

Tratabilidad de un efluente procedente de la planta piloto de leche UNALM, aplicando un reactor UASB

Treatability of an effluent from the UNALM milk pilot plant, applying a UASB reactor

Recibido: 8 de Noviembre del 2021 | Aceptado: 24 de Diciembre del 2021

Edson Javier Morales Chuquimantari¹

¹ *Investigador UNALM, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.
Grado académico actual: Magister en Ingeniería Ambiental – Universidad de Valladolid – España
Correo electrónico: edson.morales.ch@gmail.com*

Resumen

Esta investigación fue realizada con el fin de evaluar la tratabilidad del efluente generado por la planta piloto de leche UNALM con un reactor UASB, la cual hizo posible tener una alternativa de tratamiento para mitigar el efecto de la contaminación producido por el vertimiento de la planta de leche. Se construyó un reactor UASB a escala laboratorio en la cual se trabajó con una mezcla de tres inóculos de diferentes procedencias. El efluente de la planta de leche fue colectado en un tanque ecualizador el cual luego de regular el pH fue la fuente de alimentación para el reactor; además tuvo un sistema de recirculación para mejorar la eficiencia. El tratamiento se dividió en la etapa de arranque, en la cual se buscó la aclimatación de los microorganismos alimentando al reactor a concentraciones bajas de Demanda Química de Oxígeno en adelante DQO, previamente colectado en un tanque ecualizador por medio de una muestra simple y la etapa de operación donde se trabajó con una muestra compuesta colectada en el tanque ecualizador la cual fue representativa de un día de producción. La DQO fue el parámetro de referencia para medición de eficiencia de tratamiento, se obtuvo un valor promedio de 74,3 % y 77,9% en la etapa de arranque y operación respectivamente. Además se trabajó con un caudal promedio de alimentación de 75,3 L/día, TRH promedio de 2.8 días, velocidad ascensional promedio de 0,191 m/h y VCO de entre 0,107 a 0,910 Kg DQO/(m³ x día).

Palabras clave: Demanda Química de Oxígeno, Concentración, Eficiencia de Tratamiento, Velocidad de Carga Orgánica.

Abstract

This investigation was conducted for the purpose of evaluate the treatability of the effluent generated by the pilot plant milk UNALM with UASB reactor, which made it possible to have an alternative treatment to mitigate the effect of pollution caused by the dumping of the plant milk. Reactor Upflow Anaerobic Sludge Blanket laboratory scale was constructed wherein It worked with a mixture of three inocula from different sources. The plant effluent milk was collected into a tank equalizer which pH was then regulate the power supply to the reactor; also had a recirculation system to improve efficiency. Treatment was divided into the start stage, wherein the acclimatization of the microorganisms was sought, feeding the reactor at low Chemical Oxygen Demand onwards COD, concentrations previously collected in an equalizer tank by means of a single sample and the operation stage where he worked with a composite sample collected in the equalizer tank which was representative of a production day. The COD was the reference parameter for measuring efficiency of treatment, an average value of 74,3% and 77,9% at the stage of starting and operating respectively was obtained. Also worked with an average feed flow rate of 75,3 L / day, TRH 2,8 days average speed ascension 0,191 m / h and VCO from 0,107 to 0,910 kg COD / (m³ x day).

Keywords: Chemical Oxygen Demand, Concentration, Treatment Efficiency, Volatile Organic Compounds.

Introducción

Durante los últimos años, se ha dado mucha importancia al tratamiento de aguas residuales, ya que el agua, es un recurso de gran importancia para los seres vivos y se encuentra cada vez más escasa por lo que debemos ser conscientes en cuidarla y reusarla adecuadamente (Delgado, 2018).

La industria de los alimentos, particularmente la elaboración de productos lácteos, vierte en sus efluentes concentraciones significativas de materia orgánica, estas contienen principalmente los sobrantes de los carbohidratos, proteínas y grasas provenientes de la leche (Demirel et al., 2004) y en menor cantidad, pero no menos importante material inorgánico. Dentro de los tipos de efluentes que vierte esta industria láctea el suero de queso, es uno de los que presenta valores altos de DQO, sus valores fluctúan en el rango de los 60,000 mg/L y 80,000 mg/L (Mockaitis et al.,2005).

