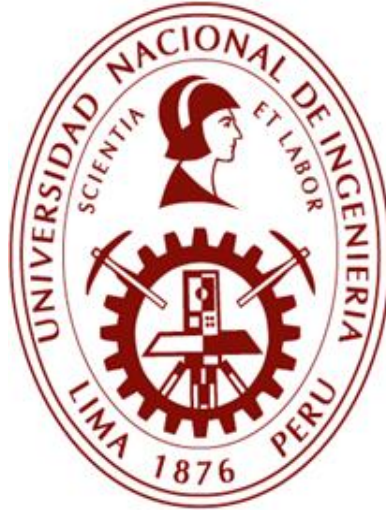


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR
ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW
HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON
DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE
ESPONJA”**

PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO

PRESENTADO POR:

QUISPE PAUCAR, MANUEL ENRIQUE

ASESOR:

ING. OTTO BRUNO ROSASCO GERKES

LIMA, PERÚ
2019

DEDICATORIA:

*A mis padres, Román Quispe y
Marcelina Paucar, por guiar mis
pasos, darme amor y su apoyo
incondicional. A mis tíos, Gonzalo y
Eduarda. Mis hermanos, familiares
y amigos que me dieron fuerzas
para seguir adelante.*

AGRADECIMIENTO

Esta investigación no se hubiera podido realizar sin el apoyo de muchas personas, quisiera agradecer infinitamente:

- Al Ing. Otto Bruno Rosasco Gerkes, por guiarme y brindarme consejos y recomendaciones para la realización de este proyecto de investigación.
- A la Doctora Rosa Yaya Veas, por el apoyo y recomendaciones para el desarrollo de la presente investigación.
- Al personal administrativo y técnico del Centro de Investigaciones en Tratamiento de Aguas Residuales y desechos Tóxicos – CITRAR de la Universidad Nacional de Ingeniería. En especial al Sr. Manuel y al Sr. Ramsés por el apoyo en el montaje y mantenimiento del proyecto.
- Al personal administrativo y técnico del Laboratorio de Agua de la Facultad de Ingeniería Ambiental. En especial a la Sra. Margarita y al Sr. Raúl, por el apoyo para la realización de los análisis requeridos.

Padres, familiares y amigos que siempre estuvieron presentes dándome ánimos para seguir adelante, perseverando para poder lograr la meta. Muy agradecido con cada uno de ustedes por todo ese apoyo, no solo en esta etapa sino durante todo el tiempo que estuvieron pendiente de mí.

RESUMEN

Se construyó un prototipo a escala piloto y se evaluó la eficiencia en remoción de DBO5 y coliformes fecales durante un periodo de 95 días. El reactor DHS comprendió de 4 módulos con medios de soporte de esponjas de diferente tamaño dispuestos en dos columnas de 2 módulos cada una. Los tamaños de esponja fueron de 4cm, 2.5cm, 3cm y 5cm de arista de cubo para los módulos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

El sistema DHS experimental fue diseñado para un caudal de 97.5 L/día con un tiempo de retención de 1.5h. Durante la parte experimental se realizó la medición de diferentes parámetros físicos y microbiológicos. Entre los parámetros físicos se analizaron turbiedad, Ph, conductividad, Oxígeno Disuelto y Temperatura ambiental; además se analizaron los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y coliformes fecales.

Los resultados obtenidos de este sistema DHS fue un sistema aerobio en la cual no se generaron malos olores durante el tratamiento. Se obtuvo un efluente del reactor DHS 1 con características de un Ph de 7.4 ± 0.31 , turbiedad de 7.43 ± 10.36 UNT, conductividad de 700.64 ± 61.31 uS/cm, OD de 6.6 ± 0.77 mg/l, Demanda Bioquímica de Oxígeno de 22.92 ± 12.57 mg/L y remoción de coliformes fecales de $3.00 \text{ E}+04 \pm 3.64 \text{ E} + 04$. Para el caso del efluente del reactor DHS 2 sus características de un Ph de 7.2 ± 0.23 , turbiedad de 3.23 ± 1.94 UNT, conductividad de 686.22 ± 49.91 uS/cm, OD de 5.67 ± 0.72 mg/l, Demanda Bioquímica de Oxígeno de 17.58 ± 11.61 mg/L y remoción de coliformes fecales de $7.53 \text{ E}+04 \pm 9.52 \text{ E} + 04$.

ABSTRACT

A pilot scale prototype was constructed and the efficiency of removal of BOD₅ and fecal coliforms was evaluated over a period of 95 days. The DHS reactor comprised 4 modules with sponge support means of different sizes arranged in two columns of 2 modules each. The sponge sizes were 4cm, 2.5cm, 3cm and 5cm cube edge for modules 1, 2, 3 and 4 respectively.

The experimental DHS system was designed for a flow rate of 97.5 L / day with a retention time of 1.5h. During the experimental part the measurement of different physical and microbiological parameters was performed. Among the physical parameters, turbidity, Ph, conductivity, Dissolved Oxygen and Ambient temperature were analyzed; In addition, the parameters of Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) and fecal coliforms were analyzed.

The results obtained from this DHS system was an aerobic system in which no bad odors were generated during the treatment. A DHS 1 reactor effluent with characteristics of a Ph of 7.4 ± 0.31 , turbidity of 7.43 ± 10.36 UNT, conductivity of 700.64 ± 61.31 uS / cm, OD of 6.6 ± 0.77 mg / l, Biochemical Oxygen Demand of $22.92 \pm$ was obtained 12.57 mg / L and removal of faecal coliforms of $3.00 \text{ E} + 04 \pm 3.64 \text{ E} + 04$. In the case of the DHS 2 reactor effluent its characteristics of a Ph of 7.2 ± 0.23 , turbidity of 3.23 ± 1.94 UNT, conductivity of 686.22 ± 49.91 uS / cm, OD of 5.67 ± 0.72 mg / l, Biochemical Oxygen Demand of 17.58 ± 11.61 mg / L and fecal coliform removal of $7.53 \text{ E} + 04 \pm 9.52 \text{ E} + 04$.

INDICE

I.INTROUCCIÓN.....	1
I.1.INTRODUCCIÓN.....	1
I.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
I.3.ANTECEDENTES.....	2
I.4.HIPÓTESIS.....	6
I.5.JUSTIFICACIÓN.....	6
II.MARCOTEÓRICO.....	7
II.1. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS.....	7
II.1.1. CLASIFICACIÓN DE LAS BACTERIAS.....	8
II.1.1.1. POR SU TEMPERATURA DE CRECIMIENTO.....	8
II.1.1.2. POR SU MORFOLOGÍA.....	8
II.1.1.3. POR SU METABOLISMO.....	8
II.1.2. ORGANISMOS PATÓGENOS.....	9
II.1.2.1. COLIFORME.....	10
II.1.2.1.1. COLIFORME FECAL.....	10
II.1.3. ELIMINACIÓN DE ORGANISMOS PATÓGENOS.....	11
II.1.4. PELÍCULA BIOLÓGICA.....	12
II.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	14
II.2.1. TRATAMIENTO PRIMARIO.....	15
II.2.2. TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	15
II.2.2.1. REACTOR ANAEROBIO DE MANTO DE LODOS Y FLUJO ASCENDENTE.....	16
III. MARCO LEGAL.....	17
III.1. MARCO LEGAL.....	17

IV. OBJETIVOS.....	18
IV.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
IV.1.1. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	18
V. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.	19
V.1. UBICACIÓN DEL SISTEMA.....	19
V.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	20
V.3. MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....	26
V.3.1. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL....	26
V.3.2. SISTEMA DE TRATAMIENTO DHS.....	27
V.3.3. SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y SALIDA DE CAUDAL.....	27
V.4. DISEÑO DEL SISTEMA.....	28
V.4.1. SELECCIÓN DEL MATERIAL FILTRANTE.....	28
V.4.2. POROSIDAD.....	28
V.4.3. CAUDAL DE DISEÑO.....	29
V.4.4. VOLUMEN DEL MATERIAL FILTRANTE.....	30
V.4.5. DISTRIBUCIÓN DEL MATERIAL FILTRANTE.....	30
V.4.6. DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES.....	30
V.4.6.1. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO.....	31
V.4.6.2. SISTEMA DE REGULACIÓN.....	31
V.4.6.3. REACTORES DHS.....	31
V.5. DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO.....	32
V.6. PARÁMETROS DE MEDICIÓN.....	33
V.6.1. PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS.....	33
V.6.2. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.....	33
V.7. CRONOGRAMA DE MEDICIÓN.....	33
V.8. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS EN LABORATORIO.....	34
V.8.1. ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS.....	34
V.8.1.1. TEMPERATURA.....	34
V.8.1.2. PH.....	34

VIII

V.8.1.3. OXIGENO DISUELTO.....	34
V.8.1.4. TURBIEDAD.....	34
V.8.1.5. CONDUCTIVIDAD.....	34
V.8.1.6. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.....	35
V.8.1.7. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO.....	36
V.8.1.8. COLIFORMES FECALES.....	37
V.8.2. OBSERVACIONES DE LA CAPA MICROBIOLÓGICA.....	41
VI. RESULTADOS.....	43
VI.1. TEMPERATURA.....	43
VI.1.1. TEMPERATURA DEL LABORATORIO.....	43
VI.1.2. TEMPERATURA AMBIENTAL.....	46
VI.2. PH.....	46
VI.3. TURBIEDAD.....	49
VI.4. CONDUCTIVIDAD.....	53
VI.5. OXIGENO DISUELTO.....	55
VI.6. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO.....	59
VI.7. SOLIDOS.....	62
VI.7.1. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST).....	63
VI.7.2. SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES (SSV).....	64
VI.7.3. SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS (SSF).....	66
VI.8. COLIFORMES FECALES.....	68
VI.9. OBSERVACIÓN DE LA CAPA MICROBIOLÓGICA.....	73
VI.10. COMPARACIÓN DE LOS ECAS Y LMP.....	74
VII. DISCUSIONES.....	75
VII.1. TEMPERATURA AMBIENTAL Y LABORATORIO.....	75
VII.2. PH.....	76
VII.3. TURBIEDAD.....	77
VII.4. CONDUCTIVIDAD.....	80

VII.5. OXIGENO DISUELTO.....	81
VII.6. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.....	84
VII.7. SÓLIDOS.....	88
VII.7.1. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST).....	88
VII.8. COLIFORMES FECALES.....	90
VIII. CONCLUSIONES.....	95
IX. RECOMENDACIONES.....	98
X. BIBLIOGRAFIA.....	100
ANEXOS.....	103

TABLAS Y CUADROS

TABALA 1.1. Comparación de las eficiencia de tratamiento de los diferentes modelos de DHS.....	4
TABLA 2.1. Clasificación de los microorganismo.....	7
TABLA 5.1. Dimensiones de las esponjas para la prueba.....	29
CUADRO 6.1. Registro de temperatura para cada punto de muestreo.....	59
CUADRO 6.2. Registro de Ph para cada punto de muestreo.....	62
CUADRO 6.3. Registro de Turbiedad para cada punto de muestreo.....	66
CUADRO 6.4. Registro de Conductividad para cada punto de muestreo.....	71
CUADRO 6.5. Registro de Oxígeno Disuelto para cada punto de muestreo.....	75

FIGURAS

FIGURA 1.1. Evolución de los reactores DHS.....	4
FIGURA 2.1. Etapa del desarrollo de la película biológica.....	14
FIGURA 5.1. Ubicación del sistema DHS en el Centro de Investigación CITRAR – UNI.....	19
FIGURA 5.2. Esquema general de la distribución de unidades de tratamiento en CITRAR.....	21
FIGURA 5.3. Esquema general del Reactor DHS.....	22
FIGURA 5.4. Esponjas utilizadas en cada módulo.....	35
FIGURA 5.5. Sistema de recolección del efluente tratado.....	26
FIGURA 5.6. Esquema general de dilución e incubación.....	40
FIGURA 6.1. Temperatura del laboratorio, durante el periodo de análisis.....	44
FIGURA 6.2. Variación promedio de temperatura, durante el periodo de análisis.....	45
FIGURA 6.3. Temperatura ambiental, durante el periodo del análisis.....	46
FIGURA 6.4. Variación del Ph, durante el periodo de análisis.....	48
FIGURA 6.5. Variación promedio de Ph, del Reactor DHS 1, durante el periodo de análisis.....	49
FIGURA 6.6. Variación promedio de Ph, del Reactor DHS 2, durante el periodo de análisis.....	49
FIGURA 6.7. Variación promedio de Turbiedad, del Reactor DHS 1, durante el periodo de análisis.....	50
FIGURA 6.8. Variación promedio de Turbiedad, del Reactor DHS 2, durante el periodo de análisis.....	51
FIGURA 6.9. Variación promedio de Turbiedad en los efluentes, durante el periodo de análisis.....	52
FIGURA 6.10. Variación promedio de la eficiencia en remoción de Turbiedad, durante el periodo de análisis.....	53
FIGURA 6.11. Variación promedio de Conductividad, del Reactor DHS 1, durante el periodo de análisis.....	54
FIGURA 6.12. Variación promedio de Conductividad, del Reactor DHS 2, durante el periodo de análisis.....	55

FIGURA 6.13. Variación promedio de Oxígeno Disuelto, del Reactor DHS 1, durante el periodo de análisis.....	57
FIGURA 6.14. Variación promedio de Oxígeno Disuelto, del Reactor DHS 2, durante el periodo de análisis.....	58
FIGURA 6.15. Variación de Oxígeno Disuelto en los efluentes.....	58
FIGURA 6.16. Variación promedio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el módulo 1, durante el periodo de análisis.....	59
FIGURA 6.17. Variación promedio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el módulo 2, durante el periodo de análisis.....	60
FIGURA 6.18. Variación promedio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el módulo 3, durante el periodo de análisis.....	61
FIGURA 6.19. Variación promedio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el módulo 4, durante el periodo de análisis.....	61
FIGURA 6.20. Variación de Sólidos Suspendidos Totales en el Reactor DHS 1.....	63
FIGURA 6.21. Variación de Sólidos Suspendidos Totales en el Reactor DHS 2.....	64
FIGURA 6.22. Variación de Sólidos Suspendidos Volátiles en el Reactor DHS 1.....	65
FIGURA 6.23. Variación de Sólidos Suspendidos Volátiles en el Reactor DHS 2.....	66
FIGURA 6.24. Variación de Sólidos Suspendidos Fijos en el Reactor DHS 1....	67
FIGURA 6.25. Variación de Sólidos Suspendidos Fijos en el Reactor DHS 2....	68
FIGURA 6.26. Variación de Coliformes Fecales en el módulo 1, durante el periodo de análisis.....	69
FIGURA 6.27. Variación de Coliformes Fecales en el módulo 2, durante el periodo de análisis.....	89
FIGURA 6.28. Variación de Coliformes Fecales en el módulo 3, durante el periodo de análisis.....	70
FIGURA 6.29. Variación de Coliformes Fecales en el módulo 4, durante el periodo de análisis.....	71
FIGURA 7.1. Evolución de las temperaturas ambiental y laboratorio.....	75
FIGURA 7.2. Variación promedio de Turbiedad en el módulo 1, durante el periodo de análisis.....	78
FIGURA 7.3. Variación promedio de Turbiedad en el módulo 3, durante el periodo de análisis.....	79

FIGURA 7.4. Variación de la Conductividad al final del tiempo de operación.....	81
FIGURA 7.5. Variación promedio de Oxígeno Disuelto en los efluentes del módulo 1 y 3.....	84
FIGURA 7.6. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el Reactor DHS 1, durante el periodo de análisis.....	85
FIGURA 7.7. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el Reactor DHS 2, durante el periodo de análisis.....	86
FIGURA 7.8. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en los efluentes de los módulos 1 y 3.....	87
FIGURA 7.9. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en los efluentes, durante el periodo de análisis.....	88
FIGURA 7.10. Eficiencia de remoción de SST en el Reactor DHS 2.....	89
FIGURA 7.11. Eficiencia de remoción de SST en el Reactor DHS 1.....	89
FIGURA 7.12. Variación de los SSV en los Reactores DHS 1 y 2.....	90
FIGURA 7.13. Variación de Coliformes Fecales en el Reactores DHS 1.....	91
FIGURA 7.14. Variación de Coliformes Fecales en el Reactores DHS 2.....	92
FIGURA 7.15. Comparación de eficiencias de los Reactores DHS 1 y 2.....	93
FIGURA 7.16. Comparación de remoción, en términos de logaritmos, de los Reactores DHS 1 y 2.....	93

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

I.1. INTRODUCCION

La presente investigación evalúa el sistema de tratamiento de aguas residuales llamado DHS (Downflow Hanging Sponge), flujo descendente de esponjas colgantes. Esta tecnología fue evaluada como tratamiento secundario la cual complementa el tratamiento primario, realizado en el reactor UASB, generando mejores eficiencias en remoción de diversos parámetros como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y coliformes fecales.

La investigación se realizó en las instalaciones del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos – CITRAR, realizando un montaje, a escala piloto, de dos reactores DHS distribuidos en dos columnas de dos módulos cada una. En la cual se realizaron mediciones de diversos parámetros físicos químicos como Turbiedad, Ph, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Temperatura, conductividad, sólidos suspendidos y mediciones bacteriológicas como coliformes fecales.

El inicio del periodo de investigación se realizó el 26 de Noviembre del 2018, el periodo de evaluación fue dado por 18 semanas hasta el 01 de Abril del 2019.

I.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El crecimiento de la población conlleva a un incremento en la generación de aguas residuales domésticas. Los países en vías de desarrollo buscan obtener buenas eficiencias en el tratamiento de aguas residuales, pero con procesos simples y adecuados.

Los reactores de esponjas colgantes de flujos descendente (DHS) son tecnologías de tratamientos secundarios de altas eficiencias en la

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

remoción de materia orgánica, microorganismos patógenos y nutrientes; así como ventajas sobre otros procesos eficientes como los lodos activados (Tankudar et al., 2007).

I.3. ANTECEDENTES

A lo largo de diversos estudios se han propuesto varios tipos de reactores DHS, las cuales son distribuidas en seis generaciones. Cada generación propuesta como solución de tratamiento presenta variantes propias de cada generación.

El reactor DHS de primera generación desarrollado por Agrawal et al. y Machdar et al. en el año 1997, esta primera generación se da con una variación de esponjas tipo cubo. Se desarrolló esponjas tipo cubo de 1.5cm de arista la cual estuvo conectadas diagonalmente mediante un hilo de nylon dando como resultado altas eficiencias de remoción en los parámetros analizados.

El reactor DHS de segunda generación propuesto en el año 2000, presentó la variación de un modelo tipo cortina en la cual las esponjas eran tiras triangulares de esponja de 75 cm de largo con 3 cm de lado adheridos a una lámina plástica con una separación entre láminas de 0.9 cm. en esta generación se presentaron algunos inconvenientes por el diseño. La configuración que presentaba era complicada para plasmarlo a escala piloto (Machdar et al., 2000).

El reactor DHS de tercera generación se presentó con el principio de un filtro percolador. Las esponjas eran distribuidas aleatoriamente en un empaque plástico de forma cilíndrica (ruleros) que servía de soporte de las mismas, la cual ayuda en su consistencia y distribución de las esponjas. (Tawfik et al., 2006).

El reactor DHS de cuarta generación se desarrolló mediante esponjas en tiras largas de 2.5 x 2.5 x 50 cm. Estas esponjas iban en planchas conformadas de varias tiras de esponjas y cada plancha apilada encima

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

de otra. Esta distribución de las esponjas era de manera compacta a comparación de las anteriores generaciones (Tandukar et al., 2005).

El reactor DHS de quinta generación fue desarrollado a partir del reactor de segunda generación con la modificación en la construcción de los módulos de esponjas con superficies cubiertas enteramente por láminas de esponjas por ambos lados de una superficie ondulada. Después de ser cubiertas estos módulos eran empacados uno encima de otro para la compactación de todo el reactor. Con estas variaciones se esperaba aumentar el volumen de esponja en un 60 – 80% reduciendo el tamaño del reactor y obtener mejores eficiencias con una menor cantidad de esponjas.

El reactor DHS de sexta generación se desarrolló a partir de la tercera generación, en la cual el problema de trabajar con esponjas suaves y tener como principio un filtro percolador generaría el apilamiento de las esponjas, si estas no tuvieran el empaque plástico de forma cilíndrica. El empaque era el sostén de las esponjas en la distribución de ellas en todo el tanque.

Por lo tanto, para esta generación se buscó quitar el empaque plástico con lo cual se varió la esponja a utilizar. Se endureció la esponja mediante el uso de resina epóxica, con la presencia de la resina redujo el volumen vacío a un 70% en lugar de un 95%. Esta variación permitió prescindir del empaque de plástico, pues la esponja por si misma presentaba rigidez adecuada, necesaria para no presentar deformaciones por el apilamiento o compactamiento dentro del reactor (Okubo et al. 2016)

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

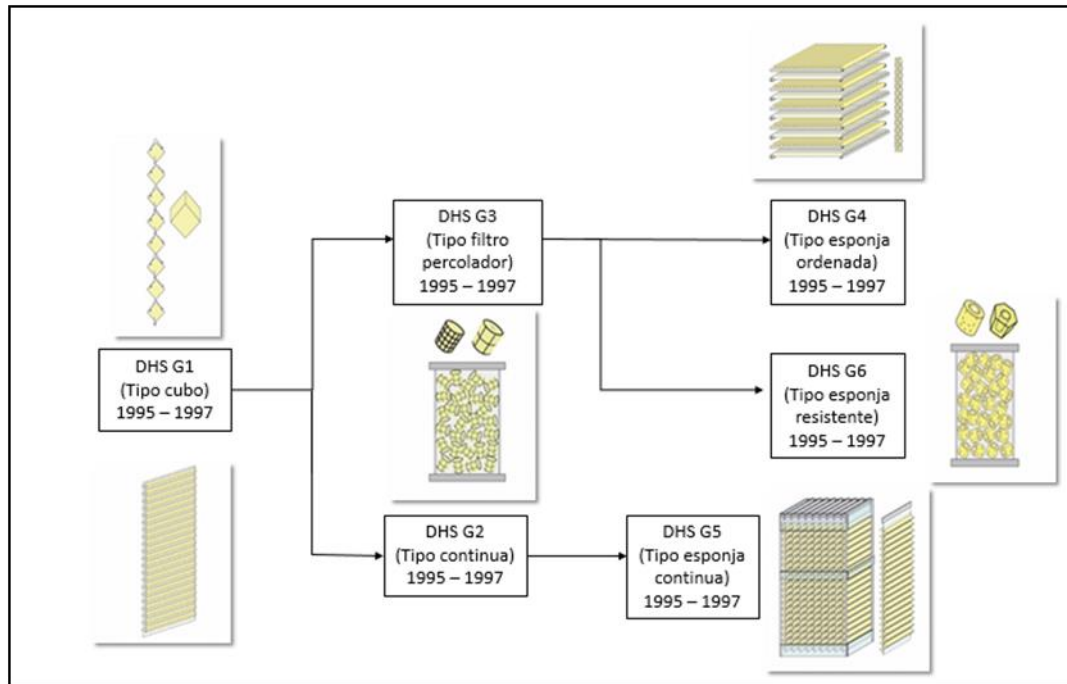


Figura 1.1. Evolución de los reactores DHS

Tabla 1.1. Comparación de las eficiencias de tratamiento con los diferentes modelos de DHS

	DHS G1	DHS G2	DHS G3	DHS G4	DHS G5	DHS G6
TRH (h)	1.3	1.5	0.95	2.0	2.5	2.0
Carga Org. (KgDQO/m ³ .d)	2.66 (1.0)	2.67 (0.76)	6.34 (2.37)	2.40	2.18 (0.52)	2.03 (0.96)
DQO afl (mg/l)	144 (54)	166 (47)	298 (74)	195 (85)	227 (54)	169 (80)
DQO efl (mg/l)	40 (18)	33 (14)	92 (20)	46 (16)	62 (30)	48 (19)
DQO rem (%)	71 (12)	80	67 (12)	76	72	68 (17)
Reference	Lalit et al., 1997	Okubo et al., 2015	Nomoto et al., 2017	Tandukar et al., 2006	Tandukar et al., 2007	Onodera et al., 2014

Fuente: Hideki Harada. Asian Science and Technology, 2008..

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Se realizaron investigaciones en Japón, una de las cuales se realizó mediante la primera generación en la cual usaban el mismo volumen de esponjas, pero las distribuían en diferentes tamaños. La investigación presentó el uso de un reactor de flujo descendente de esponja (DHS), que fue desarrollado para el post-tratamiento de efluente de proceso de flujo ascendente anaerobio de manto de lodos (UASB) (Uemura, Suzuki, Maruyama y Harada, 2011).

Se utilizó tres reactores DHS idénticos, 2m de alto y 0.02m de ancho, esponjas de forma prismática. Los reactores presentan el mismo volumen de esponjas, pero distribuidos de diferentes tamaños. Se utilizaron tamaños de 14x20x28.8mm, 17.7x20x35.4mm y 21.2x20x42.4mm para cada reactor DHS. El tiempo de retención utilizado fue de 2h y un caudal de 2.8 l/día. La disposición de los reactores fueron paralelos, independiente cada uno del otro.

Los resultados de la investigación revelaron que se logró una remoción de 85.2% de DQO para el reactor con menor tamaño de esponja y de 82.9% en el de mayor tamaño. Para la remoción de Coliformes Fecales para el reactor con esponjas de menor tamaño fue de 2.95 log y para el de mayor tamaño 2.19 log.

Para el caso del oxígeno disuelto (OD) aumentó a medida que recorría el reactor, el incremento de OD fue significativo dando en el reactor de esponjas de mayor tamaño 4.2 veces más que la del menor tamaño. Además, se determinó la cantidad de sólidos volátiles en suspensión al final del proceso experimental dando como resultado en el reactor de menor tamaño de esponjas 18.7g –SSV/L y en el de mayor tamaño 16.4 g – SVV/L.

El estudio mostró que los tamaños de las esponjas más pequeñas (en comparación con los tamaños de esponjas antes mencionadas) de los reactores DHS, presentan mejor rendimiento de eliminación para los parámetros mencionados.

Otra investigación, tratamiento de aguas residuales con tecnología DHS a escala piloto (Rojas y Visurraga, 2012), en la cual su presentaron un

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

reactor DHS de primera generación con esponjas tipo cubo. Las esponjas presentaron un tamaño de 2.5 cm de arista, para dos módulos conectados en serie, de configuraciones similares. La primera etapa recibió 8.1 L/día y la segunda etapa 16.2 L/día.

Los resultados obtenidos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) fueron una eficiencia de remoción en 49.93% y en la segunda etapa 82.31%.

I.4. HIPOTESIS

Con la utilización del sistema de tratamiento secundario DHS (Downflow Hanging sponge) de primera generación como tratamiento del efluente de un reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (RAMFLA), se espera obtener más del 70% remoción de materia orgánica, baja generación de lodo y que pueda mantener un sistema aerobio sin la necesidad de aireación.

I.5. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto de investigación propuso la utilización de una tecnología denominada Downflow Hanging Sponge (DHS) de primera generación para el tratamiento del efluente de un tratamiento primario, como es el caso de un Reactor Anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (RAMFLA). Se planteó una alternativa en la cual se combina diferentes tamaños de soporte de esponjas para una mejor remoción de materia orgánica y la reducción de coliformes fecales, con el fin de obtener un efluente de mejor calidad.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

II.1. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS.

Las características biológicas dependerán mucho del tratamiento al cual se esté siguiendo, ya sea un tratamiento aerobio o anaerobio. Los principales grupos de microorganismos que se encuentran en las aguas residuales serán utilizados como indicadores de polución del agua.

Los organismos presentes tanto en aguas residuales como aguas superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias.

Tabla 2.1. Clasificación de los microorganismos

Grupo	Estructura celular	Caracterización	Miembros representativos
Eucariotas	Eucariota ^b	Multicelular, con gran diferenciación de las células y el tejido.	Plantas (plantas de semilla, musgos, helechos). Animales (vertebrados e invertebrados).
		Unicelular o coenocítica o micelial; con escasa o nula diferenciación de tejidos.	Protistas (algas, hongos, protozoos).
Eubacterias	Procariota ^c	Química celular parecida a las eucariotas.	La mayoría de las bacterias.
Arqueobacterias	Procariota ^c	Química celular distintiva.	Metanógenos, halófilos, termacidófilos.

E U C A R I O T A S
E U B A C T E R I A S
A R Q U E O B A C T E R I A S

Mediante el sistema de tratamiento secundario DHS se tratará el efluente de un reactor UASB mediante esponjas colgantes en la cual es considerado como un proceso biológico de tratamiento de cultivo fijo, donde los microorganismos presentes transformarán la materia orgánica y otros constituyentes que están presentes en el

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

efluente producido por el reactor anaerobio UASB. A esto se le conoce como proceso de bio película (biofilm), película biológica o capa biológica.

II.1.1. CLASIFICACIÓN DE BACTERIAS

II.1.1.1. POR SU TEMPERATURA DE CRECIMIENTO

La temperatura tiene gran influencia en el crecimiento de las bacterias. El aumento de la actividad bacteriana se ve incrementado por la temperatura, la cual sigue aumentando hasta un límite donde las bacterias mueren.

II.1.1.2. POR SU MORFOLOGÍA

Las bacterias varían en gran manera en su forma y tamaño. En su mayoría presentan 10 veces menor del tamaño de las células eucariotas, las cuales varían de 0.5 a 5 μm . Sin embargo, existe un amplio rango de tamaños según las especies y esta puede variar desde 0,2 μm de diámetro como es el caso de los microplasma hasta 40 μm como en la *Beggiatoa gigantea*.

II.1.1.3. POR SU METABOLISMO

De acuerdo a su metabolismo las bacterias se pueden clasificar en autotróficas o heterotróficas:

- Organismos autotróficos

Los organismos autotróficos que presentan la capacidad de utilizar el bióxido de carbono (CO_2)

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

como su fuente de carbono. La fijación del CO₂ en la estructura celular es necesario de energía, si esta energía se da por medio de la luz solar, se dice que es un organismo fotosintético.

- Organismos Heterotróficos

Los organismos heterotróficos son aquellos que su fuente de carbono son sustancias orgánicas sintetizadas y/o materia orgánica (glúcidos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos).

II.1.2. ORGANISMOS PATÓGENOS

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales son provenientes de los desechos de humanos infectados o que presenten alguna determinada enfermedad. Es por ello la necesidad de la determinación de la cantidad de organismos patógenos en el agua superficial y agua residual.

Debido a efluentes con presencia de estos organismos generan muertes por infecciones en personas que ingieran, de algún modo. Al ser muy pequeñas las cantidades de organismos patógenos y de difícil aislamiento, se ha decidido emplear al grupo coliforme como organismo indicador, pues su presencia es más numerosa y de fácil comprobación.

Es necesario la determinación de este grupo coliforme de manera rutinaria en las aguas residuales, determinar su grado de contaminación sirve como indicador de calidad de un sistema de tratamiento o evaluar la calidad misma del agua residual. Para evaluar estas condiciones se utilizan bacterias del grupo coliforme, las cuales actúan como indicadores de contaminación fecal, las cuales se encuentran en la flora intestinal del hombre y de animales de sangre caliente (Metcalf y Eddy, 1995).

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

II.1.2.1. COLIFORME

El grupo coliforme incluye todos los bacilos gram negativos aerobios o anaerobios facultativos no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas, dentro de 24 – 28 horas a 35° C. Presentan una relación con la familia enterobacteriaceae que incluyen los géneros de Escherichia, Citrobacter, Enterobacter y Klebsiela.

En la determinación del grupo coliforme se encuentra una diferenciación entre los coliformes fecales y no fecales. Las bacterias del grupo coliforme son encontrados en las heces de animales homeotermos (mamíferos, aves), para evaluar la calidad de las aguas residuales de las descargas domésticas empleamos el grupo coliforme fecal como un indicador, pues estas bacterias generalmente no se multiplican fuera del intestino.

II.1.2.1.1. COLIFORME FECAL

Las bacterias coliformes fecales son las que forman parte del total del grupo coliforme, las cuales son definidas como bacilos gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 44.5° +/- 0.2° C dentro de las 24 +/- 2 horas. La mayor especie que se encuentra en el grupo coliforme es Escherichia Coli.

Para su determinación, en este proyecto de investigación, se realizó mediante el uso del método del Numero más Probable (NMP), cuyo método es realizado a partir de cultivos de todos los tubos positivos del medio A1 los cuales son inoculados en diferentes diluciones de la muestra original. Más adelante se detallara el método usado.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

II.1.3. ELIMINACIÓN DE ORGANISMOS PATÓGENOS

Un sistema de tratamiento de aguas residuales presenta procesos de tratamiento físico, químico y biológico las cuales se producen en un intervalo de tiempo, donde atraviesan una serie de etapas en las que el agua residual es tratada.

En esta serie de etapas están compuestos por procesos y operaciones unitarias de tratamiento de las aguas residuales. Para la eliminación de los organismos patógenos presentes en cada etapa de tratamiento se da por algunos procesos:

La generación de condiciones adversas a las cuales los organismos patógenos se desarrollan, como se da el caso de la digestión termofílica que puede producir una muerte rápida de los organismos patógenos presentes en el agua residual.

