

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Ambiental



TESIS

“Remoción de la materia orgánica en un DHS de 6ta generación con una recirculación del 50% del caudal y su efecto en la formación de nitratos”

Para obtener el título profesional de Ingeniero sanitario.

Elaborado por

Manuel Antonio Moreno Mamani

 [0009-0009-7112-520X](https://orcid.org/0009-0009-7112-520X)

Asesor

Dra. Ing. Rosa Elena Yaya Beas

 [0000-0002-6140-4266](https://orcid.org/0000-0002-6140-4266)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Moreno-Mamani [1]
Referencia/Reference	[1] M. Moreno-Mamani, “ <i>Remoción de la materia orgánica en un DHS de 6ta generación con una recirculación del 50% del caudal y su efecto en la formación de nitratos</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Moreno-Mamani, 2024)
Referencia/Reference	Moreno Mamani, M. (2024). <i>Remoción de la materia orgánica en un DHS de 6ta generación con una recirculación del 50% del caudal y su efecto en la formación de nitratos</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mis padres por toda la paciencia que tienen conmigo, por estar a mi lado siempre, apoyándome en las etapas más importantes de mi vida, por todo el amor brindado.

A mi princesita linda, mi Francheska Valeria, darme muchas alegrías, día a día.

Agradecimientos

A la Dra. Ing. Rosa Elena Yaya Beas, por aceptar ser mi asesora de tesis, por los consejos brindados durante mi etapa universitaria, por el cariño que transmite a la carrera, por la disposición para apoyarme en los momentos requeridos, muy agradecido con Ud.

A mis amigos Manuel Romero y Ramsés por el apoyo técnico en la construcción de mi proyecto de tesis y el apoyo en la operación y mantenimiento de este.

A mi amigo Pedro Vega por brindarme parte de su equipamiento para la construcción de la tesis, por las sugerencias en el desarrollo de la tesis; a Iraida y mis amigos, David y Carol por su apoyo incondicional en el desarrollo de la investigación, alentándome a investigar un poco más este grandioso mundo del tratamiento de aguas residuales.

Al Ing. Arturo Zapata Payco, por permitirme acceder al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental para la realización de los análisis de laboratorio de mis muestras, a la Sra. Margarita, a la Srta. Luz Marina, al Sr. Oscar y a Raul, por su apoyo incondicional en la preparación de los insumos para los análisis de laboratorio.

A todos mis amigos, compañeros que estuvieron alentándome para continuar con la investigación.

Resumen

En la tesis de investigación se analizó la remoción de la materia orgánica en un DHS de 6ta generación con recirculación del 50% del caudal y su efecto en la formación de nitratos.

Se utilizó el efluente del UASB, el cual fue almacenado en un tanque, y luego por bombeo el agua fue impulsada ($Q=120.96$ l/d) (a una zona de mezcla), para luego por gravedad, descender por los 03 módulos de acrílico que operaron en serie. El efluente de los reactores DHS llegaba al sedimentador secundario, donde es retenido y dispuesto al desagüe. El 50% del caudal efluente fue recirculado a la zona de mezcla. Cada módulo mide 60.00cm de largo por 20.00cm diámetro; en su interior se colocó esponjas en forma de anillos y endurecidas con resina epóxica, cuyas dimensiones son 5.00cm de diámetro exterior, 2.00cm de diámetro interior y 5.00cm de altura. La colocación de las esponjas fue de manera aleatoria. El DHS operó con un caudal de $Q=181.44$ l/d, durante 111 días y su tiempo de retención hidráulico teórico fue de 2 horas.

Se obtuvo una eficiencia reducción promedio de la DBO_5 del 87.9% y una transformación promedio del 98.70% del nitrógeno amoniacal a nitritos y nitratos.

Palabras clave — DHS, materia orgánica, nitratos, nitrógeno amoniacal

Abstract

The research thesis analyzed the removal of organic matter in a 6th generation DHS with recirculation of 50% of the flow and its effect on the formation of nitrates.

The effluent from the UASB was used, which was stored in a tank, and then by pumping the water was propelled ($Q=120.96$ l/d) (to a mixing zone), and then by gravity, descended through the 03 modules of acrylic that operated in series. The effluent from the DHS reactors reached the secondary settler, where it is retained and disposed of to the drain. 50% of the effluent flow was recirculated to the mixing zone. Each module measures 60.00 cm long by 20.00 cm in diameter. Inside each reactor, ring-shaped sponges were installed and hardened with epoxy resin. The dimensions of the sponges are as follows: an external diameter of 5.00 cm, an internal diameter of 2.00 cm, and a height of 5.00 cm. The placement of the ring-shaped sponges was randomized. The DHS operated at a flow rate of $Q = 181.44$ l/d for 111 days, with a theoretical hydraulic retention time of 2 hours.

An average DBO5 reduction efficiency of 87.9% and an average 98.70% transformation of ammonia nitrogen to nitrites and nitrates were obtained.

Keywords — DHS, organic matter, nitrates, ammonia nitrogen

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xix
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1. Antecedentes referenciales	1
1.2. Planteamiento de la realidad problemática	2
1.3. Justificación e importancia	3
1.4. Objetivos del estudio	3
1.5. Hipótesis	4
Capítulo II. Marco teórico y legal	5
2.1. Marco teórico	5
2.2. Marco Legal	18
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	19
3.1. Ubicación del proyecto de investigación	19
3.2. Diseño del reactor down-flow hanging sponge- (DHS G6)	19
3.3. Dimensionamiento de los módulos cilíndricos	25
3.4. Dimensionamiento del sedimentador	25
3.5. Periodo de investigación	26
3.6. Descripción del funcionamiento del DHS G6	26
3.7. Construcción del DHS G6	33
3.8. Operación del DHS G6	36
	vii

3.9.	Mantenimiento del DHS G6.....	36
3.10.	Monitoreo del DHS G6.....	37
3.12.	Metodología utilizada para el análisis de parámetros.....	38
3.13.	Puesta en marcha del DHS G6.....	40
3.14.	Cumplimiento de LMPs.....	40
Capítulo IV. Obtención de resultados.....		41
4.1.	Resultados del periodo de puesta en marcha del DHS- G6.....	41
4.2.	Resultados del periodo de operación del DHS- G6	45
Capítulo V. Análisis de resultados y contrastación de hipótesis		74
5.1.	Verificación del cumplimiento de la hipótesis respecto a la DBO ₅	74
5.2.	Formación de nitratos en los módulos del DHS.....	76
5.3.	Conversión del nitrógeno amoniacal respecto a los puntos de monitoreo	77
5.4.	Efectos del oxígeno disuelto con relación a la DBO ₅ en los puntos de monitoreo	78
5.5.	Efectos del oxígeno disuelto en la conversión del nitrógeno.....	80
5.6.	Análisis de los sólidos suspendidos totales respecto a la DBO ₅	81
5.7.	Análisis del PH respecto a las formas de nitrógeno en el agua residual	82
5.8.	Análisis del oxígeno disuelto respecto a la temperatura del agua residual	84
5.9.	Análisis de la relación entre la temperatura ambiental y la temperatura del agua residual	85
5.10.	Efectos de la variación de solidos disueltos totales sobre la conductividad eléctrica	87

5.11. Cumplimiento de LMP para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales.....	88
Conclusiones	89
Recomendaciones	92
Referencias bibliográficas.....	94
Anexos	99

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1	Puntos de monitoreo y su finalidad	20
Tabla 2	Características de la esponja endurecida.....	22
Tabla 3	Porosidad de esponja endurecida	24
Tabla 4	Características de los módulos acrílicos cilíndricos.....	25
Tabla 5	Características de sedimentador.....	26
Tabla 6	Etapas de la investigación y tiempo de análisis.....	26
Tabla 7	Material utilizados en la zona de almacenamiento temporal, línea de afluente y recirculación.....	33
Tabla 8	Material utilizados en la zona de mezcla y distribución para el DHS G6.....	34
Tabla 9	Material utilizados en la zona de tratamiento secundario DHS G6	34
Tabla 10	Material utilizados en la zona de recolección DHS G6	35
Tabla 11	Material utilizados en la zona de recirculación DHS G6	35
Tabla 12	Parámetro, frecuencias y horarios de monitoreo	37
Tabla 13	Método aplicado, capacidades de muestra y laboratorio de análisis	38
Tabla 14	Turbiedad, etapa de puesta en marcha, según puntos de monitoreo del DHS	43
Tabla 15	Oxígeno Disuelto, etapa de puesta en marcha, según puntos de monitoreo del DHS	43
Tabla 16	Temperatura del agua residual según puntos de monitoreo del DHS.....	46
Tabla 17	PH según puntos de monitoreo del DHS.....	48
Tabla 18	Turbiedad, en la etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS	50

Tabla 19 Conductividad, en la etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS.....	51
Tabla 20 Oxígeno Disuelto, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS	53
Tabla 21 DBO ₅ , etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS.....	55
Tabla 22 Solidos Totales, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS	57
Tabla 23 Solidos Suspendidos Totales, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS	60
Tabla 24 Solidos Disueltos Totales, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS	62
Tabla 25 Solidos Fijos Totales, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS.....	64
Tabla 26 Solidos Volátiles Totales, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS	66
Tabla 27 Nitrógeno Amoniacal, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS.....	69
Tabla 28 Nitrito, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS	70
Tabla 29 Nitratos, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS	71
Tabla 30 Resultados del ensayo de laboratorio y eficiencias respecto a los coliformes termotolerantes.....	72
Tabla 31 DBO promedio y eficiencia de remoción, según puntos de monitoreo del DHS	74
Tabla 32 Comparativa de DBO ₅ con las formas de nitrógeno, según puntos de monitoreo del DHS	77

Tabla 33	Nitrógeno Amoniacal promedio, según puntos de monitoreo del DHS	78
Tabla 34	Relación entre la DBO ₅ promedio y OD promedio, según puntos de monitoreo del DHS	79
Tabla 35	comparativa de OD con las formas de nitrógeno, según puntos de monitoreo del DHS	80
Tabla 36	Comportamiento del PH promedio con las formas de nitrógeno, según puntos de monitoreo del DHS.....	83
Tabla 37	Comportamiento de los Sólidos disueltos totales sobre la conductividad eléctrica, según puntos de monitoreo del DHS	87
Tabla 38	Comparativa de LMP de PTAR con parámetros investigados	88
Tabla 39	Resultados del monitoreo de la temperatura del agua residual y temperatura ambiental.....	1
Tabla 40	Resultados de la temperatura promedio mensual en cada punto de monitoreo	4
Tabla 41	Resultados de la temperatura ambiental promedio mensual	4
Tabla 42	Resultados del monitoreo del Potencial de Hidrogeno (PH)	5
Tabla 43	Resultados del monitoreo de la turbiedad	8
Tabla 44	Resultados de la turbiedad promedio mensual en cada punto de monitoreo	10
Tabla 45	Resultados del monitoreo de la conductividad eléctrica	11
Tabla 46	Resultados del monitoreo del oxígeno disuelto	14
Tabla 47	Resultados del monitoreo de la demanda bioquímica de oxígeno	17
Tabla 48	Resultados del monitoreo de los sólidos totales	18
Tabla 49	Resultados del monitoreo de los sólidos suspendidos totales	19

Tabla 50 Resultados del monitoreo de los sólidos sedimentables para la determinación del volumen del lodo.	20
Tabla 51 Resultados del monitoreo de los sólidos disueltos totales	21
Tabla 52 Resultados del monitoreo de los sólidos fijos totales.....	22
Tabla 53 Resultados del monitoreo de los sólidos volátiles totales	23
Tabla 54 Resultados del monitoreo del nitrógeno amoniacal	24
Tabla 55 Resultados del monitoreo del nitrito	24
Tabla 56 Resultados del monitoreo del nitrato	25
Tabla 57 Resultados del monitoreo de los coliformes termotolerantes.....	25
Tabla 58 Características geométricas de las esponjas endurecidas	26
Tabla 59 Obtención de la densidad promedio de la esponja endurecida.....	27
Tabla 60 Obtención de la porosidad de la esponja endurecida	27
Tabla 61 Dimensionamiento Teórico de los módulos cilíndricos de acrílico	28
Tabla 62 Dimensionamiento del volumen del sedimentador	29

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1 Estructura compleja de la biopelícula Bacteriana (McDougald et al., 2011) ..	8
Figura 2 Etapas del ciclo de desarrollo de una biopelícula. Tomado de (Behlau & Gilmore, 2008)	10
Figura 3 Transformaciones del nitrógeno mediante los procesos de nitrificación y desnitrificación vía nitrato (Metcalf & Eddy, 1995).....	14
Figura 4 Ubicación de los puntos de monitoreo en el DHS-G6	21
Figura 5 Esponjas endurecidas con pintura epóxica	23
Figura 6 Zona de almacenamiento temporal, línea de afluente y recirculación	27
Figura 7 Zona de mezcla y zona de distribución	29
Figura 8 Zona de distribución y zona de tratamiento secundario	30
Figura 9 Zona de recolección y sedimentación	31
Figura 10 Sentido de flujo teórico de sedimentador	32
Figura 11 Zona de recirculación del DHS.....	33
Figura 12 Temperatura ambiental durante los días de monitoreo.	42
Figura 13 Oxígeno disuelto promedio semanal durante las semanas de puesta en marcha.....	44
Figura 14 Temperatura ambiental durante los meses de monitoreo.....	45
Figura 15 Temperatura del agua residual y la temperatura ambiental durante las semanas de monitoreo de la investigación.	47
Figura 16 PH promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación.....	49

Figura 17 PH promedio mensual durante los meses de monitoreo de la investigación.	49
Figura 18 Turbiedad promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación.	51
Figura 19 Conductividad eléctrica promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación.	52
Figura 20 Oxígeno Disuelto promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación.	54
Figura 21 Demanda Bioquímica de Oxígeno promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación.	56
Figura 22 Demanda bioquímica de oxígeno promedio mensual durante los puntos de monitoreo de la investigación.	57
Figura 23 Sólidos totales promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación.	59
Figura 24 Sólidos suspendidos totales promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación.	61
Figura 25 Sólidos disueltos totales promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación.	63
Figura 26 Sólidos fijos totales promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación.	65
Figura 27 Sólidos volátiles totales promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación.	67
Figura 28 Volumen de lodo producido durante las semanas de monitoreo.	68
Figura 29 Comportamiento del nitrógeno amoniacal durante las semanas de monitoreo de la investigación.	70

Figura 30 Comportamiento de los nitritos durante las semanas de monitoreo de la investigación.....	71
Figura 31 Comportamiento de los nitritos durante las semanas de monitoreo de la investigación.....	72
Figura 32 Variación promedio de coliformes termotolerantes.....	73
Figura 33 Eficiencia de remoción de la DBO ₅ por punto de monitoreo	75
Figura 34 Formas del nitrógeno promedio en cada punto de monitoreo vs DBO ₅	76
Figura 35 Eficiencia de conversión del NH ₃ por punto de monitoreo	78
Figura 36 Comportamiento de la DBO ₅ y el oxígeno disuelto promedio en cada punto de monitoreo de la investigación.....	80
Figura 37 Formas del nitrógeno promedio en cada punto de monitoreo vs OD.....	81
Figura 38 Comportamiento de los SST y la DBO ₅ promedio en cada punto de monitoreo de la investigación.....	82
Figura 39 Comportamiento del PH promedio en relación con las formas de nitrógeno en el agua residual en cada punto de monitoreo de la investigación.....	83
Figura 40 Comportamiento del oxígeno disuelto promedio en relación con la temperatura promedio del agua residual en cada punto de monitoreo de la investigación.....	84
Figura 41 Temperatura promedio semanal del agua residual y del ambiente durante el periodo de investigación	86
Figura 42 Comportamiento de promedio en relación con la temperatura promedio del agua residual en cada punto de monitoreo de la investigación	88
Figura 43 Dimensionamiento de la esponja endurecida.....	26
Figura 44 Porosidad de la esponja endurecida con pintura epóxica.....	28

Figura 45 Sedimentador instalado, en proceso de operación.....	29
Figura 46 Materiales y partes para la construcción del DHS, en proceso de montaje e instalación.....	30
Figura 47 Materiales y partes para la construcción del DHS, en proceso de montaje e instalación.....	31
Figura 48 Materiales y partes para la construcción del DHS, en proceso de montaje e instalación.....	31
Figura 49 Antes y después de forrado de mangueras transparentes	32
Figura 50 Frascos de vidrio con toma de muestras de calidad de agua por punto de monitoreo del DHS	32
Figura 51 Proceso de medición del nitrógeno amoniacal en los puntos de monitoreo	33
Figura 52 Viales para nitrógeno amoniacal desde el punto 1 al punto 5	33
Figura 53 Proceso de medición del nitrógeno amoniacal en los puntos de monitoreo	34
Figura 54 Reactivos para prueba de DBO5 y su preparación	34
Figura 55 A la izquierda el equipo de filtración de vacío y a la derecha los crisoles con muestras.....	35
Figura 56 Inspección visual de los tubos para la determinación de coliformes, para determinación de formación de gases	35
Figura 57 Esquema general del reactor DHS G6	36
Figura 58 extracción de esponjas endurecidas de los módulos del DHS	37
Figura 59 Malla que impide ingreso de mosquitos al reactor.....	37
Figura 60 Medio filtrante de cada módulo de investigación	38

Figura 61 medio filtrante extraídos del módulo 2, con materia orgánica en su interior.
.....38

Figura 62 medio filtrante extraídos del módulo 1, con materia orgánica en su interior.
.....39

Figura 63 Malla con retención de sólidos y formación de precipitado blanco40

Figura 64 Formación de capa blanca en el brazo giratorio.....40

Introducción

El reactor Down-Flow Hanging Sponge (DHS) cuyas siglas en español significan reactor de esponjas colgantes de flujo descendente, desarrollado como continuación de un tipo de tratamiento primario, reactor upflow anaerobic sludge blanket,(UASB) cuyas siglas en español significan reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente, es un tipo de tratamiento secundario de aguas residuales; según la investigación realizada, la combinación de estos 02 tratamientos logran buenos resultados con relación al efluente final.

La razón principal por la cual opte por realizar la presente investigación fue por las eficiencias de remoción identificadas por (Onodera et al., 2014), en su investigación y quise conocer el comportamiento del DHS-G6 en las condiciones climáticas de Lima, debido a que sería una excelente alternativa para la remoción de DBO y convertir nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos. Así mismo, requiere de menor área horizontal (terreno) para realizar su proceso de tratamiento respecto a las lagunas de estabilización.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1. Antecedentes referenciales

Castillejos-Lopez y Aquino-Mariluz (2017), en su investigación analizaron el DHS de 6ta generación como efluente de un tanque séptico, el sistema operó entre los 11.25 a 15.30 °C y un PH entre 7.3 a 8.11, utilizó como medio filtrante esponjas de poliuretano copolimerizados con resina epóxica; con ello obtuvo como resultados los porcentajes 87.2%, 85.4%, 93.3% de DBO₅, DQO y SST respectivamente.

Vega-Principe (2018), determinó la eficiencia de remoción de carga organica y coliformes termotolerantes en un reactor DHS de 1ra generación; considerando una tasa de recirculación constante del 50%, para tal fin consideró el uso esponjas en forma cubica, de 5 cm de arista, con ello logró como eficiencia de remoción del 88.81%, 90.18%, 90.59%, 99.759% de DBO₅, DQO, SST y coliformes fecales (CF) respectivamente, teniendo la temperatura ambiental en el rango de 17.47°C a 32.80°C y el tiempo de retención hidráulica de 105 minutos.

Galindo-Chang y Lopez-Torrejon (2018), investigaron los procesos de nitrificación y desnitrificación en un reactor DHS, modificando los tiempos de retención hidráulico; con ello, lograron como resultado obtener una eficiencia de remoción de >97.71% y 95.51% de DBO₅ y DQO respectivamente, una eficiencia de remoción del 99.76% de NH₄-N y 41.10% de Nitrógeno Total (NT), esto considerando un TRH de 3 horas y una tasa orgánica promedio de 0.98kg DQO/m³/d.

En Japón, en el año 2014, se estudió como el comportamiento de un DHS de sexta generación utilizando esponjas rígidas con resina epóxica, como post tratamiento de una UASB, siendo el agua residual municipal, el sistema operó con un TRH fue de 10.6horas (8.6 horas para el reactor y 2 horas para el DHS), la temperatura promedio estuvo en el rango de 10°C-28°C, y las dimensiones geométricas de las esponjas fue de 42mm de diámetro externo, 22mm de diámetro interno y 30mm de altura; los resultados fueron eficiencia de remoción de DBO₅ del 96%, COD del 91%,

SS del 91%, Nitrógeno Kjeldahl del 43% (Onodera et al., 2014). El resultado del experimento UASB-DHS a escala piloto mostro que el rendimiento obtenido en el DHS G6 es tan bueno como las generaciones anteriores (Nurmiyanto & Akiyoshi, 2018).

En la India, en el año 2017, se realizó un estudio de la comparativa de rendimientos entre un DHS de tercera generación con una DHS de sexta generación, evaluando parámetros tales como DBO, NO_3 y CF, y variando el tiempo de retención, en ese aspecto, el tiempo óptimo de retención fue de 2 horas y de las cuales se obtuvieron rendimientos similares para ambos DHS, tales como COD de 89%, DBO_5 de 93%, CF de 1.1 log, $\text{NH}_4\text{-H}$ de 36% en el caso del DHS de tercera generación y COD de 89%, DBO de 93%, CF de 1.6 log, $\text{NH}_4\text{-H}$ de 36% para el caso del DHS de sexta generación. En el caso del DHS de tercera generación, la esponja tenía 32mm de diámetro y 32mm de altura, la cual estaba contenida en una estructura plástica, para evitar la deformación; en el caso del DHS de sexta generación, la esponja rígida, tenía forma de hexágono de 42mm de diámetro externo y 32mm de alto (Okubo et al., 2017).

De lo mencionado, se observa que las investigaciones de DHS obtienen un porcentaje de remoción de DBO_5 por encima del 85%, así mismo algunas con tasa de recirculación del 50% obtienen buenos resultados.

1.2. Planteamiento de la realidad problemática

En las investigaciones presentadas en el ítem anterior se observa que el DHS de sexta generación, se pueden identificar altos porcentajes de eficiencias de remoción en DBO_5 y DQO.

En ese sentido, se considera investigar la remoción de la materia orgánica en un DHS de sexta generación con recirculación y su efecto en la formación de nitratos, utilizando como medio, esponjas endurecidas en forma de anillos, teniendo en cuenta las condiciones climáticas de Lima, las características propias de calidad de agua residual de la población limeña, como una contribución en caso sea necesario tener mayor concentración de nitratos en el efluente.

1.3. Justificación e importancia

Entre las razones para justificar la realización del proyecto de investigación es que la tecnología Down-Flow Hanging Sponge(DHS), requiere menores áreas para el tratamiento con respecto a otros tratamientos, presenta tiempos de retención hidráulicos cortos (aprox. 2 horas), produce poca cantidad de lodos y requiere poco consumo de energía eléctrica para su funcionamiento, es por ello que la tecnología DHS tiene mucho potencial como post-tratamiento de un UASB.

En ese sentido, es conveniente continuar con la investigación de los DHS de 6ta generación con recirculación del 50% de caudal, con medio filtrante de anillos endurecidos, para utilizarlo como nueva alternativa en las PTAR, con el fin de lograr cumplir con los LMP que a normativa indica.

Además, es relevante investigar el DHS de 6ta generación pues posibilitaría determinar la eficiencia en la reducción de la materia orgánica e identificar sus efectos en la formación de nitratos, así mismo obtener la eficiencia en la reducción del nitrógeno amoniacal en el efluente de las aguas residuales, modificando el medio de esponjas e incrementando el ingreso de aire.

Los resultados obtenidos en la investigación nos servirán para poder proyectar un DHS a escala real con las condiciones ambientales, sentar las bases que servirán como apoyo para futuras investigaciones y mejorar la calidad de las aguas residuales.

1.4. Objetivos del estudio

Los objetivos del proyecto de tesis se dividen en objetivos generales y objetivos específicos.

1.4.1. *Objetivo general*

Evaluar la remoción de la materia orgánica en un DHS de 6ta generación con una recirculación del 50% del caudal y su efecto en la formación de nitrato.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la eficiencia de remoción de la DBO_5 , ST, en el agua residual en cada módulo de tratamiento del DHS 6ta generación.
- Evaluar la temperatura ambiental, temperatura del agua residual, PH, turbiedad y conductividad en el agua residual en cada módulo de tratamiento del DHS 6ta generación.
- Evaluar el comportamiento del oxígeno disuelto en el agua residual y en cada módulo de tratamiento del DHS 6ta generación.
- Evaluar el desarrollo de nitritos y nitratos en el agua residual, en los módulos de tratamiento del DHS 6ta generación.
- Determinar la eficiencia de conversión de nitrógeno amoniacal en el agua residual, en cada módulo de tratamiento del DHS 6ta generación.
- Cuantificar la producción de lodo en la zona de sedimentación del DHS 6ta generación.

1.5. Hipótesis

En un DHS de 6ta generación con una recirculación del 50% del caudal se podrá obtener una eficiencia superior al 85% en la remoción de DBO_5 , utilizando esponjas endurecidas y permitiendo el ingreso de aire de manera natural.

Capítulo II. Marco teórico y legal

En este capítulo, se identificará el marco teórico y marco legal de la investigación

2.1. Marco teórico

2.1.1. *Metabolismo Microbiano.*

El metabolismo microbiano es el conjunto de procesos bioquímicos por el cual, los microorganismos obtienen energía y nutrientes para desarrollarse.

Las bacterias, al ser microorganismos, son utilizadas para convertir la materia orgánica carbonosa disuelta y carbonosa coloidal en diversos tipos de gases, de igual manera en tejido celular (Metcalf & Eddy, 1995). En ese aspecto es importante recalcar que se requiere de un tratamiento posterior, pudiendo ser el proceso de decantación, para separar el tejido celular y por ende reducir la DBO; si no fuera así, solo se habría transformado la materia orgánica en subproductos y la DBO se mantendría (Metcalf & Eddy, 1995).

Los microorganismos, en su mayoría bacterias, para generar biomasa, requieren de materia orgánica como fuente de energía, carbono y de nutrientes.

Fuentes de carbono. Entre las fuentes de carbono más importantes para el desarrollo de los microorganismos, tenemos a la materia orgánica y al dióxido de carbono; en el caso que los microorganismos utilicen el carbono orgánico se les llamará microorganismos heterótrofos, en el caso que utilicen carbono celular del dióxido de carbono, se les nombraría microorganismos autótrofos (Metcalf & Eddy, 1995). Es de precisar que la conversión de dióxido de carbono a carbono celular demanda mayor energía a los organismos autótrofos que los organismos heterótrofos (Metcalf & Eddy, 1995).

Fuentes de energía. Existen dos formas de obtención de la energía para la síntesis celular, una de ellas es mediante la luz solar y los microorganismos que la utilizan se les llama fotótrofos; la otra forma de obtención de energía es

mediante las reacciones químicas y los microorganismos que utilizan esta forma de obtención de energía se les conoce como quimiotrofos (Metcalf & Eddy, 1995).

Nutrientes. Si bien, las fuentes de energía y las fuentes de carbono son importantes para el desarrollo de los microorganismos, también existe la necesidad de ciertos nutrientes para su desarrollo tales como el nitrógeno (N), potasio(K), fósforo(P), azufre(S), calcio (Ca), magnesio (Mg), cloro (Cl), hierro (Fe), entre otros. La falta de alguno de estos nutrientes puede limitar su desarrollo (Metcalf & Eddy, 1995).

Complementando a las fuentes de energía, carbono y nutrientes, también requieren de factores de crecimiento que se pueden ser aminoácidos, vitaminas, purinas y pirimidinas.

En los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales, los microorganismos quimiótrofos y heterótrofos, los cuales se llamarían quimioheterótrofos son de gran importancia.

2.1.2. Tipos de metabolismo microbiano.

Los microorganismos quimioheterótrofos se pueden clasificar por el tipo de metabolismo que realizan, siendo estas, el metabolismo respiratorio y metabolismo fermentativo (Metcalf & Eddy, 1995). Respecto al metabolismo respiratorio, en caso el aceptor externo sea el oxígeno molecular, se le conoce como metabolismo respiratorio aerobio, siendo considerados como organismos aerobios obligados; en caso el aceptor externo sea el nitrato o nitrito se consideran como proceso anóxico. Los organismos que producen energía mediante la fermentación solo pueden existir en un ambiente sin oxígeno se les nombra anaerobios obligados (Metcalf & Eddy, 1995).

Los microorganismos que intervienen en el proceso biológico son bacterias, protozoarios, rotíferos y hongos.

2.1.3. Biopelícula microbiana

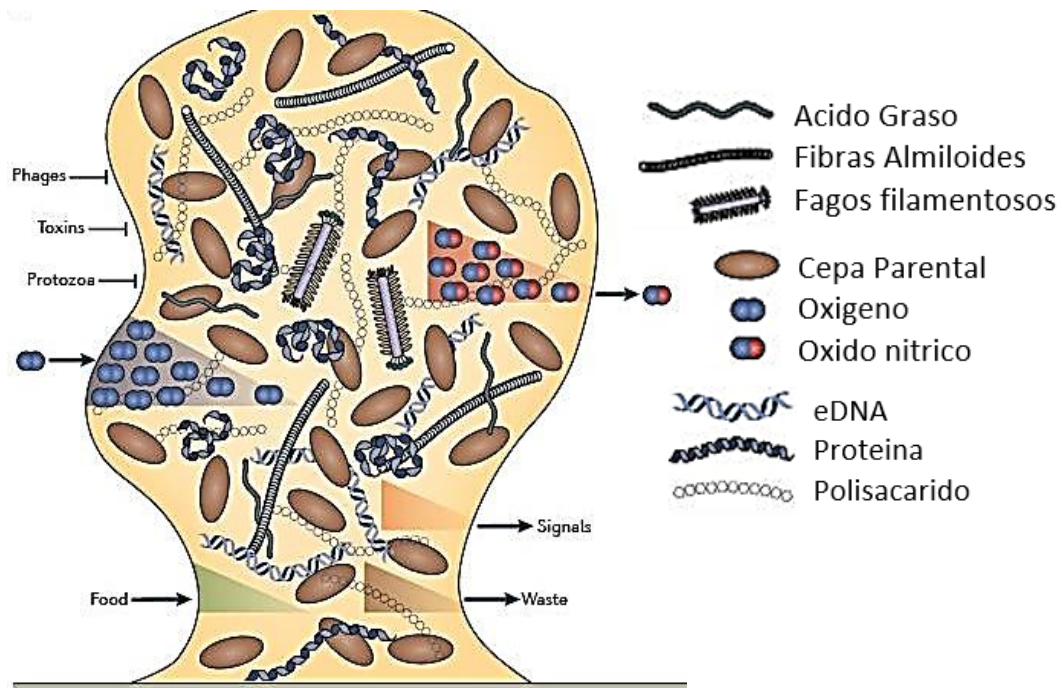
Las biopelículas se definen como las comunidades de cooperación bien organizadas de microorganismos asociados a la superficie encerrada en una matriz extracelular producida por ellos mismos (Y.K.Jhala et al., 2016).

Las biopelículas microbianas son en gran medida las responsables de la descomposición de la materia orgánica en un proceso de tratamiento biológico. Las biopelículas se forman sobre superficies del medio fijo (Onodera et al., 2014). en caso de los DHS de sexta generación.

Composición de la biopelícula microbiana. La biopelícula microbiana está compuesta por agua, microorganismos y una matriz extracelular, la cual está formada por sustancias poliméricas extracelulares (EPS), es decir, polisacáridos, proteínas, lípidos y ADN extracelular (Flemming et al., 2007). La producción de la matriz extracelular es un requisito previo para la formación de las películas biológicas que es producido por los microorganismos (Sutherland, 2001). La matriz de la biopelícula tiene como función proteger a la comunidad bacteriana de depredadores tales como protozoos y litófagos, así como de las toxinas químicas. La matriz de EPS ayuda a atrapar nutrientes y junto con las bacterias subyacentes, es responsable de los intercambios de oxígeno y nutrientes que ingresan y se expelen de la comunidad biológica (McDougald et al., 2011). La arquitectura de la matriz de la película biológica no es sólida y presenta canales que permiten el flujo de agua, nutrientes y oxígeno incluso hasta las zonas más profundas de la película biológica (McDougald et al., 2011). La existencia de estos canales no evita, sin embargo, que dentro de la película biológica se encuentren ambientes diversos en los que la concentración de nutrientes, pH u oxígeno es diferente. Esta circunstancia aumenta la heterogeneidad sobre el estado fisiológico en el que se encuentra la bacteria dentro de la película biológica. (McDougald et al., 2011).

Figura 1

Estructura compleja de la biopelícula Bacteriana (McDougald et al., 2011)



Etapas de desarrollo de la biopelícula microbiana. La biopelícula microbiana se desarrolla por etapas definidas, las cuales son la etapa de adhesión y adhesión irreversible, etapa de formación de micro colonias, etapa de maduración y etapa de dispersión de células.

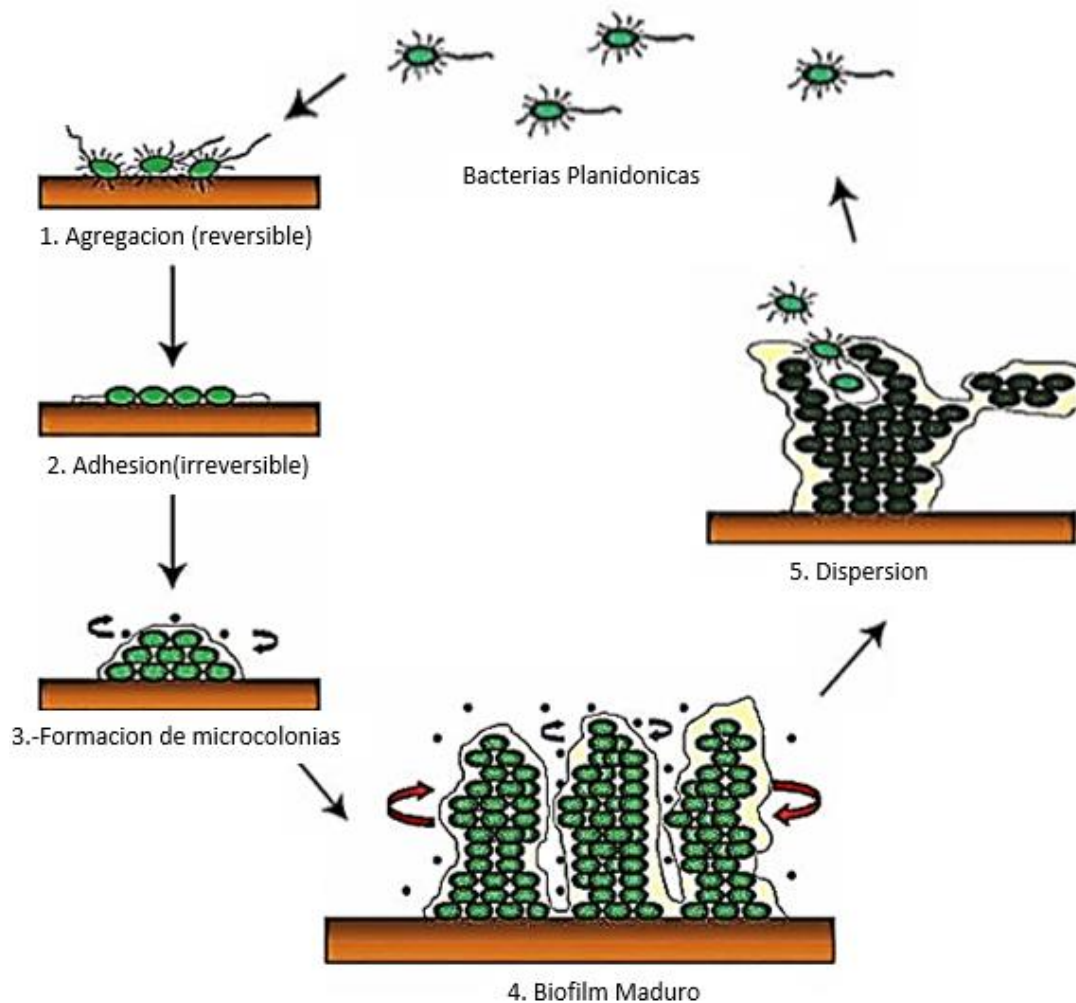
- Etapa de contacto y adhesión irreversible. -Es la primera etapa en la cual los microorganismos encuentran una superficie y dan inicio a la unión activa mediante los flagelos que lo rodean y forman una ligera capa constituida por moléculas orgánicas e iones. En esta etapa la rugosidad de la superficie es un factor importante para que los microorganismos puedan desarrollarse (Sertorio de Almeida, 2007).
- Etapa de formación de microcolonias.- En esta etapa, por acción de las fuerzas electrostáticas de atracción de van der Waals, interacciones electrostáticas o hidrofóbicas, las bacterias comienzan a dividirse y se comunican entre ellas mediante la liberación de moléculas señales, que

inducen la secreción de sustancias poliméricas extracelulares para así formar unas estructuras llamadas microcolonias (Sundell & Wiklund, 2011). En esta etapa el crecimiento de los microorganismos sigue siendo constante, teniendo en cuenta que los requisitos nutricionales se suministran equilibradamente. Se resalta que durante el desarrollo de la biopelícula la comunidad microbiana se altera en términos de abundancia y diversidad, haciendo determinista la colonización de la mayoría de las especies de microorganismos (Sertorio de Almeida, 2007).

- Etapa de maduración. - En esta etapa, Las biopelículas maduras son comunidades heterogéneas, espacial y temporalmente dinámicas, que pueden adoptar diferentes arquitecturas en función de las características del entorno (la disponibilidad de nutrientes, pH, temperatura, las fuerzas de cizallamiento, osmolaridad, así como la formación de los consorcios microbianos (Cortés Lorenzo, 2013)
- Etapa de dispersión de células. - En esta etapa, la biopelícula ha alcanzado su madurez, algunas células, ya sea aisladamente o en conglomerados bacterianos, se liberan de la matriz para poder colonizar nuevas superficies, cerrando el proceso de formación y desarrollo de la biopelícula (Post et al., 2004).

Figura 2

Etapas del ciclo de desarrollo de una biopelícula. Tomado de (Behlau & Gilmore, 2008)



2.1.4. Down-flow Hanging Sponge (DHS)

El reactor UASB (upflow anaerobic sludge blanket), es un proceso de tratamiento de aguas residuales reconocido como una tecnología apropiada principalmente para países en desarrollo en regiones tropicales y subtropicales debido a su simplicidad y bajos costos de construcción y de operación (Lettinga & Hulshoff Pol, 1991). El efluente del UASB contiene residuos de materia orgánica, nutrientes y un número significativo de patógenos (Kooijmans & van Velsen, 1986).

Una combinación de un UASB y un DHS, ha sido propuesta como solución apropiada de un tratamiento de aguas residuales domésticas (Agrawal L. K. et al., 1997).

