

Tecnología DHS 3g (downflow hanging sponge) como etapa secundaria para tratamiento de aguas residuales

Vacaflor, M.^a

^a Ingeniero Civil - Mención Hidráulica Sanitaria U.M.R.P.S.F.X.CH., E-mail: roci.vaca97@gmail.com.

RESUMEN

La tecnología DHS traducida al español como “Esponjas Colgantes de Flujo Descendente” es una propuesta novedosa japonesa para un tratamiento secundario aerobio precedido por un tratamiento primario anaerobio, dicha tecnología sigue el concepto funcional de un filtro biológico cuyo medio de soporte ahora será la esponja de poliuretano la cual se encarga de realizar la depuración de las aguas residuales sin necesidad de ocupar gran espacio, requerir de una gran inversión ni necesitar un mantenimiento complejo. En el presente estudio, se implementó la tecnología DHS 3G a través de un piloto que trate parte del efluente del tratamiento primario tanques Imhoff de la P.T.A.R. de Sucre, los resultados obtenidos durante de evaluación del piloto nos llevan a concluir que la tecnología DHS es una nueva alternativa, propuesta para emplearla en futuros diseños de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: tratamiento de aguas residuales, tecnología DHS, piloto DHS 3G.

ABSTRAT

The DHS technology translated into Spanish as “Esponjas Colgantes de Flujo Descendente” is a novel Japanese proposal for an aerobic secondary treatment preceded by an anaerobic primary treatment, said technology follows the functional concept of a biological filter whose support medium will now be the sponge of polyurethane which is responsible for the purification of wastewater without the need to occupy a large space, require a large investment or need complex maintenance. In the present study, DHS 3G technology was implemented through a pilot that treats part of the effluent from the primary treatment Imhoff tanks of the P.T.A.R. of Sucre, the results obtained during the pilot evaluation lead us to conclude that DHS technology is a new alternative, proposed for use in future designs of wastewater treatment plants

Key words: wastewater treatment, DHS technology, pilot DHS 3G.

INTRODUCCIÓN

La tecnología DHS (Downflow Hanging Sponge) es una propuesta planteada por el profesor Harada Hideki en la Universidad de Tecnología de Nagaoka – Japón, con el fin lograr un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales autosustentable para países en vías de desarrollo.

El DHS consiste en una propuesta a un post-tratamiento aerobio al que le antecede un tratamiento primario anaerobio (UASB), otorgando con el sistema D.H.S. la ventaja de ser simple, compacto, de fácil operación, mantenimiento, económico en energía, factible técnica y económicamente.

La tecnología DHS empezó a ser investigada por los años 1995 con las esponjas de primera generación y desde entonces el estudio y evolución de las esponjas en cuanto a su tamaño y forma para mejorar la eficiencia en los resultados, mantenimiento y duración de las mismas en el reactor hizo que se obtuvieran distintas generaciones de esponjas.

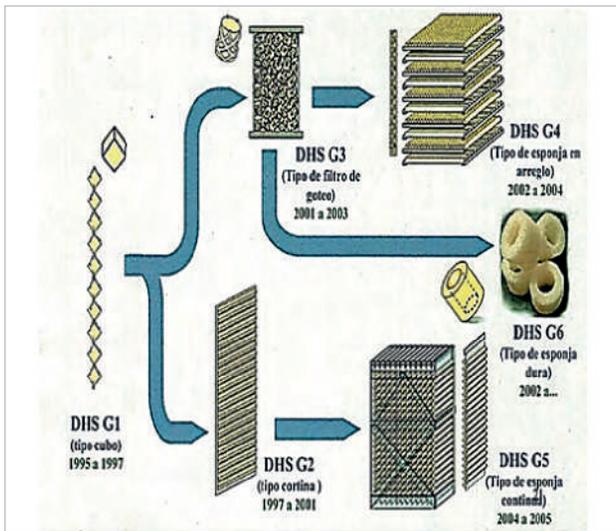


Figura 1 Generaciones de Esponjas

Desarrollo de la tecnología DHS

Sin necesidad de aireación externa

El no requerir de un sistema de aireación externo es una de sus mayores ventajas para el tema económico, esto se explica debido a que se deja un espacio de unos 10

mm entre las esponjas consecutivas del DHS haciendo que se mantenga la difusión natural de aire en las aguas residuales.