El tiempo de retención de los organismos patógenos al proceso de tratamiento, con ciertas características en el medio de desarrollo como rangos de Ph y temperatura u otros factores fisicoquímicos que limiten su desarrollo, como se da en las lagunas de estabilización o en los propios DHS.

Una aceleración de las tasas metabólicas y la estimulación de las cadenas alimenticias, una oxigenación apropiada y la relación alimento/microorganismo estimule el consumo rápido de la materia orgánica, esto se da en el proceso de lodos activados.

Independiente de la tecnología aplicada en los sistemas de tratamiento, se deben verificar la calidad del efluente que se generan en cada etapa del proceso. La cantidad de organismos patógenos es un indicador muy importante para la determinación de la calidad del efluente y la eficiencia en el sistema de tratamiento.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

II.1.4. PELÍCULA BIOLÓGICA

La formación de la película biológica se lleva a cabo en tres etapas: adhesión inicial, proliferación y desprendimiento. Los mecanismos físicos son de mayor importancia en la primera fase de formación de la película biológica.

Existen dos mecanismos físicos responsables de la inmovilización de las bacterias en un flujo de agua residual que atraviesa un medio poroso: el atascamiento y la adsorción. El mecanismo de atascamiento implica el no paso de la bacteria al querer atravesar un espacio vacío que es de menor tamaño. Los factores influyentes en el atascamiento son el tamaño del poro de la esponja, el tamaño de las bacterias y su forma, el grado de saturación del agua y el grado de obturación del medio físico.

Hay investigaciones en las cuales se evidencian que la remoción de bacterias es más eficiente en filtros colmatados que en filtros no colmatados (Baars et al., 1957; Butler et al., 1954; Krone et al., 1958 y Kristiansen, 1981); sin embargo, la colmatación dificulta otros procesos de remoción de contaminantes (Stevik et al., 2004).

Por el contrario, los factores que influyen sobre el mecanismo de absorción de las bacterias al medio poroso son físico, químico y biológicos. Según Stevik et al (1999), encontraron que los factores físicos, como el tamaño del poro, la tasa de carga hidráulica y el área superficial específica de los poros son los factores más importantes que afectan la remoción de patógenos.

Los factores químicos tales como el Ph, el potencial iónico del agua residual y el oxígeno disuelto tienen un efecto muy limitado. Los mecanismos de remoción biológica de bacterias patógenas son: antibiosis, exposición de biocidas, predación, muerte natural y competencia por nutrientes o elementos en trazas (Green et al., 1997). Asimismo, los protozoarios juegan un rol importante en la

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

predación de bacterias patógenas, tal como el E. Coli en los filtros biológicos de arena.

En los medios porosos donde los poros son de mayor tamaño que las bacterias, el mecanismo predominante de retención de bacterias es la adsorción. Muchas de las bacterias colonizadoras son flageladas y estos flagelos ayudan a adherirse a las superficies, pero también una sustancia que recubre exteriormente a la pared celular llamada glycocalyx que le permite a la célula adherirse a las superficies inertes y entre ellas. Asimismo, esta sustancia puede conservar y concentrar enzimas extracelulares necesarias para ingerir el sustrato, especialmente de altos pesos moleculares o particulados contenidos en las aguas residuales (Ossio, 2013).

La superficie de la película biológica tiene una alta adsorción debido a su naturaleza poli electrolítica pudiendo colectar cantidades significativas de limos, arcillas y otras sustancias en aguas residuales (Charaklis, 1981).

El desarrollo de la capa biológica en los reactores DHS se por mecanismos de adhesión que son anteriores a los de atascamiento, ya que el diámetro promedio del poro de la esponja es muy superior del tamaño promedio de una bacteria. Por ello los mecanismos de adhesión prevalecen en la primera etapa de arranque del sistema HDS y luego intervienen los mecanismos de atascamiento conforme la biomasa se va desarrollando.

Conforme la capa biológica se incrementa en grosor, el sustrato del agua residual es consumido antes de que pueda penetrar en las capas inferiores de la película biológica. Las bacterias del biofilm adheridas a la superficie de la esponja entran en una fase de respiración endógena y pierden su fuerza de adhesión a la esponja, siendo arrastradas por el flujo del líquido. La esponja se limpia y una nueva capa biológica comienza a desarrollarse (Tchobanoglous et al., 2003).

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

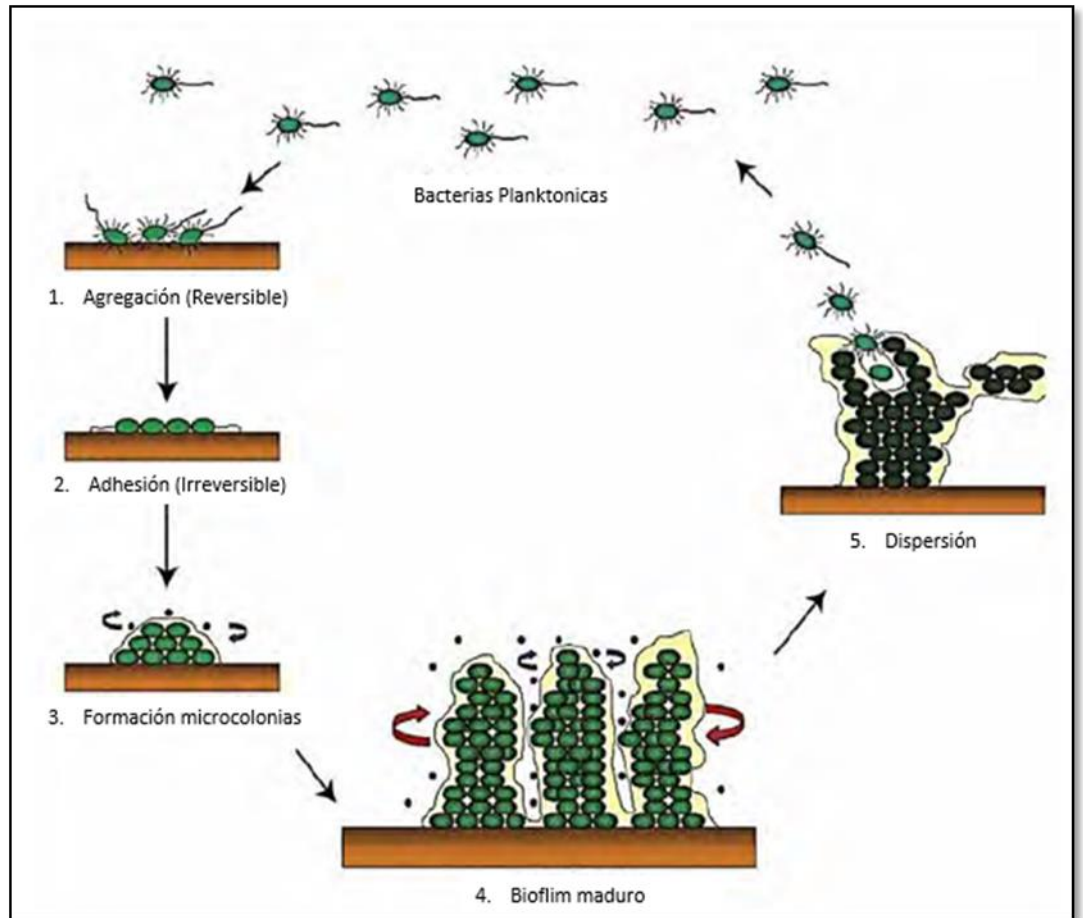


Figura 2.1. Etapa del desarrollo de la película biológica

FUENTE: M. Gilmore, 2008

Este desprendimiento en la capa biológica se puede dar con distintas frecuencias dependiendo de las condiciones de operación y temperatura en donde opera el sistema de tratamiento. El arrastre hidráulico es uno de los factores de operación que puede afectar en el desprendimiento de la capa biológica. La variación de la temperatura puede acelerar el metabolismo de los organismos que se alimentan de la película biológica y producen el desprendimiento mecánico de los floculos que se acumularon (Ossio, 2013).

II.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En la actualidad el incremento de la población, en países en desarrollo, ha aumentado considerablemente generando una mayor producción de aguas residuales. Es común, hoy en día, que estas aguas residuales

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

sean vertidas en cuerpos de agua sin un previo tratamiento. A pesar de que hay la necesidad de mejorar esta situación, los altos costos de infraestructura y la escasez de fondos son los principales problemas.

El tratamiento de las aguas residuales se realiza en una serie de etapas, con el objetivo de disminuir los contaminantes presentes en este flujo de agua. Las aguas residuales presentan contaminantes físicos, químicos y microbiológicos, estas características son particulares de acuerdo a su origen, ya sean de origen doméstico o industrial.

Para su tratamiento se debe realizar operaciones y procesos unitarios; operaciones unitarias cuyos métodos son aplicados para el tratamiento en donde predominan los fenómenos físicos y, procesos unitarios para la eliminación de contaminantes en base a procesos químicos o biológicos.

Estas operaciones y procesos unitarios se agrupan entre sí para constituir los ya conocidos tratamiento primario, secundario y terciario (o tratamiento avanzado).

II.2.1. TRATAMIENTO PRIMARIO

El tratamiento primario abarca principalmente el uso de operaciones físicas como son el desbaste y la sedimentación para la eliminación de los sólidos sedimentables y flotantes en el agua residual. Para ello se utilizan mecanismos como malas o cámaras de rejas, desarenadores, etc; otro tipo de mecanismo son los compactos, en la cual todo el sistema es un conjunto con una tecnología particular para el tratamiento (Metcalf y Eddy, 1995).

II.2.2. TRATAMIENTO SECUNDARIO

La etapa que sigue es un tratamiento secundario en la cual una de sus características principales es el uso de procesos biológicos y químicos para la eliminación de la mayor parte de la materia orgánica. En esta parte del tratamiento son más susceptibles a los factores externos, como son los cambios en el ambiente en el cual será aplicado, se deben estudiar las características y adaptación al lugar del proyecto. La realización de este procedimiento es

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

indispensable para poder elegir una tecnología adecuada (Metcalf y Eddy, 1995).

Dentro de los procesos biológicos podemos encontrar los reactores anaerobios, como es el caso de un Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo Ascendente.

II.2.2.1. REACTOR ANAEROBIO DE MANTO DE LODOS Y FLUJO ASCENDENTE

Este tipo de reactores anaerobios fueron desarrollados en la década de los ochenta, siendo precedidos por las fosas sépticas, generando mejores eficiencias en el tratamiento.

Estos reactores anaerobios pueden ser utilizados para realizar el tratamiento de efluentes domésticos o industriales con altas cargas orgánicas. Tienen la facilidad de poder ser usados solos o con unidades de post tratamiento para la producción de un efluente de mejor calidad y realizar una adecuada disposición final (Chernicharo, 2006).

Como todo sistema de tratamiento presenta ventajas y desventajas en su proceso:

Ventajas:

- Capacidad de tratar efluentes con altas cargas orgánicas
- Bajo consumo de energía; no se requiere aporte de O₂
- Presenta producción de CH₄, la cual se puede reutilizar como combustible y generar ingresos.
- La producción de lodo, es un lodo ya estabilizado

Desventajas

- Presenta cambios bruscos a variación de condiciones ambientales.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

CAPÍTULO III: MARCO LEGAL

III. 1. MARCO LEGAL

- A. D.S. N° 003 – 2010 – MINAM Límites Máximos Permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas y Municipales.
- B. D.S. N° 004 – 2017 – MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

CAPÍTULO IV: OBJETIVOS

IV.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la eficiencia de un reactor DHS (Downflow Hanging Sponge) de primera generación como tratamiento secundario del efluente de un reactor anaerobio de manto de lodo y flujo ascendente (RAMFLA) con tamaños del medio de soporte de esponjas de 2.5, 3, 4 y 5 cm.

IV.1.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Evaluar la eficiencia de remoción de DBO5 total y coliformes fecales
- Determinar la relación con los parámetros físicos – químicos y la producción de lodos en el reactor DHS
- Evaluar el incremento de oxígeno disuelto para la generación de un sistema aerobio

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

CAPÍTULO V: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

V.1. UBICACIÓN DEL SISTEMA

La presente investigación se realizó en las instalaciones del Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos – CITRAR, cuyo objetivo fue determinar la eficiencia de un reactor DHS (Downflow Hanging Sponge) de primera generación como tratamiento secundario del efluente de un reactor anaerobio de manto de lodo y flujo ascendente (RAMFLA) con diferentes tamaños de medio de soporte de esponjas.

El centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos – CITRAR se encuentra ubicado en el departamento de Lima, Provincia de Lima, distrito del Rímac, en la Universidad Nacional de Ingeniería, con coordenadas geográficas 8671419.53 m S y 276763 m E, a una elevación de 102 m.s.n.m.



Figura 5.1. Ubicación del Sistema DHS en el Centro de Investigación CITRAR – UNI

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

V.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Se realizó el diseño de un prototipo, a escala de laboratorio, en el centro de investigación CITRAR – UNI de una tecnología para el tratamiento de aguas residuales. Este tratamiento de las aguas residuales será un tratamiento secundario, pues se buscó tratar el efluente del reactor anaerobio UASB. Para el tratamiento de este efluente fue dado por la tecnología DHS de primera generación, tipo cubo, la cual se basa en esponjas de poliuretano dispuestas verticalmente en forma de cubos suspendidos.

La planta piloto del Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos – CITRAR recibe un afluente de aguas residuales domésticas de las poblaciones de El Milagro y El Ángel, poblaciones aledañas al centro de investigación.

El afluente que ingresa al centro de investigación CITRAR pasa por distintas unidades de tratamiento; captación, unidad en la cual se realiza la captación de las aguas residuales; cámaras gruesas y finas y posteriormente por un desarenador, procesos en donde se busca retener los sólidos, de gran tamaño, que presentan las aguas residuales.

El efluente producido, luego del paso por estas unidades, va hacia un tratamiento primario, el cual es mediante un Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo Ascendente (RAMFLA). El efluente producido por este tratamiento primario será el afluente de nuestro sistema DHS de primera generación.

Como principal objetivo de esta presente investigación es el tratamiento del efluente producido por el reactor anaerobio, en tal sentido a partir de este punto el tratamiento será mediante la construcción de un sistema DHS tipo cubo con diferentes tamaños del medio de soporte de esponja. (Ver Figura 5.2.)

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

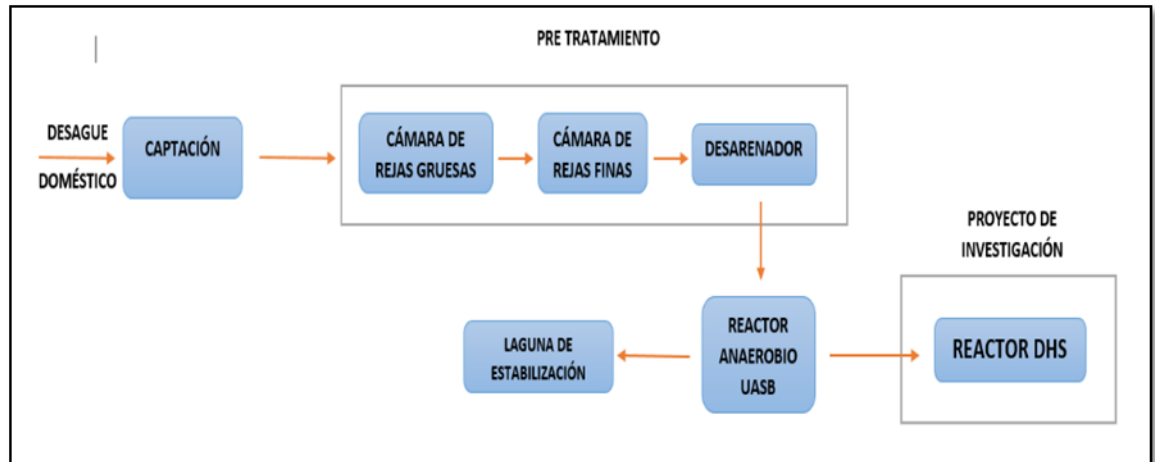


Figura 5.2. Esquema general de la distribución de unidades de tratamiento en CITRAR

El sistema DHS de primera generación tipo cubo, a escala piloto, consistió básicamente en un tanque de almacenamiento, un regulador de caudal, regulador de válvulas y dos reactores DHS de dos módulos cada uno dispuestos en serie. (Ver Figura 5.3.)

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

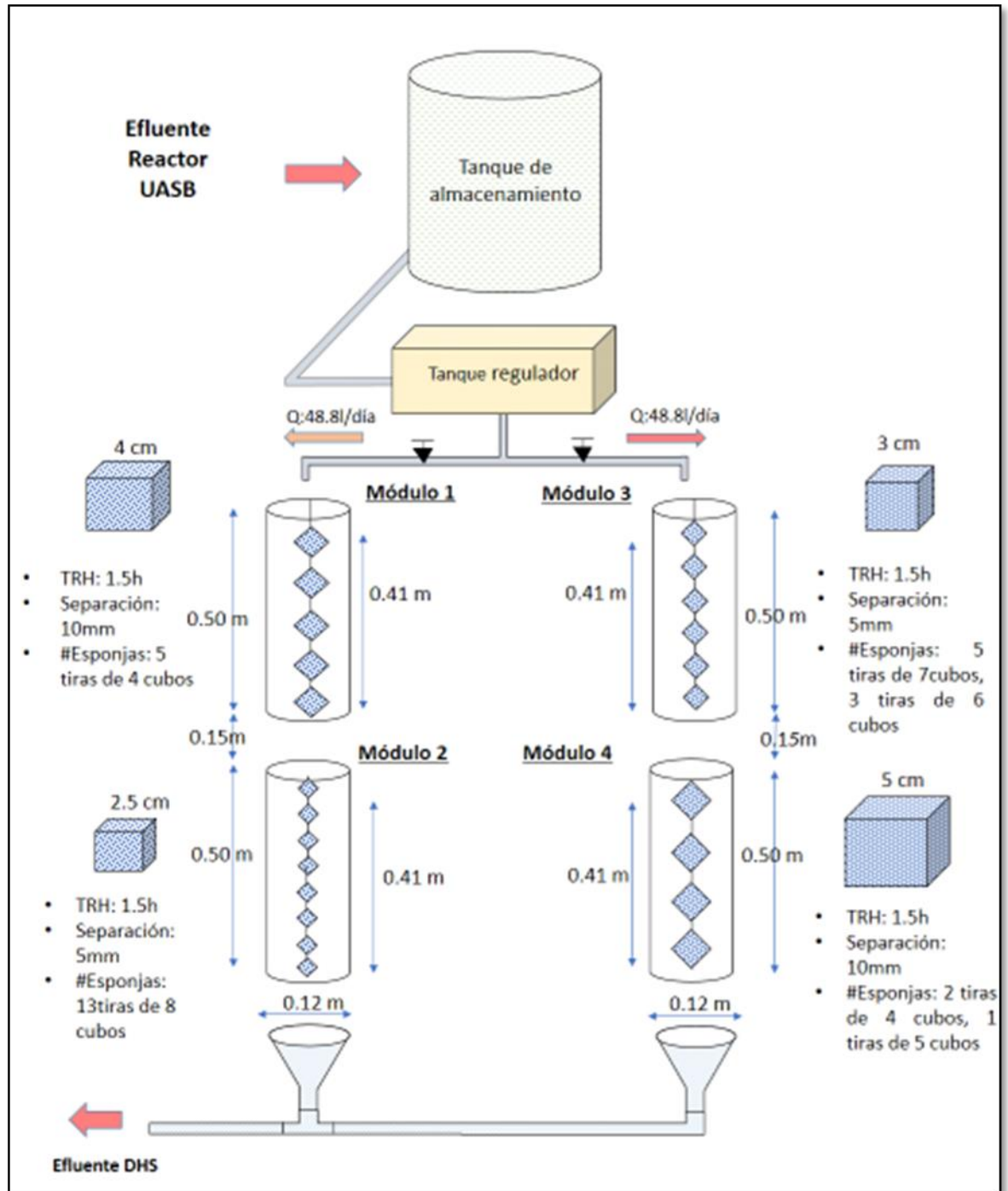


Figura 5.3. Esquema general del Reactor DHS

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

El sistema fue diseñado para no tener que usar un sistema mecanizado o que nos consuma energía eléctrica, en tal sentido todo el sistema trabaja gravitacionalmente. El sistema se comporta con un flujo vertical descendente, para su tratamiento el agua residual pasa a través de las esponjas dispuestas verticalmente dentro de cada módulo.

El almacenamiento del efluente del reactor anaerobio UASB consistió en un tanque de almacenamiento de 250 L, este efluente producido del reactor anaerobio era bombeado hacia el tanque de almacenamiento mediante una línea de impulsión de 117m aprox. de longitud con un diámetro de 1/2". Para el ingreso al tanque presenta dos válvulas de paso de 1/2", una para el llenado del tanque y la otra para la realización de una purga del agua residual proveniente de la línea de impulsión.

La realización de esta purga tenía como objetivo tener un afluente más próximo al efluente generado por el reactor anaerobio, pues existían factores que podían alterar las características del agua residual como:

El estancamiento del agua residual, en la línea de impulsión, se degeneraba por las condiciones ambientales presentes, ya sea la temperatura o una posible sedimentación lo cual cambiaba las características iniciales del agua residual.

La línea de impulsión servía para el llenado, no solo de este proyecto de investigación, sino también de otros proyectos de investigación presentes en las instalaciones del CITRAR; siendo algunos proyectos con afluentes del pre tratamiento, lo cual generaría una combinación de aguas residuales de diferentes características causando una distorsión en la caracterización del efluente del UASB.

Por lo tanto antes del llenado se purgaba por unos 15min el agua residual para obtener un afluente que sea lo más parecido al efluente generado en el reactor anaerobio UASB.

Luego del llenado del tanque de almacenamiento pasa a un tanque de regulación de caudal, el cual es un bidón de 40L donde presenta un cierre hidráulico en su llenado mediante una boya.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Tanto el tanque de almacenamiento como en tanque regulador de caudal tienen un efecto significativo en la caracterización del agua residual. En los dos se presenta una sedimentación del agua residual por el tiempo de retención hidráulica que presenta cada uno. Es por ello, que en la operación del Reactor DHS se previó, en la mayor medida, que esto ocurriera.

En el caso del tanque de almacenamiento, además de la purga antes de su llenado, que el almacenamiento fuera diario que no se llene el tanque para más de un día. Para el caso del tanque regulador de caudal, realizar la limpieza de este tanque dos veces al día, en casos que no se pueda la limpieza era de al menos una vez al día. Estas medidas eran realizadas con el fin de evitar una distorsión en la calidad del efluente del reactor anaerobio UASB y el afluente al Reactor DHS sea lo más próximo al efluente del reactor anaerobio.

Mediante tuberías de plástico de $\frac{1}{4}$ ", forradas con cinta negra (para evitar la formación de algas en la tubería los cuales podrían generar la obstrucción del mismo), pasa el agua residual hacia un regulador de válvulas. En la regulación de válvulas, se realizaba el aforamiento del caudal necesario propuesto en el diseño, se utilizó una probeta de 50ml y un cronómetro, con estos materiales se buscaba tener un caudal más exacto al de diseño.

Se contempló el diseño del reactor DHS, a escala piloto, la cual estaba compuesta de dos columnas de dos módulos cada una. Cada módulo está compuesto de tubos huecos de acrílico de dimensiones altura 0.50m y diámetro 0.12m. Se presentan 4 módulos llamados módulo 1, 2, 3 y 4 en los cuales presentan esponjas de 4cm, 2.5cm, 3cm y 5cm tamaño de arista de cubo respectivamente (Ver Figura 5.6).

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

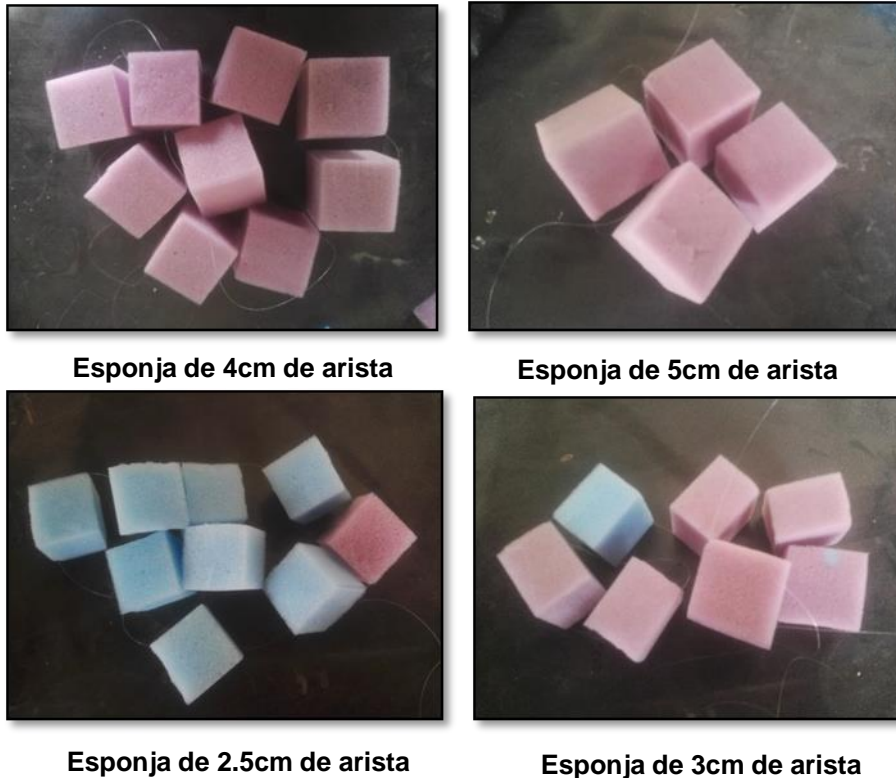


Figura 5.4. Esponjas utilizadas en cada módulo

Las esponjas en cada módulo son de diferente tamaño las cuales están dispuestas de forma vertical en tiras unidas diagonalmente mediante hilo nylon.

Las esponjas están dispuestas verticalmente, cada módulo presenta una cantidad de tiras diferentes y cada tira presenta una separación entre esponja de 1cm, lo cual ayuda en la aireación del sistema en cada módulo. Los tubos huecos de acrílico presentan una altura de 0.5m de altura total, solo se usó una altura de 0.41m efectivos para las esponjas.

Cada columna, reactor DHS 1 y 2, de dos módulos cada una están dispuestos en serie, la separación entre cada módulo de cada columna es de 0.15 cm, esta separación fue contemplada para ayudar a la aireación del reactor DHS generando un sistema aerobio sin producción de olores como el H₂S.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Para la recolección del efluente proveniente de los reactores DHS de primera generación, se optó por la utilización de embudos en los cuales se recolecto el efluente. Se utilizó dos embudos, una para cada columna, los cuales iban conectados a una tubería con disposición al desagüe. (Ver Figura 5.5).

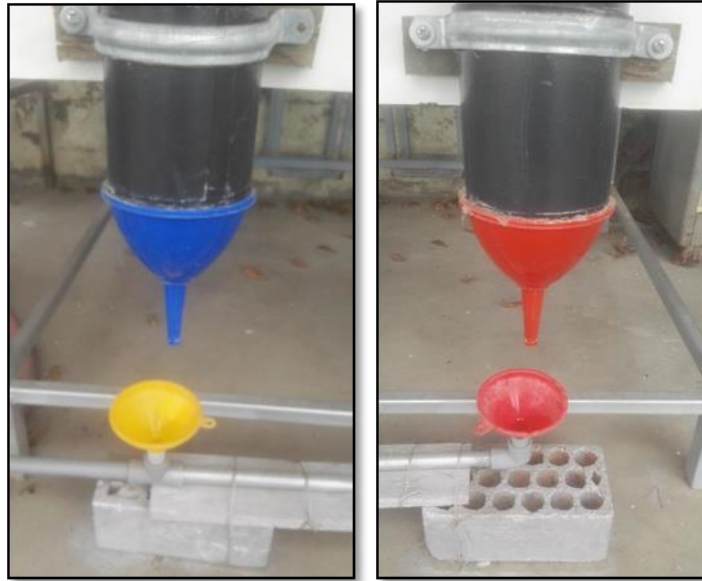


Figura 5.5. Sistema de recolección del efluente tratado

V.3. MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

V.3.1. ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL

- 01 Tanque de almacenamiento de 250L.
- 01 bidón de 40L
- 1m de tubería de PVC de ½”
- 06 Válvulas de paso de PVC de ½”
- 04 codos de PVC de 90° x ½”
- 02 Tee de PVC de 1/2”
- 02 Reducciones de ½”
- 02 Uniones universales de ½”
- 03m de Manguera de ¾”
- 02m de Manguera siliconada de ¼”
- Sistema de boya y válvula

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

- Cinta teflón
- 04 abrazaderas de $\frac{3}{4}$ "
- Cinta negra
- 01 adaptador macho de $\frac{1}{2}$ "

V.3.2. REACTORES DHS

- 04 tubos de acrílico
- Espuma de Poliuretano
- Hilo de pescar
- 04 embudos de plástico
- Cinta negra
- 08 abrazaderas de 4"
- 16 tacos de madera
- Clavos y pernos
- Malla tipo mosquitero
- 04 Envases de plástico

V.3.3. RECOLECCION Y SALIDA DE CAUDAL

- 02 embudos de plástico
- 1m de tubería de PVC de $\frac{1}{2}$ "
- 0.5 m de Manguera de $\frac{3}{4}$ "
- 02 Codos de 90° x $\frac{1}{2}$ "
- 01 Tee de $\frac{1}{2}$ "
- Silicona
- 02 abrazaderas de $\frac{3}{4}$ "
- Alambre

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

V.4. DISEÑO DEL SISTEMA DHS

Para el dimensionamiento del sistema DHS de primera generación tipo cubo a escala piloto se tuvieron en consideración algunos puntos como la selección del material filtrante, la porosidad de la esponja, el caudal de diseño, volumen del material y distribución del mismo.

V.4.1. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL FILTRANTE

Para la selección del material filtrante (esponja de poliuretano) se tuvo en consideración las recomendaciones presentes en los antecedentes. Un material filtrante de buena calidad, con un material resistente para la formación de la biomasa en la superficie, adecuado para una aireación en su flujo y que pueda ser manejable.

Se busco una esponja de poliuretano que cumpla con las exigencias requeridas para este proyecto, en el mercado nacional se encontró diferentes marcas de espuma de poliuretano, pero nos basamos en las recomendaciones puestas en los antecedentes. Es por ello que se eligió la marca Zebra la cual presentaba ciertas características adecuada para el proyecto; mayor densidad, mejor calidad, mayor vida útil y con un precio accesible.

Se comparó dos tipos de esponjas, una de marca Zebra de 20 Kg/m³ con una marca comercial. La esponja que presentaba una mejor porosidad y densidad era la adecuada. Siendo la de marca Zebra 20 Kg/m³ la usada.

V.4.2. POROSIDAD

La esponja de poliuretano que presentaba una mejor porosidad era la adecuada para este proyecto, pues a mayor porosidad se tendría una mayor formación de la capa biofilm y una mejor aireación en el flujo.

La porosidad se calculó como el porcentaje que representan los espacios vacíos de la esponja sobre el volumen total de la misma.

$$\text{Porosidad (\%)} = \frac{\text{Volumen almacenado en la esponja}}{\text{Volumen total de la esponja}}$$

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Para calcular el volumen almacenado se llenó un vaso precipitado de 500ml con un volumen de 200ml y mediante chorros se saturó la esponja. El volumen sobrante se calculó mediante el uso de pipetas calculando el volumen total sobrante.

Para ello se utilizó esponjas de poliuretano de ciertas dimensiones:

Dimensión	Valor	Und.
Ancho	3	cm
Largo	3	cm
Espesor	2.5	cm
Volumen	22.5	cm ³

Con estas dimensiones se realizó una cierta cantidad de pruebas para la obtención de la porosidad de las esponjas de poliuretano, fueron en total 10 pruebas de porosidad, 5 para cada tipo de esponja. Obteniendo una porosidad para la marca Zebra 20 Kg/m³ de 94.13% y para la marca comercial de 92.71%.(ver Anexo 2.)

Se escogió como esponja adecuada para el proyecto la de la marca Zebra 20 Kg/m³.

V.4.3. CAUDAL DE DISEÑO

El tiempo de retención hidráulica (TRH) fue seleccionado de estudios previos (M. Tankudar, I. Manchadar, S. Uemura, L. Akiyoshi y H. Harada, 2006), donde se establecía que el tiempo de retención hidráulica recomendable para un sistema UASB – DHS era de 1.5 – 2h. En tal sentido, se optó como tiempo de retención hidráulica de 1.5h.

En el cálculo se estableció que el tiempo de retención hidráulico (TRH) en el sistema de tratamiento secundario formado por los módulos 1, 2, 3 y 4 fue de 90min (1.5horas) para cada módulo.

Donde el caudal de diseño para este proyecto de investigación fue de 97.5 L/día aprox. de caudal total para el diseño del reactor DHS.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

V.4.4. VOLUMEN DEL MATERIAL FILTRANTE

Para el cálculo del volumen del material filtrante se tuvo en consideración valores como porosidad de la esponja y volumen del módulo (cilindro hueco de acrílico).

