

# Tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando esponjas cilíndricas colgantes de poliuretano\*

Cesar Asbel Aranda Castillo\*\*

## Resumen

El elevado crecimiento poblacional de nuestro país provoca que las actuales plantas de tratamiento de aguas residuales utilicen tratamientos anaerobios, ya que estos no ocupan grandes extensiones de terreno, sin embargo, no cumplen con los requisitos establecidos en las normas legales, siendo necesaria la aplicación de un post-tratamiento que brinde buenos resultados, ocupe el menor espacio posible, permita un mínimo consumo de energía, de bajo costo de inversión, operación y mantenimiento (Geológica, 2009). Esta investigación buscó determinar la eficiencia de la tecnología del Reactor de Esponjas Colgante de Flujo Descendente conocida por sus siglas en inglés DHS (Downflow Hanging Sponges) con la que se trata una parte del desagüe de los centros poblados el Ángel y el Milagro en el distrito del Rímac. Además se determinó el efecto del sistema en los parámetros físico-químicos; y el parámetro microbiológico de coliformes termotolerantes a lo largo de su periodo de funcionamiento mediante un análisis estadístico comparándolos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de agua categoría 3 y los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Este sistema a escala piloto, tuvo un caudal de ingreso de 90 L/día, con un tiempo de retención hidráulico de 1.5 horas y una porosidad de 95.1%. Asimismo, requiere de menos operación y mantenimiento, en comparación a otros sistemas de tratamiento secundario.

Palabras clave: DHS, Tratamiento de aguas residuales, Centros Poblados, Calidad Ambiental, Perú.

## Abstract

The nationally high population growth, causes the current wastewater treatment plants use anaerobic treatments since they don't occupy large areas of land, however they don't meet the set requirements of legal standards, which make necessary to apply a post-treatment for best results, covering least possible area with a little energy consumption, low investment, maintenance and operational cost, . (Geologic, 2009). This investigation sought to determine the efficiency in a Pilot Scale hanging Flow Sponge Reac-

---

\*Este artículo se basa en la tesis para optar al título profesional de Ingeniero Ambiental de la Universidad Peruana Unión "Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un sistema Down-flow Hanging Sponge (DHS) utilizando esponjas cilíndricas colgantes de poliuretano", sustentada por el autor en el año 2019.

\*\*Ingeniero Ambiental de la Universidad Peruana Unión, realizó su tesis en el Centro de investigación en tratamiento de aguas residuales y residuos peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería.

tor (DHS), which treats part of the drainage of the El Angel and El Milagro urban areas in Rimac district. In addition, the effect of the system on the physical-chemical parameters was determined; and the microbiological parameter of thermotolerant Coliforms throughout its period of operation, by a statistical analysis, comparing it with the Environmental Quality Standards for water category 3 and the Maximum Allowable Limits for effluents from Wastewater Treatment Plants. This pilot-scale system had an inflow rate of 90L / day, with a hydraulic retention time of 1.5 hours and a porosity of 95.1%. This system requires less operation and maintenance, compared to other secondary treatment systems.

**Keywords:** DHS, Treatment wastewater, Human Settlement .Environmental Quality, Peru

### Introducción

Las Aguas residuales son aquellas aguas cuyas características han sido alteradas por actividades antrópicas y su calidad necesita un tratamiento previo antes de ser reutilizadas, vertidas a un cuerpo receptor o descargadas al alcantarillado (OEFA, 2014).

En estos últimos años el Centro de investigación en el tratamiento de aguas residuales y residuos peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería (CITRAR-UNI) trata de cumplir con el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM en la categoría 3 uso de riego no restringido (parques públicos), utiliza dos lagunas facultativas y estas requieren un tiempo de retención hidráulica de diez días haciendo que la incidencia de los rayos solares formen en las lagunas un criadero de algas.

El sistema DHS es un sistema reactor que tiene un buen rendimiento de retención de biomasa. La selección del sistema de reactor apropiado es uno de los factores decisivos para lograr el objetivo. Se aplicó con éxito un reactor de esponja suspendida (DHS) para eliminar la cantidad de materia orgánica en aguas residuales se realizó con éxito. (Chuang, Yamaguchi, Harada, y Ohashi, 2008).