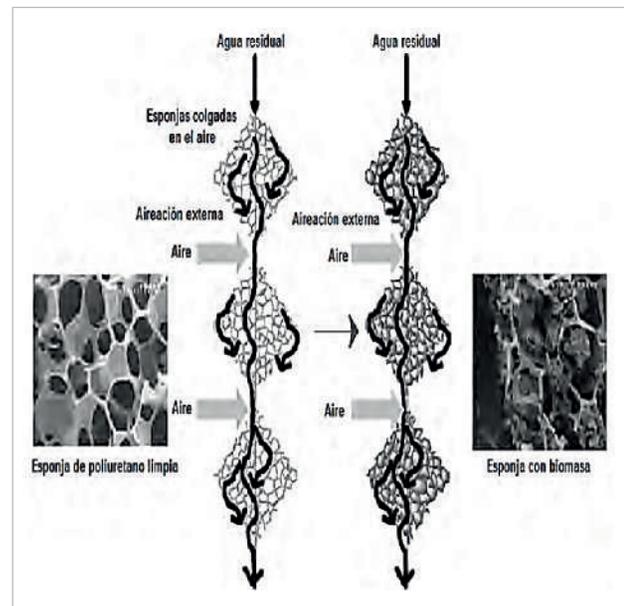


Figura 2 Concepto funcional DHS – Sin aireación externa

Retención de lodos

Gracias al gran porcentaje de porosidad que tienen las esponjas de poliuretano se logra atrapar en los mismos grandes volúmenes de biomasa, permitiendo que el tiempo de retención de lodo del sistema se prolongue, teniendo como resultado una producción de lodo en exceso despreciable.

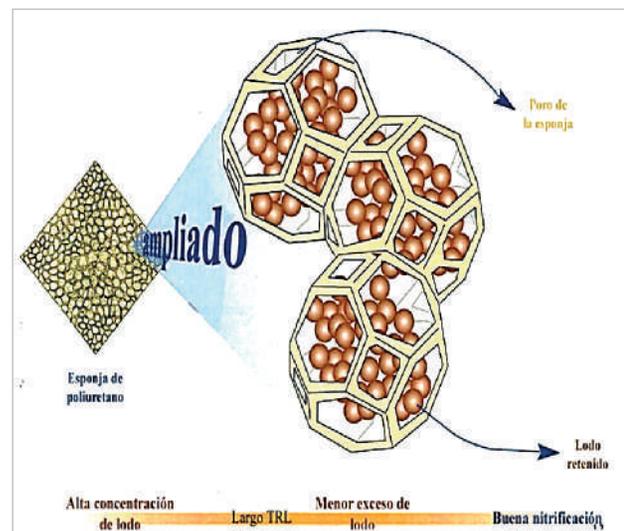


Figura 3 Concepto funcional DHS – Retención de lodos

Condiciones aerobias – anóxicas

El DHS también es único que logra el mantenimiento de las condiciones aeróbicas y anóxicas en la esponja. Esto permite la nitrificación y desnitrificación simultánea en un sistema sencillo. Las investigaciones demostraron que la zona aeróbica de la esponja existe hasta una profundidad aproximada de 10 mm desde la superficie de la esponja, a partir de esta profundidad se ingresa en la zona anóxica.

Comportamiento de la profundidad del reactor

Analizando la figura 4, se observa como la carga orgánica se reduce a medida que la concentración del oxígeno disuelto aumenta en el reactor DHS y se obtienen resultados aún mejores a medida que es mayor la profundidad del reactor.

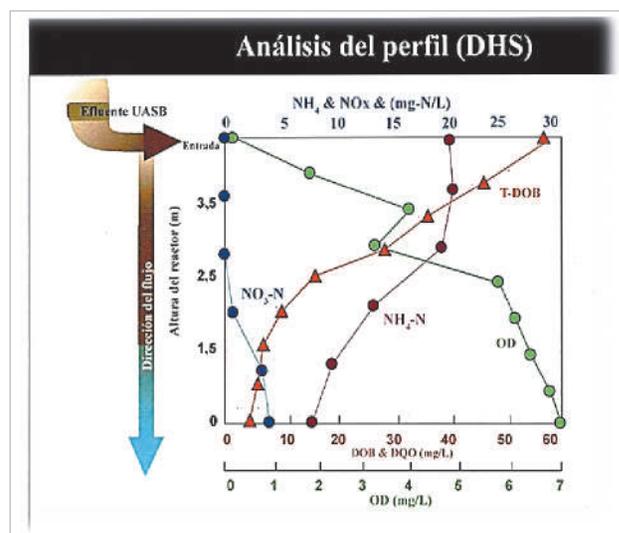


Figura 4 Análisis Perfil DHS

Beneficios de la tecnología DHS

- Es de fácil construcción, operación y mantenimiento.
- No hay necesidad de aireación externa.
- Requiere de menos área de construcción.
- Presenta una cantidad despreciable de lodo en exceso.
- Alto rendimiento a un bajo T.R.H. (Tiempo de retención hidráulica).