En la actualidad nuestro país, cuenta con una ley de vertimientos de efluentes al alcantarillado (Mendes, 2015), la cual regulan parámetros físicos y químicos con Valores Máximos Admisibles (VMA) que no deben ser superados. De este modo tratar los vertimientos se convierte en una necesidad, evitando multas o cierres; así como

mitigando la contaminación y preservando la biodiversidad que se encuentra en los cuerpos de agua.

En el campo de la ingeniería medioambiental se utilizan diferentes tipos de tratamientos biológicos de aguas residuales. Las principales reacciones bioquímicas de la oxidación de materia orgánica se llevan a cabo en reactores que pueden ser clasificados como aerobios o anaerobios (Mendes, 2015). Los procesos biológicos anaerobios que se aplican en el tratamiento de aguas residuales en sistemas de biomasa en suspensión y biomasa fija (Mendes, 2015). Por ello el tratamiento anaerobio Reactor UASB es recomendable para efluentes de elevadas cargas orgánicas, permite la recuperación de cantidades significativas de energía en forma de gas metano (Ergüder et al., 2000), presenta un bajo costo por no utilizar bombas de aireación, genera poca cantidad de lodo en exceso y requiere de poco espacio.

La Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) cuenta con una planta piloto de leche, producto de esta actividad productiva se generan vertimientos orgánicos sin tratamiento. En esta investigación evaluó la tratabilidad del efluente generado por la planta, utilizando un reactor UASB.

El Reactor anaerobio de flujo ascendente de manto de lodos (UASB), fue introducido por el Dr. Gatze Lettinga en Holanda en los años 70 y extensivamente desarrollado por otros.

El UASB ha llegado a ocupar un importante lugar en el ámbito del tratamiento biológico de aguas residuales. Con numerosos avances realizados en el desarrollo del lodo, la manipulación microbiana, la hidrología del reactor, controles de aguas arriba, asociaciones con otros reactores para generar híbridos, etc., las aguas residuales biodegradables que varían en concentración y características ahora pueden ser tratadas con el UASB (Sankar et al, 2006).

Según Vela (2001) los parámetros típicos de operación del UASB son por lo general:

- Velocidad de carga orgánica en el rango de 5000 - 15000 mg DQO/L·día.
- Tiempo Hidráulico de Residencia en el rango de 0.2 - 2 días.
- Concentración de biomasa en el rango de 30000 - 40000 mg SSV/L.
- Velocidad ascensional en el rango de 0.5 - 1.3 m/h.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en la Planta Piloto de Leche de UNALM; se identificó las actividades productivas por etapas para definir el potencial de tratamiento anaerobio.

A. Caracterización del efluente de la planta piloto de leche: Se caracterizó el efluente, en un día de producción habitual (entre la 8:00 y 13:00 horas) tomando muestras cada media hora, se analizaron con los métodos de ensayos estipulados por el APHA (1998).

B. Diseño del Reactor UASB: Se construyó cumpliendo las características hidráulicas de diseño, como velocidades de carga orgánica de 5000 – 15000 mg DQO/L·día, tiempo retención hidráulico de 0,2 - 2 días, concentración de biomasa de 30000 - 40000 mg SSV/L y velocidad ascensional de 0,5 – 1,3 m/h, además de tener en cuenta estos parámetros es importante considerar una correcta distribución del afluente, una velocidad ascensional constante y una producción de gas metano (Vela, 2001). Las dimensiones y características del reactor UASB se muestran en la Figura 1. Las dimensiones fueron. Diámetro de Sedimentador (D1) = 0,46 m; Diámetro Cuerpo de Reactor (D2) = 0,355 m; Altura Sedimentador (H1) = 0,3 m; Altura de Cuerpo de Reactor (H2) = 1,51 m; Volumen de Sedimentador (V1) = 0,04985 m³ y Volumen de Cuerpo de Reactor (V2) = 0,14945 m³. En la Figura 2 se muestra el esquema del proceso de tratamiento planteado.

