

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES**



Evaluación de eficiencia de remoción de materia orgánica presente  
en agua residual en un DHS de sexta generación Lima 2021  
alimentado con agua residual doméstica

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES**

Jarumi Daily Castillo Quijano

Nery Estefany Coñes Jorge

**ASESOR**

Heidi Isabel Sánchez Torres

Lima, Perú

2023

## METADATOS COMPLEMENTARIOS

### Datos de los Autores

#### Autor 1

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

#### Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

#### Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

#### Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

---

### Datos de los Asesores

#### Asesor 1

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

#### Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

### Datos del Jurado

#### Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

#### Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

#### Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

### Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

**\*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 023 - 2024/UCSS/FCAA/DI

Siendo las 10:30 a.m. del martes 07 de mayo de 2024 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- |                                   |                 |
|-----------------------------------|-----------------|
| 1. Mario Antonio Anaya Raymundo   | presidente      |
| 2. Segundo Octavio Zegarra Aliaga | primer miembro  |
| 3. Julián Alberto Álvarez Paredes | segundo miembro |
| 4. Heidi Isabel Sánchez Torres    | asesor(a)       |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Evaluación de eficiencia de remoción de materia orgánica presente en agua residual en un DHS de sexta generación Lima 2021 alimentado con agua residual doméstica** que presentan las bachilleres en Ciencias Ambientales, **Jarumi Daily Castillo Quijano y Nery Estefany Coñes Jorge**, cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

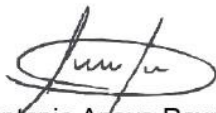
Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR

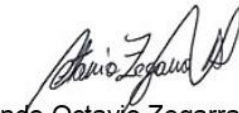
DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **SUFICIENTE** y eleva la presente acta al decanato de la Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales, a fin de que se declare **EXPEDITA** para conferirle el **TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL**.

Lima, 07 de mayo de 2024.



Mario Antonio Anaya Raymundo  
Presidente



Segundo Octavio Zegarra Aliaga  
1° miembro



Julián Alberto Álvarez Paredes  
2° miembro



Heidi Isabel Sánchez Torres  
Asesor(a)

**Anexo 2****CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO**

Ciudad, Lima 16 de agosto de 2024

Señor(a),  
Wilfredo Mendoza Caballero  
Jefe del Departamento de Investigación  
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis** / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con **título: Evaluación de eficiencia de remoción de materia orgánica presente en agua residual en un DHS de sexta generación Lima 2021 alimentado con agua residual doméstica**, presentado por **Castillo Quijano Jarumi Daily**, con código de estudiante **2012200324**, **DNI 48446063** y **Coñes Jorge Nery Estefany**, con código de estudiante **2012200138**, **DNI 70120791**; para optar el **título profesional**/grado académico de Ingeniero Ambiental ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 1 % (poner el valor del porcentaje)**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'HIST', is written over a horizontal line.

**Firma**

**Heidi Isabel Sánchez Torres**

DNI N°: 40484791

ORCID: 0000-0001-5876-6920

Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales - UCSS

\* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mis padres y mi familia por todo el apoyo que me han brindado en mi camino profesional, y a todas las personas que me apoyaron e impulsaron o lograr mis objetivos para llegar a la meta final, enseñándome la importancia que amerita el desarrollo y crecimiento personal y profesional.

De manera especial a mi hijo, Axel, por ser mi mayor motivación. A mis padres por su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a la municipalidad de Independencia (Ing. Edgar Grandez), por la confianza y el apoyo brindado en las facilidades para adquirir el efluente.

A nuestra asesora Heidi Sánchez por su compromiso y apoyo en el proceso que conlleva obtener el título profesional.

Al Mag. Héctor Gil por el apoyo, sus conocimientos y apreciaciones constructivas que ayudaron en la realización de esta investigación.

A nuestros padres y hermanos que nos apoyaron en todo momento de forma incondicional.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Bases teóricas especializadas.....	10
1.2.2. Composición del agua residual doméstica.....	12
1.2.3. Calidad del agua.....	12
1.2.4. Características del agua residual.....	12
1.2.5. Medición de la carga contaminante de un agua residual.....	15
1.2.6. Sistema de tratamiento.....	16
1.2.7. Procesos de tratamientos en aguas residuales.....	17
1.2.7.1. Pretratamiento.....	18
1.2.7.2. Tratamiento primario:.....	18
1.2.7.3. Tratamiento secundario.....	19
1.2.7.4. Tratamiento terciario.....	22
1.2.8. Reactor Anaerobio de flujo Ascendente (UASB).....	22
1.2.9. Reactor de Esponjas Colgantes de Flujo Descendente (D.H.S).....	23
1.2.10. Tiempo de retención hidráulica (TRH).....	27
Sistemas combinados.....	30
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
2.1. Diseño de la investigación.....	31
2.2. Lugar y fecha.....	32
2.3. Descripción del experimento.....	33
2.4. Tratamientos.....	37
2.5. Unidades experimentales.....	39
2.6. Identificación de variables y su mensuración.....	40



