



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



**FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Escuela Profesional de Ingeniería Química

TESIS

Efecto del tiempo de residencia en el tratamiento de aguas residuales

domesticas en un UASB cilíndrico

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTADO POR:

Bach. Rosa Yoreli Saavedra Flores.

Bach. Claudia Elizabeth Tejada Reyes.

ASESORADO POR:

Dr. Sebastian Huangal Sheineder – 0000 0002 4864 1857

Lambayeque – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E

INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Escuela Profesional de Ingeniería Química

TESIS

Efecto del tiempo de residencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas en un UASB cilíndrico

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero(a) Químico(a)

PRESENTADO POR:

Bach. Rosa Yoreli Saavedra Flores.

Bach. Claudia Elizabeth Tejada Reyes

APROBADA ANTE EL SIGUIENTE JURADO:

Dra. Tarcila Amelia Cabrera Salazar

Presidente

Dr. Cesar Alberto Garcia Espinoza

Secretario

Dr. Cesar Augusto Monteza Arburu

Vocal

Dr. Sebastián Huangal Scheineder

Asesor

DEDICATORIA

A mis padres Saavedra Vega William y Flores Bazán Rosa, por su apoyo incondicional y desear lo mejor en cada paso por este camino difícil y arduo de la vida, porque su presencia y persona han ayudado a construir y forjar la persona que ahora soy. Muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye éste.

Rosa Yoreli Saavedra Flores

A Dios por regalarme la vida, permitirme tener una familia incondicional y darme la oportunidad para mi crecimiento personal y profesional. A mis padres y hermanos quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo. Espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.

Claudia Elizabeth Tejada Reyes

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a nuestro asesor de Tesis Ing. Sebastián Huangal Scheineder por compartir sus conocimientos y orientación en la elaboración y término de ésta.

Al señor Floriano Saucedo técnico del laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias por su apoyo en cada parte experimental realizada.

A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, sobre todo a la Facultad de Ingeniería Química, por haberme dado una oportunidad más para poder estudiar y ser una profesional.

ÍNDICE

<i>DEDICATORIA</i>	<i>iii</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>iv</i>
<i>ÍNDICE</i>	<i>v</i>
<i>LISTA DE TABLAS</i>	<i>vii</i>
<i>LISTA DE FIGURAS</i>	<i>viii</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>ix</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>ix</i>
<i>I. INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
<i>II. FUNDAMENTO TEÓRICO</i>	<i>2</i>
2.1 ANTECEDENTES	2
2.2 BASE TEÓRICA CIENTÍFICA	3
2.2.1 Aguas Residuales Domésticas	3
2.2.2 Características de las Aguas Residuales Domésticas	4
2.2.3 Tratamiento Anaerobio de las Aguas Residuales Domésticas	8
2.2.4 Teoría de Funcionamiento de los Reactores UASB	9
2.2.5 Criterio de Diseño del Reactor UASB	11
2.2.6 Formas del Reactor UASB	17

III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	19
3.2 EQUIPOS Y MATERIALES DE LABORATORIO.....	19
3.3 PROCEDIMIENTO	20
3.3.1 Construcción del reactor UASB	20
3.3.2 Acondicionamiento del Inoculo	20
3.3.3 Arranque y operación del UASB	21
3.3.4 Eficiencia de remoción de DBO5 y SST	21
IV. RESULTADOS.....	22
V. DISCUSIÓN	29
V. CONCLUSIONES	32
VII. RECOMENDACIONES.....	33
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Ventajas y Desventajas del Sistema UASB</i>	11
Tabla 2 <i>Características físicas y biológicas del agua residual doméstica proveniente del dren 3000, Chiclayo</i>	22
Tabla 3 <i>Valores de DBO5 obtenidos después del tratamiento de agua residual doméstica con un DBO5 inicial de 213,70 mg/L empleando diferentes THR en un reactor UASB cilíndrico</i>	24
Tabla 4 <i>Porcentajes de remoción de DBO5 obtenidos después del tratamiento de agua residual doméstica con un DBO5 inicial de 213,70 mg/L empleando diferentes THR en un reactor UASB cilíndrico</i>	24
Tabla 5 <i>Valores de SST obtenidos después del tratamiento de agua residual doméstica con un SST inicial de 213,70 mg/L empleando diferentes THR en un reactor UASB cilíndrico</i>	26
Tabla 6 <i>Porcentajes de remoción de SST obtenidos después del tratamiento de agua residual municipal con DBO5 inicial 213,70 mg/L empleando diferentes THR en un reactor UASB cilíndrico</i>	26
Tabla 7 <i>Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de las variables “tiempo de residencia” y “eficiencia de remoción de DBO5”- Programa IBM-SPSSv20</i>	28
Tabla 8 <i>Subconjuntos homogéneos DBO5</i>	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 <i>Reactor anaerobio de flujo ascendente – UASB Fuente: Morillo y Fajardo, 2005..</i>	
.....	10
Figura 2 <i>Formas de los reactores UASB Fuente: Haandel & Letinga, 1994</i>	17
Figura 3 <i>Recoleccion de muestra del Dren 3000 Chiclayo - San Jose</i>	19
Figura 4 <i>Reactor UASB cilindrico</i>	22
Figura 5 <i>Variacion de la eficiencia de remocion de DBO5 en funcion del tiempo de residencia (TRH) de un reactor UASB cilindrico Fuente: Elaboracion propia</i>	25
Figura 6 <i>Variacion de la efectividad de remocion de SST en funcion del tiempo de residencia (TRH) de un reactor UASB cilindrico Fuente: Elaboracion propia</i>	27

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de tiempo de residencia sobre la disminución de DBO en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un reactor UASB cilíndrico. Para la operación se ensayaron cuatro tiempos de residencia 5, 10, 15 y 20 horas, utilizando 10 litros de agua residual doméstica obtenida del dren 3000 (Laguna de San José) con valores de 213,70 mg/L DBO5 y 83,60 mg/L SST, el cual fue alimentado al reactor UASB logrando eficiencias de remoción de DBO5 de 61,87% para 10 horas y 63,08% para 15 horas.

Con respecto a la eficiencia de remoción de SST fue de 57,54% para 10 horas.

Se concluye que el tiempo de residencia de 10 horas es el óptimo para operar el reactor anaerobio cilíndrico (UASB).

De acuerdo con los valores obtenidos se muestra que el reactor UASB alcanzó una eficiencia promedio de remoción de 61,87 % de DBO5 y el 57,54 % de SST trabajando con un tiempo de residencia de 10 horas.

Palabras claves: Aguas residuales, Anaeróbico, Lodos, Remoción, Tiempos de residencia.

ABSTRACT

The purpose of this research is to evaluate the effect of residence time on the BOD decrease in the treatment of domestic wastewater using a cylindrical UASB reactor. For the operation, four residence times 5, 10, 15 and 20 hours were tested, using 10 liters of domestic wastewater obtained from drain 3000 (Lagoon de San José) with values of 213,70 BOD5 and 83.60 mg/L TSS, which was fed to the UASB reactor achieving BOD5 removal efficiencies of 61.87% for 10 hours and 63,08% for 15 hours.

Regarding the removal efficiency of SST, it was 57,54% for 10 hours.

It is concluded that the residence time of 10 hours is the optimum to operate the cylindrical anaerobic reactor (UASB).

According to the values obtained, it is shown that the UASB reactor reached an average removal efficiency of 61,87% of BOD5 and 57,54% of SST working with a residence time of 10 hours.

Keywords: Wastewater, Anaerobic, Sludge, Removal, Residence times.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú sufre la contaminación de sus recursos hídricos a raíz de los derrames de petróleo, minería ilegal, vertimiento de aguas residuales municipales y agrícolas. En el caso de las regiones costeras, estas se ven principalmente afectadas por aguas residuales municipales. (Espinoza y Tinoco, 2017). Teniendo en cuenta que los niveles de descarga de aguas residuales domésticas están directamente relacionadas con el crecimiento de la población, se espera que los flujos serán mayores en los próximos años.

Al respecto Zhang et. al. (2018). Publican su investigación de “Tratamiento anaeróbico de aguas residuales domésticas en un UASB a 10°C y dinámica de la comunidad microbiana”; logrando una eficiencia de remoción de DQO disminuyendo a $51,5 \pm 5,5\%$ a 10 °C.

El reactor UASB consta de un tanque, se le introduce afluente por debajo uniformemente distribuido y en la parte superior existe un sistema de separador de gas. A medida que el agua ingresa al reactor, a través de un manto de lodo biológico, convierte la materia orgánica (MO) en biogás.

Por esta razón, el problema de investigación es la siguiente: ¿De qué manera afecta el tiempo de residencia sobre el nivel de DBO después del tratamiento de aguas residuales domésticas en un UASB cilíndrico? La aplicación de diferentes tiempos de residencia tendrá un efecto positivo sobre la disminución de DBO de las aguas residuales tratadas en un UASB cilíndrico y con la finalidad de: Evaluar el efecto de tiempo de residencia sobre la disminución de DBO en el tratamiento de aguas residuales domésticas en un reactor UASB cilíndrico; determinar el contenido de DBO de las aguas residuales domésticas que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales Pampa Perros, San José; construir el reactor UASB cilíndrico respetando características de diseño; probar diferentes tiempos de residencia durante la operación del reactor UASB y evaluar el rendimiento del proceso a los diferentes tiempos de retención.