Figura 1

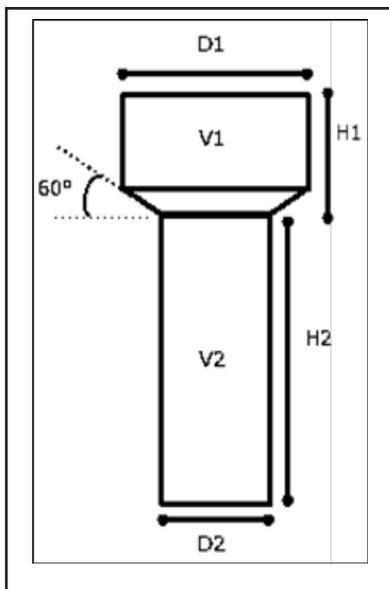
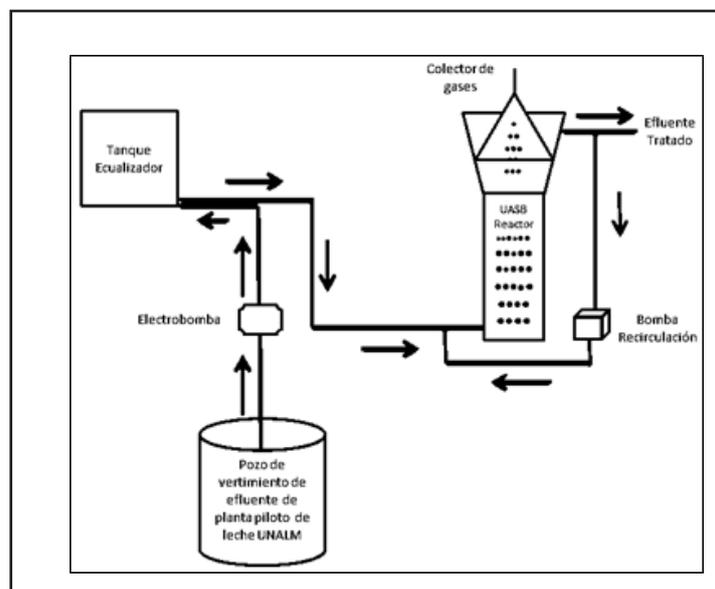
Dimensiones del Reactor*Fuente:* Elaboración Propia

Figura 2

Distribución del sistema de tratamiento*Fuente:* Elaboración Propia

Se colocó una cama piedras de 7 a 1 cm de diámetro progresivamente hasta una altura aproximada de 30 cm. Luego se colocó el lodo anaerobio, cuya procedencia del inoculo fue de los reactores de las empresas BACKUS y AMBEV (cerveceras); y del reactor UASB de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas de la Universidad de Ingeniería (CITRAR).

C. Arranque y Operación del reactor UASB: Para la etapa de arranque, se consideró un afluente de bajas concentraciones de químicos (limpieza de los equipos y ambientes), con presencia de materia orgánica más biodegradable; fue colectada y almacenada en el tanque ecualizador para la alimentación del reactor. Tanto en la etapa de arranque como de operación se monitorearon parámetros, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1

Monitoreo de parámetros para la etapa de arranque y operación

Parámetro	Diaria	Semanal	Descripción
DQO		X	Las muestras se tomaron en la entrada y salida del reactor durante la semana, regularmente los lunes y viernes.
pH	X		Se monitoreó todos los días de lunes a viernes.
Caudal	X		Se monitoreó y reajustó todos los días de lunes a viernes, porque se observó el taponamiento de la válvula de ingreso debido a que no se instalaron unidades de pretratamiento antes del reactor.

Fuente: Elaboración Propia

DQO: Demanda Química de Oxígeno; pH: Potencial de Hidrogeno

D. Procedimientos de análisis de datos: Para determinar la confiabilidad de los resultados obtenidos se hizo uso de la prueba estadística ShapiroWilk, para determinar el comportamiento y la normalidad de los datos obtenidos en función de la probabilidad. De otro lado los resultados también fueron evaluados por Inferencias Estadísticas (Rubio, 2000), para saber si éstos, brindan suficiente evidencia al ser asociados a la población de donde se extrajo la muestra y si se tuvo resultados similares a los obtenidos con los datos muestrales.

Resultados

A. Composición del efluente de la planta piloto de leche

Fue caracterizado al iniciar la etapa de arranque y operación, los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2*Caracterización del efluente de la etapa de arranque y operación*

Parámetro	Unidad	Arranque	Operación
DQO	mg O ₂ /L	547	1420
DBO	mg O ₂ /L	300	-
pH	und de pH	7,04	7,1
Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L	196	180
Temperatura	°C	22	22
Sulfatos	mg/L	488,4	-
Aceites y Grasas	mg/L	< 1	-
Sólidos Totales	mg/L	52528	6088
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	35450	833,3
Sólidos volátiles	mg/L	41804	5550
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/L	29100	766,6
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	22,23	90,72
Calcio *	mg/L	266,6	286,6
Magnesio *	mg/L	45,78	50,21
Sodio *	mg/L	263,4	451,7
Fósforo Total *	mg/L	3,927	13,88

Fuente: Ensayos realizados por los Laboratorio de Ing. Ambiental y J Ramon.