2.7. Diseño estadístico del experimento .....	40
2.8. Análisis estadístico de datos .....	41
2.9. Materiales y equipos .....	42
CAPÍTULO III: RESULTADOS .....	52
3.1. Comportamiento del caudal, pH, temperatura y conductividad eléctrica del sistema DHS .....	52
3.1.1. Resultados del caudal de operación .....	52
3.1.2. Variación del pH en el afluente y efluente del Sistema DHS G-6.....	53
3.2. Evaluación de la remoción de los parámetros analizados.....	59
3.2.3. Análisis del tiempo de retención hidráulica y la dimensión de la esponja .....	64
a. Análisis estadístico a los valores de DBO <sub>5</sub> .....	64
b. Análisis estadístico a los valores de DQO .....	73
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES .....	88
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES .....	95
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES .....	96
TERMINOLOGÍA .....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Clasificación de los principales contaminantes del agua residual doméstica</i> .....	11
Tabla 2. <i>Características del agua residual doméstica</i> .....	13
Tabla 3. <i>Parámetros de operación de un reactor anaerobio</i> .....	21
Tabla 4. <i>Dimensiones de las Esponjas</i> .....	29
Tabla 5. <i>Niveles de fluctuación del estudio</i> .....	38
Tabla 6. <i>Diseño factorial del experimento</i> .....	38
Tabla 7. <i>Variabes a ser evaluados en la investigación</i> .....	40
Tabla 8. <i>Matriz del diseño experimental para la preparación del reactor DHS-G6</i> .....	41
Tabla 9. <i>Determinación del caudal promedio de operación del sistema DHS-G6</i> .....	52
Tabla 10. <i>Valores de pH a la entrada y salida del sistema DHS G-6 con LMP</i> .....	53
Tabla 11. <i>Temperatura en la entrada y salida del sistema DHS G-6 con LMP</i> .....	56
Tabla 12. <i>Conductividad eléctrica en la entrada y salida del sistema DHS-G6</i> .....	58
Tabla 13. <i>Resultados obtenidos a la salida del sistema DHS G-6</i> .....	59
Tabla 14. <i>Porcentaje de remoción de los parámetros analizados en el laboratorio</i> .....	63
Tabla 15. <i>Volumen de las esponjas y el TRH</i> .....	67
Tabla 16. <i>Matriz del análisis factorial</i> .....	67
Tabla 17. <i>Análisis de la Varianza de DBO5</i> .....	68
Tabla 18. <i>Modelo estadístico para la DBO5</i> .....	68
Tabla 19. <i>Ecuación de regresión de unidades no codificadas para DBO5</i> .....	70
Tabla 20. <i>Volumen de las esponjas y el TRH</i> .....	75
Tabla 21. <i>Matriz del análisis factorial</i> .....	75
Tabla 22. <i>Análisis de la Varianza de DQO</i> .....	76
Tabla 23. <i>Modelo estadístico para DQO</i> .....	76
Tabla 24. <i>Ecuación en unidades no codificadas para DQO</i> .....	77
Tabla 25. <i>Volumen de las esponjas y el TRH</i> .....	83
Tabla 26. <i>Matriz del análisis factorial</i> .....	83
Tabla 27. <i>Análisis de varianza de SST</i> .....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Clasificación de sólidos presentes en aguas residuales .....	15
<i>Figura 2.</i> Medición de la carga contaminante de un agua residual .....	16
<i>Figura 3.</i> Diagrama de PTAR de aguas residuales domésticas.....	17
<i>Figura 4.</i> Procesos de tratamiento para aguas residuales .....	17
<i>Figura 5.</i> Esquema de un pre tratamiento .....	18
<i>Figura 6.</i> Métodos fisicoquímicos y biológicos para tratamientos de agua residual .....	19
<i>Figura 7.</i> Fases del proceso anaerobio .....	21
<i>Figura 8.</i> Esquema de un reactor UASB .....	23
<i>Figura 9.</i> Esquema general del sistema Down-flow Hanging Sponge de sexta generación .....	24
<i>Figura 10.</i> Generaciones de los DHS a través de los años.....	25
<i>Figura 11.</i> Concepto de un sistema DHS .....	26
<i>Figura 12.</i> Esquema detallado del sistema de tratamiento de un Reactor (DHS-6).....	27
<i>Figura 13.</i> Medios y formas de las esponjas de poliuretano para DHS G-6 generación ....	28
<i>Figura 14.</i> Diagrama esquemático del reactor DHS G-6 .....	28
<i>Figura 15.</i> Sistema combinado de un tratamiento de una PTAR.....	30
<i>Figura 16.</i> Mapa de ubicación de PTAR Independencia .....	32
<i>Figura 17.</i> Mapa de ubicación del reactor DHS-G6 .....	33
<i>Figura 18.</i> Etapas del proceso de investigación del sistema DHS-G6.....	35
<i>Figura 19.</i> Implementación del Sistema DHS-G6 .....	36
<i>Figura 20.</i> PTAR de la municipalidad de Independencia .....	36
<i>Figura 21.</i> Sistema DHS G-6 .....	39
<i>Figura 22.</i> Materiales para la construcción el sistema DHS G-6.....	43
<i>Figura 23.</i> Caudal de operación del sistema DHS-G6 .....	52
<i>Figura 24.</i> Variación del pH en la entrada y en el efluente del sistema DHS-G6 .....	54
<i>Figura 25.</i> Variación del pH del sistema DHS G-6 con respecto a los límites máximo permisibles .....	55
<i>Figura 26.</i> Variación de la temperatura del sistema DHS-G6 con respecto a los LMP.....	57
<i>Figura 27.</i> Conductividad eléctrica del agua en la entrada y salida del sistema DHS-G6..	58
<i>Figura 28.</i> Parámetros analizados a la salida del sistema DHS-G6 .....	60
<i>Figura 29.</i> Evaluación de la DBO5 en los diferentes tipos de tratamiento con DHS .....	61