De tal manera el Down-Flow Hanging Sponge se puede sintetizar como un sistema de reactor que tiene un buen rendimiento de retención de biomasa. Se ha aplicado con éxito un reactor de esponja suspendida (DHS) para eliminar la cantidad de materia orgánica en aguas residuales (Chuang, Yamaguchi, Harada y Ohashi 2008).

Las propiedades de los medios esponjosos en el núcleo de los reactores DHS deben ser mejoradas, especialmente en términos de su trabajabilidad para facilitar la construcción de reactores a gran escala y su comportamiento en el tratamiento. (Okubo, Iguchi, Takahashi, Kubota, y Uemura, 2016).

## **1. Materiales y métodos**

### ***1.1. Ubicación del Reactor DHS a escala piloto***

La investigación del sistema DHS de esponjas colgantes a escala piloto se ubicó en la zona norte del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos CITRAR-UNI, en el distrito Del Rímac, departamento de Lima-Perú, con las siguientes coordenadas 276840.26 m E y 8671384.47 m S.

### ***1.2. Metodología y medición de los parámetros***

Se realizó la medición de los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio de CITRAR-UNI y microbiológicos en los laboratorios de Servicios Analíticos Generales SAC. Después se tomó una muestra del efluente del reactor anaerobio de flujo ascendente, conocido por siglas en inglés UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) y dos muestras del efluente del sistema DHS (R1 Y R2). Este proyecto por su naturaleza es de carácter cuasi-experimental los diseños cuasi-experimentales examinan relaciones de causa y efecto entre las variables independiente y dependiente.

En este estudio se diseñaron y utilizaron parámetros físico-químicos (pH, temperatura, turbiedad, oxígeno disuelto y conductividad), haciendo uso de un frasco de vidrio de 100ml, guantes, guardapolvo y casco de seguridad, se introdujo el frasco de vidrio en una manguera de media pulgada destinada para el muestreo, luego se llevó al laboratorio de CITRAR en una caja de tecnopor para su análisis correspondiente, así mismo para medir los parámetros microbiológicos (coliformes termotolerantes) se utilizó un frasco de vidrio de 1L, guantes, guardapolvo, frasco de vidrio en manguera, tapa, gel pack y se prosiguió con el traslado al laboratorio de Servicio Analíticos Generales S.A.C, de cierta forma se utilizaron equipos de multiparámetro (HQ 40 de Hach) conductímetro, multiparámetro (HQ 40d de Hach, turbidímetro portátil (2100 Q / 2100 QIS de Hach), oxímetro HQ40d de Hach incubadora de laboratorio y para el método de ensayo se tomó en cuenta el método EPA 150.2, Standard métodos y métodos EPA, método EPA 150 .2, Método de USEPA 180.1, Método ETA 360.1.

### ***1.3. Implementación del prototipo del Reactor DHS en CITRAR-UNI***

Se utilizaron esponjas cilíndricas colgantes de poliuretano haciendo un híbrido de la primera generación, segunda generación y quinta generación, se instaló como unidades experimentales dos reactores DHS de 7 pulgadas de diámetro y 43 cm de altura total. El sistema tuvo cuatro columnas y cada una tuvo 60 es-

ponjas cilíndricas de poliuretano de 1,5 pulgadas de diámetro (3.81 cm) y de altura 7cm. Estas se encontraron colgando con ayuda de un nailon de 1mm, la posición de las esponjas fueron horizontales de forma hexagonal y amarrados en un taper de plástico decagonal.

El afluente que ingresó al sistema DHS fue post reactor UASB, con un caudal de ingreso en total de 90 L/día es decir 45 L/día para cada reactor, con un tiempo de retención hidráulico de 1.5 horas. La esponja utilizada tuvo una porosidad de 95.1%.