Según H. Harada, el volumen que ocupa las esponjas en el módulo es el 38% del volumen total. Con ello se halló el volumen real de las esponjas en cada módulo. Con la porosidad hallamos el volumen específico de las esponjas en cada módulo. (Ver Anexo 2).

V.4.5. DISTRIBUCIÓN DEL MATERIAL FILTRANTE

La distribución del material filtrante se dio en base al volumen hallado anteriormente. Esta distribución se dio por medio de tiras de esponjas de poliuretano unidas diagonalmente por hilo de pescar.

Se buscó que la distribución sea lo más equitativa posible con la finalidad de generar un sistema que permita la aireación natural en el flujo y al mismo tiempo que el agua residual pueda recorrer por las esponjas en su mayoría.

Se contempló la construcción de 04 módulos distribuidos en dos columnas de dos módulos cada una dispuestos en serie.

Luego, bajo estas consideraciones se estableció una distribución de esponjas para los módulos 1, 2, 3 y 4 de 25, 104, 53 y 13 cubos y 4cm, 2.5cm, 3cm y 5cm de arista de cubo respectivamente.

La distribución de estos módulos fue de dos columnas; la primera columna, reactor DHS 1, de módulos 1 y 2 dispuestos en serie, y la segunda columna, reactor DHS 2, de módulos 3 y 4 dispuestos en serie.

V.4.6. DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES

Una vez terminado el diseño se pasó a determinar las dimensiones de las unidades a utilizar, conociendo el caudal de diseño, tiempo de retención y volumen del material filtrante se procedió a dimensionar el tanque de almacenamiento, tanque de regulación, la distribución y los reactores.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

V.4.6.1. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

El sistema de almacenamiento contemplaba el uso de un sistema de bombeo del efluente producido del Reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente del centro de investigación del CITRAR.

Se presentaba una línea de impulsión mediante una manguera de ½” que impulsaba el agua residual tratada del reactor anaerobio, llegaba hasta el punto de regulación mediante una válvula de ½”.

Se aperturaba la válvula de ½” y se llenaba el tanque de almacenamiento de 250L mediante una manguera de ¾”. El tiempo de llenado era de 10min, pues solo se llenaba hasta la mitad de su capacidad.

V.4.6.2. SISTEMA DE REGULACION

El sistema de regulación era mediante un tanque de 40L al cual se le acondiciono un sistema de apertura y cierre mediante una boya y una válvula. La válvula de ½” servía de apertura y cierre del llenado del tanque.

V.4.6.3. REACTORES DHS

El sistema de tratamiento secundario mediante los reactores DHS se dio en dos columnas de 04 módulos en total, con características ya antes mencionadas.

Se dispuso de tubos de acrílico, de dimensiones ya mencionadas, dispuestos en dos columnas de dos cada una, la separación de cada módulo en cada columna fue de 0.15m, la cual permitía un sistema de aireación natural sin la necesidad de un equipo mecanizado.

Cada módulo de acrílico era sostenido mediante tacos de madera con dos abrazaderas de 4”, la distribución del caudal era mediante el uso de un envase de plástico con agujeros en su interior donde

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

se sostenían las esponjas. El agua residual llegaba mediante tuberías de plástico de 1/4” regulados mediante válvulas para su caudal de entrada. Se protegía las partes de los ingresos del agua residual a cada módulo, pues se prevenía la proliferación de mosquitos dentro del reactor.

V.5. DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO

Para la determinación de los puntos de monitoreo de este proyecto de investigación se dio en base a los parámetros que se analizan como los físico químicos y biológicos del sistema DHS tipo cubo. Se establecieron 5 puntos de monitoreo en total, los cuales denominaremos puntos A, B, C, D y E.

Punto A: Ingreso del efluente de UASB

Punto B: Efluente del Módulo 1

Punto C: Efluente del Módulo 2

Punto D: Efluente del Módulo 3

Punto E: Efluente del Módulo 4

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

V.6. PARÁMETROS DE MEDICIÓN

V.6.1. PARAMETROS FISICO – QUIMICOS

Para este presente proyecto se consideraron como análisis de parámetros fisicoquímicos los siguientes:

- Turbiedad
- Ph
- Temperatura ambiental y laboratorio
- Oxígeno Disuelto
- Conductividad
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)
- Sólidos suspendidos totales

V.6.2. PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS

Para este presente proyecto se consideraron como análisis el parámetro microbiológico fue el siguiente:

- Coliformes Fecales

V.7. CRONOGRAMA DE MEDICION

La evaluación de los parámetros, antes mencionados, fue realizada a lo largo de la duración total del presente proyecto. La medición de los parámetros fisicoquímicos fue realizada en el laboratorio del centro de investigación del CITRAR – UNI con una frecuencia de dos veces por día, una en la mañana y la otra en la tarde, por un periodo de 19 semanas.

La medición del parámetro fisicoquímico, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), y el parámetro microbiológico, Coliformes fecales, fueron realizadas en el Laboratorio de Agua de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería. La frecuencia de

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

medición de estos dos parámetros fue de una vez por semana por un periodo de 19 semanas.

V.8. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS EN LABORATORIO

Para la realización de la medición de los diversos parámetros, antes mencionados, se realizó mediante equipos y reactivos que se detallaran para cada caso:

V.8.1. ANALISIS FISICOQUIMICOS

V.8.1.1. TEMPERATURA

La temperatura del ambiente fue calculada mediante un termómetro de mercurio Proskit NT – 311 el cual se encontraba en el ambiente donde se construyó el reactor DHS a escala piloto.

La temperatura del laboratorio fue calculada mediante un termómetro digital tipo espeto Incoterm 6132.

La temperatura de la muestra fue calculada mediante un medidor de Ph / Temperatura eléctrica, marca Oackton PC 2700 perteneciente al laboratorio del CITRAR – UNI.

V.8.1.2. PH

El Ph de la muestra fue calculado mediante un potenciómetro eléctrico, marca Hach HQ 40d multi.

V.8.1.3. OXIGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto de la muestra fue calculado mediante un oxímetro, marca Hach HQ60d flexi.

V.8.1.4. TURBIEDAD

La turbiedad de la muestra fue calculada mediante un turbidímetro, marca Hach 2100 Q.

V.8.1.5. CONDUCTIVIDAD

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

La conductividad de la muestra fue calculada mediante un multi parámetro, marca Oakton PC 2700.

V.8.1.6. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los sólidos suspendidos totales de la muestra fueron calculados en el Laboratorio de Agua, del a Facultad de ingeniería ambiental, de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Sólidos Suspendidos Totales

Método 2540B “Sólidos Totales secados a 103-105 °C” de los Métodos Estándar

Metodología del análisis:

Se limpia los crisoles necesario (para nuestro proyecto 5 crisoles) y se realiza el secado en la plancha a 300°C. Para poder acondicionar el crisol, se debe introducir el papel Whatman 40 (papel filtro) y pasar al horno a una temperatura de 105 °C. El papel filtro dentro del crisol estuvo en el horno durante 15 – 20 min, luego pasar el crisol al horno mufla a una temperatura de 550 °C por un tiempo de una hora. Pasado el tiempo dentro de la mufla se pasa el crisol al horno a 105 °C para disminuir la temperatura. Una vez pasado 15 – 20 min en el horno, se pasa al desecador para poder disminuir totalmente la temperatura.

Los 5 crisoles, con el papel filtro dentro de ellos, acondicionados, son pesados. Se realiza el filtrado del agua residual, de cada punto de muestreo. Una vez terminado el filtrado de todas las muestras, los 5 crisoles son llevados al horno a 105 °C. Después de 1 hora son derivados al desecador para su posterior pesaje.

$$SST (g / L = \text{Peso (despues del filtrado)} - \text{Peso (antes del filtrado)})$$

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Sólidos Suspendidos Volátiles

Metodología de análisis:

Siguiendo la metodología anterior, una vez filtrado los crisoles son pasados al horno a 105 °C para previo acondicionamiento. Una vez transcurrido 15 – 20 min son pasados al horno mufla durante una hora a 550 °C. Pasado ese tiempo, son llevados al horno a 105 °C para disminuir su temperatura. Luego de esto son pesados.

$$SSV (g / L) = \text{Peso (después de la mufla)} - \text{Peso (antes del filtrado)}$$

Sólidos Suspendidos Fijos

Los sólidos suspendidos fijos serán calculados mediante la diferencia de los sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos volátiles.

$$SSF (g / L) = SST - SSV$$

V.8.1.7. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)

El análisis de este parámetro se realizó en las instalaciones del laboratorio de agua de la Facultad de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno se tenían que realizar diluciones adecuadas para su análisis. Una vez analizado las diluciones se pasaba a la incubación, con una previa preparación del medio, lo cual se detallara a continuación:

- ✓ Airear agua destilada, una cantidad necesaria para el análisis, para lo cual se utilizó inyectores de aire pertenecientes al

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

laboratorio de agua. La aireación era hasta obtener un mínimo de 8mg / L de oxígeno disuelto.

- ✓ Agregar 1ml de reactivo de cloruro férrico, solución buffer, sales K, Ca, Mg y Na, por cada litro de agua destilada. Las cuales darán condiciones adecuadas para los microorganismos.
- ✓ Medir el oxígeno disuelto de las muestras en cuestión antes de la incubación.
- ✓ Llenar los frascos de boca esmerilada (frascos Winkler) con agua de dilución. Serán los frascos necesarios para las diluciones, antes previstas, y además agregar agua de dilución a dos frascos que servirán como blancos.
- ✓ Sembrar las muestras utilizando pipetas e incubar las muestras por 5 días en una incubadora a una temperatura de 20 +/- 1 °C.
- ✓ Cuando se haya cumplido los 5 días, medir el OD en cada frasco Winkler con un oxímetro.
- ✓ Finalmente, calcular la DBO5 con los datos obtenidos mediante la siguiente formula:

$$DBO_{(mg/litro)} = (OD_b - OD_i) \left(\frac{Vol. de la botella}{ml de la muestra} \right) (OD_b - OD_s)$$

Donde:

OD_b = oxígeno disuelto del blanco, al final del periodo de incubación

OD_i = oxígeno disuelto en la dilución de la muestra, al final del periodo.

OD_s = oxígeno disuelto presente en la muestra no diluida

V.8.1.8. COLIFORMES FECALES

El análisis de este parámetro se realizó en las instalaciones del laboratorio de agua de la Facultad de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Para la determinación de este parámetro se utilizó el método de tubos múltiples. El procedimiento se dio con “Método

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales” en el capítulo 9.2.2.1. “Técnica de fermentación en tubos múltiples para miembros del grupo coliforme”.

Materiales, equipos y reactivos:

- ✓ Estufa, balanza, autoclave, horno e incubadora.
- ✓ Medio A1, peptona y agua destilada.
- ✓ Tubos de ensayo, pipetas, tubos druham, pipetero, canastilla, ligas, frascos, etc.

Procedimiento

Acondicionar los medios como el agua peptonada y el medio A1, para el acondicionamiento del agua peptona se mezcla 0.3g de peptona en 300ml de agua destilada.

Para el acondicionamiento del medio A1 se pesaba el medio en polvo una cantidad de 14.175g en 450 ml de agua destilada. Estas cantidades eran las necesarias para el desarrollo del análisis. En total se usarían 75 tubos de ensayo para el método.

Con el agua peptona se pipeteaba a 30 tubos de ensayo, los cuales servían para las diluciones antes de incubar las muestras.

Con el medio A1 disuelto se pipeteaba a 45 tubos de ensayo para incubar por método del tripleteo. Después de tener los medios en los tubos de ensayo se pone a la autoclave por 15min a una temperatura de 121 °C.

Una vez terminado este proceso se procedía a las diluciones, terminada las diluciones se procedía a la incubación de las muestras por tripleteo. (Ver imagen 5.6) Teniendo las muestras ya incubadas se procedía a estabilizar en la incubadora por 3 horas a una temperatura de 35.5 °C.

Pasado el tiempo se pasaba a baño maria por un tiempo de 21 +/- 2 horas a una temperatura de 44.5 °C. Para la lectura, el principio

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

del método es la formación de gases dentro del tubo durham presente en el interior del tubo de ensayo.

Para la cuantificación de los coliformes fecales presentes en las muestras se realizaba el conteo por grupos positivos de 3 en 3 de los tubos de ensayo. En su cálculo se basaba mediante una tabla dada por el método estándar, donde se calculaba la cantidad de coliformes en cada muestra.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

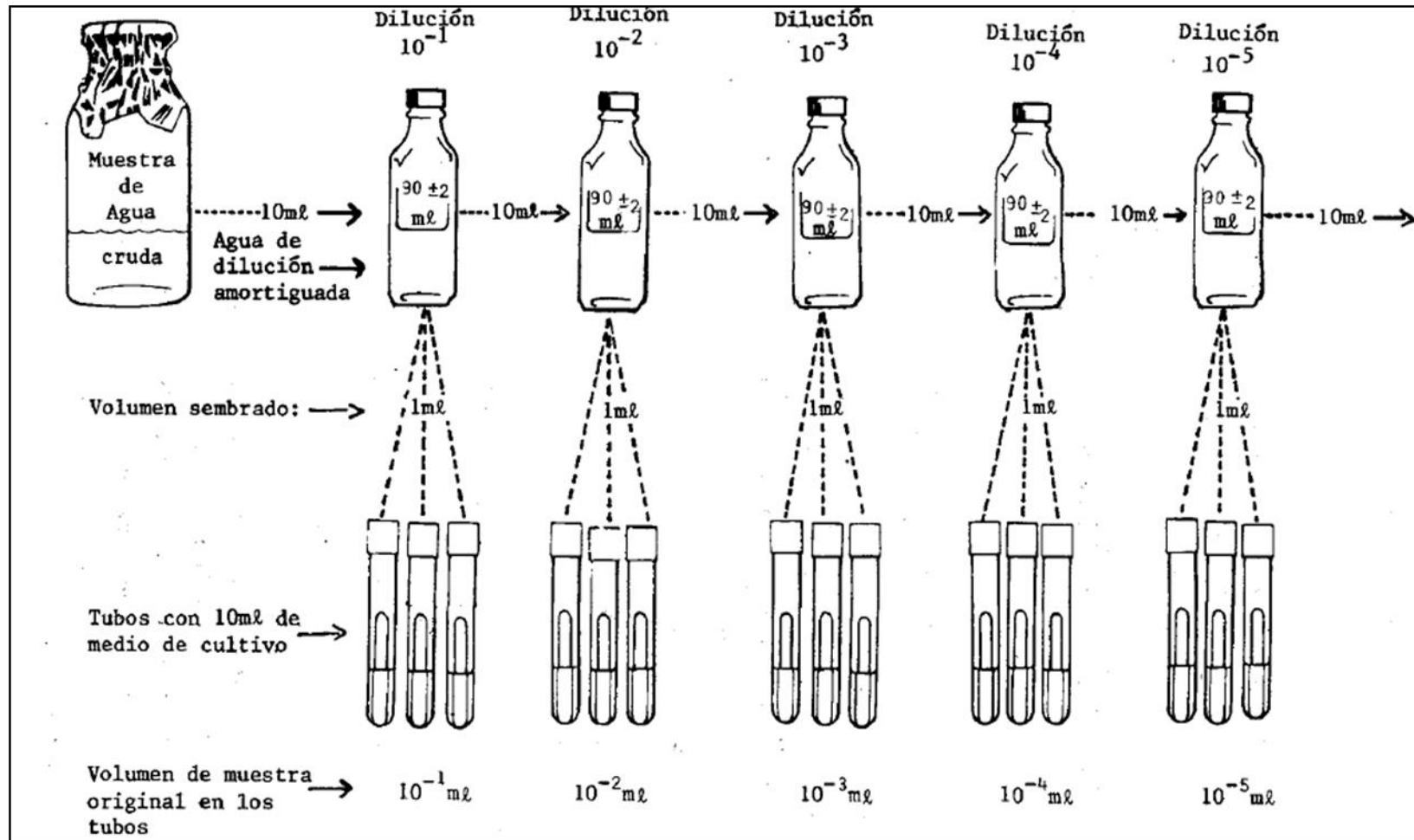


Figura 5.6. Esquema general de dilución e incubación

Fuente: American Public Health Association et. al., 1981

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

V.8.3. OBSERVACIONES DE LA CAPA MICROBIOLÓGICA

El análisis de la capa microbiológica formada en las esponjas durante el periodo de operación del Reactor DHS fue realizado en el laboratorio del CITRAR – UNI, mediante un microscopio Zeiss Primo Star.

En la última semana de operación del Reactor DHS, mediante una pinza desinfectada, se tomó muestras de cada módulo. Las muestras fueron tomadas aleatoriamente, en cada módulo, de tres niveles diferentes: nivel superior, intermedio e inferior para un mejor análisis. Mediante el capítulo 10.22 “Microscopios y calibraciones” del Método Estándar se realizó el análisis en el laboratorio.

Se tomaba la muestra, de la capa microbiológica, y se realizaba una dilución con agua destilada para una mejor visión en el microscopio. Con la ayuda de un porta objeto y una laminilla se enfocaba en el lente a 10X y 40X.

Los módulos 1 y 3 presentaron una mayor generación de capa microbiológica con una mayor generación de microorganismos en los niveles superiores. Los módulos 2 y 4 presentaron una menor cantidad de microorganismos. Los 4 módulos presento la presencia de algas en la capa microbiológica, pero en pequeñas cantidades (no se pudo cuantificar). No se pudo tomar fotos nítidas del análisis, solo se analizó, en ese momento, lo observado en el análisis.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

CAPÍTULO VI: RESULTADOS

En este presente capítulo, se detallan los resultados obtenidos en las 19 semanas de análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados al Reactor DHS de primera generación con diferentes tamaños de medio de soporte de esponja, el cual está presente en el centro de investigación del CITRAR – UNI.

VI. 1. TEMPERATURA

Se presenta el comportamiento del parámetro, temperatura, a lo largo del tiempo de análisis; donde observamos las variaciones de incrementos y descensos. Se optó por realizar la medición de este parámetro en dos campos, uno in situ y otro en el laboratorio, pues entre la toma de muestra y la medición de los parámetros están muy distanciados.

VI. 1.1. TEMPERATURA DEL LABORATORIO

Se obtuvo una temperatura mínima de 22.5 °C, una temperatura máxima de 32.2 °C en todo el periodo de análisis. La temperatura promedio del laboratorio $27.45 \text{ °C} \pm 2.06$.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

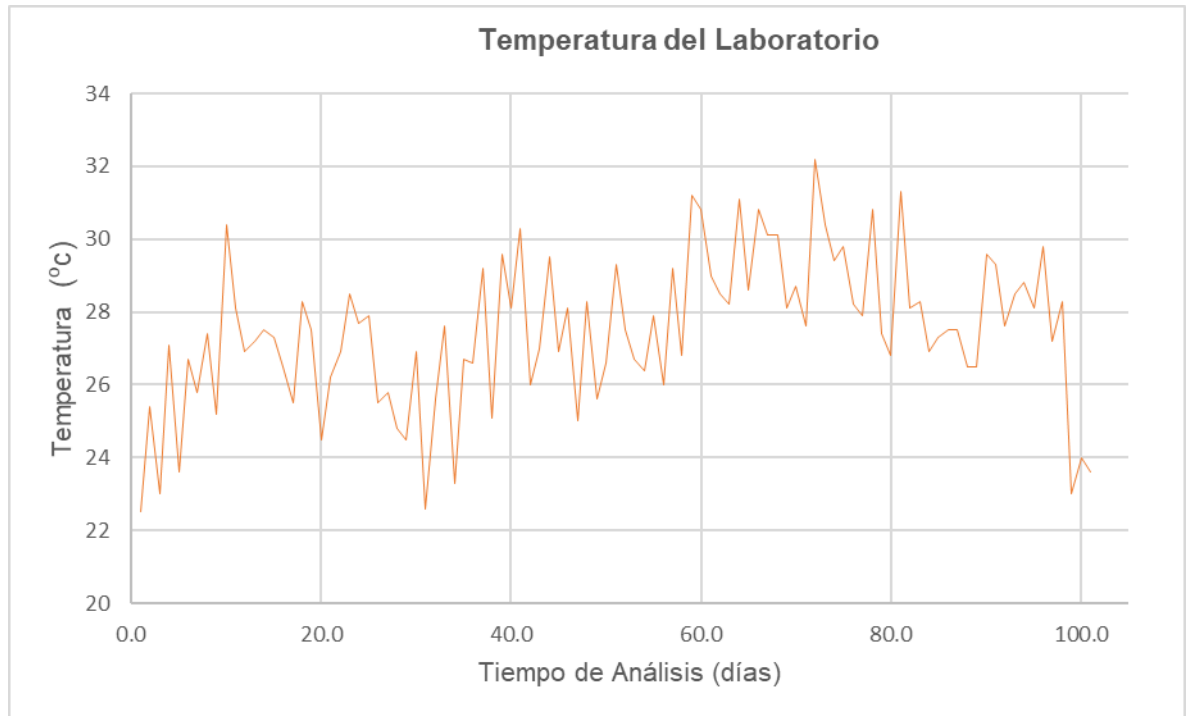


Figura N° 6.1. Temperatura del Laboratorio, durante el periodo de análisis

La temperatura del agua residual, analizada diariamente en el laboratorio, para los puntos de muestreo A, B, C, D y E tuvieron como resultado:

Cuadro N° 6.1. Registro de temperatura para cada punto de muestreo

	Temperatura (°C)		# de valores = 95	
	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar
Punto A	15.2	29.3	25.29	2.15
Punto B	12.7	29.2	25.24	2.30
Punto C	15.1	29.4	25.29	2.33
Punto D	14.9	29.1	25.27	2.30
Punto E	14.9	29.2	25.42	2.27

En la Figura N° 6.2. Se muestra las variaciones promedio de temperatura ambiental, laboratorio y cada punto de muestreo, durante el periodo de análisis del proyecto de investigación.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

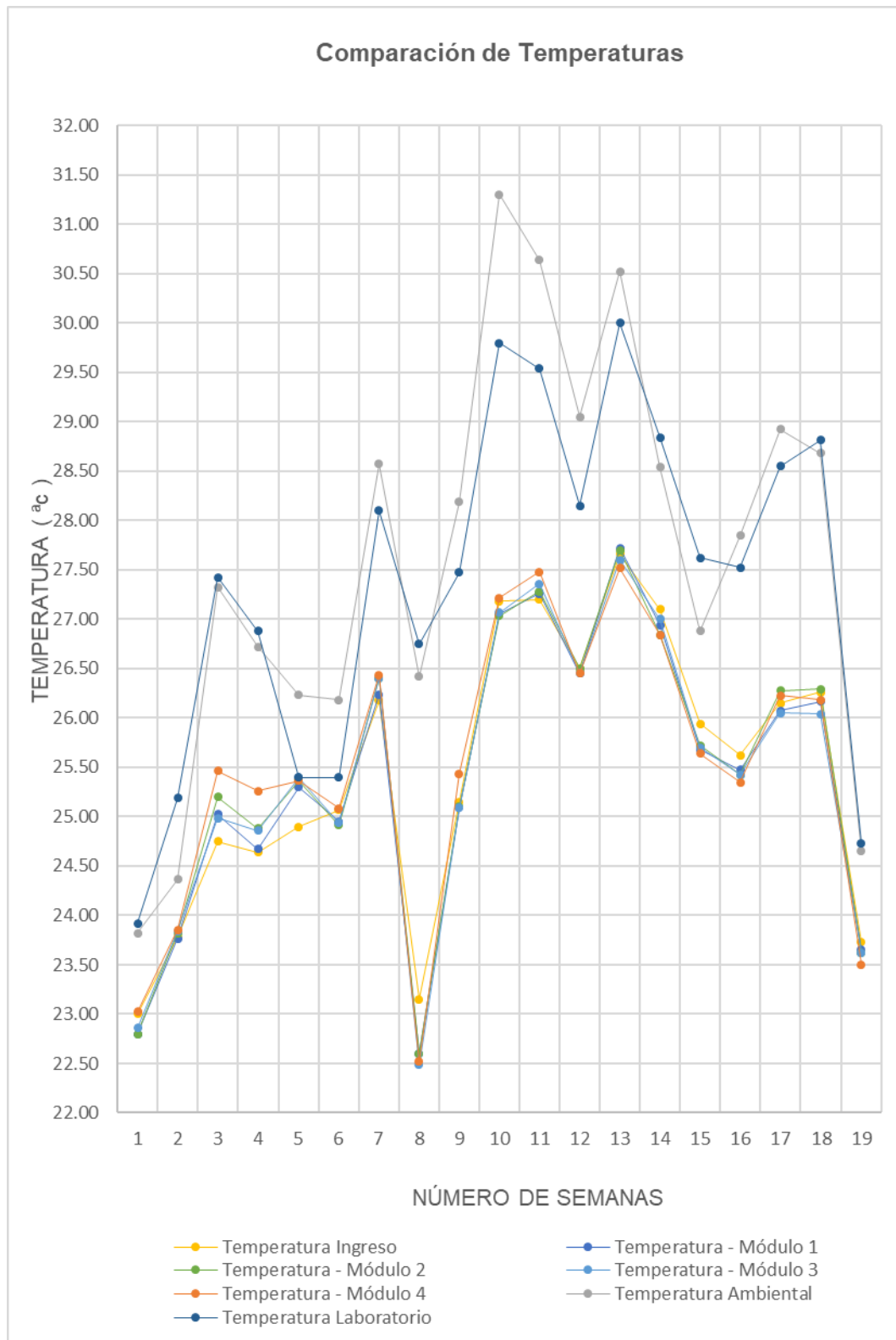


Figura Nº 6.2. Variación promedio de temperaturas, durante el periodo de análisis

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

VI.1.2. TEMPERATURA AMBIENTAL

Se obtuvo una temperatura mínima de 21.6 °C, una temperatura máxima de 32.8 °C en todo el periodo de análisis. La temperatura promedio del laboratorio $27.62 \text{ °C} \pm 2.47$.

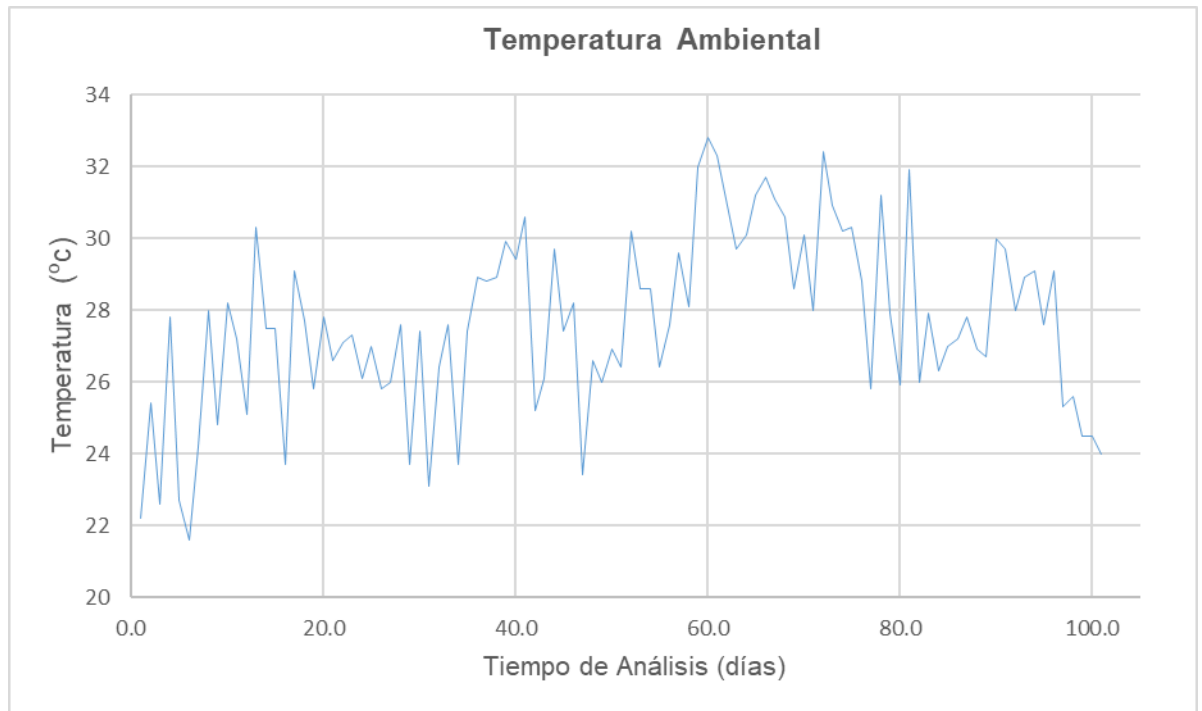


Figura Nº 6.3. Temperatura Ambiental, durante el periodo de análisis

VI.2. PH

Los resultados obtenidos en el laboratorio, a lo largo del periodo de análisis, son detallados en el cuadro Nº 6.2., en la cual se detallan los mínimos, máximos y promedios del análisis de Ph realizado a cada punto de muestreo.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Cuadro N° 6.2. Registro de Ph para cada punto de muestreo

	Ph		# de valores = 95	
	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar
Punto A	7.51	8.72	8.03	0.26
Punto B	7.63	9.03	8.40	0.34
Punto C	6.63	9.2	8.11	0.70
Punto D	7.68	9.05	8.44	0.34
Punto E	6.51	9.14	8.02	0.72

Los resultados de las variaciones promedio de Ph, a lo largo del periodo de análisis, están divididas en dos secciones que representan las dos columnas del sistema de tratamiento DHS, como se explicó en el Capítulo V “Metodología de la investigación” en la Figura 5.11.

La primera columna, Reactor DHS 1, tiene como resultados de los puntos de muestreo A, B y C que son ingreso, módulo 1 y módulo 2, respectivamente.

Como se detalla en el Cuadro 6.2. Los valores mínimos, máximos y promedio de los puntos A, B y C. Se presenta las variaciones de estos puntos de muestreo en todo el tiempo de análisis. Ver Figura 6.5.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

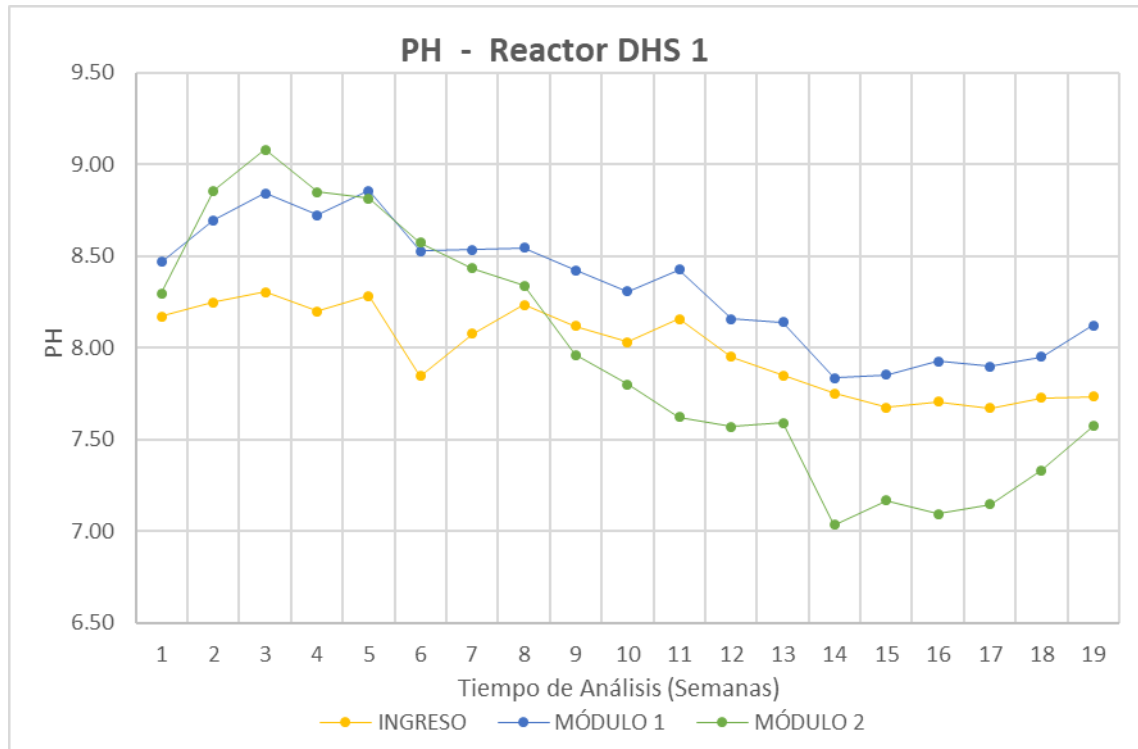


Figura Nº 6.5. Variación promedio de Ph del Reactor DHS 1, durante el periodo de análisis

La segunda columna, Reactor DHS 2, tiene como resultados de los puntos de muestreo A, D y E que son ingreso, módulo 3 y módulo 4, respectivamente.