DQO: Demanda Química de Oxígeno; DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno; pH: Potencial de Hidrogeno

* Componentes analizados por el análisis de Barrido ICP óptico de metales EPA200.7 (1994).

La diferencia en los sólidos totales se dio por que en la etapa de arranque la planta piloto de leche produjo queso y leche embolsada, mientras que en la etapa de operación solo yogurt. Los parámetros que estuvieron por debajo de los valores máximos admisibles en la etapa de arranque fueron DQO, DBO, aceites y grasas (A y G), Sulfatos y temperatura; mientras que en la etapa de operación fueron A y G, Sulfatos y temperatura. Los parámetros que superaron en la etapa de arranque fueron SST y el magnesio; mientras que en la etapa de operación fueron DQO, SST y el magnesio.

Los resultados de la actividad metanogénica realizada a los 3 inóculos de la UNI, BACKUS y AMBEV fueron 0,05; 0,29 y 0,30 Kg DQO/(Kg SV·día) respectivamente.

B. Diseño, puesta en marcha y operación del reactor UASB

Se construyó un reactor UASB cumpliendo con las características hidráulicas de diseño y según la norma técnica de edificación OS.090 para tratamiento de aguas residuales, la normativa mencionaba tener una capacidad de tratamiento de alrededor de 40 L/día, en esta investigación fue de 75,3 L/día en promedio.

La velocidad ascensional en la norma es de $1 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ obteniéndose un valor menor, esto es debido al caudal promedio de arranque de $0,0753 \text{ m}^3/\text{día}$, el mismo que no se podría incrementar ya que el inóculo tiene una actividad de $0,05 \text{ Kg DQO}/(\text{g SV} \cdot \text{día})$ y no soportaría una carga másica elevada. Además, la tasa de recirculación está dada en función del caudal de recirculación ($0,01578 \text{ m}^3/\text{h}$) y del caudal de alimentación promedio ($0,00314 \text{ m}^3/\text{h}$), obteniendo un valor de 5,3 y una carga hidráulica aplicada de $0.01892 \text{ m}^3/\text{h}$.

En la Tabla 3 se puede observar el incremento de los sólidos volátiles en la biomasa, esto producto de la adaptación del lodo afluente; además este incremento afecta a la carga másica del reactor disminuyendo su valor por ser inversamente proporcional.

Tabla 3

Evolución del inóculo durante el tiempo de tratamiento

PARÁMETRO	UNIDAD	03/07/2012	19/10/2012	18/03/2013
Sólidos Volátiles Inóculo (Concentración de Biomasa)	g SV/L	4.508	13.036	18.627
Carga Másica de Alimentación	kg DQO/(Kg SV·día)	0.060 – 0.517	0.034 – 0.227	0.030 – 0.204

Fuente: Elaboración Propia

C. Monitoreo de parámetros de calidad del efluente

Las concentraciones de la alimentación variaron entre los 284 mg/L a 5010 mg/L de DQO, cuyos valores promedios en las etapas de arranque y operación fueron de 1156.38 mg/L y de 2699.85 mg/L respectivamente.

Los valores promedios de DQO de salida del reactor no superan el valor máximo admisible (1000 mg/L) estipulada en la ley de vertimientos a alcantarillado DS N° 021-2009 –Vivienda.

Se trabajó con TRH promedio de 2.7 días, a diferencia del trabajo realizado por Kalyuzhnyi, citado por Liviác (2013), quien trabajó con valores iniciales de 10.5 días, hasta reducirlos a 2.5 días. (Ver Figura 3). La eficiencia del tratamiento en el arranque tuvo valores constantes superiores al 70%, un indicativo para finalizar la etapa de arranque e iniciar la etapa de operación fue el obtener 4 valores de eficiencia superiores al 83%, este comportamiento indica que las bacterias del inóculo se aclimataron tal como se muestra en la Tabla 4. Otro indicador que describió la aclimatación del inóculo fue la carga másica (CM), la cual demuestra mantener eficiencias promedio mayores al 70% aun en el incremento de la concentración del sustrato de alimentación (CS) o DQO de entrada y la de los sólidos volátiles del inóculo. La carga másica del lodo tuvo una reducción en su valor promedio de 0.083, esto porque en ese rango de fecha se agregó los volúmenes de lodo de Backus y Ambev.

