua es llamada el solvente universal y los parámetros químicos están relacionados con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias.
 - *Potencial Hidrógeno (pH)*: El pH es una medida del grado de acidez o alcalinidad de un agua, definiéndose como el logaritmo negativo de la concentración del Ion hidrógeno. La importancia dentro del agua residual radica en determinar la acidez de ésta y tiende a ser muy corrosiva, la cual puede atacar químicamente tanto a los sistemas de distribución como a los órganos de las plantas de tratamiento y un agua residual básica provoca incrustaciones tanto

en los sistemas de distribución como en las plantas de tratamiento (Barrantes y Cartín Nuñez, 2017). El rango de pH para la vida biológica es muy estrecho y crítico. Un agua residual con valores adversos de pH puede tener dificultades para su tratamiento biológico. Se considera como rango adecuado de pH para el desarrollo normal de la actividad microbiana un valor comprendido entre 6 y 8 (Ramos, Muñoz y Saldarriaga, 2017).

- *Nitrógeno (N)*: El nitrógeno es el nutriente esencial para el crecimiento protista y plantas. Las formas de interés en aguas residuales son las del nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos y nitratos. Los datos del nitrógeno son necesarios para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales por tratamientos biológicos. Cuando se exige control de eutrofización de las fuentes receptoras la remoción del nitrógeno, en el agua residual, puede ser una condición del tratamiento. Otras aguas residuales, como las pecuarias por ejemplo presentan altas concentraciones de nitrógeno en sus diferentes formas. La concentración de todas las especies de nitrógeno se reporta en mg/l (Ramos, Muñoz y Saldarriaga, 2017). Nitrógeno amoniacal existe en solución acuosa tanto en forma de Ion amonio como en forma de amoniaco dependiendo del pH de la solución.
- *Nitrógeno en forma de nitrito (NO_2)*: El nitrito es el radical univalente NO_2 presente en concentraciones bajas, los nitritos son de gran importancia en estudios de aguas residuales porque son altamente tóxicos para muchos peces y especies acuáticas. (Criters y Tchobanoglous, 2000).
- *Nitrógeno en forma de nitrato (NO_3)*. El nitrato es un compuesto inorgánico formado por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O); el símbolo químico del nitrato es NO_3 . El nitrato no es normalmente peligroso para la salud a menos que sea reducido a nitrito (NO_2).

La concentración de nitratos es importante, debido a las normas que ha fijado la EPA (Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos). La concentración

de nitratos en aguas residuales tratadas puede variar desde 2 a 30 mg/l como N, dependiendo del grado de nitrificación y desnitrificación del tratamiento (Díaz et al., 2010).

- *Nitrógeno total Kjeldahl*: se determina del mismo modo Nitrógeno orgánico, con la diferencia que no se elimina el amoníaco antes de la etapa de digestión. Por lo tanto, el nitrógeno total Kjeldahl incluye el nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal (Escaler y Sahuquillo, 2001).
- *Fósforo (P)*: En las aguas residuales, el fósforo puede encontrarse en forma de sales minerales (ortofosfatos, polifosfatos), pero también en forma de compuestos orgánicos. Estos diferentes compuestos están solubilizados, o bien fijados en las materias en suspensión. El fósforo en aguas superficiales genera un crecimiento incontrolado de algas, debido a la evacuación de las aguas servidas domésticas e industriales, acelerando el proceso de eutrofización (Pérez, Dauntan, Contreras y González, 2002).
- *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)*: La DBO expresa la cantidad de oxígeno necesario para la degradación de las materias orgánicas por microorganismos, además permite apreciar la carga del agua en materias putrescibles y su poder auto depurador, y de ello se puede deducir la carga máxima aceptable, éste indicador se utiliza principalmente en el control del tratamiento primario en las estaciones depuradoras y en evaluar el estado de degradación de los vertidos que tengan carga orgánica (Barrantes y Cartín, 2017).
- *Demanda química de oxígeno (DQO)*: La DQO es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico y mineral (nitritos, amoníaco). En las aguas residuales, al verterse en un curso de agua, algunas sustancias captan el oxígeno existente debido a la presencia de sustancias químicas reductoras, satisfaciendo sus necesidades de oxígeno (Barrantes y Cartín, 2017).

2.1.5 Reactor Biológico Secuencial (SBR).

En Reactor Biológico Secuencial es el nombre dado al sistema de tratamiento de aguas residuales operado sobre la base de la tecnología de lodos activados, en una secuencia de ciclos de llenado y de vaciado. Éste incluye normalmente el proceso de eliminación biológica de nutrientes en fases que pueden incluir el tratamiento anaerobio, aerobio, anóxico, o la combinación de ellos y en las que, finalmente, se incluye la sedimentación. Todas estas operaciones unitarias se desarrollan en un mismo reactor (Muñoz y Ramos, 2014).

El SBR-ASM3 es un modelo estructurado para la simulación del consumo de oxígeno, la producción de lodos, la nitrificación y la desnitrificación y fue presentado por el Grupo de trabajo de la Asociación Internacional del Agua (IWA – por sus siglas en inglés) sobre modelado matemático para el diseño y la operación de tratamientos biológicos de aguas residuales en 1999. Se ha investigado si el ASM3 pudiera usarse como una primera simplificación para simular la eliminación de nutrientes con lodos granulados aeróbicos (Lübken, Shwarzenbeck, Wichern y Wilderer, 2005).

En un SBR las fases de tratamiento del agua residual se producen a lo largo de un período de tiempo definido llamado ciclo, que una vez finalizado se repite de manera sistemática. Cada ciclo comprende una serie de fases que se suceden en el tiempo, según las características del tratamiento. Entre las ventajas que proporcionan los SBR se destacan: flexibilidad para adaptarse a las características del agua residual afluente, como las fluctuaciones de caudal, permitiendo ajustar la duración de los ciclos; reducción de los costos en relación a procesos continuos, ya que ocupan poco espacio físico y posibilidad de remoción conjunta de materia orgánica y nutrientes en un único ciclo de operación (Von Sperling, 2002).

La tecnología de sistemas SBR, nos permite un mejor conocimiento de su funcionamiento y los principales parámetros de operación. Igualmente, constituye un punto de referencia para investigadores que gustan de este tema de estudio, para

la comunidad académica relacionada con el saber específico y para las entidades públicas y privadas que se interesan en el manejo y preservación del recurso hídrico (Muñoz y Ramos, 2014).

2.1.6 Modelo de lodo activado No. 3

El Modelo de lodo activado No. 3 fue publicado en 1999 por el Grupo de trabajo de la IWA sobre Modelado matemático para el diseño y operación del tratamiento biológico de aguas residuales (Gujer, Henze, Mino y van Loosdrecht, 1999). Las posibilidades mejoradas para identificar procesos biológicos en la actualidad han dado como resultado el desarrollo del nuevo modelo ASM3 para simular la nitrificación, desnitrificación y degradación de la DQO. El proceso de hidrólisis de DQO (X_s) lentamente degradable no depende de las condiciones redox y tiene menos importancia porque el proceso de lisis (con la producción de DQO lentamente degradable) ha sido reemplazado por respiración endógena. La hidrólisis de nitrógeno se ha combinado con la hidrólisis de DQO. Las tasas de descomposición para la respiración endógena de organismos heterotróficos y autótrofos se reducen en condiciones anóxicas (Lübken, Shwarzenbeck, Wichern y Wilderer, 2005).

2.2 Marco Legal

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador

En la Constitución de la República del Ecuador puesta en vigencia en el 2008, postula varios artículos que sustentan la presente investigación: En el Art.14 se menciona que el vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado es un derecho de la población *sumak kawsay*., en donde la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la integridad del patrimonio genético del país, la biodiversidad y recuperación de espacios naturales degradados son de interés público, de tal manera la población tiene la responsabilidad de trabajar en actividades que ayuden a conservar y recuperar los recursos naturales degradados o en peligro. También el Art. 15.- Donde 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 afectará el derecho del agua.

2.2.2 Código Orgánico del Ambiente (COA)

De acuerdo con el Art. 190 el Ministerio de Ambiente del Ecuador tiene el Sistema Único de Manejo Ambiental, 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.

Tomando en consideración el 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, donde 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.

El Art. 196.- Menciona que: 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.

2.2.3 Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD).

El Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización en el Art 55 literal d), enfoca las competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal, tendrán la competencia de Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.

2.2.4 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua (TULSMA).

Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado, posee los criterios que sustentan la presente investigación con los siguientes literales:

Las descargas líquidas provenientes de sistemas de potabilización de agua no deberán disponerse en sistemas de alcantarillado, a menos que exista capacidad de recepción en la planta de tratamiento de aguas residuales, ya sea en funcionamiento o proyectadas en los planes maestros o programas de control de la contaminación, en implementación. En cuyo caso se deberá contar con la autorización de la Autoridad Ambiental Nacional o la Autoridad Ambiental Competente que corresponda.

Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado sanitario, combinado o pluvial cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa. Esto incluye las siguientes sustancias y materiales, entre otros:

a) Fragmentos de piedra, cenizas, vidrios, arenas, basuras, fibras, fragmentos de cuero, textiles, etc. (los sólidos no deben ser descargados ni aún después de haber sido triturados).

b) Resinas sintéticas, plásticos, cemento, hidróxido de calcio.

c) Residuos de malta, levadura, látex, bitumen, alquitrán y sus emulsiones de aceite, residuos líquidos que tienden a endurecerse.

d) Gasolina, petróleo, aceites vegetales y animales, aceites minerales usados, hidrocarburos clorados, ácidos, y álcalis.