Como se detalla en el Cuadro 6.2. Los valores mínimos, máximos y promedio de los puntos A, D y E. Se presenta las variaciones de estos puntos de muestreo en todo el tiempo de análisis. Ver Figura 6.6.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

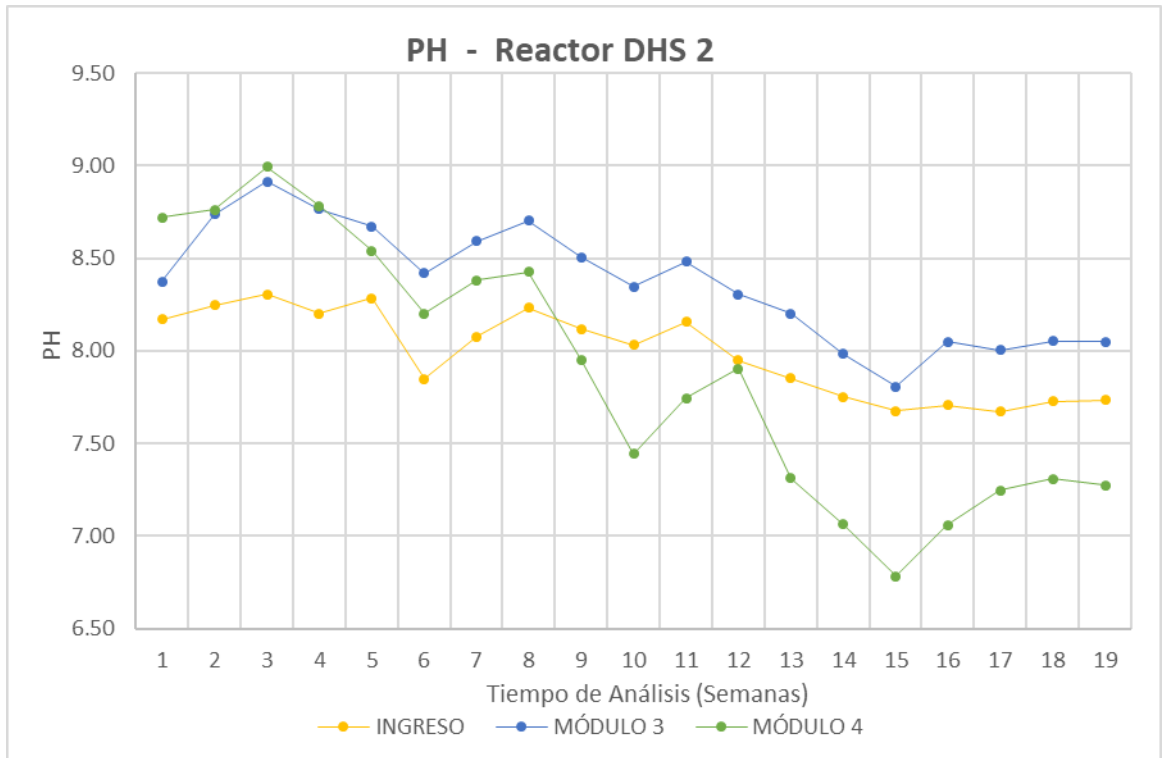


Figura N° 6.6. Variación promedio de Ph del Reactor DHS 1, durante el periodo de análisis

VI.3. TURBIEDAD

Los resultados obtenidos en el laboratorio, a lo largo del periodo de análisis, son detallados en el cuadro N° 6.3., en la cual se detallan los mínimos, máximos y promedios del análisis de Turbiedad realizado a cada punto de muestreo.

Cuadro N° 6.3. Registro de Turbiedad para cada punto de muestreo

	Turbiedad (UNT)			# de valores = 95
	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar
Punto A	32	198	86.68	39.69
Punto B	2.74	119	26.63	26.04
Punto C	1.42	82.7	11.35	13.72
Punto D	5.21	153	26.41	19.93
Punto E	1.45	61.1	9.85	12.96

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Los resultados de las variaciones promedio de Turbiedad, a lo largo del periodo de análisis, serán divididas en dos secciones que representan las dos columnas del sistema de tratamiento DHS, como se explicó en el Capítulo V “Metodología de la investigación” en la Figura 5.11.

La primera columna, Reactor DHS 1, tiene como resultados de los puntos de muestreo A, B y C que son ingreso, módulo 1 y módulo 2, respectivamente.

Como se detalla en el Cuadro 6.3. Los valores mínimos, máximos y promedio de los puntos A, B y C. Se presenta las variaciones de estos puntos de muestreo en todo el tiempo de análisis. Ver Figura 6.7.

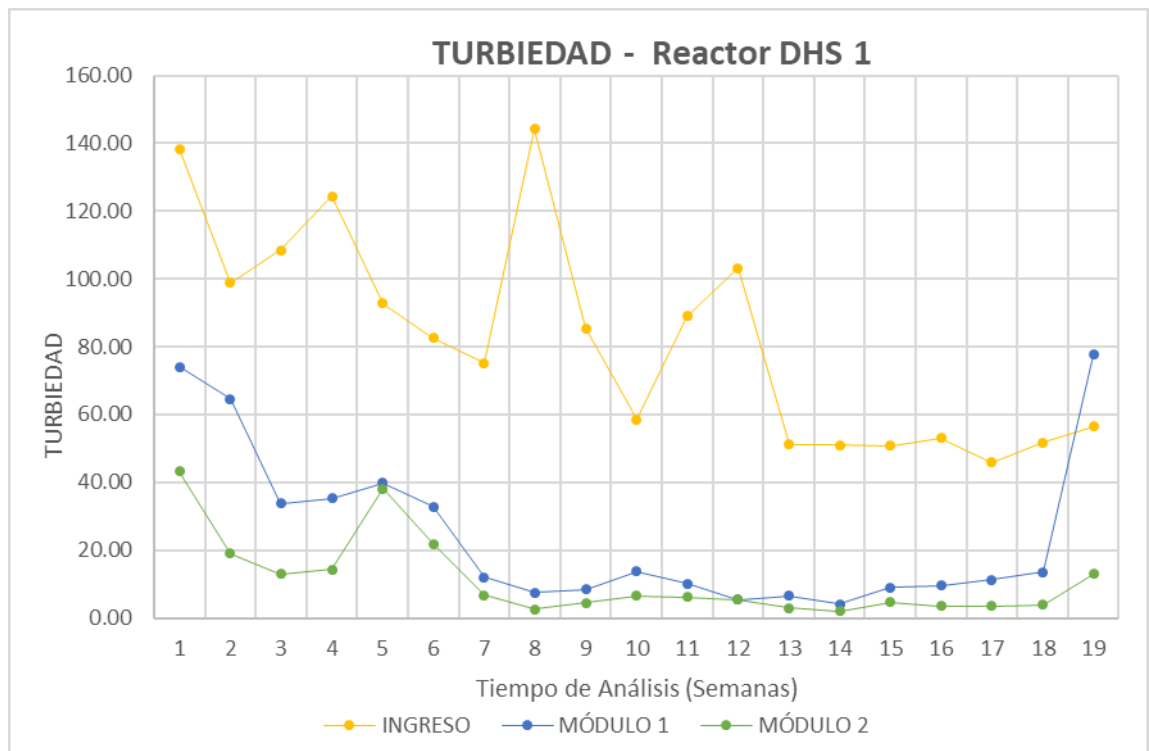


Figura N° 6.7. Variación promedio de Turbiedad en el Reactor DHS 1, durante el periodo de análisis

La segunda columna, Reactor DHS 2, tiene como resultados de los puntos de muestreo A, D y E que son ingreso, módulo 3 y módulo 4, respectivamente.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Como se detalla en el Cuadro 6.3. Los valores mínimos, máximos y promedio de los puntos A, D y E. Se presenta las variaciones de estos puntos de muestreo en todo el tiempo de análisis. Ver Figura 6.8.

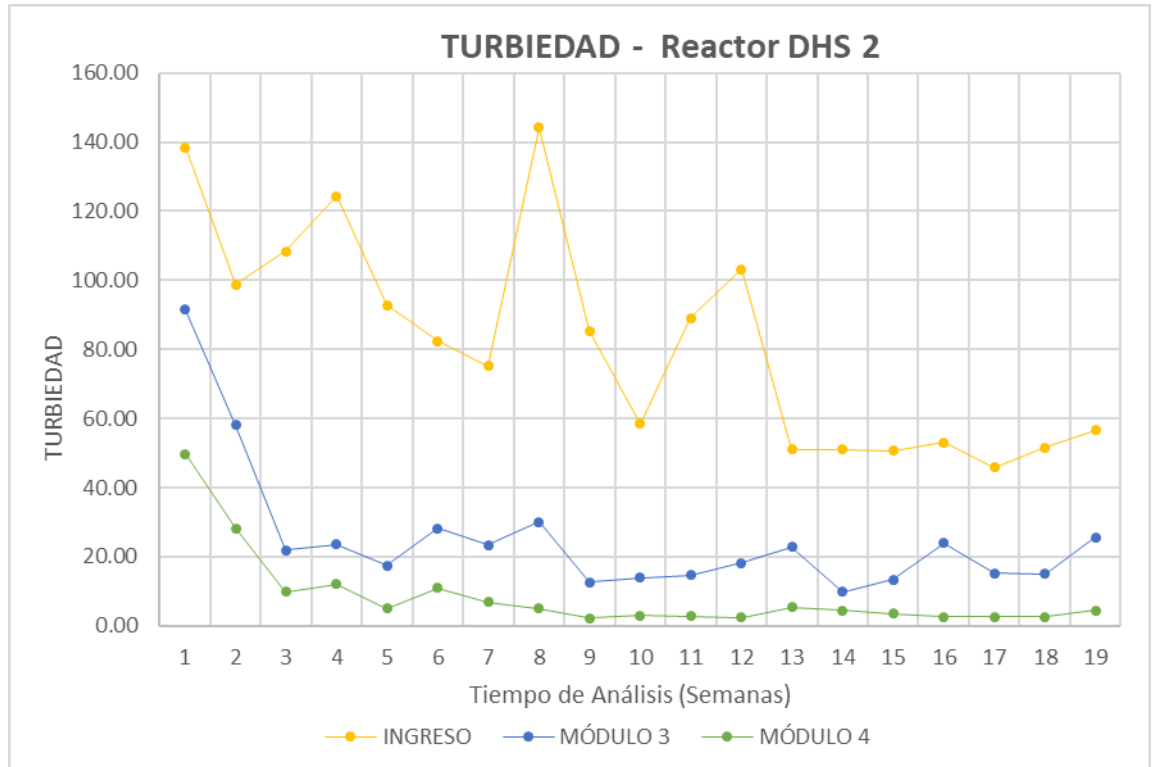


Figura N° 6.8. Variación promedio de Turbiedad en el Reactor DHS 2, durante el periodo de análisis

Las variaciones de turbiedad en los efluentes presentaron una gran disminución respecto a la turbiedad de ingreso al reactor DHS. En la Figura 6.9, podemos observar la comparación entre los efluentes del reactor DHS y el ingreso del agua residual. Obteniendo picos de efluentes de 1.42 UNT y 1.45 UNT del módulo 2 y módulo 4, respectivamente.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

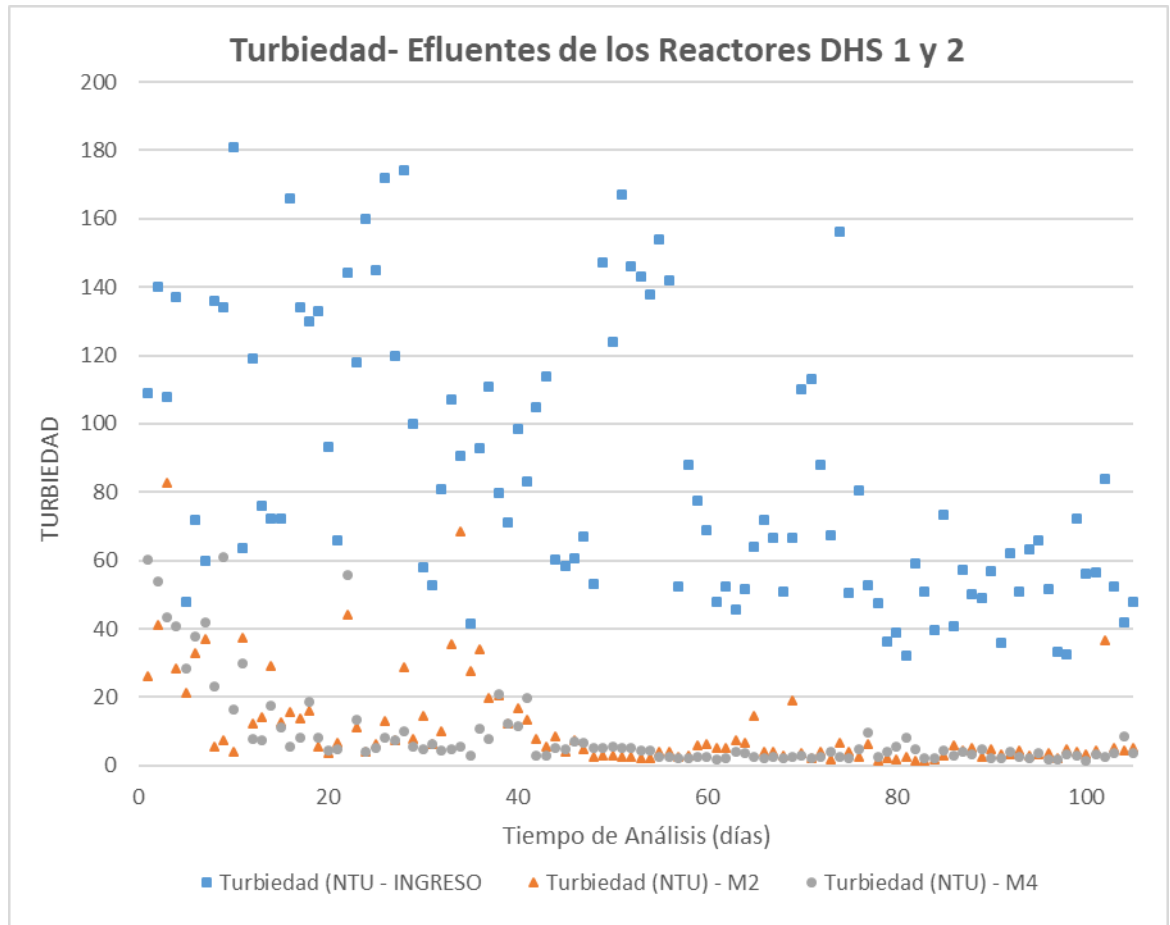


Figura Nº 6.9. Variación promedio de Turbiedad en los efluentes, durante el periodo de análisis

La eficiencia de la Reactor DHS 2 fue mayor a la de la Reactor DHS 1, siendo la turbiedad del efluente final, de los módulos 2 y 4 con eficiencia promedio de 86% y 89% con una desviación de 16% y 13% respectivamente. Ver Figura 6.10.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

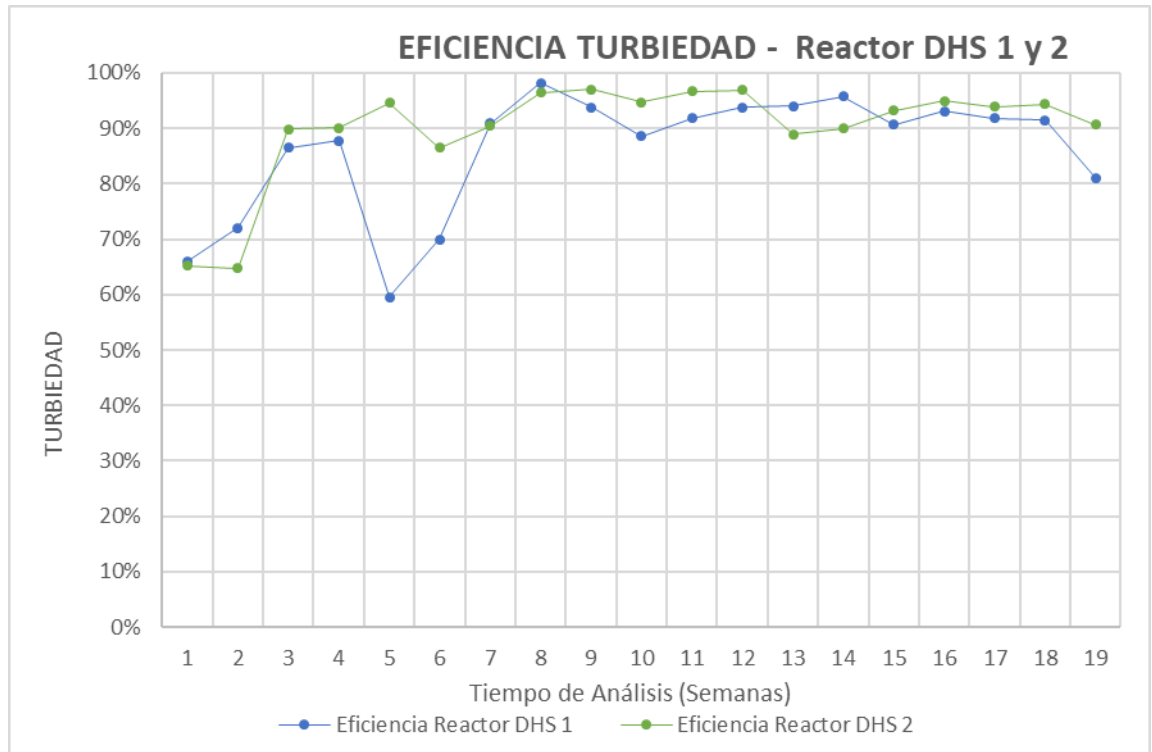


Figura Nº 6.10. Variación promedio de eficiencia en remoción de Turbiedad, durante el periodo de análisis

VI.4. CONDUCTIVIDAD

Los resultados obtenidos en el laboratorio, a lo largo del periodo de análisis, son detallados en el cuadro Nº 6.4., en la cual se detallan los mínimos, máximos y promedios del análisis de Conductividad realizado a cada punto de muestreo.

Cuadro Nº 6.4. Registro de Conductividad para cada punto de muestreo

	Conductividad (uS/cm)			# de valores = 95
	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar
Punto A	785.6	1459	1122.41	162.22
Punto B	8.74	1427	1065.47	215.33
Punto C	630	1477	1006.61	220.71
Punto D	728.5	1437	1072.62	174.07
Punto E	627.8	1730	1009.26	227.18

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Los resultados de las variaciones promedio de Conductividad, a lo largo del periodo de análisis, serán divididas en dos secciones que representan las dos columnas del sistema de tratamiento DHS, como se explicó en el Capítulo V “Metodología de la investigación” en la Figura 5.11.

La primera columna, Reactor DHS 1, tiene como resultados de los puntos de muestreo A, B y C que son ingreso, módulo 1 y módulo 2, respectivamente.

Como se detalla en el Cuadro 6.4. Los valores mínimos, máximos y promedio de los puntos A, B y C. Se presenta las variaciones de estos puntos de muestreo en todo el tiempo de análisis. Ver Figura 6.11.

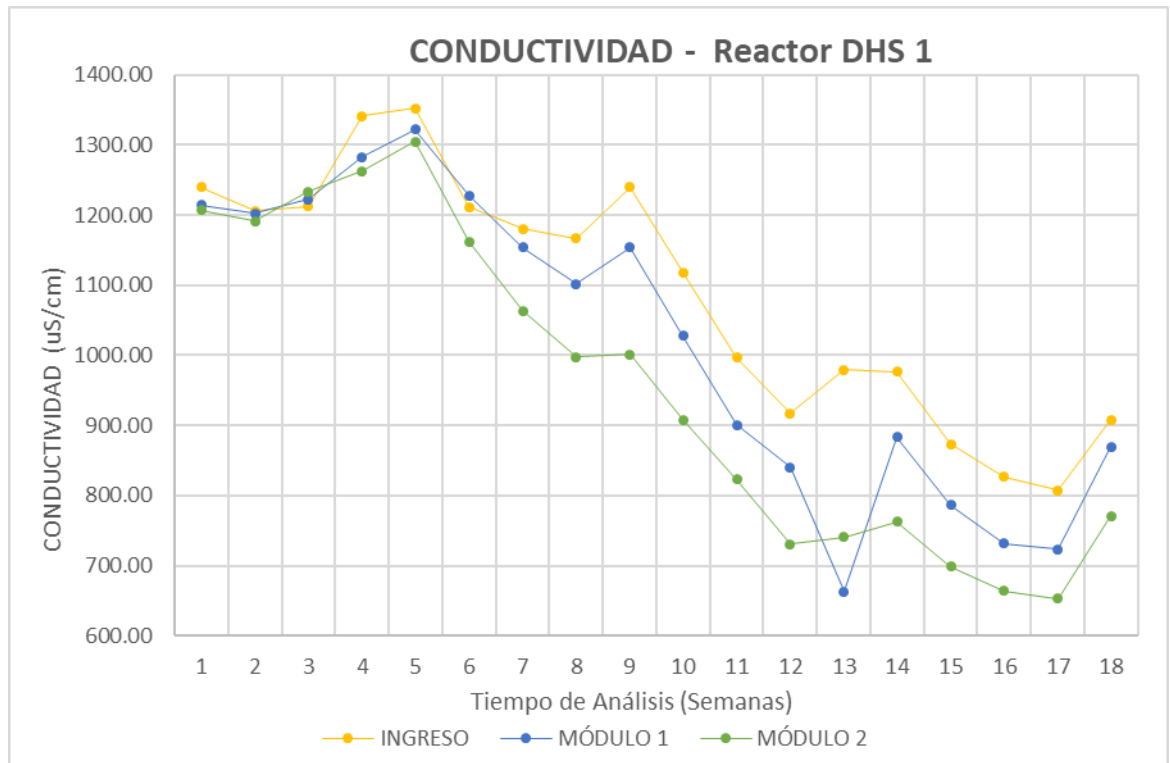


Figura Nº 6.11. Variación promedio de Conductividad del Reactor DHS 1, durante todo el periodo de análisis

La segunda columna, Reactor DHS 2, tiene como resultados de los puntos de muestreo A, D y E que son ingreso, módulo 3 y módulo 4, respectivamente. Como se detalla en el Cuadro 6.4. Los valores mínimos, máximos y promedio de los puntos A, D y E. Se presenta las variaciones

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

de estos puntos de muestreo en todo el tiempo de análisis. Ver Figura 6.12.

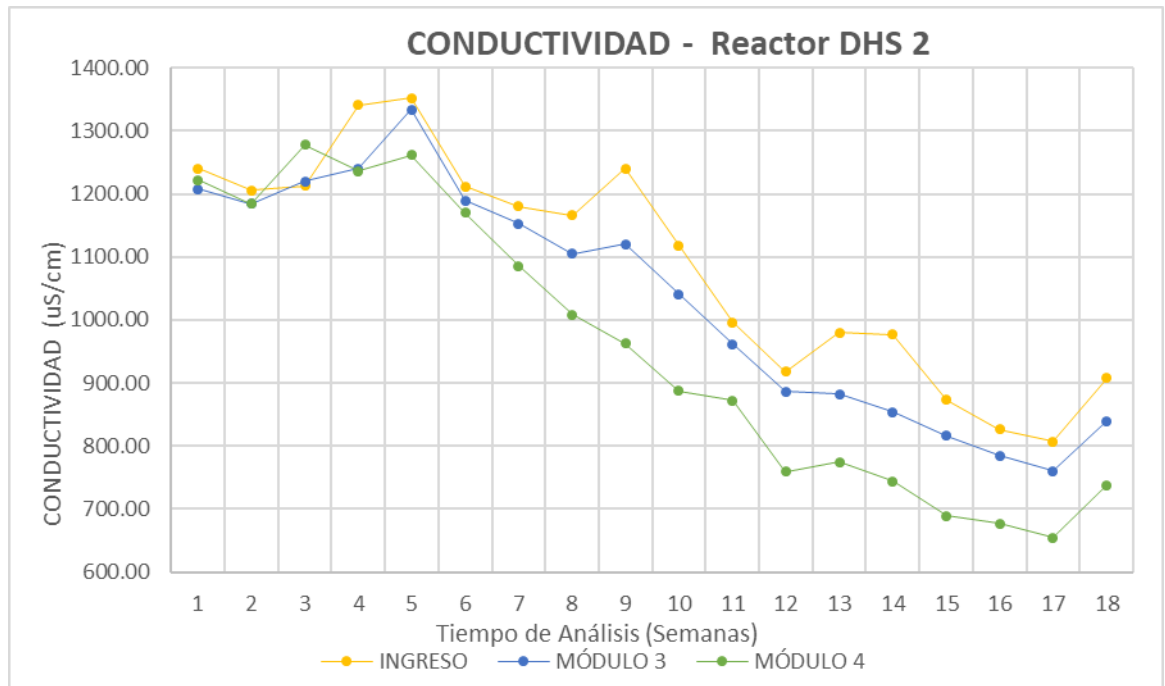


Figura Nº 6.12. Variación promedio de Conductividad del Reactor DHS 2, durante el periodo de análisis

Los efluentes finales del reactor DHS presentaron una tendencia a la disminución, esto lo podemos observar en la Figura 6.13.

VI.5. OXÍGENO DISUELTO

Este parámetro, oxígeno disuelto, fue analizado durante 19 semanas. La medición del oxígeno disuelto fue realizada diariamente, como esta descrito en la metodología de investigación, en los puntos de muestreo A, B, C, D y E.

Los resultados obtenidos en el laboratorio, a lo largo del periodo de análisis, son detallados en el cuadro Nº 6.5., en la cual se detallan los mínimos, máximos y promedios del análisis de Oxígeno disuelto realizado a cada punto de muestreo.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Cuadro N° 6.5. Registro de Oxígeno Disuelto para cada punto de muestreo

	Oxígeno Disuelto mg / L			# de valores = 95
	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar
Punto A	0.01	1.97	0.21	0.34
Punto B	0	8.33	4.56	2.33
Punto C	1.4	8.91	6.79	1.21
Punto D	0	8.92	4.69	2.36
Punto E	0.22	8.91	6.42	1.46

Los resultados de las variaciones promedio de oxígeno disuelto, a lo largo del periodo de análisis, serán divididas en dos secciones que representan las dos columnas del sistema de tratamiento DHS, como se explicó en el Capítulo V “Metodología de la investigación” en la Figura 5.11.

La primera columna, Reactor DHS 1, tiene como resultados de los puntos de muestreo A, B y C que son ingreso, módulo 1 y módulo 2, respectivamente.

Como se detalla en el Cuadro 6.5. Los valores mínimos, máximos y promedio de los puntos A, B y C. Se presenta las variaciones de estos puntos de muestreo en todo el tiempo de análisis. Ver Figura 6.13.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

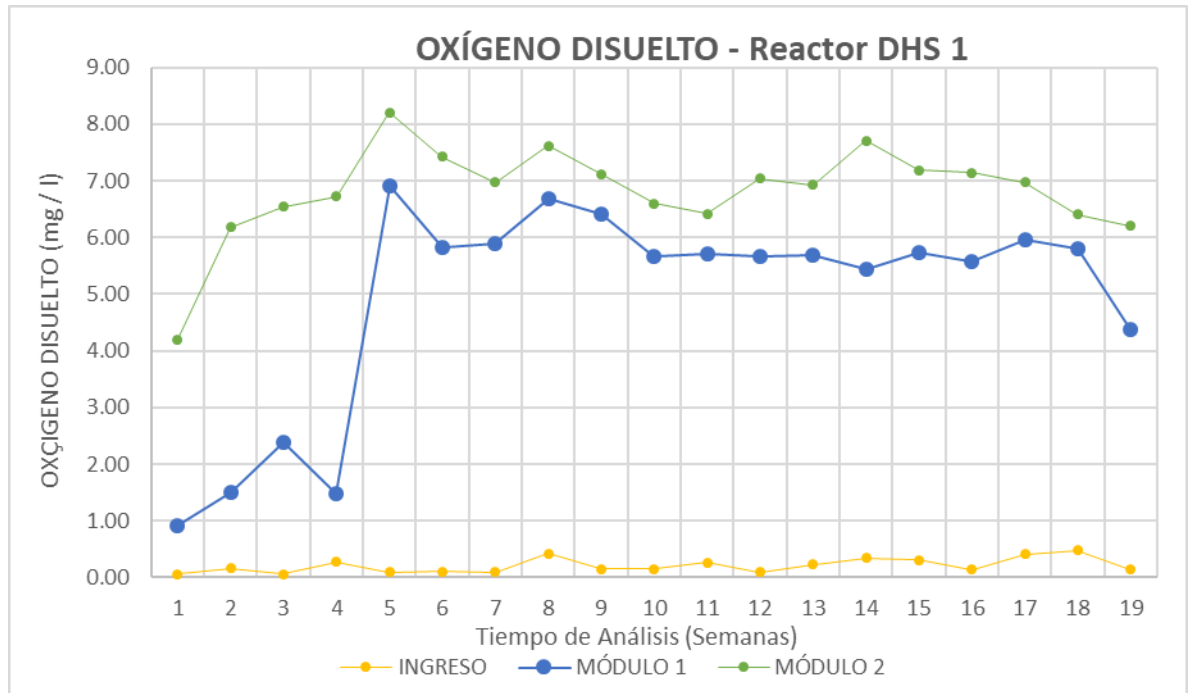


Figura Nº 6.13. Variación promedio de Oxígeno Disuelto en el Reactor DHS 1, durante el periodo de análisis

La segunda columna, Reactor DHS 2, tiene como resultados de los puntos de muestreo A, D y E que son ingreso, módulo 3 y módulo 4, respectivamente.

Como se detalla en el Cuadro 6.4. Los valores mínimos, máximos y promedio de los puntos A, D y E. Se presenta las variaciones de estos puntos de muestreo en todo el tiempo de análisis. Ver Figura 6.14.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

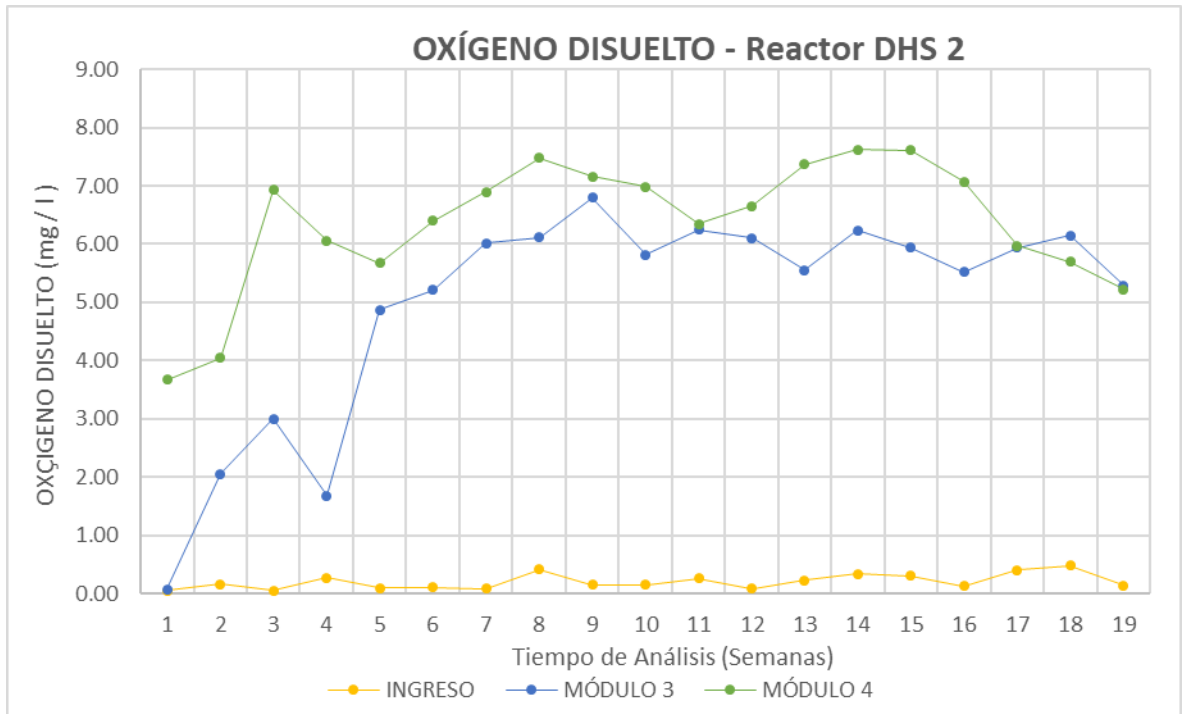


Figura Nº 6.14. Variación promedio de Oxígeno Disuelto en el Reactor DHS 2, durante el periodo de análisis

El agua residual, efluentes del reactor DHS, presentaba un aumento considerable del oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto de los efluentes finales del reactor DHS presentaba picos de 6.18 mg/l y 5.61 mg/l del módulo 2 y módulo 4, respectivamente. En la Figura 6.15. Se puede apreciar el promedio del oxígeno disuelto en cada punto de muestreo.