<i>Figura 30.</i> Comparación del DQO en el ingreso y salida del sistema DHS-G6 con respecto al LMP .....	61
<i>Figura 31.</i> Comparación del SST en el ingreso y salida del sistema DHS-G6 con LMP...	62
<i>Figura 32.</i> Porcentaje de remoción de la materia orgánica (DBO5, DQO y SST) del sistema DHS-G6.....	64
<i>Figura 33.</i> Gráfica de residuos para eficiencia de remoción de DBO5 .....	65
<i>Figura 34.</i> Gráfica de Probabilidad de RESI1 del DBO5 .....	66
<i>Figura 35.</i> Diagrama de Pareto efectos estandarizados de DBO5 .....	69
<i>Figura 36.</i> Gráfica de efectos de remoción de DBO <sub>5</sub> en relación al tiempo y volumen de la esponja.....	70
<i>Figura 37.</i> Grafica de interacción para eficiencia de remoción DBO5.....	71
<i>Figura 38.</i> Grafica de contorno de eficiencia de remoción vs volumen esponja; tiempo de DBO5 .....	72
<i>Figura 39.</i> Grafica de superficie de eficiencia de remoción DBO5 vs volumen esponja ...	72
<i>Figura 40.</i> Optimización de respuesta de DBO5 .....	73
<i>Figura 41.</i> Gráfica de residuos para eficiencia de remoción de DQO .....	73
<i>Figura 42.</i> Probabilidad de RESI1 de DQO.....	74
<i>Figura 43.</i> Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de DQO .....	77
<i>Figura 44.</i> Gráfica de efectos principales para eficiencia de remoción de DQO.....	78
<i>Figura 45.</i> Gráfica de interacción para eficiencia de remoción de DQO.....	79
<i>Figura 46.</i> Grafica contorno eficiencia remoción vs volumen esponja: tiempo de DQO...	79
<i>Figura 47.</i> Grafica de superficie de eficiencia de remoción vs volumen de esponja en 3d DQO .....	80
<i>Figura 48.</i> Optimización de respuesta para DQO .....	80
<i>Figura 49.</i> Gráfica de residuos para la eficiencia de remoción de SST .....	81
<i>Figura 50.</i> Gráfico de probabilidad de RESI1 de SST.....	82
<i>Figura 51.</i> Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de SST.....	85
<i>Figura 52.</i> Gráfica de efectos principales para eficiencia remoción SST.....	85
<i>Figura 53.</i> Gráfica de interacción para eficiencia de remoción de SST.....	86
<i>Figura 54.</i> Grafica de contorno de eficiencia de remoción vs volumen de esponja; tiempo en SST.....	86
<i>Figura 55.</i> Grafica de superficie de eficiencia de remoción SST vs volumen de esponja 3d SST.....	87
<i>Figura 56.</i> Optimización de respuesta de SST .....	87

## ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1 Certificado de calibración del parámetro PH ante INACAL .....	107
Apéndice 2 Certificado de calibración de la conductividad ante INACAL .....	109
Apéndice 3 Certificado de calibración del parámetro OD ante INACAL.....	111
Apéndice 4 Certificado ante INACAL del Laboratorio VyS Lab E.I.R.L. ....	113
Apéndice 5 Informe de ensayo N° 0222-044-JC resultados de los análisis de laboratorio .....	114
Apéndice 6 Datos Ingresados al Minitab de DBO5, DQO Y SST .....	117
Apéndice 7 Cadenas de custodia de las muestras de agua .....	118
Apéndice 8 Recolección de datos de los Parámetros Evaluados.....	120
Apéndice 9 Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales .....	122
Apéndice 10 Mapa de la PTAR de Independencia.....	123
Apéndice 11 Fotografías del proceso de ejecución del proyecto .....	124
Apéndice 12 Baremo de pearson .....	128

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica (DBO5, DQO y SST) en un DHS-G6 alimentado con agua residual doméstica proveniente de un reactor UASB en Lima. Fue evaluada la eficiencia del reactor DHS-G6 a escala piloto a modo de tratamiento secundario aerobio subsiguiente al tratamiento de un reactor UASB de las aguas residuales domésticas del centro poblado Payet, distrito de Independencia. La investigación presentó un enfoque cuantitativo y su diseño fue cuasi experimental. Este sistema consistió en elaborar un reactor de 20 cm de largo, 15 cm de ancho y 70 cm de alto; con 2 réplicas del diseño; y como medios filtrantes se usaron las esponjas de poliuretano cilíndricas. El uso del reactor DHS-G6 como tratamiento secundario tuvo alta eficiencia de remoción de la materia orgánica, alcanzando una eficiencia de remoción de un 91,15 % de DBO, un 91,38 % de DQO y lo más resaltante fue en la eliminación de los SST que alcanzaron removerse un 92,22 %, siendo esta una alternativa de bajo costo y apropiada para países en vías de desarrollo como es nuestro país. El estudio concluyó que, los parámetros evaluados han tenido una remoción ciertamente eficiente por el sistema DHS-G6 con esponjas cilíndricas, que funcionaron de modo continuo en el transcurso del período de estudio.