El principio del reactor DHS es el uso de esponja de poliuretano como medio para retener la biomasa. El concepto es algo similar al del filtro percolador, excepto que el material del medio filtrante es una esponja, que tiene una porosidad de más del 90%, lo que resulta en un aumento significativo en la biomasa atrapada y, por lo tanto, un tiempo de retención de sólidos (SRT) más largo. Como la esponja en el DHS no se sumerge y se cuelga libremente / colocado en el aire, el oxígeno se disuelve en las aguas residuales a medida que fluye hacia abajo y, por lo tanto, no hay necesidad de aireación ni ninguna otra entrada de energía al sistema. Además, la producción de exceso de lodo a partir del DHS es despreciable ya que un tiempo de retención de sólidos más prolongado proporciona tiempo suficiente para la autólisis de lodo en el propio sistema (Tandukar et al., 2006).

El reactor se ha utilizado con éxito para la estabilización de materia orgánica y el control de nutrientes, ya que tanto la nitrificación como la desnitrificación tienen lugar en el sistema DHS (Tandukar et al., 2006).

2.1.5. Poliuretano

El poliuretano es una resina sintética, polímero que se caracteriza por su escasa permeabilidad a los gases, alta resistencia química, excelente aislamiento eléctrico (Manfred Kappset, 2004). Así mismo, se obtiene por polimerización de compuestos que contienen el grupo isocianato con compuestos que contengan el grupo hidroxilo (Becker, 1993).

Espumas de poliuretano. Es un material plástico con distribución aleatoria de celdas abiertas formado por una agregación de burbujas en su interior, este material se forma básicamente por la reacción química de dos compuestos, un poliol y un isocianato, aunque su formulación necesita y admite múltiples variantes y aditivos (Santamaría Garzón, 2013). La formación de espumas es

un proceso complejo que envuelve la acción física de diversos ingredientes y dos reacciones químicas fundamentales, a saber, la polimerización y el soplado (Herrington, 1991).

En general existen 02 tipos de espumas, las espumas rígidas y las espumas flexibles; las cuales por sus propiedades tienen diferentes usos y funciones.

La espuma flexible, se sintetiza a partir de polioles tipo poliéster y una mezcla específica de isocianatos aromáticos, lo que genera una estructura resultante de celdas abiertas que poseen un diámetro equivalente entre 300-600 micrones (Quintero et al., 2006)

La espuma rígida es un material celular compuesto de un polímero de poliuretano, que contiene en celdas cerradas una mezcla de gases cuidadosamente seleccionada; se diferencia de la espuma flexible en dos aspectos fundamentales: posee una mayoría de celdas cerradas -mayor del 95%- en las cuales los gases se encuentran dispersos, y el polímero de poliuretano que le confiere su estructura tiene un alto módulo de elasticidad, producto de una elevada reticulación (Oertel, 1993).

2.1.6. Eliminación biológica del nitrógeno en las aguas residuales

Existe una variedad de tecnologías de eliminación de nitrógeno de las aguas residuales que implican procesos físicos y químicos tales como el arrastre con aire del amoníaco (*stripping* de amoníaco), el intercambio iónico y la cloración al *breakpoint*; sin embargo, debido su elevado costo, funcionamiento irregular y los problemas de explotación y mantenimiento, la aplicación de este tipo de tecnologías se ha centrado en situaciones concretas, principalmente sobre efluentes de agua residual de tipo industrial, en donde su baja biodegradabilidad y/o toxicidad hacen inviable el uso de procesos biológicos (Claros Bedoya, 2012). También existen tecnologías que fomentan la recuperación del nitrógeno presente en las aguas residuales como es el caso de la precipitación en forma de estruvita ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$); sin embargo, se

requieren de altos valores de PH y ratios equimolares entre el amonio, fósforo y el magnesio (Claros Bedoya, 2012).

La eliminación de nitrógeno de las aguas residuales en una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se lleva a cabo generalmente mediante procesos biológicos; entre el 10% y 30% del nitrógeno total es empleado para satisfacer las necesidades nutricionales de la biomasa en un sistema de lodos activados convencional (Claros Bedoya, 2012). Se estima que el contenido de nitrógeno en la biomasa formada se encuentra entre un 12 y un 13% de su peso (Sedlak, 1991). En los casos en que la PTAR cuenta con decantación primaria, entre un 5-10% del nitrógeno total contenido en la corriente afluente es eliminado en forma de nitrógeno orgánico particulado (Claros Bedoya, 2012).

Actualmente no hay normativas que exijan la reducción de nitrógeno; sin embargo, se conoce que tanto el nitrógeno como el fosforo ocasionan la eutrofización en los cuerpos de agua; en ese aspecto se busca opciones tecnológicas económicas que permitan alcanzar un alto grado de depuración. Es así que los procesos de nitrificación y desnitrificación vía nitrato son los más comúnmente utilizados para la eliminación del nitrógeno de las aguas residuales (Claros Bedoya, 2012). Sin embargo, se han desarrollado tecnologías basadas en la ruta del nitrito (Hellings, Schellen, Mulder, Van Loosdrecht, & Heijnen, 1998) que permiten optimizar la explotación de las PTAR, obteniendo un elevado rendimiento de eliminación a bajo coste (Claros Bedoya, 2012).

Según las investigaciones de Chuang et al. (2007), indican que la oxidación anaeróbica del amonio (Anammox) es una atractiva alternativa de tratamiento de las aguas residuales para remover el nitrógeno.

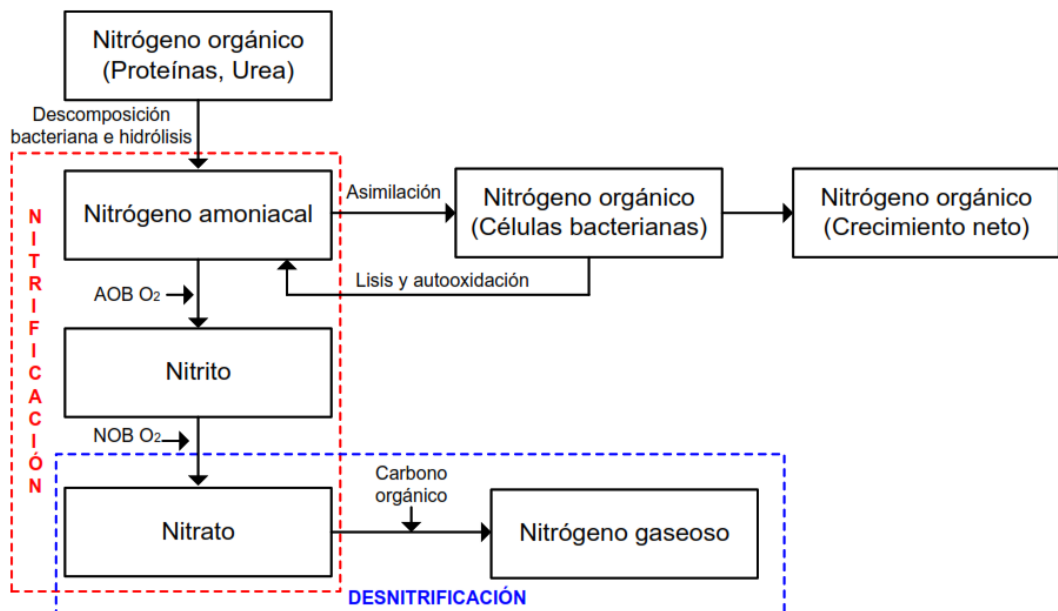
2.1.7. Nitrificación y desnitrificación vía nitrato

En la Figura 3 se visualiza las formas del nitrógeno en las aguas residuales a partir del proceso de nitrificación y desnitrificación vía nitrato (Claros Bedoya, 2012).

En esta figura se puede observar que el proceso de nitrificación tiene lugar en dos etapas en las que el nitrógeno amoniacal es oxidado a nitrito y posteriormente a nitrato, y que en el proceso de desnitrificación el nitrato es reducido a compuestos nitrogenados gaseosos; Además, se encuentran representados los procesos de hidrólisis del nitrógeno orgánico, y los procesos de asimilación, crecimiento y lisis bacteriana a partir de nitrógeno inorgánico en forma amoniacal (Claros Bedoya, 2012).

Figura 3

Transformaciones del nitrógeno mediante los procesos de nitrificación y desnitrificación vía nitrato (Metcalf & Eddy, 1995).



Nitrificación. La nitrificación es el proceso para convertir el nitrógeno amoniacal y sus variantes, en nitrato; y esto ocurre mediante 02 tipos de bacterias, las nitrosomonas (oxidán el amoniaco en nitrito) y las nitrobacter (oxidán el nitrito y lo transforma en nitrato) (Metcalf & Eddy, 1995).

El proceso de nitrificación es generalmente realizado por bacterias quimiolitóautótrofas que emplean el carbono inorgánico como fuente de carbono

para la síntesis celular, y el nitrógeno inorgánico para obtener energía (Claros Bedoya, 2012).

Desnitrificación. viene a ser la eliminación del nitrógeno en forma de nitrato por conversión en nitrógeno gas, a través de condiciones anóxicas (Metcalf & Eddy, 1995).

El proceso de desnitrificación tiene como fin la reducción del nitrato a nitrito y, posteriormente, a compuestos de nitrógeno gaseoso (óxido nítrico NO, óxido nitroso N₂O y nitrógeno diatómico N₂) en presencia de una fuente de carbono orgánica (Claros Bedoya, 2012). El nitrato y el nitrito reemplazan al oxígeno en la cadena de transporte de electrones (respiración microbiana), por lo que la desnitrificación suele ocurrir en ambientes anóxicos, carentes de oxígeno y con disponibilidad de nitrito y nitrato como aceptores de electrones (Claros Bedoya, 2012).

Hay una gran cantidad de microorganismos involucrados en el proceso de desnitrificación, lo que les brinda el potencial de ubicuidad en la mayoría de ambientes naturales; esta abundancia se debe en parte al hecho de que en su mayoría las especies de organismos desnitrificantes son facultativas, con posibilidad de emplear oxígeno o nitrato y nitrito como aceptor final de electrones (Claros Bedoya, 2012).

Las fuentes de carbono orgánico que pueden servir como sustrato para el proceso de desnitrificación de aguas residuales incluyen compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales urbanas e industriales, y compuestos adicionados durante la etapa anóxica como metanol (CH₃OH), etanol (C₂H₅OH) y ácido acético (CH₃-COOH), entre otros; la selección de la fuente de carbono orgánico dependerá principalmente de la disponibilidad local y el costo económico (Claros Bedoya, 2012).

Cada mg de N-NO_3 reducido genera 3.57 mg de alcalinidad, expresada como carbonato de calcio (CaCO_3). Por este motivo, en el tratamiento de corrientes de agua residual de baja alcalinidad el proceso de desnitrificación resulta muy atractivo debido a que compensa el descenso del pH ocurrido durante el proceso de nitrificación (Claros Bedoya, 2012).

2.1.8. Oxidación anaerobia del amonio (ANAMMOX)

Es un proceso biológico en el que ciertos microorganismos bajo condiciones anóxicas convierten el amonio en nitrógeno gaseoso, empleando el nitrito como aceptor de electrones. (Claros Bedoya, 2012). La presencia de nitrito resulta imprescindible debido a que los organismos ANAMMOX presentan gran afinidad para emplearlo como aceptor de electrones (Van Loosdrecht & Salem, 2006).

Este proceso es llevado a cabo por un grupo de bacterias autótrofas, en su mayoría de los géneros “*Candidatus brocadia*” y “*Candidatus kuenenia*”, que emplean el dióxido de carbono como fuente de carbono inorgánico sin necesidad de aportar materia orgánica ni oxígeno, por lo que resulta ser un proceso de bajo costo para la eliminación del nitrógeno de las aguas residuales (Van de Graaf et al., 1995). No obstante, debido a las bajas velocidades de crecimiento de las bacterias involucradas en este proceso se requieren altos tiempos de retención celular (TRC) para obtener concentraciones adecuadas de biomasa (Cema et al., 2007; Zhu et al., 2008).

La aplicación del proceso de oxidación anaerobia de amonio (ANAMMOX) requiere de un proceso de nitrificación parcial previo, comúnmente realizado en un sistema SHARON, el cual permita obtener una relación molar entre el amonio y el nitrito ligeramente inferior a 1, la combinación de estos procesos puede realizarse mediante el acople de dos reactores en serie independientes o en un único reactor. (Claros Bedoya, 2012).

Entre los factores que se han identificado como los más relevantes para alcanzar el desarrollo de los organismos ANAMMOX que permitan la operación estable

en su aplicación industrial se encuentran: la temperatura, el pH, concentraciones de nitrito y amonio, ciertos componentes inhibidores y el oxígeno (Claros Bedoya, 2012)

La temperatura óptima de operación se ha establecido en 40°C (Strous, Heijnen, Kuenen, & Jetten, 1998) y para temperaturas menores o iguales a 10°C no se ha detectado actividad en estos organismos. El rango de pH óptimo se encuentra entre 6.7 - 8.3, aunque se ha llegado a detectar actividad incluso a valores de PH de 9 (Egli et al., 2001). Las formas no ionizadas de amonio (amoniaco, NH_3) y nitrito (ácido nitroso, HNO_2) han sido identificadas como posibles inhibidores de los organismos ANAMMOX (Fux et al., 2002; Dapena-Mora et al., 2007). El efecto de la inhibición depende de las especies de microorganismos involucrados, el período de exposición y la aclimatación; Asimismo, la presencia y concentración de ciertos antibióticos, sulfuros y materia orgánica pueden ocasionar la pérdida de la actividad bacteriana (Cervantes, 2009).

El oxígeno inhibe completamente la actividad de los organismos ANAMMOX, aunque esta inhibición resultó ser reversible (Van de Graaf et al., 1997). No obstante, Sliekers et al. (2003), demostraron que, aunque la actividad de los organismos ANAMMOX desciende en presencia del oxígeno es posible alcanzar la eliminación completa del nitrógeno de las aguas residuales mediante el desarrollo de los organismos nitrosomonas y los organismos ANAMMOX. En este caso, el desarrollo de los organismos ANAMMOX se debe al gradiente de oxígeno en la biopelícula o el flóculo formado, que permite la existencia de zonas anóxicas en el interior de éstos (Claros Bedoya, 2012).

2.2. Marco Legal

2.2.1. Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de PTAR aprobado mediante el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM publicado el 17 de marzo del 2010.

El Art. N°02 del Decreto Supremo N°003-2010-MINAM, se define a los límites máximo permisibles como: *“la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente; y su cumplimiento es exigible por el MINAM”* (Ministerio del Ambiente, 2010).

En ese sentido, la investigación evaluará que tan eficiente es el DHS de 6ta generación respecto a los parámetros de Coliformes Termotolerantes, DBO, PH, Sólidos Totales en Suspensión y Temperatura, y si con la metodología planteada, lograría cumplir los LMP o requeriría un tratamiento adicional.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1. Ubicación del proyecto de investigación

La tesis de investigación “Remoción de la materia orgánica en un DHS de 6ta generación con una recirculación del 50% del caudal y su efecto en la formación de nitratos”, fue realizado en la zona norte del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR-FIA-UNI) en el distrito del Rímac-Lima; en las coordenadas UTM WGS84 18S 27674.32E 8671439.59N y elevación de 100.00msnm. La población aportante del agua residual a CITRAR-UNI-FIA, son los asentamientos humanos “El Angel” y “El Milagro”.

3.2. Diseño del reactor down-flow hanging sponge- (DHS G6)

La presente tesis de investigación se basó principalmente en la investigación “Development of a sixth-generation Down-Flow Hanging Sponge (DHS) reactor using rigid sponge media for post-treatment of UASB treating municipal sewage” (Onodera et al., 2014), realizada en Japón, de la cual se tomaron ciertas características y consideraciones, para de esa manera investigar si es posible lograr resultados planteados en la hipótesis de la presente tesis de investigación.

Tales características y consideraciones para el presente proyecto fueron, el medio filtrante y tiempo de retención hidráulico; es de precisar que también se utilizaron otras bibliografía y consideración propias.

3.2.1. Puntos de monitoreo

Se consideró seis (06) puntos de monitoreo para conocer lo que ocurre en el proceso de tratamiento del DHS 6ta generación con respecto a los características físicas, químicas y biológicas del agua tratada, tal como se describen en la Tabla 1 y se pueden ver gráficamente en la Figura 4

Tabla 1*Puntos de monitoreo y su finalidad*

Puntos de monitoreo	Finalidad
1	Conocer la calidad del agua del afluente antes de que ingrese a la zona de mezcla
2	Conocer la calidad del agua que ingresa al módulo 1 de tratamiento; inmediatamente después de haber pasado por la zona de mezcla y zona distribución
3	Conocer las características físicas, químicas y biológicas del agua, las cuales fueron alteradas durante su estancia en el módulo 1 de tratamiento.
4	Conocer las características físicas, químicas y biológicas del agua, las cuales fueron alteradas durante su estancia en el módulo 2 de tratamiento.
5	Conocer las características físicas, químicas y biológicas del agua, las cuales fueron alteradas durante su estancia en el módulo 3 de tratamiento.
6	Conocer las características físicas, químicas y biológicas del agua, las cuales fueron alteradas durante su estancia en sedimentador.

3.2.2. Caudal de diseño

Entre los parámetros principales para la realización del diseño del DHS de la presente investigación, es el caudal de diseño; se utilizó un caudal de 120.96 l/d, como caudal del afluente y 60.48 l/d como caudal de recirculación; se utilizó la relación del 50% de recirculación.

3.2.3. Tiempo de retención hidráulico (TRH)

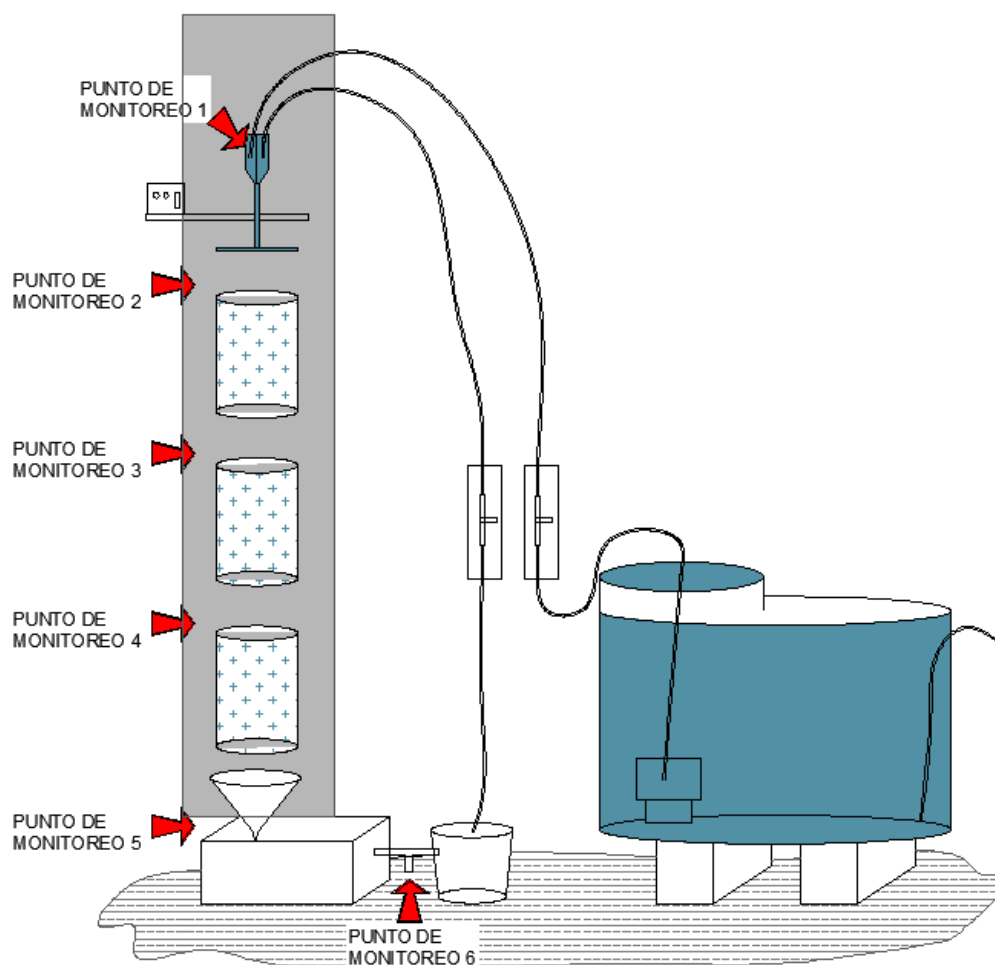
La presente investigación toma 2 horas como tiempo de retención hidráulico (TRH), basándose en la investigación realizada por (Onodera et al., 2014),

3.2.4. Medio de soporte (esponjas endurecidas)

El medio de soporte fue elegido en base a la investigación realizada por (Onodera et al., 2014), en la cual mencionan que el medio filtrante tiene forma de anillos cuyo diámetro exterior es de 42mm, diámetro interno es de 22mm y tiene una altura de 30mm; que este medio filtrante estuvo conformado por la copolimerización del poliuretano con resina epóxica y el objetivo fue otorgarle mayor rigidez al medio filtrante.

Figura 4

Ubicación de los puntos de monitoreo en el DHS-G6



En caso de la presente investigación se tuvo como primera dificultad encontrar los insumos para realizar la copolimerización; se investigó y luego varios ensayos se llegó a la conclusión por factores técnicos y económicos, en sumergir una esponja (poliuretano) en pintura epóxica. La esponja escogida para esta investigación fue la de un colchón, cuya porosidad es del 63.57%.

La pintura epóxica para ser producida necesitó de 03 componentes, los cuales son: el esmalte epóxico, el diluyente epóxico y un catalizador, los cuales se mezclan en proporciones brindadas por el fabricante (3 veces de esmalte, 1 vez de catalizador y 2 veces de Diluyente epóxico) para obtener la pintura epóxica a la cual se sumergió por completo la esponja durante 3 minutos, y de esta manera la esponja absorbe la

pintura líquida y se deja secar el tiempo que el fabricante indique (8 horas, tiempo en el cual la esponja queda endurecida por pintura epóxica e incrementa su rigidez). La pintura epóxica posee una alta resistencia a los agentes químicos (ácido y álcalis diluidos) y al agua.

La segunda dificultad que se tuvo para la producción del medio filtrante fue, obtener la forma de anillos, se intentó realizar las dimensiones mencionadas por (Onodera et al., 2014), sin embargo, las dimensiones al ser pequeñas dificultaban el trabajo, por ello, se optó por cortes con las dimensiones de 50 mm de diámetro exterior, 20mm de diámetro interior y 50mm de altura en promedio, todo esto antes de añadirle la pintura epóxica.

Tabla 2

Características de la esponja endurecida

Descripción	Abrev.	Valor	Unidad
Diámetro Exterior	D1	5,0	cm
Diámetro Interior	D2	2,0	cm
Altura	H	5,0	cm
Volumen unitario	V un	79,96	cm ³
Área superficial	Asup	142,7	cm ²
Peso	W	7,52	gr

Mediante los cálculos se pudo obtener que se requerían aprox. 297 esponjas, para ello, se construyó un cortador de poliuretano artesanal.

El medio filtrante, (esponjas cilíndricas ya endurecidas), estuvieron sumergidas en agua potable durante una semana antes de ser colocadas en los módulos de tratamiento; esto quiere decir que las esponjas ya se encontraban saturadas de agua potable cuando se inició la puesta en marcha.

Figura 5

Espojas endurecidas con pintura epóxica



Nota: En la Figura 5 se aprecia las esponjas endurecidas con pintura epóxica, cuyas dimensiones promedio son diámetro exterior 5cm, diámetro interior 2cm y 5cm de altura. Las esponjas fueron colocadas dentro de los cilindros de acrílico transparente.

3.2.5. Densidad del medio filtrante (esponjas endurecidas)

Para obtener la densidad aparente del medio filtrante, se utilizaron seis (06) esponjas, a las cuales se les tomo las medidas y se obtuvo el volumen de cada una y luego de ello mediante una balanza electrónica se determinó la masa de cada una de ellas. La relación masa de la esponja entre el volumen de la esponja se obtiene

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{\text{Masa de la esponja (g)}}{\text{Volumen de la esponja (cm}^3\text{)}}$$

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{7.52 \text{ g}}{79.96 \text{ cm}^3} = 0.094 \text{ g/cm}^3$$

Para obtener la densidad real del medio filtrante, se determina primero el volumen real de la esponja, la cual viene a ser el volumen de la esponja menos el volumen de agua absorbido hasta su saturación.

$$\text{Densidad Real} = \frac{\text{Masa de la esponja (g)}}{\text{Volumen de la esponja (cm}^3\text{) - Volumen de agua absorbida (ml)}}$$

$$Densidad Real = \frac{7.52 g}{79.96 cm^3 - 50.83 cm^3} = 0.258 g/cm^3$$

3.2.6. Porosidad del medio filtrante (esponjas endurecidas)

La porosidad del medio filtrante se calculó mediante un análisis de laboratorio, en la cual se escogieron al azar 6 muestras de esponjas endurecidas con forma de anillo, y se tomaron las dimensiones de cada esponja y se calculó el volumen de real de las esponjas, luego de ello se sumergió la esponja en una probeta que contenía 500ml de agua, después de 1 hora se extrajo la esponja endurecida que ya había absorbido agua y se midió cuánto volumen de agua quedó dentro de la probeta. Con ello se pudo obtener la cantidad de agua absorbida por la esponja y obtener la porosidad de cada uno.

$$Porosidad (\%) = \frac{Volumen de agua absorbida por la esponja}{Volumen real de la esponja}$$

Tabla 3

Porosidad de esponja endurecida

Porosidad de esponja endurecida					
Esponja Endurecida Numerada	Volumen Real de esponja (cm ³)	Masa de la esponja (g)	Volumen de agua en probeta inicio (ml)	Volumen de agua en probeta final(ml)	Volumen de agua absorbida por esponja
1	82,47	7,50	500,00	445,00	55,00
2	76,79	7,20	500,00	454,00	46,00
3	76,97	7,20	500,00	452,00	48,00
4	84,12	7,90	500,00	446,00	54,00
5	76,97	7,30	500,00	451,00	49,00
6	82,47	8,00	500,00	447,00	53,00
Promedio	79,96	7,52	500,00	449,17	50,83

$$Porosidad (\%) = \frac{50.83 ml}{79.96 cm^3} \times 100 = 63.57\%$$

Se realizó el promedio de cada ensayo y se obtuvo una porosidad promedio de 63.57%.

3.3. Dimensionamiento de los módulos cilíndricos

Para obtener el dimensionamiento de los módulos cilíndricos de acrílico, se utilizó el caudal del afluente, el caudal de recirculación, el tiempo de retención hidráulico, la porosidad de las esponjas endurecidas.

En la investigación se utilizaron tres (03) módulos cilíndricos; mediante fórmulas matemáticas, que se muestran en el Anexo 2 : Dimensionamiento del medio filtrante y los módulos del DHS, se obtiene que cada módulo debe tener 58cm de alto por 22.69 cm de diámetro.

Tabla 4

Características de los módulos acrílicos cilíndricos

Descripción	Abrev.	Valor	Unidad
Caudal de Ingreso	Qi	181.44	l/d
Tiempo de retención hidráulico	TRH	120	min
Numero de módulos	Nm	3	Und.
Numero de esponjas rígidas	Nes	99	Und.
Altura de cada módulo	H	58.00	cm
Diámetro de cada modulo	D	22.69	cm

3.4. Dimensionamiento del sedimentador

En la tesis de investigación se consideró la realización de un sedimentador rectangular, para un caudal de 181.44 l/d y un tiempo de retención de 1.5 horas, con lo cual se requirió un volumen de un sedimentador de 11.34 litros; para ello se utilizó un caja plástica de 36.3 cm de largo x 28.2 cm de ancho y 20 cm de altura, en cual solamente se requirió como máximo de 11.1 cm de altura.

Se realizó una abertura en la parte superior y se colocó un embudo para que el agua del tercer módulo del DHS caiga en el sedimentador y llegue hasta los 5cm del fondo (donde acababa el embudo); a la salida del sedimentador se realizó una perforación a 11.1cm del fondo.

Tabla 5*Características de sedimentador*

Descripción	Abrev.	Valor	Unidad
Caudal Efluente	Qe	181.44	l/d
Tiempo de retención	TRH	90,00	min
Volumen de sedimentador	V	11,34	l
Largo del sedimentador	L	0,36	m
Ancho del sedimentador	A	0,28	m
Altura de agua máxima	H	0,11	m

3.5. Periodo de investigación

La realización de la investigación duró 22 semanas (111 días), dando inicio el 24/04/2017 y culminándose el 29/09/2017.

La investigación tuvo 02 etapas, la primera etapa fue la realización de la puesta en marcha del DHS, la cual duró 05 semanas, iniciándose el 24/04/2017 y culminándose el 26/05/2017; se tomó 5 semanas debido a que la turbiedad en el punto de monitoreo 5, tenía variaciones y a partir de la 5ta semana se estabilizó. La segunda etapa fue la realización del monitoreo, operación y mantenimiento del DHS, el cual duró 17 semanas, iniciándose el 29/05/2017 y culminándose el 29/09/2017.

Tabla 6*Etapas de la investigación y tiempo de análisis*

Etapas	Tiempo		Fechas
Puesta en Marcha	Semana 1	Día 1	24/04/2017
	a	a	a
	Semana 5	Día 25	26/05/2017
Operación	Semana 6	Día 26	29/05/2017
	a	a	a
	Semana 22	Día 111	29/09/2017

3.6. Descripción del funcionamiento del DHS G6

El DHS 6ta generación que se investiga en la presente, está constituido por partes importantes, que indicaremos como zonas, las cuales son: zona de almacenamiento temporal, zona de mezcla y distribución, zona de tratamiento

secundario, zona de recolección y zona de recirculación, que se explicaran a continuación:

3.6.1. Zona de almacenamiento temporal, línea de afluente y recirculación

Esta zona, como se identifica en la Figura 6, está constituido principalmente por un tanque de almacenamiento de polietileno de 250 litros (en la cual se almacena el agua del efluente del UASB), una tubería (diámetro $\frac{1}{2}$ ", caudal de 120.96 l/d), de ingreso de agua del efluente del UASB al tanque de almacenamiento, una bomba sumergible (Bomba de pecera, altura Max 5.00mts) que se ubica en el fondo del tanque de almacenamiento e impulsa el agua mediante una manguera de PVC de $\frac{1}{2}$ " de diámetro que se va reduciendo a $\frac{1}{4}$ " de diámetro hasta llegar a la zona de mezcla. Adicional a ello hay otra línea de impulsión de tubería de $\frac{1}{4}$ " que sale de la zona de recirculación y llega a la zona de mezcla.

Figura 6

Zona de almacenamiento temporal, línea de afluente y recirculación



Nota: En la Figura 6 se aprecia el tanque de polietileno que almacena temporalmente el agua del efluente del UASB y se aprecia la línea de ingreso, línea de purga, línea de impulsión al DHS, línea de impulsión de la zona de recirculación.

Las tuberías de ¼" de diámetro, son mangueras transparentes que fueron cubiertas con cinta aislante negra para evitar la proliferación de algas en las paredes interiores por acción del sol.

El caudal de 120.96 l/d es regulado mediante una válvula tipo bola, en la cual se calibró diariamente (1 vez al día).

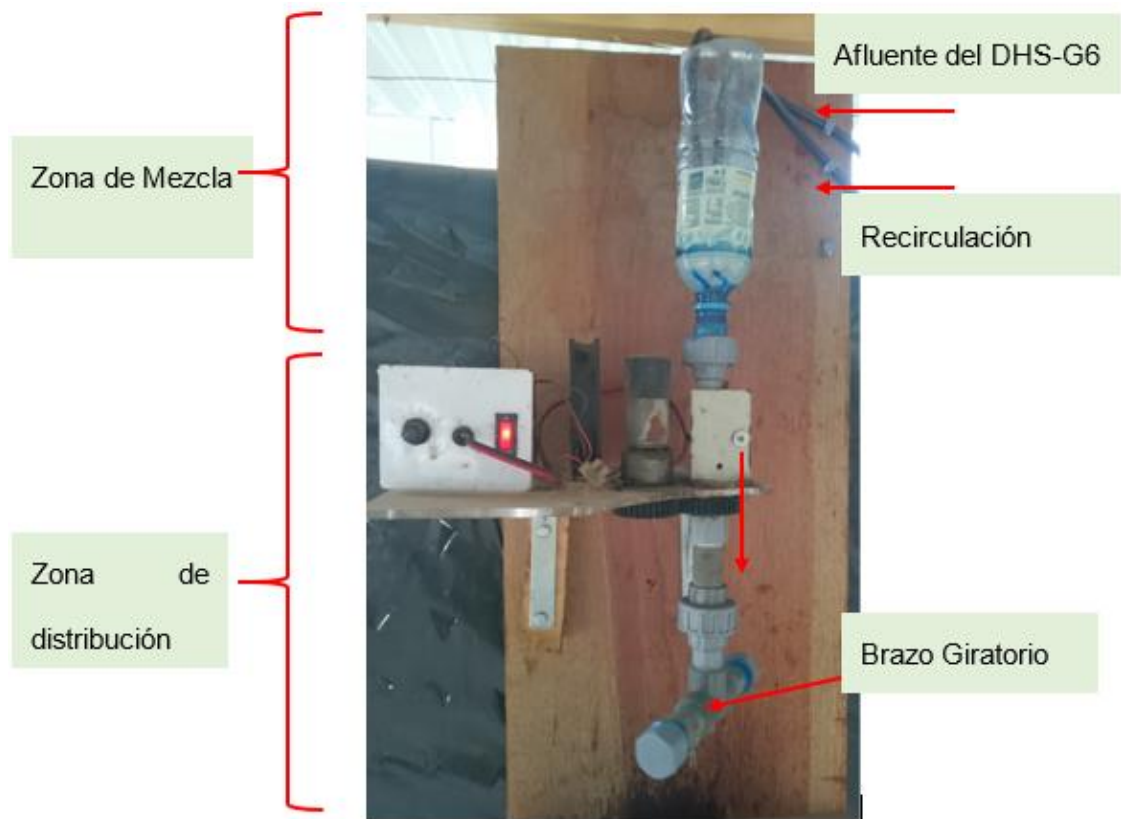
3.6.2. Zona de mezcla y distribución para el DHS

La zona de mezcla, como se identifica en la Figura 7, es el lugar donde llega la manguera de ¼" de diámetro, con un caudal de 120.96 l/d, que sale del tanque de almacenamiento (línea de afluente), a su vez llega otra manguera de ¼" de diámetro, con un caudal de 60.48 l/d, que viene de la zona de recirculación; las 02 mangueritas se juntan en un envase transparente (botella de agua ½ litro) y se produce la mezcla (en su conjunto el caudal de ingreso al DHS G6 es de 181.44 l/d). En esta zona de llegada de las 02 líneas se realizaron las tomas de muestra de calidad de agua, por tanto, al punto final de la línea de agua que viene del tanque de polietileno se le considero punto de muestreo 1, al punto final de la línea de agua que viene de la zona de recirculación se le considero punto de muestreo 2.

Luego de la zona de mezcla, el agua fluye por el interior de un brazo giratorio artesanal de diámetro de ¾" PVC, el cual mide 20cm de largo y al cual se le realizaron perforaciones de 5mm de diámetro distanciados 3cm cada perforación para realizar una distribución homogénea sobre el medio filtrante. El brazo giratorio utilizaba un motor de 24v para realizar su movimiento a una velocidad de 20 rpm

Figura 7

Zona de mezcla y zona de distribución



Nota: En la Figura 7 se aprecia la zona de mezcla y la zona de distribución de aguas residual al DHS (compuesta por el motor eléctrico y el brazo giratorio para una mejor distribución del caudal sobre el medio filtrante).

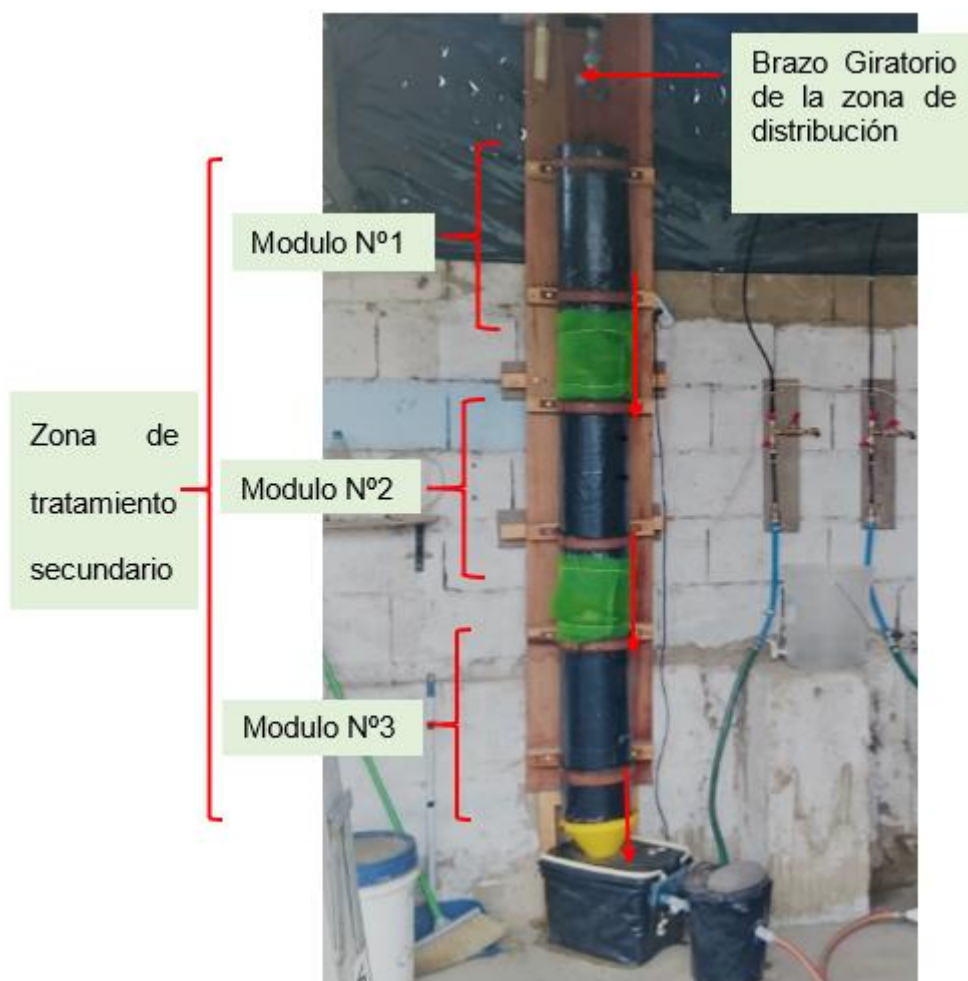
3.6.3. Zona de tratamiento secundario-DHS G6

La zona de tratamiento secundario DHS G6 se encuentra inmediatamente después de la zona de distribución; está compuesta por 03 módulos cilíndricos de acrílico de 60cm de largo por 20 cm de diámetro, colocados en vertical, distanciados 10 cm uno de otro. A una distancia de 3 cm del fondo se realizaron perforaciones, para colocar varillas metálicas de 1pulg. de grosor, distanciados 3cm (en total fueron 06 varillas) y fueron bañados de pintura epóxica (protección para evitar el óxido del metal). Estos alambres funcionaron como soporte del medio filtrante que se ubica en la parte superior. El exterior fue forrado con plástico negro para evitar la formación de algas en las paredes del módulo.