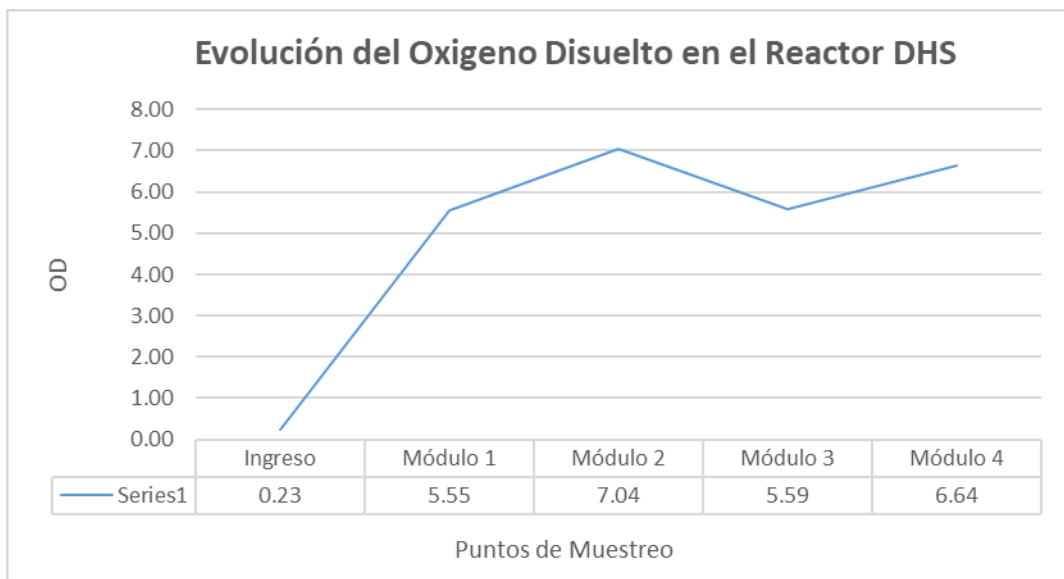


Figura Nº 6.15. Variación del Oxígeno Disuelto en los efluentes

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

VI.6. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO₅)

Este parámetro, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), fue analizada durante 19 semanas. La medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) fue realizada semanalmente, como esta descrito en la metodología de investigación, en los puntos de muestreo A, B, C, D y E.

Los resultados obtenidos para el punto A, ingreso al reactor DHS, cuya concentración mínima fue de 57.74 mg / l y un máximo de 166.50 mg / l, presentando una concentración promedio semanal de 89.38 mg / l con una desviación estándar de 27.06 mg / l.

Los resultados obtenidos para el punto B, efluente del Módulo 1, cuya concentración mínima fue de 4.32 mg / l y un máximo de 89.95 mg / l, presentando una concentración promedio semanal de 35.87 mg / l con una desviación estándar de 26.01 mg / l. En la figura 6.16 podemos observar la variación del efluente del módulo 1 respecto al ingreso del reactor DHS y la eficiencia que presento en el tratamiento por las esponjas.

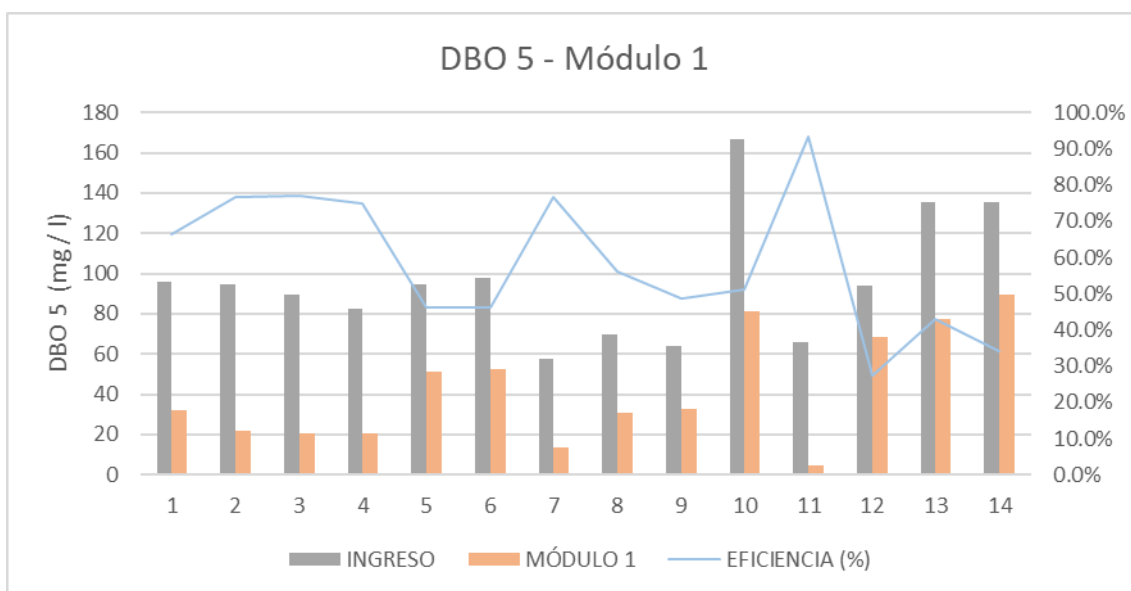


Figura Nº 6.16. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el módulo 1, durante el periodo de análisis

La concentración mínima fue de 7.67 mg / l y un máximo de 61.22 mg / l, presentando una concentración promedio semanal de 35.72 mg / l con

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

una desviación estándar de 14 mg / l. En la figura 6.19 podemos observar la variación del efluente del módulo 2 respecto al ingreso del reactor DHS y la eficiencia que presento en el tratamiento por las esponjas.

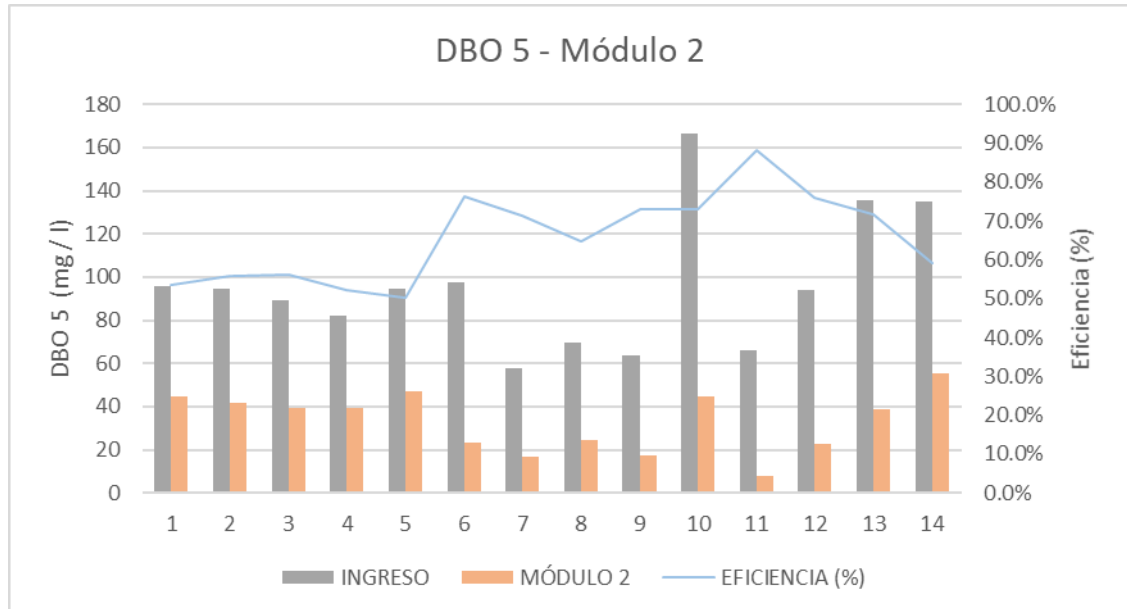


Figura Nº 6.17. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el módulo 2, durante el periodo de análisis

Los resultados obtenidos para el punto D, efluente del Módulo 3, cuya concentración mínima fue de 4.92 mg / l y un máximo de 67.29 mg / l, presentando una concentración promedio semanal de 27.7 mg / l con una desviación estándar de 16.66 mg / l. En la figura 6.18 podemos observar la variación del efluente del módulo 3 respecto al ingreso del reactor DHS y la eficiencia que presento en el tratamiento por las esponjas.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

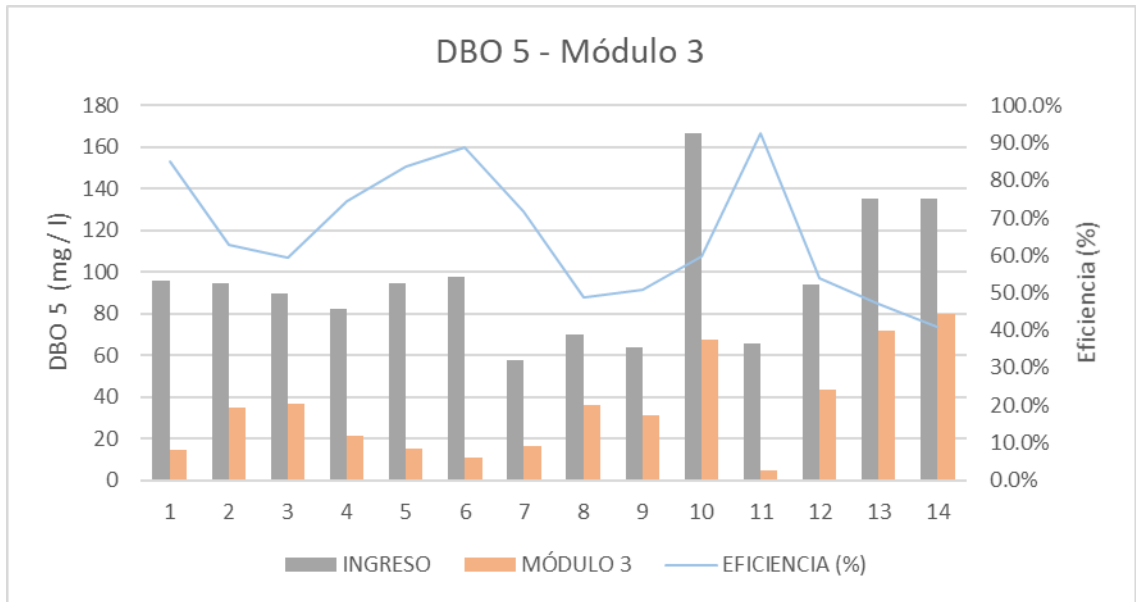


Figura Nº 6.18. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el módulo 3, durante el periodo de análisis

concentración mínima fue de 9.03 mg / l y un máximo de 46.23 mg / l, presentando una concentración promedio semanal de 23.32 mg / l con una desviación estándar de 12.73 mg / l. En la figura 6.19 podemos observar la variación del efluente del módulo 3 respecto al ingreso del reactor DHS y la eficiencia que presentó en el tratamiento por las esponjas.

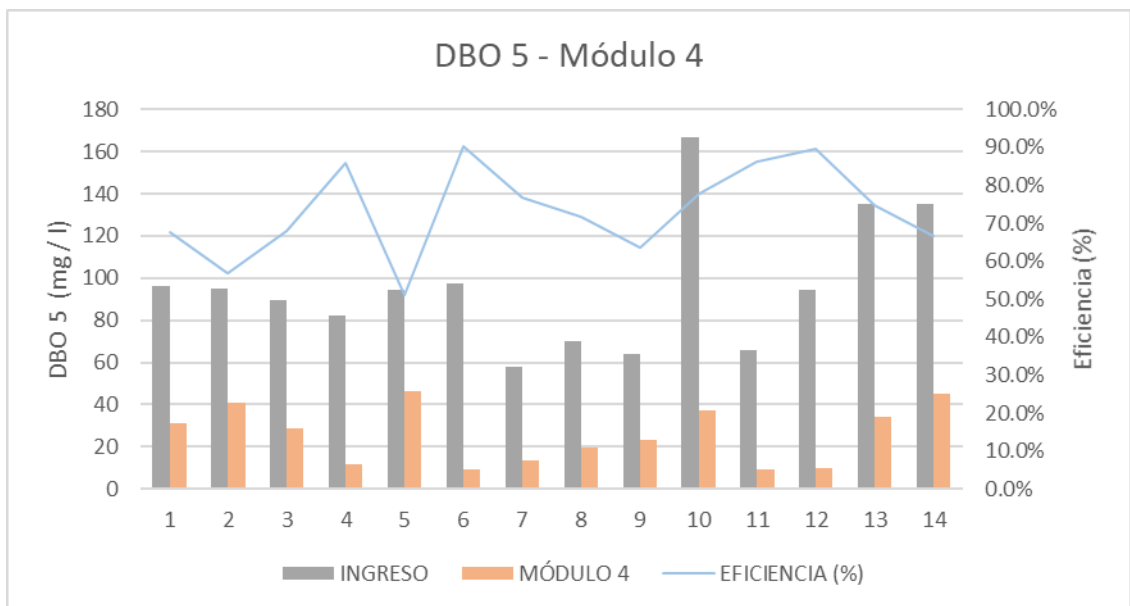


Figura Nº 6.19. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el módulo 4, durante el periodo de análisis

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

VI.7. SÓLIDOS

Este parámetro, sólidos, fue analizado durante las últimas cuatro semanas de análisis. La medición de los Sólidos fue realizada semanalmente, como esta descrito en la metodología de investigación, en los puntos de muestreo A, B, C, D y E.

Se analizó los sólidos suspendidos totales (SST), solidos suspendidos volátiles (SSV) y los sólidos suspendidos fijos (SSF).

VI.7.1. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

Los resultados obtenidos durante las últimas cuatro semanas de análisis de solidos suspendidos totales (SST) variaron, de la siguiente manera, en cada punto de análisis.

Los resultados obtenidos de SST para el punto A, ingreso al reactor DHS, presentó una concentración promedio semanal de 25.12 mg / l con una desviación estándar de 3.88 mg / l.

Los resultados obtenidos de SST para el punto B, efluente del Módulo 1, presentó una concentración promedio semanal de 8.1250 mg / l con una desviación estándar de 8.9628 mg / l.

Los resultados obtenidos de SST para el punto C, efluente del Módulo 2, presentó una concentración promedio semanal de 2.40 mg / l con una desviación estándar de 1.239 mg / l. En la Figura 6.20 se puede observar la variación de SST para en el Reactor DHS 1.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

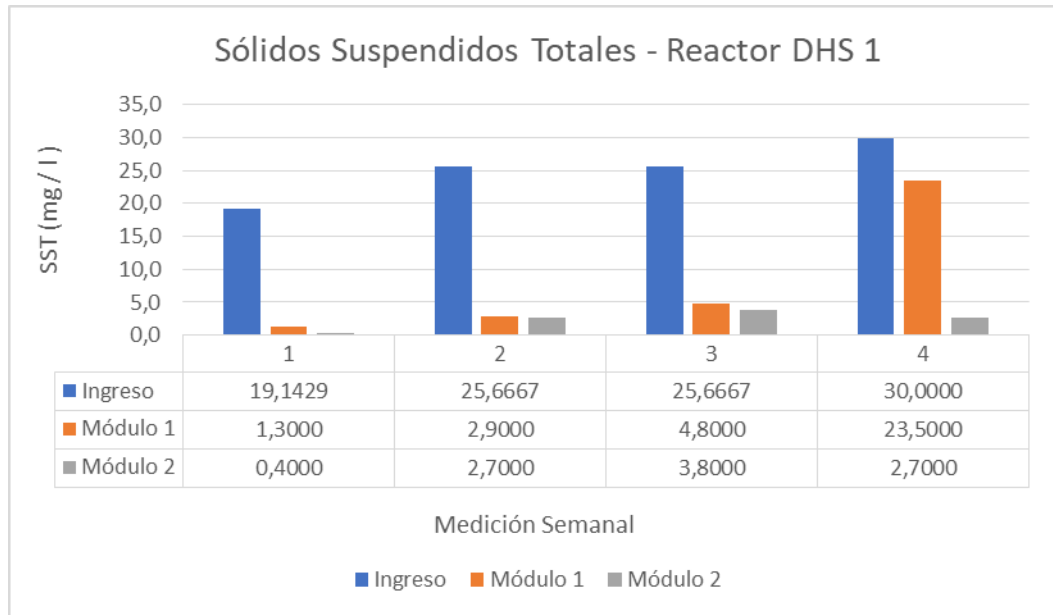


Figura Nº 6.20. Variación de Sólidos Suspendidos Totales en el Reactor DHS 1

Los resultados obtenidos de SST para el punto D, efluente del Módulo 3, presentó una concentración promedio semanal de 12.6735 mg / l con una desviación estándar de 8.5577 mg / l.

Los resultados obtenidos de SST para el punto E, efluente del Módulo 4, presentó una concentración promedio semanal de 3.35 mg / l con una desviación estándar de 1.7812 mg / l. En la Figura 6.21 se puede observar la variación de SST para en el Reactor DHS 2.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

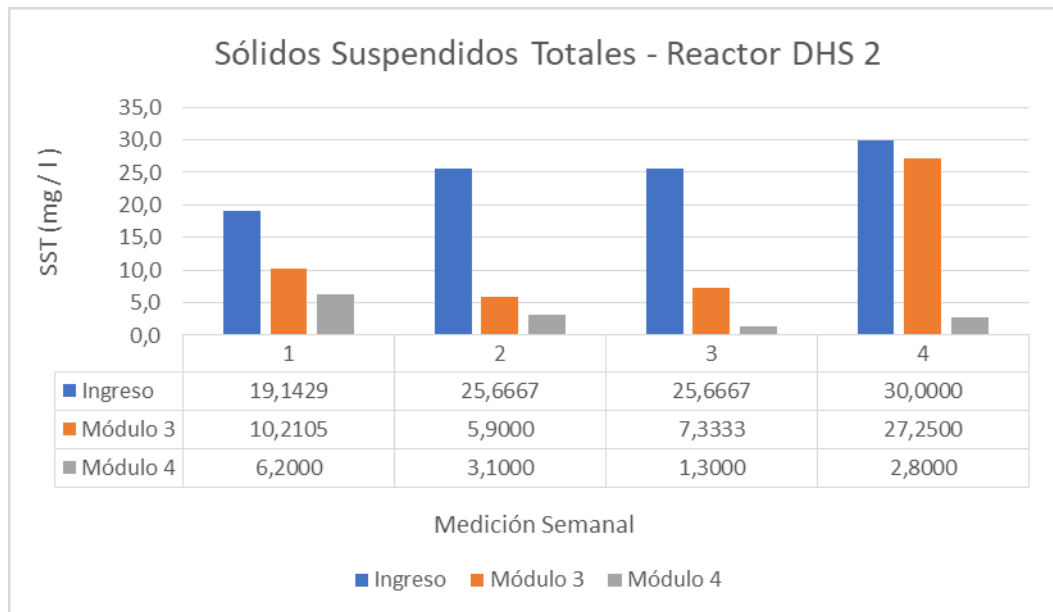


Figura Nº 6.21. Variación de Sólidos Suspendidos Totales en el Reactor DHS 2

VI.7.2. SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES (SSV)

Los resultados obtenidos durante las últimas semanas de análisis de sólidos suspendidos volátiles (SSV) variaron, de la siguiente manera, en cada punto de análisis.

Los resultados obtenidos de SSV para el punto A, ingreso al reactor DHS, presentó una concentración promedio semanal de 9.693 mg / l con una desviación estándar de 1.829 mg / l.

Los resultados obtenidos de SSV para el punto B, efluente del Módulo 1, presentó una concentración promedio semanal de 2.15 mg / l con una desviación estándar de 1.9628 mg / l.

Los resultados obtenidos de SSV para el punto C, efluente del Módulo 2, presentó una concentración promedio semanal de 0.8 mg / l con una desviación estándar de 0.5244 mg / l. En la Figura 6.22 se puede observar la variación de SSV para en el Reactor DHS 1.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

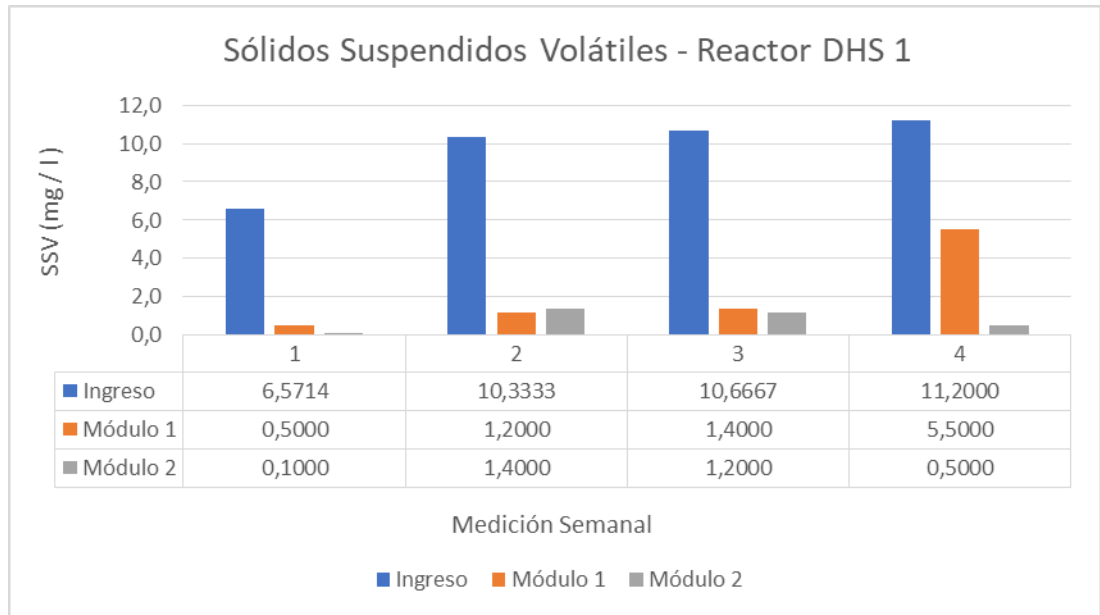


Figura N° 6.22. Variación de Sólidos Suspendidos Volátiles en el Reactor DHS 1

Los resultados obtenidos de SSV para el punto D, efluente del Módulo 3, presentó una concentración promedio semanal de 3.2286 mg / l con una desviación estándar de 1.7988 mg / l.

Los resultados obtenidos de SSV para el punto E, efluente del Módulo 4, presentó una concentración promedio semanal de 0.6 mg / l con una desviación estándar de 0.4301 mg / l. En la Figura 6.23 se puede observar la variación de SSV para en el Reactor DHS 2.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

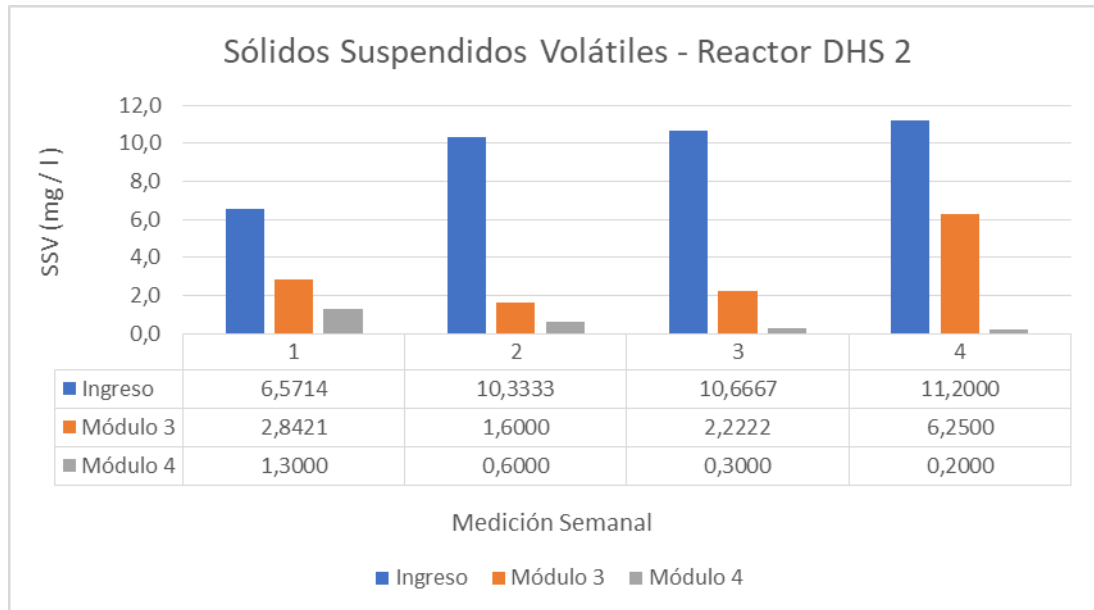


Figura N° 6.23. Variación de Sólidos Suspendidos Volátiles en el Reactor DHS 2

VI.7.3. SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS (SSF)

Los resultados obtenidos durante las últimas semanas de análisis de sólidos suspendidos fijos (SSF) variaron, de la siguiente manera, en cada punto de análisis.

Los resultados obtenidos de SSF para el punto A, ingreso al reactor DHS, presentó una concentración promedio semanal de 15.426 mg / l con una desviación estándar de 2.221 mg / l.

Los resultados obtenidos de SSF para el punto B, efluente del Módulo 1, presentó una concentración promedio semanal de 5.975 mg / l con una desviación estándar de 7.0051 mg / l.

Los resultados obtenidos de SSF para el punto C, efluente del Módulo 2, presentó una concentración promedio semanal de 1.6 mg / l con una desviación estándar de 0.0886 mg / l. En la Figura 6.24 se puede observar la variación de SSF para en el Reactor DHS 1.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

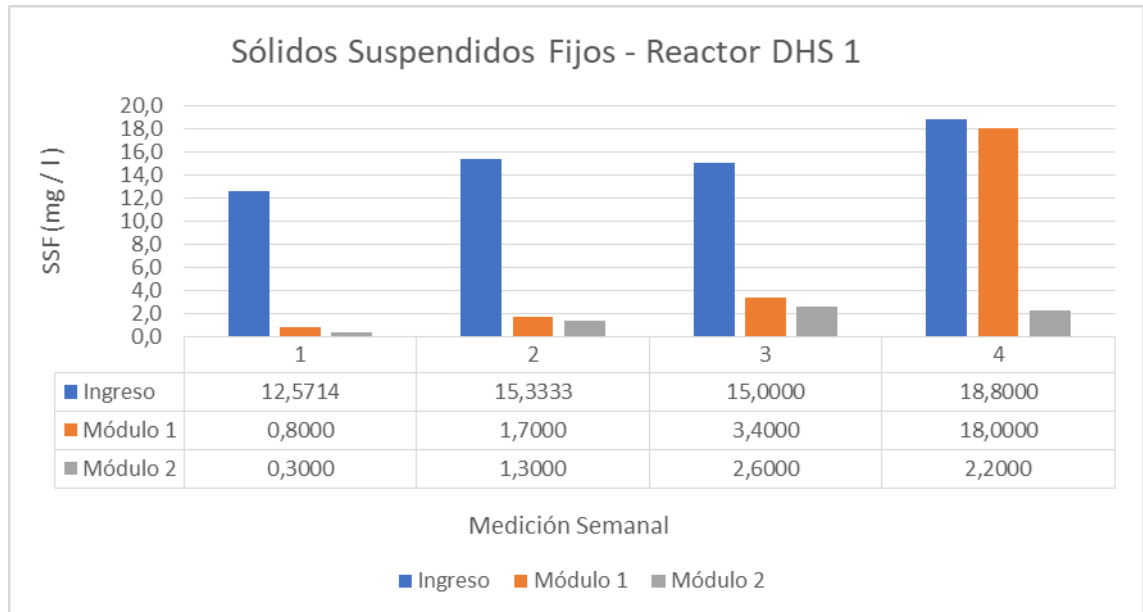


Figura Nº 6.24. Variación de Sólidos Suspendedos Fijos en el Reactor DHS 1

Los resultados obtenidos de SSF para el punto D, efluente del Módulo 3, presentó una concentración promedio semanal de 9.4449 mg / l con una desviación estándar de 6.7654 mg / l.

Los resultados obtenidos de SSF para el punto E, efluente del Módulo 4, presentó una concentración promedio semanal de 2.75 mg / l con una desviación estándar de 1.3937 mg / l. En la Figura 6.25 se puede observar la variación de SSF para en el Reactor DHS 2.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

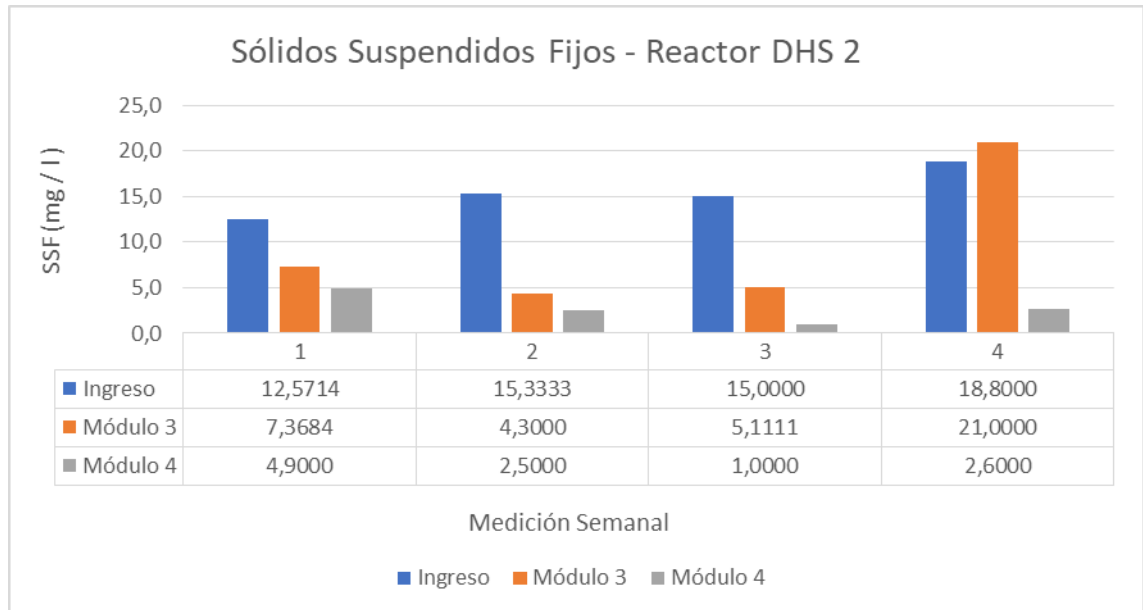


Figura Nº 6.25. Variación de Sólidos Suspendedos Fijos en el Reactor DHS 2

VI.8. COLIFORMES FECALES

Este parámetro, Coliformes Fecales, fue analizado durante 19 semanas. La medición de los Coliformes Fecales fue realizada semanalmente, como esta descrito en la metodología de investigación, en los puntos de muestreo A, B, C, D y E.

Los resultados obtenidos en el laboratorio, a lo largo del periodo de análisis, son detallados en cada punto de muestreo, en la cual se detallan los mínimos, máximos y promedios del análisis de Coliformes Fecales.

Los resultados obtenidos para el punto A, ingreso al reactor DHS, cuya concentración mínima fue de $9.3 E + 05$ NMP / 100 ml y un máximo de $9.3 E + 06$ NMP / 100 ml, presentando una concentración promedio semanal de $4.6 E + 06$ NMP / 100 ml con una desviación estándar de $2.92 E + 06$ NMP / 100 ml.

Los resultados obtenidos para el punto B, efluente del Módulo 1, cuya concentración mínima fue de $4.0 E + 04$ NMP / 100 ml y un máximo de $2.4 E + 06$ NMP / 100 ml, presentando una concentración promedio

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

semanal de $5.47 E + 05$ NMP / 100 ml con una desviación estándar de $6.38 E + 05$ NMP / 100 ml.

En términos de logaritmos el módulo 1 obtuvo una remoción mínima de 0.25 log, una remoción máxima de 2.03 log, un promedio de remoción de 1.1 log con una desviación estándar de 0.55 log. En la figura 6.26 podemos observar la variación del efluente del módulo 1 respecto al ingreso del reactor DHS y la eficiencia que presenta en el tratamiento por las esponjas.

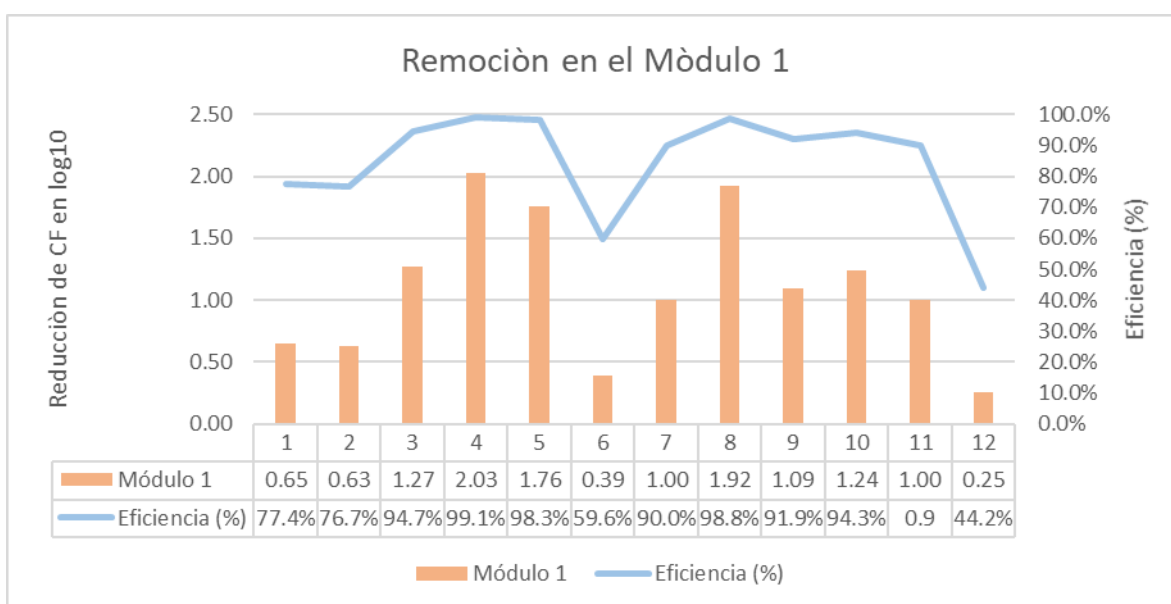


Figura Nº 6.26. Variación de Coliformes Fecales en el módulo 1, durante el periodo de análisis

Los resultados obtenidos para el punto C, efluente del Módulo 2, cuya concentración mínima fue de $9.0 E + 03$ NMP / 100 ml y un máximo de $1.1 E + 06$ NMP / 100 ml, presentando una concentración promedio semanal de $1.27 E + 05$ NMP / 100 ml con una desviación estándar de $2.95 E + 05$ NMP / 100 ml.