Las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos en los límites de descarga al sistema de alcantarillado público, en la cual las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

La presente investigación se realizó en las instalaciones del estadio de la Universidad Técnica del Norte localizado en la parroquia El Sagrario, Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura, en la planta de tratamiento de aguas residuales de Universidad Técnica del Norte (PTAR-UTN), los predios de la Universidad la cual tiene un espacio total de 83,061 metros cuadrados (Figura 1).

Las características climáticas del área de estudio son: temperatura: 15,90°C, humedad relativa: 73,9%, humedad: 57%, altitud: 2228 m.s.n.m., desde el norte la precipitación varía entre 1000 mm y 1400mm (Gobierno Autónomo Descentralizado de San Miguel de Ibarra, 2015).

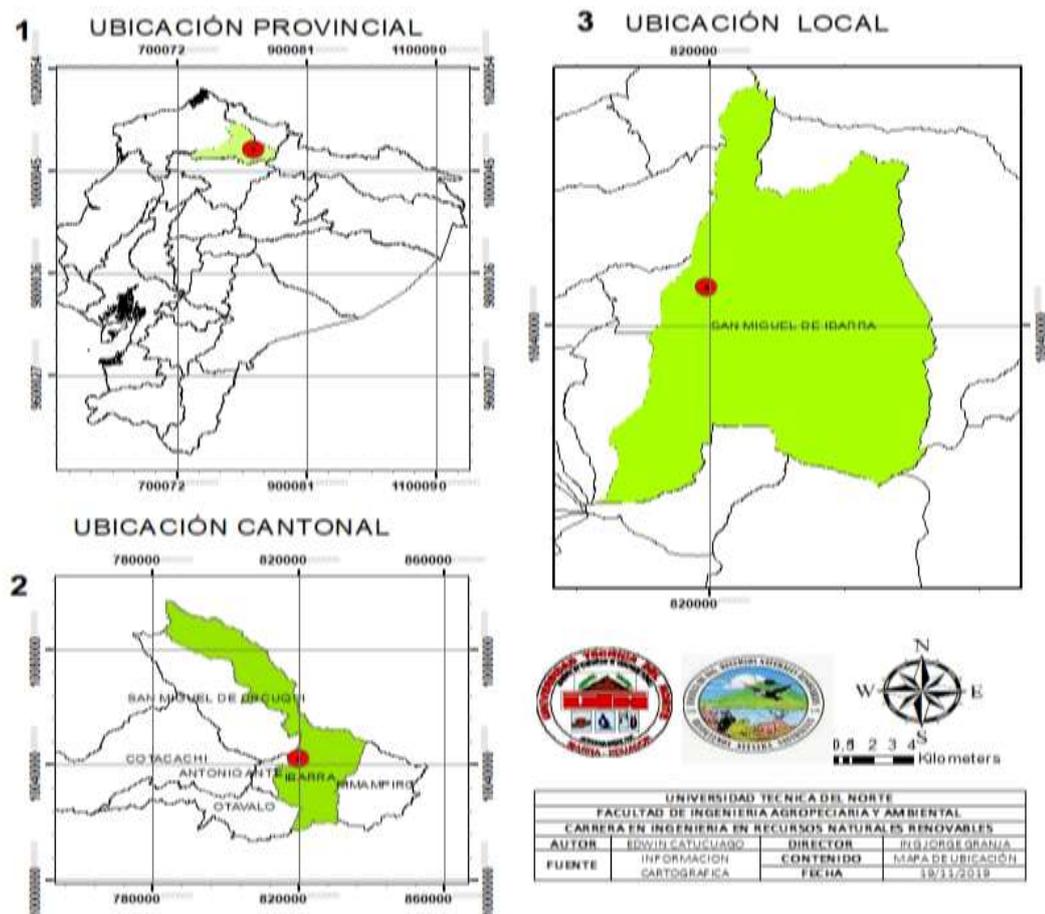


Figura 1 . Mapa de ubicación del área de estudio

Se representan las coordenadas del área de estudio donde se realizó en presente proyecto (Tabla 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

De igual manera se representa el mapa de la planta de tratamiento de aguas residuales UTN (Anexo1).

3.2 Materiales y equipos

Este capítulo hace referencia a los materiales utilizados para cumplir con la investigación del proyecto y las técnicas empeladas para llegar a los objetivos propuestos anteriormente (Tabla 2).

Tabla 2. Materiales y Equipos

Materiales	Equipos
<ul style="list-style-type: none"> • Software ArcGIS 9.3 • Etiquetas de muestra • Libretas de campo • Probetas • Recipientes de muestreo • Reactivos BUFER 04, 07, 10 • Vertedero 60° • Reactor Biológico secuencial 	<ul style="list-style-type: none"> • Computador • Equipo multiparámetro calibrado (marca consort modelo: C562) • Congelador para conservación y traslado de las muestras • Equipo multiparámetro de medición: pH, Temperatura, Conductividad, Sólidos disueltos totales • Cámara fotográfica • GPS

3.3 Métodos

La investigación se realizó en tres etapas con base a los lodos activados obtenidos en la PTAR UTN: 1) se caracterizó los aspectos fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas obtenidas de la PTAR UTN; 2) se realizó la construcción y arranque del reactor biológico secuencial (Secuencial Botch Reator SBR por sus siglas en ingles) y 3) se determinó los ciclos óptimos del SBR para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales domésticas.

3.3.1 Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales domésticas reales

Para la caracterización se obtuvo una muestra del agua residual en la PTAR UTN. Mediante la toma de submuestras se determinó la curva diaria del caudal; además, se realizaron análisis físico-químicos de las aguas residuales domésticas reales.

3.3.1.1 Determinación del caudal

Se adquirió un vertedero triangular Thomson con placa delgada, este corresponde a un diseño con un mínimo mantenimiento y permite una operación estable en el proceso de medición y determinación de la curva diaria de caudal y posee un ángulo de 60° de hendidura triangular. El vertedero se instaló en la planta piloto de tratamiento de aguas residuales.

En función del rango predominante en las mediciones de campo correspondientes se consideró los efectos de los números de Reynolds y Weber, que provocan sesgo de medición, situación superada mediante la curva de calibración empírica, la cual fue específica para el instrumento utilizado (Figura 2) (White, 2008).



Figura 2. Vertedero tipo Thomson

Para realizar el ciclo de medición se basó en lo propuesto por Bruin (2004) que menciona los siguientes pasos: 1) medir la altura de caudal en el vertedero cada 10 minutos, 2) establecer periodos para el levantamiento de datos, uno “entre semana” y otro el “fin de semana” y 3) para cada periodo se levantará datos de altura en el vertedero, durante 48 horas. Con base a la expresión matemática de Kindsvater-Shen (2003) el caudal en un vertedero triangular tipo Thomson se determinará mediante la siguiente fórmula.

Ecuación (1): $Q = 5E - 6 \times h^4 - 2,0197E - 4 \times h^2 + 9,337975E - 3 \times h$
 $-0,44220166$

Donde:

Q = caudal en litros/minuto

h = altura en milímetros

Ecuación (2): $T = \frac{a_1 - a_2}{2}$

Donde:

a_1 = datos 1

a_2 = datos 2

La curva diaria de caudal se puede describir como una función continua, donde el caudal medio se determina a partir de:

Ecuación (3): $QM = \frac{\int_0^r q(t)dt}{t-0}$

Donde

QM = caudal medio, en l/minuto

$q(t)$ = caudal en función del tiempo, en l/minuto

t = tiempo de prueba, en minutos

Se utiliza las variables definidas de caudales diarios “ qk_{1i} ” y “ qk_{2i} ”; con la expresión matemática tres, para determinar el caudal diario “ qkm_i ” en cada periodo estacional, con base a la regla trapezoidal. Finalmente, se dibuja las curvas de

caudal diaria entre semana y fin de semana. (Howe, Hand, Crittenden, Truseell, y Tchobanoglous, 2016).

Ecuación (4):
$$q_{km_i} = \frac{1}{2}(q_{k1_i} + q_{k2_i})$$

Donde:

q_{km_i} = caudal media en litros/minuto

q_{k1_i} = caudal día 1 en litros/minuto

q_{k2_i} = caudal día 2, en l/minuto

3.3.1.2 Composición de la muestra compuesta del agua residual doméstica de la planta de tratamiento UTN.

La muestra compuesta es formada por mezclas de muestras individuales tomada en diferentes fechas, la cantidad de muestra individual se añade a la muestra compuesta, debe ser proporcional al flujo del caudal en el momento que será tomada.

$$\frac{V_i}{Q_i} = \frac{V}{n * Q_{med}}$$

Ecuación (5):

V= volumen de la muestra compuesta

V_i = volumen de cada muestra individual

Q_{med} = caudal medio

Q_i = caudal referente a la gráfica de caudales

n= número de muestras compuestas.

3.3.1.2.1 Protocolo de custodia de la muestra compuesta:

- Recolección de la submuestra en envase plástico transparente graduado, sellado herméticamente

- Etiquetado y codificación de las submuestras, donde se indica lugar, altura del caudal, hora, fecha, nombre del responsable en una tarjeta de identificación (Sierra, 2011) (Anexo 1.2).
- Se colocó en un contenedor, para su conservación durante el traslado.
- Se mantuvo las submuestras en refrigeración a 5°C, hasta la conformación de las muestras compuestas.
- Se transportó en un contenedor a los laboratorios de EMAPA para su respectivo análisis

3.3.1.3 Caracterización de aguas residuales

La selección de parámetros para el análisis de aguas residuales se basó en el uso final de aguas tratadas (Tabla 3), los datos fueron tomados mediante equipos multiparámetros portátiles a pila, a prueba de agua y de polvo. Estos equipos pueden probar hasta 90 de los químicos y parámetros físicos más comunes en el agua de consumo: cloro, fluoruro, hierro, manganeso, nitrato/nitrito, pH y turbiedad entre otros y fueron calibrados mediante el manual de análisis de agua Hach.