Otro problema potencial es que gran parte de las aguas residuales domesticas se utilizan para regar los cultivos antes de ser vertidas al mar. Por lo tanto, es necesario tratarlas antes de verterlas al mar para reducir la carga contaminante y obtener agua apta para el riego de cultivos.

Esta investigación se da a conocer la necesidad de implementar una mejor alternativa para el tratamiento de aguas residuales domesticas a través del reactor UASB cilíndrico, permitiendo mejorar la eficiencia de remoción de materia orgánica, los cuales se pueden implementar con alto porcentaje de eficiencia y a bajo costo.

II. FUNDAMENTO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES

A continuación, se presentan algunas investigaciones relacionadas al tema que son de países extranjeros y de Perú. Estos antecedentes permiten establecer el rango de valores que debe tomar la variable independiente.

Crombet (2016), evalúa el tratamiento anaerobio de las aguas residuales de una comunidad universitaria Antonio Maceo de la Universidad de Oriente (Colombia); alcanzando una disminución de las bacterias coliformes desde 72×10^5 NMP/100 mL hasta 16 NMP/100 mL. La clarificación realizada con alumbre genera que el efluente presente una mejor presentación visual. Se puede elegir entre una de las tecnologías alternativas (UASB o laguna anaerobia) para la disminución de la carga orgánica en las aguas domésticas de la comunidad universitaria debido a los resultados semejantes que se obtienen con ambos equipos de tratamiento.

Huaytalla & Cruz (2016), tratan las aguas domésticas provenientes de la comunidad de Carapongo - Lurigancho, Chosica”, obteniendo. Los parámetros utilizados para evaluar la eficiencia del reactor UASB con temperaturas de 20 a 40°C, turbiedad de 4,63 NTU con respecto al inicial de 80 NTU, DBO 20,4 mgO₂/L*d con respecto al inicial de 200 mgO₂/L*d, DQO 28,80

mgO₂/L*d con respecto al inicial de 290 mgO₂/L*d y con un tiempo de retención de 10 a 24 horas, por lo que concluyeron que el tratamiento mediante el sistema Reactor UASB tuvo una eficiencia de remoción de 79.2 %.

Salazar et al. (2019) publican su investigación “Análisis de la eficiencia de reactores UASB en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales”. Analizaron la eficiencia de los reactores UASB durante un plazo de nueve años. La PTAR trató un caudal promedio de 500 L/s, logrando eficiencia de disminución de (DBO₅) de 66%, de (DQO) de hasta 52 % y de sólidos suspendidos (SS) de 60 %.

Gandarillas et al., (2017) en su trabajo Revisión de las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante reactores UASB en Cochabamba-Bolivia comparadas con las de Latinoamérica, India y Europa, obtuvieron una remoción de hasta 85 % de DQO con temperaturas bajas de 13 a 17 °C y de hasta 74 % de DQO con temperaturas altas de 19 a 28 °C.

Guevara y Claudio (2018), evalúan la calidad de efluente de los reactores UASB en las instalaciones del Centro de investigación de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería, en la ciudad de Lima, Perú. Alcanzó eficiencias de remoción del 75,59% de DQO, 85,27% de DBO₅, 96,68% de SST y produjo un volumen promedio de biogás de 607,05 mlCH₄/día a una temperatura de 19,3°C y presión de 101,3 kpa con un TRH de 9,09 horas.

2.2 BASE TEORICA CIENTIFICA

2.2.1 Aguas Residuales Domésticas

Las aguas residuales domésticas se presentan en forma de un líquido turbio, grisáceo o amarillento, con olor pútrido, y contienen partículas suspendidas de sedimentos, heces, residuos

vegetales, tiras de papel y materiales sintéticos. Cuando más largo sea el colector que los conduce y más turbulento el flujo en el alcantarillado, más pequeñas serán las partículas en las aguas residuales.

La cantidad de aguas residuales domesticas es igual al agua consumida por el sistema de suministro menos el agua utilizada para cocinar, beber, regar el césped y el jardín. (Reyes, 2020, pp. 24-25).

Por su parte, el artículo 32° define

El Límite Máximo Permisible – LMP, como medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan el caudal o la emisión, que al ser superados causan o pueden causar daños a la salud humana y al medio ambiente (Ley 28611, 2010, pp. 6).

2.2.2 Características de las Aguas Residuales Domésticas

Características Físicas.

Temperatura. La medición de la temperatura es importante, debido a que muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura. La temperatura del agua afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción. (Metcalf & Eddy Inc., 2000).

“La temperatura óptima para lograr el desarrollo de la actividad bacteriana o microbiológica se sitúa entre el rango de los 25 y los 35° C, facilitando mucho el tratamiento biológico a cargo de los microorganismos presentes en el agua”.

(Vasquez, G., 2013; Metcalf & Eddy, 2000).

El aumento de la velocidad de las reacciones bioquímicas, como consecuencia de incrementos en la temperatura de las aguas superficiales, puede ocasionar una drástica disminución en la concentración del oxígeno disuelto. (Metcalf & Eddy, 2003).

Color. El color en aguas residuales domesticas es causado por solidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. (Metcalf & Eddy Inc., 2000). Si el color es gris oscuro o negro, se trata en general de aguasas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacterial bajo condiciones anaerobias. El oscurecimiento de las aguas residuales domesticas se da con frecuencia debido a la formación de varios sulfuros, en particular sulfuro ferroso. (Marquez y Martinez, 2011).

Olor. Las aguas residuales frescas tienen un olor característico desagradable, mientras que las aguas residuales sépticas tienen un olor muy ofensivo, generalmente producido por H_2S proveniente de la descomposición anaerobia de los sulfatos – sulfuros. (Metcalf & Eddy, 2003).

Sólidos. La presencia de solidos en el agua genera un aumento significativo de la turbidez al igual que la formación de depósitos por sedimentación en el fondo de los receptores, sin embargo, estos últimos promueven las condiciones anaerobias, el aumento de la salinidad y el incremento de la presión osmótica. (Bedia et al., 2014).

Características químicas.

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Una de las principales limitaciones de la prueba de la demanda química de oxígeno (DQO) es la imposibilidad para diferenciar entre la materia orgánica biológicamente biodegradable, es decir la

DBO y la materia orgánica no oxidable biológicamente, la DQO es una prueba que se complementa con la prueba de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) la cual es la prueba que realizan o ejercen los microorganismos, en este caso con la DQO se cuantifica toda la demanda realizada por toda la materia orgánica, es decir de una naturaleza biodegradable o no biodegradable por estos microorganismos. (Universidad de Antioquia, 2018).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). La determinación del parámetro está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. La importancia de esta prueba radica en que es un parámetro ambiental que da una medida del grado de contaminación. Medida en el afluente y efluente del reactor, además este importante parámetro permite calcular la remoción de contaminante que realiza el tratamiento del reactor. (CIDTA, 1992).

Características Biológicas.

Bacterias. Son microorganismo importantes en la descomposición y el proceso de estabilización de los compuestos, en donde se puede considerar reacciones químicas como el metabolismo en heterótrofas y autótrofas, por lo que Odar y Quiñones (2019) afirman que “Las bacterias autótrofas se nutren de compuestos inorgánicos, tomando la energía necesaria para sus biosíntesis a partir de la luz (bacterias fotosintéticas: familia *Thiorhodaceae*, *Chlorobiaceae*) o a partir de ciertas reacciones químicas (bacterias quimiosintéticas: *Nitrobacter*, *Nitrosomonas*, *Hydrogenomonas*, *Thiotrix*)” (p.12).

Las reacciones químicas de metabolismo en heterótrofas son las más importantes, según Odar y Quiñones (2019) quienes afirman que “por su necesidad de compuestos orgánicos para el carbono celular. Las bacterias autótrofas y heterótrofas pueden dividirse, a su vez, en anaerobias, aerobias, o facultativas, según su necesidad de oxígeno” (p.12).

Algas. En las muestras según Odar y Quiñones (2019) afirman que “son un valioso elemento porque producen oxígeno a través del mecanismo de la fotosíntesis. Las algas, al igual que sucede con otros microorganismos, requieren compuestos inorgánicos para reproducirse” (p.13). Considerando al anhídrido carbónico, nitrógeno y el fósforo como elementos relevantes.

Adicionalmente tienen relevancia otros elementos como el cobre y el hierro; Existe la probabilidad de ocurrir problemas en el proceso de reproducción, causado por la eutrofización del agua, por lo que Odar y Quiñones (2019) afirman que “se crean grandes colonias flotantes originando problemas a las instalaciones y al equilibrio del sistema. Los tipos más importantes de algas de agua dulce son: verdes (*Chlorophyta*), verdes móviles (*Volvocales euglenophyta*), verdiamarillas o marrón dorado (*Chrysophyta*) y verdiazules (*Cyanophyta*)” (p.13).