Conociendo lo primordial sobre el desarrollo y funcionamiento de esta propuesta novedosa. Se pudo implementar la tecnología DHS en nuestro medio mediante el diseño y construcción de un piloto con esponjas de tercera generación que trate parte del caudal del efluente del tratamiento primario de las aguas residuales que ingresan a la P.T.A.R. El Campanario de la ciudad de Sucre y con los resultados de la etapa de evaluación ver cuáles son las eficiencias obtenidas y como esta tecnología se desenvuelve con condiciones del medio, para poder proponerla en el futuro diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales en ciudades con condiciones similares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la planta piloto

Para la realización del proyecto se requiere del efluente de un tratamiento primario en condiciones anaerobias, por esta razón se emplea el efluente del tratamiento primario (tanques Imhoff) de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Sucre, que se encuentra ubicada en el departamento de Chuquisaca, provincia Oropeza, a 8 Km de la ciudad de Sucre, sobre la carretera Sucre – Potosí, en cercanías de la comunidad del Campanario.

La ubicación para la instalación de la planta piloto, estará colindante a los estanques de salida del efluente de los tanques Imhoff, de donde se captará parte del caudal del efluente del tratamiento primario para poder tratarlo con la tecnología DHS 3G.



Figura 5 Ubicación del Piloto DHS 3G

Criterios para el diseño del Prototipo DHS

Para el diseño de los reactores DHS se escoge

las esponjas de tercera generación, por presentar los mayores porcentajes de eficiencia en remoción de DBO₅, DQO y SST en las investigaciones realizadas, además de contar con una muestra proveniente del Japón.

Tiempo de Retención Hidráulica (T.R.H.)

Es uno de los parámetros base para el diseño del reactor DHS, define el tiempo que tiene la película biológica que se encuentra adherida en las esponjas para realizar la depuración de las aguas residuales, se calcula considerando la siguiente ecuación:

$$T.R.H. = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Dónde: T.R.H.= Tiempo de Retención Hidráulica (h), Q = Caudal de diseño (m³/h), V = Volumen de agua (m³).

Se consideró un periodo de retención hidráulica de 2,7 h (2 h y 42 min.), parámetro que es adoptado de la tabla de funcionamiento del proceso de las variantes DHS en Nagaoka para esponjas de tercera generación.

	DHS G1	DHS G2	DHS G5	DHS G3	DHS G4	DHS G6
HRT (h)	2,3	2	2,5	2,7	2	2
Eliminación de DBO ₅ (%)	97	96	95	98	96	96
Eliminación de DQO (%)	94	84	90	93	91	93
Eliminación de SS (%)	98	68	95	92	93	95
Eliminación de NH ₄ -N (%)	75	64	60	86	28	75
Eliminación de col. Fecales (log 10)	-	2,7	4,0	2,6	3,5	2,8
SRT (d)	-	90-100	90-125	-	100-125	-100
Ocupación de esponja (%)	-	25	55-57	38	38	34

Figura 6 Resultados obtenidos del funcionamiento de las variantes DHS

Selección del material filtrante

Para la selección del material filtrante se seleccionaron distintos tipos de esponjas ofertados en el mercado y

junto con la esponja original del Japón se sometieron a los ensayos de peso específico y porosidad, esto permitió la selección de aquella esponja de poliuretano con las condiciones más similares a la esponja original.