Dentro de cada módulo cilíndrico de acrílico fue colocado el medio filtrante (esponjas endurecidas con pintura epóxica), esta colocación fue de manera aleatorio; cada medio filtrante tiene la forma de un anillo con las dimensiones de 5cm de diámetro exterior, 2cm de diámetro interno y 5cm de altura.

Figura 8

Zona de distribución y zona de tratamiento secundario



Nota: En la Figura 8 se aprecia el brazo giratorio que pertenece a la zona de distribución y luego de ello comienza la zona de tratamiento secundario, la cual está compuesta por 03 módulos cilíndricos de acrílico.

El agua es distribuida mediante el brazo giratorio y por gravedad llega el caudal de 181,44 l/d al módulo N°1, el agua tiene contacto con el medio filtrante y con el paso del tiempo va formando una capa biológica (biofilm) en la parte superior de dicho medio. Una vez atraviesa el módulo N°01, tiene 10cm libres en el cual las gotas de agua tienen contacto directo con el aire del ambiente y continúan su paso al módulo

Nº2, del mismo modo ocurre en el módulo Nº3, de la cual continúan su paso a la zona de recolección con un caudal constante de 181,44 l/d.

Se colocaron mallas plásticas verdes entre cada módulo, con la finalidad de evitar el ingreso de las moscas al sistema de tratamiento.

3.6.4. Zona de recolección

La zona de recolección se encuentra después de la zona de tratamiento secundario DHS-G6, consta de un embudo de plástico de 23cm de diámetro de boca en la cual recepciona el agua que viene del tercer módulo de tratamiento y transporta el agua hasta 5cm por encima del fondo de la caja rectangular de plástico que simula un sedimentador secundario.

Figura 9

Zona de recolección y sedimentación

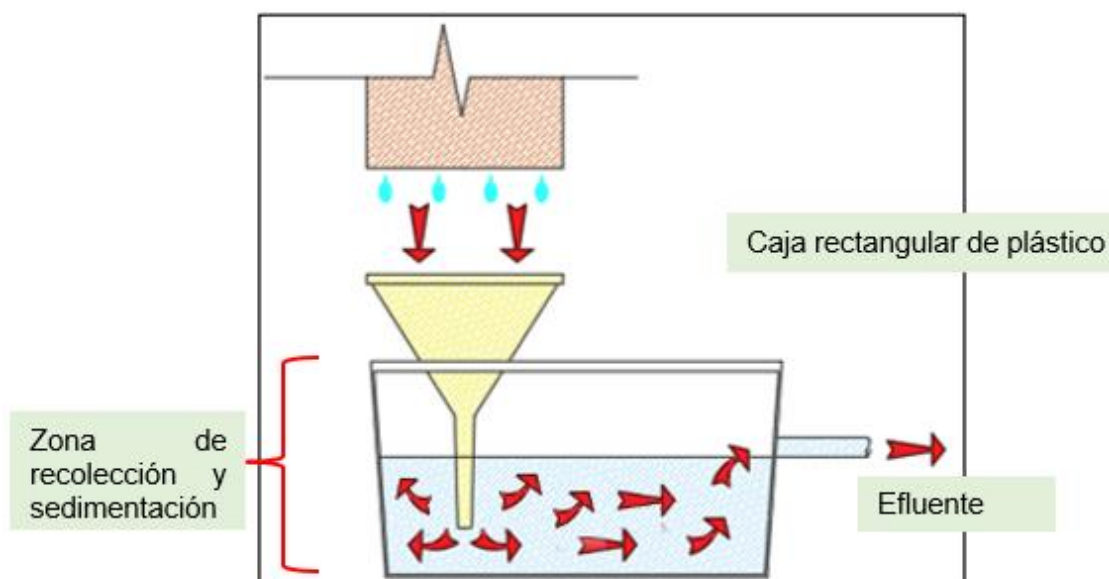


Nota: En la Figura 9 se aprecia la zona de recolección y sedimentación, la cual está conformada por el embudo de recolección y la caja de plástico que tiene una función de sedimentador para el sistema propuesto.

El caudal de tratamiento es de 181,44 l/d y el tiempo de retención hidráulico, tiempo en el cual se queda almacenado el agua en el sedimentador, es de 90min; tiempo prudencial para que los sólidos puedan sedimentar.

Figura 10

Sentido de flujo teórico de sedimentador



Nota: En la Figura 10, las flechas rojas indican el proceso de funcionamiento del sedimentador secundario.

3.6.5. Zona de recirculación

La zona de recirculación está conformada por un balde de 20 litros, que se ubica después de la zona de sedimentación; en el que, en su interior se encuentra una bomba sumergible (Venusaqua Alt Max 4.00mts), que bombea el agua que sale del sedimentador hacia la zona de mezcla; esto, mediante una línea de recirculación, manguera de 1/4" de diámetro.

La zona de recirculación recibe un caudal de 181,44 l/d que viene de la zona de recolección y a su vez mediante la bomba sumergible, bombea 60.48 l/d y es regulado mediante una válvula tipo bola, en la cual se calibra diariamente (1 vez al día). El agua tratada excedente, cuyo caudal es de 120.96 l/d, es dispuesto al alcantarillado mediante una línea de rebose.

Figura 11

Zona de recirculación del DHS



Nota: En la Figura 11 se aprecia la zona de recirculación, está compuesta por un balde de plástico, una bomba sumergible, una línea de impulsión de recirculación y una línea de efluente.

3.7. Construcción del DHS G6

Para la construcción del DHS se requirió materiales, equipos y recursos humanos, los cuales se presentan a continuación:

3.7.1. Materiales y equipos utilizados en la construcción del DHS G6

En las siguientes tablas se indica la cantidad de materiales y en qué zonas del DHS G6 se instalaron:

Tabla 7

Material utilizados en la zona de almacenamiento temporal, línea de afluente y recirculación

Cant.	Und.	Descripción de material
1	und	Tanque de 250 lts de capacidad y material polietileno.
10	mts	manguera de ¾"
3	und	válvulas compuerta PVC ¾"
6	und	niples PVC ½"
1	und	Tee PVC ¾"
3	rollo	teflón ½"
1/8	lata	cemento PVC
40	mts	manguera de ½"
1	und	adaptador URP ½"
1	und	bomba sumergible Venusaqua Alt Max 5.00mts

Cant.	Und.	Descripción de material
4	mts	manguera de 5/8"
2	und	Terminal para manguera macho de 3/4 pulg x 578 pulg
6	und	válvula De Bola 5/8 "Rosca Macho
6	und	niples de 5/8" Rosca-Rosca
2	und	codos de 90° x 5/8"
2	und	Tee Latón Rosca Macho 3/4"
12	und	grapasp para cable de 5/8"
3	rollo	teflón 1/2"
1/8	lata	lata cemento PVC
3	und	cintas aislante negras Temflex
2	und	válvula De Bola 1/2 "Rosca Macho

Tabla 8

Material utilizados en la zona de mezcla y distribución para el DHS G6.

Cant.	Und.	Descripción de material
1	und	Motor de 24v tsukasa gear eje central
1	mts	Transformador de 220v a 24v con regulador de voltaje
1	und	Extensión eléctrica de 3 mts.
1	und	engranaje de 5 cm de diametro
1	und	ventilador para pc
1	rollo	unión universal 3/4" PVC roscada
1	lata	aspersor plástico tipo estaca
2	und	unión Roscada 3/4" PVC
2	und	niple de 3" x 3/4" PVC
1	und	lata cemento 1/8 PVC
2	mts	Tapón 3/4" PVC
1	und	Tubo de 3/4" PVC
1	und	Malla de plástico de 0.6m x 0.3m

Tabla 9

Material utilizados en la zona de tratamiento secundario DHS G6

Cant.	Und.	Descripción de material
3	und	Módulos cilindros de acrílico de 0.60m de diámetro x 0.20m de altura.
2	mts	Alambre.
3	mts	lineales de plástico negro x 1mt de ancho.
2	rollos	cinta aislante.
6	und	Abrazaderas metálicas.
4	und	Cintas elásticas gruesas.
0.6	m3	Esponjas para mobiliarios.
1	gl	Esmalte epóxica.
1	gl	Diluyente ultra epóxica.

Cant.	Und.	Descripción de material
1-Ago	gl	Catalizador para pintura epóxica.
1	und	Balde transparente de 20 litros.
10	par	Guantes de latex.
1	und	plancha de triplay de 1m x 1m.
2	und	mallas de plástico de 0.8m x 0.3m

Tabla 10

Material utilizados en la zona de recolección DHS G6

Cant.	Und.	Descripción de material
1	und	caja rectangular de plástico transparente de 36cm x 28cm x 20cm
1	und	embudo de plástico
1	mts	lineal de plástico negro.
1	und	Tee de ½" PVC
2	und	Niples de ½" x 5cm PVC

Tabla 11

Material utilizados en la zona de recirculación DHS G6

Cant.	Und.	Descripción de material
1	und	Tee de ½" PVC
2	Und	Niples de ½" x 5cm PVC
1	mts	Unión universal ½"
1	Und	Válvula de bola de ½"
1	Und	Rollos de teflón ½"
1/8	Und	Lata cemento PVC
1	Und	Bomba sumergible Venusaqua Alt Max 4.00mts
2	mts	Manguera de 5/8" de plástico transparente.
3	Und	Cintas aislante negras Temflex
2	Und	Válvula De Bola 1/2 "Rosca Macho

3.8. Operación del DHS G6

A continuación, se detallan las actividades realizadas como medida de operación al DHS G6:

- De lunes a sábado, se realizaba el bombeo de agua del efluente del UASB a la zona de almacenamiento temporal del DHS G6 en horas de la mañana 8:00am a 9:00am. El domingo no se permitía el acceso a las instalaciones de CITRAR-FIA-UNI. (Los sábados se realizaba un segundo bombeo a horas de 5pm y se llenaba el tanque de polietileno al tope para que el sistema pueda funcionar hasta el lunes en la mañana sin ningún inconveniente de fuente de ingreso).
- De lunes a sábado, se realizaba la calibración del caudal de ingreso de la línea de impulsión de la zona de almacenamiento; para lo cual se utilizaba 01 cronometro y 01 probeta de 50ml).
- De lunes a sábado, se realizaba la calibración del caudal de ingreso de la línea de impulsión de la zona de recirculación; para lo cual se utilizaba 01 cronometro y 01 probeta de 50ml).

3.9. Mantenimiento del DHS G6

A continuación, se detallan las actividades realizadas como medida de mantenimiento preventivo al DHS G6:

- Como mantenimiento preventivo, para evitar la colmatación de la bomba ubicada en el interior del tanque de polietileno, se tenía programado realizar la purga semanal de los sólidos alojados en el fondo del tanque; esto, mediante la apertura de una válvula, durante 60 segundos.
- Como mantenimiento preventivo, para evitar taponamiento de los agujeros que trasladan el agua del brazo giratorio, zona de distribución, se extraía este brazo giratorio y se realizaba una limpieza interior con agua a presión, esto

semanalmente, durante 60 segundos y se colocaba nuevamente en funcionamiento.

- Debido a que el sistema de tratamiento DHS G6 utilizaba 02 bombas sumergibles, se tenía una bomba sumergible de reserva, la cual se hacía rotar cada 2 meses y la bomba que se queda en para se le hacía mantenimiento.

3.10. Monitoreo del DHS G6

A continuación, se indican los parámetros de monitoreo, frecuencias y metodologías utilizadas para de monitoreo de la investigación:

3.10.1. Parámetros y frecuencias de monitoreo

Los parámetros para monitorear y la periodicidad con la cual se realizó el monitoreo se indica en la Tabla 12:

Tabla 12

Parámetro, frecuencias y horarios de monitoreo

Parámetro de monitoreo	Frecuencia de monitoreo	Horario de monitoreo
Temperatura Ambiental	3 veces / día	9:00 am 12:45 pm 4:00 pm
Temperatura del agua		
Potencial de hidrogeno (PH)		
Turbiedad		
Conductividad		
Oxígeno Disuelto (OD)	1 vez / día	9:00 am
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	1 vez / semana	9:00 am
Sólidos Totales (ST)		
Sólidos Suspendidos Totales (SST)		
Sólidos Disueltos Totales (SDT)		
Sólidos Volátiles Totales (SVT)		
Sólidos Fijos Totales (SFT)	1 vez / 2 semanas	4:00 pm
Producción de lodos		
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃)	1 vez / 2 semanas	3:00 pm
Nitrito (NO ₂)		
Nitratos (NO ₃)		
Coliformes Termotolerantes	1 vez / mes	9:00 am

3.12. Metodología utilizada para el análisis de parámetros

En la Tabla 13, se indica los parámetros monitoreados, la cantidad de muestra extraída y el laboratorio donde se realizaron los análisis.

Tabla 13

Método aplicado, capacidades de muestra y laboratorio de análisis

Parámetro de monitoreo	Método de Medición	Equipo de Medición	Capacidad de muestra Extraída
Temperatura Ambiental	-	Termómetro digital modelo: 303C	250 ml
Temperatura del agua	-	Equipo portátil de marca HACH modelo HQ11d.	
Potencial de hidrogeno (PH)			
Turbiedad	-	Turbidímetro portátil marca HACH modelo DR890 y 2100Q	
Conductividad	-	Equipo de mesa multiparámetro de la marca OAKTON modelo PC2700.	
Oxígeno Disuelto (OD)	-	Equipo multiparámetro portátil de la marca HACH modelo HQ40d.	1000 ml
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	APHA-AWWA-WEF-SM 5210 B, 23va edición del año 2017 (Prueba de DBO al día 5), método de winkler.	-	
Solidos Totales (ST)	APHA-AWWA-WEF-SM 2540 B, 23va edición del año 2017. (solidos totales secados a 103-105°C)	-	
Solidos Suspendidos Totales (SST)	APHA-AWWA-WEF-SM 2540 D, 23va edición del año 2017. (solidos suspendidos totales secados a 103-105°C)	-	
Solidos Disueltos Totales (SDT)	APHA-AWWA-WEF-SM 2540 C, 23va edición del año 2017. (solidos disueltos totales secados a 180°C)	-	
Solidos Volátiles Totales (SVT)	APHA-AWWA-WEF-SM 2540 E, 23va edición del año 2017.	-	

Parámetro de monitoreo	Método de Medición	Equipo de Medición	Capacidad de muestra Extraída
	(solidos fijos y volátiles calcinados a 550°C)		
Solidos Fijos Totales (SFT)	APHA-AWWA-WEF-SM 2540 E, 23va edición del año 2017. (solidos fijos y volátiles calcinados a 550°C)	-	
Producción de lodos	APHA-AWWA-WEF-SM 2540 F, 23va edición del año 2017. (sólidos sedimentables)	-	11 l
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃)	-	Colorímetro portátil de la marca HACH modelo DR/850 y como reactivos HACH salicilato de amonio y cianurato de amonio.	
Nitrito (NO ₂)	-	Colorímetro portátil de la marca HACH modelo DR/850 y nitriver 2 como reactivo HACH.	250 ml
Nitratos (NO ₃)	-	Colorímetro portátil de la marca HACH modelo DR/850 y nitriver 5 como reactivo HACH.	
Coliformes Termotolerantes	APHA-AWWA-WEF-SM 9221C, 23va edición del año 2017, específicamente el medio A1 como prueba directa		250 ml (Frascos Esterilizados)

Nota: Los parámetros temperatura ambiental, temperatura del agua, potencial de hidrogeno, turbiedad, conductividad, oxígeno disuelto y producción de lodos, se realizaron en el CITRAR y los parámetros DBO, ST, SST, SDT, SVT, SFT, NH₃, NO₂, NO₃ y coliforme termotolerantes se realizaron en el laboratorio del agua de la FIA-UNI.

Cabe indicar que las muestras analizadas en CITRAR-FIA-UNI fueron llevadas inmediatamente de terminada la toma de muestra; en caso de las muestras analizadas en el laboratorio de la FIA-UNI fueron almacenadas en la caja de tecnopor, en la cual se tenía gel para mantener la temperatura y no alterar la muestra, para luego de culminar el monitoreo, ser trasladados al laboratorio del agua.

3.13. Puesta en marcha del DHS G6

La puesta en marcha para el DHS G6 se inició el 24 de abril del 2017, tiempo en el cual se comenzó con el monitoreo de parámetros de oxígeno disuelto y turbiedad.

3.14. Cumplimiento de LMPs

En el supuesto caso que los efluentes del reactor fueran a descargar a un cuerpo receptor al final se compararon los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), PH, SST, Temperatura y Coliformes Termotolerantes con los LMP del DS N°003-2010-MINAM.

Capítulo IV. Obtención de resultados

4.1. Resultados del periodo de puesta en marcha del DHS- G6

4.1.1. *Procedimiento de puesta en marcha del DHS- G6*

Durante el día 1 de la puesta en marcha, se procedió a iniciar el tratamiento propuesto, de la siguiente manera:

- Se procedió a bombear agua del efluente del UASB a la zona de almacenamiento (Tanque de polietileno de 250 litros de capacidad).
- Una vez el agua estuvo por encima de los 0.40mt de altura de la bomba sumergible, ubicada dentro del tanque de polietileno, se prendió la bomba sumergible y comenzó a impulsar el agua a través de la línea de impulsión de ¼" de diámetro. Durante el recorrido de la línea de impulsión se colocó un sistema de 03 válvulas (02 válvulas en línea para calibrar caudal y 01 válvula en una tee de derivación para la purga). Se comenzó a obturar las 02 válvulas haciendo que, en la zona de mezcla llegue solo un caudal de 120.96 l/d (se calibró el caudal cada 4 horas utilizando una probeta de 10ml y con cronometro).
- Debido a recién iniciar la puesta en marcha aún no se tenía caudal que recircular; por ello, en la zona de mezcla solo ingresó el caudal de 120.96 l/d de la línea de impulsión, así llegó a la zona de distribución y zona de tratamiento.
- El agua recorrió los módulos de la zona de tratamiento y llegó a la zona de sedimentación, la cual estuvo vacía y se llenó de agua durante 2 horas; el agua sale por una tubería de ½" diámetro y llega a la zona de recirculación en la cual se llenó en 1 hora.
- Una vez lleno el balde de la zona de recirculación, se prende la bomba sumergible y se impulsa un caudal de 60.48 l/d. Durante el recorrido de la línea

de impulsión se colocó un sistema de 03 válvulas (02 válvulas en línea para calibrar caudal y 01 válvula en una tee de derivación para la purga). Se comenzó a obturar las 02 válvulas haciendo que, en la zona de mezcla llegue solo un caudal de 60.48 l/d (se calibró el caudal cada 4 horas utilizando una probeta de 10ml y con cronometro).

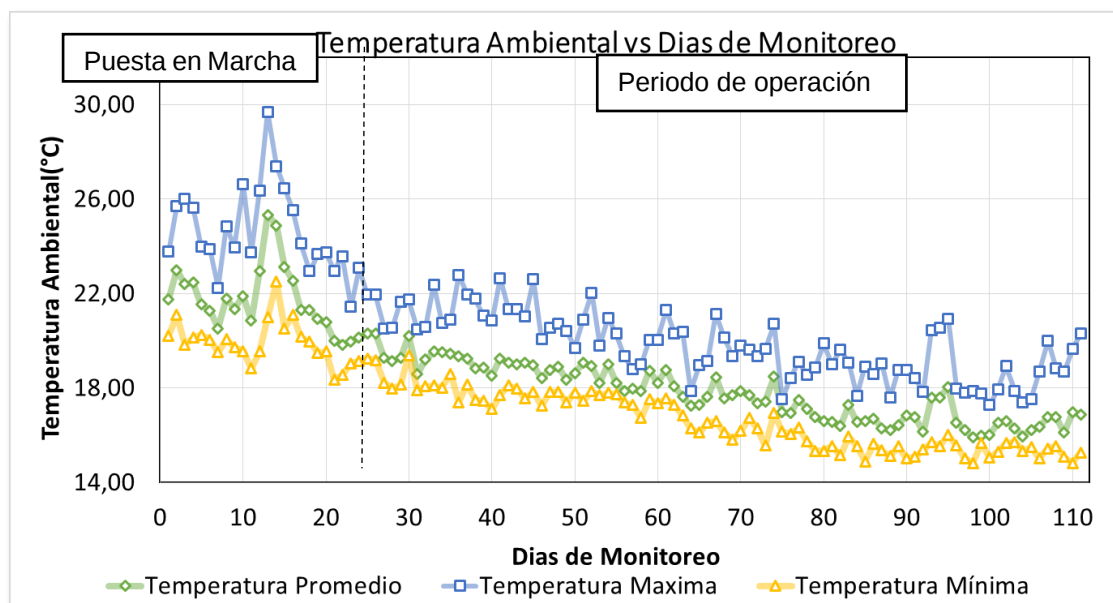
- A partir del momento en el que la zona de sedimentación se llenaba, a la zona de mezcla llegaban 120.96 l/d de la línea de ingreso y 60.48 l/d de la línea de recirculación, mediante una calibración diaria se obtenía esos caudales.
- A partir de ahí, el proceso de funcionamiento del sistema de tratamiento era el mismo.

4.1.2. Temperatura ambiental

En la etapa de puesta en marcha se obtuvo como temperatura máxima de 29.68°C y una temperatura mínima de 18.36° C, como se aprecia en la Figura 12.

Figura 12

Temperatura ambiental durante los días de monitoreo.



4.1.3. Turbiedad

Como se aprecie en la Tabla 14, en la etapa de puesta en marcha, se encontró un descenso de la turbiedad entre el punto de monitoreo (PT-1) que fue de 71.43 ± 13.19 NTU y el punto de monitoreo (PT-6) que fue 8.73 ± 2.03 NTU.

Tabla 14

Turbiedad, etapa de puesta en marcha, según puntos de monitoreo del DHS

Turbiedad (NTU)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	71,43±13,19	39,53±5,54	21,27±4,49	14,23±4,92	10,19±3,10	8,73±2,03
Máximo	107,94	55,12	29,94	21,10	16,42	11,14
Mínimo	51,00	31,29	12,45	5,16	5,40	2,70

4.1.4. Oxígeno disuelto

Como se aprecia en la Tabla 15, en la etapa de puesta en marcha, se encontró un incremento en el oxígeno disuelto, entre el punto de monitoreo (PT-1) que fue de 0.19 ± 0.05 mg/l y cada punto de monitoreo hasta llegar al punto de monitoreo (PT-5) que fue 6.90 ± 0.65 mg/l; en contraste, en el punto de monitoreo (PT-6) hubo un descenso a 6.24 ± 0.52 mg/l.

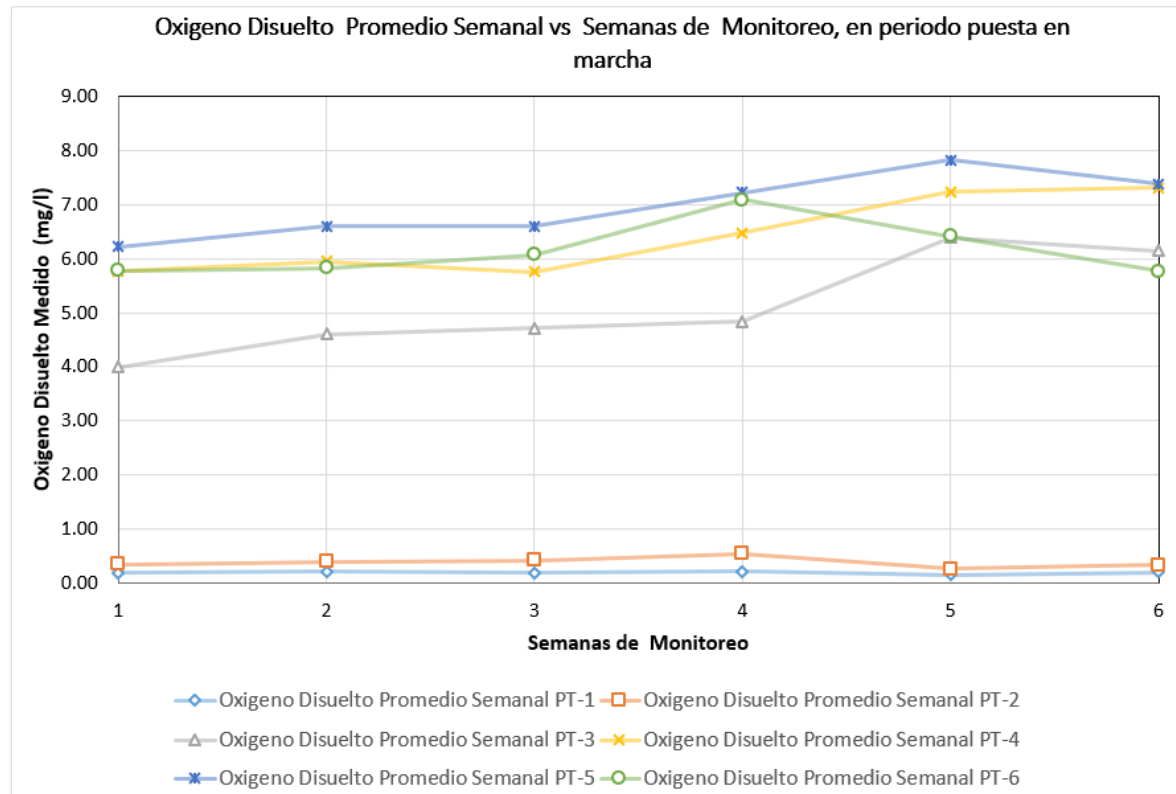
Tabla 15

Oxígeno Disuelto, etapa de puesta en marcha, según puntos de monitoreo del DHS

OD (mg/l)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	0,19±0,05	0,39±0,11	4,91±0,88	6,24±0,71	6,90±0,65	6,24±0,52
Máximo	0,35	0,65	6,80	7,70	7,96	7,21
Mínimo	0,13	0,21	3,78	5,06	5,80	5,60

Figura 13

Oxígeno disuelto promedio semanal durante las semanas de puesta en marcha.



4.2. Resultados del periodo de operación del DHS- G6

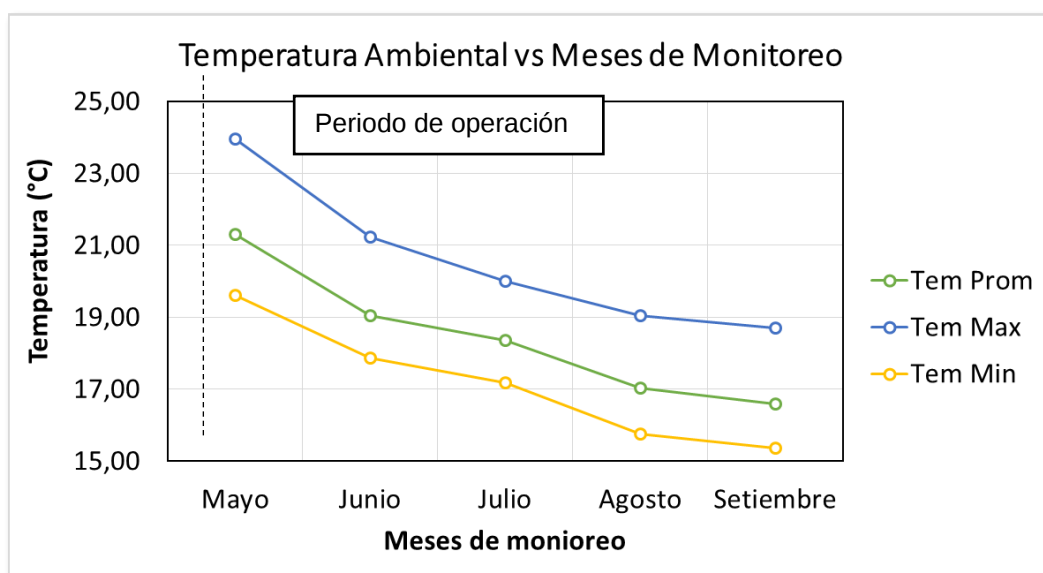
A continuación, se indican los resultados obtenidos en el periodo de operación del DHS-G6.

4.2.1. Temperatura ambiental

Fueron 111 días de monitoreo de la temperatura ambiental, como se aprecia en la Figura 14. En la etapa de operación del sistema, se obtuvo como temperatura máxima de 22.78° C, temperatura mínima de 14.82°C.

Figura 14

Temperatura ambiental durante los meses de monitoreo.



4.2.2. Temperatura del agua residual

Se aprecia en la Tabla 16, los valores de temperatura promedio, en la etapa de operación, ocurriendo un descenso de la temperatura del agua residual entre el punto de monitoreo 1 (PT-1) que fue de $19.88 \pm 1.22^{\circ} \text{C}$ hasta el punto de monitoreo 5 (PT-5) con $18.62 \pm 1.07^{\circ} \text{C}$; sin embargo, en el punto de monitoreo 6 (PT-6), a la salida del sedimentador, ocurre un ligero incremento de la temperatura del agua residual a $18.96 \pm 1.18^{\circ} \text{C}$.

El descenso de la temperatura en el PT-2 se debería a la mezcla que ocurre entre el agua del afluente con el agua tratada recirculada. En el caso del PT-3, PT-4 y PT-5 esto se debe, presuntamente, al contacto que tienen las gotas de agua residual con la corriente de aireación natural, haciendo que ocurra una transferencia de calor. En el caso del PT-6, el ligero incremento ocurra, porque el agua se encuentra almacenada (tiempo de retención hidráulica de 1.5 horas), en el sedimentador.

Tabla 16

Temperatura del agua residual según puntos de monitoreo del DHS

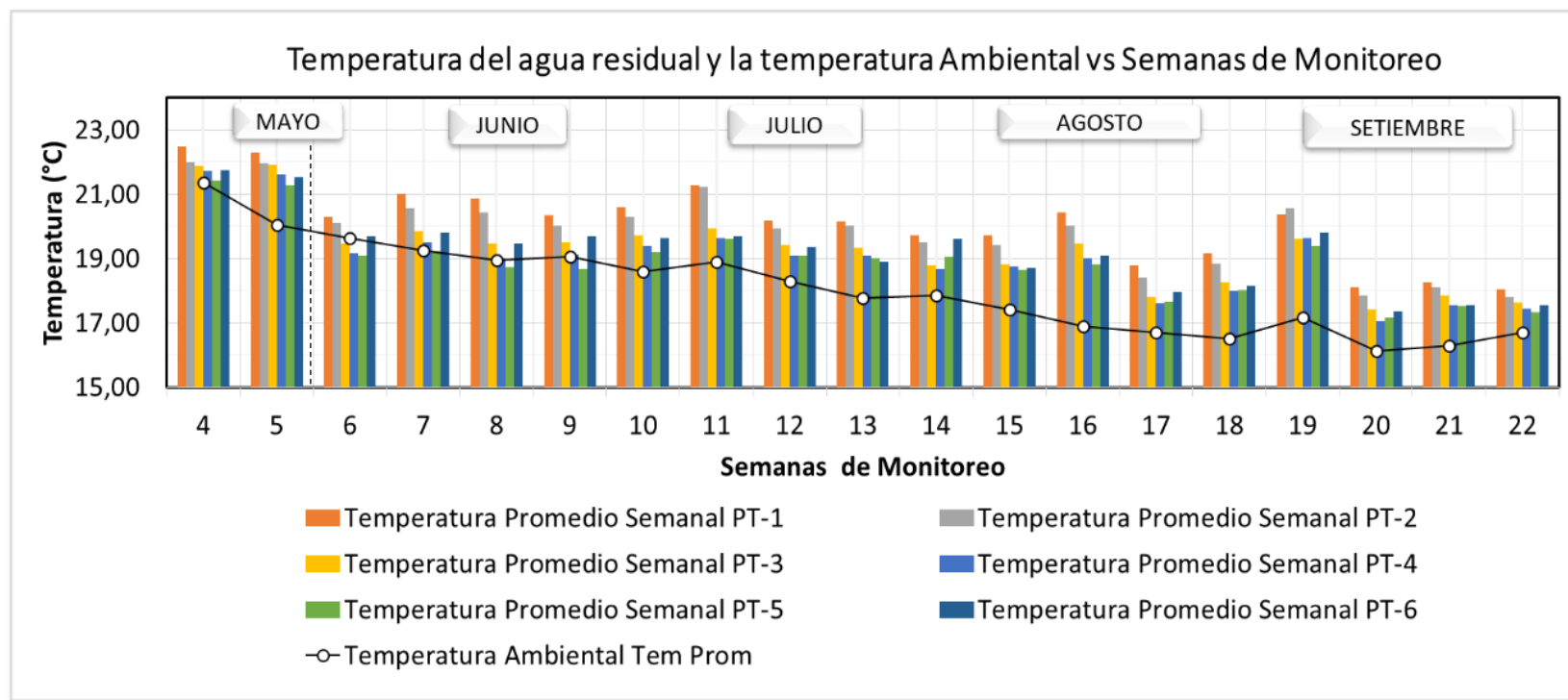
T (°C)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	19,88±1,22	19,63±1,27	18,99±1,12	18,71±1,15	18,62±1,07	18,96±1,18
Máximo	22,50	22,50	21,80	22,30	21,30	22,20
Mínimo	17,50	17,00	16,10	16,10	16,20	16,30

En la Figura 15, se aprecia la variación por semana de la temperatura en el agua residual; durante la semana 4 y 5, fue la etapa de puesta en marcha y desde la semana 6 hasta la semana 22, la cual fue la etapa de operación. La variación de la temperatura del agua residual tiene el mismo comportamiento semanal que indicada en la Figura 15; salvo en la semana 13, donde la temperatura del agua residual en el PT-6 es menor a la temperatura en el PT-5 y en la semana 14, donde la temperatura del agua residual, en el PT-4 es menor que en el PT-5.

Adicional a la variación por semana de la temperatura en el agua residual, en la Figura 15, se añadió la variación de la temperatura promedio del ambiente por semana, apreciándose, en la etapa de operación, que entre la semana 6 y la semana 9, la temperatura promedio del agua residual con la del aire eran bastante similares, sin embargo con el tiempo, entre la semana 10 y la semana 22, se aprecia un descenso tanto de la temperatura del ambiente como del agua residual; sin embargo el descenso de la temperatura del agua residual es menos afectado, debido, a la capacidad calorífica que presentan las aguas residuales.

Figura 15

Temperatura del agua residual y la temperatura ambiental durante las semanas de monitoreo de la investigación.



4.2.3. Potencial de hidrogeno (PH)

Se encontró un incremento del PH entre el punto de monitoreo (PT-1) que fue de 7.21 ± 0.19 y el punto de monitoreo (PT-6) que fue el 7.38 ± 0.33 , como se identifica en la Tabla 17. Según Crites y Tchobanolous, el PH óptimo para la nitrificación ocurre entre 6.5 y 8.

Tabla 17

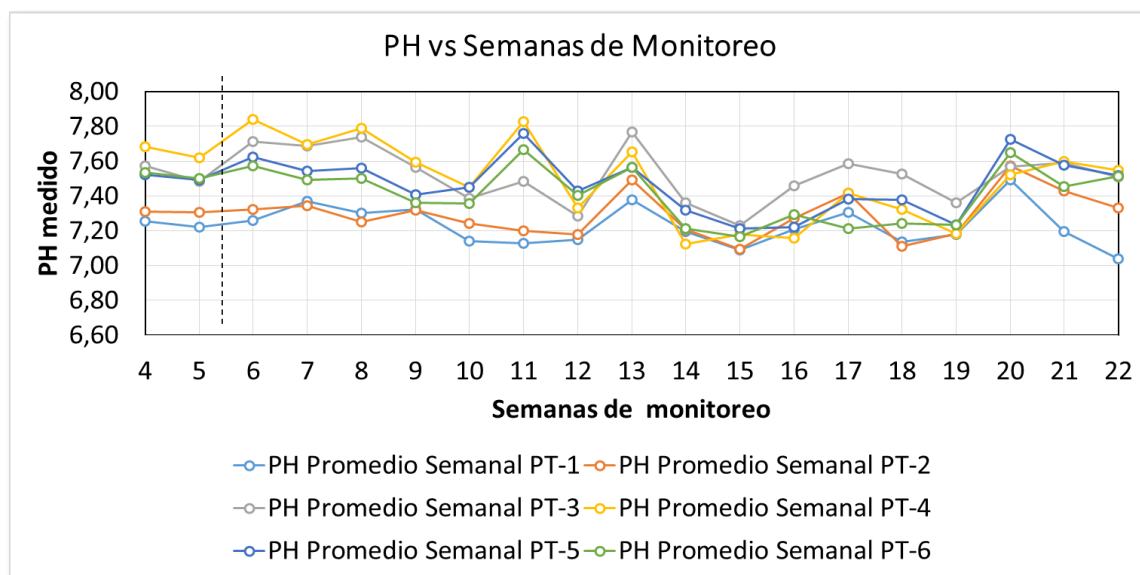
PH según puntos de monitoreo del DHS

PH	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	7,21±0,19	7,25±0,22	7,48±0,29	7,45±0,35	7,44±0,31	7,38±0,33
Máximo	7,65	7,80	8,02	8,01	8,65	8,71
Mínimo	6,54	6,58	6,32	6,20	6,18	6,14

En la Figura 16, se analiza las variaciones por semana del PH desde la semana 6 hasta la semana 22, de la cual se puede obtener que, desde la semana 6 hasta la semana 11 el PH más alto fue hallado en el punto de monitoreo (PT-4), cuyo mayor valor fue de 7.84; luego de ello, desde la semana 13 hasta la semana 19 el PH más alto fue hallado en el punto de monitoreo (PT-3) cuyo mayor valor fue de 7.77. Durante la semana 6 a la semana 13 el PH más bajo fue hallado en el punto de monitoreo (PT-1), cuyo valor fue de 7.13, luego de la semana 14 a la semana 20 hay fluctuaciones de PH.

Figura 16

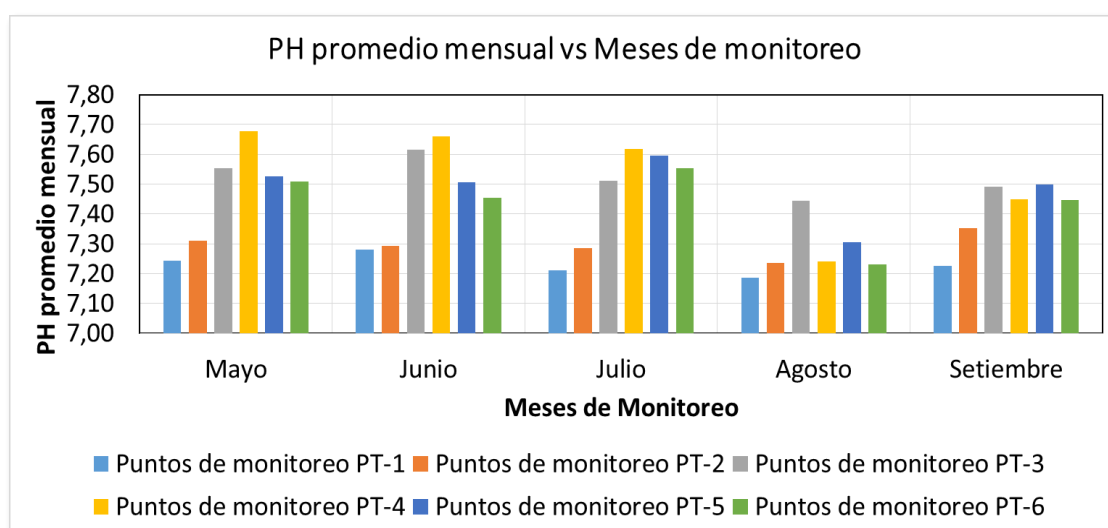
PH promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación.



