

# Comportamiento de torre de lavado a nivel de escala para la remoción de H<sub>2</sub>S de un reactor anaerobico de flujo ascendente

## Behavior of a scaled-down scrubber for the removal of H<sub>2</sub>S from the gases of an upflow anaerobic sludge blanket reactor

José A. Acaro R.<sup>1</sup>; Jeannie L. Quispe E.<sup>1</sup>; Mali I. Salas D<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental Av. Túpac Amaru N° 210- Rímac- Lima

### RESUMEN

Nuestro equipo en esta oportunidad hizo una simulación de una torre de lavado, la cual la aplicamos en el reactor UASB, a manera de escala construimos una torre de lavado compuesta por difusores, una cama de sólidos hecha de material de esponja, un tubo de acrílico y todas las conexiones que conducen el biogás con H<sub>2</sub>S. Los componentes a eliminar y/o remover fueron los gases que salen del reactor, en especial del H<sub>2</sub>S (gas odorífero y tóxico que a grandes concentraciones puede llevar a la muerte y como resultado de sus reacciones con el ambiente puede causar daños en las estructuras con la cual este en contacto) mediante la oxidación con el oxígeno disuelto que proveen las microalgas presentes en el agua de la laguna terciaria utilizada. Esta torre de lavado la montamos en las instalaciones de CITRAR-UNI con el permiso del operador y vimos el comportamiento que tiene esta torre, mediante los monitoreos de oxígeno disuelto, temperatura, pH y sulfatos que realizamos durante tres semanas de monitoreo. Como resultados obtuvimos que la torre de lavado sí oxidaba y removía la contracción de H<sub>2</sub>S, ya que cuando pasaba el tiempo se consumía el oxígeno disuelto, además de esto también en el monitoreo de sulfatos pudimos observar un aumento de este parámetro es decir la torre si estaba consumiendo en H<sub>2</sub>S, y por esta razón también disminuyó el olor fétido que produce este gas.

*Palabras Clave:* torre de lavado, reactor UASB, remoción de sulfuro de hidrógeno

### ABSTRACT

The present work reports the simulation of a wet scrubber coupled to an UASB reactor. The scrubber consisted of baffles, packed bed of sponge material, an acrylic tube and all the connections necessary to bring the H<sub>2</sub>S-laden biogas. The purpose of the equipment is to eliminate some of the gases coming out of the reactor, through their oxidation by the dissolved oxygen provided by the microalgae present in the water from the tertiary lagoon. Hydrogen sulfide is a foul-smelling and toxic gas which can cause death at high concentrations, and can also cause damage to the structures with which it comes into contact. The scrubber was installed on the site of CITRAR-UNI and the behavior of the equipment was monitored during three weeks by following the temperature, pH and the concentrations of sulfates and dissolved oxygen. The results have shown that the scrubber was effectively an oxidizing environment which was removing H<sub>2</sub>S, since the dissolved oxygen was actually consumed gradually. It was also observed that the sulfate concentration was increasing, indicating a consumption of H<sub>2</sub>S, which was also confirmed by a reduction in the odor of the gas.

*Keywords:* scrubber, UASB reactor, hydrogen sulfide removal

### I INTRODUCCIÓN

Los reactores anaerobios de flujo ascendente [1] realizan un tratamiento de aguas residuales en condiciones anaerobias, este proceso tiene muchas ventajas tales como la facilidad y bajos costos de operación y mantenimiento y aunado a todo esto no consume energía para su funcionamiento pero también

presenta desventajas como por ejemplo, la producción de malos olores.

La este proyecto radica en desarrollar una torre de lavado para poder aplicarla en PTAR que tengas este sistema para poder eliminar este gas que es causantes de los malos olores y que para que no afecte a las localidades cercanas como es el caso de CITRA-UNI [2], el mal olor que produce esta digestión hizo que los

Correspondencia:  
jaar0512@gmail.com, laleshka.qe@gmail.com, salasdepazm@gmail.com

pobladores de los asentamientos humanos el Milagro y el Angel se vieran afectados por este olor y se quejen habitualmente.