2.2.3 Tratamiento Anaerobio de las Aguas Residuales Domesticas

Crombet (2016), determina:

Las aguas residuales domésticas se tratan mediante la aplicación de una combinación procesos físicos, químicos y biológicos, principalmente para eliminar sólidos precipitables, disueltos y en suspensiones, materia orgánica, minerales, nutrientes y microorganismos patógenos. Los métodos físicos y químicos son

menos recomendables desde un punto de vista económico que los métodos biológicos, debido al suministro continuo de reactivos y el tiempo de funcionamiento que requieren.

La tecnología anaerobia para el tratamiento de aguas residuales se encuentra bien consolidada.

En general, podemos observar las ventajas e inconvenientes del tratamiento anaerobio”

Así mismo afirma que el tratamiento anaerobio tiene tres ventajas siendo la primera el “menor costo de instalaciones, no se requiere energía para aireación. En cambio, se produce energía en forma de metano”.

La segunda ventaja es “No es necesario suministrar oxígeno por lo que el proceso es más económico y menor requerimiento energético”

La tercera ventaja es “Se puede implementar en sistemas compactos que requieren menor área de terreno”.

Adicionalmente afirma que el tratamiento anaerobio tiene dos inconvenientes siendo la primera que “Requieren de un mayor tiempo de retención hidráulica”

El segundo inconveniente es “Mayor tiempo de aclimatación lo que impide el tratamiento de grandes volúmenes de aguas residuales y dificultades para tratar aguas residuales con bajas cargas orgánicas” (p.1).

El proceso anaeróbico se aplica a compuestos orgánicos, existiendo la probabilidad de ser eficiente (económico) para aguas residuales con alta biodegradabilidad (caso de las domésticas) por lo que durante las últimas décadas, la implementación del proceso anaeróbico ha presentado un aumento para el tratamiento de aguas residuales domésticas en regiones de clima cálido,

principalmente debido al ahorro de energía y los bajos costos de gestión de lodos, en análisis comparativo con los métodos clásicos (tratamiento aeróbico).

“De hecho, se ha informado una recuperación de energía potencial máxima de hasta 1.9 kWh/m³ por el tratamiento de la materia orgánica de las aguas residuales domésticas.” (McCarty et al., 2011, p.1).

Teoría de Funcionamiento de los Reactores UASB

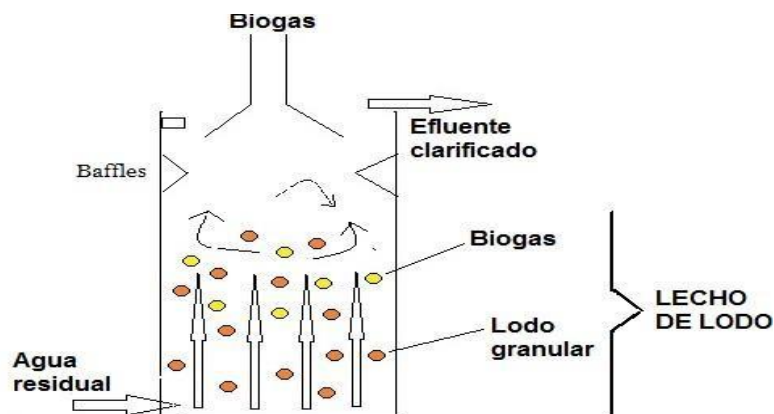
Morillo y Fajardo (2005) definen:

El UASB es relevante para la alta calidad del efluente producido y al relativo bajo costo del tratamiento de aguas residuales de baja y mediana carga orgánica; ha sido ampliamente aplicado también al tratamiento de aguas residuales complejas con alta carga orgánica como lixiviados. Sus conclusiones fueron derivadas de sus resultados de un pequeño número de experimentos, que a mayor escala como la mundial, facilita logros relevantes para la tecnología de este proceso.

El funcionamiento de estos reactores genera como consecuencia una ausencia de tecnología de control, acompañada de una moderada producción de residuos del proceso (lodos), menor consumo energético y producción de metano (combustible de alto poder calorífico), han establecido al reactor UASB como una opción de tratamiento para una amplia variedad de residuos líquidos (P.12). Ver Figura 2.

Figura 1

Reactor anaerobio de flujo ascendente – UASB



Nota. Adaptado de Morillo y Fajardo, 2005.

El UASB comparte un ambiente interno con el área de biogás. El objeto de estudio se trasporta por todas las áreas, incluso en el manto de lodos, en este apartado los riesgos orgánicos se transforman en biogás, el cual según abastecen de una adecuada mezcla en el lecho y se recolecta en las tres fases. Trabaja con altas concentraciones de biomasa del orden $20 - 30 \text{ kg biomasa} / \text{m}^3$ ($5\text{kgDQO}/\text{m}^3$) o mejores y con tiempos de retención hidráulica de 10 horas.

En un escenario de total funcionamiento, con un lodo activo, identifica que el lecho donde se encuentran las altas concentraciones de sólidos y el manto de lodos producido por el flujo ascensional del afluente a través del lecho por la mezcla que establece el gas producido en el lodo. Adicionalmente el generador de lodos es un área problemática, en donde elementos sedimentados y otros que se elevan para lograr gas. (Chuquitarqui y Velásquez, 2017, p.43).

Las ventajas y desventajas del sistema UASB se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Ventajas y Desventajas del Sistema UASB

Ventajas	Desventajas
----------	-------------

-
- | | |
|----------------------------------|--|
| • Elevada capacidad tratamiento. | • Proceso de granulación difícil de controlar |
| • Bajo THR | • La granulación depende del agua |
| • Alta eficacia eliminación DQO | • La puesta en marcha puede requerir fango granular |
| • Bajo requerimiento energético | • Sensible a sobrecargas orgánicas |
| • No necesita soporte | • Útil para agua sin sólidos suspendidos |
| • Fácil construcción | • Ca^{+2} y NH^{4+} inhiben la granulación |
| • Gran experiencia práctica | • El rearranque puede provocar la flotación de los gránulos |
| | • Requiere grandes superficies |
-

Nota. Fernández y Seghezzo (2015).

Los reactores UASB presentan un divisor de gas/líquido/sólido (GLS) en el lado top. El separador GLS consiste en un domo de recolección que debe garantizar condiciones óptimas para la sedimentación de las partículas que escapan del lecho de lodo, evitando su lavado del sistema. Por lo tanto, el tiempo de retención de sólidos puede mantenerse alto en el reactor a pesar de un menor tiempo de retención hidráulica (TRH). El separador GLS también garantiza una recolección y liberación adecuadas del biogás producido a través del domo (Biernacki et al., 2014, p.1).

2.2.5 Criterio de Diseño del Reactor UASB

Veiga (2015) determina:

“Un factor relevante de este tipo de reactor según su capacidad para desarrollar y mantener un lodo con una actividad elevada y con excelentes características de sedimentación. Para lograr esto, se deben tomar varias medidas con relación al diseño y operación del sistema”

Factores relevantes de la arquitectura de estos UASB que procesan derivados orgánicos tienen según criterios específicos que deben ser adoptados para ciertos tipos de efluentes

industriales según la concentración del agua residual de entrada, la presencia de sustancias tóxicas, la cantidad de sólidos inertes y biodegradables, así como otros aspectos (p.6)

Características del agua residual domésticas.

Arocutipa, 2013 afirma:

“Las aguas residuales pueden provenir tanto de casas de habitación (aguas residuales domesticas), de empresas (aguas residuales de origen industrial o especiales) o de una mezcla de ambas (aguas mixtas), todas ellas poseen características físicas, químicas y biológicas diferentes”, razón por lo que existe una normativa con sus parámetros.

“Las aguas residuales domésticas, por lo general, no contienen sustancias peligrosas como son los metales pesados, tóxicos fuertes, entre otros; pero si una elevada cantidad de agentes infecciosos y patógenos, dado que su prominencia es de los servicios sanitarios”, siendo aguas con elevados niveles de nitrógeno y amonio (excretas), permitiendo su procesamiento a través de transformaciones biológicas. (p.25)

Carga Hidráulica Volumétrica y Tiempo de Retención Hidráulico.

Veiga (2015) define:

La carga hidráulica volumétrica es el volumen de agua residual que recibe el reactor por día, por unidad de volumen. El tiempo de retención hidráulico es el recíproco de la carga hidráulica volumétrica.

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

(1)

Dónde:

CHL = carga hidráulica volumétrica ($\text{m}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{d}$)

Q = caudal (m^3/d)

V = volumen total del reactor (m^3)

$$t = \frac{1}{CHL} \quad (2)$$

Dónde: t = tiempo de retención hidráulico (d), o tiempo de residencia

$$t = \frac{V}{Q} \quad (3)$$

“Estudios experimentales demostraron que la carga volumétrica hidráulica no debería superar el valor de $5.0 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{d}$, lo que es equivalente a un tiempo mínimo de retención hidráulico de 4.8 horas.”