En la Figura 17, se presenta la variación promedio mensual del PH en cada punto de monitoreo y se aprecia la tendencia del incremento del PH desde el punto de monitoreo 1 (PT-1) hasta el punto de monitoreo 4 (PT-4), durante los meses de mayo, junio y julio; y descenso del punto de monitoreo 5 (PT-5) al punto de monitoreo 6 (PT-6), durante todo el periodo de monitoreo.

Figura 17

PH promedio mensual durante los meses de monitoreo de la investigación.



4.2.4. Turbiedad

Como se aprecia en la Tabla 18, en la etapa de operación, se encontró un descenso de la turbiedad entre el punto de monitoreo (PT-1) que fue de $67.35 \pm 25,44$ NTU y el punto de monitoreo (PT-6) que fue $5,02 \pm 1,65$ NTU y en cada punto de monitoreo.

Tabla 18

Turbiedad, en la etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS

Turbiedad (NTU)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	67,35±25,44	35,49±11,97	14,40±8,20	8,31±3,85	7,06±3,80	5,02±1,65
Máximo	164,00	75,80	46,00	17,50	25,90	9,10
Mínimo	28,40	17,50	3,53	2,67	2,19	2,05

En la etapa de operación, se obtuvo una eficiencia en la reducción de turbiedad promedio del 89.52%, del punto de monitoreo 1 (PT-1) con respecto al punto de monitoreo 5 (PT-5) y una eficiencia en la reducción de turbiedad del 92.55%, del punto de monitoreo 1 (PT-1) con respecto al punto de monitoreo 6 (PT-6).

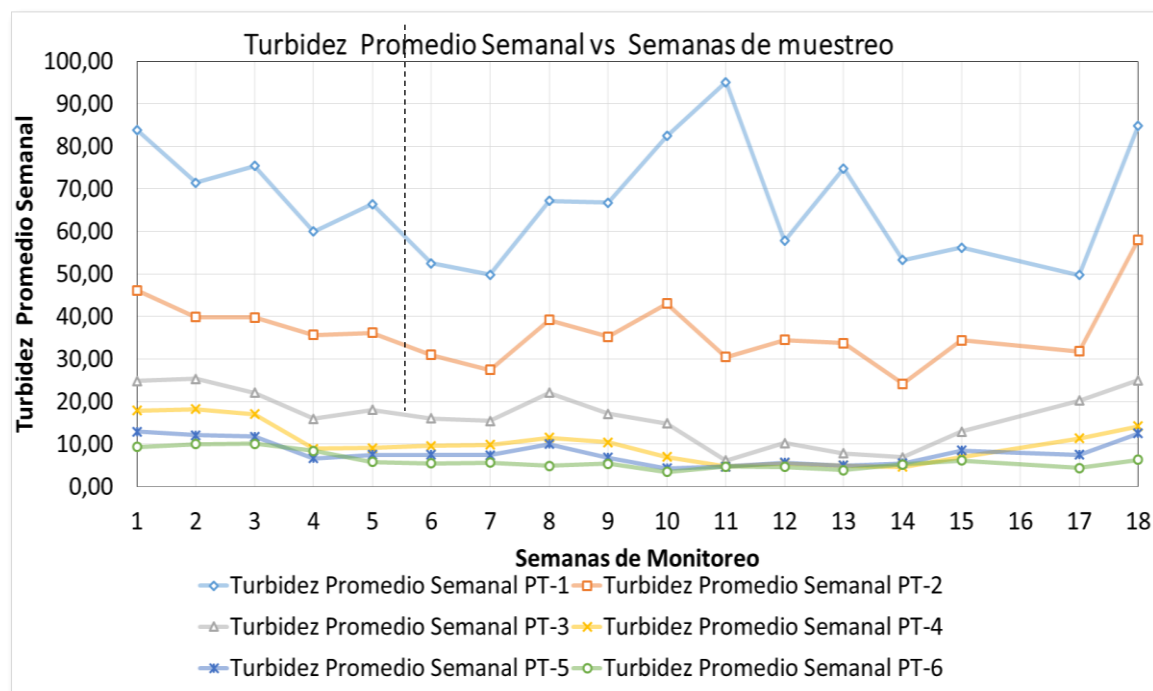
Según la Figura 18, es notorio la disminución de la turbiedad del punto de monitoreo 2 (PT-02) con respecto al punto de monitoreo 1 (PT-01), esto debido a que en el punto de monitoreo 02 se ubica inmediatamente después de la mezcla del afluente ($67.35 \pm 25,44$ NTU) con la línea de recirculación ($5,02 \pm 1,65$ NTU).

En los puntos de monitoreo (PT-03, PT-04, PT-05) hay descensos de la turbiedad debido a que se ubican después de los módulos de tratamiento y en el interior de cada módulo, los microorganismos están consumiendo la materia orgánica que ingresa con el agua residual y a su vez sólidos son retenidos por el medio filtrante haciendo que los efluentes de cada módulo tengan menor turbiedad.

En el punto de monitoreo PT-6 hay una reducción de turbiedad respecto al punto PT-05 debido a que atraviesa el sedimentador, cuyo tiempo de retención teórico fue de 90 minutos.

Figura 18

Turbiedad promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación.



4.2.5. Conductividad

Como se aprecia en la Tabla 19, en la etapa de operación, se encontró un descenso de la conductividad, entre el punto de monitoreo (PT-1) que fue de $1117,31 \pm 51,19$ us/cm y cada punto de monitoreo hasta llegar al punto de monitoreo (PT-6) que fue $924,21 \pm 62,38$ us/cm.

Tabla 19

Conductividad, en la etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS

Conductividad (uS/cm)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	1117,31 ±51,19	1069,01 ±43,89	1012,98 ±42,51	957,63 ±55,67	933,87 ±62,58	924,21 ±62,38
Máximo	1420,00	1256,00	1152,00	1075,00	1079,00	1070,00
Mínimo	1032,00	1008,00	930,10	864,30	824,14	801,45

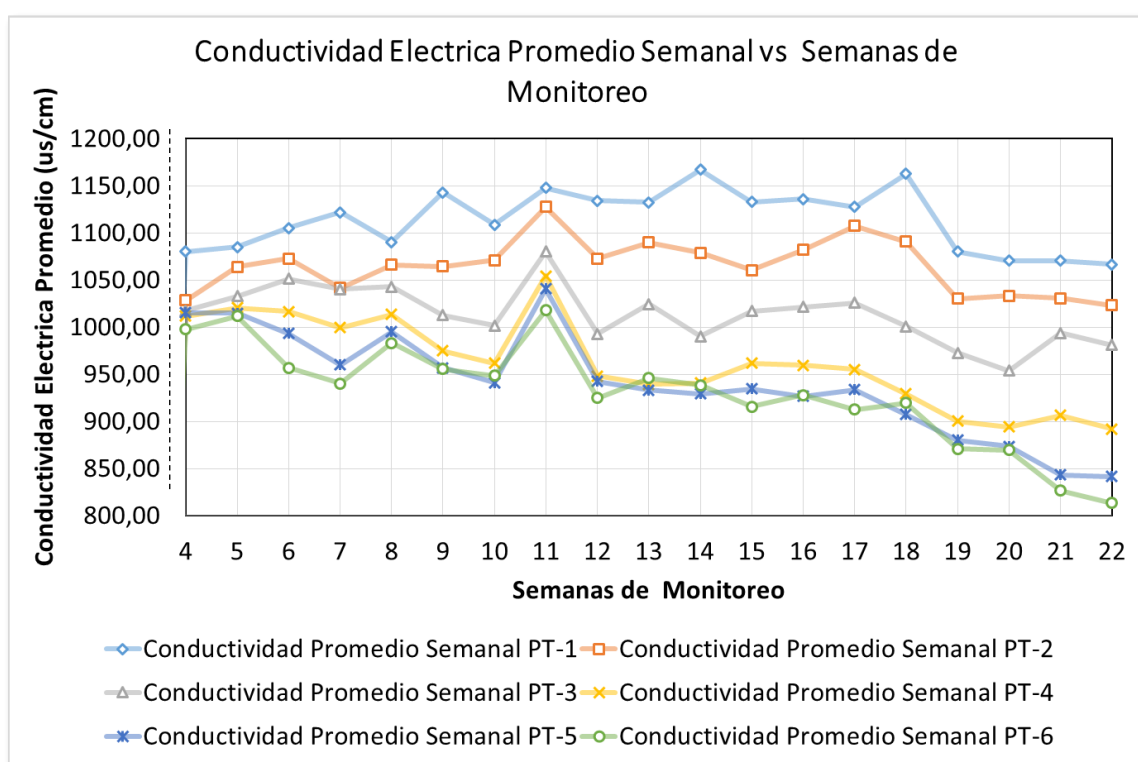
Según la Figura 19 , se analiza las variaciones por semana de la conductividad promedio, obteniéndose que el punto de monitoreo 1 (PT-1) obtuvo cada semana el

mayor valor; y que conforme el agua residual era tratada, en cada punto de monitoreo, su valor de conductividad seguía disminuyendo.

En las semanas 10, 13,14 y 18, ocurre algo particular, se aprecia que la conductividad en el punto de monitoreo 5 (PT-5) es ligeramente menor al punto de monitoreo (PT-6).

Figura 19

Conductividad eléctrica promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación.



4.2.6. Oxígeno disuelto

Como se aprecia en la Tabla 20, en la etapa de operación, se encontró un incremento en el oxígeno disuelto, entre el punto de monitoreo (PT-1) que fue de 0.32 ± 0.23 mg/l y cada punto de monitoreo hasta llegar al punto de monitoreo (PT-5) que fue 7.51 ± 0.82 mg/l; en contraste, en el punto de monitoreo (PT-6) hubo un descenso a 6.94 ± 0.89 mg/l.

Tabla 20

Oxígeno Disuelto, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS

OD (mg/l)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	0,32±0,23	0,66±0,50	5,44±0,77	6,68±1,05	7,51±0,82	6,94±0,89
Máximo	1,12	2,44	7,25	8,78	9,17	8,98
Mínimo	0,10	0,14	3,22	4,28	5,25	4,61

El O.D. en el punto de monitoreo (PT-1) es cercano a cero debido a que las aguas del afluente vienen de un tratamiento anaerobio, el cual ocurre en el UASB; en el punto de monitoreo (PT-2) hay un ligero incremento del O.D. debido a que se ubica inmediatamente después de la zona de mezcla, en la cual se mezcla el agua residual del afluente con el agua de recirculación ya tratada y con alto contenido de O.D.

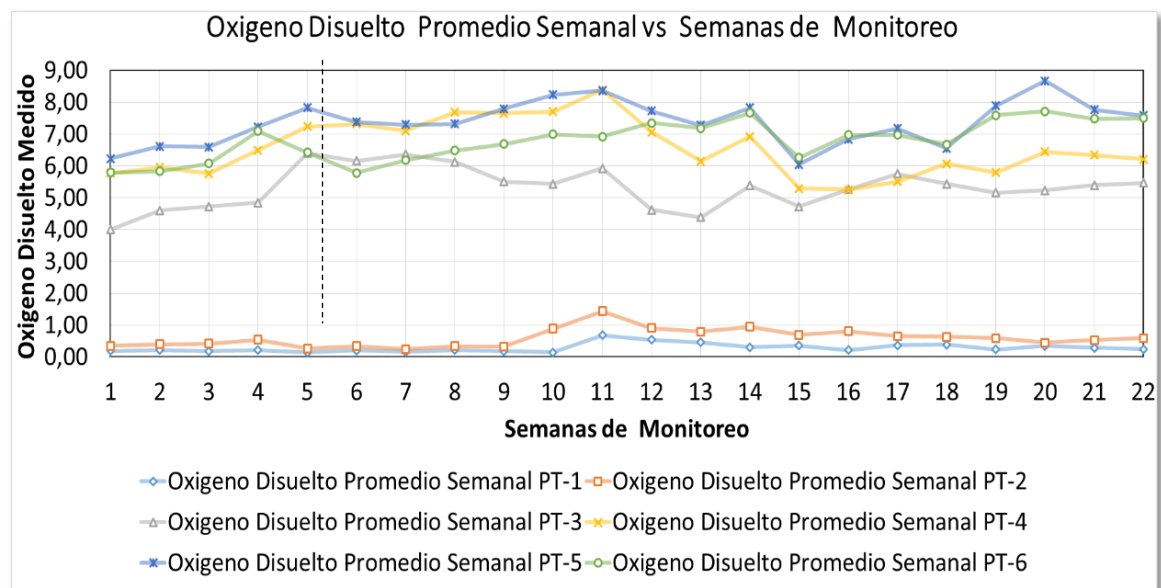
En los puntos de monitoreo PT-3, PT-4 y PT-5, hay un notorio incremento del oxígeno disuelto respecto al punto de monitoreo PT-2, debido a que físicamente los módulos de tratamiento tienen separaciones para que el agua residual entra en contacto de manera natural con el aire del ambiente, generando la solubilidad del oxígeno en el agua, ocurriendo el incremento de oxígeno en el agua. En el punto de monitoreo PT-6 ocurre un ligero descenso del O.D., pudiendo deberse a la actividad biológica que ocurre en el sedimentador.

En la Figura 20 , se analiza las variaciones por semana del OD, se apreció que el mayor valor de oxígeno disuelto en el punto de monitoreo PT-1, durante todo el periodo de monitoreo es de 0.68 mg/l, en la semana 11; el mayor valor de oxígeno disuelto en el punto de monitoreo PT-2, durante todo el periodo de monitoreo es de 1.43 mg/l, en la semana 11. En el punto de monitoreo PT-3 se apreció un considerable incremento del oxígeno disuelto respecto al punto de monitoreo PT-2, cuyo valor es en promedio de 5.44 ± 0.77 mg/l; Los valores medidos en el punto de monitoreo PT-4 son superiores al punto de monitoreo PT-3 y en promedio es de 6.68 ± 0.105 mg/l. El valor promedio de oxígeno disuelto en el punto de monitoreo PT-5 es de 7.51 ± 0.82 mg/l y en el punto de monitoreo PT-6 hubo un descenso a 6.94 ± 0.89 mg/l en promedio. El

incremento de oxígeno disuelto es debido a ventilación natural que tiene el DHS G6 y al libre flujo de aire del ambiente; el descenso que ocurrió en el punto de monitoreo PT-6 se debe a que hay consumo de oxígeno molecular por actividad microbiana en el sedimentador.

Figura 20

Oxígeno Disuelto promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación.



4.2.7. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

En la Tabla 21, se aprecia el descenso de la DBO₅, ingresando al sistema, en el punto de monitoreo (PT-1) una DBO₅ de 133,15 ± 20,25 mg/l e ir disminuyendo conforme se realiza el tratamiento hasta llegar al punto de monitoreo (PT-6) con una DBO₅ de 9.49 ± 7.43 mg/l.

Se obtuvo una eficiencia en la reducción promedio de DBO₅ del 87.90% del punto de monitoreo 1 (PT-1) con respecto al punto de monitoreo 5 (PT-5) y una eficiencia de 92.9% del punto de monitoreo 1 (PT-1) con respecto al punto de monitoreo 6 (PT-6).

Tabla 21

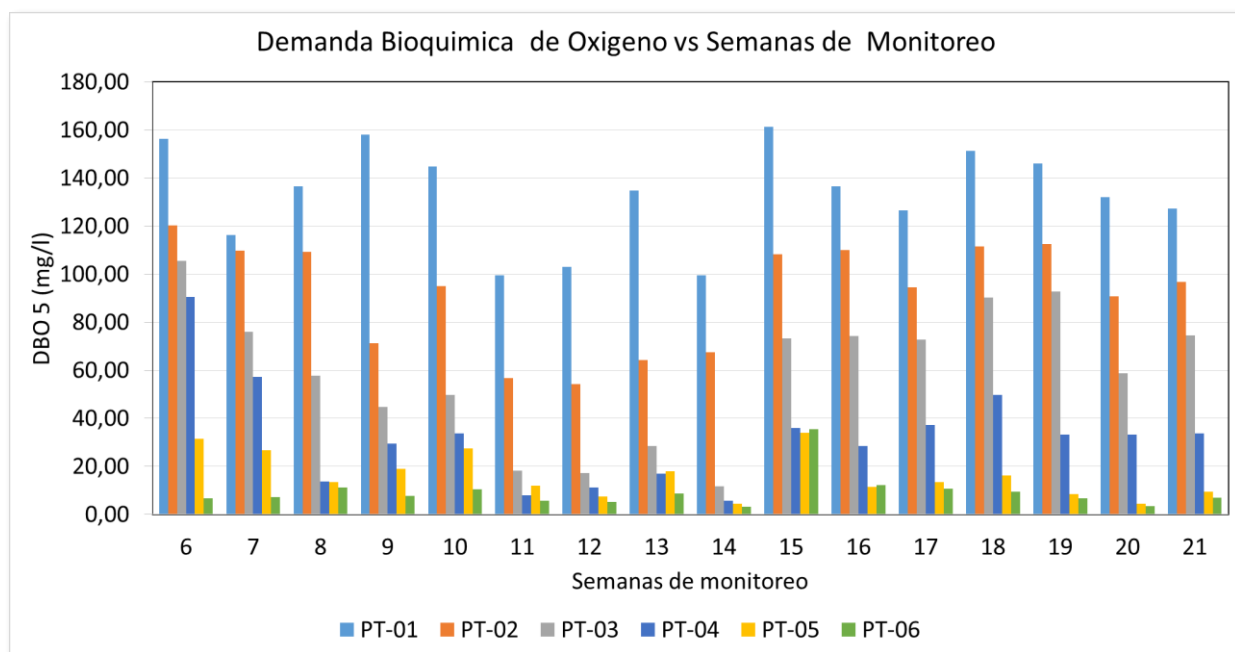
DBO₅, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS

DBO5 (mg/l)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	133,15±20,25	92,06±22,11	59,14±28,67	32,40±21,15	16,12±9,39	9,49±7,43
Máximo	161,35	120,40	105,55	90,55	34,09	35,50
Mínimo	99,45	54,20	11,63	5,65	4,36	3,20

En la Figura 21, se aprecia el comportamiento por semana de la DBO₅, la cual, es en general, similar a lo indicado en la tabla anterior, salvo en semana 11 con respecto al punto de monitoreo 4 (PT-4), en la semana 15 con respecto al punto de monitoreo 6 (PT-6) y en la semana 16 con respecto al punto de monitoreo 5 (PT-5).

Figura 21

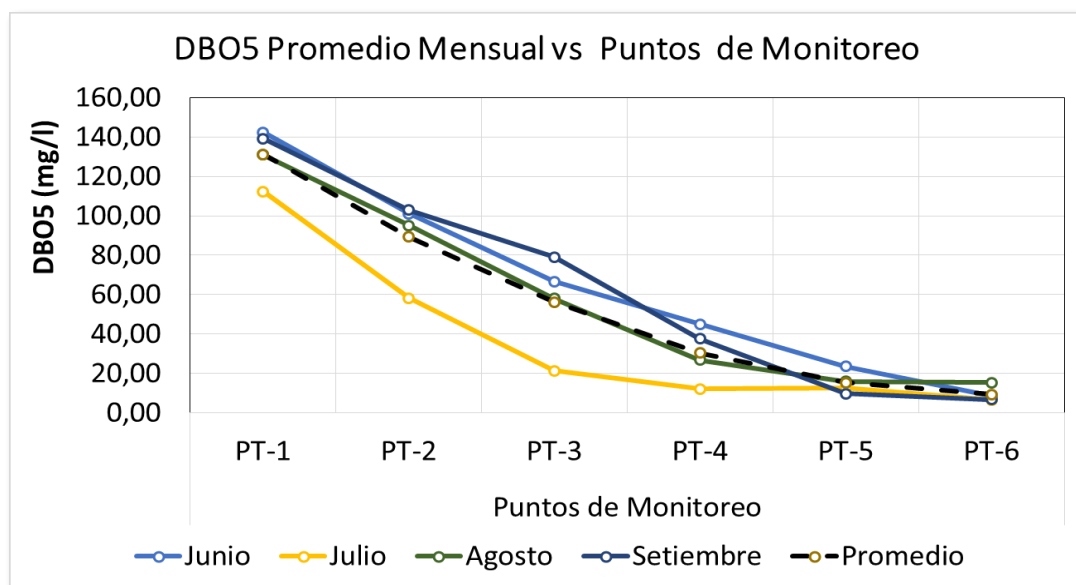
Demanda Bioquímica de Oxígeno promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación.



En la Figura 22 ,se observa el comportamiento de la DBO₅ promedio mensual respecto a los puntos de monitoreo (PT-1, PT-2, PT-3, PT-4, PT-5 y PT-6); según ello se aprecia la disminución de DBO₅ de 131.15 ± 20.25 mg/l del punto de monitoreo 1 (PT-1) a 92.06 ± 22.11 mg/l en el punto de monitoreo 2 (PT-2), y esto solamente mediante la mezcla del afluente $Q=120.96$ l/d con el agua de la recirculación $Q=60.48$ l/d; la reducción de la DBO₅ del punto de monitoreo 3 (PT-3) al punto de monitoreo 5 (PT-5) es debido a la acción de los microorganismos que se encuentran formando biopelículas en las esponjas endurecidas, que son el medio filtrante de los módulos de tratamiento.

Figura 22

Demanda bioquímica de oxígeno promedio mensual durante los puntos de monitoreo de la investigación.



4.2.8. Sólidos totales (ST)

Los sólidos totales fueron monitoreados en la etapa de operación, desde la semana 6 hasta la semana 21.

En la Tabla 22, se aprecia el descenso de los sólidos totales, ingresando al sistema, en el punto de monitoreo (PT-1) con 673.25 ± 76.03 mg/l e ir disminuyendo conforme se realiza el tratamiento hasta llegar al punto de monitoreo (PT-6) con 605.00 ± 59.68 mg/l. En el punto de monitoreo (PT-5) es 604.75 ± 59.68 mg/l, muy similar al PT-6

Los valores indican un ligero descenso del PT-1 al PT-5 obteniendo una eficiencia en la reducción en sólidos totales del 10.17% y de 10.14% respecto al PT-6.

Tabla 22

Sólidos Totales, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS

ST (mg/l)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	673,25 ± 76,03	626,50 ± 58,88	621,50 ± 48,64	614,50 ± 53,06	604,75 ± 59,58	605,00 ± 59,68
Máximo	896,00	788,00	724,00	720,00	716,00	724,00
Mínimo	540,00	520,00	504,00	488,00	472,00	480,00

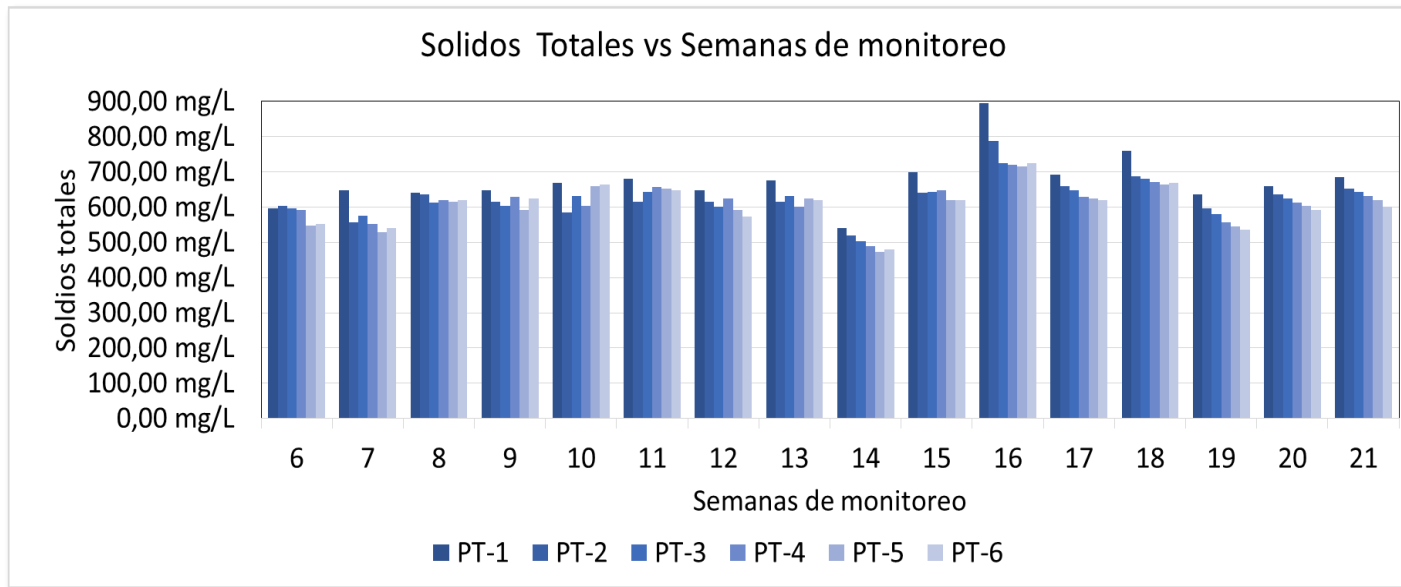
En la Figura 23, se aprecia el comportamiento de los sólidos totales respecto a las semanas de monitoreo, de la cual se obtuvo el valor máximo de 896 mg/l en el punto de monitoreo PT-1, en la semana 16; el valor mínimo de 472 mg/l, en el punto de monitoreo PT-5, en la semana 14.

Durante la semana 16, se puede indicar que los sólidos totales se encuentran estables.

En la semana 14, de monitoreo de la Figura 23, se aprecia una disminución de sólidos totales esto se debe principalmente a la composición del agua residual que ingresa a la cámara de rejillas de CITRAR-FIA-UNI.

Figura 23

Solidos totales promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación



4.2.9. Sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos suspendidos totales fueron monitoreados desde la semana 6 hasta la semana 21.

En la Tabla 23, se aprecia la reducción de los sólidos suspendidos totales, ingresando al sistema, en el punto de monitoreo (PT-1) con 55.51 ± 21.16 mg/l e ir disminuyendo su valor, conforme se realiza el tratamiento hasta llegar al punto de monitoreo (PT-6) con 6.41 ± 2.77 mg/l. Se obtuvo una eficiencia en la reducción en sólidos suspendidos totales del 86.68% con respecto al PT-5 y de 88.45% con respecto al PT-6.

Tabla 23

Sólidos Suspendidos Totales, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS

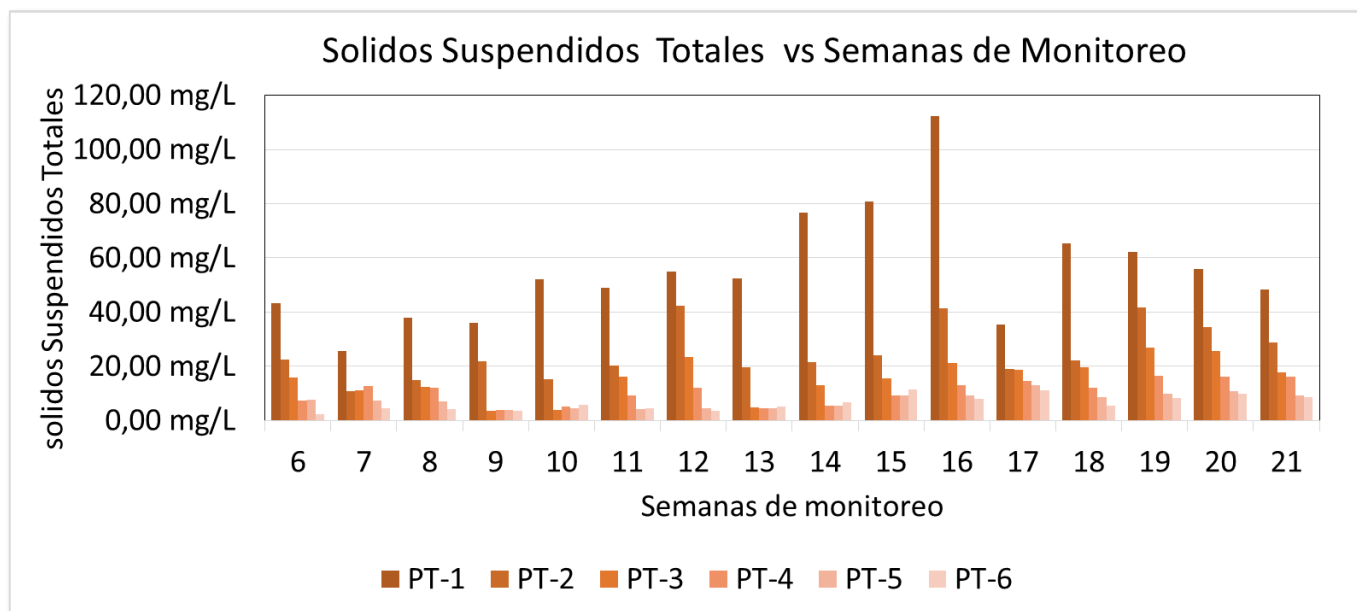
SST (mg/l)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	$55,51 \pm 21,16$	$25,01 \pm 9,95$	$15,59 \pm 7,27$	$10,65 \pm 4,31$	$7,40 \pm 2,72$	$6,41 \pm 2,77$
Máximo	112,40	42,33	26,87	16,50	12,86	11,38
Mínimo	25,50	10,71	3,63	4,00	4,00	2,37

El DHS G6 tiene buenos resultados con respecto a la reducción de sólidos suspendidos totales.

En la Figura 24 se aprecia el comportamiento de los sólidos suspendidos totales respecto a las semanas de monitoreo, de la cual se obtuvo el valor máximo de 112 mg/l en el punto de monitoreo PT-1, en la semana 16; el valor mínimo de 2.37 mg/l, en el punto de monitoreo PT-6, en la semana 6.

Figura 24

Solidos suspendidos totales promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación



4.2.10. Sólidos disueltos totales (SDT)

En la Tabla 24, se aprecia el descenso de los sólidos disueltos totales; en el punto de monitoreo (PT-1) con 617.74 ± 66.63 mg/l hasta llegar al punto de monitoreo (PT-6) con 598.59 ± 59.52 mg/l. Se aprecia en la tabla, que este parámetro es variable en cada etapa del tratamiento.

La eficiencia en la reducción de SDT es de 3.30% y 3.10% con respecto al punto de monitoreo PT-5 y PT-6 respectivamente.

Tabla 24

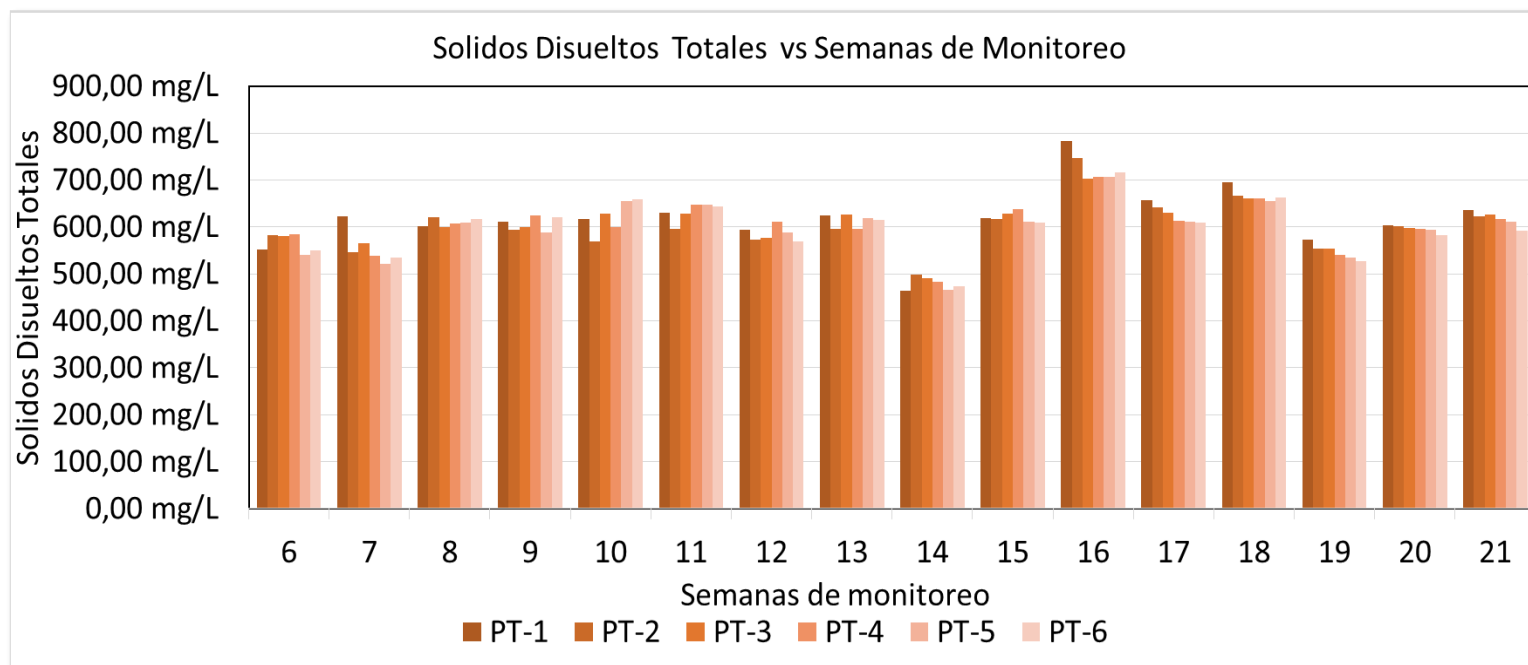
Sólidos Disueltos Totales, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS

SDT (mg/l)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	$617,74 \pm 66,63$	$601,49 \pm 55,49$	$605,91 \pm 47,99$	$603,85 \pm 52,34$	$597,35 \pm 59,36$	$598,59 \pm 59,52$
Máximo	783,60	746,63	702,88	707,00	706,87	716,12
Mínimo	463,33	498,57	491,14	482,57	466,71	473,14

Los sólidos disueltos totales fueron monitoreados desde la semana 6 hasta la semana 21 de la investigación; en la Figura 25 se aprecia el comportamiento de los sólidos disueltos totales, de la cual se obtuvo el valor máximo de 783.60 mg/l en el punto de monitoreo PT-1, durante la semana 16; el valor mínimo de 463.33 mg/l, en el punto de monitoreo PT-6, durante la semana 6.

Figura 25

Solidos disueltos totales promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación



4.2.11. Sólidos fijos totales (SFT)

En la Tabla 25, se aprecia el descenso de los sólidos fijos totales, ingresando al sistema, en el punto de monitoreo (PT-1) con 457.50 ± 89.06 mg/l hasta llegar al punto de monitoreo (PT-6) con 437.77 ± 104.49 mg/l.

Los valores indican un ligero descenso del PT-1 al PT-5, obteniendo una eficiencia en la reducción de sólidos totales del 5.30% y de 4.31% con respecto al punto de monitoreo (PT-6).

Tabla 25

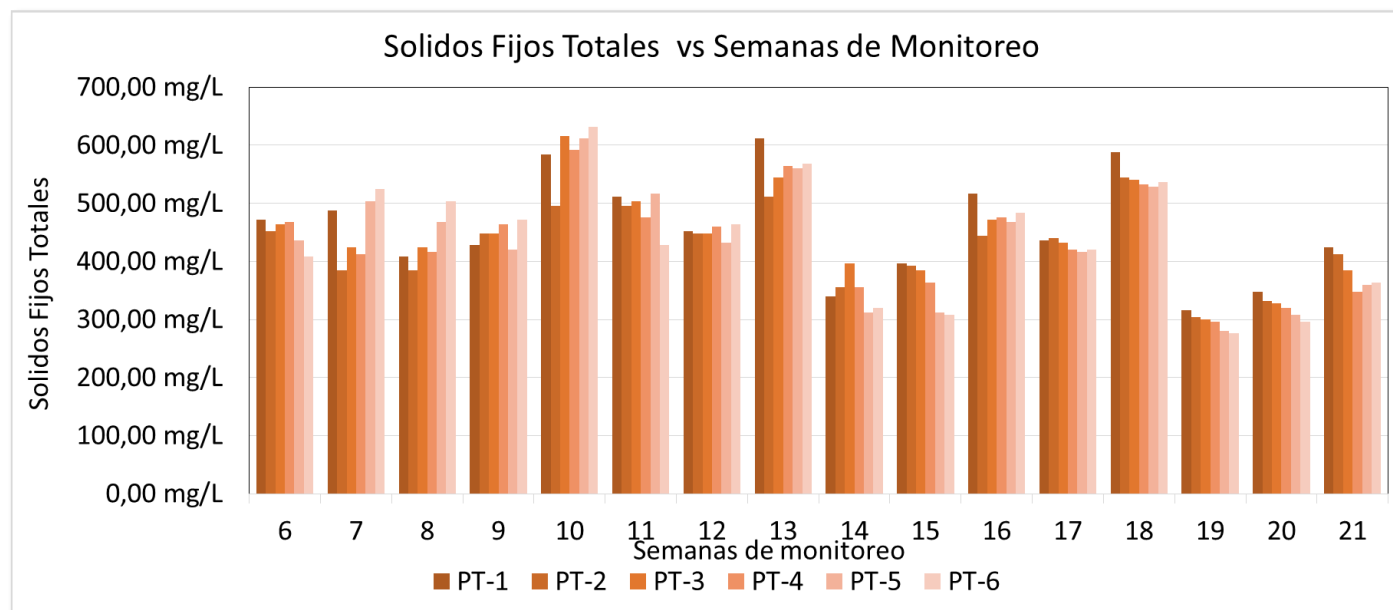
Sólidos Fijos Totales, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS

SFT (mg/l)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	$457,50 \pm 89,06$	$427,75 \pm 66,70$	$444,25 \pm 80,93$	$435,25 \pm 85,29$	$433,25 \pm 98,55$	$437,77 \pm 104,49$
Máximo	612,00	544,00	616,00	592,00	612,00	632,00
Mínimo	316,00	304,00	300,00	296,00	280,00	276,00

Según la Figura 26, los sólidos fijos totales tienen fluctuaciones; esto principalmente a las condiciones con las que el agua residual ingresa al sistema de tratamiento. Se obtuvo el valor máximo de 632.00 mg/l en el punto de monitoreo PT-6, durante la semana 10; el valor mínimo de 276.00 mg/l, en el punto de monitoreo PT-6, durante la semana 20.