En términos de logaritmos el módulo 2 obtuvo una remoción mínima de 0.59 log, una remoción máxima de 3.01 log, un promedio de remoción de 2.03 log con una desviación estándar de 0.78 log. En la figura 6.27 podemos observar la variación del efluente del módulo 1 respecto al

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

ingreso del reactor DHS y la eficiencia que presento en el tratamiento por las esponjas.

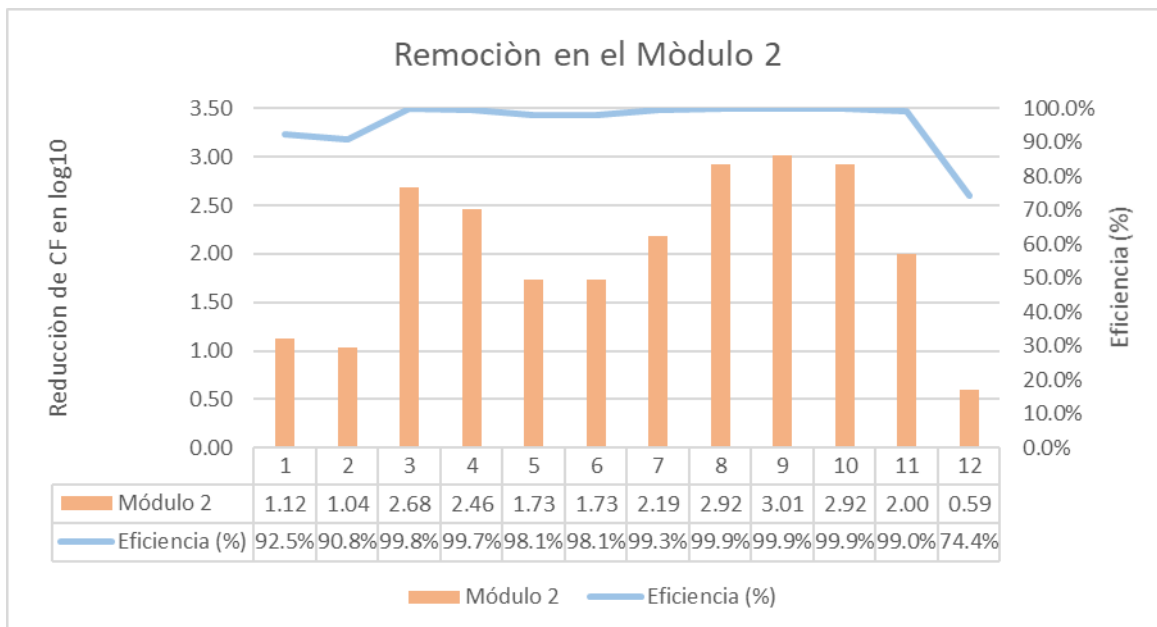


Figura Nº 6.27. Variación de Coliformes Fecales en el módulo 2, durante el periodo de análisis

Los resultados obtenidos para el punto D, efluente del Módulo 3, cuya concentración mínima fue de $2.3 E + 05$ NMP / 100 ml y un máximo de $2.4 E + 06$ NMP / 100 ml, presentando una concentración promedio semanal de $1.04 E + 06$ NMP / 100 ml con una desviación estándar de $7.01 E + 05$ NMP / 100 ml.

En términos de logaritmos el módulo 3 obtuvo una remoción mínima de 0.19 log, una remoción máxima de 1.00 log, un promedio de remoción de 0.64 log con una desviación estándar de 0.30 log. En la figura 6.28 podemos observar la variación del efluente del módulo 3 respecto al ingreso del reactor DHS y la eficiencia que presento en el tratamiento por las esponjas.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

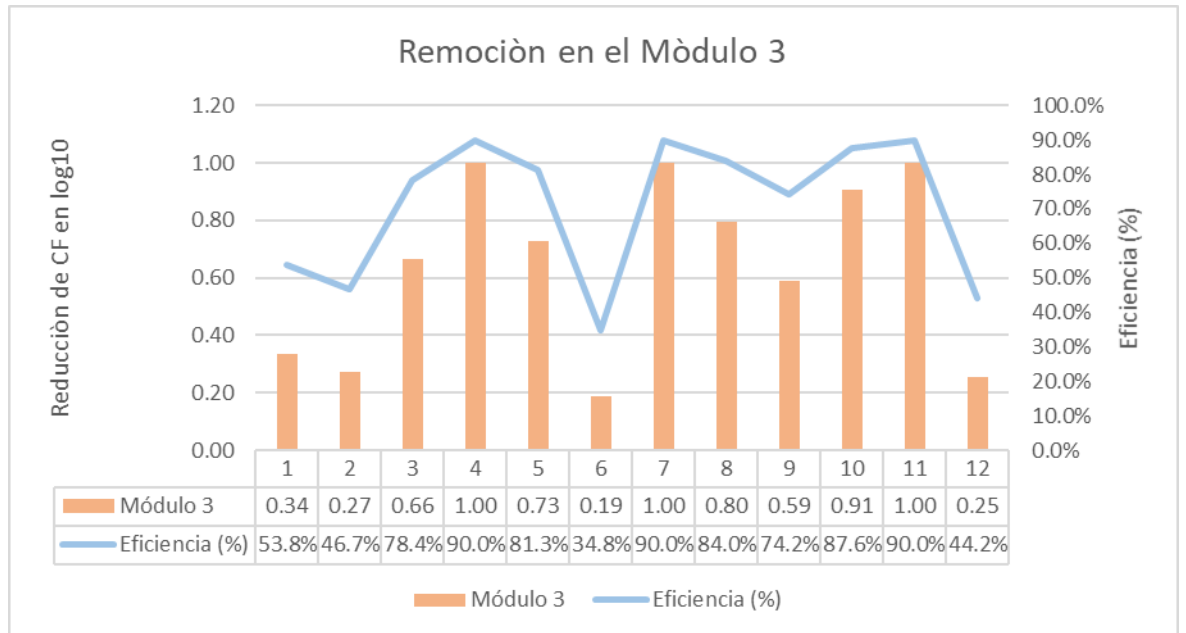


Figura N3d 6.28. Variaci3n de Coliformes Fecales en el m3dulo 3, durante el periodo de an3lisis

Los resultados obtenidos para el punto E, efluente del M3dulo 4, cuya concentraci3n m3nima fue de $9.00 E + 03$ NMP / 100 ml y un m3ximo de $1.10 E + 06$ NMP / 100 ml, presentando una concentraci3n promedio semanal de $1.65 E + 05$ NMP / 100 ml con una desviaci3n est3ndar de $2.93 E + 05$ NMP / 100 ml.

En t3rminos de logaritmos el m3dulo 2 obtuvo una remoci3n m3nima de 0.32 log, una remoci3n m3xima de 2.70 log, un promedio de remoci3n de 1.79 log con una desviaci3n est3ndar de 0.76 log. En la figura 6.29 podemos observar la variaci3n del efluente del m3dulo 4 respecto al ingreso del reactor DHS y la eficiencia que presento en el tratamiento por las esponjas.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

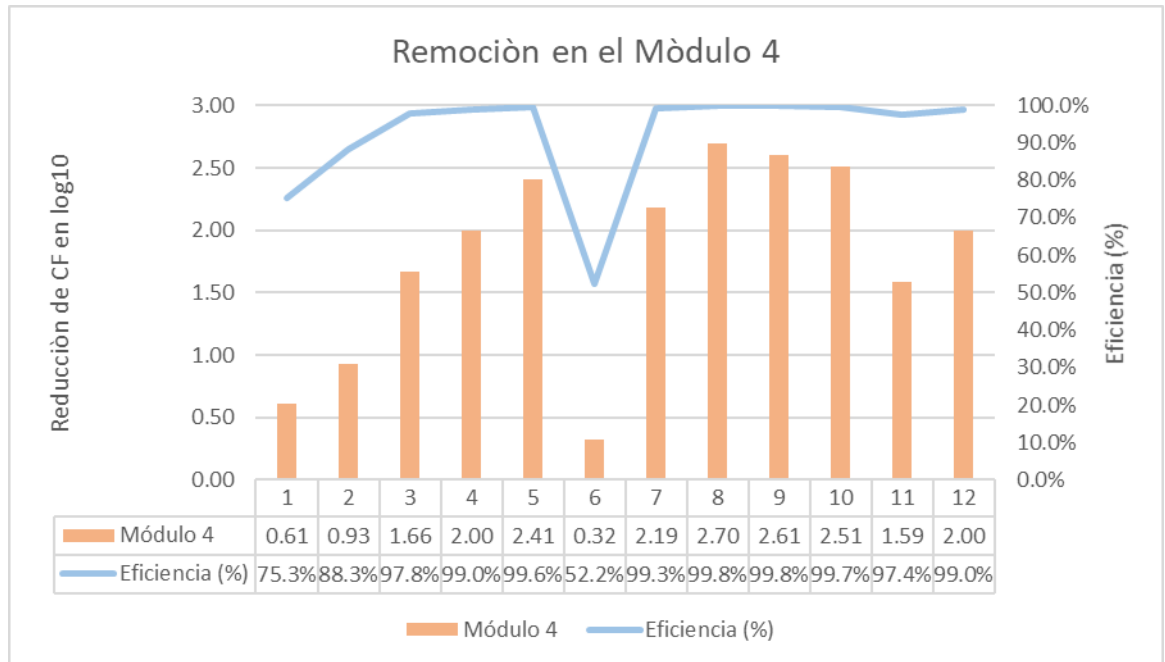


Figura Nº 6.29. Variación de Coliformes Fecales en el módulo 4, durante el periodo de análisis

VI.10. OBSERVACIÓN DE LA CAPA MICROBIOLÓGICA

Los resultados que se obtuvieron, en el microscopio, son los siguientes:

Las esponjas presentaron un color más oscuro en esponjas de los módulos 1 y 3 comparados a los módulos 2 y 4. Como se realizó el análisis en cada módulo y en diferentes niveles se encontró una mayor generación de capa microbiológica en los módulos 1 y 3.

En todos los módulos se logró encontrar microorganismos como rotíferos, nematodos, protozoarios ciliados y algas. La cantidad vario en cada módulo, siendo de mayor generación en el módulo 1 seguido de los módulos 3, 2 y 4, respectivamente.

Respecto al análisis, de la capa microbiológica, a diferentes niveles se encontró que en el nivel superior de cada módulo la generación de la capa microbiológica fue mayor.

Los módulo 1 y 3 fue donde se encontró una mayor cantidad, en comparación a los demás módulos, de generación de algas debido a la distribución inicial del agua residual que estaba en contacto, por algunas

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

horas, a los rayos solares. No se pudo tener fotografías nítidas de lo hallado en el microscopio por ello no se pusieron imágenes resaltantes en la presente investigación.

VI.11. COMPARACIÓN CON LOS ECAS Y LMP

Los resultados obtenidos de los parámetros analizados en la presente investigación son comparados con los estándares de calidad de ECA y LMP. Esta comparación se presenta resumida en el siguiente cuadro comparativo:

Para los resultados obtenidos como temperatura, Ph, sólidos totales suspendidos, Oxígeno Disuelto y Conductividad presentaron valores aceptables en comparación a la normas de ECA y LMP. Sin embargo, los parámetros como Demanda Bioquímica de Oxígeno y Coliformes Fecales no cumplen con los parámetros de ECA y LMP. Para los parámetros que no cumplen se recomienda un tratamiento extra del efluente del reactor DHS.

Cuadro de comparación de los ECAS y LMP con los efluentes de los Reactores DHS 1 y 2

Parámetro	Unidad	Afuente al Sistema DHS	Efluente del Sistema DHS		ECA Categoría 3	Límite Máximo Permisible
			Reactor DHS 1	Reactor DHS 2		
Temperatura	°C	25.47	25.42	25.52		> 35
Ph	unidad	7.99	7.4	7.24	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Oxígeno Disuelto	mg/l	0.23	6.88	6.28	≥ 4	-----
Conductividad	μS/cm	1069.24	770.95	747.9	2500	-----
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	89.39	35.72	23.32	15	100
Sólidos Totales suspendidos	mg/l	24.04	2.4	3.1	-----	150
Coliformes Termotolerantes	NMP / 100 ml	4.60E+06	9.00E+03	2.30E+04	1000 - 2000	10000

- Los valores presentados, representan los promedios obtenidos durante el periodo de análisis
- ECA - CATEGORIA 3: "Riego de Vegetales y bebida de animales" - Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM
- Límite Máximo Permisible: " Para efluentes de PTAR" - Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

CAPÍTULO VII: DISCUSIONES

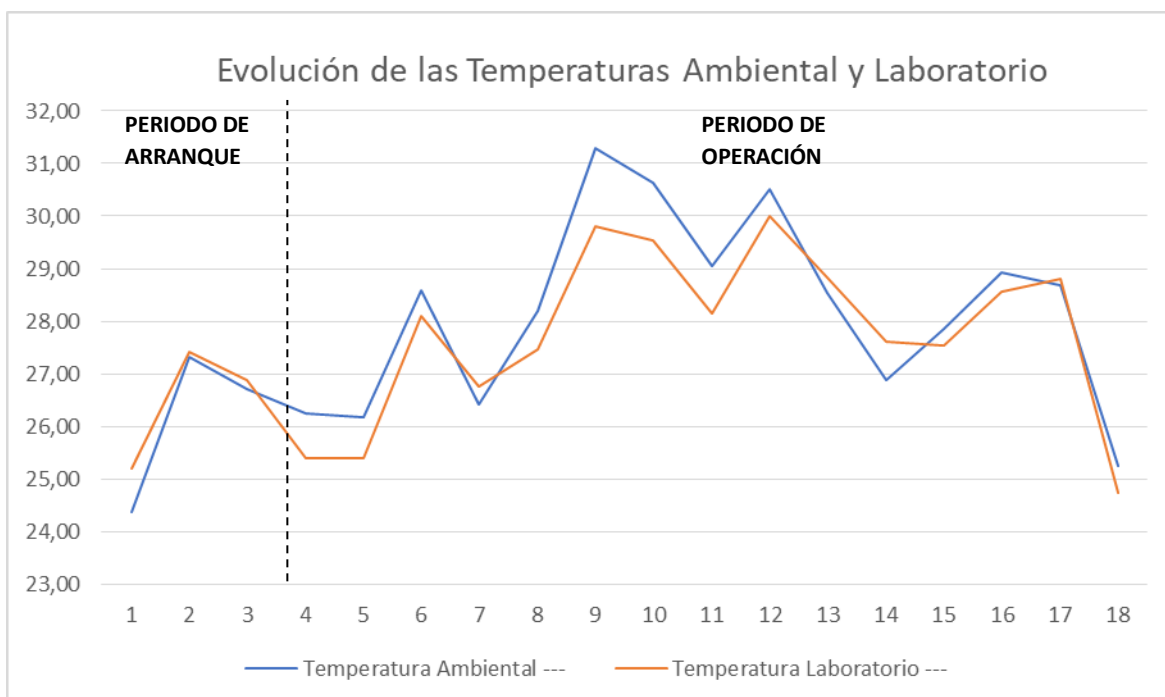
En este presente capítulo, se detallan las discusiones de los resultados obtenidos en las 19 semanas de análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados al Reactor DHS de primera generación con diferentes tamaños de medio de soporte de esponja, el cual está presente en el centro de investigación del CITRAR – UNI.

VII. 1. TEMPERATURA AMBIENTAL Y LABORATORIO

La temperatura se fue incrementando de la semana 1 hasta la semana 3 aprox. en 2.8 °C, y un incremento más abrupto, comparado a la temperatura inicial, en la semana 6 hasta la semana 12. Este incremento se dio por la estación del año en la cual se realizaba la presente investigación, en los meses de Enero, Febrero y Marzo. Ver Figura 7.1.

Las temperaturas promedio ambiental y laboratorio presentaban una variación parecida, con diferencias mínimas de 0.1 °C y máximas de 1.5 °C. Lo cual representa la diferencia de temperatura entre la toma de muestra y su respectivo análisis, donde la distancia entre la toma de muestra y su respectivo análisis no influyo en gran manera.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”



7 **Figura N° 7.1. Evolución de las temperaturas ambiental y laboratorio**

temperatura de cada punto de muestreo (agua residual), hubo días en los cuales la temperatura ambiental fue casi igual al agua residual, dándose variaciones mínimas de 0.1 °C y máximas de 1.2 °C.

Las temperaturas del agua residual de cada punto de muestreo son casi iguales con variaciones de 0.1 – 0.2 °C de temperatura, esto por el análisis que se realizaba al mismo tiempo de todas las muestras.

VII.2. PH

La primera columna, reactor DHS 1, presenta un ingreso de Ph promedio de 8.24 ± 0.06 , al pasar por el módulo 1 el Ph tiende a aumentar a un promedio de 8.67 ± 0.15 y después de pasar por el módulo 2 el Ph sigue aumentando hasta un promedio de 8.74 ± 0.33 , dándose picos de 9.03 y 9.14 para el módulo 1 y 2 respectivamente.

Toda esta variación se dio mientras ocurría en tiempo de marcha, la cual duro aproximadamente 4 semanas. El Ph iba aumentando a medida que pasaba por los módulos 1 y 2.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Una vez pasado el tiempo de marcha la variación de Ph fue diferente en el reactor DHS. El Ph de ingreso (efluente del reactor anaerobio UASB) presentaba un promedio de 7.99 ± 0.21 , luego al pasar por el módulo 1 este Ph aumentaba hasta un promedio de 8.33 ± 0.32 , y después del módulo 2 este Ph disminuía hasta un promedio de 7.95 ± 0.62 . Toda esta variación se dio, en el reactor DHS, después de la cuarta semana, el Ph final (efluente del módulo 2) presentaba un Ph neutro con picos de 7.4, en la parte final del periodo de análisis. Como se pudo observar en los resultados.

La segunda columna, Reactor DHS 2, presenta un ingreso de Ph promedio de 8.24 ± 0.06 , al pasar por el módulo 1 el Ph tiende a aumentar a un promedio de 8.67 ± 0.22 y después de pasar por el módulo 2 el Ph sigue aumentando hasta un promedio de 8.82 ± 0.12 , dándose picos de 9.05 y 9.14 para el módulo 1 y 2 respectivamente.

Toda esta variación se dio mientras ocurría en tiempo de marcha, la cual duro aproximadamente 4 semanas. El Ph iba aumentando a medida que pasaba por los módulos 3 y 4.

En comparación con la primera columna, al inicio la segunda columna presento un menor incremento de Ph, pero a la segunda semana el Ph de la segunda columna, en el módulo 3, tuvo un mayor incremento, diferente en la comparación del módulo 2 y 4 donde el módulo 2 presento un mayor incremento de Ph que el módulo 4.

Una vez pasado el tiempo de marcha la variación de Ph fue diferente en el reactor DHS. El Ph de ingreso (efluente del reactor anaerobio UASB) presentaba un promedio de 7.99 ± 0.21 , luego al pasar por el módulo 3 este Ph aumentaba hasta un promedio de 8.37 ± 0.29 , y después del módulo 4 este Ph disminuía hasta un promedio de 7.89 ± 0.6 .

Toda esta variación se dio, en el reactor DHS, después de la cuarta semana, el Ph final (efluente del módulo 4) presentaba un Ph neutro con picos de 7.24, en la parte final del periodo de análisis.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Los efluentes finales de las dos columnas del Reactor DHS, al final del periodo de análisis, presentaron una tendencia de un Ph alrededor de 7. El rendimiento del proceso del reactor DHS fue similar a los estudios previos (Ossio, 2013; Agrawal, 1997)

Las variaciones de Ph, disminución e incrementos, a lo largo del proceso de tratamiento en los reactores DHS, se debieron a la ocurrencia de los procesos de nitrificación y des nitrificación ocurridos en el sistema DHS (Agrawal, 1997).

VII.3. TURBIEDAD

La primera columna, reactor DHS 1, presentó una variación promedio de turbiedad siguiendo la tendencia de disminución en el reactor DHS. La turbiedad de ingreso (efluente del reactor anaerobio UASB) presentaba un promedio de 82.14 ± 28.87 UNT, luego al pasar por el módulo 1, llegando al final del periodo de análisis, presentaba una turbiedad de 16.1 UNT de efluente final del reactor DHS, en el módulo 2, de 3.32 UNT; logrando una eficiencia final de 94.07% en remoción de turbiedad.

La segunda columna, reactor DHS 2, presentó una variación promedio de turbiedad con tendencia de disminución parecida al reactor DHS 1. La turbiedad de ingreso (efluente del reactor anaerobio UASB) presentaba un promedio de 82.14 ± 28.87 UNT, luego al pasar por el módulo 3, llegando al final del periodo de análisis, presentaba una turbiedad de 8.05 UNT de efluente final del reactor DHS, en el módulo 4, de 1.45 UNT; logrando una eficiencia final de 97.41% en remoción de turbiedad.

La variación de remoción de turbiedad respecto al módulo 1 y el ingreso se puede detallar en la Figura 7.2. La cual llegó a obtener una eficiencia máxima de remoción de 92% con una turbiedad de salida de 10.2 UNT.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

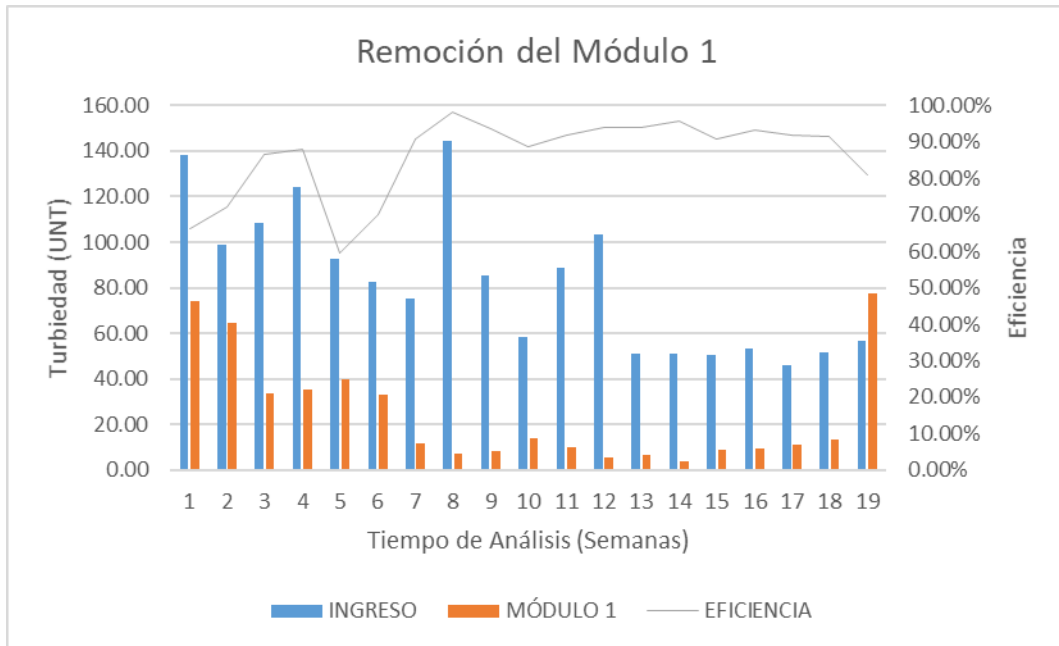


Figura Nº 7.2. Variación promedio de Turbiedad en el módulo 1, durante el periodo de análisis

La variación de remoción de turbiedad respecto al módulo 3 y el ingreso se puede detallar en la Figura 7.3. La cual llevo a obtener una eficiencia máxima de remoción de 95% con una turbiedad de salida de 14.94 UNT.

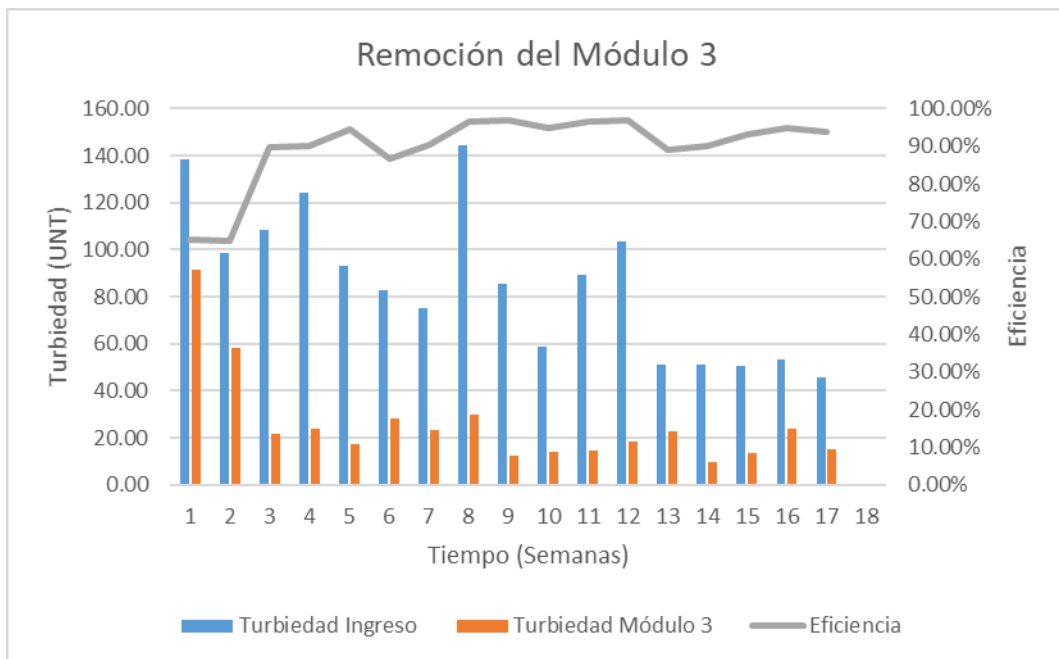


Figura Nº 7.3. Variación promedio de Turbiedad en el módulo 3, durante el periodo de análisis

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

En comparación con la primera columna, la segunda columna presento una menor eficiencia en el periodo de tiempo de marcha, donde la segunda columna presento una eficiencia promedio de 74% mientras la primera columna una eficiencia de 80%.

Una vez transcurrido el tiempo de marcha, este parámetro presento muchas variaciones por varios motivos; mal funcionamiento del reactor anaerobio UASB, falta de afluente al reactor DHS, etc. Dando como consecuencia una distorsión en los valores de turbiedad. Este sistema DHS presenta una buena eficiencia de remoción en el parámetro turbiedad comparado con investigaciones anteriores (Uemura, 2011; Ossio, 2013; Del Río, 2017) donde, en el mismo tiempo de operación, se obtuvo mejores eficiencias. El efluente del Módulo 4 presentó una mayor tendencia de disminución de turbiedad a comparación del Módulo 2.

En general, la eficiencia de la Reactor DHS 2 fue mayor a la de la Reactor DHS 1, siendo la turbiedad del efluente final, de los módulos 1 y 2, 3.32 UNT y 1.45 UNT con eficiencia de 94.07% y 97.41%, respectivamente.

VII.4. CONDUCTIVIDAD

La primera columna, Reactor DHS 1, presenta un ingreso Conductividad promedio de 1222.88 ± 16.87 uS/cm, al pasar por los módulo 1 y 2 la conductividad presenta unas pequeñas variaciones, disminuyendo y, dándose picos de 1477 uS/cm al inicio y 1111 uS/cm al final en el efluente final (efluente del módulo 2).

Toda esta variación se dio mientras ocurría el tiempo de marcha, la cual duro aproximadamente 4 semanas. La conductividad iba disminuyendo a medida que pasaba por los módulos 1 y 2.

Una vez pasado el tiempo de marcha la variación promedio de conductividad siguió una tendencia de disminución, en el reactor DHS. La

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

conductividad de ingreso (efluente del reactor anaerobio UASB) presentaba un promedio de 1069.34 ± 174.67 uS/cm, luego al pasar por el módulo 1, llegando al final del periodo de análisis, presentaba una conductividad de 870 mS/cm, en el efluente final del reactor DHS, en el módulo 2, de 770.95 mS/cm.

La segunda columna, Reactor DHS 2, presenta un ingreso Conductividad promedio de 1222.88 ± 16.87 uS/cm, al pasar por los módulo 3 y 4 la conductividad presenta unas pequeñas variaciones, disminuyendo y, dándose picos de 1477 uS/cm al inicio y 1111 uS/cm en el efluente final (efluente del módulo 4).

Toda esta variación se dio mientras ocurría el tiempo de marcha, la cual duro aproximadamente 4 semanas. La conductividad iba disminuyendo a medida que pasaba por los módulos 3 y 4.

Una vez pasado el tiempo de marcha la variación promedio de conductividad siguió una tendencia de disminución, en el reactor DHS. La conductividad de ingreso (efluente del reactor anaerobio UASB) presentaba un promedio de $1069.34 \pm 174.67.67$ uS/cm, luego al pasar por el módulo 3, llegando al final del periodo de análisis, presentaba una conductividad de 844.9 uS/cm, en el efluente final del reactor DHS, en el módulo 2, de 747.9 uS/cm.

Tanto el Reactor DHS 1 y 2, después de la quinta semana, presentan una disminución de la conductividad. El afluente, efluente del reactor anaerobio UASB, también presentó una disminución de la conductividad con el aumento de la temperatura. Estos resultados, en todos los módulos, presentaron variaciones por varios factores, temperatura, alteración del reactor anaerobio UASB, falta de agua residual en el reactor DHS, que dieron picos alterados en los resultados los cuales se fueron estabilizando naturalmente en el reactor DHS.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

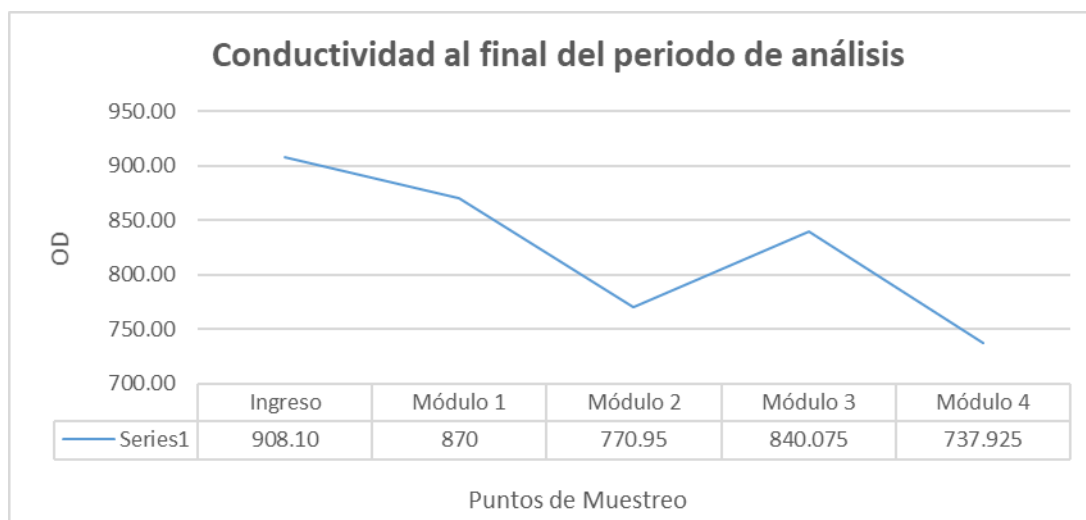


Figura N° 7.4. Variación de la Conductividad al final del tiempo de operación.

En comparación de las dos columnas, los resultados en el efluente final, tanto del módulo 2 y del módulo 4, presentan variaciones en las semanas de análisis. Presentan una tendencia a disminuir, respecto a la conductividad de ingreso. Esta variación también estuvo influida por la temperatura, a medida que la temperatura se incrementaba la conductividad se reducía y, mientras la temperatura era menor la conductividad tendía a aumentar.

VII.5. OXÍGENO DISUELTO

La primera columna, Reactor DHS 1, tiene como resultados de los puntos de muestreo A, B y C que son ingreso, módulo 1 y módulo 2, respectivamente.