“El diseño de reactores con valores mayores de carga hidráulica (o menores tiempos de retención hidráulica) puede ser perjudicial para la operación del sistema con relación a los siguientes aspectos:”

“Pérdida excesiva de biomasa que sufre lavado con el corriente efluente, debido a elevadas velocidades de flujo ascendente en las zonas de digestión y de sedimentación”

“Tiempo de retención de sólidos reducido (edad de lodos), y su consecuente descenso del grado de estabilización de los sólidos”

“La posibilidad de fallo del sistema, cuando el tiempo de residencia de la biomasa en el sistema es más corto que la velocidad de crecimiento.”

“Por lo tanto, conociendo el caudal de la corriente de entrada y asumiendo un cierto tiempo de retención hidráulico de diseño, el volumen se puede calcular del siguiente modo:”

$$V = Q \cdot t \quad (4)$$

“Velocidad de Carga Orgánica. La velocidad de carga orgánica se define como la cantidad de materia orgánica aplicada diariamente al reactor, por unidad de volumen:”

$$L_v = \frac{Q \times S_0}{V} \quad (5)$$

Dónde:

L_v = velocidad de carga orgánica (kg DQO/m³*d)

Q = caudal (m³/d)

S_0 = concentración de sustrato en el influente (kg DQO/m³)

V = volumen total del reactor (m³)

“Así, conociendo el caudal y la concentración de agua residual en el influente, y asumiendo una velocidad de carga orgánica de diseño (L_v), el volumen del reactor puede calcularse del siguiente modo:”

$$V = \frac{Q \times S_0}{L_v} \quad (6)$$

“Velocidad de Carga Biológica (Velocidad de Carga de Lodos). La velocidad de carga biológica o de lodos se refiere a la cantidad de material orgánica aplicada diariamente al reactor, por unidad de biomasa presente:”

$$L_s = \frac{Q \times S_0}{M} \quad (7)$$

Se recomienda que la tasa de carga biológica inicial al arranque de un reactor anaeróbico este entre 0.05 y 0.15 kg DQO/kg SV.d, dependiendo del tipo de efluente tratado. Estas cargas deben incrementarse gradualmente, dependiendo de la eficiencia del sistema. La tasa máxima de carga biológica depende de la actividad metanogénica del lodo.

“Velocidad ascendente y altura del reactor. La velocidad ascendente del líquido se calcula a partir de la relación entre el flujo del influente y la sección transversal del reactor, según sigue:”

$$v = \frac{Q}{A} \quad (8)$$

Dónde:

v = velocidad ascendente (m/hora)

Q = caudal (m³ /hora)

A = área transversal de la sección del reactor, en este caso el área superficial (m²) o alternativamente, de la relación entre la altura y el TRH:

$$v = \frac{Q \times H}{V} = \frac{H}{t} \quad (9)$$

Donde:

H = altura del reactor (m)

La velocidad máxima de la corriente ascendente en el reactor depende del tipo de lodo presente y de las cargas aplicadas. Para reactores que operan con flujo continuo de lodos o con tasas de carga orgánica que van de 5.0 a 6.0 kg DQO/m³.d, las tasas promedio de flujo ascendente deben estar entre 0.5 y 0.7 m/hora, con picos temporales de hasta 1.5 y 2.0 m/hora que pueden soportarlo durante 2 ó 4 horas. Para reactores con lodos granulares, las velocidades de flujo más altas pueden ser considerablemente mayores, consiguiendo 10 m/hora.

Eficiencia del Reactor UASB. La eficiencia de eliminación de DQO y DBO se ven significativamente afectadas por el tiempo de retención hidráulica del sistema, siendo entre el 40 y el 70% la eliminación de DQO y entre el 45 y el 90% la eliminación de DBO. Las concentraciones de DQO y DBO en el flujo final se pueden estimar utilizando el siguiente método: (p.7)

$$C_{effl} = S_0 - \frac{ExS_0}{100} \quad (10)$$

Dónde:

Cefft = Total de concentración DBO o DQO en el efluente (mg/L)

S0 = Total de concentración DBO o DQO en el influente (mg/L)

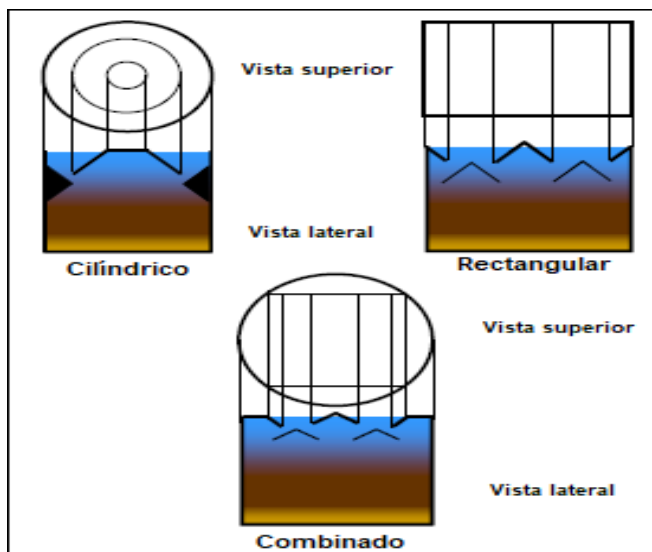
Ex_e = Eliminación de eficiencia DBO o DQO (%)

2.2.6 Formas del Reactor UASB

En general existen tres formas geométricas del reactor UASB: cilíndrico, rectangular y una combinación de cilíndrico/rectangular.

Figura 2

Formas de los reactores UASB



Nota. Haandel & Lettinga, (1994)

“Dadas los mismos materiales de construcción, los reactores cilíndricos tienen una mayor estabilidad que los rectangulares. La ventaja principal del UASB cilíndrico es hidrodinámica, porque da la menor posibilidad de la formación de zonas muertas”.

“Dependiendo del tamaño, su construcción puede ser más difícil, de modo que la forma cilíndrica es mayormente usada solo para reactores pequeños.”

Si se requieren varios reactores para una planta de tratamiento, las formas rectangulares tienen la ventaja de que los diferentes compartimientos se pueden planificar adyacentes, compartiendo así una pared entre dos compartimentos y, en consecuencia, ahorrando material de construcción. Como los reactores cuadrados proporcionan una relación óptima entre la longitud de la pared y la superficie tratada, son el modelo de construcción rectangular más económico. Es posible una mezcla entre una forma cilíndrica para la pared exterior y una forma rectangular para el sistema de recolección. En general, los reactores UASB de un volumen inferior a 300 m³ generalmente presentan forma circular, mientras que los reactores

más grandes que estos se construyen principalmente en forma rectangular.

(Haandall & Lettinga, 1994, p.1)

III. Materiales y Métodos

3.1 POBLACION Y MUESTRA

3.1.1 Población

Agua residual doméstica del Departamento de Lambayeque

3.1.2 Muestra

10 litros de agua residual domestica del dren 3000 (Chiclayo-San José)

Figura 3

Recolección de muestra del Dren 3000 Chiclayo-San José



3.2 EQUIPOS Y MATERIALES DE LABORATORIO

Balanza analítica: con capacidad de 0 a 100 g. Precisión 0.001 g

Reactor UASB (construido por los tesistas)

pH-metro

Termómetro de -10- 160°C

Equipo para determinación de DBO5

Refrigerador

Secador con regulador de temperatura

Crisoles

Probetas

Cronometro

Muestreador de polietileno

3.3 PROCEDIMIENTO

3.3.1 Construcción del reactor UASB

Se construyó un reactor UASB de con tubería de PVC de 4 pulgadas de diámetro.

La altura total fue de 1.20 m, lo cual dio un volumen total de 9.73 litros. Se coloca una tubería de ½ pulgada para la salida de agua procesada a una altura de 1.00 m lo cual dio un volumen de trabajo de 8.11 litros. A los 90 cm de altura se colocó un embudo invertido con la tubería de salida para los gases, también de ½ pulgada. Para la alimentación del lodo-semilla o inoculo se colocó una tubería de 1 pulgada a una altura de 20 cm de la base para asegurar un volumen de lodo de 20% de, quedando un volumen neto de líquido en operación de 6.5 litros. También se colocó tubería de 1 pulgada para la purga de lodo en caso sea necesario.

El agua residual domestica alimentada constó de un tanque de plástico de 30 litros para hacer tres repeticiones por cada tiempo de residencia o tiempo de retención hidráulico. Para la alimentación del UASB se colocó en la parte inferior una tubería de plástico que estaba conectada al tanque de alimentación. El sistema es un circuito cerrado para evitar la entrada de aire.

3.3.2 Acondicionamiento del Inoculo

Se obtuvo lodo estabilizado de una de las lagunas de estabilización anaeróbica primaria de San José, en el centro poblado Ciudad de Dios. El lodo se obtuvo a 2.0 m de profundidad con un muestreador de polietileno de 1 litros de capacidad, garantizando condiciones anaeróbicas. Se

recolecto dos litros. Se almaceno bajo refrigeración (8°C) en un recipiente plástico hasta su uso final.