Tabla 3. Parámetros analizados

PARÁMETROS ANALIZADOS			
Análisis físicos			
PARÁMETROS		UNIDADES	METODOLOGÍA
Temperatura		°C	APHA-5550 B
Sólidos totales disueltos	(STD)	mg/l	APHA 2510 A
Sólidos suspendidos totales	(SST)	mg/l	APHA 2540 D
Análisis químicos			
Potencial hidrógeno	pH		APHA-4500 H+B
Demanda química de oxígeno	(DQO)	mg/l	APHA-5220 D
Demanda Biológica de Oxígeno	(DBO ₅)	mg/l	APHA-4500-NH3-C
Nitratos	(NO ₃)	mg/l	APHA-4500 N02-B
Fosfatos	(PO ₄)	mg/l	APHA-4500-P-C

Fuente: Standar Methods for the examination of Waters and Wastewaters.

3.3.2 Construcción del reactor biológico secuencial (SBR)

El reactor biológico secuencial se basa en los criterios generales del modelo ASM3 como: área, altura y litros usados desarrollado por IWA (International Water Association), es preciso mencionar que el IWA indica el uso de polimetilmetacrilato, mientras que en la presente investigación se empleó cristal acrílico, así también el adhesivo TAP Acrylic Cement, fue reemplazado con silicona industrial, debido a que los materiales sugeridos no se encontraban disponibles en el mercado nacional (Díaz, Villalobos, Valecillos, Carrasquero y Medina, 2012).

Las normas antes citadas mencionan que un SBR debe presentar las siguientes características: facilidad de acceso y operación; mediante desarrollo de ciclos como el tiempo de decantación, tiempo de descarga, tiempo de llenado y tiempo de oxigenación para la obtención del sedimento lodos activados que permita realizar un seguimiento de los parámetros de operación con coeficiente de oxígeno disuelto COD, pH, temperatura y flujo de oxígeno para a evaluación de la operación del SBR. El sistema de tratamiento se construyó en un tanque reactor de forma rectangular de 117cm de altura, 24cm de ancho y 26cm de largo y capacidad de 120 litros; con válvulas a distintas alturas del tanque del reactor con la finalidad de facilitar la carga y descarga del agua tratada (Figura 3).

El lodo que se utilizó para dar inicio al sistema fue obtenido de la piscina aerobia de la PTAR UTN, el cual se aclimató en temperaturas bajas para la conservación de ésta y continuar con el sistema estudiado a través de ciclos continuos de carga y descarga, este proceso se prolongó por 12 semanas, debido a que la biomasa se adapta cuando se logra mantener la concentración de los sólidos suspendidos volátiles (SSV).



Figura 3. Reactor biológico secuencial (SBR) a escala piloto

El SBR está conformado por un arreglo de válvulas de compuerta cada 35 cm; adicionalmente se colocó un desfogue en la base del reactor para la extracción de lodos, con la finalidad de descargar el agua tratada; una bomba de dos salidas con sus respectivos difusores de caña bambú para el suministro de oxígeno en la etapa de aeración y homogenización (Figura 4) (Muñoz, 2014).



Figura 4. Bombas de dos salidas con sus respectivos difusores de caña bambú.

Todos los procesos del SBR se llevan a cabo en un solo reactor y siguen una secuencia de llenado, reacción, sedimentación y vaciado. La configuración del ciclo depende de las características del agua residual y los requisitos legales a cumplir (Broch, 2008). Este proceso sigue fundamentalmente las siguientes etapas:

- a) Etapa de llenado: se realizó de forma aireada, de acuerdo con los objetivos previstos para el tratamiento del agua residual.
- b) Etapa de reacción: se proporcionó las condiciones necesarias a la mezcla, en las que se permitió el consumo de sustrato en condiciones controladas (aerobias). En la fase de reacción aerobia se llevó a cabo la oxidación de la materia orgánica y la nitrificación.
- c) Etapa de sedimentación: la obtención del lodo es otro paso importante en la operación de este tipo de reactores, afectando en gran medida su rendimiento. Con el objetivo de regular la concentración de sólidos en el lodo. Este lodo pudo obtenerse durante la fase de sedimentación. El tiempo de asentamiento duró entre 0,5 y 4,5 h.

- d) Etapa de vaciado: el sobrenadante clarificado se descarga del reactor como efluente, mediante un mecanismo diseñado y operado de manera que se evitó que el material flotante sea descargado. El exceso de lodo activado residual también se removió, empleando un tiempo que varió desde un 5 a un 30% del tiempo total.

A continuación, se presenta Ciclo de funcionamiento del reactor biológico secuencial (SBR) a escala piloto, donde se detallan cada una de sus fases (Figura 5).

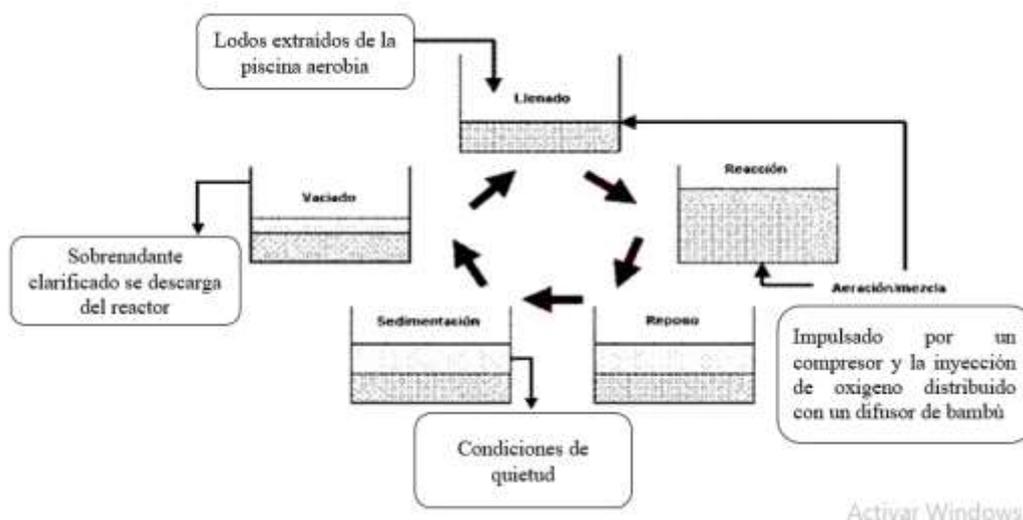


Figura 5. Ciclo de funcionamiento del reactor biológico secuencial (SBR) a escala piloto

3.3.3 Análisis estadístico

Para analizar los datos estadísticos se utilizó el diseño experimental T Student ya que los datos son paramétricos, en la distribución que surge del problema en la extracción de la cantidad de materia orgánica. Se validó con los intervalos de confianza derivados de la distribución T Student donde se calculó el error estándar de la media.

La ecuación de la prueba de T Student que se empleó para el cálculo se detalla a continuación:

Ecuación (6):

$$T = \frac{z}{\sqrt{\frac{v}{v}}} = z \sqrt{\frac{v}{v}}$$

Donde:

Z = es una variable aleatoria

V= es una variable aleatoria que surge una distribución

z y v son independientes

3.3.4 Determinar los ciclos óptimos del reactor biológico secuencial para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales domésticas.

Se evidenció la eficiencia de remoción de la materia orgánica en el SBR mediante la comparación de los análisis físico-químicos en tres muestras: entrada de aguas residuales domésticas reales, fase de decantación en el SBR y salida del reactor, que se realizaron después de haber obtenido la estabilización del reactor.

También se controló los parámetros de: coeficiente de oxígeno disuelto COD pH, temperatura, flujo de oxígeno, DBO₅, DQO, para la evaluación de la programación de operación del SBR (Graellwes, 2003) (Tabla 4).

Tabla 4. Ciclo de operación de un SBR

FASES	MINUTOS
Llenado	120
Reacción	240
Decantación	60
Vaciado	30
Inactivo	60

Fuente: Alleman e Irvine (1980) citado por Graellwes, (2003)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se detallaron los resultados alcanzados para cada uno de los objetivos específicos planteados. De igual manera, se realizó la discusión de los resultados en base a investigaciones o estudios similares al tema planteado, con el fin de comparar la información generada.

4.1 Caracterización de las aguas residuales domésticas reales

4.1.1 Determinación del caudal medio semanal

Con referencia a las funciones continuas construidas para la representación del caudal diario que ingresa a la PTAR UTN entre semana y fin de semana, se obtiene el caudal medio para cada información relevante (Tabla 5).

Tabla 5. Caudal medio

Caudal	Período	
	Entre semana	Fin de semana
Medio, l/min	25,7	18,8
Máximo, l/min	59,9	54,7
Mínimo, l/min	4,3	4,5
Moda, l/min	4,4	5,4

La curva diaria de caudal entre semana representado con el día 1 y 2 se pudo determinar que el caudal máximo es de 59.9 l/min a las 10:05 am, donde predominan las aguas residuales con mayor cantidad de residuos de detergentes, los caudales mínimos fueron registrados entre las 9pm y 2am (Figura 6a). De igual manera en el periodo estacional del fin de semana se registran valores similares (Figura 6b).