El principio de funcionamiento de estas torres consiste en la recirculación de soluciones a través de una torre por la que circula el gas a lavar y mediante absorción y reacción se retiran los elementos no deseados que lleva el biogás. En el reactor UASB al momento de su digestión libera gases metano, dióxido de carbono y entre ellos el  $H_2S$  el cual le da la característica de mal olor (a huevo podrido), el cual queremos remover.

## II ANTECEDENTES

El antecedente a este tipo de tratamiento para la oxidación el  $H_2S$  y reducir los malos olores producido por un reactor UASB, fue el “Proyecto piloto de tratamiento de gases odorantes en el CITRAR FIA-UNI”, en este trabajo se realizó el estudio de remoción de gases odorantes en un medio de microorganismos aerobios en suspensión, el cual también usaba el oxígeno disuelto de una laguna facultativa el cual reaccionaba con el  $H_2S$  y me monitoreaba la producción de sulfatos como producto de la reacción.

## III METODOLOGÍA

- Metodología para la construcción de la torre de lavado de gas:

1. Se colocara una tubería de acrílico de una altura determinada (en este caso de 1.30m) en la cual por la parte superior ingresara una manguera por donde ingresara el gas.
2. Se monitoreará a diferentes alturas (0.01 m, 0.41 m y 0.61 m) para el monitoreo de las muestras, además se colocaran 1 válvula de purga.
3. En las instalaciones para la torre de lavado se incluirá 1 manguera de gas conectada a la válvula de salida del colector de gases.
4. La manguera anterior sera conectado a la compresora, que estará en una caja de madera para que no se dañe, el gas brindado por la compresora se conectara a un tubo y mediante una Tee, solo se captara la mitad del gas para el proyecto, a la Tee se conectara una manguera que sera introducida hasta la parte inferior del tubo y esta a su vez estará conectada con 1 distribuidor que estará unido a 4 difusores.
5. La cama de sólidos el cual deberá ser travesado por el gas sera esponja de baja densidad, esta capa de esponja tendra un espesor de 0.4 m de altura. En la figura N° 1 se puede observar el flujo del biogás con  $H_2S$ , que sale desde la campana colectora del gases del reactor UASB, es extraído por la compresora de 60 l/min, se conecta a una Tee que mediante esta solo se capta la mitad del

flujo, este va hasta los difusores en la parte inferior de la torre de lavado, el biogás con  $H_2S$  asciende atravesando toda la cama de sólidos de esponja y la columna de agua, y finalmente es liberado.

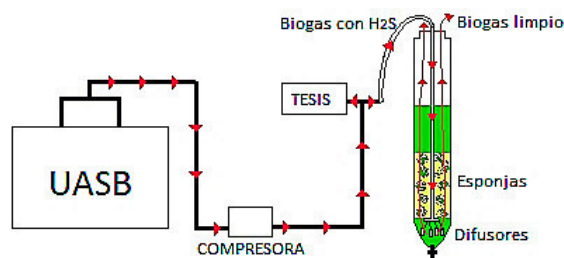


Figura 1: Flujo de biogás con  $H_2S$

- Metodología para la operación de la torre de lavado de gas:

1. La torre de lavado de gases se llenará manualmente con agua de la laguna terciaria de CITRAR hasta una altura de 0.75 m.
2. Monitorear al inicio antes de encender la compresora (Temperatura, OD y pH).
3. Abrir la válvula del colector de gases del reactor UASB.
4. Encender el extractor de gases de la torre de lavado y mantenerlo encendido durante el tiempo de monitoreo.
5. Semanalmente se purgara la torre.

- Metodología para el monitoreo de la torre de lavado de gas:

1. Se tomará una muestra de 50 mL al inicio cuando todavía no se realiza el proceso de lavado de gases, aproximadamente poco antes de las 10:00 a.m.
2. A las 10:00 a.m. se procederá a abrir la válvula del colector de gases del reactor UASB y encender el extractor de gases de la torre de lavado.
3. Luego se tomará unas muestras de 50 mL a la altura de salida de 0.01 m, 0.41 m y 0.61 m cada hora desde las 10:00 a.m. hasta las 3:00 p.m.
4. Se realizará la medición de 4 parámetros: Oxígeno disuelto, pH, temperatura, sulfatos, y  $H_2S$ , con el fin de analizar y comparar el comportamiento de la torre de lavado.