Antes de su uso, se adiciono 1.62 litros de lodo-semilla y 5 litros de agua residual domestica teniendo cuidado que tanto el inculo como el agua residual tengan la temperatura ambiental antes de su uso. Siempre manteniendo condiciones anaeróbicas se dejó que los lodos se activen durante 24 horas.

La cantidad de inculo empleado representa el 20% del volumen total del reactor, es decir 1.62 litros.

3.3.3 Arranque y operación del UASB

Después de dejar que el lodo inoculado al reactor se active por 24 horas, se comenzó a alimentar el agua residual del tanque de 30 litros. Los flujos calibrados con probeta y cronometro se fijaron en 22 mL/min, 11.0 mL/min, 7.2 mL/min y 5.4 mL/min que corresponden a tiempos de retención hidráulica de 5 hr, 10 hr, 15 hr y 20 hr respectivamente.

Para cada tiempo de residencia se tuvo que esperar una hora adicional para tomar muestra y analizar DBO5 y solidos suspendidos totales.

3.3.4 Eficiencia de remoción de DBO5 y SST

Tanto para la demanda biológica de oxígeno como también para los sólidos suspendidos totales, la eficiencia de remoción se expresó como el porcentaje de remoción de cualquiera de los parámetros controlados. Matemáticamente es igual a:

$$\text{Se define como:} \quad \% \text{ de remoción} = \frac{\text{valor inicial} - \text{valor final}}{\text{valor inicial}} * 100 \quad (11)$$

IV. RESULTADOS

4.1 Caracterización del Agua Residual Doméstica

En la tabla 2 se muestra las características del agua residual del dren 3000

Tabla 2

Características físicas y biológicas del agua residual doméstica proveniente del dren 3000, Chiclayo.

Propiedad	Valores
Temperatura	22.4 °C
DBO5	213.70 mg/L
Sólidos Suspendidos totales, SST	83.6 mg/L
pH	7.43
Conductancia	1265.5
Coliformes Totales	5.43×10^7 NMP/100 mL

Nota. Elaboración propia

4.2 Eficiencia de Remoción de Dbos

Figura 4

Reactor UASB cilíndrico



En la Tabla 3 se presenta los valores finales de DBO5 después del tratamiento en el reactor UASB cilíndrico. En la tabla 4 se presenta la eficiencia de remoción de DBO5 después del tratamiento, expresada como porcentaje de remoción y calculada con la fórmula 11. En la Figura 5, se presenta la variación de la eficiencia de remoción de DBO5 en función del tiempo de residencia o tiempo de retención hidráulica-TRH.

Tabla 3

Valores de DBO₅ obtenidos después del tratamiento de agua residual municipal con un DBO₅ inicial de 213.70 mg/L empleando diferentes THR en un reactor UASB cilíndrico.

DBO₅ mg/L-después del tratamiento				
Ensayo	TRH-5 horas	TRH-10 horas	TRH-15 horas	TRH-20 horas
Nº 1	130.48	90.61	85.81	109.27
Nº 2	124.97	92.59	88.04	103.85
Nº 3	133.01	89.42	90.06	101.29
Promedio	129.49	90.87	87.97	104.80

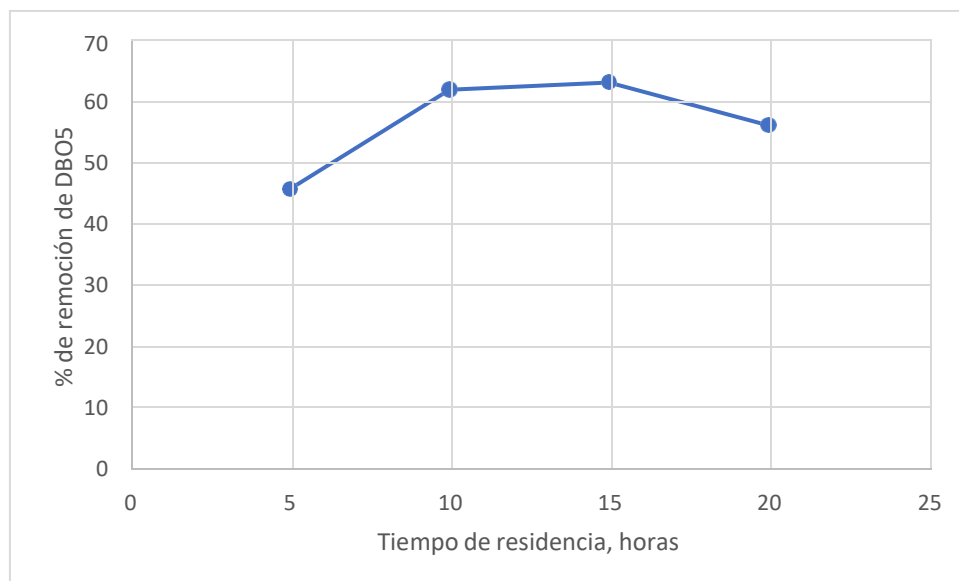
Nota. Elaboración propia

Tabla 4

Porcentajes de remoción de DBO₅ obtenidos después del tratamiento de agua residual municipal con un DBO₅ inicial de 213.70 mg/L empleando diferentes THR en un reactor UASB cilíndrico.

Porcentaje de remoción de DBO₅, %				
Ensayo	TRH-5 horas	TRH-10 horas	TRH-15 horas	TRH-20 horas
Nº 1	45.25	61.98	63.99	54.15
Nº 2	47.56	61.15	63.05	56.42
Nº 3	44.18	62.48	62.21	57.49
Promedio	45.66	61.87	63.08	56.02

Nota. Elaboración propia

Figura 5*Porcentajes de remoción de DBO5*

Nota. Indica la variación de la eficiencia de remoción de DBO5 en función del tiempo de residencia (TRH) de un reactor UASB cilíndrico

Eficiencia de Remoción de Sólidos Suspendidos Totales

En la Tabla 5 se presenta los valores finales de SST después del tratamiento en el reactor UASB cilíndrico. En la tabla 6 se presenta la eficiencia de remoción de SST después del tratamiento, expresada como porcentaje de remoción y calculada con la fórmula 11. En la Figura 6, se presenta la variación de la eficiencia de remoción de Sólidos Suspendidos Totales en función del tiempo de residencia o tiempo de retención hidráulica-TRH.

Tabla 5

Valores de SST obtenidos después del tratamiento de agua residual municipal con un SST inicial de 213.70 mg/L empleando diferentes THR en un reactor UASB cilíndrico.

SST después del tratamiento (mg/L)				
Ensayo	TRH-5	TRH-10	TRH-15	TRH-20
	horas	horas	horas	horas
Nº 1	42.2	35.1	34.2	33.3
Nº 2	43.6	34.6	35.1	32.7
Nº 3	41.3	36.8	36.4	33.9
Promedio	42.37	35.50	35.23	33.30

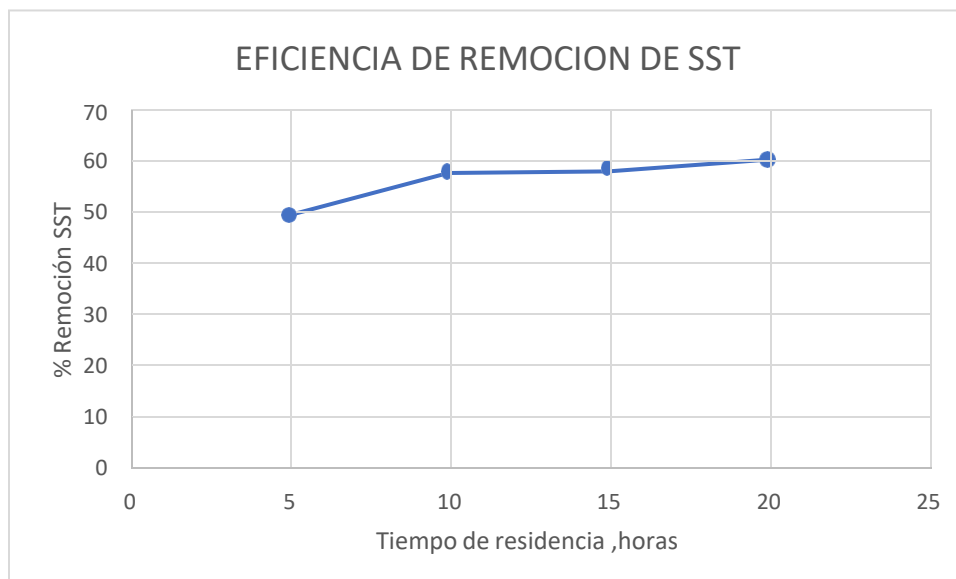
Nota. Elaboración propia

Tabla 6

Porcentajes de remoción de SST obtenidos después del tratamiento de agua residual municipal con un DBO5 inicial de 213.70 mg/L empleando diferentes THR en un reactor UASB cilíndrico.

Porcentaje de remoción de SST, %				
Ensayo	TRH-5	TRH-10	TRH-15	TRH-20
	horas	horas	horas	horas
Nº 1	49.52	58.01	59.09	60.17
Nº 2	47.85	58.61	58.01	60.89
Nº 3	50.60	55.98	56.46	59.45
Promedio	49.32	57.54	57.85	60.17

Nota. Elaboración propia

Figura 6*Porcentaje de remoción de SST*

Nota. Variación de la eficiencia de remoción de SST en función del tiempo de residencia (TRH) de un reactor UASB cilíndrico.