El Reactor DHS 1 presenta un ingreso de OD promedio de 0.09 ± 0.05 mg/L, al pasar por el módulo 1 el OD tiende a mantenerse a un promedio de 1.60 ± 0.6 mg/L, con cierto picos de OD altos en algunos días de análisis, pero en la mayoría presentaba un OD bajo menor a 0.1 mg/L; y después de pasar por el módulo 2 el OD presenta una tendencia a aumentar hasta un promedio de 5.64 ± 1.03 mg/L, dándose picos de 5.38 mg/L y 8.25 mg/L para el módulo 1 y 2 respectivamente.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Toda esta variación se dio mientras ocurría en el tiempo de marcha, la cual duro aproximadamente 4 semanas. El OD se mantenía bajo mientras pasaba el módulo 1 y, mientras pasaba por el módulo 2 aumentaba considerablemente.

Una vez pasado el tiempo de marcha la variación el OD fue diferente en el reactor DHS. El OD de ingreso (efluente del reactor anaerobio UASB) presentaba un promedio de 0.23 ± 0.13 mg/L, luego al pasar por el módulo 1 OD aumentaba hasta un promedio de 5.5 ± 1.18 mg/L, y después del módulo 2 este OD aumentaba hasta un promedio de 7.04 ± 0.51 mg/L. Toda esta variación se dio en el reactor DHS después de la quinta semana, el OD final (efluente del módulo 2) presentaba un OD alto con picos de 6.88, en la parte final del periodo de análisis.

La segunda columna, Reactor DHS 2, presenta un ingreso de OD promedio de 0.09 ± 0.05 mg/L, al pasar por el módulo 1 el OD tiende a mantenerse a un promedio de 1.71 ± 1.2 mg/L, con cierto picos de OD altos en algunos días de análisis, pero en la mayoría presentaba un OD bajo menor a 0.2 mg/L; y después de pasar por el módulo 4 el OD presenta una tendencia a aumentar hasta un promedio de 4.88 ± 1.45 mg/L, dándose picos de 6.68mg/L y 8.91 mg/L para el módulo 3 y 4 respectivamente.

Toda esta variación se dio mientras ocurría en el tiempo de marcha, la cual duro aproximadamente 4 semanas. El OD se mantenía bajo mientras pasaba el módulo 3 y, mientras pasaba por el módulo 4 aumentaba considerablemente.

Una vez pasado el tiempo de marcha la variación el OD fue diferente en el reactor DHS. El OD de ingreso (efluente del reactor anaerobio UASB) presentaba un promedio de 0.23 ± 0.13 mg/L, luego al pasar por el módulo 3 OD aumentaba hasta un promedio de 5.59 ± 1.14 mg/L, y después del módulo 4 este OD aumentaba hasta un promedio de 6.64 ± 0.65 mg/L. Toda esta variación se dio en el reactor DHS después de la

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

quinta semana, el OD final (efluente del módulo 2) presentaba un OD alto con picos de 6.22 mg/L, en la parte final del periodo de análisis.

Tanto el Reactor DHS 1 como el Reactor DHS 2 después de la cuarta semana presentaron una variación del oxígeno disuelto con una tendencia creciente.

La aireación recibida por el paso del agua residual en las esponjas y la separación que había entre cada módulo, en cada columna, facilitaron el aumento del oxígeno disuelto a la salida de cada reactor DHS.

En comparación con estudios previos (Vega, 2018; Ossio, 2013) la separación entre módulos puede influir en el aumento del oxígeno disuelto en el reactor DHS. En la presente investigación se utilizó una separación de 0.15m entre cada módulo; mientras que en las investigaciones previas usaron 0.12m y 0.10m dando como resultado, en incremento de oxígeno disuelto, valores promedio de 6.64 ± 0.65 mg/L y 7.04 ± 0.51 mg/L para 0.15m; 6.16 ± 0.61 mg/L para 0.12m; y 5.5 mg/L para 0.10m.

En la Figura 7.15. Se puede observar las variaciones de oxígeno disuelto de los módulos 1 y 3, las cuales representan esponjas de 4cm y 3cm, respectivamente. Se presentó un mayor incremento del oxígeno disuelto en las esponjas de menor tamaño.

La comparación del aumento de oxígeno disuelto en cada columna es variante, pues presentan variaciones en cada día. El ingreso, efluente del reactor anaerobio UASB presentaba un OD muy bajo y la salida del reactor DHS presentaba un OD alto.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

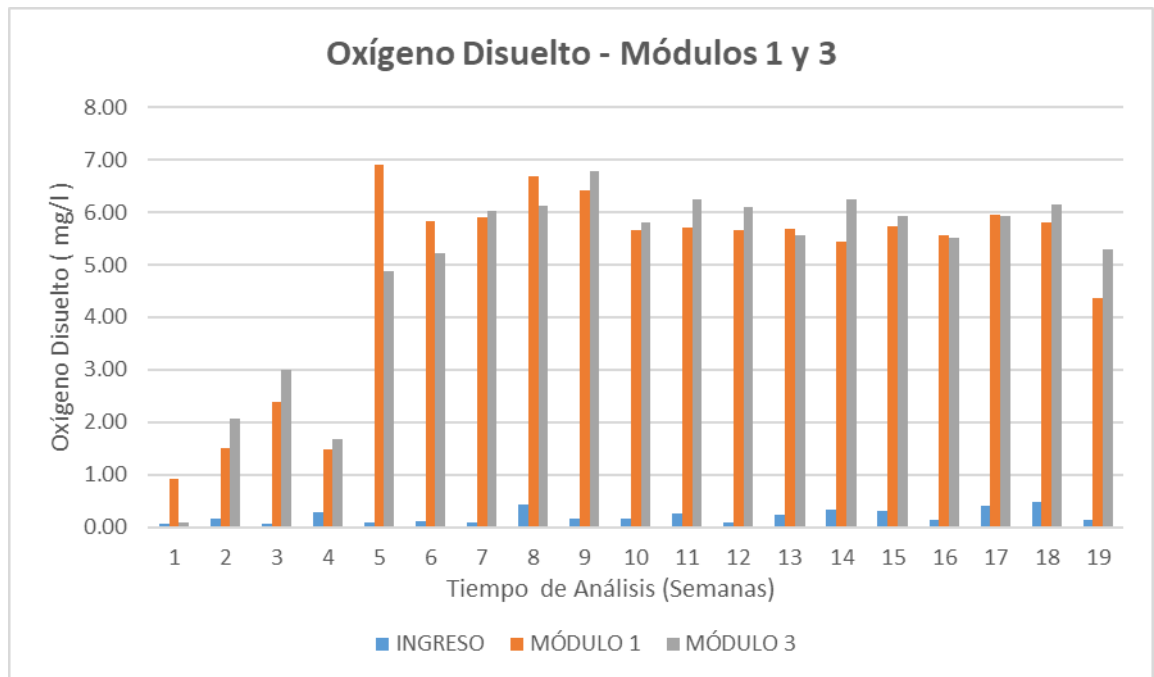


Figura N° 7.5. Variación promedio de Oxígeno Disuelto en los efluentes del módulo 1 y 3

VII.6. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO₅)

Como se puede observar en los resultados obtenidos, la remoción de DBO₅ presenta variaciones en todo el proceso, con semanas en las cuales la eficiencia de remoción fue baja, debido al proceso de desprendimiento de la capa biológica formada en la parte superficial de la esponja.

Este desprendimiento de la capa biológica se daba por dos razones, una la muerte de los microorganismos presentes en ella y, por el mismo desgaste de las esponjas, estas presentaban una degradación. Los módulos presentaron alteraciones en la remoción de DBO₅, pues al inicio durante las primeras semanas hubo un aumento de DBO₅ del módulo 1 al módulo 2 y, del módulo 3 al módulo 4. Esto puede estar asociado, probablemente, a un desprendimiento de la capa celular en los módulos inferiores (2 y 4), por la escasez de nutrientes con los cual se pueda mantener la biomasa en la superficie de la esponja, por ello mueren y se desprenden y aportan al aumento de DBO₅.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

La Reactor DHS 1, del tratamiento del Reactor DHS, presento una eficiencia de remoción máxima de 88% en remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5). El tratamiento del agua residual desde el ingreso hacia los módulos 1 y 2, generando un efluente con características diferentes al ingreso dio remociones de DBO_5 variables como se puede observar en la Figura N° 7.6.

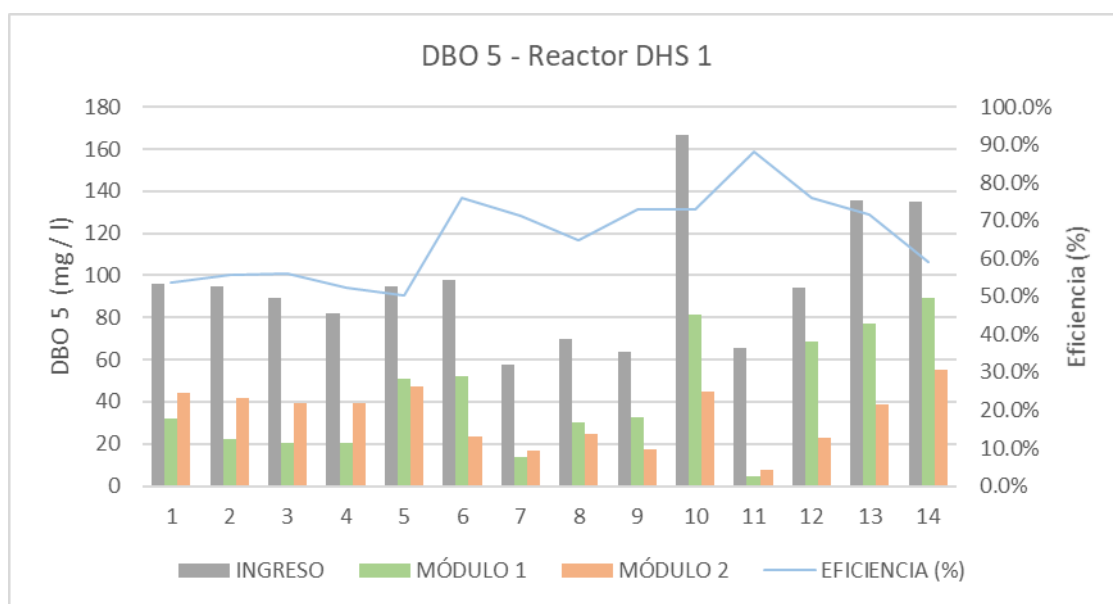


Figura N° 7.6. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Reactor DHS 1, durante el periodo de análisis

La Reactor DHS 2, del tratamiento del Reactor DHS, presento una eficiencia de remoción máxima de 90.38% en remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5). El tratamiento del agua residual desde el ingreso hacia los módulos 3 y 4, generando un efluente con características diferentes al ingreso dio remociones de DBO_5 variables como se puede observar en la Figura N° 7.7.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

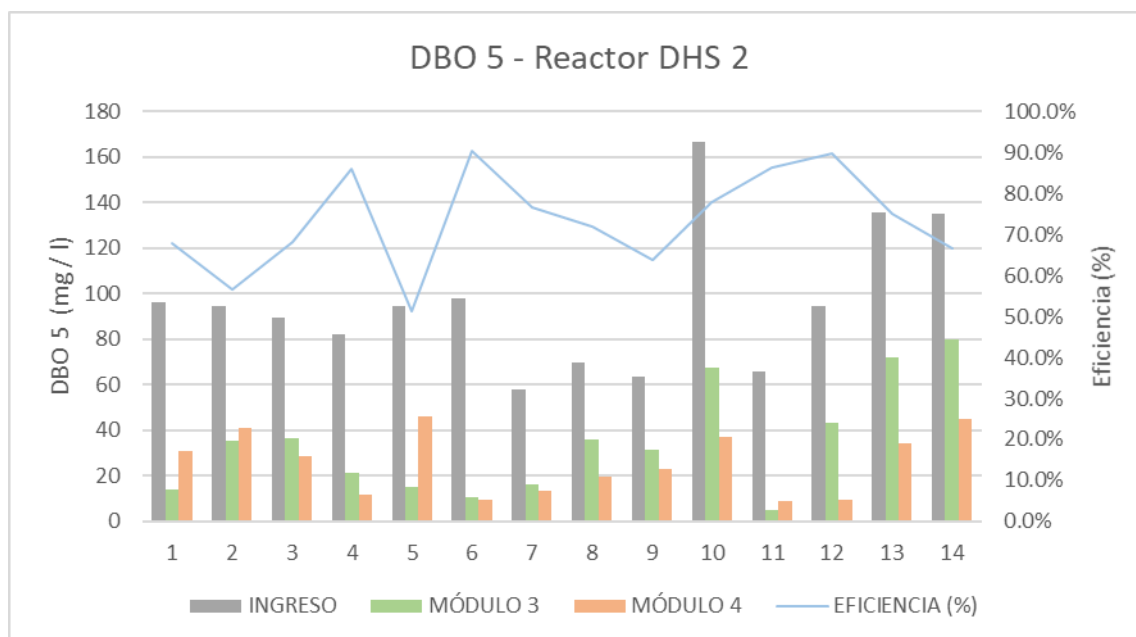


Figura Nº 7.7. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Reactor DHS 2, durante el periodo de análisis

La Reactor DHS 1 presenta una distribución de esponjas, en las cuales van de un reactor con esponjas de tamaño mayor a uno de menor; a comparación del Reactor DHS 2 donde la distribución de esponjas van de un reactor con esponjas de menor tamaño a uno de mayor tamaño. Esto se puede ver más detallado en el Capítulo V “Metodología de la Investigación”.

Es por ello que se analizan dos columnas 1 y 2, que son los reactores DHS del presente proyecto de investigación; compararemos los módulos 1 y 3, como es la variación en remoción de DBO5 para ambos casos, pues estos dos módulos reciben el efluente del reactor anaerobio UASB. Esto se puede apreciar en la Figura Nº 7.8.

Los efluentes producidos por los módulos 1 y 3 presentan casi el mismo comportamiento con promedio de eficiencia en remoción de DBO5 de 62.52 % y 69% respectivamente. Se puede observar que el módulo 3, esponjas con un área superficial mayor a la distribución dada en el módulo 1, presenta una mayor eficiencia en remoción de DBO5. Debido a

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

que hay una mayor área superficial genera una mayor capa microbiana.

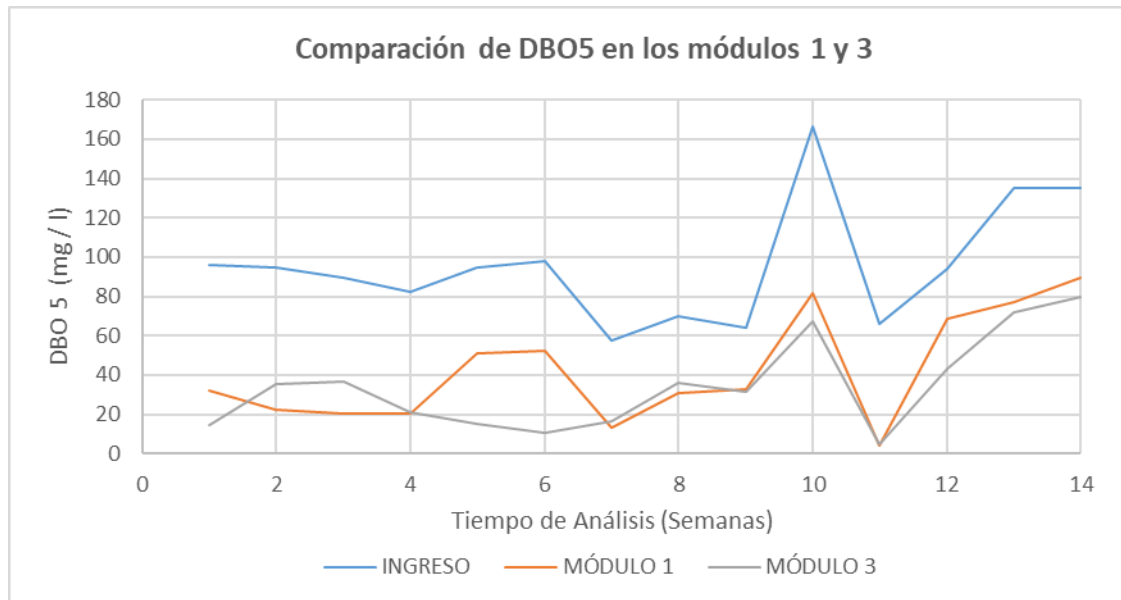


Figura N° 7.8. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en los efluentes de los módulos 1 y 3

Para la comparación de los efluentes finales de los reactores DHS 1 y 2, podemos observar que, durante el tiempo de análisis, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en el Reactor DHS 2 fue menor a la del Reactor DHS 1. Ver Figura N° 7.9.

Esto se debió a que en el módulo 2 del reactor DHS 1 la formación de la biomasa activa en la superficie de las esponjas no se dio en su máxima capacidad (ver anexos), por ello el reactor DHS 2 presentó una mayor remoción de DBO5 del agua residual.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

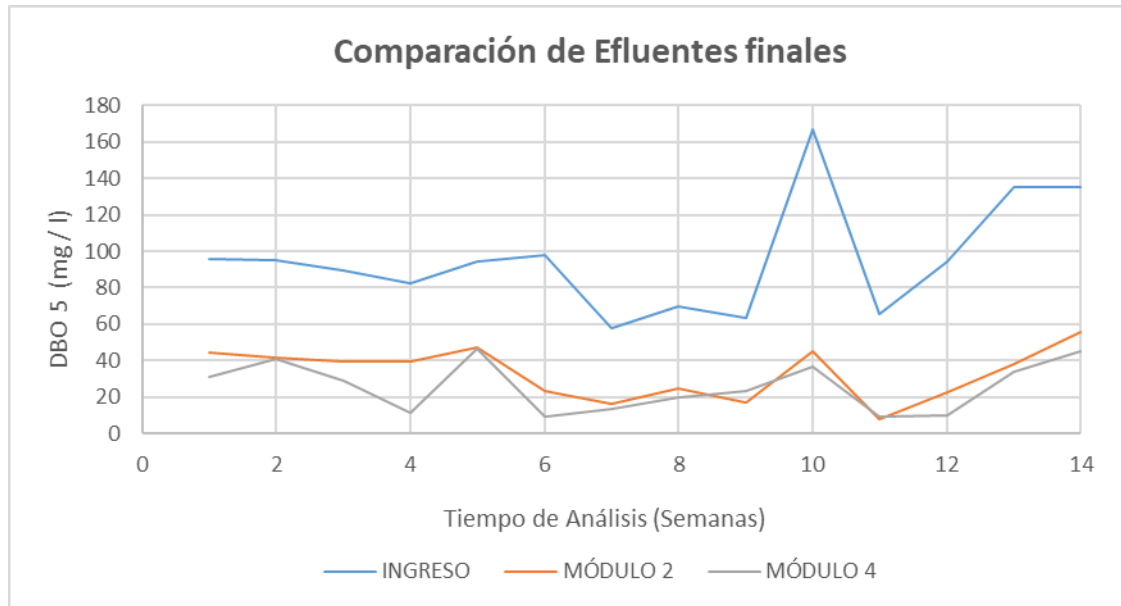


Figura Nº 7.9. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en los efluentes, durante el periodo de análisis

VII.7. SÓLIDOS

La medición de sólidos suspendidos es uno de los parámetros en los cuales uno puede medir la eficiencia de un tratamiento en aguas residuales. En el presente estudio se analizó los sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV) y los sólidos suspendidos fijos (SSF); con lo cual se espera tener un mejor análisis de los sólidos en el agua residual.

VII.7.1. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

La remoción de SST en ambos reactores DHS tuvo una buena eficiencia. Para el caso del Reactor DHS 1 presentó una eficiencia promedio de remoción de 91.17% aprox. Ver Figura 7.10

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

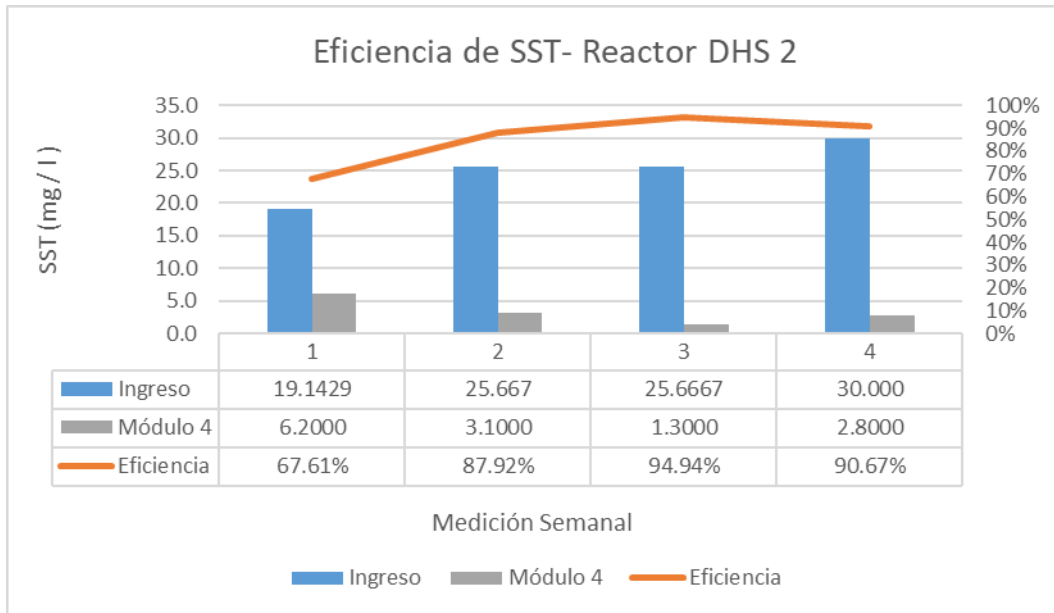


Figura Nº 7.10. Eficiencia de remoción de SST en el Reactor DHS 1

Para el caso de reactor DHS 2 la eficiencia promedio de remoción de SST fue de 88.56% aprox. Ver Figura 7.11.

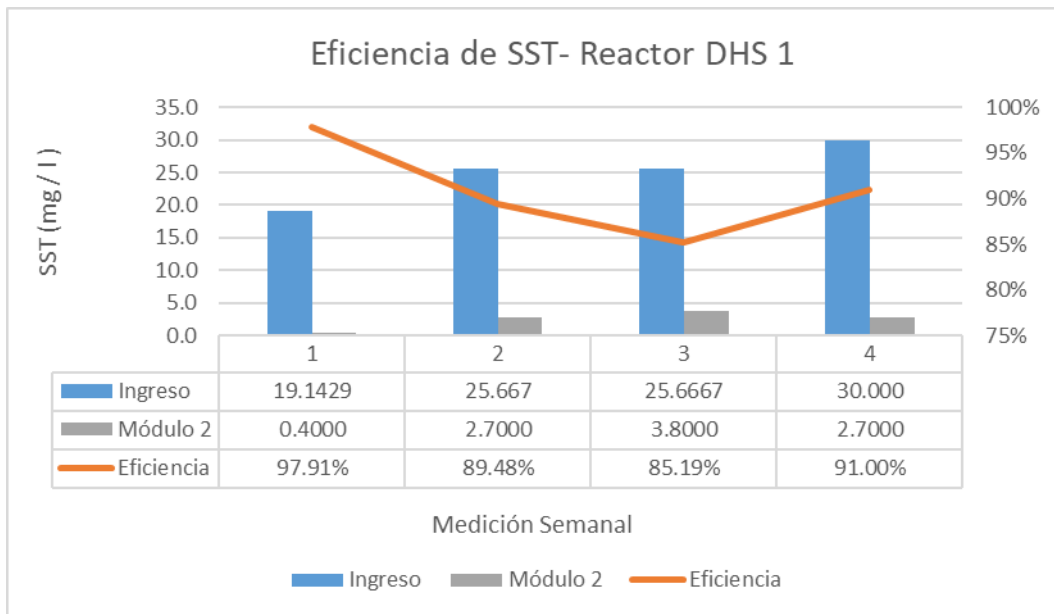


Figura Nº 7.11. Eficiencia de remoción de SST en el Reactor DHS 2

Se puede observar que la eficiencia de remoción de SST es mayor en reactor DHS 1 que en el Reactor DHS 2, esto se da por

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

la configuración de las esponjas donde el Reactor DHS 1 va de un mayor tamaño a uno de menor tamaño.

De acuerdo a los resultados obtenidos para el caso de SSV y SSF existe una menor cantidad de SSV que de SSF, lo cual nos indica que hay una menor remoción de sustancias inorgánicas que orgánicas. En el caso de SSV nos indica la cantidad de biomasa activa en el reactor. Esto ocurre en los dos reactores DHS.

La remoción de SSV fue mayor en el reactor DHS 2 que en el reactor DHS 1, lo cual concuerda con la remoción de DBO5 en los reactores DHS, existe una mayor biodegradabilidad en el reactor DHS 2. En la Figura 7.12, se puede observar la variación de SSV en los efluentes finales de cada Reactor DHS.

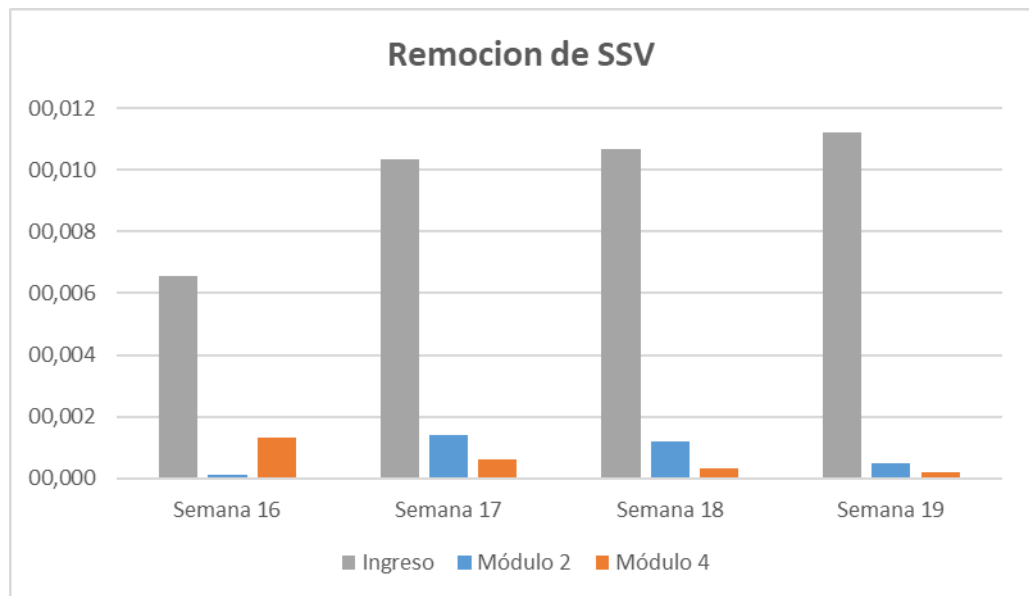


Figura N° 7.12. Variación de los SSV en los Reactores DHS 1 y 2

VII.8. COLIFORMES FECALES

Como se puede observar en los resultados obtenidos, la remoción de coliformes fecales fue creciente en las dos columnas, Reactores DHS 1 y 2, durante el periodo de análisis del presente proyecto de investigación.

El Reactor DHS 1, la cual comprende a los módulos 1 y 2, presento un ingreso promedio de $4.63 E + 06$ NMP / 100 ml cuya concentración es

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

removida en el módulo 1 con una eficiencia promedio de remoción de 84.59%, logrando llegar a un efluente cuya concentración promedio es de $5.47 E + 05$ NMP / 100 ml generando una remoción, en términos de logaritmos, promedio de 1.40 log.

El efluente generado por el módulo 1, cuya configuración de esponjas es de mayor tamaño comparado al módulo 2, es tratado por el módulo 2 logrando una eficiencia promedio de remoción de 95.95 %, logrando un efluente cuya concentración promedio es de $1.27 E + 05$ NMP / 100 ml generando una remoción total, en términos de logaritmos, promedio de 2.03 log. Toda esta variación se puede apreciar en la Figura 7.13.

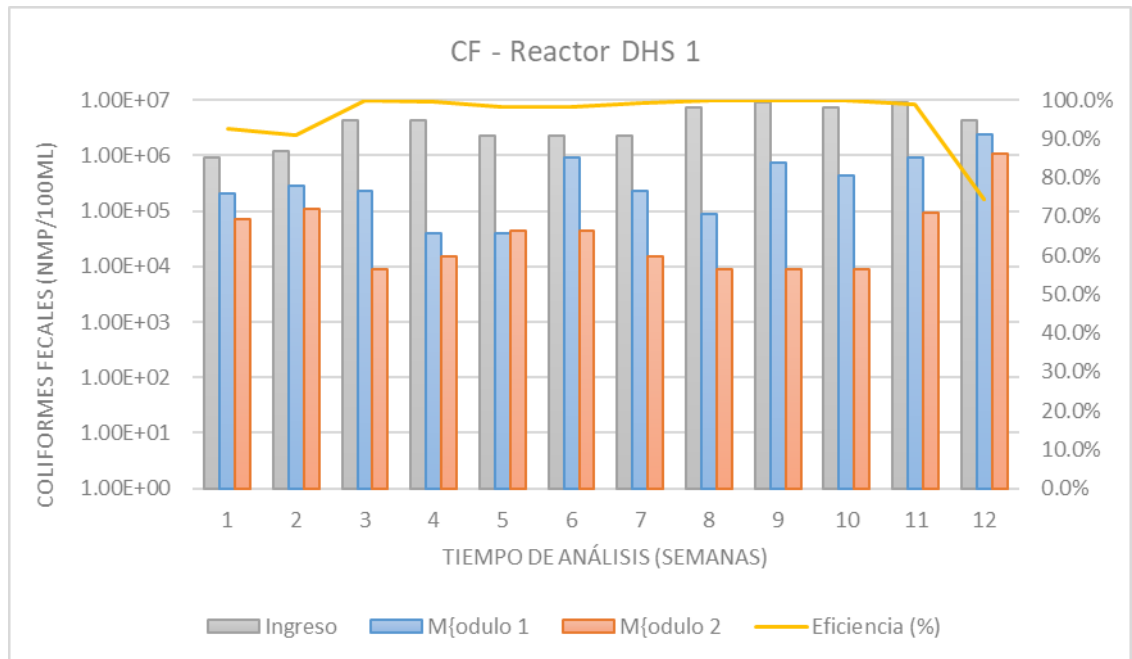


Figura N° 7.13. Variación de la Coliformes Fecales en el Reactor DHS 1

El Reactor DHS 2, la cual comprende a los módulos 3 y 4, presentó un ingreso promedio de $4.63 E + 06$ NMP / 100 ml cuya concentración es removida en el módulo 3 con una eficiencia promedio de remoción de 71.24%, logrando llegar a un efluente cuya concentración promedio es de $1.04 E + 06$ NMP / 100 ml generando una remoción, en términos de logaritmos, promedio de 0.64 log.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

El efluente generado por el módulo 3, cuya configuración de esponjas es de menor tamaño comparado al módulo 2, es tratado por el módulo 4 logrando una eficiencia promedio de remoción de 92.27%, logrando un efluente cuya concentración promedio es de 1.65×10^5 NMP / 100 ml generando una remoción total, en términos de logaritmos, promedio de 1.79 log. Toda esta variación se puede apreciar en la Figura 7.14.