*Figura 1.* Sistema DHS CITRAR-UNI y Parte interna del DHS



Fuente: Elaboración propia

El sistema DHS tuvo un costo de S/ 689.00 (Seiscientos Ochenta y Nueve con 00/100 soles). Los materiales utilizados fueron los siguientes:

1. **Tabla 1**

*Lista de materiales para la construcción del DHS a escala piloto con indicación de costo*

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
Medidor de nivel	1	S/. 5.00
Cilindro Azul 200 Litros	1	S/. 60.00
Reducción de PVC ¾"	1	S/. 1.00
Válvula tipo bola ¾" de PVC	6	S/. 18.00
Niple ¾" de PVC	22	S/. 22.00
Codos ¾" de PVC	6	S/. 6.00
Tee ¾" de PVC	3	S/. 3.00
Reductores ½" de bronce	2	S/. 5.00
Válvulas tipo bola ½" de bronce	6	S/. 36.00
Tee ½" de bronce	2	S/. 8.00
Tubo abastos 1/2" x 40cm	1	S/. 5.00
Galonera de 20 litros	1	S/. 14.00
Esponja de poliuretano 200cmx110cmx2cm	1	S/. 20.00
Recorte Cilíndrico de las esponjas	1	S/. 25.00
Tubos de vidrio	4	S/. 120.00
Andamios de madera	1	S/. 80.00
Agujeros para el tubo de vidrio	12	S/. 72.00
Embudos	2	S/. 4.00
Abrazaderas	8	S/. 12.00
Cinta negra aislante	4	S/. 8.00
Moldimix	2	S/. 9.00
Plástico negro	4	S/. 12.00
Taper de plástico decagonal	4	S/. 12.00
Taper de plástico rectangular	2	S/. 12.00
Pintura de agua color negro	1	S/. 25.00
Thinner	1	S/. 7.00
Lija de madera	2	S/. 4.00
Pegamento	1	S/. 3.00
Brocha	2	S/. 12.00
Tordillo para madera	2	S/. 9.00
Unión universal	2	S/. 10.00
Teflón rojo	4	S/. 6.00
Manguera ¾"	4	S/. 12.00
Manguera 1/2"	7	S/. 28.00
Tubo 1/2" de PVC	1	S/. 4.00
<b>Costo total</b>		<b>S/. 689.00</b>

## 2. Resultados y discusiones

### 2.1. Resultado I. Eficiencia del Sistema DHS

Para el cálculo de la eficiencia del sistema se consideraron dos parámetros: turbiedad y coliformes termotolerantes, la eficiencia en el parámetro de turbiedad en el DHS1 fue de 89% y del DHS 2 fue 93%, así mismo en coliformes termotolerantes en el DHS 1 fue de 1.86 log en porcentaje fue 98.61% y en el DHS 2 fue de 2.33 log en porcentaje fue 99.54%.

### 2.2. Resultado II. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

*Tabla 2 Resultado de los parámetros fisicoquímicos en el periodo de arranque comparando con el ECA y los LMP*

Parámetros fisicoquímicos en el Periodo de Arranque					
Parámetros	UASB	DHS 1	DHS 2	ECA categoría 3	LMP
T° Ambiental (°C)	26.6	26.6	26.6	-	-
Turbiedad (UNT)	88.1	21.5	10.9	-	-
Temperatura de agua (°C)	25.8	26.0	26.1	,-/ + 3 Tamb	<35
Ph	8.20	8.91	9.01	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Conductividad (μS/cm)	1316.29	1211.52	1183.33	2500	-
Oxígeno disuelto (mg/L)	0.18	5.24	7.21	>5	-

*Tabla 3 Resultado de los parámetros fisicoquímicos de la experimental comparando con el ECA y los LMP*

Parámetros fisicoquímicos de la parte experimental					
Parámetros	UASB	DHS 1	DHS 2	ECA categoría 3	LMP
T° Ambiental (°C)	29.4	29.4	29.4	-	-
Turbiedad (UNT)	101.1	10.5	6.3	-	-
Temperatura de agua (°C)	27.8	27.7	27.7	,-/ + 3 Tamb	<35
Ph	7.99	8.59	8.45	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Conductividad (μS/cm)	1136.43	1038.24	986.59	2500	-
Oxígeno disuelto (mg/L)	0.21	7.49	7.70	>5	-