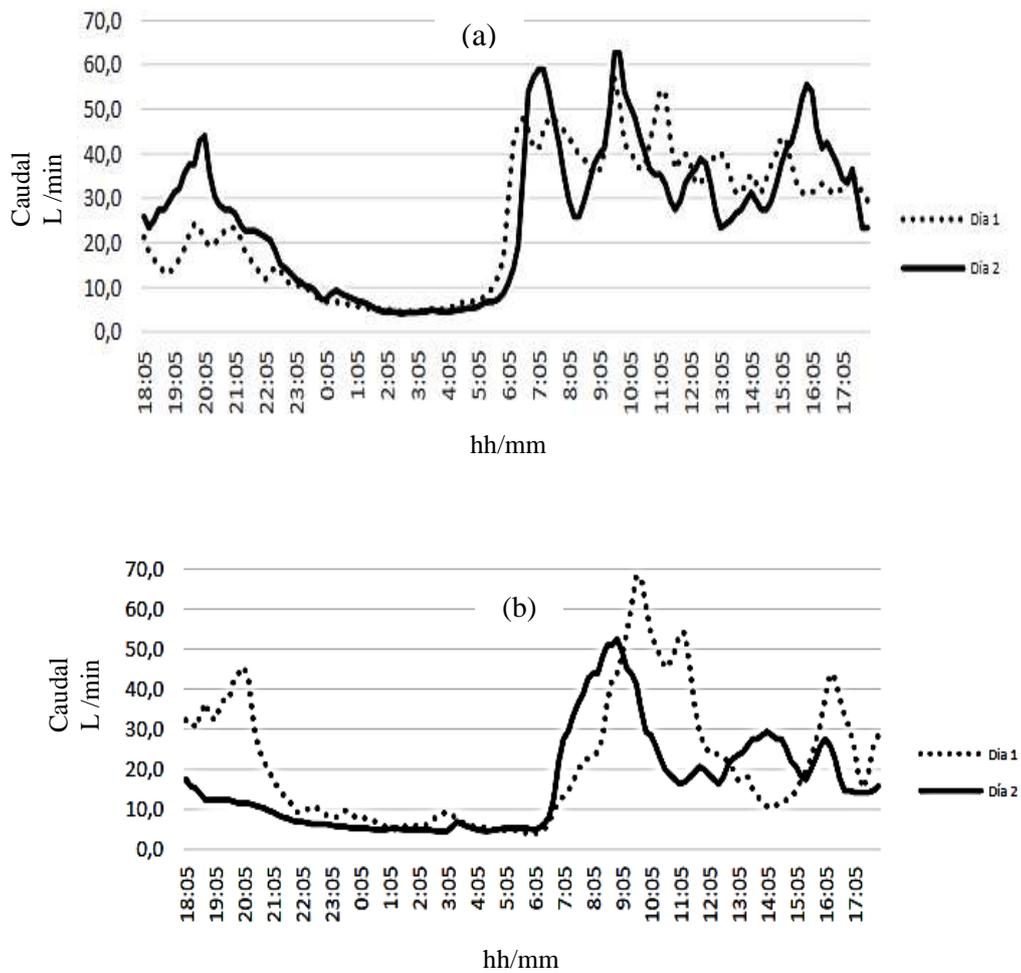


Figura 6. Curva diaria de caudal, (a) periodo entre semana y (b) periodo fin de semana

Sin embargo, al realizar la curva diaria de caudal ponderado entre semana y fin de semana, se observa que en las curvas diarias de caudal poseen un alto porcentaje de similitud con mínimas variaciones descargas donde la mayor actividad es en las horas de la mañana (Figura 7).

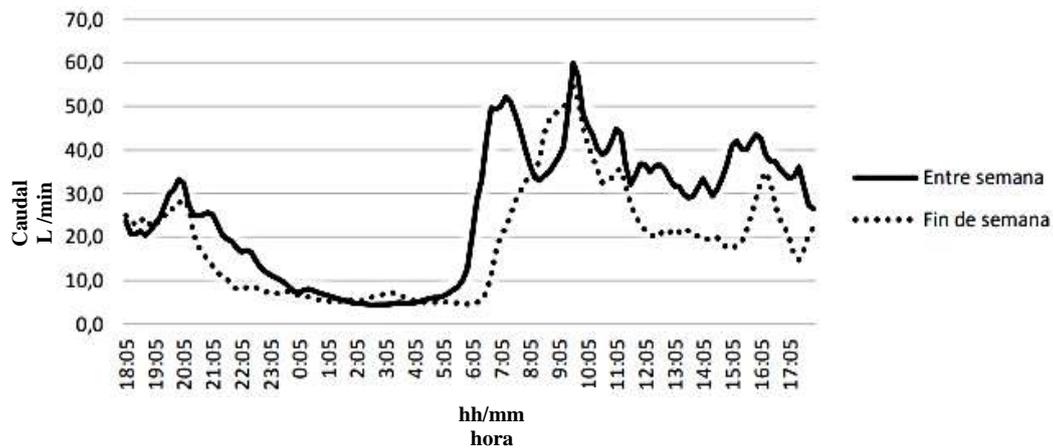


Figura 7. Curva diaria de caudal ponderado

Se determinó que el agua residual doméstica que ingresa a la planta de tratamiento contiene variaciones de caudal con respecto a los datos tomados entre semana con un caudal medio de 25.7 l/m y fin de semana con un caudal medio de 18.8 l/m; las horas que presentan mayor descarga son: 6:00am, 10:00 am y 19:00 pm.

Moya, (1995) en la urbanización Villa Santos de la ciudad de Barranquilla determinó para 80 viviendas un caudal medio 10 l/s y un máximo de 20 l/s; valores muy por debajo registrado en la presente investigación, a pesar que el área sujeta de estudio posee únicamente 25 viviendas (Pozo, 2012). Esta diferencia pudo generarse debido a que en Barranquilla en los meses ecológicamente secos su precipitación es de 3.5 mm (Ramírez, Acosta y Vélez, 2017); mientras que, en el mes de estudio, según el INAMMI, 2018, la precipitación promedio fue de 10,3 mm.

De manera similar, Salazar et al. (2019), en el estudio de eficiencia de reactores UASB en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de Bucaramanga donde se determinó el caudal, mismo que osciló entre 400 y 500 l/s; valor superior al caudal del presente estudio, debido a que la investigación en Bucaramanga corresponde a un área metropolitana, mientras que el caudal analizado en la PTAR.-UTN corresponde a un área de tres manzanas, es decir una pequeña fracción de la urbe.

4.1.2 Análisis Físicoquímicos

La dotación de agua en el área de influencia del proyecto se encontró en los rangos promedios estadísticos de las zonas urbanas. De acuerdo con Pozo (2012), el consumo mensual promedio de 25 viviendas fue de 18,7 m³, donde la dotación estimada diaria por vivienda fue de 0.619 m³ y el volumen diario de agua residual de 15.48 m³, además los principales usos que tiene el agua potable en las viviendas fueron destinados para actividades domésticas y regadío de jardines.

Se determinó que el agua que ingresa a la planta de tratamiento contiene variaciones con respecto a los parámetros analizados de las dos muestras tomadas en la semana 6 y 7 del estudio en el 2019, las cuales fueron la entrada o vertedero y piscina aerobia (Tabla 6). Cabe recalcar que, cada parámetro fue analizado con el método HACH el cual se cataloga como el más común dentro de estos análisis. En base a lo anterior se puede afirmar que la caracterización del agua residual es primordial para poder realizar las diferentes pruebas tanto en reactores secuenciales BATCH, así como en otros tipos de reactores secuenciales, siendo el primer paso para encontrar soluciones alternativas eficientes.

Tabla 6. Análisis físico químico de las aguas residuales realizado en los laboratorios de EMAPA-I

Parámetros	Unidad	Muestra 1 (vertedero) mg/l	Muestra 2 (piscina aerobia) mg/l	Límite máximo permisible (TULSMA)	Método del Ensayo
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/l	112,10	140,50	220	SM 2540D
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	192,0	275,0	500	PEE- EMAPA-I- 003 (Método HACH 8000)
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	70,0	120,0	250	SM 5210
Nitratos (NO ₃ ⁻¹)	mg/l	5,20	4,70		Método HACH 8039
Fósforo Total (P)	mg/l	3,2	3,9	15	Método HACH

					8048 x el factor
Nitrógeno Total(N)	mg/l	57,0	60,0	40	HACH 10072
Fosfatos (PO ₄)	mg/l	9,8	11,9		Método HACH 8048

De acuerdo con los siete parámetros analizados a las dos muestras de agua residual tomadas en la PTAR-UTN, se determinó que éstos presentan variaciones considerables, por lo que se evidencia un cambio dentro de los parámetros analizados siendo la muestra 1 (vertedero) la más deficiente por presentar valores más bajos, mientras que los resultados de la muestra 2 (piscina aerobia) están encaminados con los parámetros sugeridos para iniciar con el proceso de funcionamiento correcto y estable de los reactores en cuestión.

Pozo (2012), en el mismo sitio de estudio, para el mes de abril determinó en los parámetros fisicoquímicos valores superiores a los registrados en la presente investigación. Este decremento del comportamiento de los parámetros se debe principalmente al mes de evaluación, ya que, Pozo evalúa en el mes de abril donde la precipitación promedio del 2012 al 2017 es de 69.18 mm (INAMMI, 2018), valor muy superior al promedio mensual del mismo periodo para el mes de agosto de 10.32 mm. Es preciso indicar que a mayor precipitación disminuye la concentración de los parámetros fisicoquímicos debido al incremento de caudal como mencionan Korkusuz, Beklioglu y Demirer (2004), las concentraciones de los nutrientes y de la carga orgánica en el influente y el efluente son afectadas por cambios en el volumen del agua en el sistema, debido a los efectos de la precipitación pluvial.