En la imagen N° 1 se puede observar la estructura de la torre (instalación de mangueras, caños de salida, cama de sólidos y altura de nivel de agua de la laguna terciaria).

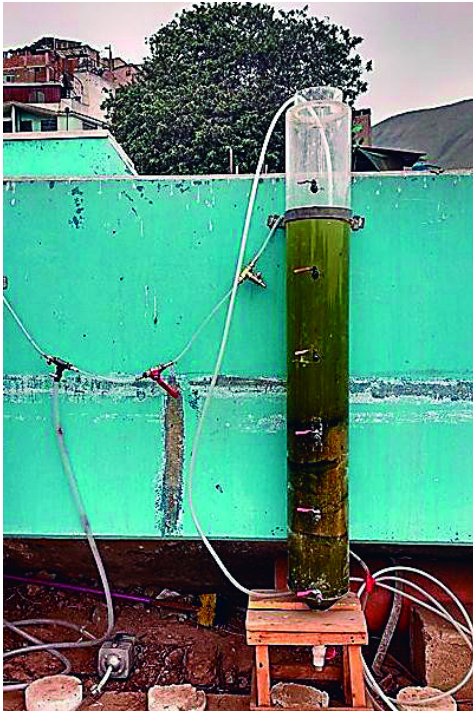


Imagen N°1 - Estructura de la torre de lavado a nivel escala.

**IV HIPÓTESIS**

Parte del H<sub>2</sub>S producido por el reactor UASB reaccionara con el oxígeno disuelto en el agua de la laguna terciaria, utilizada en la torre de lavado, además la cama de sólidos aumentará el tiempo de retención facilitando que se produzca las reacciones de oxidación necesarias para la remoción de H<sub>2</sub>S y por consiguiente reducción de los malos olores.

**V OBJETIVO**

El objetivo de esta investigación es realizar un seguimiento de comportamiento de torre de lavado a nivel de escala para la remoción de H<sub>2</sub>S de un reactor anaeróbeo de flujo ascendente, utilizando la comparación de parámetros de pH, oxígeno disuelto, temperatura y la producción de sulfatos.

**VI RESULTADOS**

Los presentes resultados son unos gráficos promedios de monitoreos realizados desde 17 de mayo de 2017 hasta el 30 de mayo del 2017.

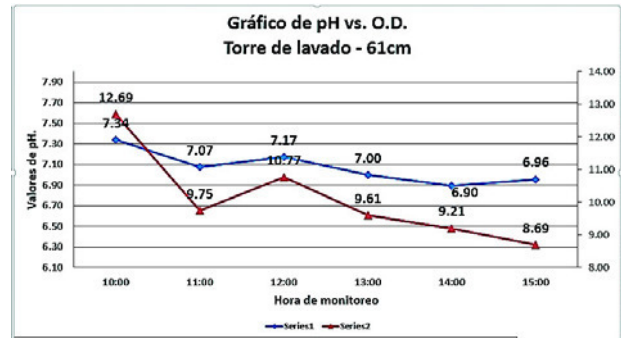


Gráfico 1: Cuadro comparativo de pH vs. O.D a los 61 cm.

Como podemos sabemos el pH está relacionado proporcionalmente con el O.D. por tanto cuando hay altos niveles de O.D. el pH también es alto y viceversa.

Este gráfico nos indica un O.D. de 12.69 al inicio y conforme va reaccionando con el H<sub>2</sub>S este demanda oxígeno, por tanto el O.D. disminuye con el tiempo. Se ve un aumento a las doce del mediodía del oxígeno disuelto ya que como la torre está expuesta a la radiación solar y más a esta hora, las microalgas presentes en el agua de la torre producen aún más oxígeno.

La exposición solar también ayuda a la oxidación del H<sub>2</sub>S por tanto la transparencia de la torre también es beneficiosa.