Tabla 1. Resultados Esponja Seleccionada

	POROSIDAD %	PESO ESPEC. gr/cm ³
E. Original	61,24	0,021
E. Tipo 5	56,95	0,017

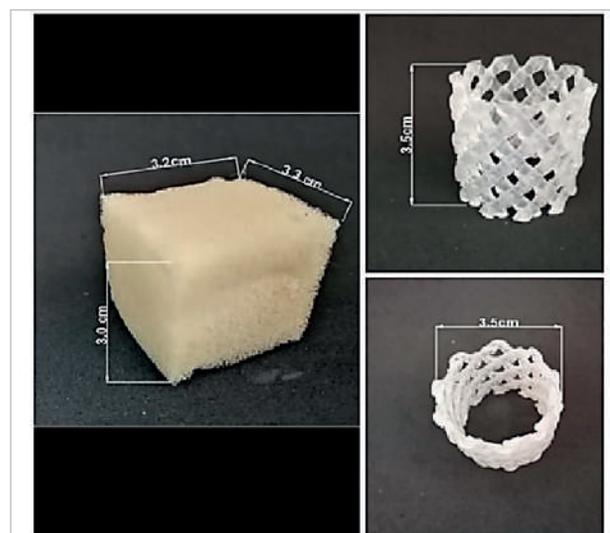


Figura 7 Esponja 3G y su material de soporte

Caudal de diseño

Se determinó emplear un gasto diario de 20 L/d por cada reactor, el mismo será captado del efluente de los tanques Imhoff.

Volumen de agua efectivo

El volumen efectivo de agua se obtiene de despejar de la ecuación de T.R.H., posteriormente para obtener el volumen que

ocupan las esponjas se deberá dividir el volumen efectivo entre la porosidad de la esponja seleccionada, recordando que según la figura 6 para esponjas de tercera generación el volumen que ocupan las esponjas corresponde al 38% del volumen total del reactor.

Número de esponjas por cada reactor

Para obtener el número de esponjas que compone cada reactor se divide el volumen ocupado por las esponjas entre el volumen que ocupa cada esponja, en el caso de la de tercera generación el volumen que ocupa el material de soporte.

Se proponen dos alturas distintas para el dimensionamiento de los reactores DHS, esto con el objetivo de ver de qué manera influye la altura del reactor en la eficiencia del mismo, teniendo a continuación la tabla resumen del dimensionamiento de los reactores.

Tabla 2. Resumen diseño reactores DHS 3G

REACTOR 1			
Caudal	=	20	L/d
Tiempo de retención hidráulica	=	2,7	h
Volumen del tanque	=	0,01	m ³
Nº de Esponjas	=	117	Unid.
Altura del tanque	=	1	m
Diámetro del tanque	=	0,12	m
REACTOR 2			
Caudal	=	20	L/d
Tiempo de retención hidráulica	=	2,7	h
Volumen del tanque	=	0,01	m ³
Nº de Esponjas	=	117	Unid.
Altura del tanque	=	0,6	m
Diámetro del tanque	=	0,15	m

Se adicionó a la salida de ambos reactores un sedimentador secundario esto con el fin de ayudar a estabilizar mejor las partículas en suspensión del efluente.

Para el proyecto consistieron en dos recipientes plásticos transparentes con capacidad de 6 litros, habiendo trabajo con un volumen de agua de 2,79 L. y un tiempo de retención hidráulica de 3,36 h.

ETAPAS DENTRO DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

El piloto con tecnología DHS 3G, se puso en marcha por un periodo de 14 días en el que se subsanaron algunas falencias y acondicionaron algunas mejoras con el fin de garantizar un buen desarrollo de la tecnología, entre las más importantes mencionar que esta tecnología funciona en ausencia de luz, para evitar la propagación de algas, se optó por cubrir ambos reactores y sedimentadores con malla atrapa sol oscura, así mismo se añadió una malla milimétrica al ingreso de cada reactor para evitar el ingreso de vectores y que estos no permitieran un buen desarrollo de biopelícula en las esponjas.

Posteriormente se inició el periodo de evaluación de la planta piloto, durante un periodo de más de dos meses en donde ya se pudo realizar análisis en laboratorio y la medición de algunos parámetros que se utilizaron como referencia para ver los resultados del proyecto.

Los parámetros evaluados de mayor importancia y a los que haremos referencia en el presente artículo son: pH, OD, DBO₅, DQO,

SST. Los puntos de muestreo seleccionados fueron tres: **ER** (entrada a los reactores), **R1** (efluente reactor R1), **R2** (Efluente reactor R2)



Figura 8 Piloto DHS 3G

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la etapa de evaluación donde se realizaron los ensayos en laboratorio se obtuvieron los siguientes resultados:

pH

De los resultados obtenidos se observa que el efluente de los reactores cuenta con un pH promedio de 7,5 y 7,6, valores que están dentro de la Ley Boliviana 1333, nos indica que las aguas tratadas por R1 y R2 se encuentran en un valor neutral y también es un indicativo de que se tienen las condiciones para que ocurra la desnitrificación en ellas.