4.2 Construcción del reactor biológico secuencial (SBR)

El reactor biológico secuencial se basa en los criterios generales del modelo ASM3 como: área, altura y litros usados, desarrollado por IWA (International Water Association), con materiales disponibles en el Ecuador como: acrílico, ángulos de aluminio, tornillos de acero inoxidable y silicona industrial, materiales de fácil acceso y operación; su construcción comprendió ciclos como: tiempo de

decantación, tiempo de descarga, tiempo de llenado y tiempo de oxigenación (Tabla 7), lo que permitió la obtención del sedimento con el fin de realizar un seguimiento de los parámetros de operación con coeficiente de oxígeno disuelto COD, pH, temperatura y flujo de oxígeno para la evaluación de la operación del SBR.

Tabla 7. Ciclos de operación de un SBR

SEMANAS	FASES			
	LLENADO (minutos)	AIREACIÓN (minutos)	SEDIMENTACIÓN (minutos)	DRENAJE (minutos)
I	5	240	5	10
II	5	240	5	10
II	5	240	5	10
IV	5	240	5	10
V	5	240	5	10
VI	5	240	5	10
VII	5	240	5	10
VIII	5	240	5	10
IX	3	240	10	5
X	3	240	10	5
XI	3	240	10	5
XII	3	240	10	5
XIII	3	240	10	5
XIV	3	240	10	5
XV	3	240	10	5

De acuerdo con la metodología expresado por Bathe, Kreuk, Swain, y Schwarzenbeck, (2005), el SBR fue operado mediante ciclos sucesivos de 260 min cada uno. Un ciclo consistió en 10 minutos de adición de llenado, 240 minutos de aireación, 5 minutos de sedimentación y 5 minutos de drenaje de efluentes.

Los parámetros para el diseño de un sistema SBR convencional requieren un especial cuidado en el tiempo de aireación, la carga volumétrica, sólidos suspendidos, relación alimento/microorganismos y la edad del lodo. Zhu, Zhang y Miller (2004), investigaron la extracción biológica simultánea de nitrógeno y fósforo del estiércol líquido porcino con alta materia orgánica. El SBR se hizo

funcionar en 3 ciclos por día con 8 horas por ciclo a 20 °C constantes y el tiempo de retención de lodo se mantuvo en los 15 días.

De igual manera, la operación en un mismo tanque permite el ahorro en costos de capital y cuenta con ventajas tales como la posibilidad de ajustar y cambiar la duración de las diferentes etapas de tratamiento, control final de cada reacción biológica, así como también de la calidad del efluente.

4.2.1 Arranque y estabilización del SBR

En la etapa de arranque y estabilización se evaluó la operación del SBR, con monitoreo de parámetros como: coeficiente de oxígeno disuelto COD, pH, temperatura y flujo de oxígeno.

Los valores obtenidos de pH durante el proceso de tratamiento de las aguas residuales domésticas durante 15 semanas se encuentran dentro del rango establecido de 6-9, respecto a los límites de descarga al sistema de alcantarillado. En el proceso de estabilización se observaron que en las 8 primeras semanas los niveles de pH fueron bajos, a partir de la semana 9 en adelante el nivel de pH tuvo una variación mínima que se determina como estabilizado (figura 8).

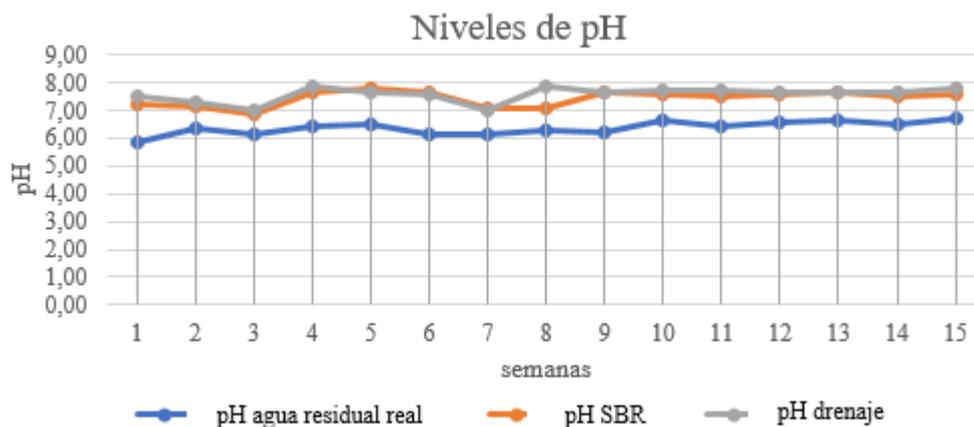


Figura 8. Niveles de pH durante el tratamiento

Los valores obtenidos con respecto a la temperatura durante el proceso de tratamiento de las aguas residuales domésticas durante 15 semanas, se encuentran dentro de la temperatura ambiente de 18C°. Respecto a los límites de descarga al sistema de alcantarillado, en el proceso de estabilización se observaron que en las 8 primeras semanas los porcentajes de temperatura no presentaron variaciones; a partir de la semana 9 en adelante el porcentaje de temperatura tuvo una variación mínima que se determina como estabilizado (Figura 9).

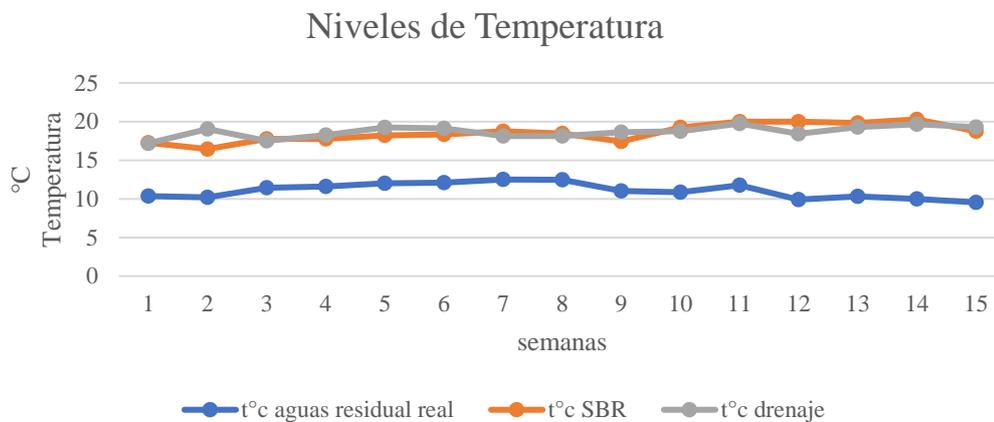


Figura 9. Niveles de temperatura durante el tratamiento

Los valores obtenidos de coeficiente de oxígeno disuelto COD, durante el proceso de tratamiento de las aguas residuales domésticas durante 11 semanas, en el proceso de estabilización, se observaron que en las 8 primeras semanas los porcentajes de COD fueron bajos; a partir de la semana 9 en adelante el porcentaje de COD tuvo una variación que se determina como estabilizado y en la salida del agua residual teniendo un 5,87 de COD (figura 8).

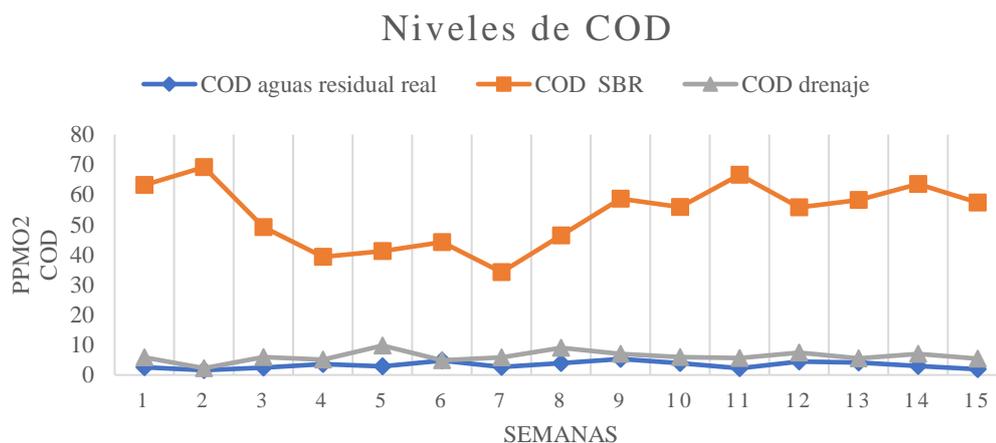


Figura 10. Niveles de COD durante el tratamiento

En cuanto a la concentración de SST, considerado parámetros representativos del contenido de biomasa en el sistema, durante el periodo experimental, se presentó 10620 mg/l, encontrándose dentro del intervalo de valores indicados para mantener una masa microbiana que garantice la eficiencia del tratamiento biológico, mientras más elevados sean los valores de SST podría presentarse problemas en las propiedades de decantación del lodo.