Se determinó los resultados de los parámetros fisicoquímicos del periodo de arranque y experimental en el laboratorio de CITRAR-UNI obteniendo estos resultados promedios y comparándolos con el ECA y los LMP

*Tabla 4 Resultado del parámetro microbiológico de Coliformes Termotolerantes comparando con el ECA y los LMP*

COLIFORMES FECALES O TERMOTOLERANTES						
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	ECA categoría 3	LMP
SALIDA UASB	7.90E+0		1.70E+0	2.30E+0		1.00E+04
	6	7.90E+06	7	6	1.00E+03	04
SALIDA DHS 1	2.80E+0		1.70E+0	1.70E+0		1.00E+04
	5	1.10E+05	6	5	1.00E+03	04
SALIDA DHS 2	7.90E+0		7.90E+0	3.30E+0		1.00E+04
	5	1.70E+05	4	4	1.00E+03	04
Eficiencia 1	1.45E+0		1.00E+0	1.13E+0		
	0	1.86E+00	0	0	-	-
Eficiencia 2	1.00E+0	1.67E+00	2.33E+0	1.84E+0	-	-

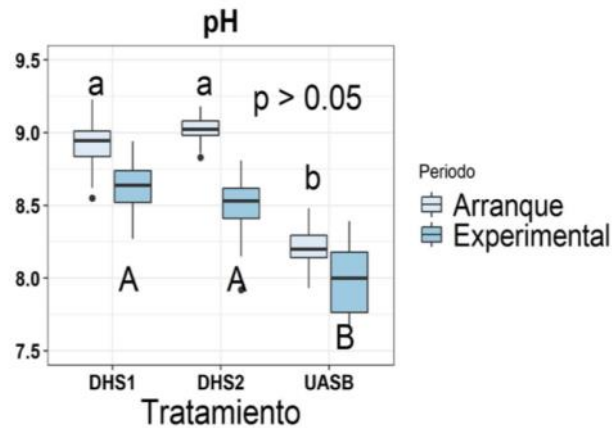
Se determinó los resultados de los coliformes fecales en el laboratorio de Servicios Analíticos Generales SAC y se pudo apreciar que los valores máximos de eficiencia logarítmica en el reactor DHS 1 fue de 1.86 log y en el reactor DHS 2 fue de 2.33 log donde no se pudo cumplir en cuanto a la remoción debido a que se necesita un post tratamiento para poder cumplir con el ECA y los LMP, este tratamiento sería cloración utilizando Hipoclorito de sodio.

### **2.3. Resultados III. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con el software estadístico de R**

El método empleado es cuasi experimental y las variables dependientes son: Parámetros fisicoquímicos (pH, Temperatura, Conductividad eléctrica, Oxígeno Disuelto, Turbiedad), Parámetros microbiológicos (Coliformes termotolerantes). Y la variable independiente es el Sistema de Esponjas Cilíndricas Colgantes de Poliuretano.