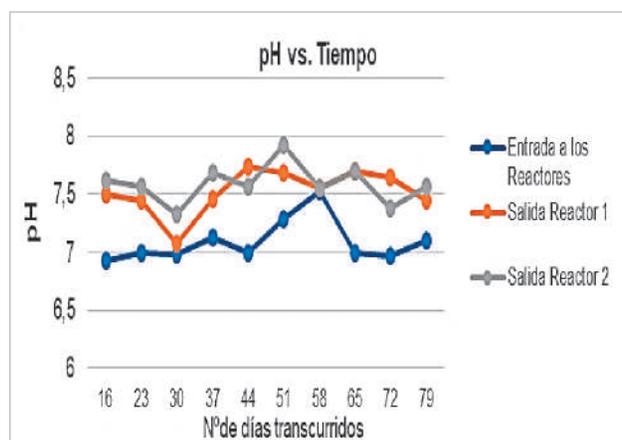


Figura 9 pH vs. Tiempo

Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto presenta valores máximos, mínimos como promedios, se puede apreciar, cómo a medida que el tiempo transcurre el oxígeno disuelto se va incrementando hasta mantenerse constante en un rango de 4-6 mg/L OD demostrando que sin la necesidad de aireación externa se mantiene una buena concentración de OD y asegurando que ocurre la nitrificación.

Tabla 3. Valores máximos, mínimos y promedio del Oxígeno Disuelto

	OD.MÁX.	OD.MÍN.	OD.PROM.
ER	0	0	0
R1	5,4	3,1	4,4
R2	4,6	0,6	3,8

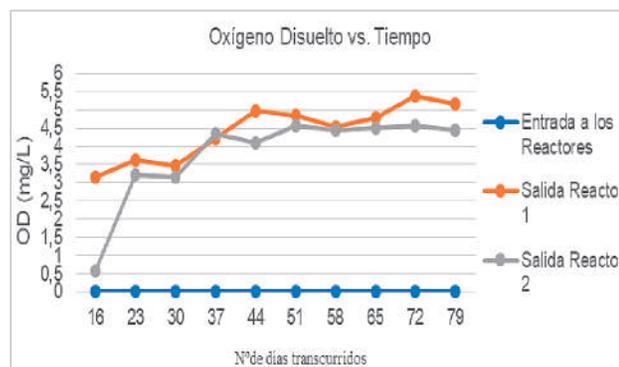


Figura 10 Oxígeno Disuelto vs. Tiempo

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ fue reduciéndose considerablemente a medida que la biopelícula se fue formando en las esponjas, dando resultados constantes a partir del día 50 de puesto en marcha el piloto.

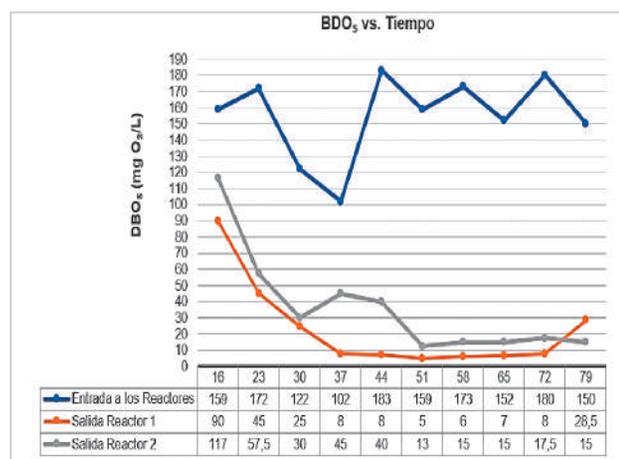


Figura 11 DBO₅ vs. Tiempo

En el reactor R1 se obtuvo un valor promedio de DBO₅ de 22,3 mg O₂/L. En el reactor R2 los resultados que se obtuvieron dan un valor promedio de 38,8 mg O₂/L.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Durante el tiempo de evaluación se observa que a la salida del reactor R1 la DQO tuvo un valor promedio de 89,6 mg O₂/L y en el reactor R2 tuvo un valor promedio de 102,5 mg O₂/L.