Tabla 4

Evolución de sólidos volátiles, DQO entrada y carga másica

PARÁMETRO	03/07/12 - 15/10/12	19/07/12 - 13/02/13	18/02/13 - 15/05/13
Sólidos Volátiles (g SV/L)	4.508	13.036	18.627
DQO Entrada Promedio (mg/L)	759.45	1679.64	3033.36
Carga Másica Promedio (Kg DQO/Kg SV·día)	0.201	0.083	0.104

Fuente: Elaboración Propia

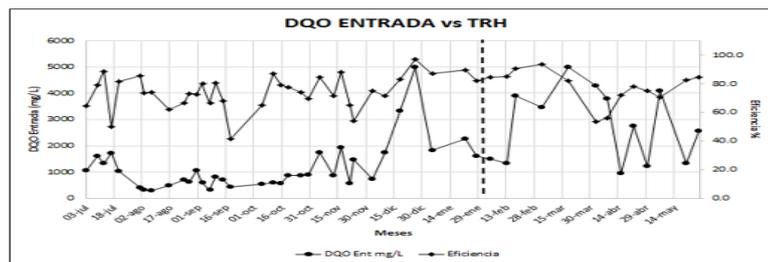
Se tomó como referencia valores de VCO empleados por Kalyuzhnyi citado por Liviác (2013), quienes trabajaron con valores menores de 3 Kg DQO/m³·día, en esta investigación se intentó aproximar a este valor, trabajando en un rango de 0.11 a 1.8 (Kg DQO/m³·día) durante toda la investigación; teniendo un valor promedio en la etapa de arranque de 0.43 Kg DQO/m³·día y en la etapa de operación de 0.91 Kg DQO/m³·día. La VCO se mantuvo casi constante durante los 4 primeros meses en la etapa de arranque, con valores por debajo de 0.65 Kg DQO/m³·día. Para la adecuación de las bacterias, los valores de la concentración se elevaron posteriormente.

En la etapa de operación, dos tomas de muestras (2 y el 8 de abril del 2013) dieron eficiencias de tratamiento menores al 70 %, esto como consecuencia del cierre del acceso al área de investigación por actividades festivas planta piloto de leche, en dichas fechas, agregándole el bicarbonato de sodio pasado 24 horas a la carga de la muestra compuesta en el tanque ecualizador. En las tomas posteriores se normalizó la colecta incrementándose a eficiencias de tratamiento por encima del 70% (Ver Figura 4).

La variabilidad de los valores del VCO en la etapa de operación, fue porque la concentración de la DQO por más que se colectara la muestra compuesta cada hora no se pudo controlar, estas tomas pudieron coincidir o no con el vertimiento del efluente de la planta de leche por no tener un horario fijo de producción en elaboración productos lácteos.

Figura 3

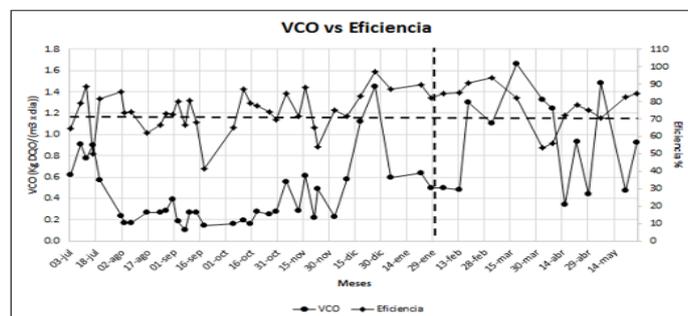
Comportamiento de la DQO de Entrada vs THR