Se indican los valores de DBO y DQO₅ registrados para las diferentes condiciones analizadas. Estos resultados muestran que, a pesar de los cambios en las características del agua residual, el SBR mostró estabilidad en cuanto a la remoción de carbono, demostrando ser un tratamiento versátil y capaz de adaptarse a las fluctuaciones de materia orgánica del agua residual doméstica (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis fisicoquímicos en 3 muestras

RESULTADOS						
PARÁMETROS ANALIZADOS	UNIDADES	Entrada (ARDR)	Tratamiento (SBR)	Salida (ARDR)	Límite máximo permisible (TULSMA)	
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg /l	1214	223	116	500	
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg /l	860	45	20	250	

RESULTADOS

Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	10620	178,95	137,74	220
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	3900	75,79	67,69	

Los resultados obtenidos del reactor SBR se han utilizado para los análisis de diferentes muestras, entre los que se encuentran aguas residuales domésticas reales, aguas residuales en la decantación del SBR y aguas residuales del drenaje, entre otros. También se han empleado diversas configuraciones y secuencias, dependiendo de la calidad del efluente a tratar y las necesidades de tratamiento. En la actualidad se utiliza el sistema convencional de sustrato suspendido y también el sistema de crecimiento adherido. El tipo de sistema que trabaja con crecimiento adherido se emplea con frecuencia en procesos de lodos activados modificados para mejorar la remoción de compuestos orgánicos. Con el empleo de la tecnología de crecimiento microbiano adherido se han llevado a cabo innumerables investigaciones, que han probado las bondades de este tratamiento solo o en combinación con el crecimiento suspendido típico de lodos activados (Metcalf, 2003).

Una modificación del proceso SBR es la inyección de oxigenación el cual permite la conversión autotrófica del amonio a nitrógeno. Esta modificación presenta algunas ventajas como bajo requerimiento de energía. Sin embargo, las bacterias que siguen este proceso son sensibles a diversos factores como la concentración de sustrato y temperatura, entre otras (Huang y Gao, 2014). En la actualidad se presentan algunos estudios representativos, que han empleado SBR con diferentes configuraciones y con diferentes tipos de efluentes como el de tipo convencional aerobio anóxico con aguas residuales sintéticas donde se consiguió la eliminación del 97% en DBO₅, lo que concuerda con los valores obtenidos en el presente estudio donde los porcentajes de eliminación de DBO₅ oscilaron entre de 66% al 90%, demostrando así que los resultados fueron representativo a pesar de que las aguas tratadas en los dos estudio son distintas.

4.3 Análisis Estadístico

En el análisis estadístico descriptivo del pH se evidencia que en las aguas residuales reales poseen un pH ácido mientras el agua de tratamiento SBR y drenaje son levemente alcalinas, en las tres muestras presentan datos agrupados según la desviación estándar, y homogéneos en función de los bajos coeficientes, en cuanto del error estándar de la media permite inferir que las medias son representativas al conjunto de datos es decir son válidos para realizar cualquier tipo de análisis o extrapolación de información.

Tabla 9. La prueba de T Student

Grupo 1	Grupo 2	Media (1)	Media (2)	Media(1)-Media(2)	pH omVar	T	GI	P-valor
pH aguas residual real	pH drenaje	6,37	7,56	-1,19	0,0006	-14,54	130	<0,0001
pH aguas residual real	pH SBR	6,37	7,44	-1,07	0,0048	-12,74	135	<0,0001

En lo que respecta la prueba de T Student se evidenció que el pH de las aguas residuales reales vs el pH del drenaje y reactor son estadísticamente muy diferentes; siendo, como ya se mencionó, el agua residual más ácida que la resultante del proceso

4.3.1 Análisis Clúster Clásico

En el análisis Clúster clásico del DBO y DQO₅ se evidencia dos grupos totalmente diferenciados donde la entrada es estadísticamente diferente al tratamiento y salida en base a las distancias euclidianas determinadas. Es preciso mencionar que los DQO₅ de salida y durante el proceso son estadísticamente similares que en el DBO (Figura 11).

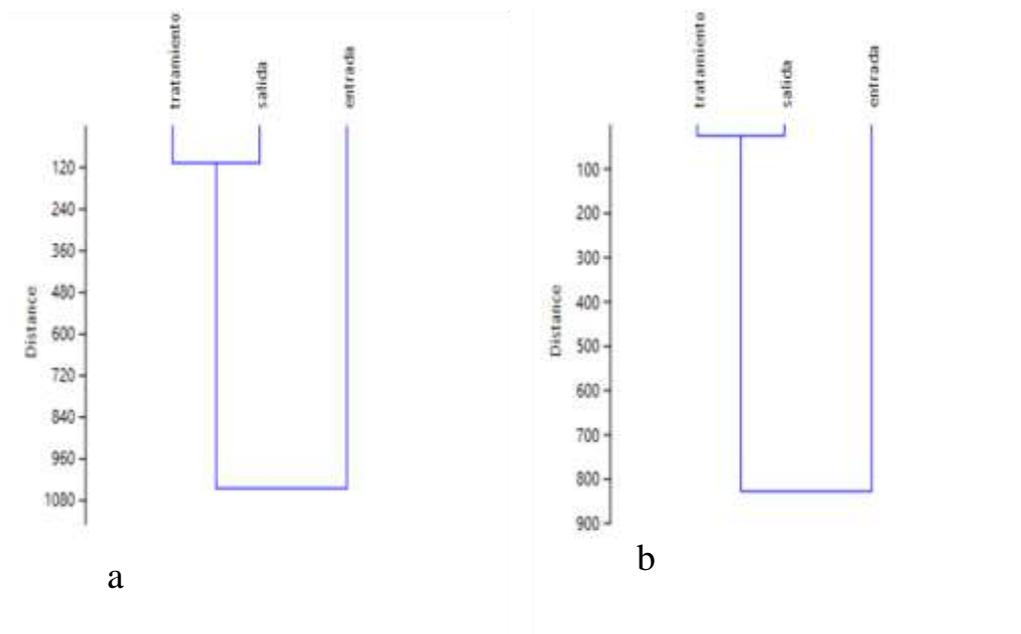


Figura 11. Análisis Clúster clásico: a) DBO b) DQO₅

4.4 Determinación los ciclos óptimos del reactor biológico secuencial (SBR) para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales domésticas

Los valores resultantes de las aguas residuales reales de ingreso, aguas residuales durante el tratamiento del SBR y el drenaje de las aguas residuales, tienen rangos medios de los parámetros donde se observa variaciones en la investigación (Tabla 10).

Tabla 10. Parámetros óptimos en el estudio

Parámetros	Aguas residuales real	SBR	Drenaje
pH	6,44	7,56	7,62
COD	2,98	55,9	5,884
Temperatura	11,02	18,44	18,74

En el ciclo óptimo del SBR tenemos una operación eficiente en la remoción de la materia orgánica, los ciclos de operación deben ser automatizada para disminuir el rango de error mostrados en la Tabla 11.

Tabla 11. Ciclo óptimo en la programación del SBR

FASES				
Ciclo	Llenado (Minutos)	Aireación (Minutos)	Sedimentación (Minutos)	Vaciado (Minutos)
I	3	240	10	5

La eliminación combinada de Sólidos Suspendedos Totales y Sólidos Suspendedos Volátiles en el SBR requiere una secuencia de tratamiento específica con el objetivo de llevar a cabo la remoción de la materia orgánica, nitrificación, desnitrificación durante la fase aeróbica (Figura 11), por tal motivo, en el estudio la temperatura promedio del líquido de inyección al reactor se conservó en 10°C y el contenido en el reactor durante los ciclos de tratamiento se mantuvo entre 16 y 20 °C, encontrándose dentro de los valores recomendados según Metcalf y Eddy, (2003).

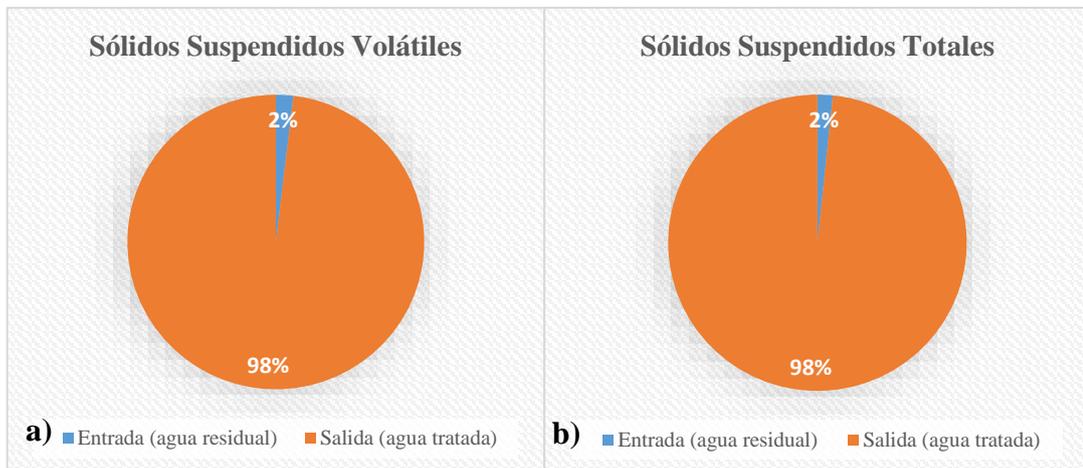


Figura 12. Remoción de: a) SSV b) SST

La eliminación combinada de DBO y DQO₅ en el SBR requiere una secuencia de tratamiento específica con el objetivo de llevar a cabo la remoción de la materia

orgánica. Por tal motivo, en el estudio tubo una eficiencia de remoción (Figura 12), el cual favorece la investigación a la reutilización de las aguas residuales (Metcalf y Eddy, 2003).