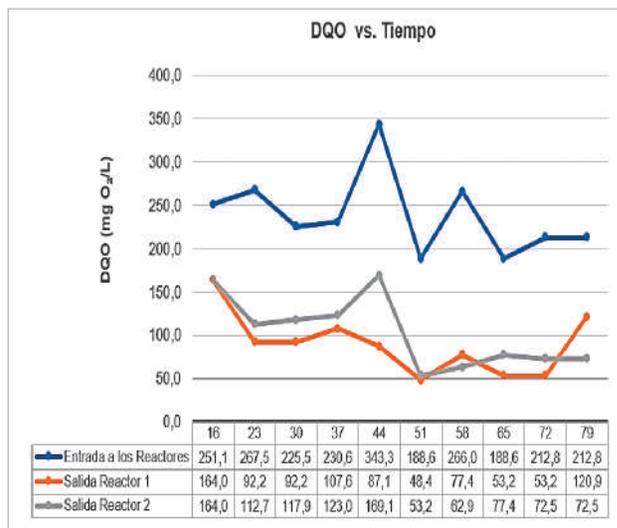


Figura 12 DQO vs. Tiempo

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Los resultados de los Sólidos Suspendidos Totales en ambos reactores no fueron constantes a lo largo del periodo de evaluación, cerca de los 65 días de evaluación logran estar dentro del cumplimiento de la Ley 1333.

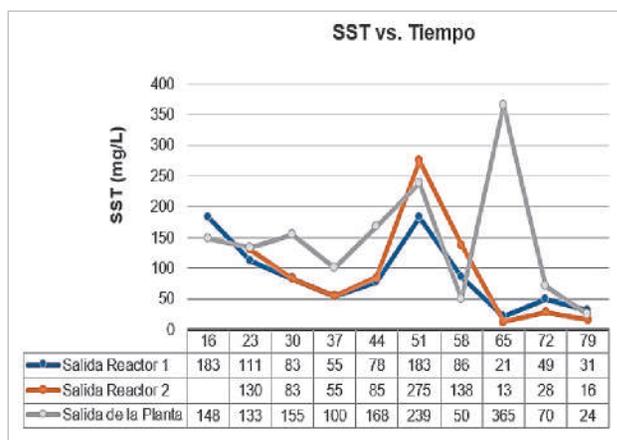


Figura 13 SST vs. Tiempo

Eficiencia del piloto DHS 3G

Con los resultados obtenidos durante el periodo de evaluación se calcularon las eficiencias de remoción de carga que logró alcanzar el piloto, tanto para el reactor R1 como para R2. Para el cálculo se empleó la ecuación.

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{E-S}{E} \times 100 \quad (2)$$

Donde: E=Carga contaminante de entrada (mg O₂/L), S=Carga contaminante de salida (mg O₂/L).

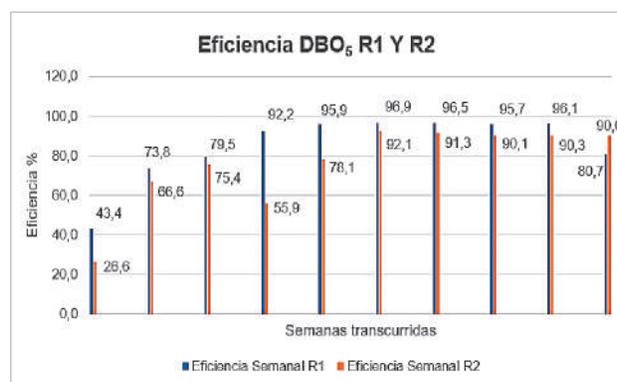


Figura 14 Eficiencia DBO₅ del piloto DHS 3G

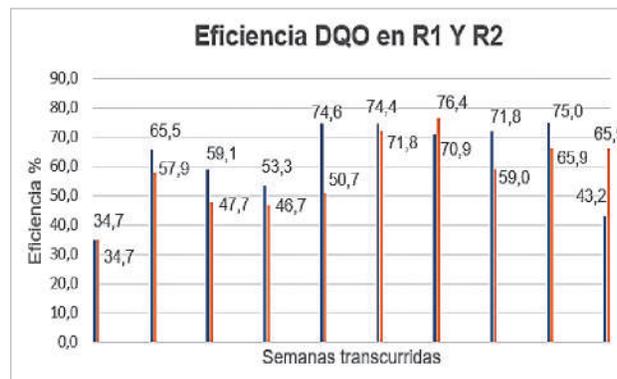


Figura 15 Eficiencia DQO del piloto DHS 3G

En cuanto a la eficiencia en remoción de DBO₅ el reactor R1 obtuvo una eficiencia promedio mensual máxima de 95,36 %, en tanto que en el reactor R2 fue de 90,14 %, hablando de la eficiencia en DQO el promedio mensual máximo en R1 fue de 68 % y en R2 se obtuvo un valor de 63,6 %.