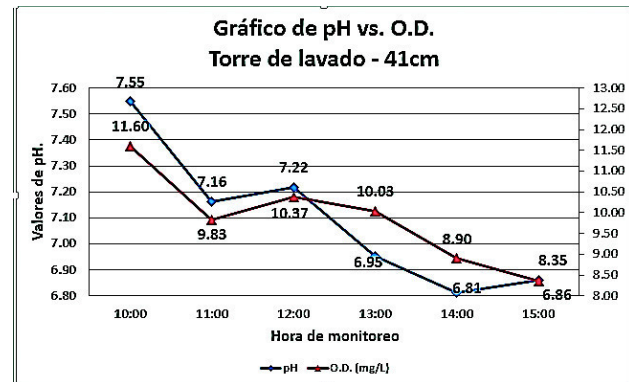


Gráfico 2: Cuadro comparativo de pH vs. O.D a 41 cm

Se da casi el mismo comportamiento que a los 61 cm con la diferencia que el oxígeno disuelto a esta altura el un poco menos.

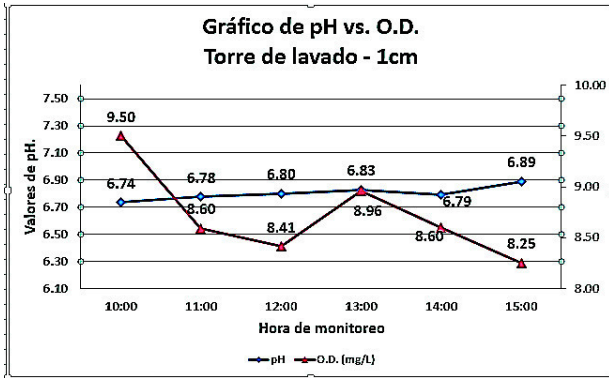


Gráfico 3: Cuadro comparativo de pH vs. O.D. a 1 cm

Se da casi el mismo comportamiento que a los 61 cm y 41 cm pero la diferencia es que el oxígeno disuelto a esta altura es aún mucho menor que a los 41 cm ya que es a donde directamente llega el H<sub>2</sub>S y hace al medio más ácido y con menos concentración de oxígeno.

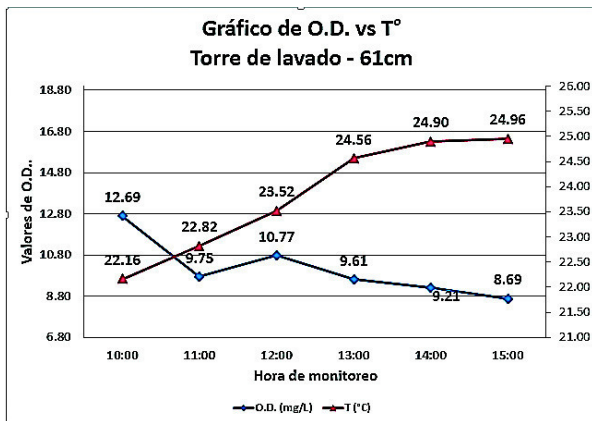


Gráfico 4: Cuadro comparativo de O.D. vs. T a 61 cm

En la gráfica podemos observar que a partir de las once de la mañana a media que aumenta la temperatura también aumenta el oxígeno disuelto ya que la torre transparente se encuentra expuesta a radiación y esta influye más por esta razón.

Para la mayor producción de oxígeno no solo importa la temperatura, sino más importante es el nivel de radiación que llega a la torre, ya que aun habiendo alta temperatura en el ambiente el cielo puede estar nublado.

Los datos de las diez de la mañana no presenta esta tendencia ya que el dato del oxígeno disuelto está en exceso ya que a esa hora aún no había reacción que demande oxígeno.

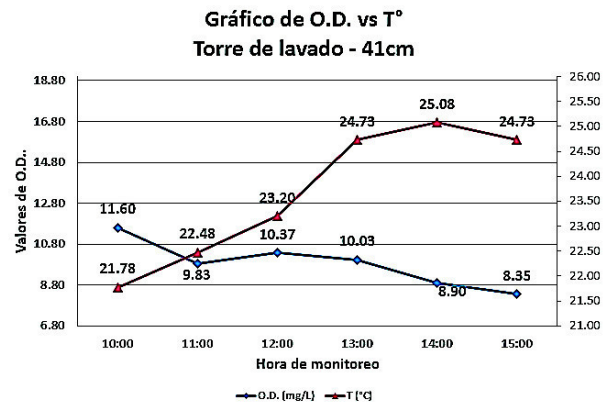


Gráfico 5: Cuadro comparativo de O.D. vs. T a 41 cm.