#### **2.3.1 pH**

Figura 2. Diseño estadístico con el programa R del pH

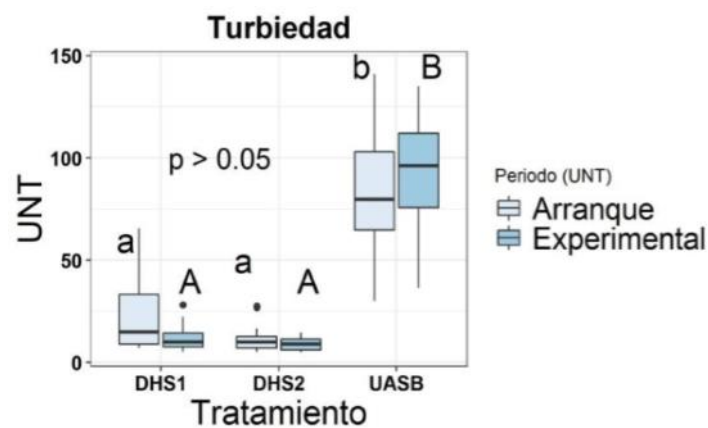


Fuente: Elaboración propia

Como podemos apreciar en la figura el p valor es  $>0.05$  es decir tiene un nivel de confianza del 95%, los valores de pH del reactor UASB fueron mayores a 8.2 durante el periodo de arranque es por ello que se puede ver el incremento de pH durante dicho periodo en el DHS 1 el cual fue 8.9 y en el DHS 2 fue a 9, superando lo establecido en el Decreto Supremo 004-2017-MINAM categoría 3 usos de riego, mientras que en la parte experimental disminuyó el pH del reactor UASB obteniendo como resultado 8 haciendo que disminuya también el resultado del efluente del DHS 1 el cual fue 8.56 y del DHS 2 8.5 encontrándose dentro del rango permitido de 6.5 a 8.5 de pH, el pH incrementó debido a que el reactor UASB se encontraba en su etapa final de vida útil. Comparando con el Decreto Supremo 003-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles se menciona que debe estar en el rango de 6.5 a 8.5 de pH para efluentes de PTAR el cual se cumplió en la parte experimental.

### 2.3.2 Turbiedad

Figura 4. Diseño estadístico con el programa R de la turbiedad



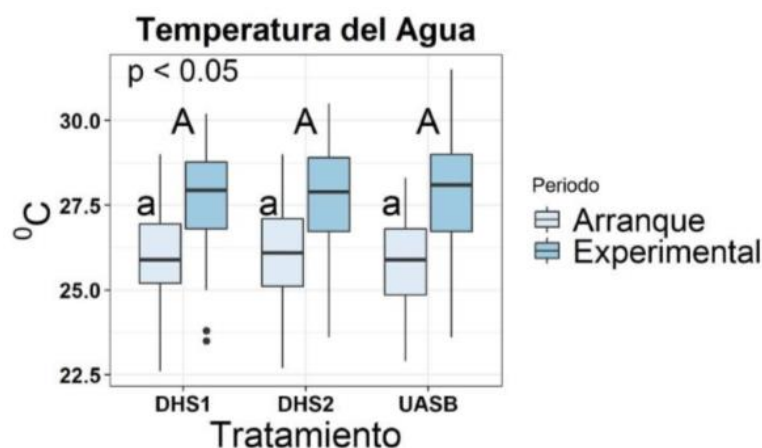
Fuente: Elaboración propia



Como podemos apreciar en la figura el p valor es  $>0.05$  es decir tiene un nivel de confianza del 95%, los valores de turbiedad del reactor UASB tanto en el periodo de arranque como en la parte experimental oscilan entre 80 a 100 UNT mientras que en el DHS 1 fue de 15 a 20 UNT en el periodo de arranque ya que aún no se encontraba estable nuestro sistema se obtuvo valores elevados de turbiedad a diferencia del DHS 2 fue de 10 a 15 UNT ya que se estabilizó mucho antes, pero ya en la parte experimental se pudo obtener valores menores a 10 UNT y con ello se pudo ver la eficiente remoción en este parámetro gracias a la capacidad de retención de sólidos de la esponja utilizada como medio filtrante.