**Palabras claves:** *Cilíndricas, DHS, eficiencia esponjas, materia, orgánica, reactor, remoción.*

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the efficiency of removal of organic matter (BOD<sub>5</sub>, COD, TSS) in a DHS-G6 fed with domestic wastewater from a UASB reactor in Lima. The efficiency of the DHS-G6 reactor on a pilot scale was evaluated as an aerobic secondary treatment subsequent to the treatment of a UASB reactor of domestic wastewater from the Payet town center, district of Independencia. The research presented a quantitative approach and its design was quasi-experimental. This system consisted of making a reactor 20 cm long x 15 cm wide by 70 cm high and with 2 replicas of the design, cylindrical polyurethane sponges were incorporated as filter media. The use of the DHS-G6 reactor as secondary treatment had a high removal efficiency of organic matter, reaching a removal efficiency of 91,15 % of BOD, 91,38 % of COD and the most outstanding was the removal of the SST that managed to remove 92,22 %, this being a low-cost and appropriate alternative for developing countries such as our country. The study concluded that the evaluating parameters have had a certainly efficient removal by the DHS-G6 system with cylindrical sponges, which worked continuously throughout the study period.

**Keywords:** *Cylindrical, DHS, efficiency, matter, organic, reactor, removal, sponges.*

## INTRODUCCIÓN

Según información oficial de la Organización de Naciones Unidas (ONU,2018), aproximadamente el 80 % de aguas residuales mundiales no se descontaminan antes de su vertimiento y retornan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas, ocasionando no sólo la contaminación de la flora y fauna, sino, enfermedades y muertes prematuras costando anualmente varios cientos de miles de millones al PBI del planeta (Sánchez, 2017).

En Perú las actividades industriales se han incrementado considerablemente, generando aguas residuales, que muchas veces son vertidas a un cuerpo receptor sin previo tratamiento, estas se integran al ciclo hidrológico natural del agua generando que los contaminantes retornen a nuestras mesas, deteriorando nuestra salud (López, 2019).

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014), en el Perú hay sobrecarga de aguas residuales en las plantas de tratamiento cuya infraestructura es insuficiente, esto origina que los efluentes tratados excedan los límites máximos permisibles (LMP), y los cuerpos hídricos que reciben el vertimiento no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Estos generan problemas medioambientales como contaminación de cuerpos de agua, generación de malos olores, conflictos con la población, etc. “En Lima Metropolitana, se generan diariamente 1 202 286 m<sup>3</sup> de aguas residuales, de los cuales se tratan 254 966 m<sup>3</sup>, cifra que representa el 21,2 % de lo generado” (OEFA, 2014, p. 9).

Una alternativa en el tratamiento de las aguas residuales ha sido el reactor UASB (reactor anaerobio de flujo ascendente) con las siguientes ventajas: menor consumo de energía, menor producción de lodos en exceso, producción de metano para generar electricidad, operación y mantenimiento simples (Cosme, 2019; López, 2019). Por otro lado, el reactor de esponja colgante de flujo descendente (DHS) es un proceso de pos-tratamiento del efluente del UASB, cuya tecnología novedosa fue desarrollada por Harada Research Group en Japón, logrando una alta eficiencia de eliminación de DQO del 90 % en un tiempo de



retención hidráulico de 10,7 h a 15 °C (Takahashi *et al.*, 2011).

Una alternativa para el pos-tratamiento del efluente de un reactor UASB sería el uso de un reactor DHS, que presenta características idóneas para la reducción de materia orgánica, siendo ventajoso en su diseño que se componen de soportes fáciles de encontrar en el mercado nacional, el tratamiento pretende determinar que la eficiencia de remoción de materia orgánica sea mayor a 90 % (Tawfik y Wahab, 2011; Takahashi *et al.*, 2011).

La investigación estuvo orientada en determinar la eficiencia de remoción de materia orgánica del efluente de un reactor UASB, cuyo diseño es diferente y fácil de construir, este tratamiento se ha recomendado para ser usado como un complemento adicional a los tratamientos UASB, por su excelente eficiencia en la remoción de la materia orgánica, lo que permitirá reducir tiempo y costo en este proceso, para comprobar esta hipótesis se desarrolló el estudio a escala piloto.

Además, esta investigación puede servir como modelo de referencia para ser utilizada en tratamientos de aguas residuales domésticas en asentamientos humanos, poblaciones rurales que busquen mejorar la problemática del agua de manera fácil, sencilla y económico, mejorando su calidad de vida. Permitiendo con ello contribuir en la reducción de costos, uso eficiente del tiempo, mano de obra y energía para un tratamiento de aguas residuales domésticas.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica de un reactor de esponja de flujo descendente (DHS) de sexta generación alimentado con agua residual doméstica proveniente de un reactor UASB.

### **Objetivos específicos**

- Estudiar el comportamiento del efluente que sale del sistema DHS-G6: Caudal, pH, temperatura y conductividad eléctrica del sistema DHS de sexta generación.
- Evaluar la remoción de los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO y SST en relación a los límites máximos permisibles (LMP) en un DHS de sexta generación alimentado con agua residual doméstica proveniente de un reactor UASB.
- Analizar el tiempo de retención hidráulico y la dimensión de la esponja en un reactor DHS de sexta generación óptimas en la remoción de materia orgánica en el agua residual doméstica.

# CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

## 1.1. Antecedentes

### Internacionales

Tsuyoshi *et al.* (2020), los especialistas realizaron la investigación denominada “Evaluación del desempeño de un reactor de esponja colgante de flujo descendente (DHS) como sistema descentralizado de tratamiento de aguas residuales domésticas en regiones tropicales” realizada en National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Ibaraki, Japan; la investigación fue experimental, el objetivo fue evaluar el rendimiento de un reactor de esponja colgante de flujo descendente (DHS) como sistema descentralizado de tratamiento de aguas residuales domésticas en Bangkok, Tailandia. Para este estudio piloto recolectaron aguas residuales de la alcantarilla de la planta comunitaria, con valores iniciales de 285 mg/L para la demanda química de oxígeno (DQO) y 105 mg/L para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). El reactor estuvo conformado por un distribuidor de agua en la parte superior que estuvo conectada con cuatro segmentos de columnas de cloruro de polivinilo (PVC) que contenían un total de 16 000 esponjas de poliuretano. Llenaron el reactor con agua residual doméstica, siendo evaluado durante 600 días a una temperatura ambiente de 25-30 °C, tanto con condiciones de caudal constante como con condiciones de caudal fluctuante que simulaban los patrones de descarga de aguas residuales de la comunidad. Los resultados que obtuvieron indicaron que a flujo constante y a un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 5 h, lograron las condiciones óptimas que fueron reflejadas en una tasa de carga volumétrica de 0,36 kg DBO/m<sup>3</sup> esponja/día y 0,16 kg N/m<sup>3</sup> esponja/día. Con el DHS lograron tasas de eliminación del 89, 95, 91 y 90 % para DQO, DBO<sub>5</sub>, TSS y NH<sub>4</sub>-N. Los autores concluyeron que, el reactor DHS se puede aplicar para el tratamiento directo de aguas residuales domésticas con tasas de flujo fluctuantes como un sistema de tratamiento descentralizado en regiones tropicales como el sudeste asiático. Además, sugieren que el reactor DHS puede aplicarse como un sistema de tratamiento descentralizado para aguas residuales domésticas con caudales fluctuantes en regiones tropicales.

Dacewicz (2019) en la investigación “La aplicación de la biofiltración con espumas de poliuretano para el tratamiento de aguas residuales domésticas” realizada en University of Agriculture in Kraków; tuvo como objetivo aplicar de biofiltración con espumas de poliuretano para el tratamiento de aguas residuales domésticas después del pretratamiento en un tanque de sedimentación primaria. El estudio fue realizado en el departamento de ingeniería sanitaria de la Universidad de Krakóia, Polonia. Los biofiltros que usó en esta investigación fueron llenados con recortes de espuma flexible de poliuretano de formas aleatorias, utilizado comercialmente como espuma de tapicería y que presentaban una porosidad de 94,6 %. Las muestras de agua residual fueron sometidas a análisis fisicoquímicos de 2 a 3 veces por semana para evaluar la efectividad de remoción de compuestos como nitrógeno amónico, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, DBO y DQO. La efectividad de remoción de la DBO y DQO alcanzó un porcentaje mayor al 90 %. Los tratamientos de los datos fueron evaluados mediante el análisis estadístico ANOVA para la significancia de los datos. Los resultados de la eficiencia de remoción fueron determinados a partir de un estudio de cinco meses sobre los parámetros de la DBO, DQO, N-NH<sup>+</sup> y sólidos suspendidos totales. La reducción promedio de los niveles de contaminantes para este filtro alcanzó el 95, 94, 84 y 68 %, respectivamente. El autor concluyó que, las espumas flexibles de poliuretano que llevaron los filtros de flujo vertical, garantizaron condiciones favorables para el desarrollo de bacterias heterótrofas y nitrificantes sin necesidad de aireación adicional, por lo que esta tecnología fue recomendada por ser sencilla de fácil de control y económica; además de ofrecer una solución prometedora para el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas.

Solís (2018) en la investigación “Evaluación del modelo escala de biomasa suspendida por medio de esponjas colgantes de flujo descendente (DHS) como postratamiento de un reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB)” desarrollado en Rodrigo Facio, Costa Rica; cuyo objetivo fue realizar el seguimiento durante la operación del sistema de esponjas colgantes (DHS) por medio de un modelo a escala como pos-tratamiento de un reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB). El estudio experimental fue realizado en la planta de tratamiento de Bosques de Santa Ana, Costa Rica, en donde fue habilitada un reactor que fue alimentado con agua residual y que fue puesta en contacto con las esponjas de poliuretano. Las evaluaciones en los reactores fueron hechas en dos periodos a caudal de 3 L/min y 12 L/min

con retención hidráulica de 5,5 y 1,38 h, respectivamente. Los resultados contrastaron con el reglamento de vertimiento y reúso de aguas residuales de Costa Rica, obteniendo para el primer periodo valores de remoción: DBO= 57 %, DQO= 56 % y SST= 44 %; mientras que, en el segundo fue registrado valores de remoción: DBO= 50 %, DQO= 55 % y SST= 35 %. El autor concluyó, que los resultados de los parámetros DQO y DBO después de los tratamientos lograron el cumplimiento de los LMP. Asimismo, recomendaron hacer modificaciones en el manto de lodo del reactor UASB por presentar inestabilidad durante la operación afectando los resultados del DHS.

Hiep *et al.* (2018) en la investigación “Una investigación sobre el rendimiento del reactor de esponja colgante de flujo descendente (DHS) para el tratamiento de aguas residuales domésticas” realizada en Ho Chi Minh, Vietnam; tuvieron como objetivo evaluar el desempeño de un sistema DHS en el tratamiento de residuos doméstico. Realizaron a escala piloto del sistema DHS, con una capacidad de 60 L, fue diseñado y fabricado a partir de cloruro de polivinilo (PVC). Las dimensiones del sistema DHS presentaron 1,5 m de altura y con 0,2 m de ancho; además, constó de tres segmentos idénticos conectados verticalmente en serie, donde cada segmento fue relleno con poliuretano. La superficie total de la esfera de poliuretano fue de 3.300 m<sup>2</sup> y una densidad de 150 kg m<sup>-3</sup>. El sistema DHS fue operado a temperatura ambiente dentro de los 82 días, presentando un aumento gradual de la tasa de fracción orgánica de 0,5; 1 y 1,5 kg m<sup>-3</sup>d<sup>-1</sup>, este sistema funcionó bien durante todo el período operativo y consiguió la máxima eliminación de DQO, DBO<sub>5</sub>, NH<sup>4+</sup>-N, y TN con 80, 83, 65 y 60 % respectivamente. Los autores concluyeron que, el rendimiento del sistema DHS indicó un alto potencial de aplicación en la eliminación de residuos orgánicos y convertir amoníaco en nitrato de nitrógeno, sin embargo, no funcionó bien para la eliminación de nitrógeno total, recomendándose, estudiar más a fondo este sistema proporcionando una zona anóxica para mejorar el tratamiento de nutrientes en aguas residuales.