Análisis Estadístico

En la tabla 7 se presentan los resultados del análisis de varianza que determina si la variable independiente (tiempo de residencia) tiene efecto sobre la variable dependiente (eficiencia de remoción de DBO₅). El análisis se realizó con el programa IBM-SPSS V20.

Tabla 7

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de las variables “tiempo de residencia” y “eficiencia de remoción de DBO5” – Programa IBM-SPSS v20.

				95% del intervalo de confianza para la media		
DBO ₅	Suma de cuadrados		G	Media cuadrática	Valor F	Valor p
Entre grupos	569,29		3	189,740	106,33	0,000
Dentro de grupos	14,27		8	1,74		
Total	583,43		11			
15 HORAS	3	63,0833	0,89047	0,51411	60,8713	65,2954
20 HORAS	3	56,0200	1,70555	,98470	51,7832	60,2568
Total	12	56,6592	7,28319	2,10248	52,0316	61,2867

Nota. Elaboración propia

Tabla 8

Subconjuntos homogéneos DBO5.

HSD Tukey ³	Subconjunto para alfa = 0.05		
TRH	N	1	2
5 HORAS	3	45,6633	
20 HORAS	3		56,0200
10 HORAS	3		
15 HORAS	3		
Sig.		1,000	,693

Nota. Elaboración propia

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000

V. DISCUSIÓN

Según la Tabla 2, por el contenido de DBO₅ y SST, el agua de ensayo corresponde a un agua medianamente contaminada. Los valores máximos admisibles (VMA) para un agua residual doméstica es de 500 mg/L y 500 mg/L para el DBO₅ y sólidos suspendidos totales (SST) respectivamente (D.S. N°021-2009-Vivienda).

La Tabla 3 presenta los valores de DBO₅ alcanzados después del tratamiento del agua residual municipal en el UASB cilíndrico con los cuatro tiempos de residencia (THR) ensayados. Para los THR de 10 y 15 horas se ha logrado valores debajo del límite máximo permisible para el efluente de un PTAR, que es de 100 mg/L, según D.S. N° 003-2010-MINAM. Para THR de 20 horas, el DBO₅ en el efluente fue de 104.8 mg/L, valor muy cercano al LMP, en cambio para THR de 5 horas el valor logrado está 29.49% por encima del LMP. Con los valores obtenidos de DBO₅ residual de DBO₅ respecto al valor inicial, y estos porcentajes se representan en la Figura 5.

Según la Tabla 4, para los THR que lograron alcanzar valores debajo del LMP para los PTAR el porcentaje de remoción, es decir la eficiencia del UASB logrado fueron en promedio 61.87 y 63.08% para 10 y 15 horas de THR, respectivamente. Para los THR de 20 horas y 5 horas, los porcentajes de remoción fueron 56.02 y 45.66%, respectivamente.

Según las Tablas 3 y 4, y la Figura 5 se tiene un comportamiento con un punto máximo de remoción del DBO₅. Con un TRH de 5 horas no se alcanzará valores por debajo del LMP de un PTAR y la eficiencia de remoción es muy baja (45.66%). Este comportamiento se debería a que este valor de TRH está muy cerca del TRH mínimo teóricamente requerido para este tipo de reactor, por lo tanto, el flujo empleado para este tiempo de residencia fue muy elevado, lo que ocasionaría que el agua residual esté pasando muy rápido y no da tiempo para la debida cadena de reacciones que se realiza durante una digestión anaerobia. Para los TRH de 10 y 15 horas, según

el análisis estadístico son subconjuntos homogéneos, es decir la eficiencia de remoción es igual, por lo que de aplicarse este proceso se recomendaría utilizar un promedio de los dos valores, es decir 12.5 horas, tiempo suficiente para lograr un buen contacto entre el agua residual domestica que ingresa y los lodos activos que se encuentran en la parte inferior del reactor. Con 20 horas de TRH se observa una ligera disminución del porcentaje de remoción del DBO_5 , pasando de 63.08 a 56.02 mg/L. Esta disminución se debería a que un flujo muy lento no crea la suficiente turbulencia para que los gránulos de lodo activado estén en íntimo contacto con el agua residual que ingresa, y no se estaría formando el manto de lodos en la capa superior, que es el principio de funcionamiento de este tipo de bioreactor. Recordar que el reactor UASB significa “reactor anaerobio de flujo ascendente” y que la formación de este manto está en relación directa a la TRH, tanto que a TRH bajos es difícil de formar por demasiada turbulencia, y a TRH altos el manto se forma, pero no asciende por la baja velocidad del ingreso del agua residual, disminuyendo la eficiencia del reactor (Reino et al., 2018). Lo dicho se comprueba con la gráfica de la Figura 5, la cual es una curva típica donde existe un pico, y que para este caso estaría situado entre 10 y 15 horas.

Las eficiencias de remoción logradas para los TRH de 10 y 15 horas fueron en promedio 61.87 y 63.08% respectivamente. Estos valores son similares a los hallados en otros estudios sobre el tratamiento de aguas residuales domesticas en UASBs de forma rectangular. Por ejemplo, Crombet et al (2016) alcanzaron remociones de hasta 70% pero con aguas residuales domesticas de un campus universitario con un DBO_5 inicial de 112 mg/L, a diferencia que en este proyecto las aguas residuales domesticas empleadas del dren 3000 de Chiclayo tiene un DBO_5 de 213.70 mg/L y además contienen residuos industriales, cuyos componentes tóxicos haría disminuir la eficiencia del UASB cilíndrico empleado en el presente proyecto. Huaytalla & Cruz (2016)

lograron eficiencias de remoción de DBO5 cercanas a 80% operando un UASB de sección rectangular con 200 mg/L de DBO inicial y un TRH de 18 horas, la gran diferencia es que como inóculo emplearon lodos granulares de una UASB comercial, que según Rico et al. (2017) da mejores resultados que el lodo compactado de laguna anaeróbica utilizada en el presente proyecto.

Los valores de SST obtenidos en el agua residual después del tratamiento en el UASB cilíndrico, y que se presentan en la Tabla 5, están por debajo del LMP para los efluentes de PTAR, que según D.S. N° 003-2010-MINAM, puede ser hasta 150 mg/L. La mayor retención de SST se logró con los TRH de 10, 15 y 20 horas. Incluso, hay una similitud con los valores de SST en el efluente para los tres TRH dando valores comprendidos entre 33.30 a 35.50 mg/L. Según los valores de la Tabla 6 y la Figura 6 la eficiencia de remoción de SST del reactor UASB fue similar para tres tiempos de residencia, es decir 10, 15 y 20 horas, dando valores de 57.54 a 60.17%. En cambio, para el TRH de 5 horas, la eficiencia fue de solo 49.32%. Este comportamiento a TRH de 5 horas se debería también a que está muy cercano al valor mínimo teórico de 4 horas requerido para este tipo de equipo, con lo cual no se tendría el tiempo suficiente para que las partículas suspendidas que el manto de lodos formado en la capa inferior del reactor UASB.

El análisis de varianza de la variable independiente (tiempo de retención hidráulica-TRH) con la variable dependiente (% de remoción de DBO), y que se presenta en la Tabla 7, demuestra que si existe efecto del tiempo de residencia o tiempo de retención sobre la eficiencia de degradación del DBO5. Además, la prueba de homogeneidad indica que el mismo resultado se obtendría con TRH de 10 horas o 15 horas. Por lo que se recomienda operar con un valor promedio de 12.5 horas.

Finalmente, los valores de DBO5 y SST logrados después del tratamiento con TRH de 10 o 15 horas, están por debajo de los LMP (Límites Máximos Permisibles) para efluentes de PTAR

de aguas residuales, por lo tanto, pueden disponer para su disposición en cuerpos de agua. De requerirse el uso del agua tratada para otros fines como por ejemplo agua de regadío de parques y jardines o piscinas, se deberá dar un tratamiento adicional al efluente del reactor UASB.

VI. CONCLUSIONES

Se determinó que los métodos anaeróbicos representan la mejor alternativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas, donde el más eficiente es el reactor UASB, los cuales se pueden implementar con alto porcentaje de eficiencia y a bajo costo.

Los valores obtenidos de DBO5 y SST después del tratamiento en el reactor UASB cilíndrico y con un TRH de 10 horas, se encuentran por debajo de los LMP para un efluente de una PTAR de aguas residuales domésticas (D.S. N° 003-2010-MINAM), lo cual indica que son favorables para el desarrollo de lodos.

Los reactores UASB dependen de ciertos parámetros para aumentar o disminuir su eficiencia, como son el ph, carga orgánica, temperatura y el TRH.

El aumento de la tasa de carga orgánica aumenta la eficiencia del reactor UASB.

VII. RECOMENDACIONES

Utilizar un TRH de 12.5 horas para lograr mejores resultados durante la operación de un UASB cilíndrico de tamaño industrial.