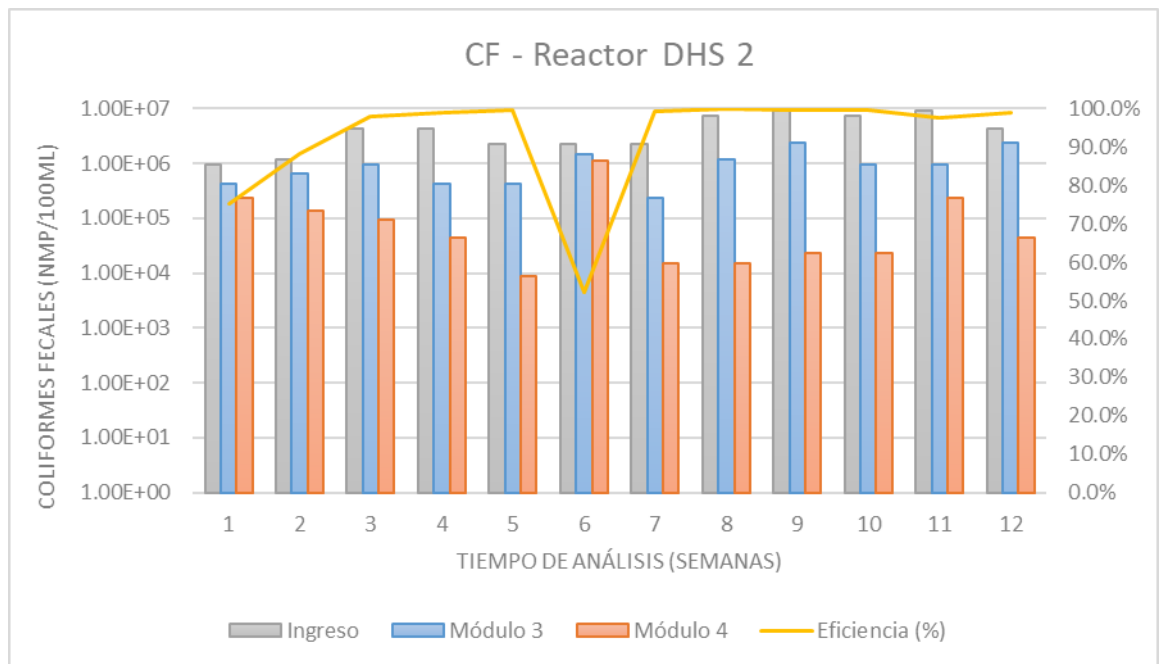


Figura Nº 7.14. Variación de la Coliformes Fecales en el Reactor DHS 1

La eficiencia final en remoción de Coliformes Fecales del Reactor DHS 1 fue mayor que el Reactor DHS 2, con una eficiencia promedio de remoción en el primero de 99% y el segundo de 97%.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

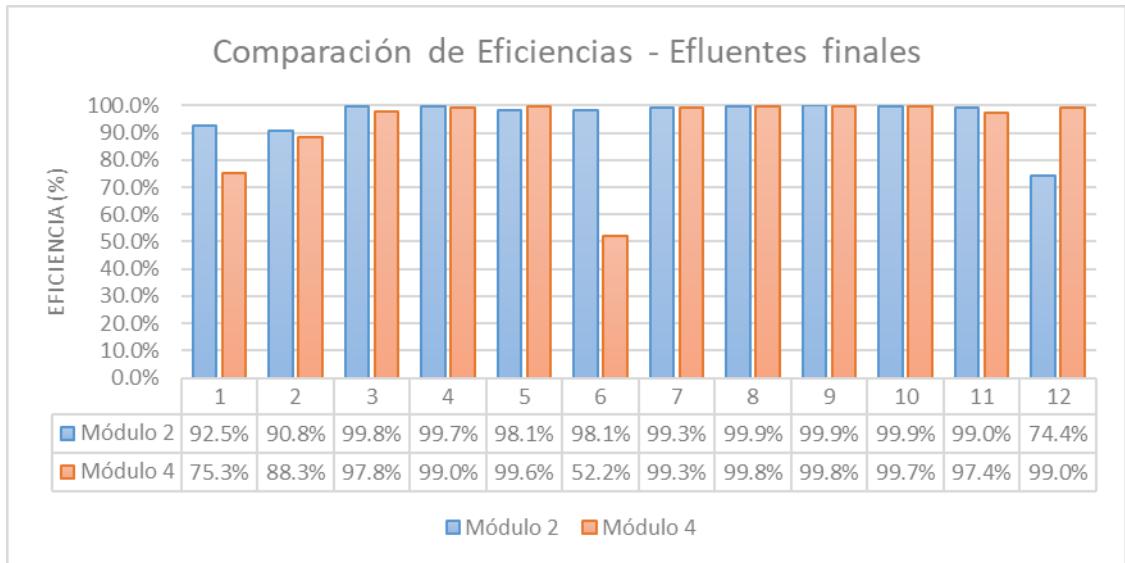


Figura Nº 7.15. Comparación de eficiencias de los Reactores DHS 1 y 2

En términos de logaritmos, encontramos una remoción promedio de 2.03 log en el reactor DHS 1 y de 1.79 log en el reactor DHS 2. Esto lo podemos observar en la Figura 7.15 y 7.16. Con picos de remoción en el Reactor DHS 1 de 3.01 log y, en el reactor DHS 2 de 2.70 log

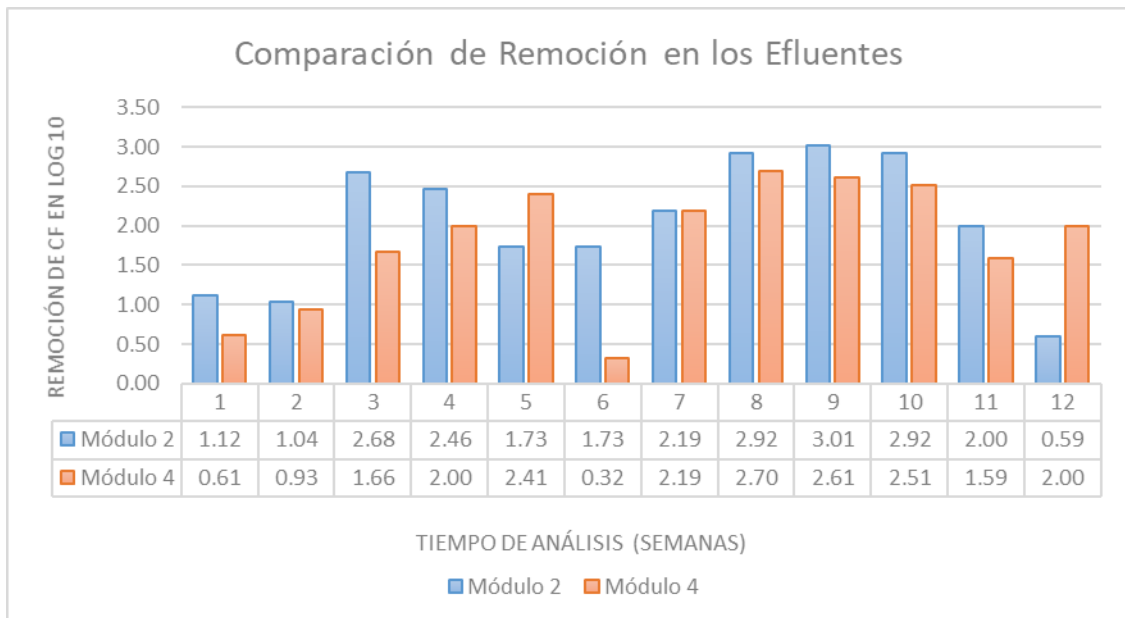


Figura Nº 7.16. Comparación de remoción, en términos de logaritmos, de los Reactores DHS 1 y 2

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

En comparación con estudios previos (Uemura, 2011) la eficiencia de remoción alcanzada con una configuración de esponjas de un solo tamaño fueron menores que usando una configuración de diferentes tamaños, en el mismo tiempo de operación del reactor DHS. Los estudios previos lograron remociones de 2.95 log, mientras que este trabajo de investigación llegó a remociones de 3.01 log.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

1. Con el sistema de tratamiento DHS (Down FLOW Hanging Sponge) de primera generación, utilizado con diferentes tamaños del medio de soporte de esponja, se obtuvieron eficiencias en remoción de materia orgánica mayores al 70% y remoción de coliformes fecales mayores a 2.90 log del agua residual proveniente del tanque regulador, en el cual se presentó una previa sedimentación.
2. La temperatura ambiental y de laboratorio no presentaron diferencias significativas, en promedio 0.75 °C, por lo tanto el agua residual no era influenciado por la distancia entre la de toma de muestra y su respectivo análisis en el laboratorio.
3. De acuerdo a los parámetros fisicoquímicos analizados, se puede concluir que el Reactor DHS de primera generación, utilizado con la variación del tamaño de esponjas se obtuvieron remociones en turbiedad de hasta un 97.41% para el Reactor DHS 2 y un 94.07% para el Reactor DHS 1, con turbiedades de 3.32 UNT y 1.45 UNT, respectivamente. Obteniendo, en ambas configuraciones, mejores remociones que sus antecedentes.
4. El efluente de los Reactores DHS 1 y 2 presento un Ph casi neutro de 7.4 y 7.24, respectivamente, lo cual ayudaba a un adecuado crecimiento de la capa microbiológica en la superficie de las esponjas y, ser un efluente no contaminante para su disposición final.
5. El sistema de tratamiento DHS permitió, en su proceso de funcionamiento, un incremento del oxígeno disuelto tanto para el reactor DHS 1 y 2 de 7.04 mg/l y 6.64 mg/l, respectivamente. La aireación que se presento fue de forma natural por el diseño planteado. La aireación fue mejor en las esponjas de menor tamaño 2.5cm y 3cm, pues en ellas el

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

oxígeno presentaba una mejor dilución en el agua residual que las de mayor tamaño 4cm y 5cm.

6. La conductividad del agua residual varía de forma proporcional a la temperatura del ambiente. En las épocas de mayor temperatura la conductividad tanto del efluente del UASB como del DHS aumentaba, y así en forma viceversa.
7. En el análisis de remoción de materia orgánica el Reactor DHS 1 presento hasta una eficiencia de 88% mientras que el Reactor DHS 2 fue de 90.38%. Siendo ambas configuraciones optimas en remoción de materia orgánica (DBO5), con una previa sedimentación en el tanque regulador.
8. Para la remoción de Coliformes Fecales en los reactores DHS, el reactor DHS 1 presento una remoción en términos de logaritmos de hasta 3.01 log y el reactor DHS 2 de hasta 2.70 log.
9. Del análisis de Sólidos Suspendidos Totales fue influenciado por una sedimentación en el tanque regulador, donde el Reactor DHS 1 obtuvo una eficiencia de remoción promedio de 91.17% y el Reactor DHS 2 de 88%.
10. Del análisis de Solidos Suspendidos, los sólidos suspendidos volátiles, en el efluente final, se obtuvieron remociones en promedio de 92.45% para el Reactor DHS 1 y para el Reactor DHS 2 de 92.30%.
11. Se encontró una mayor cantidad de Sólidos Suspendidos Fijos que de Sólidos Suspendidos Volátiles en un promedio de 50% y 78.18% de los reactores DHS 1 y 2, respectivamente.
12. De acuerdo a la evaluación microscópica de la formación de la capa microbiológica en la superficie de las esponjas, hay una posibilidad de presencia de rotíferos, Nematodos, protozoarios ciliados y algas. Con posibilidad en mayor cantidad de estos microorganismos en los módulos 1 y 3 por ser los más próximos a recibir el agua residual contaminada.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

13. La calidad del efluente del reactor DHS comparado con la normativa nacional de ECA en la categoría para riego de vegetales y bebida de animales, se concluyó que los parámetros temperatura, Ph, oxígeno disuelto y conductividad cumplen con dicha normativa. Los demás parámetros, DBO5 y Coliformes fecales necesitan de un tratamiento adicional.
14. La calidad del efluente del reactor DHS comparado con la normativa nacional de LMP para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, se concluyó que los parámetros temperatura, Ph, DBO5 y coliformes fecales cumplen con dicha normativa.
15. Con los resultados obtenidos se concluye que el Reactor DHS de primera generación con diferentes tamaños del medio de soporte de esponjas es una alternativa de tratamiento por su bajo costo, consumo de energía, no presenta generación de malos olores y baja producción de lodos.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

CAPÍTULO IX: RECOMENDACIONES

1. Realizar mantenimiento de las zonas de distribución de caudal para el ingreso de cada módulo, pues hay acumulación de lodo y se produce una obstrucción de los orificios por donde pasa el agua residual.
2. Las zonas de distribución deben ser de un material que al pasar el tiempo no sufra alguna deformación, pues es de suma importancia que la distribución del caudal, sobre las esponjas, sea lo más regular.
3. Cada módulo debe estar forrado de un material oscuro para evitar que los rayos del sol lleguen a las esponjas y se puedan generar algas perjudicando su adecuado funcionamiento.
4. Utilizar mallas, tipo mosquiteros, de orificios pequeños para proteger los módulos de insectos u otros organismos que puedan perjudicar el tiempo de vida útil de las esponjas.
5. Realizar el llenado del tanque de almacenamiento diario para así obtener un afluente hacia los reactores DHS más próximo al efluente del reactor anaerobio UASB, pues si se llenara por tiempos largos tendría un afluente de otras características.
6. Realizar el mantenimiento de la bomba de impulsión, del efluente del reactor anaerobio UASB, para alargar su tiempo de vida.
7. Antes de llenar el tanque de almacenamiento realizar una purga del agua residual retenido en la línea de impulsión, con la finalidad de obtener un afluente de características propias del efluente del reactor anaerobio UASB.
8. Revisar periódicamente el funcionamiento del reactor anaerobio UASB, su adecuado funcionamiento es primordial para este proyecto.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

9. Limpiar las mangueras de plástico de ¼” cada semana, pues hay acumulación de sólidos dentro de ellas, las cuales producen cambios en las características del agua residual y afectan a la regulación del caudal por medio de las válvulas.
10. Realizar monitoreos diarios para llevar un adecuado comportamiento del reactor DHS, tanto para el periodo de arranque como el mismo desarrollo del proyecto.
11. Realizar los monitoreos respectivos con los implementos de seguridad necesarios. La utilización de guantes, mascarillas y mandil son indispensables para evitar el contacto directo con el agua residual.
12. Utilizar un mezclador, que homogenice el agua residual, dentro del tanque de almacenamiento para obtener mejores características del agua residual.
13. Realizar el aforo del caudal de ingreso, mediante la regulación de válvulas, diariamente, pues al ser de un diámetro pequeño son muy sensibles a variaciones.
14. Para el adecuado funcionamiento del reactor DHS es indispensable que el afluente al reactor sea continuo, no dejar sin afluente al reactor para evitar anomalías en su desarrollo.
15. Para los análisis bacteriológicos y la prueba de DBO5, la realización de estos análisis debe ser hecha con las muestras tomadas ese mismo día y lo más próximo a la realización de la prueba.
16. Se sugiere, para la continuación de la investigación, realizar la medición de Nitrógeno, en todas sus derivaciones, para la confirmación de los procesos de nitrificación y des nitrificación con lo cual se puede aumentar la eficiencia en el tratamiento del agua residual.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

CAPÍTULO X: BIBLIOGRAFÍA

IX. 1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrawal L., Ohashi Y., Mochida E., Okui H., Ueki Y., Harada H. and Ohashi A.(1997) Treatment of raw sewage in a temperate climate using a uasb reactor and the hanging sponge cubes process, *Elsevier Science*, Volumen 36, 433-440.
- Amancio D. y Castillo H. (2013). *Estudio del sistema Downflow Hanging Sponge (DHS) tipo bloques prismáticos en el tratamiento del efluente de un reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente*. Revista Ambiental 66 (5) 24-28.
- American Public Health Association et al. Methods for the examination of water and wastewater, 15 ed. New York, APHA, 1981.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF). Standard Methods for the Examination of water and wastewater, Madrid, España. Díaz de Santos.Chernicharo C. (2006). *Post Treatment Options for the Anaerobic treatment of domestic wastewater*. Reviews in Environmental Sciences and Biotechnology, Springer.
- C. Rocky del rio (2017). *Análisis del reactor Downflow Hanging Sponge (DHS) tipo cubo, para remoción de shigella, salmonella y E. coli, en función de la variación de la tasa de recirculación a la salida del RAMFLA* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Enrique Jimeno Blasco (1998), *Análisis de Aguas y Desagües*, 2^{da} Edición, Lima. Ediciones Banco de libros UNI.
- Harada H. Japan International collaboration for an Innovative Sewage Treatment Technology with cost effective and minium energy, 2008.
- Machdar I, Onodera T., Syutsubo K. and Ohashi A. (2018). Effects of sponge pore-size on the performance of a down-flow hanging sponge reactor in post-treatment of effluent from an anaerobic reactor treating domestic wastewater. Sustainable Environmental Research.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

- Machdar I., Sekiguchi Y., Sumino H., Ohashi A and Harada H. (2000). Combination of a UASB and a Curtain Type DHS (Downflow Hanging Sponge) Reactor as a Cost-effective Sewage Treatment System for Developing Countries. Department of Environmental Engineering, Nagaoka university of Technology, Nagaoka, Japón.
- Metcalf y Eddy, McGraw-Hill (1995), *Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, vertido y reutilización*, 3^{ra} Edición, España.
- M. Gilmore, 2008. Microbial biofilms in Ophthalmology and Infectious Disease. *Arch Ophthalmol*
- Nomoto N., Iguchi A., Hatamoto M., Ali M., Jayaswal K., Okubo T., Kubota K., Tagawa T., Uemura S., Yamaguchi T. and Harada H.(2018) Characterization of sludge properties for sewage treatment in a practical-scale down-flow hanging sponge reactor oxygen consumption and removal of organic matter, ammonium and sulfur. *IWA Publishing*, 608-616.
- Okubo T., Iguchi A., Takahashi M., Kubota K., y Uemura S. (2016). Treatment Performance of Practical Scale Downflow Hanging Sponge (DHS) reactor using Sixth-Generation Hard Sponge Media.
- Onodera T., Takayama D., Ohashi A., Yamaguchi T., Uemura S. and Harada H. (2016). Evaluation of the resilience of a full-scale down-flow hanging sponge reactor to long-term outages at a sewage treatment plant in India. *Journal of Environmental Management*.
- R. Rojas y L. Visurraga (2012). *Tratamiento de aguas residuales con la tecnología DHS a escala piloto* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Tankudar M., Machdar I., UemuraS., Ohashi A. and Harada H. (2005), A Low-cost Municipal Sewage Treatment System with a Combination of UASB and the “fourth-generation” Downflow Hanging Sponge Reactors, Department of Environmental Engineering, Nagaoka University of Technology, Nagaoka, Japón.
- Taw A., Al-Asmer A., Matary F. and Abdel R. (2011) Effect of hydraulic retention time on the performance of down flow hanging sponge system treating. *Bioprocesos Biosyst Eng*, 767-776.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

- Tawfik A., El-Gohary F., Ohashi A. and Harada H. (2006) The influence of physical chemical and biological factor son the removal of faecal coliform through Downflow Hanging Sponge (DHS) system treating UASB reactor effluent. *Water Reasearch* 40 (2006) 1877-1883
- Uemura S., Suzuki S., Maruyama Y. and Harada H.(2011). Direct Treatment of Settled Sewage by DHS reactors with different Sizes of Sponge Support Media, *J Evironmental Research* 6(1), 25-32.
- Uemura S., Takahashi M., Kubota K., Maeno K., Okubo T. y Harada H (2016) Evaluación de la distribución de agua y transferencia de masa de oxígeno en la esponja en un medio de soporte para un flujo colgando de esponja, *J Evironmental Research* 10(2), 265-272.
- V. Ossio, J. Acuña (2013). *Eficiencia del sistema de esponjas colgantes DHS de primera generación en el tratamiento del efluente del reactor UASB* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Vega (2018). *Remoción de carga orgánica y coliformes termotolerantes mediante un Reactor Downflow Hanging Sponge (DHS) con una tasa de recirculación de 50%* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

ANEXOS

ANEXO 1

Primer Registro de las esponjas (pasado 3 semanas del inicio de operación)



Esponjas del Módulo 2



Esponjas del Módulo 3



Esponjas del Módulo 1



Esponjas del Módulo 4

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Segundo Registro de las esponjas (pasado 10 semanas del inicio de operación)



Esponjas del Módulo 2



Esponjas del Módulo 3



Esponjas del Módulo 1



Esponjas del Módulo 4

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Tercer Registro de las esponjas (pasado 19 semanas del inicio de operación)



Pesado de las esponjas con el lodo retenido al final del periodo de analisis



“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

ANEXO 2

CÁLCULO DEL VOLUMEN Y CAUDAL DEL REACTOR DHS

CÁLCULO DEL VOLUMEN

Tiempo de retención		1.5 h
		5400 seg
Porosidad		0.94133333 %
Módulo acrílico		
Dimensión	Valor	Unid
Diam. Interno	11.5	cm
	115	mm
Altura efectiva	41	cm
	410	mm
Vol. Del modulo	4258.62519	cm ³

CAUDAL

Caudal de diseño por cada módulo	0.0002821 l/s
	24.3734179 l/día
Caudal de diseño por columna	0.56419949 ml/s
Necesitaremos para la regulación 34 ml por cada 60 seg.	
Caudal Total para todo el sistema	97.4936718 l/día

Prueba de Porosidad de la esponja

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	PROMEDIO
Peso	0.3778	0.3734	0.3714	0.3864	0.35	
	0.2344	0.23	0.228	0.243	0.2066	0.2284
Vol. Medido en cm ³	178.25	179.1	179.3	178.3	179.15	178.82
Vol. Desplazado (cm ³)	21.75	20.9	20.7	21.7	20.85	21.18

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Porosidad =	0.967	0.929	0.920	0.964	0.927	0.9413
-------------	-------	-------	-------	-------	-------	--------

Porosidad =	94.13%
-------------	--------

Peso
= 0.2284 g
Vol. Esp.
= 22.5 cm³

Densidad Real =	0.010151 g/cm ³
-----------------	----------------------------

ANEXO 03

PANEL FOTOGRÁFICO

Materiales para regulación de caudal de ingreso al DHS



Microscopio



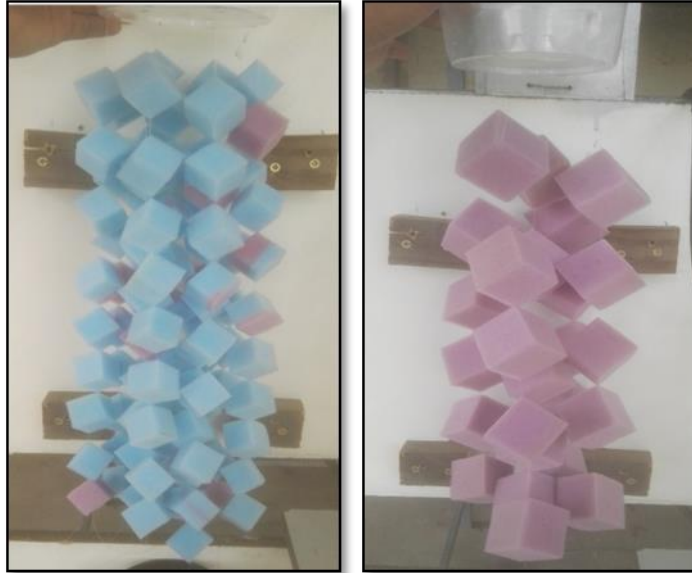
**Capa
Microbiológica**



Vista aumenta 10X

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

Disposición de esponjas en los módulos



Materiales y equipos para la prueba de sólidos.



Horno a 105 °C



Bomba de vacío



Balanza electrónica



Horno Mufla



Bomba de vacío



Crisoles

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

ANEXO 4

RESULTADO DE LAS PRUEBAS

Cuadro de Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Coliformes Fecales

Monitoreo	INGRESO		MÓDULO 1		MÓDULO 2		MÓDULO 3		MÓDULO 4	
	DBO5 (mg / L)	Coliformes Fecales (NMP / 100ml)	DBO5 (mg / L)	Coliformes Fecales (NMP / 100ml)	DBO5 (mg / L)	Coliformes Fecales (NMP / 100ml)	DBO5 (mg / L)	Coliformes Fecales (NMP / 100ml)	DBO5 (mg / L)	Coliformes Fecales (NMP / 100ml)
Semana 4	96.02	---	32.2	---	44.47	---	14.25	---	31.01	---
Semana 5	94.77	---	22.14	---	41.85	---	35.14	---	41.06	---
Semana 6	89.53	9.30E+05	20.59	2.10E+05	39.2	7.00E+04	36.51	4.30E+05	28.62	2.30E+05
Semana 7	82.18	1.20E+06	20.59	2.80E+05	39.2	1.10E+05	21.14	6.40E+05	11.58	1.40E+05
Semana 8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Semana 9	94.58	4.30E+06	50.94	2.30E+05	47.14	9.00E+03	15.33	9.30E+05	46.23	9.30E+04
Semana 10	97.65	4.30E+06	52.43	4.00E+04	23.25	1.50E+04	10.85	4.30E+05	9.39	4.30E+04
Semana 11	57.74	2.30E+06	13.48	4.00E+04	16.52	4.30E+04	16.4	4.30E+05	13.49	9.00E+03
Semana 12	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Semana 13	69.76	2.30E+06	30.49	9.30E+05	24.54	4.30E+04	35.82	1.50E+06	19.66	1.10E+06
Semana 14	63.72	2.30E+06	32.73	2.30E+05	17.16	1.50E+04	31.39	2.30E+05	23.14	1.50E+04
Semana 15	166.5	7.50E+06	81.41	9.00E+04	44.91	9.00E+03	67.29	1.20E+06	36.92	1.50E+04
Semana 16	65.85	9.30E+06	4.32	7.50E+05	7.67	9.00E+03	4.92	2.40E+06	9.03	2.30E+04
Semana 17	94.28	7.50E+06	68.59	4.30E+05	22.65	9.00E+03	43.31	9.30E+05	9.71	2.30E+04
Semana 18	135.4	9.30E+06	77.17	9.30E+05	38.45	9.30E+04	71.74	9.30E+05	33.99	2.40E+05
Semana 19	135.25	4.30E+06	89.24	2.40E+06	55.38	1.10E+06	79.92	2.40E+06	45.22	4.30E+04
Promedio	95.95	4.63E+06	42.59	5.47E+05	33.03	1.27E+05	34.57	1.04E+06	25.65	1.65E+05
Desv. Estand	29.77	2.92E+06	26.42	6.38E+05	13.62	2.95E+05	22.89	7.01E+05	13.26	2.93E+05

Cuadro de Resultados del Análisis Fisicoquímico promedios del proyecto de investigación

Monitoreo	INGRESO					MÓDULO 1					MÓDULO 2				
	pH	Temp. (°C)	Conduct. (uS/cm)	Turb. (NTU)	OD (mg/L)	pH	Temp. (°C)	Conduct. (uS/cm)	Turb. (NTU)	OD (mg/L)	pH	Temp. (°C)	Conduct. (uS/cm)	Turb. (NTU)	OD (mg/L)
Semana 01	8.17	23.00	--	138.40	0.06	8.47	22.80	--	74.02	0.92	8.30	22.80	--	43.16	4.20
Semana 02	8.25	23.78	1240.13	98.80	0.17	8.69	23.77	1214.25	64.64	1.50	8.86	23.82	1206.63	19.10	6.18
Semana 03	8.31	24.75	1205.63	108.39	0.06	8.84	25.03	1202.50	33.80	2.38	9.08	25.20	1191.00	12.92	6.54
Semana 04	8.20	24.64	1212.60	124.37	0.28	8.72	24.67	1222.30	35.33	1.48	8.85	24.88	1233.30	14.33	6.73
Semana 05	8.28	24.90	1341.33	92.87	0.09	8.86	25.30	1282.33	39.90	6.91	8.81	25.37	1262.67	38.07	8.21
Semana 06	7.85	25.07	1352.50	82.47	0.11	8.53	24.95	1321.83	32.88	5.83	8.57	24.92	1304.50	21.78	7.43
Semana 07	8.08	26.18	1211.88	75.19	0.09	8.53	26.24	1228.13	11.98	5.89	8.43	26.40	1161.88	6.71	6.97
Semana 08	8.23	23.15	1180.67	144.17	0.42	8.55	22.60	1153.83	7.45	6.68	8.34	22.60	1063.50	2.58	7.62
Semana 09	8.12	25.15	1166.38	85.34	0.16	8.42	25.09	1101.88	8.39	6.41	7.96	25.10	997.55	4.42	7.13
Semana 10	8.03	27.18	1240.17	58.52	0.15	8.31	27.05	1154.17	13.69	5.66	7.80	27.03	1001.35	6.54	6.60
Semana 11	8.16	27.20	1118.20	89.02	0.27	8.42	27.26	1027.88	10.19	5.71	7.62	27.28	908.28	6.13	6.42
Semana 12	7.95	26.50	996.60	103.20	0.09	8.16	26.45	901.15	5.35	5.67	7.57	26.50	822.80	5.43	7.05
Semana 13	7.85	27.66	917.52	51.10	0.23	8.14	27.72	840.44	6.51	5.69	7.59	27.70	730.96	2.95	6.93
Semana 14	7.75	27.10	979.50	51.06	0.34	7.84	26.94	663.37	4.04	5.44	7.03	26.84	741.38	2.00	7.71
Semana 15	7.68	25.94	976.78	50.72	0.31	7.85	25.68	883.88	8.97	5.74	7.17	25.72	763.20	4.60	7.19
Semana 16	7.71	25.63	873.10	53.10	0.14	7.93	25.48	786.65	9.65	5.57	7.10	25.43	698.50	3.45	7.15
Semana 17	7.67	26.15	826.68	45.83	0.41	7.90	26.08	731.48	11.26	5.95	7.15	26.28	664.35	3.42	6.98
Semana 18	7.73	26.26	807.37	51.66	0.48	7.95	26.17	723.64	13.52	5.81	7.33	26.29	653.64	3.88	6.41
Semana 19	7.73	23.73	908.10	56.53	0.14	8.12	23.65	870.00	77.55	4.37	7.57	23.63	770.95	12.98	6.21
Promedio	7.94	25.78	1069.34	75.94	0.23	8.26	25.71	993.31	18.54	5.55	7.81	25.75	923.67	8.70	7.04
Desv. Estand	0.211	1.237	174.173	28.398	0.125	0.314	1.302	211.476	18.652	1.181	0.600	1.301	218.564	9.147	0.508

“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE EL SISTEMA DHS (DOWN FLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DEL MEDIO DE SOPORTE DE ESPONJA”

MÓDULO 3					MÓDULO 4					Temperatura Ambiental	Temperatura Laboratorio
pH	Temp. (°C)	Conduct. (uS/cm)	Turb. (NTU)	OD (mg/L)	pH	Temp. (°C)	Conduct. (uS/cm)	Turb. (NTU)	OD (mg/L)		
8.37	22.86	--	91.46	0.08	8.72	23.03	--	49.65	3.67	---	---
8.74	23.84	1207.50	58.16	2.06	8.76	23.86	1221.88	28.21	4.05	24.37	25.19
8.91	24.99	1184.00	21.91	3.00	8.99	25.46	1183.88	9.80	6.93	27.33	27.43
8.77	24.86	1220.00	23.60	1.68	8.78	25.26	1277.90	12.08	6.06	26.72	26.88
8.67	25.40	1240.33	17.43	4.87	8.54	25.37	1236.00	4.97	5.68	26.23	25.40
8.42	24.93	1333.50	28.22	5.21	8.20	25.08	1262.00	11.02	6.40	26.18	25.40
8.59	26.40	1189.88	23.29	6.02	8.38	26.44	1169.75	6.78	6.89	28.58	28.10
8.70	22.48	1153.33	30.00	6.11	8.43	22.52	1085.83	5.03	7.48	26.42	26.75
8.51	25.09	1104.63	12.65	6.79	7.95	25.44	1008.38	2.24	7.16	28.19	27.48
8.35	27.07	1119.83	13.86	5.82	7.44	27.22	963.20	2.92	6.99	31.30	29.80
8.48	27.36	1041.40	14.72	6.25	7.75	27.48	887.32	2.76	6.35	30.64	29.54
8.31	26.45	961.80	18.15	6.11	7.91	26.45	871.90	2.41	6.66	29.05	28.15
8.20	27.60	886.48	22.80	5.55	7.31	27.52	758.86	5.32	7.37	30.52	30
7.98	27.00	882.24	9.88	6.24	7.06	26.84	775.04	4.43	7.62	28.54	28.84
7.81	25.70	853.42	13.26	5.94	6.78	25.64	744.48	3.42	7.61	26.88	27.62
8.05	25.43	816.45	23.98	5.52	7.06	25.35	689.48	2.64	7.08	27.85	27.525
8.00	26.05	784.65	15.12	5.94	7.25	26.23	676.88	2.63	5.97	28.93	28.55
8.05	26.04	760.74	14.94	6.14	7.31	26.18	654.82	2.55	5.69	28.68	28.81
8.05	23.63	840.08	25.59	5.29	7.27	23.50	737.93	4.53	5.23	24.65	24.73
8.31	25.72	1011.80	19.22	5.59	7.71	25.78	924.98	4.73	6.64	28.08	27.72
0.289	1.239	179.420	5.888	1.143	0.602	1.208	216.585	2.970	0.653	1.584	1.371

Cuadro de Solidos Suspendidos Torales, Volátiles y Fijos.

	Ingreso			Módulo 1		
	SST	SSV	SSF	SST	SSV	SSF
Semana 16	19,1429	6,5714	12,5714	1,3000	0,5000	0,8000
Semana 17	25,6667	10,3333	15,3333	2,9000	1,2000	1,7000
Semana 18	25,6667	10,6667	15,0000	4,8000	1,4000	3,4000
Semana 19	30,0000	11,2000	18,8000	23,5000	5,5000	18,0000
Promedio	25,1190	9,6929	15,4262	8,1250	2,1500	5,9750
Desv. Estan.	3,8774	1,8285	2,2205	8,9628	1,9628	7,0051

Módulo 2			Módulo 3			Módulo 4		
SST	SSV	SSF	SST	SSV	SSF	SST	SSV	SSF
0,4000	0,1000	0,3000	10,2105	2,8421	7,3684	6,2000	1,3000	4,9000
2,7000	1,4000	1,3000	5,9000	1,6000	4,3000	3,1000	0,6000	2,5000
3,8000	1,2000	2,6000	7,3333	2,2222	5,1111	1,3000	0,3000	1,0000
2,7000	0,5000	2,2000	27,2500	6,2500	21,0000	2,8000	0,2000	2,6000
2,4000	0,8000	1,6000	12,6735	3,2286	9,4449	3,3500	0,6000	2,7500
1,2390	0,5244	0,8860	8,5577	1,7988	6,7654	1,7812	0,4301	1,3937