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4

Comportamiento de la VCO de Entrada vs Eficiencia



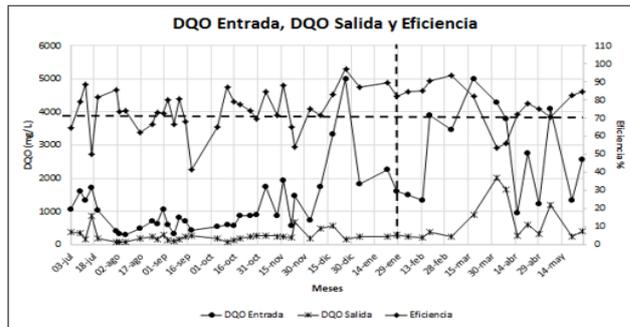
Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Figura 5, en la etapa de arranque se obtuvieron 10 datos por debajo del 70% de eficiencia de los 34 que se generaron y en la etapa de operación se obtuvieron 2 datos por debajo del 70% de eficiencia de los 14 que se generaron; esto se debió principalmente a las variaciones de los procesos productivos (producción irregular), por averías en los equipos de la Planta y por falta de acceso al área de investigación. Pese a esta irregularidad de la concentración de DQO a la entrada del reactor, tanto en la etapa de arranque como en la de operación, se pudieron obtener en promedio eficiencias en un 75,4%.

Las eficiencias alcanzadas en ambas etapas fueron constantes, teniendo así promedio de 74,3% de eficiencia de tratamiento en el arranque y un 77,9% de eficiencia de tratamiento en la operación.

Figura 5

Comportamiento de la DQO entrada, DQO salida y la eficiencia



Fuente: Elaboración Propia

Discusión

Se presume que esta disminución del pH propició la generación de ácido láctico y por consiguiente la presencia de ácido propiónico y butírico. Estos ácidos grasos se pueden presentar tanto en su forma ionizada, como en la no-ionizada, siendo las formas no ionizadas del acetato, propionato y butirato las más tóxicas para las arqueas metanógenicas (Van Lier et al, 1993; citado por Almeida, 2013). La acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) conlleva a la disminución del pH en el sistema, dicha caída de pH afecta la metanogénesis. (Almeida, 2011).

Los efluentes lácteos tienen unos pH generalmente neutros o ligeramente alcalinas, pero debido a la descomposición, tienden a acidificarse rápidamente a causa de la fermentación del azúcar de la leche, produciendo ácido láctico sobre todo en ausencia de oxígeno y la formación simultánea de ácido butírico, descendiendo el pH entre 4, 5 - 5, 0, (Parra et al., 2013).

Tawfika realizó un trabajo de investigación donde se evaluó la viabilidad de tratamiento de un efluente de una fábrica láctea mezclada con aguas residuales domésticas, usando una UASB como sistema de tratamiento; trabajó con TRH de 24 h y las tasas de carga orgánica van desde 1.9 hasta 4.4 Kg DQO/m³·día. El promedio de la DQO y la DBO5 de las concentraciones del efluente en el reactor UASB eran de 1385 y 576 mg/L, correspondiente al porcentaje de eliminación de 69% y 79%, respectivamente (Tawfika et al, 2007).

González evaluó la aplicación de la digestión anaerobia a los residuales de industrias lácteas, donde las variaciones programadas para los valores de la DQO en la alimentación del reactor y el TRH, permitieron experimentar en un rango de carga orgánica volumétrica aplicada, que varió desde 0.42 hasta 2.10 Kg DQO/m³·día. En los resultados obtenidos, la eficiencia resultó alta de 93.4 a 96.9%, además de su alta estabilidad lo que indica que se depura eficientemente este tipo de efluente residual (González et al, 1994).

Conclusiones

- Según los resultados obtenidos se puede concluir que es viable la tratabilidad del efluente generado por la Planta Piloto de Leche de la UNALM, haciendo uso de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB) principalmente por alcanzar eficiencias de tratamiento con valores promedio superiores al 70% en términos de DQO, con un 95% de confianza, por contener materia orgánica biodegradable disponible para el consumo de las bacterias y por generar tolerancia a la presencia de los químicos presentes en el efluente de la planta, tanto en la etapa de arranque como en la operación.
- Se construyó un reactor UASB el cual cumplió con las características hidráulicas de diseño, teniendo un caudal promedio de alimentación de 75,3 L/día, con un tiempo de retención hidráulico promedio de 2,8 días y una velocidad ascensional promedio de 0,191 m/h.
- La baja actividad del inóculo fue la principal limitante para el tratamiento del efluente de la planta de leche, evitando trabajar con mayores valores de velocidad de carga orgánica y menor tiempo de retención hidráulico.
- El inóculo se aclimató al efluente de la planta de leche porque mantuvo eficiencias de tratamiento superiores al 70%, esta eficiencia se mantuvo aun cuando la concentración de DQO de entrada fue elevada.
- Los valores promedios de DQO de salida del reactor obtenidos se encuentran por debajo del valor máximo admisible (1000 mg/L) determinada por la ley de vertimientos a alcantarillado DS N° 021-2009 –Vivienda.
- El pH fue un parámetro delicado, su valor debió ser estrictamente controlado en el tanque ecualizador para mantenerlo alrededor de 7 y así evitar la presencia de Ácido Láctico responsable de la generación de acidez y promover la presencia de Ac. Butírico y Propiónico (Ácidos Grasos Volátiles) en el efluente a tratar.