### 2.3.3 Temperatura del agua

Figura 5. Diseño estadístico con el programa R de la temperatura del agua

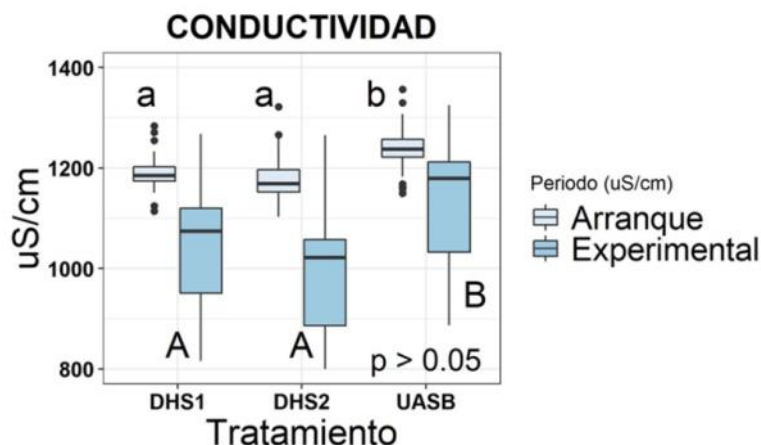


Fuente: Elaboración propia

Como podemos apreciar en la figura el p valor es  $<0.05$ , los valores de temperatura del agua en el periodo de arranque estuvieron entre  $26^{\circ}\text{C}$  a  $27^{\circ}\text{C}$  y en la parte experimental fue de  $28^{\circ}\text{C}$ , cumpliendo con el D.S 004-2017-MINAM categoría 3 usos de riego, donde menciona que el rango debe ser diferencial de tres de la temperatura ambiental lo cual en el periodo de arranque fue  $27^{\circ}\text{C}$  y en la parte experimental  $29^{\circ}\text{C}$  encontrándose dentro de lo permitido.

### 2.3.4 Conductividad

Figura 6. Diseño estadístico con el programa R de la conductividad

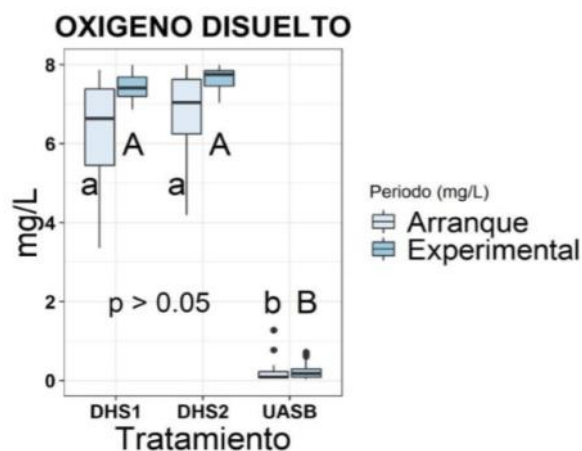


Fuente: Elaboración propia

Como podemos apreciar en la figura el p valor es  $>0.05$  es decir tiene un nivel de confianza del 95%, los valores de conductividad eléctrica en el periodo de arranque estuvieron entre 1200 us/cm a 1250 us/cm en el DHS 1, ya en la parte experimental estuvieron en el DHS 2 entre 1000 us/cm a 1200 us/cm observando una disminución gracias a nuestro sistema DHS ya que el reactor UASB estuvo entre 1200 us/cm a 1300 us/cm cumpliendo la exigencia del D.S 004-2017-MINAM categoría 3 usos de riego que menciona que debe ser menor a 2500 us/cm.

### 2.3.5 Oxígeno disuelto

Figura 7. Diseño estadístico con el programa R de la temperatura del agua

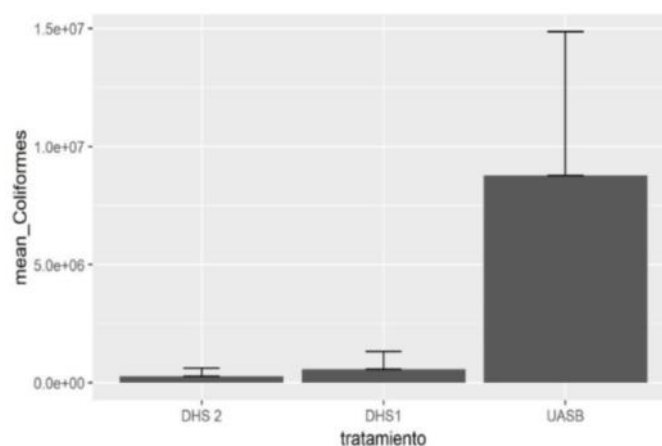


Fuente: Elaboración propia

Como podemos apreciar en la figura el p valor es  $>0.05$  es decir tiene un nivel de confianza del 95%, los valores de oxígeno disuelto en el periodo de arranque y en la parte experimental del reactor UASB se encontraron inferiores a 1 mg/L, mientras que en nuestro sistema DHS 1 en el periodo de arranque y en la parte experimental se obtuvieron valores entre 7 mg/L a 7.5 mg/L, ya en el DHS 2 en el periodo de arranque y en la parte experimental se obtuvieron valores entre 7.6 mg/L a 8 mg/L, y estos se encuentran superiores a lo que exige la norma, por ende se cumplió la exigencia de la normativa establecida en el D.S 004-2017-MINAM categoría 3 usos de riego que menciona que debe ser mayor a 5 mg/L.