Figura 26

Solidos fijos totales promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación



4.2.12. Sólidos volátiles totales (SVT)

En la Tabla 26, se aprecia el descenso de los sólidos volátiles totales; en el punto de monitoreo (PT-1) con 215.75 ± 87.75 mg/l hasta llegar al punto de monitoreo (PT-6) con 167.22 ± 90.39 mg/l.

Los valores indican un ligero descenso del PT-1 al PT-5, obteniendo una eficiencia en la reducción de sólidos totales del 20.51% y de 22.49% con respecto al punto de monitoreo (PT-6).

Tabla 26

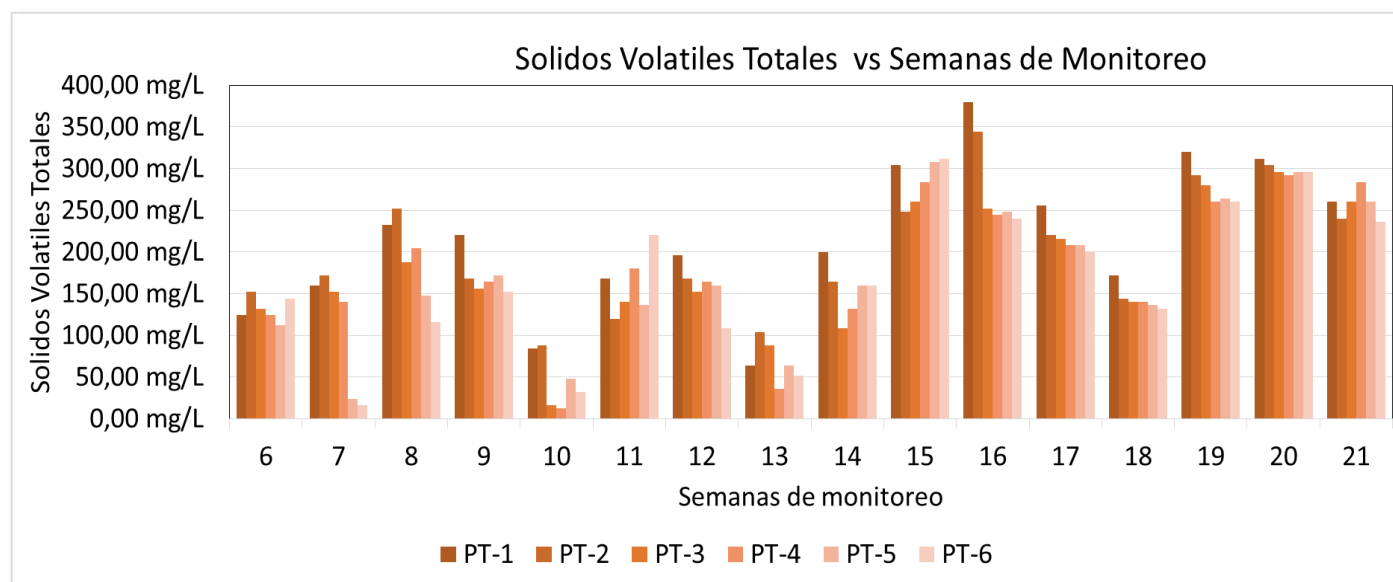
Sólidos Volátiles Totales, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS

SVT (mg/l)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	$215,75 \pm 87,75$	$198,75 \pm 75,16$	$177,25 \pm 77,83$	$179,25 \pm 83,32$	$171,50 \pm 86,85$	$167,22 \pm 90,39$
Máximo	380,00	344,00	296,00	292,00	308,00	311,60
Mínimo	64,00	88,00	16,00	12,00	24,00	16,00

Los sólidos volátiles totales fueron monitoreados desde la semana 6 hasta la semana 21 de la investigación; en la Figura 27, se aprecia que se obtuvo el valor máximo de 380 mg/l en el punto de monitoreo PT-1, durante la semana 16; el valor mínimo de 16.00 mg/l, en el punto de monitoreo PT-6, durante la semana 7.

Figura 27

Solidos volátiles totales promedio semanal durante las semanas de monitoreo de la investigación

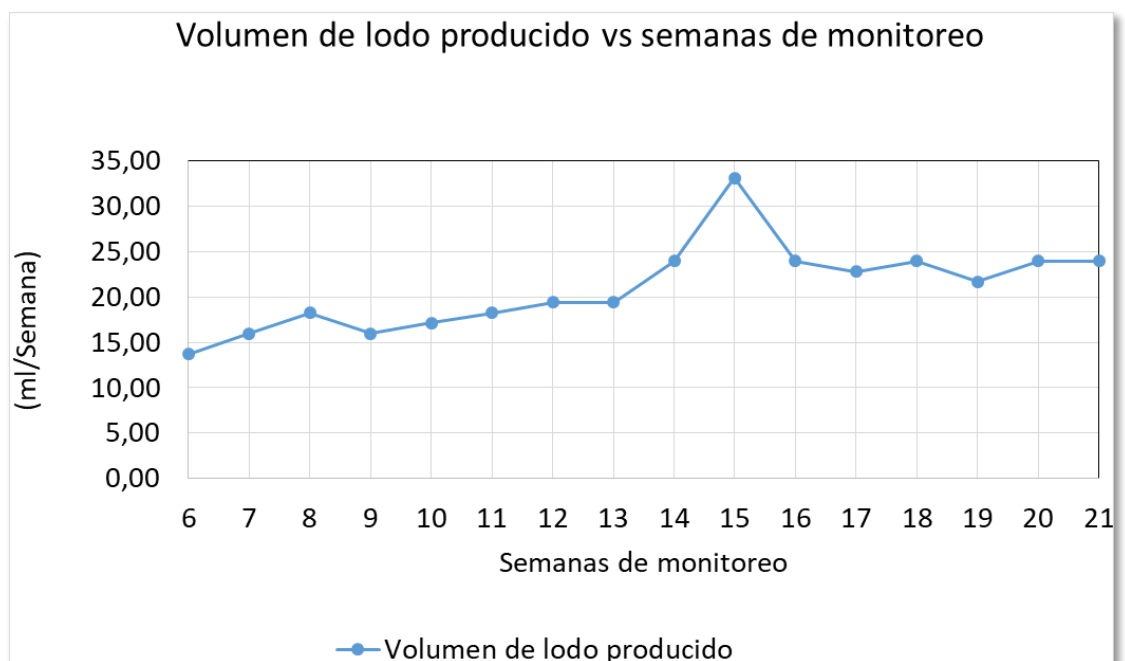


4.2.13. Producción de lodos en zona de sedimentación

La medición de la producción de lodos se realizó desde la semana 6 hasta la semana 21 de la investigación; en la Figura 28 se aprecia el incremento del volumen de lodo, esto muy probablemente sea, debido al desprendimiento de biopelícula de la superficie del medio de soporte.

Figura 28

Volumen de lodo producido durante las semanas de monitoreo



Según la Figura 28, se tiene una producción máxima de lodo de 28.53ml durante la semana 15, la producción mínima de lodo fue de 13.69ml durante la semana 6 y se tuvo una producción promedio de 20.97 ± 4.71 ml/semana.

4.2.14. Nitrógeno amoniacal

La medición de nitrógeno amoniacal se realizó en 8 oportunidades, en las semanas 12, 13, 14, 16, 18,19, 20 y 21 de la investigación.

En la Tabla 27, se aprecia la reducción del nitrógeno amoniacal, ingresando al sistema, en el punto de monitoreo (PT-1) con 57.88 ± 11.43 mg/l e ir disminuyendo conforme se realiza el tratamiento hasta llegar al punto de monitoreo (PT-6) con 0.00 ± 0.00 mg/l. En el punto de monitoreo (PT-5) es 0.75 ± 0.46 mg/l.

Se obtuvo una eficiencia en la reducción de nitrógeno amoniacal de 98.70% con respecto al punto de monitoreo 5 (PT-5) y una eficiencia en la reducción del 100.00% con respecto al punto de monitoreo 6 (PT-6).

Tabla 27

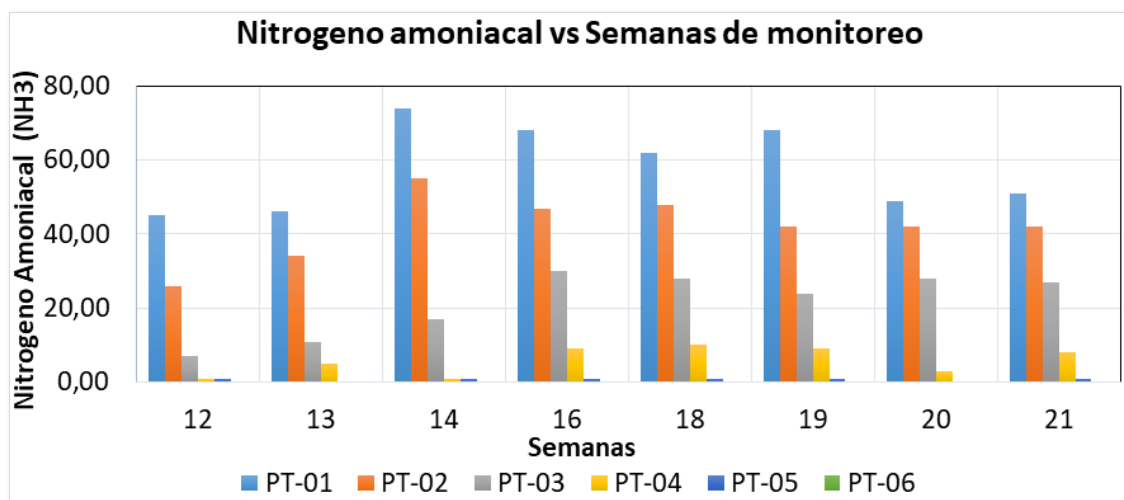
Nitrógeno Amoniacal, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS

NH ₃ (mg/l)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	$57,88 \pm 11,43$	$42,00 \pm 8,86$	$21,50 \pm 8,73$	$5,75 \pm 3,73$	$0,75 \pm 0,46$	$0,00 \pm 0,00$
Máximo	74,00	55,00	30,00	10,00	1,00	0,00
Mínimo	45,00	26,00	7,00	1,00	0,00	0,00

Mediante la Figura 29, se aprecia la disminución de nitrógeno amoniacal semanal, conforme el agua residual recorre los módulos del sistema de tratamiento. En el punto de monitoreo PT-02 hay un descenso del nitrógeno amoniacal con respecto al punto de monitoreo PT-01, por la mezcla del afluente $Q=120.96$ l/d con el agua de recirculación $Q=60.48$ l/d; este último tiene 0% de nitrógeno amoniacal por ello el descenso.

Figura 29

Comportamiento del nitrógeno amoniacal durante las semanas de monitoreo de la investigación



4.2.15. Nitritos

En la Tabla 28, se aprecia el desarrollo del nitrito, ingresando al sistema, en el punto de monitoreo (PT-1) con 6.63 ± 4.50 mg/l e ir incrementándose conforme se realiza el tratamiento hasta llegar al punto más alto, en el punto de monitoreo (PT-3) con 32.00 ± 7.93 mg/l e ir disminuyendo hasta el punto de monitoreo (PT-6) con 20.88 ± 21.93 mg/l. En el punto de monitoreo (PT-5) es 26.13 ± 20.20 mg/l.

Tabla 28

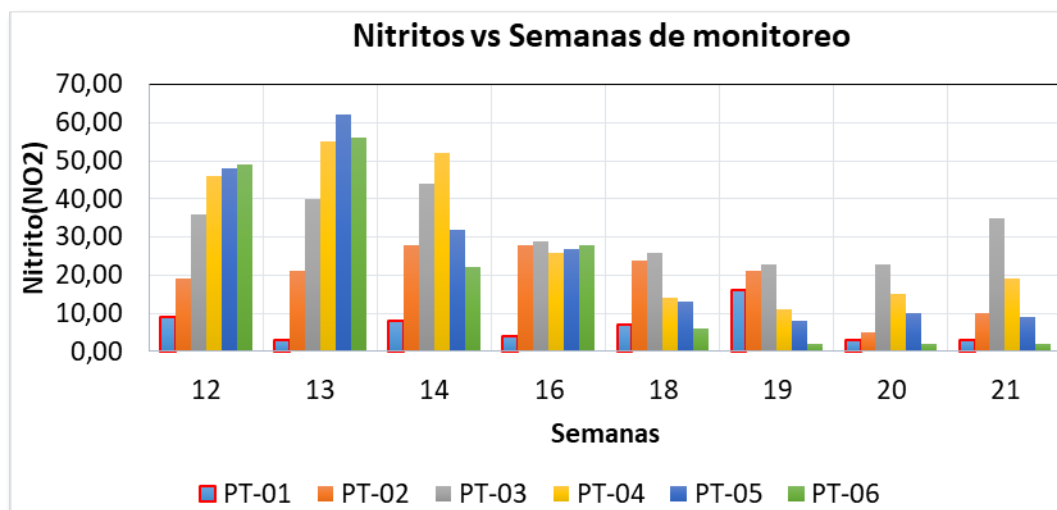
Nitrito, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS

NO ₂ (mg/l)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	6,63 ± 4,50	19,50 ± 8,19	32,00 ± 7,93	29,75 ± 18,30	26,13 ± 20,20	20,88 ± 21,93
Máximo	16,00	28,00	44,00	55,00	62,00	56,00
Mínimo	3,00	5,00	23,00	11,00	8,00	2,00

Según la Figura 30, entre la semana 12 y la semana 16 hay una tendencia a la producción de nitritos en los 4 primeros puntos de monitoreo. Entre la semana 18 y la semana 21 hay una tendencia a una baja producción de nitritos.

Figura 30

Comportamiento de los nitritos durante las semanas de monitoreo de la investigación



4.2.16. Nitratos

En la Tabla 29, se aprecia el desarrollo del nitrato, ingresando al sistema, en el punto de monitoreo (PT-1) con $12,33 \pm 7,59$ mg/l e ir incrementándose conforme se realiza el tratamiento hasta llegar al punto más alto, en el punto de monitoreo (PT-4) con $47,48 \pm 19,50$ mg/l e ir disminuyendo hasta el punto de monitoreo (PT-6) con $35,03 \pm 17,47$ mg/l. En el punto de monitoreo (PT-5) es $36,68 \pm 21,44$ mg/l.

Tabla 29

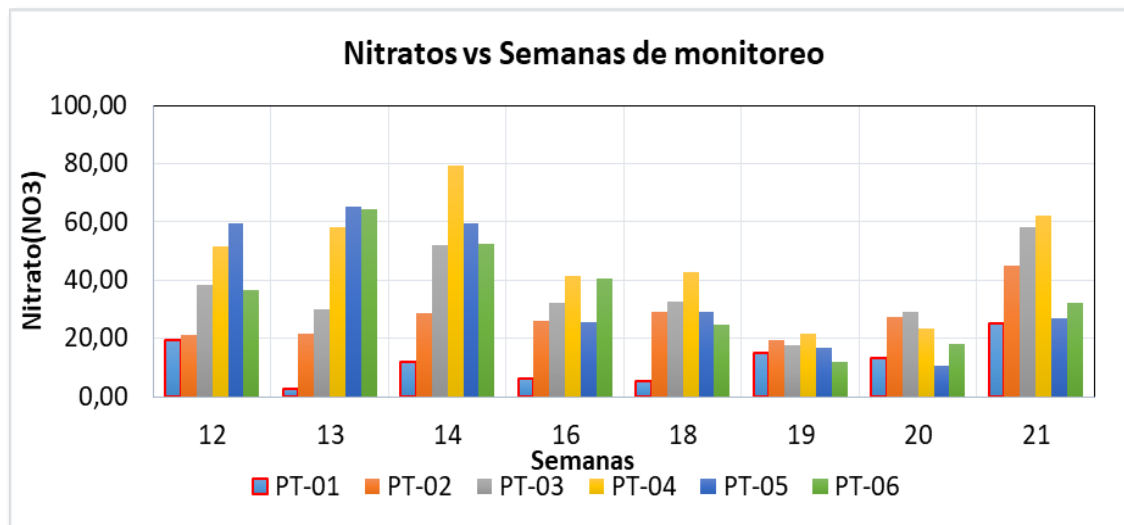
Nitratos, etapa de operación, según puntos de monitoreo del DHS

NO ₃ (mg/l)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	12,33 ± 7,59	27,19 ± 8,07	36,25 ± 13,09	47,48 ± 19,50	36,68 ± 21,44	35,03 ± 17,47
Máximo	25,00	45,00	58,00	79,20	65,20	64,40
Mínimo	2,50	19,40	17,60	21,60	10,60	11,80

Según la Figura 31, entre la semana 12 y la semana 21 hay una tendencia a la producción de nitratos en los 4 primeros puntos de monitoreo. En la semana 19 se obtuvo la menor producción de nitratos.

Figura 31

Comportamiento de los nitritos durante las semanas de monitoreo de la investigación



4.2.17. Coliformes termolerantes

Tabla 30

Resultados del ensayo de laboratorio y eficiencias respecto a los coliformes termotolerantes

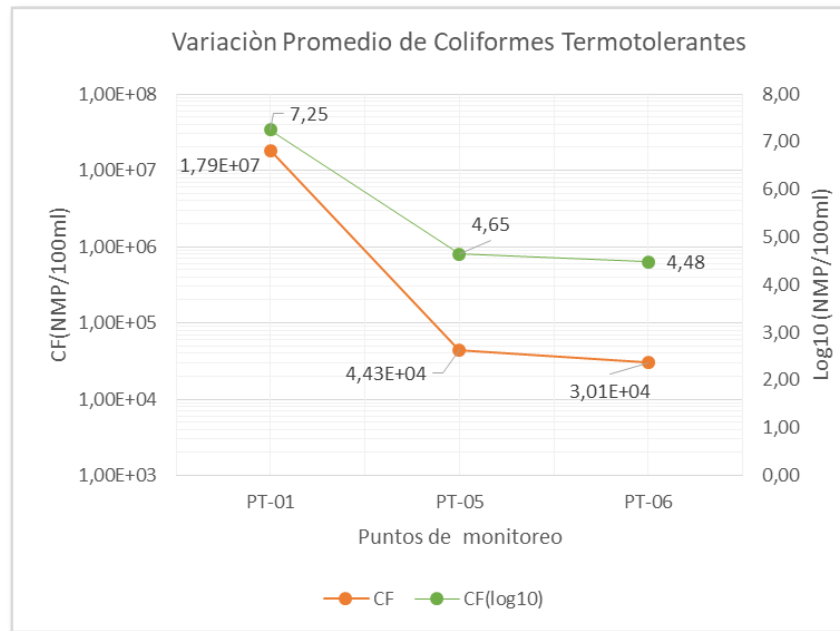
Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)	PT-01	PT-05	PT-06	Eficiencia Respecto al PT-05	Eficiencia Respecto al PT-06
Promedio	$1.79 \times 10^7 \pm 2.10 \times 10^7$	$4.43 \times 10^4 \pm 2.65 \times 10^4$	$3.01 \times 10^4 \pm 2.39 \times 10^4$	99.75%	99.83%
Máximo	5.40×10^7	7.80×10^4	6.80×10^4	-	-
Mínimo	1.30×10^6	9.80×10^3	9.50×10^3	-	-
Log10	7.25	4.65	4.48	-	-

De acuerdo con la Tabla 30, en el punto de monitoreo 1 (PT-1) se obtuvo $1.79 \times 10^7 \pm 2.10 \times 10^7$ NMP/100ml en promedio, en el punto de monitoreo 5 (PT-5) se obtuvo $4.43 \times 10^4 \pm 2.65 \times 10^4$ NMP/100ml, con ello se logra una eficiencia de reducción del 99.75%; considerando que el punto de monitoreo 6 (PT-6) obtuvo, en promedio, $3.01 \times 10^4 \pm 2.39 \times 10^4$ NMP/100ml, tal como se identifica en la Figura 32, con ello se logra una eficiencia de reducción del 99.83%. Analizando estos 02 puntos

de monitoreo, la eficiencia de reducción del sedimentador es casi nula, incrementándola solamente en 0.08% en promedio.

Figura 32

Variación promedio de coliformes termotolerantes



4.2.18. Resultados en la zona de distribución

Durante el funcionamiento del brazo giratorio, zona de distribución, los agujeros, que median 1/8" de diámetro se llenaban de una sustancia blanquecina, a tal punto de minimizar e impedir el flujo del agua para el proceso de tratamiento; como solución a ese problema, se realizó las perforaciones en la tubería con una broca de 1/4", incrementándose el diámetro y solucionando el problema.

Capítulo V. Análisis de resultados y contrastación de hipótesis

En este capítulo se analizará y discutirá los resultados de los parámetros que fueron evaluados durante el desarrollo de la investigación y se realizará la contrastación de la hipótesis.

5.1. Verificación del cumplimiento de la hipótesis respecto a la DBO₅

La hipótesis respecto a la DBO₅ fue, que se obtenga una eficiencia de reducción de DBO₅ del 85%; en ese aspecto, obtenida los valores de O.D. y aplicando los métodos estándar del análisis de agua potable y aguas residuales APHA-AWWA-WEF-SM 5210 B, 23va, se obtuvo la DBO₅ promedio y la desviación estándar en cada punto de monitoreo, como se identifica en la Tabla 31.

Tabla 31

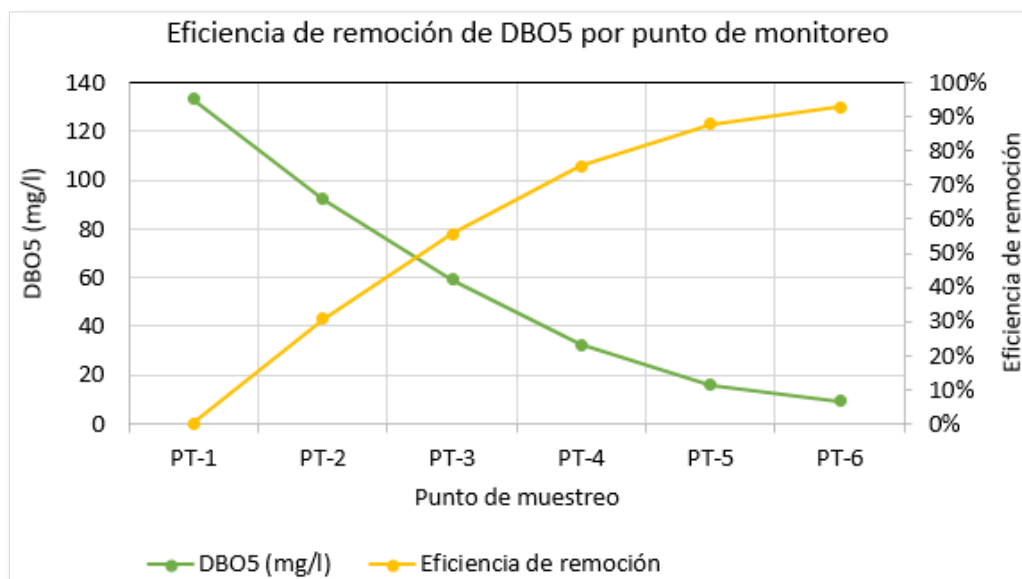
DBO promedio y eficiencia de remoción, según puntos de monitoreo del DHS

DBO ₅ (mg/l)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	133,15 ± 20,25	92,06 ± 22,11	59,14 ± 28,67	32,40 ± 21,15	16,12 ± 9,39	9,49 ± 7,43
Eficiencia de remoción acumulada	0.00%	30.86%	55.59%	75.66%	87.90%	92.87%
Eficiencia de remoción parcial	0.00%	30.86%	24.73%	20.08%	12.23%	4.98%

La eficiencia de reducción de DBO₅ fue del 92.87%, considerando el punto de monitoreo 1 (PT-1) con respecto al punto de monitoreo 6 (PT-6). En caso no se consideré el sedimentador; es decir, determinando la eficiencia de reducción respecto al punto de monitoreo 5 (PT-5), la eficiencia es del 87.90%.

Figura 33

Eficiencia de remoción de la DBO₅ por punto de monitoreo



Se puede afirmar que la DBO₅ en el punto de monitoreo 2 (92.06 ± 22.11 mg/l) disminuyó respecto al punto de monitoreo 1 (133.15 ± 20.25 mg/l) en un 30.86% por la mezcla del afluente ($Q=120.96$ l/d) con el agua de la recirculación ($Q=60.48$ l/d). También que la reducción de la DBO₅ del punto de monitoreo 3 (59.14 ± 28.67 mg/l) respecto al punto de monitoreo 2 (92.06 ± 22.11 mg/l) es de 24.73%, debido a la acción de la biopelículas formadas en las esponjas endurecidas, de la misma manera para el punto de monitoreo 4 (32.40 ± 21.15 mg/l) respecto al punto de monitoreo 3 (59.14 ± 28.67 mg/l) es de 20.08%, y del punto de monitoreo 5 (16.12 ± 9.39 mg/l) respecto al punto de monitoreo 4 (32.40 ± 21.15 mg/l) es de 12.23%. Se aprecia una disminución de eficiencia de remoción de la DBO₅ en los módulos DHS de tratamiento, esto debido a que el módulo 1, sería el primer medio con el cual tiene contacto el agua residual, consecuentemente, cuando el agua residual llega al segundo módulo, ya las biopelículas encuentran menor materia orgánica respecto al módulo 1, se utilizaría el mismo criterio para el tercer módulo. La reducción de la DBO₅ del punto de monitoreo 6 (9.49 ± 7.43 mg/l) respecto al punto de monitoreo 5 (16.12 ± 9.39 mg/l) es de 12.23%,

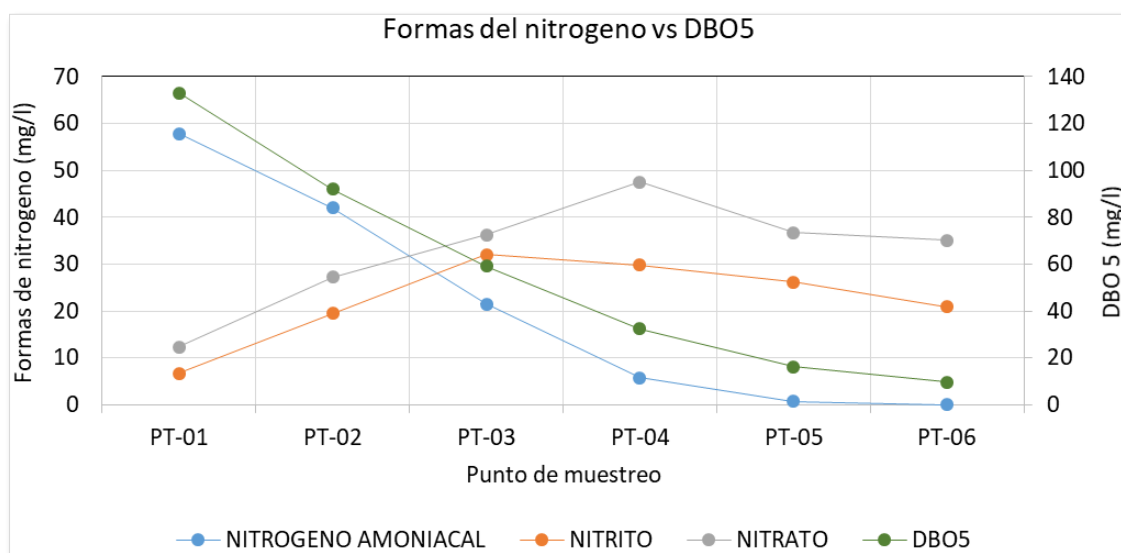
se debe a que aún existe materia orgánica y se tiene O.D. al, del orden de $6,94 \pm 0,89$ mg/l.

5.2. Formación de nitratos en los módulos del DHS.

Como se aprecia en la Figura 34, la mayor formación de nitratos se desarrolló en el segundo módulo del DHS, lo cual se verifica con los resultados en el punto de monitoreo PT-4 indicados en la Tabla 32. Considero que aquí tenga mucho que ver la recirculación de agua, debido a que está ya cuenta con nitritos y nitratos en su retorno.

Figura 34

Formas del nitrógeno promedio en cada punto de monitoreo vs DBO₅



Se puede interpretar que la nitrificación ocurrió en el módulo 1,2 y 3 pero en mayor medida en el módulo 2; es decir, las bacterias nitrificantes del género nitrosomona estuvieron oxidando el nitrógeno amoniacal (NH_3) con la formación de nitritos; igualmente, las bacterias del género Nitrobacter oxidaron los nitritos para formar nitratos, compuestos menos tóxicos y más estables.

Tabla 32

Comparativa de DBO₅ con las formas de nitrógeno, según puntos de monitoreo del DHS

PARÁMETROS	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
NITROGENO AMONIAL (mg/l)	57.88	42.00	21.50	5.75	0.75	0.00
NITRITO (mg/l)	6.63	19.50	32.00	29.75	26.13	20.88
NITRATO (mg/l)	12.33	27.19	36.25	47.48	36.68	35.03
DBO5 (mg/l)	133.15	92.06	59.14	32.40	16.12	9.49

De la Figura 34 se puede inferir que la DBO₅ tiene una relación directamente proporcional con el nitrógeno amoniacal, debido a que, estos dos parámetros son reducidos en el DHS de sexta generación. Esto se puede deber a que DBO₅ es un indicador de materia orgánica y el nitrógeno amoniacal está presente como producto de la descomposición de la materia orgánica nitrogenada.

Cuando la materia orgánica se descompone en presencia de oxígeno, parte del nitrógeno orgánico se convierte en amonio, y en las mismas condiciones aeróbicas y con presencia de bacterias nitrificantes (nitrosomonas) el amonio puede convertirse en nitrito y posteriormente en nitrato, por el proceso de nitrificación.

5.3. Conversión del nitrógeno amoniacal respecto a los puntos de monitoreo

Se obtuvo el valor numérico promedio del nitrógeno amoniacal (NH₃) y desviación estándar en cada punto de monitoreo, como se identifica en la Tabla 33.

Se verificó que la eficiencia de conversión del DHS G6 y el sedimentador, es decir entre el punto de monitoreo 1 y el punto de monitoreo 6, es del 100%; considerando solo el DHS G6, entre el punto de monitoreo 1 y el punto de monitoreo 5, es del 98.70%, tal como se indica en la Tabla 33; esto se puede apreciar gráficamente en la Figura 35.

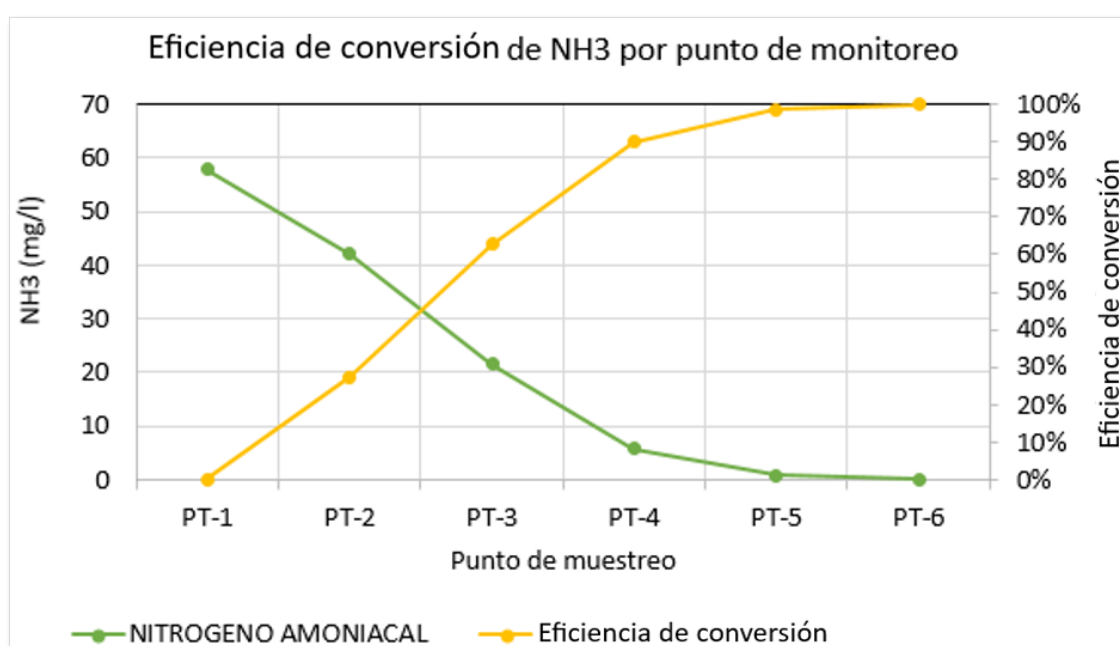
Tabla 33

Nitrógeno Amoniacal promedio, según puntos de monitoreo del DHS

NH ₃ (mg/l)	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Promedio	57,88	42,00	21,50	5,75	0,75	0,00
	±	±	±	±	±	±
	11,43	8,86	8,73	3,73	0,46	0,00
Eficiencia de conversión acumulada	0.00%	27.43%	62.85%	90.06%	98.70%	100.00%
Eficiencia de conversión parcial	0.00%	27.43%	35.42%	27.21%	8.64%	1.30%

Figura 35

Eficiencia de conversión del NH₃ por punto de monitoreo



5.4. Efectos del oxígeno disuelto con relación a la DBO₅ en los puntos de monitoreo

En el Tabla 34, se aprecia el incremento del OD desde el punto de monitoreo PT-1 (OD=0,32 ± 0,23 mg/l) al PT-5 (OD=7,51 ± 0,82 mg/l), conforme fluye el agua residual por el sistema de tratamiento del DHS G6; esto ocurre en el punto de monitoreo 2, por la mezcla del afluente con el agua recirculada (que ya cuenta con alto OD), en el caso de los puntos de monitoreo 3, 4 y 5, el incremento de OD ocurre, debido a que físicamente los módulos de tratamiento tienen separaciones para que el agua residual entra en contacto de manera natural con el aire del ambiente, generando

la solubilidad del oxígeno en el agua; complementariamente, en el PT-6 ($OD=6,94\pm0,89$ mg/l) ocurre un descenso respecto al PT-5 ($7.51\pm0,82$ mg/l), pudiendo deberse a la actividad biológica que no debería ocurrir en un sedimentador.

Tabla 34

Relación entre la DBO_5 promedio y OD promedio, según puntos de monitoreo del DHS

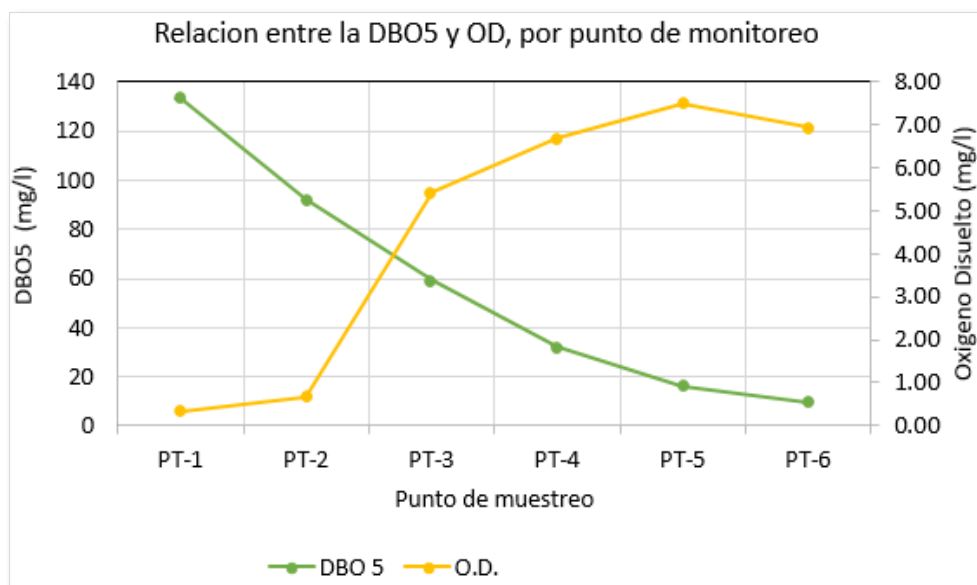
Parámetros a comparar	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
DBO_5	133.15	92.06	59.14	32.40	16.12	9.49
O.D.	0.32	0.66	5.44	6.68	7.51	6.94

Así mismo, en la Tabla 34 se visualiza que la demanda bioquímica de oxígeno disminuye, desde el punto de muestreo PT-1 ($133,15 \pm 20.25$ mg/l) al PT-6 ($9,49 \pm 7,43$ mg/l), esto ocurre en el punto de monitoreo 2, por la mezcla del afluente con el agua recirculada (que ya cuenta con bajo DBO_5), en el caso de los puntos de monitoreo 3,4 y 5, el descenso de DBO_5 es debido a la acción de los microorganismos que se encuentran en las biopelículas, los cuales consumen la DBO_5 . En el punto de monitoreo 6, se aprecia disminución de la DBO_5 , esto se puede deber a que los sólidos suspendidos y parte de la materia orgánica presente en el agua, tienda a asentarse en el fondo debido a la gravedad.

Como se aprecia en la Figura 36, entre los puntos de monitoreo 3,4, y 5, la relación de la DBO_5 es inversamente proporcional al incremento de OD.

Figura 36

Comportamiento de la DBO₅ y el oxígeno disuelto promedio en cada punto de monitoreo de la investigación



5.5. Efectos del oxígeno disuelto en la conversión del nitrógeno

Con los resultados obtenidos y analizando el oxígeno disuelto con las formas de nitrógeno, se aprecia la disminución del nitrógeno amoniacal e incremento de nitrito, que a su vez generan nitrato en presencia de oxígeno molecular (proceso aerobio) en los puntos de monitoreo PT-3 y PT-4 principalmente, tal como se identifica en la Tabla 35.