Centeno (2017) realizó una investigación titulada “Evaluación de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales domésticas con un reactor de esponja colgante de flujo descendente (DHS) para el postratamiento de un efluente de sedimentación primaria”, San José, Costa Rica. La investigación tuvo como objetivo evaluar un filtro percolador con material de relleno de espuma de poliuretano para el postratamiento de un efluente de

sedimentador primario. El sistema de tratamiento fue completado con un sedimentador secundario (SS) a la salida del DHS. El sistema DHS + SS fue monitoreado por más de un año (entrada al DHS y salida del SS), haciendo variar el tiempo de retención hidráulica y revisando las eficiencias de remoción de materia orgánica en términos de la DBO, DQO y los SST. Los tratamientos fueron evaluados mediante el análisis estadístico ANOVA para la significancia de los datos. El sistema presentó su mejor desempeño para un tiempo de retención hidráulica de 2,8 horas, equivalente a una carga orgánica volumétrica de entre 0,60 a 0,80 kg DBO y DQO/m<sup>3</sup>. Para esa condición cumplieron con los límites máximos permisibles de DBO y DQO como lo establece la DE-33601-S-MINAE en el 100 % de los casos, aunque incumplió en un 25 % del tiempo para el parámetro de SST. El autor concluyó que el sistema presentó problemas a nivel del sedimentador secundario, generando un arrastre de lodos que afectó el resultado de SST en el efluente final.

## **Nacionales**

Llantoy y Sánchez (2018) realizaron una investigación “Estudio del sistema D.H.S. de tercera generación para remover los parámetros de análisis de los LMP en el efluente del tanque séptico del centro poblado de Marian – Independencia - Huaraz – 2016”; cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento del reactor DHS-G1 en el tratamiento de aguas residuales domésticas de un efluente de tanque séptico. Este estudio experimental fue realizado a escala piloto, en el centro poblado de Marian, Independencia-Huaraz y fue planteado como un tratamiento secundario de efluente de un tanque séptico. Los medios filtrantes usados en los reactores fueron elaborados con esponjas de poliuretano de resina epóxica. Los sistemas fueron desarrollados a temperaturas de entre 11,25 a 15,30 °C y con un rango de pH de 7,3 a 8,11. El análisis estadístico fue realizado mediante la prueba estadística T de Student para evaluar el comportamiento la DBO<sub>5</sub>, DQO y coliformes y evaluar los porcentajes de remoción por las diversas esponjas. Los resultados demostraron que después de 23 semanas de exposición la DBO alcanzó una eficiencia de 89,04 %, en DQO obtuvo un 90,14 %, coliformes alcanzó una eficiencia de máxima de 99,49 %, sólidos totales en suspensión alcanza una eficiencia de 99,62 % y en nitritos obtuvo una eficiencia de 99 %. Los autores concluyeron que, el reactor DHS-G1 como post tratamiento ha obtenido resultados favorables con respecto a la remoción de contaminantes.

Pacush y Arias (2018) realizaron una investigación sobre “Determinación de la efectividad del sistema D.H.S. de cuarta generación como tratamiento secundario del efluente de tanque séptico para disminuir la DBO<sub>5</sub>, DQO, SST y CF en la localidad de Marian – Independencia – Huaraz, 2016”; cuyo objetivo fue determinar la efectividad de un reactor de esponjas colgantes de flujo descendente (DHS) de cuarta generación para reducir contaminantes de un efluente de tanque séptico. Evaluaron la eficiencia de reducción de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST durante un periodo de 155 días en un sistema de DHS-G4 como tratamiento secundario del efluente de un tanque séptico. Para el análisis estadístico de los datos y su significancia lo realizaron mediante la prueba ANOVA para analizar si los resultados fueron significativos. Según los resultados que obtuvieron en su investigación lo más resaltante fue de la DBO<sub>5</sub>, la cual varió de 23,08 a 86,21 %, alcanzando un promedio de remoción de 58,43 %, para los autores la variación se dio por el comportamiento del caudal, carga orgánica y sólidos suspendidos totales del efluente, los cuales presentaron fluctuaciones horarias y diarias, a esto le sumaron el impacto de las lluvias (abril a diciembre), ya que muchas viviendas en Marian tenían canaletas de lluvia conectadas al sistema de alcantarillado; con respecto a la DQO y SST no encontraron mucha variación y alcanzaron un promedio de remoción de 54,25 y 71,47 %. Los autores concluyeron que la eficiencia de eliminación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) fue del 58,43 %, pudo reducir los sólidos suspendidos totales (SST) con una eficiencia promedio de 71,47 %, la demanda bioquímica de oxígeno (DQO) del 54,25 %. Además, fue registrado eficiencias en la disminución de coliformes fecales durante el periodo de investigación.