Figura16 Efluentes de R1 Y R2

Coliformes fecales

Se realizaron los ensayos microbiológicos únicamente para el reactor R1 durante el último mes de valuación, con el propósito de ver la eficiencia en remoción de coliformes fecales que tiene el reactor con mayor eficiencia en remoción de carga.

Las eficiencias obtenidas superan el 90 % en remoción de coliformes, pero no se cumple con el límite establecido en la ley 1333 que rige en nuestro país el cual nos indica un máximo de 1000 NMP/100 ml.

Tabla 3. Resultados Coliformes fecales R1

Entrada a la Planta NMP/100 ml	Salida R1 NMP/100 ml	Eficiencia (%)
2,33E+07	1,95E+05	99,16
5,75E+06	1,15E+05	98,00
2,33E+07	1,95E+05	99,16
6,00E+07	7,50E+05	98,75

Los resultados del presente proyecto presentan valores que se encuentran dentro de la ley que rige para nuestro medio, muy por debajo del límite permisible, realizando un análisis comparativo de los resultados obtenidos con los que se encuentran en bibliografía sobre el monitoreo de la planta piloto a escala real construida en Karnal India por el año 2002 a cargo del profesor Harada, se obtienen eficiencias cercanas, las del piloto de la India obtuvo eficiencias de 96% en DBO₅ y 92% en DQO.

En el país vecino del Perú que presenta condiciones similares a nuestro medio como ser el clima, se elaboraron algunas tesis con tecnología DHS de otras generaciones las cuales alcanzan resultados similares en cuanto a la eficiencia en remoción de carga, pero resultados más óptimos en cuanto a la remoción de coliformes.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos durante la etapa de evaluación del piloto, se puede concluir que es posible la implementación de la tecnología DHS 3G en nuestro medio con la esponja de porosidad 56,95 % y peso específico de 0,017 gr/cm³.

En el reactor R1 se obtuvieron eficiencias en remoción mayores a R2. Demostrando así que a mayor altura en el reactor mayor es la degradación de materia orgánica en las aguas residuales.

El tiempo de retención hidráulica de 2,7 h adoptado para la tecnología D.H.S. 3G es suficiente para que el Oxígeno Disuelto (OD) se incremente y se realicen los procesos biológicos y de nitrificación a medida que la biopelícula se forma en las esponjas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castro, A.,Castillo, D., & Steven, H., (2012). Estudio del Sistema Downflow Hanging Sponge (DHS) Tipo bloques prismáticos en el tratamiento del efluente del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo Ascendente. Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional e Ingeniería. Recuperada de:

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_47c-7fcfaa555972b6db5478834d8c841/Description#tabnav

Japón International Coperación Agency. 2015. Tecnología del sistema UASB+DHS del tratamiento de aguas residuales de bajo costo y mínimo consumo de energía aplicables en los países en vías del desarrollo. Japón.:Autor.

Mahmoud, M., Tawfik, A. & El-Gohary F. (2011). Use of down-flow hanging sponge (DHS) reactor as a promi-

sing post-treatment system for municipal wastewater. [Versión Electronica]. Chemical Engineering Journal, 168(2011), 535-543.

Ossio, V. & Acuña, T.J. (2013). Eficiencia del sistema de esponjas colgantes DHS de primera generación en el tratamiento del efluente del Reactor UASB. Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperada de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_7e1d64207b33c3ed7f4c36fb143282af

Universidad de Tohoku. 2007. Introducción a la tecnología sostenible del tratamiento de aguas residuales mediante el Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (UASB) y el Reactor DHS (Downflow Hanging Sponge). Japón.:Autor.



Integrantes:
Gildardo Arroyave Flores Wanda
Cheyenne Arribas Yoniso
Diego Zamora de la Cruz Pablos