Tabla 35

comparativa de OD con las formas de nitrógeno, según puntos de monitoreo del DHS

Parámetros a comparar	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
NITROGENO AMONIACAL (mg/l)	57.88	42.00	21.50	5.75	0.75	0.00
NITRITO (mg/l)	6.63	19.50	32.00	29.75	26.13	20.88
NITRATO (mg/l)	12.33	27.19	36.25	47.48	36.68	35.03
OD (mg/l)	0.31	0.64	5.36	6.64	7.46	6.87

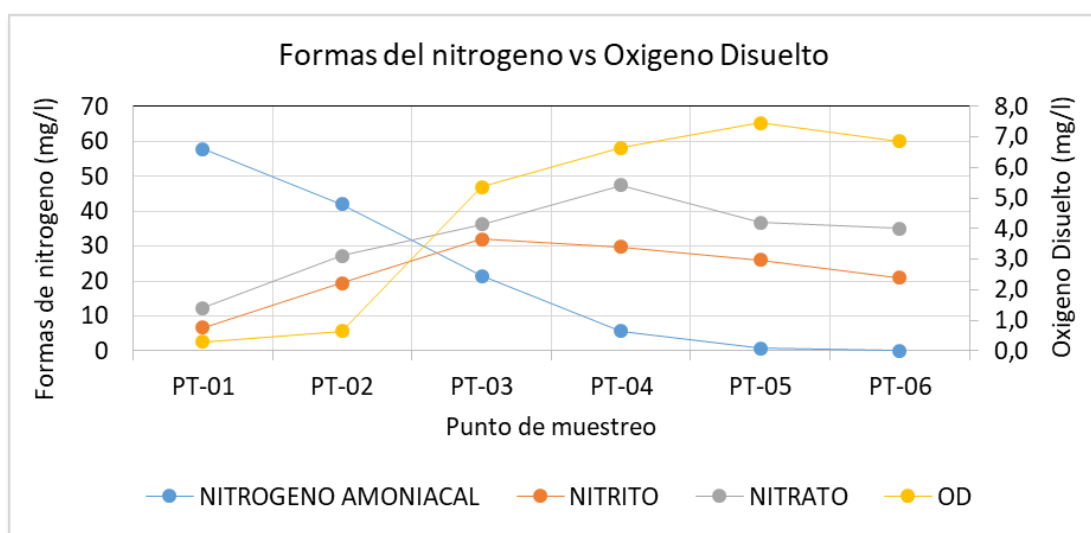
En la Figura 37, se visualiza que, en general, a mayor incremento de oxígeno en el medio de soporte, mayor es el proceso de conversión del nitrógeno amoniacal (paso del PT-2 con $42,00 \pm 8,86$ mg/l al PT-3 con $21,50 \pm 8,73$ mg/l en promedio) y el

nitrito se incrementó del PT-2 de $19,50 \pm 8,19$ mg/l a $32,00 \pm 7,93$ mg/l en el punto de monitoreo PT-3.

En los puntos de monitoreo PT-5 y PT-6, la cantidad de nitrógeno amoniacal es casi nula, debido a la conversión a nitrito, esto directamente relacionado con el oxígeno disuelto que viene a darse por la ventilación natural que tiene el sistema de tratamiento, haciendo que el nitrógeno se transforme en nitrito y nitratos sucesivamente.

Figura 37

Formas del nitrógeno promedio en cada punto de monitoreo vs OD



5.6. Análisis de los sólidos suspendidos totales respecto a la DBO_5

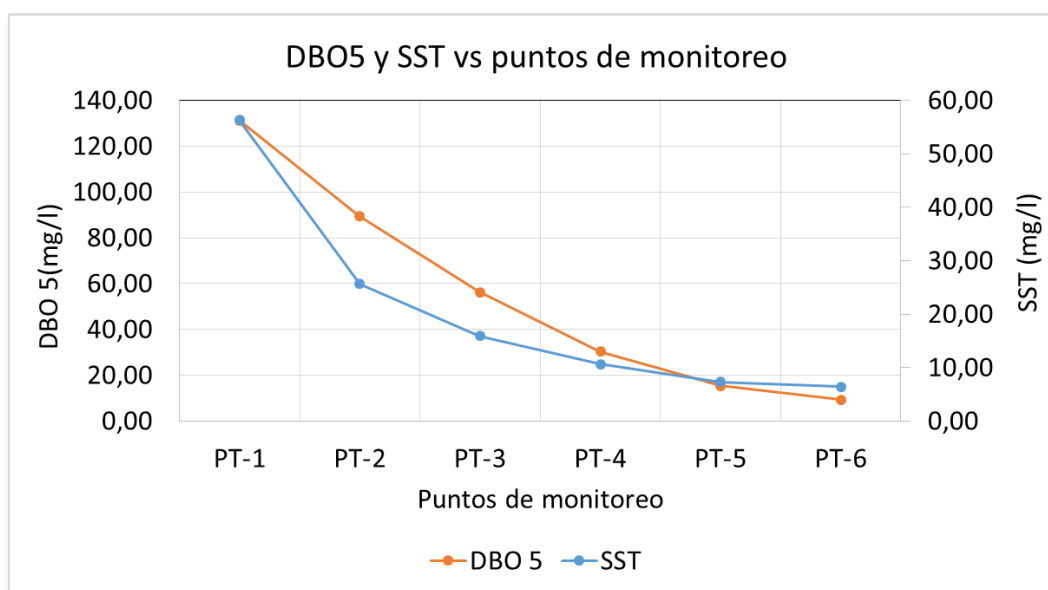
En la Figura 38, se aprecia el descenso de la demanda bioquímica de oxígeno de $133,15 \pm 20,25$ mg/l en el punto de monitoreo PT-1 a $9,49 \pm 7,43$ mg/l en el PT-6 y a su vez el descenso de los sólidos suspendidos totales conforme continua el flujo de tratamiento de $55,51 \pm 21,16$ mg/l en el PT-1 a $6,41 \pm 2,77$ mg/l en el PT-6; esto quiere decir que los sólidos suspendidos totales están relacionados directamente con la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno.

La reducción de SST entre el punto de monitoreo PT-1 y el PT-2 es principalmente por la mezcla que ocurre entre el caudal de ingreso del afluente y la línea de recirculación reduciendo en promedio un 54.94%.

La reducción de SST de $25,01 \pm 9,95$ mg/l a $15,59 \pm 7,27$ mg/l, con una eficiencia de reducción del 16.97% en el primer módulo de tratamiento, de $15,59 \pm 7,27$ mg/l a $10,65 \pm 4,31$ mg/l., con una eficiencia de reducción del 8.91% en el segundo módulo de tratamiento y $10,65 \pm 4,31$ mg/l a $7,40 \pm 2,72$ mg/l, logrando una eficiencia de solo el 5.86% en el tercer módulo, indican que el módulo 2 y módulo 3 no generan un aporte significativo al rendimiento.

Figura 38

Comportamiento de los SST y la DBO5 promedio en cada punto de monitoreo de la investigación

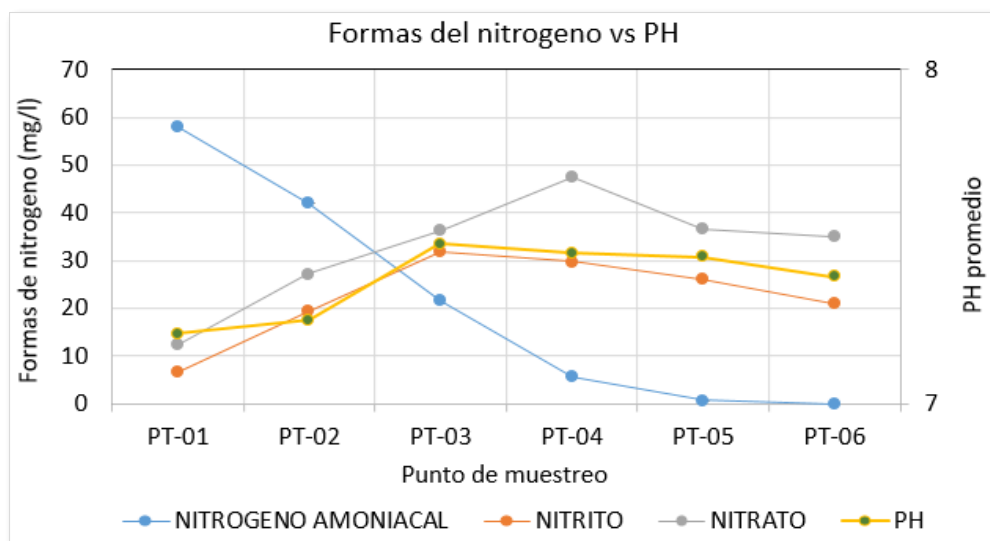


5.7. Análisis del PH respecto a las formas de nitrógeno en el agua residual

En la Figura 39, desde el punto de muestreo PT-3, se aprecia la relación directamente proporcional que tiene la formación de nitritos y nitratos con la variación del PH, en el sistema de tratamiento del DHS de sexta generación.

Figura 39

Comportamiento del PH promedio en relación con las formas de nitrógeno en el agua residual en cada punto de monitoreo de la investigación



Esto se puede dar debido, a la producción de CO_2 por las bacterias en el proceso de respiración aerobia y la liberación de radicales H^+ del proceso de nitrificación genera un descenso del PH; sin embargo, la disminución de PH es mínimo, y considerando que entre el PT-2 y PT-3, hubo un descenso de nitrógeno amoniacal e incremento en la formación de nitrito y nitrato, y así mismo el PH se incrementó, es posible que ocurra otras reacciones que estén incrementándola, tales como liberación de iones hidroxilo (OH^-) como producto de la oxidación, la formación de ácidos orgánicos como descomposición de la materia orgánica o lo que se pudo apreciar en la etapa de monitoreo, formación de pasta blanca en un filtro (posiblemente presencia de sulfuros), se podría decir que estos últimos tendrían una mayor influencia que los anteriores en el proceso.

Tabla 36

Comportamiento del PH promedio con las formas de nitrógeno, según puntos de monitoreo del DHS

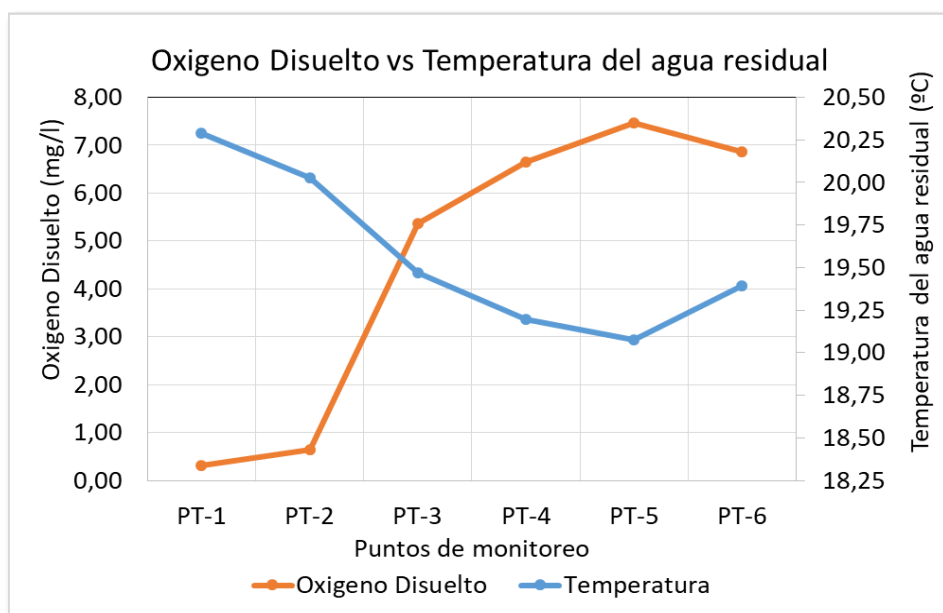
PARÁMETROS	Puntos de monitoreo					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
NITROGENO AMONIAL (mg/l)	57.88	42.00	21.50	5.75	0.75	0.00
NITRITO (mg/l)	6.63	19.50	32.00	29.75	26.13	20.88
NITRATO (mg/l)	12.33	27.19	36.25	47.48	36.68	35.03
PH	7.21	7.25	7.48	7.45	7.44	7.38

5.8. Análisis del oxígeno disuelto respecto a la temperatura del agua residual

En la Figura 40, se aprecia el incremento del oxígeno disuelto, principalmente del punto de muestreo PT-2 (OD=0.66 ± 0.50 mg/l) al PT-5 (OD=7.51 ± 0.82 mg/l), conforme fluye el agua residual por el sistema de tratamiento del DHS G6; adicional a ello, notamos que la temperatura del agua residual, principalmente del punto de muestreo PT-2 (20.03°C) al PT-5 (19.07°C), desciende inversamente proporcional al incremento de oxígeno disuelto.

Figura 40

Comportamiento del oxígeno disuelto promedio en relación con la temperatura promedio del agua residual en cada punto de monitoreo de la investigación



La transferencia de oxígeno ambiental ocurre por contacto de las gotas de agua con el aire en la zona de distribución, por el espaciamiento de 10cm dejado entre cada módulo, por el espacio libre antes del primer módulo y después del tercer módulo; por la forma de distribución aleatoria de las esponjas endurecidas en los módulos; además de que las esponjas de poliuretano del tipo celdas abiertas. Estas condiciones establecen que ocurra una excelente transferencia de gases.

5.9. Análisis de la relación entre la temperatura ambiental y la temperatura del agua residual

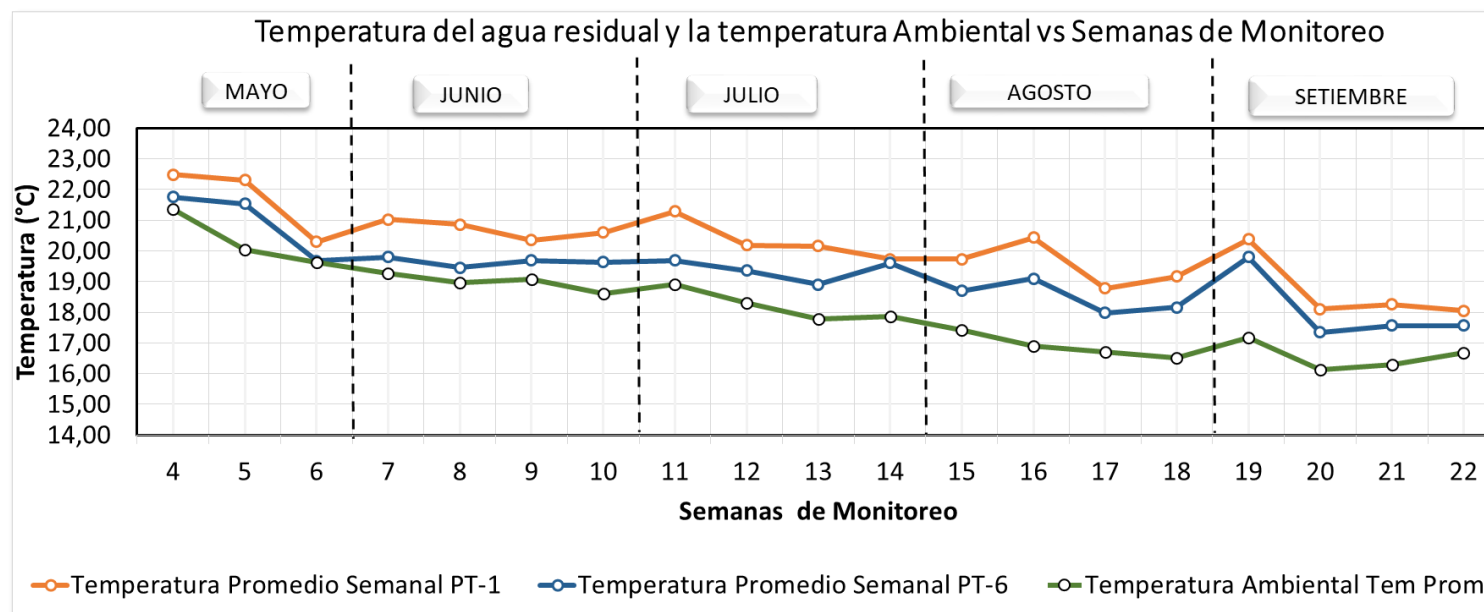
En la Figura 41 se aprecia que la temperatura del agua residual del afluente del sistema de tratamiento (en el punto de monitoreo 1) y en el efluente del sistema tratamiento (en el punto de monitoreo 6) tiene durante todo el periodo de monitoreo una temperatura ligeramente mayor con respecto a la temperatura ambiental. Durante la semana 6 ocurre la mínima diferencia de $0.66\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre la temperatura ambiental con respecto al punto de monitoreo 1 y la mínima diferencia de $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre la temperatura ambiental con respecto al punto de monitoreo 6.

La temperatura del agua residual sea del punto de monitoreo PT-1 o punto de monitoreo PT-6 es superior a la temperatura ambiental durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y setiembre debido al calor específico del agua (4.186 J/g.K) con respecto al aire (1.012 J/g.K) y al tiempo corto que tiene contacto directo. El sistema de ventilación natural del DHS brinda que el medio filtrante este en contacto con el aire del ambiente ocurriendo una transferencia de energía por calor haciendo que la temperatura del agua descienda (ley de enfriamiento newtoniano). Sin embargo, no se iguala a la temperatura ambiental.

El punto de monitoreo PT-1 tiene una temperatura mayor, debido a que el afluente viene de un tratamiento anaerobio.

Figura 41

Temperatura promedio semanal del agua residual y del ambiente durante el periodo de investigación



5.10. Efectos de la variación de sólidos disueltos totales sobre la conductividad eléctrica

Tabla 37

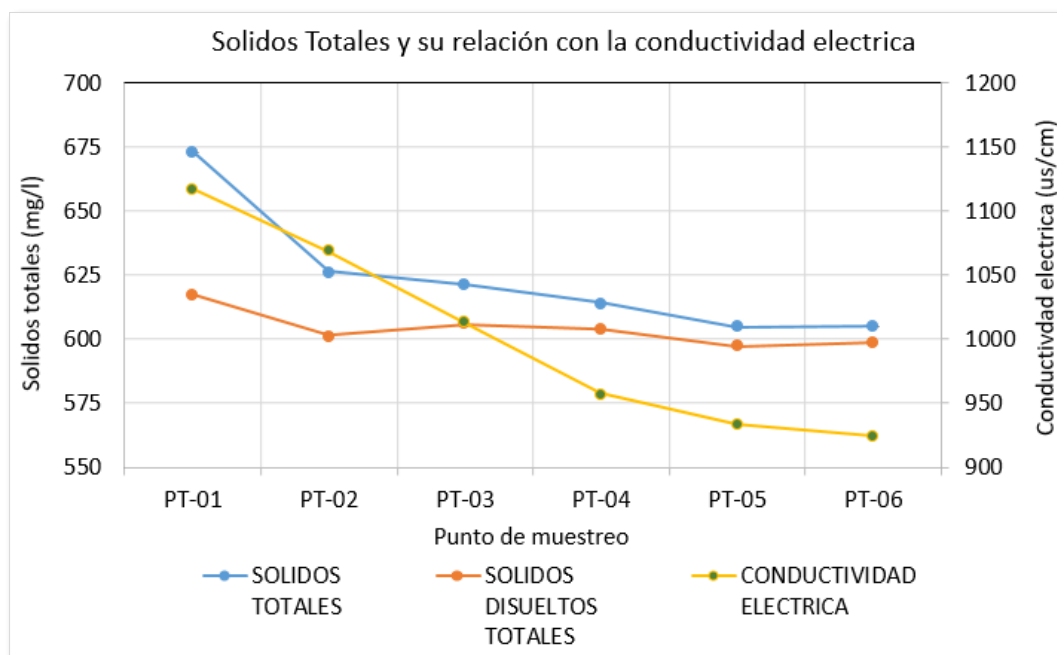
Comportamiento de los Sólidos disueltos totales sobre la conductividad eléctrica, según puntos de monitoreo del DHS

PARÁMETROS	Puntos de monitoreo					
	PT-01	PT-02	PT-03	PT-04	PT-05	PT-06
SOLIDOS TOTALES (mg/l) Dee acuerdo con el	621.5	614.5	604.75	605		
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (mg/l)	617.74	601.49	605.91	603.85	597.35	598.59
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	1117.31	1069.01	1012.98	957.63	933.87	924.21

En la Figura 42, se aprecia el descenso de los sólidos totales y los sólidos disueltos totales, de igual manera disminuye la cantidad de conductividad eléctrica, en ese aspecto podemos indicar que los sólidos disueltos totales tienen una relación directa con la conductividad eléctrica. Los sólidos disueltos totales se refieren a la cantidad total de materia sólida disuelta en el agua, mientras que la conductividad eléctrica mide la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica debido a la presencia de iones disueltos.

Figura 42

Comportamiento de promedio en relación con la temperatura promedio del agua residual en cada punto de monitoreo de la investigación



5.11. Cumplimiento de LMP para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales.

Realizando la comparativa del cumplimiento de los LMP de efluente de una PTAR, con los valores obtenidos, se aprecia que los coliformes termotolerantes no cumplen con los LMP; por tanto, es necesario un tratamiento terciario que permita reducirlos

Tabla 38

Comparativa de LMP de PTAR con parámetros investigados

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP	PUNTO DE MONITOREO	
			PT-5	PT-6
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10000	44300	30100
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	16.12	9.49
pH	unidad	6.5-8.5	7.44	7.38
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150	7.4	6.41
Temperatura	°C	<35	< 18.62	<18.96

Conclusiones

- Se cumplió la hipótesis respecto a la eficiencia de reducción de la DBO_5 , obteniéndose 92.87%, considerando el DHS más el sedimentador; considerando solamente el DHS de sexta generación, la eficiencia es del 87.9%.
- Se identificó que la nitrificación ocurrió en los 03 módulos de tratamiento del DHS; la mayor formación se desarrolló en el segundo módulo del DHS obteniéndose $47,48 \pm 19,50 \text{ mg/l}$, considero que aquí tenga mucho que ver la recirculación de agua, debido a que está ya cuenta con nitritos y nitratos en su retorno.
- En el DHS de sexta generación con recirculación del 50%, la eficiencia de conversión del DHS G6 y el sedimentador, es decir entre el punto de monitoreo 1 y el punto de monitoreo 6, es del 100%; considerando solo el DHS G6, entre el punto de monitoreo 1 y el punto de monitoreo 5, se obtuvo 98.70%.
- El DHS de sexta generación con recirculación del 50%, tiene una ventilación natural optima haciendo que el oxígeno disuelto en el punto de monitoreo 1 (PT-1) tenga 0.32 mg/l y logre 7.51 mg/l en el punto de monitoreo 5 (PT-5); en el caso de los puntos de monitoreo 3, 4 y 5, el incremento de OD ocurre, debido a que físicamente los módulos de tratamiento tienen separaciones para que el agua residual entra en contacto de manera natural con el aire del ambiente, generando la solubilidad del oxígeno en el agua.
- La DBO_5 y el nitrógeno amoniacal tienen una relación directa, dado que estos 02 parámetros son reducidos en el DHS, esto se puede deber a que DBO_5 es un indicador de materia orgánica y el nitrógeno amoniacal está presente como producto de la descomposición de la materia orgánica nitrogenada.

- El PH y la formación de nitritos y nitratos tienen una relación directa, esto se puede dar debido, a la producción de CO_2 por las bacterias en el proceso de respiración aerobia y la liberación de radicales H^+ del proceso de nitrificación genera un descenso del PH; sin embargo, la disminución de PH es mínimo, y considerando que entre el PT-2 y PT-3, hubo un descenso de nitrógeno amoniacal e incremento en la formación de nitrito y nitrato, y así mismo el PH se incrementó, es posible que ocurra otras reacciones que estén incrementándola, tales como liberación de iones hidroxilo (OH^-) como producto de la oxidación, la formación de ácidos orgánicos como descomposición de la materia orgánica o lo que se pudo apreciar en la etapa de monitoreo, formación de pasta blanca en un filtro (posiblemente presencia de sulfuros), se podría decir que estos últimos tendrían una mayor influencia que los anteriores en el proceso.
- Existe una relación inversa entre el oxígeno disuelto y la temperatura del agua residual, una de las razones por las cuales ocurre ello, es por la transferencia de oxígeno que se encuentra a temperatura ambiente, al medio acuoso, que se encuentra a mayor temperatura, ocurriendo internamente una transferencia de calor por convección. La transferencia de oxígeno ambiental ocurre por contacto de las gotas de agua con el aire en la zona de distribución, por el espaciamiento de 10cm dejado entre cada módulo, por el espacio libre antes del primer módulo y después del tercer módulo; por la forma de distribución aleatoria de las esponjas endurecidas en los módulos; además de que las esponjas de poliuretano del tipo celdas abiertas. Estas condiciones establecen que ocurra una excelente transferencia de gases.
- El DHS de sexta generación, con medio de soporte en forma de anillo endurecido con pintura epóxica, con dimensiones 5.0cm de diámetro externo, por 2.0cm de diámetro interno y 5.0 cm de altura, estuvo en operación durante 111 días demostró ser eficiente como tratamiento secundario.

- El DHS de sexta generación con recirculación del 50%, se desarrolló durante las temperaturas más bajas del año (temperatura promedio de 16.58°C en el ambiente) y obtuvo buenos resultados respecto a la reducción de DBO₅, SST, NH₃ alcanzando 87.90%, 86.68% y 98.7% respectivamente.
- El DHS de sexta generación con recirculación del 50%, solo obtuvo una eficiencia promedio del 99.75% respecto a la reducción de coliformes termotolerantes, con ello se determinó que el efluente del DHS contiene 3-4 veces más coliformes termotolerantes, que deben ser removidas; en ese aspecto, es necesario un tratamiento terciario para lograr el cumplimiento de los LMP de PTAR.
- El PH durante todo el periodo de la investigación se encontró dentro entre 6.3 y 8.05, rango adecuado para el crecimiento de los microorganismos.
- El DHS de sexta generación con recirculación del 50%, tiene una excelente reducción de la turbiedad logrando una eficiencia de reducción del 87.3%, esto principalmente a la acción de la biopelícula desarrollada alrededor del medio filtrante y a su vez a la retención por los intersticios del mismo medio (poros de la esponja endurecida).
- La temperatura del agua residual fue superior siempre a la temperatura del aire a pesar de la gran ventilación natural que tenía el sistema de tratamiento.

Recomendaciones

- Se recomienda realizar los monitoreos de todos los parámetros a analizar desde la puesta en marcha, con el fin de obtener información y definir con mayor claridad la estabilización del sistema de tratamiento y dar por finalizado la etapa de puesta en marche e inicios de la operación del sistema.
- Se recomienda realizar el bombeo de las aguas del UASB directamente al DHS, evitando almacenamientos preliminares que pueden funcionar como sedimentadores; en caso esto no sea posible, colocar paletas deflectoras con rotación mecánica.
- Se recomienda cuantificar la resistencia del medio de soporte endurecido, con la finalidad de conocer la cantidad de masa o carga que pueda soportar para plasmarlo a gran escala.
- Se recomienda continuar con la investigación para tiempos más prolongados, con la finalidad de conocer la vida útil del medio de soporte, realizar la renovación del medio de soporte por saturación, conocer el funcionamiento en todas estaciones del año.
- Se recomienda realizar un análisis mensual a un medio filtrante de cada módulo del DHS, con la finalidad de conocer el incremento de la carga orgánica y ver microscópicamente que tipo de microorganismos se encuentran en desarrollo en cada etapa y la conocer la profundidad o avance de formación de colonias, con respecto al espesor del medio de soporte.
- Una recomendación importante sería saturar el medio de soporte, con agua residual con la finalidad de no dejar vacíos en su interior; a su vez facilitar la formación de las colonias que posteriormente formen la biopelícula y ocurra un desarrollo más rápido de los microorganismos.

- Se recomienda cubrir las tuberías y módulos con plásticos oscuros, esto, debido a que la radiación solar propicia la formación de algas tanto en las tuberías de alimentación y módulos de tratamiento.
- Se recomienda la colocación de mallas protectoras que impidan el acceso de las moscas al medio filtrante y dejen sus larvas, las cuales consumen la materia orgánica y retarden la formación de la capa biológica.
- Se recomienda realizar análisis de Demanda Química de Oxígeno, Nitrógeno Kjeldahl y nitrógeno total en cada punto de monitoreo.

Referencias bibliográficas

Agrawal, L. K., Ohashi, Y., Mochida, E., Okui, H., Ueki, Y., & Harada, H. (1997). *Treatment of raw sewage in a temperate climate using a UASB reactor and the hanging sponge cubes process*. Water Science and Technology, 433-440.

Becker, G. W. (1993). Polyurethane. 425.

Behlau, I., & Gilmore, M. S. (2008). *Microbial biofilms in ophthalmology and infectious disease*.

Castillejos Lopez, W. A., & Aquino Mariluz, J. C. (2017). *Remoción de contaminantes físico química y microbiológica de un efluente de un tanque séptico mediante un sistema de esponjas endurecidas, en la localidad de Marian-Huaraz 2016*.

Obtenido de Repositorio Institucional UNASAM:
<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2230>

Cema, G., Wiszniowsky, J., Zabczyński, S., Zablocka-Godlewska, E., Raszka, A., & Surmacz-Górska. (2007). *Biological nitrogen removal from landfill leachate by deammonification assisted by heterotrophic denitrification in a rotating biological contactor (RBC)*. Wat. Sci. Tech. 55 (8-9), 35-42.

Cervantes, F. (2009). *Environmental Technologies to Treat Nitrogen Pollution*. IWA Publishing.

Chuang, H.-P., Ohashi, A., Imachi, H., Tandukar, M., & Harada, H. (2007). *Effective partial nitrification to nitrite by down-flow hanging sponge reactor under limited oxygen condition*. Water Research 41(2), 295-302.

Claros Bedoya, J. A. (2012). *Estudio del proceso de nitrificación y desnitrificación vía nitrito para el tratamiento biológico de corrientes de agua residual*

con alta carga de nitrógeno amoniacal. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de ingeniería hidráulica y medio ambiente. Valencia-España: Universidad Politécnica de Valencia.

Cortés Lorenzo, C. (2013). *Tratamiento de agua residual urbana con salinidad variable*. España: Universidad de Granada.

Dapena-Mora, A., Fernández, I., Campos, J., Mosquera-Corral, A., Méndez, R. J., & M.S.M. (2007). *Evaluation of activity and inhibition effects on Anammox process by batch tests based on the nitrogen gas production*. Enzyme Microb. Technol. 40, 859-865.

Egli, K., Fanger, U., Alvarez, P. J., Siegrist, H., Van der Meer, J. R., & Zehnder, A. J. (2001). *Enrichment and characterization of an anammox bacterium from a rotating biological contactor treating ammonium rich leachate*. Archives of Microbiology 175(3), 198-207.

Flemming, H., T., N., & Wozniak, D. (2007). *The EPS Matrix: "The House of Biofilm"*. Journal of Bacteriology(189), 7945-7947.

Fux, C., Bohler, M., Huber, P., Brunner, I., & Siegrist, H. C. (2002). *Biological treatment of ammonium-rich wastewater by partial nitrification and subsequent anaerobic ammonium oxidation (Anammox) in a pilot plant*. J. Biotechnol, 99, 295-306.

Hellinga, C., Schellen, A., Mulder, J., Van Loosdrecht, M., & Heijnen, J. (1998). *The SHARON process: an innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich waste Water*. Water Science and Technology 37, 135-142.

Herrington, R. (1991). *Flexible Polyurethane Foams*. The Dow Chemical Company.

Kooijmans, J. L., & van Velsen, E. M. (1986). *Application of the UASB process for treatment of domestic sewage under sub-tropical conditions, the Cali case*. Proc. Anaerobic Treatment. A Grown-up Technol. (Aquatech-86), 423-436.

Lettinga, G., & Hulshoff Pol, L. W. (1991). *UASB process design for various types of wastewaters*. Water Sci. Technol, 87-107.

McDougald, D., A. Rice, S., Barraud, N., D. Steinberg, P., & Kjelleberg. (2011). *Should we stay or should we go: ecological mechanisms and consequences for the dispersion of biofilm*. Nature Reviews Microbiology,, 39-48.

Metcalf & Eddy, G. T. (1995). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery three Edition* (Tercera Edicion ed., Vol. 2). Mc Graw Hill.

Ministerio del Ambiente. *Limites maximos permisibles (LMP) para efluentes de PTAR*.

Nurmiyanto, A., & Akiyoshi, O. (2018). *Downflow Hanging Sponge (DHS) Reactor for Wastewater Treatment- A Short Review*. Sciences Journals.

Oertel, G. (1993). *Polyurethane Handbook : Chemistry, Raw Materials, Processing, Application, Properties*. Hanser.

Okubo, T., Iguchi, A., Takahashi, M., Kubota, K., Uemura, S., & Harada, H. (2017). *Treatment Performance of Practical-Scale Down-flow Hanging Sponge Reactor Using Sixth-Generation Hard Sponge Media*. Karnal India.

Onodera, T., Tandukar, M., Sugiyana, D., Uemura, S., Ohashi, A., & Harada, H. (2014). *Development of a sixth-generation down-flow hanging sponge (DHS) reactor using rigid sponge media for post-treatment of UASB treating municipal sewage*. Bioresource Technology 152, 93-100.

Quintero W., M., Gómez D., J., & Boyaca, A. (2006). *Polyurethane Polymers and the colombian industry: an opportunity for the Palm Oil Industry*. PALMAS.

Santamaría Garzón, D. C. (2013). *Fabricación de láminas impermeables a partir de caucho reciclado utilizando espuma de poliuretano*. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Carrera de Ingeniería Química, Quito-Ecuador.

Sedlak, R. (1991). *Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater*. Principle and practice 2nd Edition. Lewis Publishers.

Sertorio de Almeida, P. (2007). *Efeito de diferentes tipos de meio suporte no desempenho de filtros biológicos percoladores aplicados ao póstratamento de efluentes de reatores uasb, com ênfase na nitrificação*. Universidade Federal De Minas Gerais. .

Sliekers, A., Third, K., Abma, W., Kuenen, J., & Jetten, M. (2003). *CANON and Anammox in a gas-lift reactor*. FEMS Microbiol. Lett. 218, 339-344.

Strous, M., Heijnen, J., Kuenen, J., & Jetten, M. (1998). *The sequencing batch reactor as a powerful tool for the study of slowly growing anaerobic ammonium-oxidizing microorganisms*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 50, 589-596.

Sundell, K., & Wiklund, T. (2011). *Effect of biofilm formation on antimicrobial tolerance of Flavobacterium psychrophilum*. Journal of Fish Diseases, 373-383.

Sutherland, I. (2001). *The biofilm matrix- an immobilized but dynamic microbial environment*. . Trends in Microbiology(9), 222-227.

Tandukar, M., Machdar, I., Uemura, S., Ohashi, A., & Harada, H. (2006). *Potential of a Combination of UASB and DHS Reactor as a Novel Sewage Treatment*

System for Developing Countries: Long-Term Evaluation. Journal of environmental engineering, 166-172.

Van de Graaf, A. A., de Bruijn, P., Robertson, L. A., Jetten, M., & Kuenen, J. G. (1997). *Metabolic pathway of anaerobic ammonium oxidation on the basis of ^{15}N studies in a fluidized bed reactor*. Microbiology 143, 2415-2421.

Van de Graaf, A., A., M., de Bruijn, P., Jetten, M., Robertson, L., & Kuenen, J. (1995). *Anaerobic oxidation of ammonium is a biologically mediated process*. Appl. Environ. Microbiol, 61(4), 1246-1251.

Van Loosdrecht, M., & Salem, S. (2006). *Biological treatment of sludge digester liquids*. Wat. Sci. Tech. 53(12), 11-20.

Y.K.Jhala, D.G.Panpatte, & Shelat, H. *Bacterial Biofilms*. Agrobios Newsletter, 16.

Zhu, G., Peng, Y., Li, B., Guo, J., Yang, Q., & Wang, S. (2008). *Biological nitrogen removal from wastewater*. Environ Contam Toxicol., 192,159-195

Anexos

Anexo 1 :Resultados de ensayos de laboratorio	1
Anexo 2 : Dimensionamiento del medio filtrante y los módulos del DHS.....	26
Anexo 3 : Pre-dimensionamiento del sedimentador	29
Anexo 4 : Panel Fotográfico.....	30

Anexo 1 :Resultados de ensayos de laboratorio

En este anexo se encontrarán los valores y resultados de los parámetros monitoreados.