### 2.3.6 Coliformes Termotolerantes o Fecales

Figura 8. Diseño estadístico con el programa R de los coliformes termotolerantes



Fuente: Elaboración propia

Como podemos apreciar en la figura el p valor es  $>0.05$  es decir tiene un nivel de confianza del 95%, los valores de coliformes fecales en la parte experimental tienden a disminuir en nuestro sistema DHS, entre 1 a 2 logaritmos pero no se pudo cumplir la exigencia del DS 004-2017-MINAM categoría 3 usos de riego la cual menciona que debe ser menor a 1000 NMP/100mL, y comparando con el D.S 003-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles menciona debe ser menor a 10 000 NMP/100mL para efluentes de PTAR el cual tampoco se llegó a cumplir y es por ello que se necesita de un tratamiento terciario para poder cumplir la exigencia de la normativa vigente.

Los coliformes fecales son organismos mesofilicos cuyo crecimiento óptimo se encuentra entre 25°C y 40°C; a temperaturas menores de 20°C se hallan en estado de latencia y a temperaturas mayores de 50°C mueren. (Ponce correal, 2008)

Según Harada (2019), para minimizar costos podemos emplear como tratamiento terciario la cloración (hipoclorito de sodio), por cada 1m<sup>3</sup> de agua se necesitaría 120mg de NaOCl.

### 3. Recomendaciones

1. Tras determinar lo eficiente que fue nuestro sistema DHS es recomendable realizar diariamente un adecuado mantenimiento de las mangueras del distribuidor de caudal que ingresan al prototipo con ayuda de un alambre inoxidable, con la finalidad de evitar la acumulación de sólidos en estas zonas.
2. En caso se utilice sedimentador secundario buscar la dosis óptima de hipoclorito de sodio para la eliminación de los coliformes termotolerantes o fecales de esta manera se podrá cumplir la normativa vigente en dicho parámetro.
3. Continuar investigando el sistema DHS aplicando diferentes combinaciones de generaciones, a fin de evaluar las posibles variaciones en las eficiencias en la remoción de los diferentes parámetros físico-químicos y microbiológicos.

### 4. Conclusiones

1. Se determinó la eficiencia del reactor de esponjas colgante de flujo descendente (DHS) a escala piloto como tratamiento aerobio secundario, posterior al tratamiento del reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) del agua residual doméstica de los centros poblados el Ángel y el Milagro en el distrito del Rímac, alcanzando la eficiencia en el parámetro de turbiedad en el DHS1 de 89% y del DHS2 al 93% con un 95% de nivel de confianza, así mismo en coliformes termotolerantes del DHS1 fue de 1.86 log y en el DHS 2 de 2.33 log, por ello el sistema requiere de menos operación y mantenimiento, en comparación a otros sistemas de tratamiento secundario.
2. Se determinó el efecto del sistema DHS en los parámetros físico-químicos (Temperatura, pH, Turbiedad, Oxígeno Disuelto y Conductividad) del efluente del reactor UASB y efluente del reactor DHS donde los resultados del efluente fueron en el reactor UASB la Temperatura del agua fue de 27.8°C mientras que en el DHS1 y DHS2 fue de 27.7°C y en el ECA menciona que debe ser +/- 3 de la temperatura ambiental y en el LMP <35°C, luego el pH del reactor UASB fue de 7.99 mientras que en el DHS1 fue 8.59 y en el DHS2 fue 8.45 en cuanto al pH tanto el ECA como los LMP debe estar entre 6.5 a 8.5, en cuanto a Turbiedad en el reactor UASB fue de 101.1 UNT mientras que en el DHS1 fue de 10.5 UNT y DHS2 de 6.3 UNT en cuanto a la turbiedad tanto el ECA como los LMP no menciona, para el parámetro de Oxígeno Disuelto en el reactor UASB fue de 0.21 mg/L mientras que en el DHS 1 fue de