Instalar un sistema de postratamiento para mejor la calidad obtenida con el reactor UASB para su reúso o disposición para regadío de parques o jardines, por ejemplo.

Conseguir lodo granulado de un UASB industrial en operación para evaluar su rendimiento en el UASB utilizado en la presente investigación.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arocutipa, J. (2013). *Evaluación y propuesta técnica de una planta de tratamiento de aguas residuales en Massiapo del distrito de Alto Inambari - Sandia*. [Tesis Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú]
<http://tesis.unap.edu.pe/handle/UNAP/4516>
- Biernacki, P., Steinigeweg, S., Paul, W. & Brehm, A. (2014). Eco-Efficiency Analysis of Biomethane Production. *Ind. Eng. Chem. Res.* 53, 19594–19599.
<http://dx.doi.org/10.1021/ie502800r>
- Chuquitarqui, Y., & Velásquez, M. (2017). *Diseño y Construcción de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (R.A.F.A) para el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas de la Ciudad de Puno*. [Tesis Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú]
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4499>
- CIDTA. (1992). *Centro de Investigacion y Desarrollo Tecnico del Agua*. Universidad de Salamanca. <http://www.usal.es/centro-de-investigacion-y-desarrollo-tecnologico-del-agua-cidta>
- Congreso de la Republica de Perú. (2010). *Limites Maximoss Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales*.
https://diariooficial.elperuano.pe/Normas?_ga=2.203898128.1872461372.1667179816-859972006.1667179816
- Crombet, S. (2016). *Evaluación del tratamiento anaerobio de las aguas residuales de una comunidad universitaria*. *Rev. Colomb. Biotecnol*, 18 (1), 49-56.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.57715>

- Espinoza, J., y Tinoco, R. (2017). *Tratamiento de aguas residuales mediante un sistema anaerobio para comunidades rurales en el sitio San Jose de la parroquia Bellavista*.
- Fernández, P. y Seghezzo, L. (2015). *Diseño de Reactores Upflow Aerobic Sludge Blanket (UASB)*. Cuaderno Tecnológico N° 15. Proyecto Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local. Inti-Unión Europea. www-biblio.inti.gob.ar/gsd/collect/inti/index/assoc/HASHb8e4/035b6549.dir/doc.pdf
- Gandarillas, V., Saavedra, Escalera, R. y Montoya R. (2017). Revisión de las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante reactores UASB en Cochabamba-Bolivia comparadas con las de Latinoamérica, India y Europa. *Revista Investigación & Desarrollo*, 17 (1), 83-98. <https://doi.org/10.23881/idupbo.017.1>
- Guevara H., y Claudio A. (2018). *Influencia de las tasas de recirculación variable en la calidad de efluente de los reactores UASB para el tratamiento de aguas residuales domésticas* [Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería Lima, Perú] <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/15734>
- Haandel, A. & Lettingaa, G. *Anaerobic sewage treatment*. A practical guide for regions with a hot climate. <https://research.wur.nl/en/publications/anaerobic-sewage-treatment-a-practical-guide-for-regions-with-a-h>
- Huaytalla, R. & Cruz, M. (2016). *Eficiencia del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (UASB) a escala piloto en el Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas provenientes de la comunidad de Carapongo – Lurigancho*. *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 2 (1), 7-23. <https://doi.org/10.17162/rictd.v2i1.628>

- Marquez, M y Martinez, S. (2011). Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB): Antologia. *Centro Tecnológico Aragon*. Ciudad de Mexico.
[http://aula.aguapedia.or/pluginfile.php/11619/mod_resource/content/\(\)/RAFA.pdf](http://aula.aguapedia.or/pluginfile.php/11619/mod_resource/content/()/RAFA.pdf)
- McCarty, P.L., Kim, J. & Bae, J. (2011). *Domestic wastewater treatment as a net energy producer- Can this be achieved?* Environmental Science & Technology, 45, 7100–7106.
<https://doi.org/10.1021/es2014264>.
- Metcalf & Eddy Inc. (2000). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. Editorial McGraw-Hill:España.pp. 70.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse* (4ta ed.). Nueva York: McGraw-Hill Publishing Company, Ltd. pp. 1334
- Morillo, L. & Fajardo, E. (2005). Estudio de los reactores UASB para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario La Esmeralda. Tesis pregrado. Universidad Nacional de Colombia. Manizales. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3471>
- Odar, J. & Quiñones, P. (2019). *Diseño del plan de gestión ambiental de aguas residuales en la municipalidad distrital de Picsi, provincia de Chiclayo, región Lambayeque*. [Tesis de maestría, Universidad nacional de Trujillo-Perú]
<https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12976>

- Pacco, A., Vela, R., Miglio, R., Quipuzco, L., Juscamaita, J., Álvarez, C., Fernández, F. (2018). *Propuesta de parámetros de diseño de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales porcinas*. Scientia Agropecuaria, 9 (3), 381-391.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.03.09>
- Reino, C., Bartrolí, A., Prado, O. & Lytrass, C. (2018). *Design of the UASB and biogas upgrade*. Hydrousa. <https://www.hydrousa.org/wp-content/uploads/2020/01/HYDROUSA-Design-of-the-UASB-and-biogas-upgrade.pdf>
- Reyes, W. (2020). *Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del sistema MBBR en la provincia Caylloma-AQUAFIL Lima 2020* [Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Marcos, Perú]
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/15532>
- Salazar, L., Uribe, L., Gómez, L., y Zafra, C. (2019). Análisis de la Eficiencia de reactores UASB en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales. *Rev. Dyna*, 86, 319-326.
<https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.70332>
- Universidad de Antioquia. (2018). *Demanda Bioquímica de oxígeno - DBO5*.
<https://www.youtube.com/watch?v=YBIfsYMVNek&t=700s>
- Vasquez, G. (2013). Panorama del tratamiento de aguas residuales con tecnología anaerobia en la Costa Atlántica Colombia. [http://bdigital.unal.edu.co/49437/1/panorama del tratamiento de aguas residuales con tecnología anaerobia en la costa atlantica colombiana.pdf](http://bdigital.unal.edu.co/49437/1/panorama%20del%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20con%20tecnologia%20anaerobia%20en%20la%20costa%20atlantica%20colombiana.pdf)

Veiga, M. (2015). Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB). Ficha Técnica Informativa para el Tratamiento de efluentes en Plantas de la Industria Textil. Universidad de La Coruña. España.

<https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Reactor+anaerobio+de+flujo+ascendente+%28UASB%29.pdf/939a21c0-1c0a-46f7-2e6a-d3b2febe7f26>

Apéndice

Determinación de los flujos volumétricos en el UASB cilíndrico para los cuatro tiempos de residencia:

Diámetro de tubería: 4 pulgadas

Altura total: 1.20 m

Volumen:
$$\frac{\pi \cdot \text{Dia}^2}{4} \cdot H$$

Volumen total: 9.73 litros

Altura de salida de agua procesada: 1.00 m

Volumen de trabajo: 8.11 litros

Altura de lodos: 20 cm desde la base

Volumen de lodos: 1.621 litros (20% del volumen de trabajo)

Volumen efectivo de trabajo: $8.11 - 1.621 = 6.489$ litros = 6.5 litros

Flujo volumétrico:
$$v := \frac{V}{\tau}$$

Donde:

V: volumen efectivo

τ : tiempo de residencia, TRH

Para TRH = 5 horas

$v = 21.667 \text{ mL/min}$ se toma 22 mL/min

Para $\text{TRH} = 10$ horas

$v = 10.833 \text{ mL/min}$ se toma 11 mL/min

Para $\text{TRH} = 15$ horas

$v = 7.222 \text{ mL/min}$ se toma 7.2 mL/min

Para $\text{TRH} = 20$ horas

$v = 5.417 \text{ mL/min}$ se toma 5.4 mL/min

ANEXO 1

Figura 1: Evidencia fotográfica dren 3000-Laguna San José



Figura 2: Evidencia fotográfica dren 3000-Laguna San José



ANEXO 2: Decreto supremo 003-2010 MINAM

Límites Máximos Permisibles para efluentes de aguas residuales domésticas



de impuestos o de derechos aduaneros de ninguna clase o denominación.

Artículo 5°.- La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

469446-S

AMBIENTE

Aprueba Límites Máximos Permisibles
para los efluentes de Plantas de
Tratamiento de Aguas Residuales
Domésticas o Municipales

DECRETO SUPREMO
N° 003-2010-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el numeral 32.1 del artículo 32° de la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permissible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 121-2009-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el año fiscal 2009 que contiene dentro de su anexo la elaboración del Límite Máximo Permissible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de aguas domésticas;

Que el artículo 14° del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobado mediante Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, establece que el proceso de evaluación de impacto ambiental comprende medidas que aseguren, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental, los Límites Máximos Permisibles y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo a la legislación ambiental vigente; del mismo modo,

implica necesariamente y según corresponda, la actualización de los planes originalmente aprobados al emitirse la Certificación Ambiental;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1°.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Artículo 2°.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.

- **Límite Máximo Permissible (LMP):** Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

- **Protocolo de Monitoreo:** Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.