6.1. Temperatura del agua residual y temperatura ambiental

Tabla 39

Resultados del monitoreo de la temperatura del agua residual y temperatura ambiental

Acción	Semana	N° Dia	Temperatura Del Agua Residual (°C)						Temperatura Ambiental (°C)		
			PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6	Tem Prom	Tem Max	Tem Min
Puesta en marcha del DHS	Semana N°04	16	22,70	22,20	22,05	21,94	21,70	21,90	22,55	25,54	21,09
		17	22,50	22,10	22,00	21,75	21,45	21,75	21,30	24,11	20,16
		18	22,45	21,95	21,86	21,74	21,30	21,45	21,30	22,93	19,95
		19	22,35	21,80	21,70	21,45	21,10	21,60	20,92	23,66	19,48
		20	22,40	21,90	21,80	21,70	21,50	22,10	20,78	23,75	19,53
Puesta en marcha del DHS	Semana N°05	21	22,45	22,20	22,05	21,94	21,70	21,90	20,00	22,96	18,36
		22	22,40	22,00	22,00	21,75	21,45	21,75	19,83	23,57	18,55
		23	22,30	21,85	21,86	21,74	21,30	21,45	19,96	21,42	19,04
		24	22,20	21,80	21,70	21,45	21,10	21,60	20,12	23,07	19,15
		25	22,20	22,00	21,90	21,20	20,90	21,00	20,31	21,94	19,25
Operació n y Mantto. del DHS	Semana N°06	26	19,90	19,80	19,50	19,10	19,10	19,50	20,31	21,95	19,17
		27	19,70	19,60	19,40	19,20	19,10	19,45	19,26	20,52	18,21
		28	19,80	19,60	19,30	19,00	19,00	19,40	19,15	20,55	17,97
		29	20,80	20,50	19,50	19,20	19,10	19,75	19,27	21,65	18,13
		30	21,30	21,00	19,60	19,30	19,10	20,30	20,20	21,73	19,38
Operació n y Mantto. del DHS	Semana N°07	31	20,75	20,55	19,70	19,50	19,10	19,80	18,59	20,46	17,91
		32	20,65	20,45	19,80	19,40	19,00	19,90	19,19	20,59	18,06
		33	20,70	20,50	19,50	19,40	19,10	19,70	19,54	22,37	18,10
		34	21,40	20,80	20,30	19,90	19,50	20,40	19,52	20,75	18,01
		35	21,60	20,60	20,00	19,30	19,40	19,20	19,45	20,87	18,59
Operació n y Mantto. del DHS	Semana N°08	36	21,00	20,70	20,20	19,50	19,10	19,90	19,35	22,78	17,40
		37	20,90	20,50	19,10	18,20	18,70	19,50	19,24	21,96	18,15
		38	20,80	19,90	18,80	19,00	18,60	19,20	18,83	21,77	17,50
		39	20,80	20,20	19,50	19,10	18,70	19,70	18,86	21,06	17,44
		40	20,80	20,90	19,80	19,30	18,60	19,00	18,52	20,84	17,10
Operació n y Mantto. del DHS	Semana N°09	41	20,50	20,20	19,70	19,30	18,90	19,70	19,24	22,65	17,70
		42	20,40	20,10	19,50	19,10	18,70	19,50	19,05	21,35	18,10
		43	20,45	20,10	19,40	19,00	18,60	19,90	19,01	21,34	17,97
		44	20,30	20,00	19,60	19,10	18,50	19,70	19,07	21,02	17,55

Acción	Semana	N° Dia	Temperatura Del Agua Residual (°C)						Temperatura Ambiental (°C)		
			PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6	Tem Prom	Tem Max	Tem Min
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°10	45	20,10	19,70	19,30	19,10	18,70	19,65	18,96	22,59	17,84
		46	20,50	20,10	19,50	19,20	18,80	19,78	18,41	20,06	17,24
		47	21,00	20,70	20,10	19,80	20,20	20,00	18,77	20,54	17,82
		48	20,40	20,60	19,80	19,70	19,00	19,20	18,89	20,72	17,83
		49	20,50	20,00	19,70	19,20	19,10	19,70	18,33	20,42	17,38
		50	20,60	20,10	19,50	19,10	18,90	19,50	18,62	19,69	17,80
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°11	51	21,20	21,10	19,50	19,20	19,40	19,90	19,50	20,88	17,45
		52	22,50	22,30	20,20	20,20	20,30	20,70	19,42	22,02	17,86
		53	20,90	21,20	19,70	19,30	19,10	19,10	18,90	19,80	17,68
		54	21,10	20,90	20,80	20,70	20,80	20,60	19,50	20,96	17,79
		55	20,20	20,10	18,70	18,30	18,30	18,10	18,21	20,29	17,72
		56	21,80	21,70	20,70	20,10	19,80	19,70	17,86	19,33	17,37
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°12	57	20,00	18,90	18,70	18,40	18,60	18,80	17,96	18,78	17,27
		58	20,10	20,00	19,80	19,50	19,40	19,70	17,86	18,99	16,73
		59	20,20	20,10	19,70	19,40	19,30	19,90	18,73	20,03	17,52
		60	20,10	20,40	19,20	18,70	18,70	18,80	18,21	20,03	17,34
		61	20,50	20,30	19,70	19,50	19,40	19,60	18,77	21,30	17,54
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°13	62	20,80	20,40	19,90	19,70	19,50	19,80	18,07	20,30	17,28
		63	21,80	21,70	20,60	20,30	20,20	20,50	18,64	20,38	16,82
		64	19,10	18,90	18,00	17,40	17,30	17,30	17,24	17,88	16,27
		65	19,60	19,60	19,00	18,80	18,70	18,50	17,29	18,98	16,11
		66	19,50	19,50	19,20	19,20	19,30	18,40	17,62	19,13	16,53
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°14	67	-	-	-	-	-	-	18,45	21,13	16,58
		68	19,50	19,50	18,80	18,50	19,20	19,90	17,57	20,14	16,12
		69	18,90	19,00	18,30	18,50	19,10	19,80	17,70	19,34	15,81
		70	20,50	19,70	19,00	18,90	19,20	19,70	17,85	19,79	16,18
		71	20,00	19,80	19,10	18,80	18,70	19,00	17,70	19,62	16,73
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°15	72	20,70	20,70	20,10	20,30	20,20	20,40	17,34	19,35	16,30
		73	20,10	19,80	19,20	18,80	18,70	19,00	17,43	19,64	15,55
		74	-	-	-	-	-	-	18,47	20,71	16,93
		75	19,20	18,70	17,90	17,90	17,70	17,50	16,98	17,52	16,15
		76	18,90	18,50	18,10	18,00	18,00	17,90	16,92	18,43	16,04
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°16	77	20,20	19,50	19,70	19,10	19,30	19,50	17,49	19,09	16,31
		78	20,45	20,00	19,50	19,00	18,83	19,20	17,12	18,55	15,72
		79	21,40	21,00	19,60	19,30	19,50	19,80	16,75	18,87	15,33
		80	21,50	21,50	21,10	20,90	19,80	19,80	16,59	19,88	15,33
		81	18,60	18,10	17,40	16,70	16,70	17,20	16,57	19,00	15,53
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°17	82	-	-	-	-	-	-	16,40	19,60	15,15
		83	20,30	19,90	19,30	19,10	19,30	19,20	17,27	19,07	15,94
		84	17,80	17,80	17,20	17,10	17,20	17,80	16,55	17,66	15,53

Acción	Semana	N° Dia	Temperatura Del Agua Residual (°C)						Temperatura Ambiental (°C)		
			PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6	Tem Prom	Tem Max	Tem Min
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°18	85	19,00	18,50	18,10	18,00	18,00	18,60	16,61	18,90	14,88
		86	18,00	17,40	16,60	16,20	16,20	16,30	16,71	18,57	15,62
		87	19,20	18,90	18,90	18,40	18,30	18,40	16,29	19,02	15,35
		88	19,00	18,50	18,10	18,00	18,10	18,10	16,21	17,58	15,11
		89	19,20	19,00	18,50	18,20	18,00	18,10	16,42	18,75	15,52
		90	20,30	20,00	19,40	19,20	19,40	19,80	16,84	18,76	15,03
		91	18,10	17,80	16,40	16,20	16,30	16,40	16,75	18,41	15,07
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°19	92	18,50	18,20	17,90	17,90	18,00	18,40	16,14	17,82	15,39
		93	22,10	22,50	21,20	21,10	21,20	21,30	17,58	20,45	15,69
		94	20,50	20,60	19,60	19,65	19,40	19,80	17,59	20,56	15,53
		95	21,80	22,40	21,80	22,30	21,30	22,20	18,02	20,91	16,00
		96	19,00	19,20	17,50	17,30	17,10	17,30	16,54	17,97	15,55
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°20	97	18,10	17,80	17,40	17,00	17,10	17,35	16,22	17,80	15,02
		98	18,60	18,40	17,70	17,40	17,20	17,50	15,89	17,87	14,82
		99	17,50	17,00	16,10	16,10	16,30	16,80	15,97	17,76	15,65
		100	18,20	18,00	17,60	17,20	17,10	17,20	16,01	17,27	15,04
		101	18,10	18,10	18,30	17,60	18,10	17,90	16,52	17,94	15,30
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°21	102	18,10	18,00	17,90	17,80	17,90	17,80	16,60	18,92	15,65
		103	18,20	18,10	17,60	17,20	17,10	17,20	16,30	17,87	15,71
		104	18,50	18,40	18,20	17,80	17,70	17,75	15,95	17,39	15,33
		105	18,40	18,10	17,90	17,50	17,50	17,55	16,23	17,53	15,49
		106	18,10	17,90	17,70	17,50	17,40	17,50	16,35	18,68	15,02
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°22	107	18,15	17,85	17,65	17,25	17,15	17,51	16,77	20,00	15,44
		108	17,90	17,81	17,75	17,62	17,52	17,58	16,75	18,82	15,54
		109	18,12	17,90	17,68	17,52	17,46	17,49	16,11	18,68	15,08
		110	17,95	17,60	17,45	17,35	17,12	17,24	16,96	19,64	14,82
		111	18,10	17,85	17,65	17,45	17,40	17,98	16,87	20,30	15,27
Promedio (Puesta en Marcha)			22,40	21,98	21,89	21,67	21,35	21,65	21,68	-	-
Desv. Est. (Puesta en Marcha)			0,15	0,15,	0,13	0,23	0,26	0,31	1,42	1,89	0,90
Máximo (Puesta en Marcha)			22,70	22,20	22,05	21,94	21,70	22,10	-	29,68	-
Mínimo (Puesta en Marcha)			22,20	21,80	21,70	21,20	20,90	21,00	-	-	18,36
Promedio (Operación)			19,88	19,63	18,99	18,71	18,62	18,96	17,79	-	-
Desv. Est (Operación)			1,22	1,27	1,12	1,15	1,07	1,18	1,19	1,40	1,18
Máximo (Operación)			22,50	22,50	21,80	22,30	21,30	22,20	-	22,78	-
Mínimo (Operación)			17,50	17,00	16,10	16,10	16,20	16,30	-	-	14,82

Tabla 40*Resultados de la temperatura promedio mensual en cada punto de monitoreo*

Meses	Temperatura Promedio Mensual (°C)					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Mayo	21,80	21,45	21,32	21,07	20,82	21,14
Junio	20,74	20,37	19,63	19,26	18,97	19,68
Julio	20,59	20,44	19,59	19,29	19,26	19,34
Agosto	19,65	19,32	18,76	18,52	18,54	18,81
Setiembre	18,67	18,55	18,05	17,84	17,78	17,99
Promedio	20,29	20,03	19,47	19,20	19,07	19,39

Tabla 41*Resultados de la temperatura ambiental promedio mensual*

Meses	Temperatura Promedio Mensual		
	Promedio	Máximo	Mínimo
Mayo	21,29	23,96	19,61
Junio	19,04	21,24	17,86
Julio	18,37	20,01	17,17
Agosto	17,03	19,04	15,75
Setiembre	16,58	18,69	15,35

6.2. Potencial de hidrogeno (PH)

Tabla 42

Resultados del monitoreo del Potencial de Hidrogeno (PH)

Acción	Semana	N° Dia	PH					
			PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Puesta en marcha del DHS	Semana N°04	16	7,21	7,28	7,65	7,68	7,55	7,56
		17	7,25	7,32	7,71	7,79	7,64	7,65
		18	7,34	7,36	7,64	7,69	7,52	7,45
		19	7,31	7,34	7,55	7,61	7,48	7,53
		20	7,17	7,26	7,31	7,65	7,42	7,49
Puesta en marcha del DHS	Semana N°05	21	7,19	7,25	7,38	7,55	7,38	7,40
		22	7,25	7,37	7,48	7,65	7,45	7,50
		23	7,14	7,26	7,34	7,39	7,43	7,48
		24	7,28	7,35	7,57	7,62	7,54	7,52
		25	7,25	7,30	7,65	7,88	7,67	7,60
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°06	26	7,21	7,29	7,38	7,68	7,45	7,36
		27	7,29	7,35	7,71	7,78	7,65	7,45
		28	7,28	7,29	7,84	7,83	7,67	7,64
		29	7,31	7,41	7,79	7,96	7,62	7,61
		30	7,20	7,27	7,85	7,94	7,72	7,81
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°07	31	7,25	7,31	7,54	7,64	7,54	7,45
		32	7,26	7,33	7,58	7,61	7,57	7,42
		33	7,36	7,40	7,83	7,75	7,59	7,46
		34	7,40	7,45	7,79	7,74	7,52	7,43
		35	7,57	7,22	7,70	7,73	7,49	7,71
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°08	36	7,29	7,35	7,80	7,88	7,47	7,51
		37	7,20	7,29	7,93	8,01	7,84	7,93
		38	7,27	7,31	7,75	7,77	7,58	7,42
		39	7,24	7,35	7,56	7,54	7,50	7,35
		40	7,50	6,96	7,65	7,74	7,42	7,29
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°09	41	7,10	7,30	7,85	7,78	7,55	7,47
		42	7,45	7,52	7,61	7,72	7,45	7,28
		43	7,51	7,22	7,66	7,78	7,66	7,62
		44	7,35	7,28	7,36	7,45	7,27	7,21
		45	7,21	7,28	7,35	7,24	7,11	7,23
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°10	46	7,21	7,24	7,25	7,38	7,35	7,30
		47	7,14	7,26	7,26	7,53	7,47	7,40
		48	6,95	7,07	7,33	7,61	7,43	7,23
		49	7,01	7,15	7,29	7,14	7,29	7,24
		50	7,40	7,50	7,80	7,59	7,72	7,62
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°11	51	7,27	7,32	7,62	7,91	7,93	7,67
		52	7,11	7,18	7,65	7,95	7,94	7,89
		53	6,98	7,08	7,39	7,72	7,70	7,59

Acción	Semana	N° Dia	PH					
			PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°12	54	7,02	7,21	7,42	7,89	7,91	7,81
		55	7,24	7,22	7,32	7,76	7,36	7,48
		56	7,15	7,18	7,50	7,73	7,71	7,56
		57	7,13	7,04	7,15	7,53	7,76	7,48
		58	7,16	7,05	7,13	7,28	7,35	7,24
		59	7,01	7,15	7,18	7,20	7,21	7,23
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°13	60	7,04	7,11	7,17	7,05	7,13	7,32
		61	7,40	7,55	7,79	7,59	7,69	7,74
		62	7,38	7,49	7,75	7,61	7,60	7,62
		63	7,42	7,52	7,84	7,70	7,64	7,59
		64	7,23	7,34	7,57	7,63	7,60	7,61
		65	7,40	7,50	7,79	7,59	7,50	7,51
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°14	66	7,45	7,62	7,90	7,74	7,49	7,50
		67	-	-	-	-	-	-
		68	7,30	7,42	7,56	7,10	7,25	7,10
		69	7,19	7,15	7,11	6,98	7,32	7,12
		70	7,20	7,21	7,29	7,17	7,45	7,31
		71	7,10	7,06	7,48	7,25	7,26	7,32
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°15	72	7,09	7,29	7,58	7,31	7,38	7,44
		73	7,14	7,05	7,42	7,05	7,05	6,95
		74	7,12	7,07	7,35	7,20	7,15	7,08
		75	7,00	7,06	6,32	7,25	7,35	7,34
		76	7,10	6,99	7,47	7,08	7,13	7,02
		77	7,20	7,35	7,45	7,29	7,31	7,49
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°16	78	7,45	7,55	7,51	7,10	7,06	7,09
		79	7,21	7,15	7,33	6,77	7,04	7,11
		80	7,02	7,09	7,50	7,24	7,40	7,64
		81	7,16	7,23	7,51	7,39	7,30	7,14
		82	7,18	7,36	7,45	7,49	7,38	7,31
		83	7,38	7,45	7,65	7,45	7,32	7,21
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°17	84	7,21	7,38	7,51	7,41	7,21	7,11
		85	7,29	7,35	7,49	7,25	7,29	7,04
		86	7,46	7,55	7,83	7,49	7,72	7,40
		87	7,23	7,18	7,67	7,38	7,53	7,21
		88	7,11	7,29	7,60	7,18	7,41	7,33
		89	7,10	7,15	7,45	7,30	7,31	7,28
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°18	90	7,07	7,05	7,67	7,41	7,39	7,27
		91	7,17	6,89	7,25	7,35	7,26	7,13
		92	7,11	6,91	7,33	7,16	7,31	7,38
		93	7,18	7,16	7,38	7,13	7,06	7,02
		94	7,18	7,15	7,30	7,25	7,30	7,21
		95	7,15	7,41	7,49	7,26	7,36	7,29
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°19	96	7,27	7,29	7,31	7,11	7,14	7,27

Acción	Semana	Nº Dia	PH					
			PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°20	97	7,21	7,30	7,32	7,08	7,09	7,17
		98	7,45	7,50	7,42	7,45	7,61	7,36
		99	7,62	7,80	8,02	7,93	7,81	7,51
		100	7,65	7,75	7,44	7,67	7,67	7,74
		101	7,53	7,51	7,64	7,48	7,60	7,27
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°21	102	7,25	7,45	7,63	7,57	7,50	7,34
		103	7,19	7,36	7,61	7,65	7,63	7,48
		104	7,23	7,42	7,59	7,68	7,70	7,57
		105	7,11	7,49	7,53	7,49	7,48	7,42
		106	-	-	-	-	-	-
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°22	107	6,99	7,25	7,56	7,58	7,51	7,48
		108	6,98	7,29	7,59	7,61	7,57	7,62
		109	7,01	7,31	7,51	7,70	7,68	7,61
		110	7,11	7,44	7,56	7,49	7,46	7,45
		111	7,11	7,36	7,33	7,35	7,38	7,40
Promedio (Puesta en Marcha)			7,24	7,31	7,53	7,65	7,51	7,52
Desv. Est. (Puesta en Marcha)			0,06	0,05	0,14	0,13	0,09	0,07
Máximo (Puesta en Marcha)			7,34	7,37	7,71	7,88	7,67	7,65
Mínimo (Puesta en Marcha)			7,14	7,25	7,31	7,39	7,38	7,40
Promedio (Operación)			7,21	7,25	7,48	7,45	7,44	7,38
Desv. Est (Operación)			0,19	0,22	0,29	0,35	0,31	0,33
Máximo (Operación)			7,65	7,80	8,02	8,01	8,65	8,71
Mínimo (Operación)			6,54	6,58	6,32	6,20	6,18	6,14

6.3. Turbiedad

Tabla 43

Resultados del monitoreo de la turbiedad

Acción	Semana	N° Día	Turbiedad (NTU)					
			PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Puesta en marcha del DHS	Semana N°01	1	78,90	47,78	21,54	15,45	13,21	8,81
		2	107,94	43,68	23,56	16,89	11,95	10,35
		3	73,50	39,99	29,94	21,10	16,42	9,84
		4	88,90	55,12	25,45	19,50	13,35	8,40
		5	69,95	43,99	23,95	16,45	9,98	9,10
Puesta en marcha del DHS	Semana N°02	6	55,89	39,48	25,66	18,99	11,41	9,24
		7	61,70	42,18	25,45	16,74	11,25	8,97
		8	89,84	43,52	29,41	19,94	13,25	10,29
		9	67,48	42,58	24,57	18,97	12,54	11,01
		10	82,58	31,47	21,54	16,61	12,18	10,68
Puesta en marcha del DHS	Semana N°03	11	67,84	35,24	22,57	18,54	12,12	10,35
		12	71,20	39,74	21,54	16,52	11,89	9,74
		13	95,21	41,72	23,85	18,57	13,36	11,14
		14	73,45	44,78	22,47	17,85	12,47	10,33
		15	69,20	37,50	19,97	13,68	8,82	8,91
Puesta en marcha del DHS	Semana N°04	16	51,00	36,50	18,15	11,50	8,70	9,70
		17	69,41	39,47	15,40	8,79	6,48	6,40
		18	67,48	38,67	14,90	7,48	5,46	8,55
		19	54,12	31,29	18,90	8,96	6,94	9,87
		20	58,00	32,56	12,45	7,79	5,79	7,48
Puesta en marcha del DHS	Semana N°05	21	64,71	41,22	20,95	14,73	9,78	6,14
		22	65,78	35,47	16,89	6,78	6,12	6,25
		23	71,23	34,62	14,45	7,18	6,12	5,21
		24	65,49	31,56	21,10	11,50	9,87	8,81
		25	64,90	38,00	17,00	5,16	5,40	2,70
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°06	26	72,36	48,26	17,84	9,87	5,21	5,23
		27	68,90	32,58	16,42	11,45	6,48	4,47
		28	28,40	18,10	16,20	6,12	7,55	5,65
		29	49,88	24,56	17,10	11,50	6,90	7,01
		30	42,90	31,20	12,50	9,06	11,40	4,93
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°07	31	47,89	25,48	13,48	9,92	6,58	5,54
		32	65,98	30,54	15,42	8,89	6,10	7,80
		33	42,90	31,70	15,50	7,91	6,42	4,51
		34	59,87	29,56	14,72	12,30	8,85	5,86
		35	32,60	19,90	18,30	10,10	9,10	4,42
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°08	36	64,10	35,60	28,98	14,56	8,90	6,25
		37	94,20	52,70	46,00	17,40	17,60	4,85
		38	50,50	31,00	6,28	7,89	8,54	5,29

Acción	Semana	N° Día	Turbiedad (NTU)					
			PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°09	39	67,80	42,26	21,25	12,15	8,81	5,14
		40	59,20	34,30	7,96	5,51	6,11	2,81
		41	74,80	39,97	21,02	13,45	8,78	6,22
		42	65,96	35,47	21,10	11,23	7,98	6,89
		43	71,12	32,59	14,58	9,65	6,52	5,21
		44	59,87	38,97	17,96	11,10	6,21	4,89
		45	61,98	29,40	11,23	6,78	4,47	3,97
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°10	46	58,97	24,56	7,82	5,50	3,69	3,21
		47	97,20	51,48	29,98	3,32	2,19	2,17
		48	95,80	48,00	12,77	8,37	3,56	2,17
		49	85,91	42,10	11,90	8,92	5,48	4,47
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°11	50	74,45	48,92	11,78	8,94	6,78	5,41
		51	72,20	34,50	7,38	6,36	6,22	6,33
		52	106,00	33,40	6,05	4,21	3,35	3,41
		53	80,50	21,50	4,07	3,64	2,99	3,44
		54	69,20	37,50	7,39	6,37	6,21	6,31
		55	154,00	26,70	5,06	2,67	4,48	3,10
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°12	56	88,70	29,20	7,07	4,98	5,04	5,87
		57	75,10	61,60	3,53	4,09	7,96	9,07
		58	68,00	38,00	11,40	5,87	4,79	4,80
		59	47,89	25,70	12,20	6,74	4,78	3,89
		60	36,10	23,10	12,97	3,68	4,82	2,05
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°13	61	62,00	24,00	11,40	6,85	5,87	3,47
		62	75,00	48,30	19,50	10,90	7,36	5,77
		63	39,70	25,04	4,23	3,96	3,95	4,16
		64	46,80	36,80	5,47	3,08	6,98	3,09
		65	164,00	23,70	3,56	3,44	2,57	2,40
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°14	66	48,60	34,70	6,29	3,57	4,01	4,07
		67	-	-	-	-	-	-
		68	45,30	17,50	8,40	5,75	4,71	4,97
		69	41,10	18,80	4,35	3,50	4,73	5,02
		70	39,70	25,30	5,87	5,10	8,13	7,76
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°15	71	87,00	35,00	9,16	4,37	4,31	3,05
		72	52,20	30,30	13,20	6,26	11,60	6,36
		73	72,40	34,90	12,20	5,48	6,52	5,05
		74	56,00	35,90	11,20	6,50	6,20	5,20
		75	44,30	36,40	15,20	9,32	9,68	8,13
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°16	76	-	-	-	-	-	-
		77	-	-	-	-	-	-
		78	-	-	-	-	-	-
		79	-	-	-	-	-	-
		80	-	-	-	-	-	-
		81	-	-	-	-	-	-

Acción	Semana	N° Dia	Turbiedad (NTU)					
			PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°17	82	45,70	32,40	18,90	11,45	6,87	5,45
		83	-	-	-	-	-	-
		84	-	-	-	-	-	-
		85	43,60	31,80	18,70	11,70	6,37	2,10
		86	59,90	31,30	23,00	10,80	9,31	5,69
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°18	87	84,30	64,10	28,30	15,10	25,90	5,98
		88	93,80	75,80	24,10	9,92	6,54	5,49
		89	87,00	45,89	23,89	11,90	6,70	5,62
		90	72,30	59,50	19,80	16,80	6,98	9,10
		91	87,00	45,00	29,00	17,50	16,30	5,46
Promedio (Puesta en Marcha)			71,43	39,53	21,27	14,23	10,19	8,73
Desv. Est. (Puesta en Marcha)			13,19	5,54	4,49	4,92	3,10	2,03
Máximo (Puesta en Marcha)			107,94	55,12	29,94	21,10	16,42	11,14
Mínimo (Puesta en Marcha)			51,00	31,29	12,45	5,16	5,40	2,70
Promedio (Operación)			67,35	35,49	14,40	8,31	7,06	5,02
Desv. Est (Operación)			25,44	11,97	8,20	3,85	3,80	1,65
Máximo (Operación)			164,00	75,80	46,00	17,50	25,90	9,10
Mínimo (Operación)			28,40	17,50	3,53	2,67	2,19	2,05

Tabla 44

Resultados de la turbiedad promedio mensual en cada punto de monitoreo

Meses	Turbiedad Promedio Mensual (NTU)					
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Mayo	66,79	37,24	19,90	12,77	9,10	8,14
Junio	64,72	35,47	17,17	9,75	7,32	4,96
Julio	77,11	32,73	7,97	5,03	5,09	4,45
Agosto	61,64	38,33	15,75	8,93	8,30	5,66
Setiembre	87,00	45,00	29,00	17,50	16,30	5,46
Promedio	71,45	37,75	17,96	10,79	9,22	5,73

6.4. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Tabla 45

Resultados del monitoreo de la conductividad eléctrica

Acción	Semana	N° Día	Conductividad					
			PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Puesta en marcha del DHS	Semana N°04	16	1068,00	1025,69	1013,69	1012,95	1001,23	974,48
		17	1078,90	1024,78	1014,89	1016,98	1007,66	993,65
		18	1147,90	1038,90	1027,90	1014,90	1011,60	1009,80
		19	1048,98	1028,90	1016,90	1011,66	1007,50	1001,66
		20	1058,00	1024,00	1014,00	1001,20	1049,00	1010,00
Puesta en marcha del DHS	Semana N°05	21	1065,00	1036,00	1015,00	1008,90	1009,90	1011,95
		22	1071,00	1039,65	1019,36	1004,56	1001,60	1014,78
		23	1125,00	1129,00	1074,00	1059,00	1050,00	1021,00
		24	1117,00	1088,70	1047,60	1025,66	1018,50	1021,60
		25	1047,00	1027,00	1008,93	1004,60	994,80	988,80
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°06	26	1139,00	1093,00	1025,65	1012,30	1001,65	925,68
		27	1147,00	1123,00	1098,56	1045,65	1003,60	985,84
		28	1052,00	1038,00	1038,00	1029,00	1000,00	984,70
		29	1138,00	1054,00	1024,62	974,69	925,12	899,17
		30	1051,00	1056,00	1069,00	1021,00	1036,00	989,30
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°07	31	1168,00	1036,90	1001,66	963,58	924,15	914,78
		32	1148,98	1047,63	1015,74	969,78	917,89	899,74
		33	1063,00	1047,00	1152,00	1075,00	1058,00	986,30
		34	1162,00	1023,60	1008,14	978,54	952,14	927,81
		35	1068,00	1053,00	1024,00	1010,00	948,20	972,00
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°08	36	1071,00	1044,00	1018,00	1001,00	974,21	964,28
		37	1079,00	1061,00	1058,00	1038,00	1022,00	990,00
		38	1084,00	1049,00	1035,00	992,10	982,60	979,30
		39	1121,00	1097,78	1054,74	1026,98	997,89	984,52
		40	1096,00	1078,00	1048,00	1009,00	998,00	998,80
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°09	41	1128,00	1058,00	1036,00	1019,74	987,15	953,62
		42	1125,00	1129,00	1074,00	1059,00	1050,00	1021,00
		43	1136,90	1074,00	1025,60	935,69	917,45	921,21
		44	1168,00	1024,00	948,00	923,89	917,50	982,00
		45	1157,00	1036,00	978,54	936,54	912,20	899,18
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°10	46	1168,00	1074,00	1005,98	923,89	917,50	982,00
		47	1032,00	1035,00	997,70	979,50	959,60	966,40
		48	1067,00	1052,00	996,00	1026,00	964,10	951,60
		49	1139,00	1093,00	1001,30	921,10	905,80	901,30
		50	1138,00	1101,48	1007,54	957,84	957,71	940,74
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°11	51	1136,00	1101,00	1084,00	1065,00	1059,00	1014,25
		52	1150,00	1126,00	1090,00	1063,00	1039,00	1021,00
		53	1125,00	1119,00	1074,00	1049,00	1042,00	1038,00

Acción	Semana	N° Dia	Conductividad					
			PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°12	54	1138,00	1152,00	1089,00	1065,00	1051,00	1005,10
		55	1182,00	1135,00	1066,00	1030,00	1007,00	985,50
		56	1155,00	1133,00	1078,00	1053,00	1047,00	1044,00
		57	1064,00	1038,00	944,70	916,50	945,50	920,60
		58	1139,00	1093,00	1001,30	921,10	905,80	901,30
		59	1158,00	1075,00	1001,60	978,60	936,25	905,90
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°13	60	1162,00	1093,00	1007,00	999,60	1009,00	978,50
		61	1147,98	1065,00	1009,70	925,40	915,36	917,89
		62	1136,90	1074,00	1025,60	935,69	917,45	921,21
		63	1160,00	1108,00	1040,00	927,30	950,70	964,80
		64	1144,00	1120,00	1048,00	948,60	935,60	985,80
		65	1121,00	1080,00	1016,00	942,80	933,10	925,90
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°14	66	1100,00	1068,00	992,00	942,80	928,90	930,90
		67	-	-	-	-	-	-
		68	1168,00	1024,00	948,00	923,89	917,50	982,00
		69	1187,00	1057,00	989,40	933,30	928,40	929,80
		70	1151,00	1100,00	983,40	931,00	922,70	902,50
		71	1163,00	1135,00	1041,00	974,50	948,90	940,10
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°15	72	1128,00	1020,00	1017,00	945,00	937,90	917,60
		73	1150,00	1091,00	1029,00	964,50	943,50	925,10
		74	1133,00	1065,40	978,00	945,00	899,70	879,99
		75	1128,00	1095,00	1071,00	1015,00	983,40	973,20
		76	1126,00	1031,00	990,90	939,60	908,60	881,60
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°16	77	1139,00	1112,00	1058,00	984,04	950,80	980,90
		78	1134,78	1086,00	1014,50	965,60	915,10	904,50
		79	1139,00	1072,00	1007,00	940,80	920,10	909,60
		80	1128,00	1080,00	1016,00	936,10	908,70	882,70
		81	1138,00	1060,00	1011,00	970,30	939,10	962,60
		82	1127,75	1107,25	1025,69	987,40	924,87	915,41
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°17	83	1125,00	1052,00	987,50	908,60	904,70	902,40
		84	1127,00	1058,00	1047,00	981,10	960,60	905,80
		85	1117,00	1063,00	1029,00	941,50	947,00	931,74
		86	1142,00	1256,00	1039,00	957,00	931,70	907,58
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°18	87	1088,00	1050,00	965,80	896,50	908,80	856,50
		88	1114,00	1092,00	995,00	924,50	904,40	981,70
		89	1101,00	1074,00	998,00	923,60	915,78	897,45
		90	1091,00	1075,00	976,90	896,50	850,50	900,70
		91	1420,00	1163,00	1069,00	1006,00	958,03	960,60
		92	1075,00	1037,00	997,20	897,50	876,60	875,47
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°19	93	1082,00	1038,00	974,00	901,50	889,90	884,40
		94	1069,00	1025,98	981,00	884,69	848,98	850,96
		95	1089,00	1025,00	932,00	872,70	872,00	860,20
		96	1087,00	1025,00	979,60	944,50	913,30	882,70

Acción	Semana	N° Dia	Conductividad					
			PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°20	97	1069,00	1019,25	974,00	899,60	848,98	871,45
		98	1059,00	1022,00	941,20	957,50	941,80	927,60
		99	1064,00	1042,00	992,60	879,40	862,10	848,50
		100	1045,00	1008,00	930,10	864,30	847,60	852,60
		101	1116,00	1076,00	931,00	870,00	867,90	848,30
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°21	102	1067,00	1035,10	978,00	924,56	825,65	801,45
		103	1098,00	1041,69	963,00	921,10	848,98	836,98
		104	1074,00	1032,60	974,00	904,36	864,00	845,65
		105	1069,00	1017,69	985,00	897,65	852,36	827,96
		106	1045,00	1025,98	1069,00	884,69	824,78	821,45
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°22	107	1036,90	1024,71	971,00	901,23	836,98	807,98
		108	1069,00	1023,25	997,00	907,56	848,98	823,40
		109	1049,10	1019,25	981,00	899,60	865,40	814,98
		110	1078,96	1020,41	976,00	874,54	824,14	804,90
		111	1098,50	1027,65	981,00	876,98	832,69	814,78
Promedio (Puesta en Marcha)			1082,68	1046,26	1025,23	1016,04	1015,18	1004,77
Desv. Est. (Puesta en Marcha)			34,83	34,81	20,35	16,68	19,20	15,12
Máximo (Puesta en Marcha)			1147,90	1129,00	1074,00	1059,00	1050,00	1021,60
Mínimo (Puesta en Marcha)			1047,00	1024,00	1008,93	1001,20	994,80	974,48
Promedio (Operación)			1117,31	1069,01	1012,98	957,63	933,87	924,21
Desv. Est (Operación)			51,19	43,89	42,51	55,67	62,58	62,38
Máximo (Operación)			1420,00	1256,00	1152,00	1075,00	1079,00	1070,00
Mínimo (Operación)			1032,00	1008,00	930,10	864,30	824,14	801,45

6.5. Oxígeno disuelto

Tabla 46

Resultados del monitoreo del oxígeno disuelto

Acción	Semana	N° Día	Oxígeno Disuelto					
			PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Puesta en marcha del DHS	Semana N°01	1	0,15	0,22	4,10	5,50	5,80	5,60
		2	0,21	0,35	3,98	5,90	6,20	5,84
		3	0,17	0,39	3,78	5,47	6,15	5,64
		4	0,21	0,40	4,06	5,96	6,48	6,01
		5	0,23	0,37	4,09	6,02	6,52	5,84
Puesta en marcha del DHS	Semana N°02	6	0,17	0,39	4,18	6,51	6,78	5,74
		7	0,20	0,43	4,39	5,89	6,89	5,98
		8	0,29	0,37	4,90	6,20	6,79	5,89
		9	0,19	0,41	4,65	5,74	6,32	5,78
		10	0,22	0,39	4,90	5,41	6,27	5,77
Puesta en marcha del DHS	Semana N°03	11	0,18	0,43	4,15	5,63	6,38	5,96
		12	0,15	0,36	4,98	5,71	6,24	5,77
		13	0,21	0,48	4,48	5,98	6,72	6,21
		14	0,14	0,36	4,96	5,69	6,66	6,11
		15	0,23	0,45	5,04	5,77	6,99	6,32
Puesta en marcha del DHS	Semana N°04	16	0,18	0,58	4,50	6,98	7,04	7,00
		17	0,24	0,61	5,17	7,01	7,65	7,21
		18	0,35	0,65	4,97	6,45	7,23	7,05
		19	0,14	0,45	5,50	6,94	7,70	7,20
		20	0,18	0,41	4,08	5,06	6,52	7,02
Puesta en marcha del DHS	Semana N°05	21	0,17	0,29	5,84	7,10	7,80	6,21
		22	0,13	0,32	6,54	7,32	7,95	6,60
		23	0,14	0,27	6,21	7,01	7,74	6,85
		24	0,15	0,24	6,80	7,06	7,69	6,23
		25	0,15	0,21	6,60	7,70	7,96	6,20
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°06	26	0,17	0,36	6,01	7,21	7,32	5,32
		27	0,21	0,29	6,25	7,36	7,42	5,47
		28	0,20	0,32	6,11	7,38	7,48	5,74
		29	0,15	0,36	6,15	7,35	7,49	6,01
		30	0,27	0,35	6,24	7,29	7,19	6,35
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°07	31	0,13	0,30	5,99	7,01	7,32	6,45
		32	0,15	0,28	6,01	7,35	7,38	6,47
		33	0,14	0,21	6,10	6,45	7,17	4,61
		34	0,20	0,20	6,45	6,98	7,00	6,68
		35	0,19	0,23	7,25	7,71	7,60	6,70
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°08	36	0,15	0,20	6,45	7,01	7,05	6,21
		37	0,17	0,30	5,25	6,58	7,01	5,72
		38	0,19	0,35	6,22	8,21	7,34	5,57

Acción	Semana	N° Día	Oxígeno Disuelto					
			PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
		39	0,25	0,32	6,20	8,23	7,64	7,01
		40	0,30	0,49	6,51	8,37	7,53	7,88
		41	0,21	0,40	5,99	7,95	7,93	6,04
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°09	42	0,17	0,37	5,74	7,46	7,58	6,38
		43	0,25	0,32	5,32	7,64	7,65	6,75
		44	0,15	0,29	5,01	7,54	7,63	6,87
		45	0,15	0,27	5,45	7,65	8,21	7,39
		46	0,17	0,35	5,61	7,48	8,24	7,65
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°10	47	0,15	1,54	4,96	7,64	8,35	7,45
		48	0,10	1,12	5,20	7,65	8,05	6,29
		49	0,17	0,65	5,65	7,98	8,20	7,01
		50	0,13	0,75	5,74	7,78	8,31	6,58
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°11	51	0,96	2,44	6,48	8,78	9,17	8,02
		52	0,14	0,14	6,11	8,22	8,35	6,42
		53	1,04	1,61	6,64	8,63	8,38	7,47
		54	0,96	2,43	6,47	8,73	9,16	8,04
		55	0,47	1,34	5,72	8,54	8,86	6,98
		56	0,50	0,63	4,10	7,39	6,27	4,62
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°12	57	0,48	0,52	3,48	7,64	7,74	8,45
		58	0,35	0,47	4,68	7,21	7,99	7,32
		59	0,31	0,43	5,01	7,45	8,06	7,12
		60	0,89	1,27	5,46	7,22	8,02	6,29
		61	0,65	1,83	4,45	5,81	6,81	7,55
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°13	62	0,21	0,30	6,02	7,41	7,91	8,21
		63	0,66	1,77	4,53	5,81	5,56	6,47
		64	1,12	0,86	3,22	6,21	8,06	5,97
		65	0,14	0,73	4,02	5,41	7,92	6,27
		66	0,19	0,32	4,13	5,88	6,94	8,98
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°14	67	-	-	-	-	-	-
		68	0,15	0,45	4,87	7,21	7,65	7,21
		69	0,70	1,88	5,32	7,07	8,41	7,53
		70	0,19	1,26	6,23	7,60	8,18	8,22
		71	0,18	0,21	5,10	5,82	7,07	7,71
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°15	72	0,81	1,79	4,26	4,60	5,63	6,27
		73	0,23	0,25	5,28	5,46	5,78	6,30
		74	0,25	0,37	4,78	5,98	6,24	5,87
		75	0,31	0,28	4,09	5,17	6,18	6,02
		76	0,20	0,76	5,22	5,27	6,39	6,81
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°16	77	0,25	0,62	5,58	5,27	6,56	5,22
		78	0,21	0,81	5,27	5,38	7,51	7,06
		79	0,18	0,87	4,24	5,11	7,29	7,44
		80	0,25	0,43	4,88	4,28	5,25	7,65
		81	0,16	1,27	6,33	6,21	7,60	7,47

Acción	Semana	N° Día	Oxígeno Disuelto					
			PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°17	82	0,34	0,69	5,75	5,67	7,23	6,98
		83	0,24	0,23	5,56	4,93	7,57	7,71
		84	0,28	0,43	5,04	5,97	5,84	6,56
		85	0,36	0,90	5,87	5,14	7,25	6,51
		86	0,60	1,01	6,53	5,80	7,96	7,08
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°18	87	0,40	0,58	5,45	6,08	7,02	7,45
		88	0,20	0,49	5,42	5,71	7,02	7,04
		89	-	-	-	-	-	-
		90	0,65	0,83	5,63	5,98	6,06	6,72
		91	0,30	0,64	5,25	6,49	6,11	5,50
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°19	92	0,20	0,35	5,12	5,82	7,47	6,66
		93	0,22	0,46	4,90	5,58	7,39	7,66
		94	-	-	-	-	-	-
		95	0,26	0,50	4,75	5,02	8,09	7,84
		96	0,25	1,06	5,88	6,73	8,59	8,22
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°20	97	-	-	-	-	-	-
		98	0,18	0,20	4,26	6,66	8,65	6,80
		99	0,63	0,63	5,86	6,63	8,78	7,45
		100	0,28	0,51	6,14	6,37	8,89	8,84
		101	0,30	0,46	4,65	6,10	8,37	7,77
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°21	102	0,35	0,58	5,47	6,35	7,95	7,32
		103	0,18	0,49	4,99	5,70	7,67	6,85
		104	0,31	0,42	5,89	6,74	7,38	7,48
		105	0,24	0,47	5,01	6,54	7,85	7,93
		106	0,34	0,68	5,62	6,39	7,99	7,82
Operación y Mantto. del DHS	Semana N°22	107	0,12	0,51	5,74	6,54	7,74	7,96
		108	0,38	0,67	5,12	5,70	7,69	6,99
		109	0,16	0,52	5,83	6,32	7,35	7,41
		110	0,31	0,63	5,79	6,47	7,47	7,48
		111	0,24	0,61	4,87	6,01	7,68	7,65
Promedio (Puesta en Marcha)			0,19	0,39	4,91	6,24	6,90	6,24
Desv. Est. (Puesta en Marcha)			0,05	0,11	0,88	0,71	0,65	0,52
Máximo (Puesta en Marcha)			0,35	0,65	6,80	7,70	7,96	7,21
Mínimo (Puesta en Marcha)			0,13	0,21	3,78	5,06	5,80	5,60
Promedio (Operación)			0,32	0,66	5,44	6,68	7,51	6,94
Desv. Est (Operación)			0,23	0,50	0,77	1,05	0,82	0,89
Máximo (Operación)			1,12	2,44	7,25	8,78	9,17	8,98
Mínimo (Operación)			0,10	0,14	3,22	4,28	5,25	4,61