Declaración de Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés de ninguna índole que puedan influir en el desarrollo de la presente investigación.

Referencias

- Almeida A., Nafarrate-Rivera E., Alvarado A., Cervantes-Ovalle A., Luevanos M.P. E., Oropeza R., Balagurusamy N., (2011) *Expresión Genética En La Digestión Anaerobia*. Universidad Autónoma de Coahuila (UNAM), Cuernavaca, Morelos, México.
- APHA Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association; 1998*. 19th ed. Washington, DC, EEUU. http://www.agrobit.com/Info_tecnica/Ganaderia/prod_lechera/GA000002pr.htm
- Delgado R. *Tratamiento De Efluentes De Un Reactor Uasb Mediante Una Mezcla De Amonio Cuaternario Y Hierro*; (2018), [Tesis: título profesional]. Universidad Nacional Agraria La Molina. Peru. [Recuperado el 15 de julio 2019] Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3737/madue%C3%B1o-delgado-rodrigo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Demirel, B.; Yenigun, O. & Onay, T. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review; (2004). Turquía. ISSN: 2583-2595.
- Mockaitis, G.; Ratusznei, S.; Rodrigues, J.; Zaiat, M. & Foresti, E. Anaerobic whey treatment by a stirred sequencing batch reactor (ASBR) effects of organic loading and supplemented alkalinity. *Journal of environmental management*, 2005. Brazil. ISSN: 198-206.
- Mendes L. *Estudio de un sistema híbrido uasb+mbr para el tratamiento de aguas residuales urbanas*; (2015), [Tesis de Maestría]. Universidad de Alicante. España. [Recuperado el 15 de julio 2019] Disponible en: <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm09/tfm09-lyvia-mendes-predolin.pdf>
- Ergüder, T.; Tezel, U.; Güven, E. Demirel, G. *Anaerobic biotransformation and methane generation potencial of cheese whey in batch and UASB reactors*; (2000). Turquía. ISSN: 643-650.
- Gonzales Carla & Porlles Diana. EV (202), *Estimación de la huella hídrica de la Planta Piloto de Leche de la Molina*. Trabajo de investigación para optar el título de Ingeniero Ambiental. Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina. 99p.
- Decreto Supremo N° 022-2009 Norma Técnica OS.090 “Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales” del Reglamento Nacional de Edificaciones - Ministerio de Vivienda, Peru.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Decreto Supremo N° 001-2015-VIVIENDA. Se modifican diversos artículos del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, que aprobó los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario así como de su Reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA y modificado por el Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA. El Peruano [Internet]. 2015 [Consultado 20 de julio 2019]. Disponible en: <https://elperuano.pe/NormasElperuano/2015/01/10/1186792-2.html>.

Liviac D. Aplicación del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente en Manto de Lodos al Tratamiento del Suero de Queso a Escala de Laboratorio; (2013). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Parra Huertas R. & Campos Montiel R. Tratamiento De Lactosuero Ácido En Un Reactor UASB A Diferentes Cargas Constantes y Puntuales; 2013. *Fundación Hidalgo*. México.

Rubio J. Estadística Aplicada, editorial: UNALM, Universidad Nacional Agraria La Molina; (2000), Lima, Perú.

Sankar, Ramasamy, Gajalakshmi, Sanjeevi & Abbasi, (2006). Studies on treatment of low-strength effluents by UASB reactor and its application to dairy industry wash waters. *Centre for pollution control and energy technology*. India.

Tawfika A., Sobheyb M., Badawya M. (2007) Treatment of a combined dairy and domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor followed by activated sludge (AS system). *Ain Shams University*, Cairo, Egypt.

Vela R. *Estudio de la precipitación de carbonato de calcio en el tratamiento anaerobio de aguas residuales*, (2001). Tesis Doctoral. Valladolid. España.