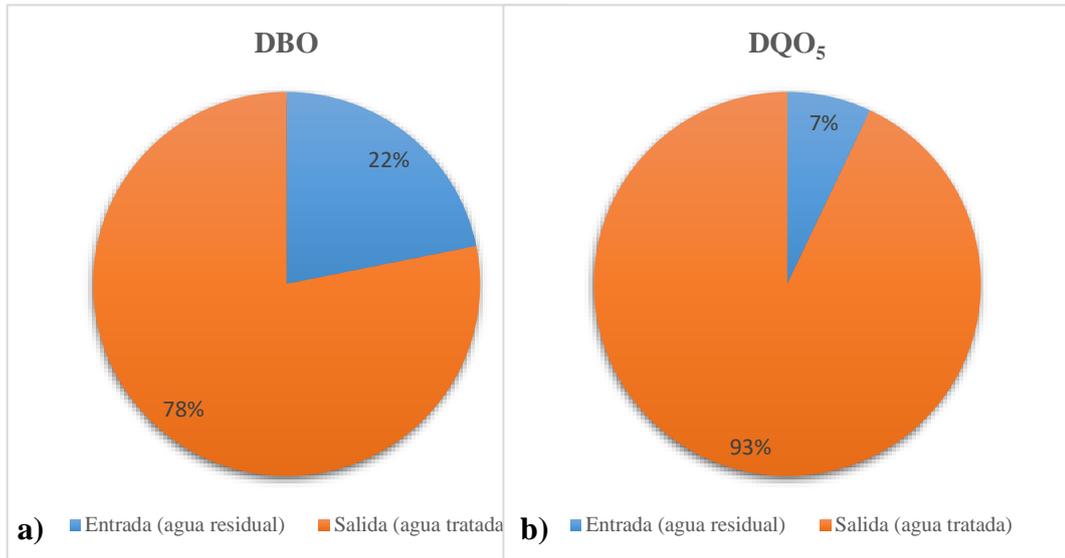


Figura 13. Remoción de: a) Demanda química de oxígeno. b) Demanda bioquímica de oxígeno

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- ✓ Las aguas residuales domésticas presentaron un caudal promedio de 25.9 l/min con un pH ácido con alto contenidos de sólidos totales (126.3 mg/l), nitratos (4.95 mg/l) y fosfatos (10.85 mg/l); las demandas biológicas (95.00 mg/l) y química de oxígeno (233.5 mg/l) fueron altas en función de los parámetros permisibles por el TULSMA.

- ✓ El reactor secuencial SBR con la base cuadrada de 35 x 356 cm es adecuado para el análisis de lodos granulares aerobios, fue construido con sustitutos del material recomendado por lo que presentó problemas en su funcionalidad, razón por la cual se empleó a un tercio de su capacidad; sin embargo, tuvo una eficiencia promedio de 73% en la reducción de los parámetros fisicoquímicos a valores de los límites legales permisibles.

- ✓ La secuencia de 4 horas con 3 minutos de llenado, 240 minutos de aireación, 10 minutos de sedimentación y 5 minutos de drenaje, es recomendable para la granulación aerobia”, debido a que ayudan a la estabilización de los parámetros fisicoquímicos y una eficiencia en remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas reales.

5.2 Recomendaciones

- ✓ Realizar una investigación donde se evalué los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas reales en periodos secos y lluviosos para contrastar con los resultados obtenidos en el presente estudio.

- ✓ Continuar con la depuración de las aguas domésticas residuales en el reactor construido en el presente estudio debido que presentó una buena eficiencia en la disminución de la materia orgánica a límites permisibles.

- ✓ Es necesario realizar investigaciones futuras, para determinar cuantitativamente los requerimientos de oxígeno para obtener mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica.

- ✓ Se considera importante analizar la concentración de microorganismos presentes en el agua al finalizar el proceso de tratamiento.

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 Asociación de Municipalidades Ecuatorianas, Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2015), Registro de Gestión de Agua Potable y Alcantarillado.
- Appels, L., Baeyens, J., Degrève, J. y Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Prog Energy Combust Sci*,34(6), 755–81.
- Barrantes, B. y Cartín Nuñez, M. (2017). Eficacia del tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Costa Rica en la sede de Occidente, San Ramón, Costa Rica. *Junio*, 9(1), 193–197.
- Bathe, S., de Kreuk, M., Swain, Mc. y Schwarzenbeck, N. (2005). *Aerobic Granular Sludge*. London, Germany: Alliance House.
- Broch, P. (2008). *Operación y control de un proceso SBR para la remoción biológica mejorada de nutrientes de un agua residual* (Universida). España.
- 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: an alternative to activated sludge.
- Carabalí, M., Lote, M. L. y Echeverry, L. C. (2017). Evaluation of Physicochemical Parameters in Discontinuous Reactors of Activated Sludge for the Treatment of Waters with Methanol. *Ingeniería*, 22(1), 98–110. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2017.1.a05>
- Collado Lara, R. (1992). *Depuración de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades*. Madrid, España.
- Critters, R. Y Tchobanoglous, G. (200AD). *Sistema de Manejo de Aguas Residuales para Núcleos Pequeños y Decentralizados*. (Emma. Ariz). Colombia.
- Díaz, A., Villalobos, M., Valecillos, M., Carrasquero, S. y Medina, F. (2012). NUTRIENT REMOVAL FROM A SHRIMP INDUSTRY EFFLUENT USING A SEQUENCING BATCH REACTOR. *CIENCIA*, 20(2), 79-89.

- Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra. (2012). Sistema de Gestión de Calidad. Instructivo para la operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Guaraczapas. Ibarra, Ecuador.
- ETAPA, E. (2016). ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL EX POST PTAR UCUBAMBA. Cuenca.
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*. 11(3), 147-170.
- Grover, B., N. Burnett, & M. McGarry. (1983). Water Supply and Sanitation Project Preparation Handbook, 3. Washington, D.C.
- Gujer, W., Henze, M., Mino, T. y van Loosdrecht, M. (1999). Activated Sludge Model No.3. *Wat Sci. Tech.* 39(1), 183 -193.
- Huang, X., Gao, D. (2014). *Effects of ferrous and manganese ions on anammox process in sequencing batch biofilm reactors. Journal of Environmental Sciences*. USA.
- H.Cloe y Clevenger. (1916). Trans. A. I. M. E. 55, P.356
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2018). Datos Meteorológicos 2012 - 2017.
- Jiang, and Moy, (2003). Augmentation for enhancement of aerobically grown microbial granules in sludge blanket reactors. *Biotechnol*, 25, 95-9.
- Jose Ferrer, P. ., & Laura Seco, T. (2008). *Tratamiento biológico de aguas residuales*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Lin, Y. (2003). Development and characteristics of phosphorous-accumulating granules in sequencing batch reactor. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 62, 430-435.
- Lübken, M., Shwarzenbeck, N., Wichern, M. y Wilderer, P. (2005). *Modelling nutrient removal of an aerobic granular sludge lab-scale SBR using ASM3*. Water and environmental management series, München, Germany:IWA.
- McSwain, B., Irvine, R. (2008). Dissolved oxygen as a keyparameter to aerobic granule formation. *Water Sci. Technol.* 58, 781-787.
- Metcalf, E. Y. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. (McGraw Hil). Nueva York.

- Muñoz, J. y Ramos, M. (2014). Reactores discontinuos secuenciales: Una tecnología versátil en el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24 (1), 49 – 66.
- Organización Mundial de la Salud. (2016). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater in Agriculture and Aquaculture. Ginebra, Suiza, OMS
- Pérez, M. L., Dauntan, R., Contreras, A., & González, H. P. (2002). *Remoción de nitrógeno y fósforo en aguas residuales utilizando un reactor discontinuo secuencial SBR*. Mexico: PérezPresentado en el XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- 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.
- Puig S., Vives M.T., Corominas L., B., & M.D. y Colprim, J. (2004). *Wastewater nitrogen removal in SBRs, applying a step-feed strategy: from lab-scale to pilot-plant operation*. Madrid, España: Water Science Technology.
- Qin, L. (2004). Selection pressure is a driving force of aerobic granulation in sequencing batch reactors. *Process Biochem.* 39, 579-584
- Ramírez-Cerpa, E., Acosta-Coll, M., & Vélez-Zapata, J. (2017). Análisis de condiciones climatológicas de precipitaciones de corto plazo en zonas urbanas: caso de estudio Barranquilla, Colombia. Idesia
- Ramos Ramos, M., Muñoz Paredes, J. F., & Saldarriaga Molina, J. C. (2017). Efecto de la secuencia anaeróbica-óxica-anóxica (AOA) en la eliminación de materia orgánica, fósforo y nitrógeno en un SBR modificado a escala de laboratorio. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 25(3), 477–491. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052017000300477>
- Ramos Ramos, M., Muñoz Paredes, J. F., Saldarriaga Molina, J. C., Ramos Ramos, M., Muñoz Paredes, J. F., & Saldarriaga Molina, J. C. (2017). Efecto de la secuencia anaeróbica-óxica-anóxica (AOA) en la eliminación de materia orgánica, fósforo y nitrógeno en un SBR modificado a escala de laboratorio. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 25(3), 477–491. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000300477>

- Ronzano, E. y Dapena, J. (2002). *Tratamiento biológico de aguas residuales*. (Días de sa). Madrid, España.
- Sierra, C. (2011). *Calida de agua: evaluación y diagnóstico*. Medellín, Colombia: Universidad Piloto de Medellín.
- Tchobanoglous, G y Burton, F. (1995). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización*, volumen 1. Editorial Mc Graw Hill.
- Vázquez-Contreras, E. (2016) «Los puentes de hidrógeno». *Bioquímica y Biología Molecular en línea*. Instituto de Química, UNAM. Mexico.
- Von Sperling, M. (2002). Principios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Lodos Ativados. 2ª ed. DESA, UFMG. Belo Horizonte, Brasil. 427 pp.
- White, F. (2008). *Mecánica de Fluidos*. México: McGraw-Hill.
- Zhu, J., Zhang, Z. y Miller, C. (2004). Simultaneous Removal of Nutrient and Organic Matter in Liquid Swine Manure Using a Lab-Scale Sequencing Batch Reactor. *American society Of Agricultural and Biological engineer*. doi=10.1.1.521.7030&rep=rep1&type=pdf.