Artículo 3°.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR

3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

3.2 Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.

3.3 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

Artículo 4°.- Programa de Monitoreo

4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.

Artículo 5°.- Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

Artículo 6°.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

Artículo 7°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

Única.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en coordinación con el MINAM, aprobará el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente dispositivo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciséis días del mes de marzo del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFUEENTES DE PTAR

PARAMETRO	UNIDAD	LMP DE EFUEENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Acidez y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Designan responsable de brindar información pública y del contenido del portal de internet institucional del Ministerio

RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 036-2010-MINAM

Lima, 16 de marzo de 2010

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013, se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

Que, la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, cuyo Texto Único Ordenado fue aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM, tiene por finalidad promover la transparencia de los actos del Estado y regular el derecho fundamental del acceso a la información consagrado en el numeral 5 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú;

Que, el artículo 3° de la citada Ley, señala que el Estado tiene la obligación de entregar la información que demanden las personas en aplicación del principio de publicidad, para cuyo efecto se designa al funcionario responsable de entregar la información solicitada;

Que, asimismo, de acuerdo a lo previsto en el artículo 5° de la mencionada Ley, las Entidades Públicas deben identificar al funcionario responsable de la elaboración de los Portales de Internet;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 070-2008-MINAM, se designó a la señorita Cristina Miranda Beas, como funcionaria responsable de brindar información que demanden las personas, y responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet del Ministerio del Ambiente;

Que, por razones del servicio y considerando la renuncia al cargo que desempeñaba en el Ministerio del Ambiente la servidora citada en el considerando precedente, resulta necesario designar al personal responsable de brindar información en el marco de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y responsable del Portal de Internet Institucional;

Con el visado de la Secretaría General y de la Oficina de Asesoría Jurídica;

De conformidad con lo establecido en el Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM; y el Decreto Supremo N° 007-2008-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente.

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Designar al abogado Hugo Millo Ortega Polar como Responsable de brindar la información pública del Ministerio del Ambiente y Responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet Institucional, de conformidad con el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM.

Artículo 2°.- Todos los órganos del Ministerio del Ambiente, bajo responsabilidad, deberán facilitar la información y/o documentación que les sea solicitada como consecuencia de lo dispuesto en el artículo precedente, dentro de los plazos establecidos en la normatividad vigente.

Artículo 3°.- Disponer que la presente Resolución se publique en el Diario Oficial El Peruano y en el Portal de Internet del Ministerio del Ambiente.

Artículo 4°.- Notificar la presente Resolución a todos los órganos del Ministerio del Ambiente, al Órgano de Control Institucional y al responsable designado.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente



ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL N°082-2022-UINV-FIQIA

Siendo las 4 pm del día 30 de Diciembre del 2022, se reunieron vía plataforma virtual, <https://meet.google.com/qbc-kyjn-gct>, los miembros de jurado evaluador de la Tesis Titulada: “**Efecto del tiempo de residencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas en un UASB cilíndrico.**”, designados por Resolución N° 422-2022-D-FIQIA-VIRTUAL, de fecha 05/12/22, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformados por los siguientes docentes:

- ✓ Dra. Tarcila A. Cabrera Salazar, Presidente
- ✓ Dr. César Alberto García Espinoza, Secretario
- ✓ Dr. César Augusto Monteza Arbulú, Vocal

La tesis fue asesorada por del Dr. Sebastian Huangal Scheineder, nombrado por Decreto N° 028-2021-VIRTUAL-UINV-FIQIA, del 08/04/21. El acto de sustentación fue autorizado por RESOLUCION No 435-2022-D-FIQIA-VIRTUAL del 20 diciembre de 2022.

La Tesis fue presentada y sustentada por las Bachilleres: **Claudia Elizabeth Tejada Reyes y Rosa Yoreli Saavedra Flores**; y tuvo una duración de 50 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva, otorgándole por UNANIMIDAD el calificativo de 17, (DIECISIETE) en la escala vigesimal, mención BUENO. Por lo que quedan APTA (s) para obtener el Título Profesional de INGENIERA QUÍMICA de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 5.18 pm se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

Firmas

Presidente

Dra. Tarcila A. Cabrera Salazar

Secretario

Dr. Cesar Alberto García Espinoza

Vocal

Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulu

Asesor

Dr. Sebastian Huangal Scheineder

CONSTANCIA DE APROBACION DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, Dr. Ing. Sebastián Huangal Scheineder, Docente/Asesor de tesis/Revisor del trabajo de investigación, del (los) estudiante (s).

- Saavedra Flores Rosa Yoreli
- Tejada Reyes Claudia Elizabeth

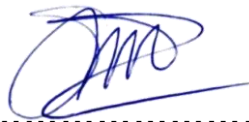
Titulada:

“Efecto del tiempo de residencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas en un UASB cilíndrico”

Luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un índice de similitud de **20%** verificable en el reporte de similitud en el programa Turnitin.

La suscrita analizó dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Lambayeque, 14 de diciembre del 2022.



.....
Dr. Ing. Sebastián Huangal Scheineder

FIRMA DE ASESOR (A)

Efecto del tiempo de residencia

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

2

www.wateractionplan.com

Fuente de Internet

2%

3

docplayer.es

Fuente de Internet

2%

4

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

doczz.es

Fuente de Internet

1%

6

alicia.concytec.gob.pe

Fuente de Internet

1%

7

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

8

revistas.unal.edu.co

Fuente de Internet

1%

9

repositorio.cientifica.edu.pe

Fuente de Internet

1%



Dr. Ing. Sebastián Huangal Scheineder

FIRMA DE ASESOR (A) |

10	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	1 %
11	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	1 %
12	worldwidescience.org Fuente de Internet	< 1 %
13	dspace.ucacue.edu.ec Fuente de Internet	< 1 %
14	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
15	revistas.upeu.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
16	patents.google.com Fuente de Internet	< 1 %
17	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
18	issuu.com Fuente de Internet	< 1 %
19	es.scribd.com Fuente de Internet	< 1 %
20	NELSON RODRÍGUEZ VALENCIA. "Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del	< 1 %



Dr. Ing. Sebastián Huangal Scheineder

FIRMA DE ASESOR (A) |

café utilizando macrófitas acuáticas.",
Universitat Politecnica de Valencia, 2009

Publicación

21	repositorio.uncp.edu.pe	< 1 %
	Fuente de Internet	

22	Submitted to Universidad Manuela Beltrán Virtual	< 1 %
	Trabajo del estudiante	

23	repositorio.unc.edu.pe	< 1 %
	Fuente de Internet	

24	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	< 1 %
	Trabajo del estudiante	

25	revistamvz.unicordoba.edu.co	< 1 %
	Fuente de Internet	

26	www.scielo.org.co	< 1 %
	Fuente de Internet	

27	1library.co	< 1 %
	Fuente de Internet	

28	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	< 1 %
	Trabajo del estudiante	

29	repositorio.uap.edu.pe	< 1 %
	Fuente de Internet	

30	repositorio.unasam.edu.pe	< 1 %
	Fuente de Internet	



Dr. Ing. Sebastián Huangal Scheineder

FIRMA DE ASESOR (A) |

31	www.cepis.org.pe Fuente de Internet	< 1 %
32	Jonathan Gustavo Castillo Sánchez, Jessica Estefanía Chimbo Solórzano. "Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (<i>Eisenia foetida</i>) en aguas residuales domésticas para zonas rurales", Enfoque UTE, 2021 Publicación	< 1 %
33	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	< 1 %
34	repositorio.udl.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
35	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
36	vdocumento.com Fuente de Internet	< 1 %
37	www.slideserve.com Fuente de Internet	< 1 %
38	www.tdx.cat Fuente de Internet	< 1 %
39	m.exam-10.com Fuente de Internet	< 1 %
40	www.cocéf.org Fuente de Internet	< 1 %



Dr. Ing. Sebastián Huangal Scheineder

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 10 words

Excluir bibliografía

Activo



Dr. Ing. Sebastián Huangal Scheineder

FIRMA DE ASESOR (A) |



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Rosa Saavedra Flores
Título del ejercicio: Efecto del tiempo de residencia
Título de la entrega: Efecto del tiempo de residencia
Nombre del archivo: TESIS_FINAL_CORREGIDA-QUIMICA_11-12-22_1.docx
Tamaño del archivo: 1.68M
Total páginas: 45
Total de palabras: 7,785
Total de caracteres: 42,545
Fecha de entrega: 14-dic.-2022 09:28a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega... 1981106663



UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"
FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Escuela Profesional de Ingeniería Química



TESIS

"Efecto del tiempo de residencia en el tratamiento de aguas residuales
domesticas en un UASB cilíndrico"

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO(a) QUÍMICO(a)

PRESENTADO POR:

Bach. Rosa Yoreli Saavedra Flores.
Bach. Claudia Elizabeth Tejada Reyes.

ASESORADO POR:

Dr. ING. SEBASTIÁN HUANGAL SCHEINER

Lambayeque - Perú

2022

Dr. Ing. Sebastián Huangal Scheineder
FIRMA DE ASESOR (A) |