Julca y Rodríguez (2018) realizaron la investigación titulada “Estudio del sistema D.H.S. de tercera generación para remover los parámetros de análisis de los LMP en el efluente del tanque séptico del centro poblado de Marian – Independencia - Huaraz – 2016”; teniendo como objetivo determinar la efectividad del sistema D.H.S-G3 para reducir los valores de los parámetros de análisis del efluente de un tanque séptico. El estudio fue realizado en el centro poblado de Marian-Independencia, Huaraz. En esta localidad fue construida una caseta que albergó al sistema a escala piloto por un tiempo de seis meses, en los que fueron evaluados la eficiencia de remoción de la DBO, DQO, sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes fecales. Los datos que obtuvieron del estudio fueron analizados con la prueba t de Student. Los datos promedio obtenidos a la entrada del sistema fue para la DBO de 73,33 mg/L, para la DQO fue de 174,5 mg/L, mientras que para los sólidos suspendidos totales fue

de 114,67 mg/L. Los resultados de remoción obtenidos a la salida del sistema para la DBO, DQO y SST fueron 74,9; 70,52 y 66,9 % respectivamente. Así mismo, la remoción de coliformes fecales fue de 35,72 %. Los autores concluyeron que este sistema DHS de tercera generación presentó una baja producción de lodos y una baja demanda energética y una alta remoción para la DBO y DQO.

Castillejo y Aquino (2017) realizaron una investigación sobre “Determinación de la efectividad del sistema D.H.S.-G6 como tratamiento secundario del efluente de tanque séptico para disminuir la DBO<sub>5</sub>, SST y CF en la localidad de Marian – Independencia – Huaraz, 2016”; con el objetivo de evaluar el uso de un sistema DHS tipo esponja endurecida para la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbianos de efluentes de fosas sépticas. El diseño del estudio fue de tipo cuasi-experimental, teniendo en cuenta los siguientes aspectos: un tiempo de retención hidráulica de 1,5 h, volumen del contenedor de medio filtrante de 11 543,4 cm<sup>3</sup>, volumen de esponjas endurecidas de 6 763,15 cm<sup>3</sup> y un caudal de diseño de 47,34 mL/min. Evaluaron los parámetros de pH, T, SST, DBO, DQO; así como los valores de coliformes fecales. Los análisis estadísticos fueron realizados mediante la prueba ANOVA para la significancia de los datos. Los resultados obtenidos en la investigación demostraron una alta tasa de eliminación de materia orgánica mediante el sistema DHS-G6, lograron una tasa de eliminación general de la DBO<sub>5</sub> del 87,2 %; con respecto a la DQO, alcanzaron un 85,4 %; para los SST alcanzaron un 93,3 % al final del sistema de procesamiento, en cuanto a la remoción de la grasa lograron un 99,7 % utilizando la fosa séptica y el reactor DHS-G6. El sistema eliminó el 67,2 % de los coliformes fecales, comprobando ser menos eficaz en la eliminación de coliformes fecales. Los autores concluyeron que el sistema DHS-G6 de tipo esponja solidificada fue eficaz para eliminar los contaminantes fisicoquímicos y microbianos.

Flores *et al.* (2017) realizaron una investigación sobre “Determinación de la eficiencia del sistema de filtros de esponjas colgantes continuas (DHS) en el tratamiento de aguas residuales del centro poblado de Marian Huaraz – 2017”; cuyo objetivo del estudio fue determinar la eficiencia de remoción de contaminantes fisicoquímicos (DBO<sub>5</sub> y DQO) y bacterianos en un sistema de filtración por esponja en suspensión continua (DHS) con diferentes generaciones de esponjas (G1, G2, G3, G4, G5 y G6), mediante un método



cuantitativo. La aplicación de reactores con medios filtrantes con esponjas endurecidas, llamados también reactor DHS; fue desarrollado como un tratamiento secundario de efluente de un tanque séptico. En la investigación plantearon un diseño de tipo cuasi experimental, en donde los sistemas estuvieron a una temperatura que oscilan de 11,25 a 15,30 °C y pH de 7,3 a 8,11. Las variables categóricas (parámetros) fueron comparadas con el Test de Fisher, en tanto la prueba de T de Student fue empleada para evaluar significancia estadística de variables cuantitativas. Los resultados mostraron que los porcentajes de remoción de la DBO<sub>5</sub> y la DQO de las esponjas G1, G3 y G6 obtuvieron valores menores a 50 %, esto verificó que la remoción de la materia orgánica fue baja, debido al lento desarrollo de las reacciones que dificultan la remoción de la materia orgánica. Por otro lado, fueron reportadas mejores porcentajes de eficiencia en la eliminación de los sólidos suspendidos totales con valores de remoción cerca al 100 %, con lo que corroboran que los sólidos casi en su totalidad fueron retenidos por el sistema. El sistema de esponja G6 presentó la mayor eficiencia de remoción para los diversos contaminantes. Los autores concluyeron que los parámetros analizados han sido removidos eficientemente por el sistema DHS con esponjas endurecidas y que los parámetros como el pH y la temperatura fueron factores influyentes en la adaptación microbiana y los parámetros de desarrollo.

## **1.2. Bases teóricas especializadas**

### **1.2.1. Aguas residuales domésticas**

Proceden de hogares (casas y departamentos), empresas e instituciones, en su mayoría procedentes de la cocina, el baño y la lavandería y contienen desechos fisiológicos y otros desechos humanos. Proviene principalmente de la utilización del líquido en las diferentes actividades de un hogar, lo que precisa de un proceso para su eliminación y tratamiento de los centros urbanos (Castillejo y Aquino, 2017).