ANEXOS

Anexo 1. Tablas

Anexo 1.1 Recolección de la muestra compuesta.

CÓDIGO DE LA MUESTRA	LUGAR DE MUESTRO	HORA DE MUESTREO	CAUDAL	CANTIDAD (L)	TOTAL, DE MUESTRAS
1.1	vertedero	10:00	5	1	1
1.2	vertedero	10;00	6	0,8	1,8

Anexo 1.2 Etiquetado de la muestra compuesta.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
PLANTA DE TRATAMIENTO UTN			
Tema del Proyecto	Evaluación del funcionamiento de un reactor biológico secuencial (SBR) construido para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales domésticas		
Tipo de Muestra	Muestra compuesta		
Código de Muestra	1.55		
Fecha y Hora de Toma de Muestra	5 al 9 de octubre del 2019	10:00	
Responsable del Muestreo:	Edwin Catucuago		
Fecha y Hora de Ingreso al Laboratorio:	9 de octubre del 2019	11:00	

Anexo 1.3 Datos del caudal diario.

Hora corregida	Caudal día 1 entre semana	Caudal día 2 fin de semana	Caudal día promedio
hh:mm	l/min	l/min	l/min
18:05	21,31	25,90	23,61
18:15	18,09	23,47	20,78
18:25	16,28	25,14	20,71
18:35	15,24	27,57	21,40
18:45	13,27	27,57	20,42
18:55	13,27	29,43	21,35
19:05	14,70	31,29	23,00
19:15	16,31	32,30	24,31
19:25	18,66	35,51	27,08
19:35	22,07	37,70	29,89
19:45	24,24	37,70	30,97
19:55	23,47	42,84	33,16
20:05	20,67	44,03	32,35
20:15	19,27	35,68	27,48
20:25	19,91	30,33	25,12
20:35	21,31	28,47	24,89
20:45	22,71	27,57	25,14
20:55	23,47	27,57	25,52
21:05	23,47	26,71	25,09
21:15	21,31	24,28	22,80
21:25	18,09	22,71	20,40
21:35	16,28	22,71	19,50
21:45	15,24	22,71	18,97
21:55	12,85	21,99	17,42
22:05	11,93	21,27	16,60
22:15	13,27	20,59	16,93
22:25	14,70	18,09	16,40
22:35	13,78	15,24	14,51
22:45	11,53	14,20	12,87
22:55	10,72	13,27	12,00
23:05	10,72	11,93	11,32
23:15	10,34	11,11	10,73
23:25	9,97	10,34	10,16
23:35	8,98	9,97	9,48
23:45	7,99	8,98	8,48

23:55	7,42	7,42	7,42
			<i>Continúa...</i>
<i>... continuación</i>			
0:05	6,85	7,42	7,1
0:15	6,85	8,63	7,74
0:25	6,85	9,27	8,06
0:35	6,59	8,63	7,61
0:45	6,33	7,99	7,16
0:55	6,09	7,70	6,89
1:05	5,84	7,13	6,49
1:15	5,61	6,85	6,23
1:25	5,38	6,35	5,87
1:35	5,38	5,61	5,50
1:45	5,38	5,17	5,27
1:55	5,17	4,74	4,95
2:05	4,95	4,54	4,74
2:15	4,95	4,54	4,74
2:25	4,74	4,34	4,54
2:35	4,54	4,15	4,34
2:45	4,54	4,34	4,44
2:55	4,54	4,34	4,44
3:05	4,54	4,34	4,44
3:15	4,74	4,54	4,64
3:25	4,95	4,74	4,84
3:35	4,95	4,95	4,95
3:45	4,95	4,74	4,84
3:55	5,17	4,54	4,85
4:05	5,38	4,54	4,96
4:15	5,61	4,74	5,18
4:25	6,09	4,95	5,52
4:35	6,59	5,17	5,88
4:45	6,85	5,38	6,12
4:55	6,85	5,38	6,12
5:05	7,13	5,61	6,37
5:15	7,70	6,35	7,02
5:25	8,63	6,85	7,74
5:35	9,99	6,85	8,42
5:45	12,46	7,42	9,94
5:55	16,41	8,63	12,52
6:05	29,35	10,81	20,08
6:15	42,64	14,32	28,48
6:25	46,60	19,50	33,05
6:35	47,99	36,81	42,40
6:45	45,28	54,06	49,67

6:55	41,33	57,21	49,27
			<i>Continúa...</i>
<i>... Continuación</i>			
7:05	41,33	58,90	50,12
7:15	45,28	58,90	52,09
7:25	47,99	54,06	51,03
7:35	47,99	48,06	48,03
7:45	46,60	42,64	44,62
7:55	45,21	35,68	40,45
8:05	43,90	29,43	36,66
8:15	41,33	25,90	33,61
8:25	40,07	25,90	32,99
8:35	38,89	29,43	34,16
8:45	36,57	33,37	34,97
8:55	35,45	37,76	36,60
9:05	36,57	40,07	38,32
9:15	40,14	41,33	40,73
9:25	49,89	49,89	49,89
9:35	57,21	62,55	59,88
9:45	51,21	62,55	56,88
9:55	42,64	54,06	48,35
10:05	40,07	50,91	45,49
10:15	38,89	48,06	43,47
10:25	36,57	43,90	40,23
10:35	37,76	40,14	38,95
10:45	42,64	36,57	39,61
10:55	48,06	35,45	41,75
11:05	54,06	35,45	44,75
11:15	54,06	33,37	43,71
11:25	43,18	29,43	36,30
11:35	36,57	27,57	32,07
11:45	38,89	29,43	34,16
11:55	40,07	33,37	36,72
12:05	37,76	35,45	36,60
12:15	33,37	36,57	34,97
12:25	33,37	38,89	36,13
12:35	35,45	37,76	36,60
12:45	37,76	33,37	35,56
12:55	40,07	27,00	33,54
13:05	40,07	23,47	31,77
13:15	38,89	24,24	31,56
13:25	34,49	25,05	29,77
13:35	31,29	26,71	29,00
13:45	31,29	27,57	29,43

13:55	33,37	29,43	31,40
			<i>Continúa...</i>
<i>... continuación</i>			
14:05	35,45	31,29	33,37
14:15	33,37	29,43	31,40
14:25	31,29	27,57	29,43
14:35	34,49	27,57	31,03
14:45	37,70	29,43	33,56
14:55	40,14	33,37	36,75
15:05	43,90	37,76	40,83
15:15	42,64	41,33	41,99
15:25	37,76	42,58	40,17
15:35	33,37	46,74	40,06
15:45	31,29	52,45	41,87
15:55	31,29	55,60	43,44
16:05	31,29	54,06	42,68
16:15	32,30	45,49	38,90
16:25	33,31	41,33	37,32
16:35	32,30	42,58	37,44
16:45	31,29	40,14	35,71
16:55	31,29	37,70	34,49
17:05	32,30	34,49	33,40
17:15	34,38	33,37	33,87
17:25	35,45	36,57	36,01
17:35	33,37	30,21	31,79
17:45	31,29	23,47	27,38
17:55	29,43	23,47	26,45

Anexo 2: Registro Fotográfico



Anexo 2.1. Medición del caudal



Anexo 2.2 Tomo de muestra compuesta



Anexo 2.3 Fase de construcción del SBR



Anexo 2.4. SBR en funcionamiento de los ciclos



Anexo 2.5 Muestras aguas residuales de entrada y salida



Anexo 2.6. Calibración y toma de datos con el multiparámetro contsor



Anexo 2.7. Reacción tratamiento del SBR

Anexo 3. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Ailil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Didoroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Anexo 4. Análisis Físico- Químicos emitidos por EMAPA-I en Noviembre del 2019 de la entrada, SBR y salida



LABORATORIO EMAPA-I

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

REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS	Incertidumbre expandida con K=2	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
			MER19-021		
Demanda química de oxígeno (DQO) (*)	Método HACH 8000	mg/l	1214	N/A	-
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) (*)	Standard Methods 5210 D	mg/l	360	N/A	-

Análisis Físico-Químicos de la Salida

INFORME DE ENSAYO		FUR 7.8-01 Revisión 01
Informe de Ensayo Nro: IERE19-037		Pág. 1 de 2
<p style="text-align: center;">Cliente: Dirección: Otavalo</p>		
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	⁽¹⁾ LIMITE 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 Tratamiento

INFORME DE ENSAYO		FUR 7.8-01 Revisión 01
Informe de Ensayo Nro: IERE19-036		Pág. 1 de 2
<p style="text-align: center;">Cliente: Dirección: Otavalo</p>		
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⁾ LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE
			MER19-022		
Sólidos Suspensos Totales (*)	Standard Methods 2540D	mg/l	178,95	N/A	-
Sólidos Suspensos 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⁾ LIMITE 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 Salud