6.6. Demanda bioquímica de oxígeno

Tabla 47

Resultados del monitoreo de la demanda bioquímica de oxígeno

DESCRIPCION	SEM ANA	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05	T-06	Eficiencia (%) PT-05	Eficiencia (%) PT-06
Puesta en marcha del reactor DHS	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Operación del reactor DHS y toma de muestras	6	156,39	120,40	105,55	90,55	31,54	6,76	79,8%	95,7%
	7	116,34	109,76	75,99	57,28	26,85	7,16	76,9%	93,8%
	8	136,55	109,25	57,68	13,76	13,39	11,30	90,2%	91,7%
	9	157,95	71,24	44,76	29,41	18,95	7,70	88,0%	95,1%
	10	144,92	95,04	49,74	33,74	27,56	10,60	81,0%	92,7%
	11	99,45	56,65	18,14	8,09	12,03	5,84	87,9%	94,1%
	12	103,00	54,20	17,28	11,19	7,57	5,20	92,7%	95,0%
	13	134,88	64,14	28,49	16,95	17,86	8,81	86,8%	93,5%
	14	99,49	67,61	11,63	5,65	4,45	3,20	95,5%	96,8%
	15	161,35	108,24	73,30	35,94	34,09	35,50	78,9%	78,0%
	16	136,48	110,05	74,38	28,57	11,46	12,32	91,6%	91,0%
	17	126,66	94,64	72,88	37,25	13,61	10,71	89,3%	91,5%
	18	151,28	111,58	90,34	49,70	16,34	9,47	89,2%	93,7%
	19	146,13	112,58	92,82	33,21	8,45	6,68	94,2%	95,4%
	20	132,04	90,81	58,67	33,35	4,36	3,60	96,7%	97,3%
	21	127,40	96,74	74,54	33,80	9,36	7,03	92,6%	94,5%
Promedio (Operación)		133,15	92,06	59,14	32,40	16,12	9,49	87,9%	92,9%
Desv. Est. (Operación)		20,25	22,11	28,67	21,15	9,39	7,43	-	-
Máximo (Operación)		161,35	120,40	105,55	90,55	34,09	35,50	-	-
Mínimo (Operación)		99,45	54,20	11,63	5,65	4,36	3,20	-	-

6.7. Sólidos totales

Tabla 48

Resultados del monitoreo de los sólidos totales

SEMANA	SOLIDOS TOTALES (mg/l)						Eficiencia (%) PT-5	Eficiencia (%) PT-6
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6		
6	596,00	604,00	596,00	592,00	548,00	552,00	8,05%	7,38%
7	648,00	556,00	576,00	552,00	528,00	540,00	18,52%	16,67%
8	640,00	636,00	612,00	620,00	616,00	620,00	3,75%	3,13%
9	648,00	616,00	604,00	628,00	592,00	624,00	8,64%	3,70%
10	668,00	584,00	632,00	604,00	660,00	664,00	1,20%	0,60%
11	680,00	616,00	644,00	656,00	652,00	648,00	4,12%	4,71%
12	648,00	616,00	600,00	624,00	592,00	572,00	8,64%	11,73%
13	676,00	616,00	632,00	600,00	624,00	620,00	7,69%	8,28%
14	540,00	520,00	504,00	488,00	472,00	480,00	12,59%	11,11%
15	700,00	640,00	644,00	648,00	620,00	620,00	11,43%	11,43%
16	896,00	788,00	724,00	720,00	716,00	724,00	20,09%	19,20%
17	692,00	660,00	648,00	628,00	624,00	620,00	9,83%	10,40%
18	760,00	688,00	680,00	672,00	664,00	668,00	12,63%	12,11%
19	636,00	596,00	580,00	556,00	544,00	536,00	14,47%	15,72%
20	660,00	636,00	624,00	612,00	604,00	592,00	8,48%	10,30%
21	684,00	652,00	644,00	632,00	620,00	600,00	9,36%	12,28%
Promedio	673,25	626,50	621,50	614,50	604,75	605,00	10,17%	10,14%
Desv. Est.	76,03	58,88	48,64	53,06	59,58	59,68	-	-
Máximo	896,00	788,00	724,00	720,00	716,00	724,00	-	-
Mínimo	540,00	520,00	504,00	488,00	472,00	480,00	-	-

6.8. Sólidos suspendidos totales

Tabla 49

Resultados del monitoreo de los sólidos suspendidos totales

SEMANA	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/l)						Eficiencia (%) PT-5	Eficiencia (%) PT-6
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6		
6	43,29	22,40	15,86	7,43	7,62	2,37	82,39%	94,51%
7	25,50	10,71	11,00	12,75	7,25	4,50	71,57%	82,35%
8	38,00	14,86	12,43	12,13	6,87	4,12	81,91%	89,14%
9	36,00	21,83	3,63	4,00	4,00	3,63	88,89%	89,93%
10	52,00	15,33	3,75	5,25	4,37	5,71	91,59%	89,01%
11	49,00	20,14	16,14	9,38	4,25	4,38	91,33%	91,07%
12	55,00	42,33	23,50	12,00	4,57	3,63	91,69%	93,41%
13	52,33	19,50	4,87	4,37	4,37	5,14	91,64%	90,17%
14	76,67	21,43	12,86	5,43	5,29	6,86	93,11%	91,06%
15	80,67	24,13	15,37	9,38	9,25	11,38	88,53%	85,90%
16	112,40	41,38	21,12	13,00	9,12	7,87	91,88%	92,99%
17	35,40	19,00	18,71	14,43	12,86	11,00	63,68%	68,93%
18	65,25	22,00	19,75	12,13	8,63	5,38	86,78%	91,76%
19	62,20	41,75	26,87	16,50	9,75	8,38	84,32%	86,54%
20	56,00	34,50	25,75	16,12	10,88	9,75	80,58%	82,59%
21	48,40	28,87	17,87	16,13	9,25	8,50	80,89%	82,44%
Promedio	55,51	25,01	15,59	10,65	7,40	6,41	86,68%	88,45%
Desv. Est.	21,16	9,95	7,27	4,31	2,72	2,77	-	-
Máximo	112,40	42,33	26,87	16,50	12,86	11,38	-	-
Mínimo	25,50	10,71	3,63	4,00	4,00	2,37	-	-

6.9. Sólidos sedimentables

Tabla 50

Resultados del monitoreo de los sólidos sedimentables para la determinación del volumen del lodo.

FECHA	SEMANA	Cantidad (ml/l/h)	VOLUMEN DE LODO (ml)
02/06/2017	6	1,20	13,69
09/06/2017	7	1,40	15,97
16/06/2017	8	1,60	18,26
23/06/2017	9	1,40	15,97
30/06/2017	10	1,50	17,12
07/07/2017	11	1,60	18,26
14/07/2017	12	1,70	19,40
21/07/2017	13	1,70	19,40
04/08/2017	14	2,10	23,96
10/08/2017	15	2,50	28,53
17/08/2017	16	2,10	23,96
25/08/2017	17	2,00	22,82
01/09/2017	18	2,10	23,96
08/09/2017	19	1,90	21,68
15/09/2017	20	2,10	23,96
22/09/2017	21	2,10	23,96
Promedio		1,81	20,68
Desv. Est.		0,41	4,71
Máximo		2,50	28,53
Mínimo		1,20	13,69

6.10. Solidos disueltos totales

Tabla 51

Resultados del monitoreo de los sólidos disueltos totales

SEMANA	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (mg/l)						Eficiencia (%) PT-5	Eficiencia (%) PT-6
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6		
6	552,71	581,60	580,14	584,57	540,38	549,63	2,23%	0,56%
7	622,50	545,29	565,00	539,25	520,75	535,50	16,35%	13,98%
8	602,00	621,14	599,57	607,88	609,12	615,87	-1,18%	-2,30%
9	612,00	594,17	600,37	624,00	588,00	620,37	3,92%	-1,37%
10	616,00	568,67	628,25	598,75	655,63	658,29	-6,43%	-6,86%
11	631,00	595,86	627,86	646,63	647,75	643,62	-2,65%	-2,00%
12	593,00	573,67	576,50	612,00	587,43	568,37	0,94%	4,15%
13	623,67	596,50	627,12	595,63	619,62	614,86	0,65%	1,41%
14	463,33	498,57	491,14	482,57	466,71	473,14	-0,73%	-2,12%
15	619,33	615,87	628,63	638,62	610,75	608,62	1,39%	1,73%
16	783,60	746,63	702,88	707,00	706,87	716,12	9,79%	8,61%
17	656,60	641,00	629,29	613,57	611,14	609,00	6,92%	7,25%
18	694,75	666,00	660,25	659,87	655,38	662,63	5,67%	4,62%
19	573,80	554,25	553,12	539,50	534,25	527,62	6,89%	8,05%
20	604,00	601,50	598,25	595,88	593,13	582,25	1,80%	3,60%
21	635,60	623,13	626,13	615,87	610,75	591,50	3,91%	6,94%
Promedio	617,74	601,49	605,91	603,85	597,35	598,59	3,30%	3,10%
Desv. Est.	66,63	55,49	47,99	52,34	59,36	59,52	-	-
Máximo	783,60	746,63	702,88	707,00	706,87	716,12	-	-
Mínimo	463,33	498,57	491,14	482,57	466,71	473,14	-	-

6.11. Sólidos fijos totales

Tabla 52

Resultados del monitoreo de los sólidos fijos totales

SEMANA	SOLIDOS FIJOS TOTALES (mg/l)						Eficiencia (%) PT-5	Eficiencia (%) PT-6
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6		
6	472,00	452,00	464,00	468,00	436,00	408,00	7,63%	13,56%
7	488,00	384,00	424,00	412,00	504,00	524,00	-3,28%	-7,38%
8	408,00	384,00	424,00	416,00	468,00	504,00	-14,71%	-23,53%
9	428,00	448,00	448,00	464,00	420,00	472,00	1,87%	-10,28%
10	584,00	496,00	616,00	592,00	612,00	632,00	-4,79%	-8,22%
11	512,00	496,00	504,00	476,00	516,00	428,00	-0,78%	16,41%
12	452,00	448,00	448,00	460,00	432,00	464,00	4,42%	-2,65%
13	612,00	512,00	544,00	564,00	560,00	568,00	8,50%	7,19%
14	340,00	356,00	396,00	356,00	312,00	320,00	8,24%	5,88%
15	396,00	392,00	384,00	364,00	312,00	308,40	21,21%	22,12%
16	516,00	444,00	472,00	476,00	468,00	484,00	9,30%	6,20%
17	436,00	440,00	432,00	420,00	416,00	420,00	4,59%	3,67%
18	588,00	544,00	540,00	532,00	528,00	536,00	10,20%	8,84%
19	316,00	304,00	300,00	296,00	280,00	276,00	11,39%	12,66%
20	348,00	332,00	328,00	320,00	308,00	296,00	11,49%	14,94%
21	424,00	412,00	384,00	348,00	360,00	364,00	15,09%	14,15%
Promedio	457,50	427,75	444,25	435,25	433,25	437,77	5,30%	4,31%
Desv. Est.	89,06	66,70	80,93	85,29	98,55	104,49	-	-
Máximo	612,00	544,00	616,00	592,00	612,00	632,00	-	-
Mínimo	316,00	304,00	300,00	296,00	280,00	276,00	-	-

6.12. Sólidos volátiles totales

Tabla 53

Resultados del monitoreo de los sólidos volátiles totales

SEMANA	SOLIDOS VOLATILES TOTALES (mg/l)						Eficiencia (%) PT-5	Eficiencia (%) PT-6
	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6		
6	124,00	152,00	132,00	124,00	112,00	144,00	9,68%	-16,13%
7	160,00	172,00	152,00	140,00	24,00	16,00	85,00%	90,00%
8	232,00	252,00	188,00	204,00	148,00	116,00	36,21%	50,00%
9	220,00	168,00	156,00	164,00	172,00	152,00	21,82%	30,91%
10	84,00	88,00	16,00	12,00	48,00	32,00	42,86%	61,90%
11	168,00	120,00	140,00	180,00	136,00	220,00	19,05%	-30,95%
12	196,00	168,00	152,00	164,00	160,00	108,00	18,37%	44,90%
13	64,00	104,00	88,00	36,00	64,00	52,00	0,00%	18,75%
14	200,00	164,00	108,00	132,00	160,00	160,00	20,00%	20,00%
15	304,00	248,00	260,00	284,00	308,00	311,60	-1,32%	-2,50%
16	380,00	344,00	252,00	244,00	248,00	240,00	34,74%	36,84%
17	256,00	220,00	216,00	208,00	208,00	200,00	18,75%	21,88%
18	172,00	144,00	140,00	140,00	136,00	132,00	20,93%	23,26%
19	320,00	292,00	280,00	260,00	264,00	260,00	17,50%	18,75%
20	312,00	304,00	296,00	292,00	296,00	296,00	5,13%	5,13%
21	260,00	240,00	260,00	284,00	260,00	236,00	0,00%	9,23%
Promedio	215,75	198,75	177,25	179,25	171,50	167,22	20,51%	22,49%
Desv. Est.	87,75	75,16	77,83	83,32	86,85	90,39	-	-
Máximo	380,00	344,00	296,00	292,00	308,00	311,60	-	-
Mínimo	64,00	88,00	16,00	12,00	24,00	16,00	-	-

6.13. Nitrógeno amoniacal

Tabla 54

Resultados del monitoreo del nitrógeno amoniacal

SEMANA	NITROGENO AMONIAICAL						Eficiencia (%) al PT-05	Eficiencia (%) al PT-06
	PT-01	PT-02	PT-03	PT-04	PT-05	PT-06		
12	45,00	26,00	7,00	1,00	1,00	0,00	97,78%	100,00%
13	46,00	34,00	11,00	5,00	0,00	0,00	100,00%	100,00%
14	74,00	55,00	17,00	1,00	1,00	0,00	98,65%	100,00%
16	68,00	47,00	30,00	9,00	1,00	0,00	98,53%	100,00%
18	62,00	48,00	28,00	10,00	1,00	0,00	98,39%	100,00%
19	68,00	42,00	24,00	9,00	1,00	0,00	98,53%	100,00%
20	49,00	42,00	28,00	3,00	0,00	0,00	100,00%	100,00%
21	51,00	42,00	27,00	8,00	1,00	0,00	98,04%	100,00%
Promedio	57,88	42,00	21,50	5,75	0,75	0,00	98.70%	100.00%
Desv. Est.	11,43	8,86	8,73	3,73	0,46	0,00	-	-
Máximo	74,00	55,00	30,00	10,00	1,00	0,00	-	-
Mínimo	45,00	26,00	7,00	1,00	0,00	0,00	-	-

6.14. Nitrito

Tabla 55

Resultados del monitoreo del nitrito

SEMANA	NITRITO					
	PT-01	PT-02	PT-03	PT-04	PT-05	PT-06
12	9,00	19,00	36,00	46,00	48,00	49,00
13	3,00	21,00	40,00	55,00	62,00	56,00
14	8,00	28,00	44,00	52,00	32,00	22,00
16	4,00	28,00	29,00	26,00	27,00	28,00
18	7,00	24,00	26,00	14,00	13,00	6,00
19	16,00	21,00	23,00	11,00	8,00	2,00
20	3,00	5,00	23,00	15,00	10,00	2,00
21	3,00	10,00	35,00	19,00	9,00	2,00
Promedio	6,63	19,50	32,00	29,75	25,25	20,88
Desv. Est.	4,5	8,2	7,9	18,3	20,2	21,9
Máximo	16,00	28,00	44,00	55,00	62,00	56,00
Mínimo	3,00	5,00	23,00	11,00	1,00	2,00

6.15. Nitrato

Tabla 56

Resultados del monitoreo del nitrato

SEMANA	NITRATO					
	PT-01	PT-02	PT-03	PT-04	PT-05	PT-06
12	19,20	11,00	38,40	51,60	59,60	36,40
13	2,50	21,40	30,00	58,00	65,20	64,40
14	12,00	28,60	52,20	79,20	59,60	52,40
16	6,00	26,00	32,20	41,40	25,40	40,40
18	5,30	28,90	32,40	42,80	29,20	24,60
19	15,20	19,40	17,60	21,60	16,80	11,80
20	13,40	27,20	29,20	23,20	10,60	18,20
21	25,00	45,00	58,00	62,00	27,00	32,00
Promedio	12,33	25,94	36,25	47,48	36,68	35,03
Desv. Est.	7,59	8,07	13,09	19,50	21,44	17,47
Máximo	25,00	45,00	58,00	79,20	65,20	64,40
Mínimo	2,50	11,00	17,60	21,60	10,60	11,80

6.16. Coliformes termotolerantes

Tabla 57

Resultados del monitoreo de los coliformes termotolerantes

FECHA	SEMANA	COLIFORMES TERMOTOLERANTES				
		PT-01	PT-05	PT-06	Eficiencia al PT-05	Eficiencia al PT-06
13/07/2017	12	1,70E+06	5,20E+04	1,20E+04	96,94%	99,29%
20/07/2017	13	2,30E+06	7,80E+04	3,60E+04	96,61%	98,43%
10/08/2017	15	2,89E+07	5,90E+04	4,50E+04	99,80%	99,84%
24/08/2017	17	1,30E+06	1,50E+04	9,50E+03	98,85%	99,27%
07/09/2017	19	1,90E+07	9,80E+03	9,90E+03	99,95%	99,95%
21/09/2017	21	5,40E+07	5,20E+04	6,80E+04	99,90%	99,87%
Promedio		1,79E+07	4,43E+04	3,01E+04	99,75%	99,83%
Desv. Est.		2,10E+07	2,65E+04	2,39E+04	-	-
Máximo		5,40E+07	7,80E+04	6,80E+04	-	-
Mínimo		1,30E+06	9,80E+03	9,50E+03	-	-
Log 10		7.25	4.65	4.48		

Anexo 2 : Dimensionamiento del medio filtrante y los módulos del DHS

Para el diseño del DHS, se utilizó como medias filtrantes esponjas en forma de cilindros huecos, las cuales fueron endurecidas con pintura epóxica. Por temas de practicidad y facilidades de producción, se utilizó esponjas de las siguientes características y dimensiones:

Tabla 58

Características geométricas de las esponjas endurecidas

Características de la Esponja endurecida			
Diámetro Exterior	D1=	5.0	cm
Diámetro Interior	D2=	2.0	cm
Altura	H=	5.0	cm
Volumen unitario	Vun=	82.5	cm ³
Área superficial	A _{sup} =	142.9	cm ²
Peso	W=	7.5	g

Figura 43

Dimensionamiento de la esponja endurecida

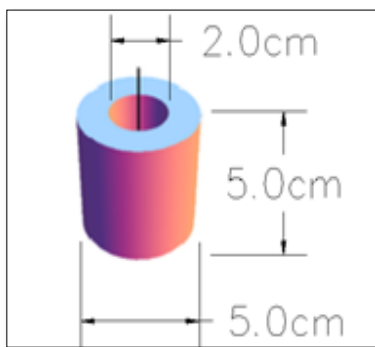


Tabla 59*Obtención de la densidad promedio de la esponja endurecida*

Esponja Endurecida Numerada	Volumen Real de esponja (cm3)	Masa de la esponja (g)	Densidad (kg/m3)	A Superficial x esponja (cm2)	Volumen Ocupado x esponja (cm3)
1	82.47	7.50	90.95	142.94	98.18
2	76.79	7.20	93.77	143.87	96.17
3	76.97	7.20	93.54	140.74	94.29
4	84.12	7.90	93.92	145.14	100.14
5	76.97	7.30	94.84	140.74	94.29
6	82.47	8.00	97.01	142.94	98.18
Promedio	79.96	7.52	94.00	142.73	96.87

Se obtuvo una densidad promedio de 94 kg/m3 de esponja endurecida.

Tabla 60*Obtención de la porosidad de la esponja endurecida*

Esponja Endurecida Numerada	Volumen Real de esponja (cm3)	Volumen de agua en probeta inicio (ml)	Volumen de agua en probeta final(ml)	Volumen de agua absorbida por esponja	Porosidad de esponja endurecida
1	82.47	500	450	55.00	66.69%
2	76.79	500	455	46.00	59.91%
3	76.97	500	456	48.00	62.36%
4	84.12	500	449	54.00	64.20%
5	76.97	500	454	49.00	63.66%
6	82.47	500	451	53.00	64.27%
Promedio	79.96	500.00	452.50	50.83	63.51%

Se obtuvo una porosidad promedio de 63.51% de esponja endurecida.

Figura 44

Porosidad de la esponja endurecida con pintura epóxica



Tabla 61

Dimensionamiento Teórico de los módulos cilíndricos de acrílico

Características	Cantidad	Unidades
Caudal Afluyente Q_a =	120.96	l/d
Caudal Recirc. Q_r =	60.48	l/d
Caudal Total, caudal de Funcionamiento Q_t =	2.10	c
	181.44	l/d
Tiempo de retención Hidráulico, TRH=	2	H
Volumen de agua a tratar =	15120	cm ³
Porosidad de las esponjas =	63.57%	
volumen necesario de esponja =	23784	cm ³
Volumen unitario promedio de cada esponja =	79.96	cm ³
Número de Esponjas =	297.00	und
Número de cilindros Acrílicos (Módulos) =	3	und
Numero de Esponjas rígidas dentro de cada modulo	99	und
Resultados		
Características	Cantidad	Unidades
Vol. necesario de esponja x modulo=	7928	cm ³
% de material ocupado	33.8	%
Vol. de cada modulo	23456	cm ³
Altura de cada Módulo H=	58	cm
Diámetro de cada Módulo D=	22.69	cm

Se obtuvo una dimensión teórica de 58cm de altura y 22.69cm de diámetro; la dimensión real fue de 60cm de alto y 22cm de diámetro.

Anexo 3 : Pre-dimensionamiento del sedimentador

Para la realización de la recirculación del DHS, se utilizó un sedimentador, de las siguientes características y dimensiones:

Tabla 62

Dimensionamiento del volumen del sedimentador

Características	Cantidad	Unidad
Caudal Efluente Q_e =	181.44	l/d
Tiempo de retención TRH=	90.00	min
Volumen de sedimentador V=	11.34	L

Figura 45

Sedimentador instalado, en proceso de operación



Anexo 4 : Panel Fotográfico

Para la realización de la recirculación del DHS, se utilizó un sedimentador, de las siguientes características y dimensiones:

6.17. Construcción del DHS

Figura 46

Materiales y partes para la construcción del DHS, en proceso de montaje e instalación



Nota: En la figura se muestra el área en la cual se instaló en DHS y los materiales utilizados en el proceso de armado.

Figura 47

Materiales y partes para la construcción del DHS, en proceso de montaje e instalación



Nota: En la figura de la izquierda se aprecia el cilindro acrílico transparente de 60cm de alto por 20 cm de diámetro, en la figura de la derecha se muestra la base de un cilindro acrílico con alambres bañados en pintura epóxica, que funcionaran como soporte de las esponjas endurecidas, adicional se aprecia estar forrado una parte con plástico negro.

Figura 48

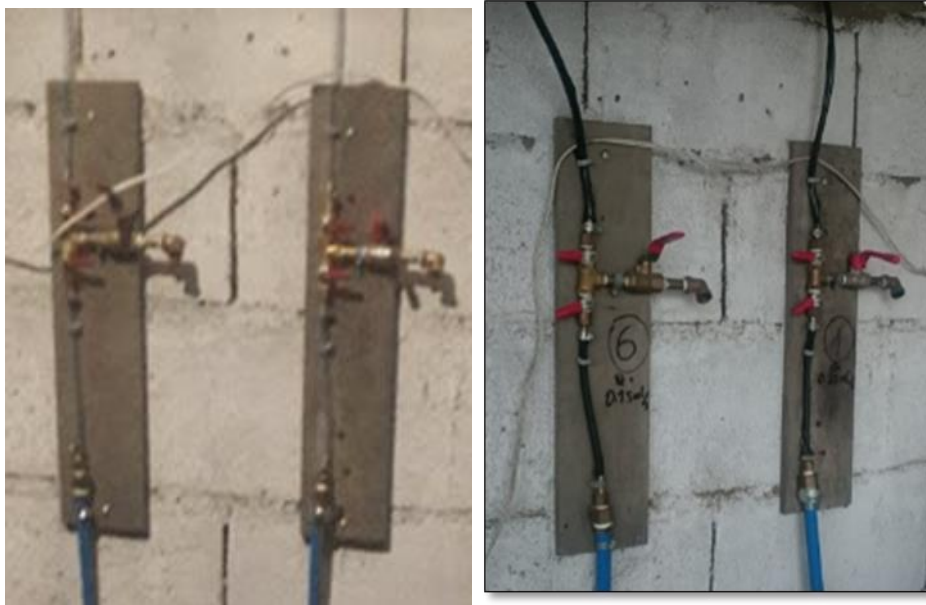
Materiales y partes para la construcción del DHS, en proceso de montaje e instalación



Nota: En la figura de la izquierda se aprecia una caja forrada de plástico negro, la cual fue utilizada como sedimentador; la imagen de la derecha muestra la caja conectada, mediante tuberías, con un balde forrado y entre ellos una válvula compuerta (para tomar muestras de calidad de agua).

Figura 49

Antes y después de forrado de mangueras transparentes

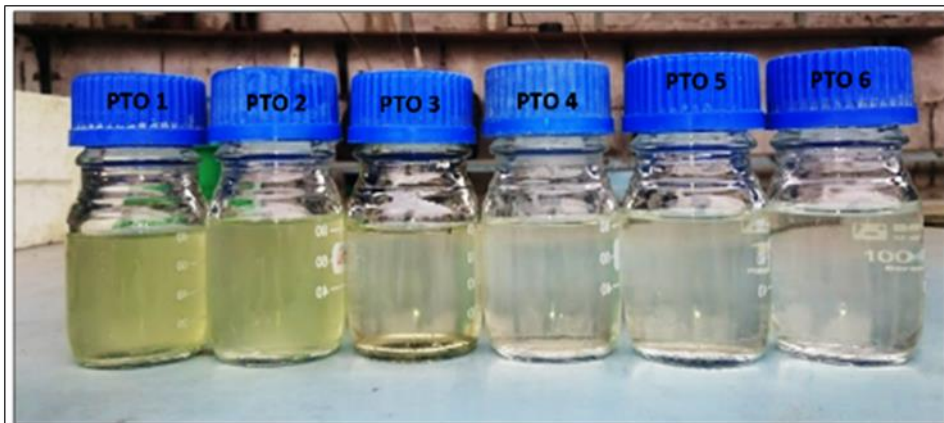


Nota: En la figura de la izquierda se aprecian 02 mangueras transparente de 5/8" de diámetro con una válvula de compuerta (para tomar muestras de calidad de agua); en la figura de la derecha se aprecia las mismas mangueras pero ahora forradas con cinta aislante para provenir la formación de algas por radiación solar.

6.18. Muestras de calidad de agua en el DHS

Figura 50

Frascos de vidrio con toma de muestras de calidad de agua por punto de monitoreo del DHS



Nota: En la figura se muestra los 06 frascos de vidrio de 100ml de capacidad y se aprecia la mejora en la reducción de turbiedad desde el punto de muestreo Pto N° 01 hasta el Pto N°06.

6.19. Ensayos de laboratorio

Figura 51

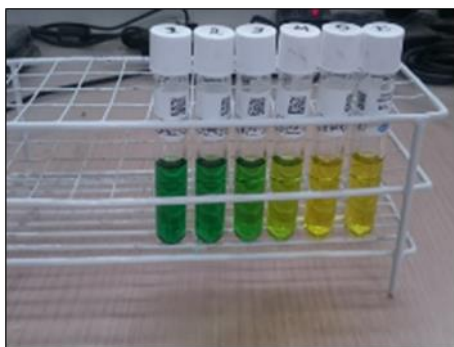
Proceso de medición del nitrógeno amoniacal en los puntos de monitoreo



Nota: En la figura de la izquierda se aprecia el Colorímetro DR890 y los viales de nitrógeno amoniacal colocados en una grilla, por el lado derecho de la imagen se aprecia los recipientes de muestreo enumerados, la piceta, bomba manual y los sobres de los reactivos que se añadieron a los viales de nitrógeno amoniacal.

Figura 52

Viales para nitrógeno amoniacal desde el punto 1 al punto 5



Nota: En la figura se muestra los viales de nitrógeno amoniacal ordenados desde el Pto 1 al Pto 5, luego de añadir los reactivos y las muestras del reactor DHS; el color verde indica la presencia de nitrógeno amoniacal y el amarillo la ausencia de nitrógeno amoniacal. Este análisis fue realizado en CITRAR-FIA-UNI.

Figura 53

Proceso de medición del nitrógeno amoniacal en los puntos de monitoreo



Nota: En la figura de la derecha se muestra el microscopio óptico de CITRAR-FIA-UNI, utilizado para inspeccionar los microorganismos presentes en las aguas residuales; en la imagen de la derecha se aprecia probablemente un rotífero alimentándose, la imagen fue tomada con el microscopio y el lente x10.

Figura 54

Reactivos para prueba de DBO5 y su preparación



Nota: En la figura de la izquierda se aprecia los reactivos necesarios para preparar el agua de cultivo para la prueba de DBO5, en la imagen de la derecha se aprecia la medición de DBO al quinto día de realizada la prueba. Este análisis fue realizado en el laboratorio del agua de la facultad de ingeniería ambiental.

Figura 55

A la izquierda el equipo de filtración de vacío y a la derecha los crisoles con muestras.



Nota: En la figura de la izquierda se aprecia el uso del equipo de filtración en vacío para la determinación de sólidos suspendidos totales, en la imagen de la derecha se aprecian 06 crisoles y dentro de cada uno, un filtro de fibra de vidrio con los sólidos retenidos debido a la utilización del equipo de filtración en vacío.

Figura 56

Inspección visual de los tubos para la determinación de coliformes, para determinación de formación de gases

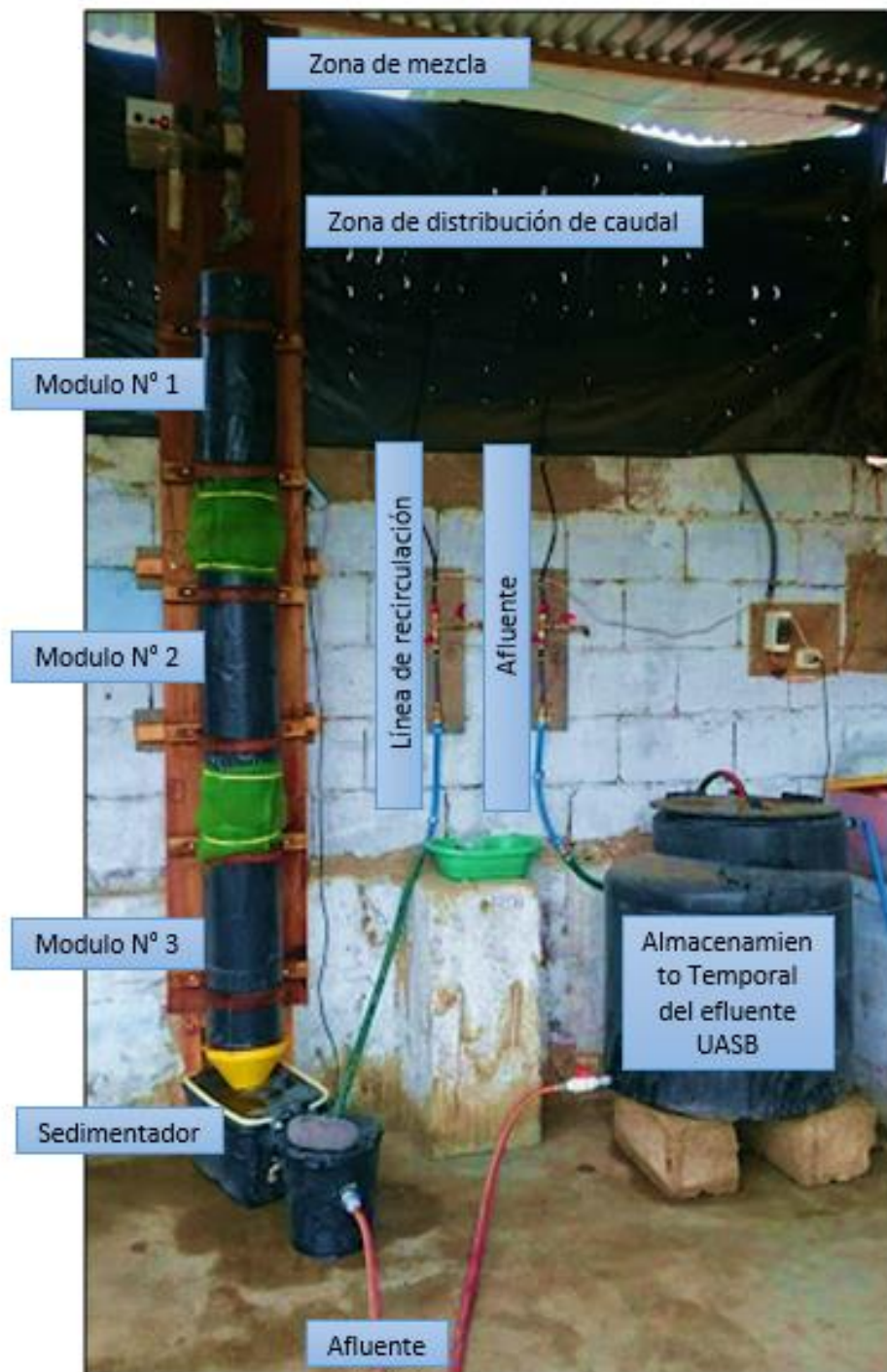


Nota: En la figura de la izquierda se aprecia la inspección visual de formación de gases en los tubos de 10 ml; en la imagen de la derecha se aprecia los tubos positivos (presencia de gas).

6.20. Esquema del reactor DHS

Figura 57

Esquema general del reactor DHS G6



6.21. Operación del reactor DHS

Figura 58

extracción de esponjas endurecidas de los módulos del DHS



Nota: En la figura de izquierda a derecha muestran la extracción de esponjas endurecidas del módulo n°01, módulo n°02 y módulo n°03 respectivamente; esto, con la finalidad de ver la formación de la capa biológica en el medio filtrante.

Figura 59

Malla que impide ingreso de mosquitos al reactor



Nota: En la figura se muestra el módulo n°01 y el módulo n°02 del reactor DHS; al estar distanciados 10cm, se colocó una malla mosquitero, para impedir el ingreso de moscas y crecimiento de larvas en los módulos.

Figura 60

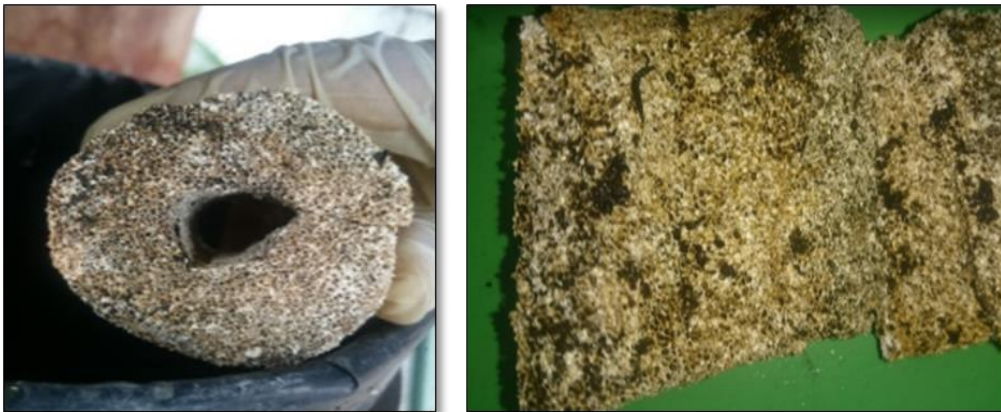
Medio filtrante de cada módulo de investigación



Nota: En la figura de la izquierda a derecha se aprecia las esponjas endurecidas extraídas del módulo n°01, módulo n°02 y módulo n°03 respectivamente. Se aprecia una mayor colmatación en las esponjas del módulo n°01

Figura 61

medio filtrante extraídos del módulo 2, con materia orgánica en su interior.



Nota: En la figura de la izquierda muestra el instante que se extrajo la esponja endurecida del módulo n°02 y la imagen de la derecha muestra un corte transversal de la esponja endurecida apreciando internamente a formación de una capa biológica (biofilm).

Figura 62

medio filtrante extraídos del módulo 1, con materia orgánica en su interior.



Nota: En la figura de la derecha muestra las esponjas endurecidas del módulo n°01 y la imagen de la izquierda muestra un corte transversal realizado a la esponja, apreciando la formación de capa biológica (biofilm) en el interior de la esponja. Cabe resaltar que visualmente no hay deformación de la esponja.

6.22. Características inusuales en el reactor DHS

Figura 63

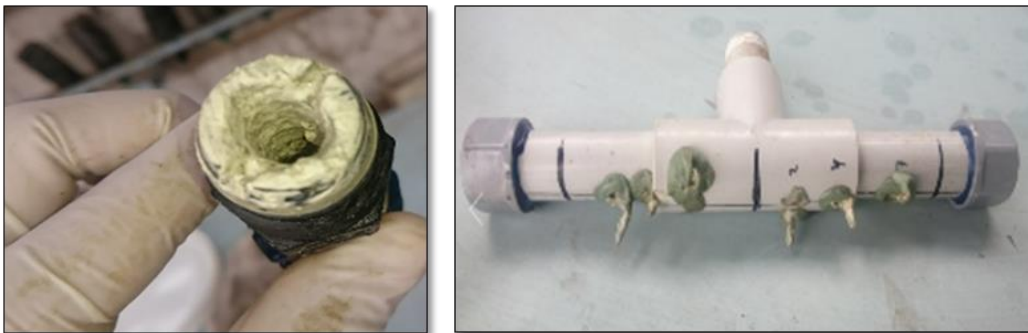
Malla con retención de sólidos y formación de precipitado blanco



Nota: En la figura se aprecia mallas de plástico que fueron colocadas en la zona de mezcla del reactor DHS y se aprecia al día siguiente la formación de una capa blanca densa.

Figura 64

Formación de capa blanca en el brazo giratorio



Nota: En la figura se muestran la zona de mezcla del reactor DHS, en la cual se aprecia la formación de una capa blanca y densa, en las paredes de las tuberías y en los orificios del agitador mecánico, generando problemas por obstrucción en los orificios.