Se da casi el mismo comportamiento que a los 61 cm con la diferencia que el oxígeno disuelto a esta altura el un poco menos.

A las 13:00, 14:00 y 15:00 presentaron altos niveles de temperatura, pero con cielo nublado en la mayoría de días.

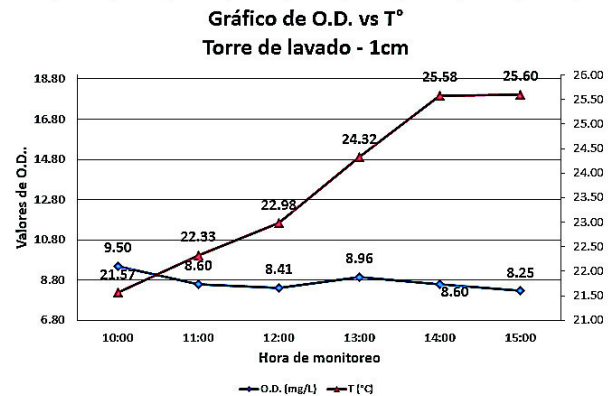


Gráfico 6: Cuadro comparativo de O.D. vs. T a 1 cm.

Se da casi el mismo comportamiento que a los 61 cm y 41 cm con la diferencia que el oxígeno disuelto a esta altura es aún menor ya que es a donde directamente llega el H<sub>2</sub>S y hace que haya menos concentración de oxígeno.

A las 13:00, 14:00 y 15:00 presentaron altos niveles de temperatura pero con cielo nublado en la mayoría de días.



Imagen N°2-Cambio de las esponjas durante en tiempo de operación

En la imagen N° 2 se puede ver como los microorganismos de la laguna facultativa se fijaron a las esponjas entre las bacterias capaces de oxidar los sulfuros a azufre elemental tenemos distintas especies de *Thiobacillus*, *Thiobacterium* y *Thiospira*. Otras bacterias capaces de llevar a cabo esta oxidación son las bacterias fotosintéticas del azufre, que como veíamos son responsables de las coloraciones rojizas que aparecen en las lagunas de estabilización. Entre estas bacterias destacan los *Chromatium*, *Thiocapsa*, *Thiospirillum*, *Rhodospirillum*, *Rhodopseudomonas* y *Rhodomicrobium*. Otro grupo de bacterias fotosintéticas oxidantes de los sulfuros son las llamadas bacterias verdes del azufre, entre las que se encuentran los *Chlorobium*, *Chloropseudomonas*, *Clathrochloris* y *Pelodyction*. [3]

**Cuadro 1:** Cuadro de medición de sulfatos

Medición base	Sulfatos
Laguna Terciaria	140 mg/L

Altura	Sulfatos
1 cm	310 mg/L
41 cm	210 mg/L
61 cm	230 mg/L

El cuadro medición base, se le denominó así ya que en la torre de lavado se utilizó el agua de la laguna terciaria que en un inicio cuando comenzó el funcionamiento, el agua contenía 140 mg/L.

El 23 de mayo comenzó el funcionamiento, el 30 de mayo se procedió a medir la cantidad de sulfatos en solución, es decir después de una semana, llego hasta una concentración de 310 mg/L como máxima medición a la altura de 1 cm, es decir hubo un incremento en la concentración de sulfatos de 170 mg/l.

**Cuadro 2:** Cuadro de medición de H<sub>2</sub>S entre las 9:00 y 12:00 del mediodía.

	H <sub>2</sub> S (ppm)
Entrada	80-140 ppm
Salida	0-0.6 ppm

Este cuadro nos muestra la concentración del H<sub>2</sub>S antes que ingrese a la torre de lavado y la concentración de salida una vez que ya paso por esta.

Con este cuadro se demuestra que la torres de lavado si cumple su función de remoción del gas odorante H<sub>2</sub>S.