7.49 mg/L y en el DHS2 fue 7.70 mg/L en cuanto al oxígeno disuelto en el ECA menciona que debe ser  $>5$  mg/L y en los LMP no menciona un rango y por último para el valor de Conductividad Eléctrica en el reactor UASB fue 1136.43  $\mu\text{S}/\text{cm}$  mientras que en el DHS1 fue de 1038.24  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en el DHS2 fue 986.59  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en cuanto a la conductividad eléctrica el ECA menciona que no debe ser mayor a 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en los LMP no menciona; se pudo determinar lo eficiente que fue nuestro sistema, mostrando un efecto significativo en la remoción de dichos parámetros.

3. Se determinó el efecto del sistema DHS en el parámetro microbiológico de Coliformes termotolerantes del efluente del reactor UASB y efluente del reactor DHS, donde el valor máximo de remoción en el DHS 1, utilizando el agua tratada del reactor UASB el cual fue de 7900000 NMP/100ml y utilizando como tratamiento el DHS1 el cual fue de 110000 NMP/100ml obteniendo una remoción de 1.86 log en porcentaje fue de 98.61%, mientras que el valor máximo de remoción en el DHS 2 utilizando el agua tratada del reactor UASB el cual fue de 17000000 NMP/100ml y utilizando como tratamiento el DHS2 el cual fue de 79000 NMP/100ml obteniendo una remoción de 2.33 log en porcentaje fue de 99.54%, mientras que en el ECA para este parámetro menciona que no debe ser mayor a 1000 NMP/100ml y en cuanto a los LMP menciona que no debe ser mayor a 10000 NMP/100ml demostrando que tuvo un efecto significativo en la remoción de dicho parámetro pero no logro el cumplimiento ya que faltó un post tratamiento (cloración).
4. Se determinó la eficiencia del DHS a lo largo de su periodo de funcionamiento (Arranque y Experimental) mediante un análisis estadístico utilizando el programa R ya que es un software libre y programable, comparando con el ECA categoría 3 uso de riego y los LMP para efluentes de PTAR de agua vigentes haciendo una comparación entre el D.S 004-2017-MINAM con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el cumplimiento categoría 3 para uso de riego y el D.S 003-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR, donde se pudo determinar lo eficiente que fue nuestro sistema DHS a lo largo de su funcionamiento en los parámetros fisicoquímicos pero en los parámetros microbiológicos no, y es por ello que nuestro sistema requiere un post tratamiento (cloración). El sistema DHS servirá como alternativa para remplazar las lagunas de estabilización y maduración (criadero de algas), ya que ocupan grandes extensiones de terreno y hoy en día no contamos debido a la sobrepoblación.

## 5. Bibliografía

Acuña, V. O. (2013). *Eficiencia del sistema de esponjas colgantes DHS de primera generación en el tratamiento del efluente del reactor UASB*. Universidad Nacional de Ingeniería.

Chuang, H., Yamaguchi, T., Harada, H., y Ohashi, A. (2008). *Anoxic Ammonium Oxidation by Application of a Down-flow hanging sponge (DHS) reactor. Journal of Environmental Engineering and Management*, 18(6), 409–417.

[http://ser.cienve.org.tw/download/18-6/jeeam18-6\\_409-417.pdf](http://ser.cienve.org.tw/download/18-6/jeeam18-6_409-417.pdf)

Geológica, F.D.E.I., Minera, y., Estructural, C., y Exploratorio, Y. P. (2009). Universidad Nacional de Ingeniería.

Hideki Harada.(2008) *India-Japan international collaboration for an Innovative Sewage Treatment Technology with Cost-Effective and Minimum Energy.*

OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 42. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Okubo, T., Iguchi, A., Takahashi, M., Kubota, K., y Uemura, S. (2016). *Treatment Performance of Practical-Scale Down-flow Hanging Sponge Reactor Using Sixth-Generation Hard Sponge Media.*

Ponce Correal, A.D.E. (2008). *Eliminación de bacterias patógenas en lodos residuales durante el secado solar.* Scielo, 162-170.