**Cuadro 3:** Cuadro de medición de H<sub>2</sub>S entre las 9:00 y 12:00 del mediodía.

	H <sub>2</sub> S (ppm)
Entrada	5-6 ppm
Salida	0 ppm

Este cuadro nos muestra la concentración del H<sub>2</sub>S antes que ingrese a la torre de lavado y la concentración de salida una vez que ya paso por esta a las 3:00 p.m.

Se ve una baja concentración a la entrada de la torre ya que la extracción de los gases por la compresora es mayor que la producción de gases y el volumen de gas que almacena; por tanto aproximadamente por las 3:00 de la tarde ya no es recomendable el monitoreo para la torre de lavado ya que hay poca concentración del gas.

El principio de funcionamiento de estas torres consiste en la recirculación de soluciones a través de una torre por la que circula el gas a lavar y mediante absorción o/y reacción se retiran los elementos no deseados que lleva el biogás. En el reactor UASB al momento de su digestión libera gases metano, dióxido de carbón y entre ellos el H<sub>2</sub>S el cual le da la característica de mal olor (a huevo podrido), el cual queremos remover.

## VII CONCLUSIONES

- La variación en el pH inversamente proporcional al tiempo de exposición del H<sub>2</sub>S, esto sirve como un indicador que se esta realizando la oxidación de este.
- Se produjo organolépticamente una reducción de los malos olores.
- La temperatura, en especifico el aumento de la radiación solar hace que aumente la eficiencia de la torre de lavado, ya que hace que las microalgas presentes en el agua produzcan una mayor cantidad de oxígeno por el proceso de fotosíntesis que realizan las mismas y por esto favorece a una mayor oxidación.
- El cuadro N° 1 de medición de sulfatos nos indica que si hubo formación de sulfatos en el tiempo, lo cual indica que si se producía la reacción deseada, es decir la oxidación de H<sub>2</sub>S.
- Las esponjas no solo funcionaron para el aumento del tiempo de retención del gas a tratar, sino también sirvió como medio de soporte para fijación de los microorganismos que contribuyen a la remoción del H<sub>2</sub>S.
- Mediante el cuadro N° 2 podemos concluir que la torre de lavado si cumple su función de remover el H<sub>2</sub>S.

- Mediante el cuadro N° 3 podemos concluir que a partir de las 3:00 de la tarde ya se extrajo todo el H<sub>2</sub>S almacenado en el reactor UASB, ya que la extracción por la compresora es mayor que la producción del gas a tratar.
- Nuestro proyecto según la 17 ODS promueve el desarrollo de tecnologías tecnológicamente racionales. [4]

### VIII RECONOCIMIENTOS

- Al tesista Manrique Villarreal, Giancarlo Raúl, por los conocimientos aportados en la realización de este proyecto.
- Al Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR-UNI), por el apoyo al prestarnos sus instalaciones para realizar la construcción de nuestro proyecto, así mismo al operador de la Planta, Echevarría Chávez, Javier Santiago, por el apoyo prestado al darnos la autorización.
- A los brigadistas por el apoyo en los monitoreos, y la moral para la realización del mismo.

### IX GLOSARIO DE TERMINOS

Torre de lavado, Gases, Reactor UASB, difusores, H<sub>2</sub>S.

### X REFERENCIAS

- [1] Elizabeth Tilley, Lukas Ulrich, Christoph Lüthi, Philippe Reymond and Christian Zurbrügg (2014). Akvopedia: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodos. Recuperado de [http://akvopedia.org/wiki/Reactor\\_Anaerobico\\_de\\_Flujo\\_Ascendente\\_con\\_Manto\\_de\\_Lodos](http://akvopedia.org/wiki/Reactor_Anaerobico_de_Flujo_Ascendente_con_Manto_de_Lodos)
- [2] Pablo Soria. (2009). Características de Citrar Uni Academia.edu. Recuperado de [http://www.academia.edu/18712435/Caracteristicas\\_de\\_CITRAR\\_UNI](http://www.academia.edu/18712435/Caracteristicas_de_CITRAR_UNI).
- [3] Lagunas Facultativas. (n.d.). [ebook] PDF, p.16. Available at: <http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/facultativas.PDF> [Accessed 23 Jun. 2017].