Las variaciones existentes en la composición de las aguas residuales, están en función de las condiciones socioeconómicas de la población, el clima y otros factores típicos de cada localidad (Metcalf y Eddy, 1995).

Generalmente, las aguas residuales presentan altas concentraciones de cloruros, sulfatos, nitrógeno, fósforo, sólidos y materia orgánica como se muestra en la Tabla 1 (Metcalf y Eddy, 1995).

**Tabla 1**

*Clasificación de los principales contaminantes del agua residual doméstica*

<b>Contaminantes</b>	<b>Importancia</b>
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden hacer que los lodos se asienten y creen condiciones anaeróbicas.
Materia orgánica Biodegradable	Compuesta por proteínas, carbohidratos, grasas animales, estos se miden en función de la DBO y DQO.
Nutrientes	El N, P y el C son nutrientes esenciales para el crecimiento de MO.
Contaminantes prioritarios	Compuestos orgánicos o inorgánicos basados en su toxicidad aguda conocida o sospechada.
Metales pesados	Los metales pesados a menudo se agregan a las aguas residuales de diferentes actividades comerciales e industriales y deben eliminarse si se van a reutilizar las aguas residuales.
Sólidos inorgánicos disueltos	A medida que se usa el agua, los componentes inorgánicos como calcio, sodio y los sulfatos se agregan al suministro de agua y necesario que deban eliminarse si se van a reutilizar las aguas.
Materia orgánica	Tiende a resistir los métodos de tratamiento convencionales.

*Nota.* Elaboración propia a partir de Metcalf y Eddy (1995). Ingeniería de las aguas residuales, Tratamiento, vertido y reutilización (vol. II). McGraw-Hill.

Según lo expuesto por López (2019):

Las aguas residuales domésticas son aquellas procedentes de zonas de vivienda principalmente generadas por el metabolismo humano y las actividades domésticas, el principal contaminante es la materia orgánica (nitrógeno, fósforo y sales minerales), en suspensión y/o en disolución, su generación es continua, influencia estacional, usualmente biodegradables, su composición suele ser constante, presentan contenidos orgánicos (carbohidratos, proteínas, vitaminas, hormonas, medicamentos, grasas, urea, resto de alimentos, jabones), presentan contenidos inorgánicos (nitrógeno, nitratos, nitritos, amoniac, fósforo, fosfatos, sales minerales

como sodio, cloruros y sulfatos, sulfitos) y presentan contenidos biológicos (bacterias aerobias, anaerobias, facultativas, coliformes, parásitos, virus). (p. 28)

### **1.2.2. Composición del agua residual doméstica**

La composición de las aguas residuales está determinada por el caudal y su fuente, y los componentes principales de los desechos líquidos imparten características físicas, químicas o biológicas indeseables a las aguas residuales. Así, las aguas residuales domésticas (ARD) son las aguas residuales derivadas de las actividades domésticas. El ARD se puede subcategorizar como amarillo (que contiene orina), marrón (que contiene heces más agua corriente), negra (que contiene orina, heces, actividad bacteriana) y aguas grises (que contiene agua de la cocina, lavandería, ducha y lavado de manos). Las ARD contiene millones de bacterias intestinales y una minoría de otros organismos que conducen aún más a amenazas a la población. Las lavazas, rica en detergentes, fosfatos y nitratos, provoca la formación de espuma y pone en peligro los organismos acuáticos del ecosistema de agua dulce a través de la eutrofización (Koul *et al.*, 2022).

### **1.2.3. Calidad del agua**

Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2012), es una variable descriptora fundamental del medio hídrico, ya que delimita la aptitud del agua para mantener los ecosistemas y atender las diferentes demandas. La calidad de las aguas ha empeorado desde 1990 debido a las actividades antropogénicas, pero también puede verse modificadas por causas naturales como por factores externos ambientales (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2021).

### **1.2.4. Características del agua residual**

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es valioso para el proyecto y explotación de las infraestructuras tanto de captación, tratamiento y descargas de las aguas residuales, así como para la gestión de la calidad medioambiental (Metcalf y Eddy, 1995). Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica, como se muestra en la Tabla 2 (Metcalf y Eddy, 1995).

**Tabla 2***Características del agua residual doméstica*

<b>Componente</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Origen</b>
<b>Físicas</b>	Sólidos	
	Temperatura	Remanentes industriales y domésticos.
	Color	
	Olor	
<b>Orgánico</b>	Proteínas	
	Carbohidratos	Residuos industriales y domésticos.
	Agentes tensoactivos	
	Grasas animales	Remanentes industriales, comerciales y domésticos.
	Plaguicidas	
<b>Químicas</b>	pH	Remanentes industriales.
	Alcalinidad	Desechos domésticos, Abastecimiento de agua doméstica.
	Nitrógeno	Remanentes agrícolas y domésticos.
	Fósforo	Remanentes industriales y domésticos, derrame natural.
	Azufre	Abastecimiento de agua doméstica, remanentes industriales, etc.
<b>Gases:</b>	Oxígeno	Suministro de agua doméstica, infiltración de agua superficial.
	Sulfuro de hidrógeno	
	Metano	Putrefacción de aguas domésticas.
<b>Biológicas</b>	Protistas	Remanentes domésticos, PTA.
	Virus	Remanentes domésticos.
	Plantas	
	Animales	Corrientes de agua al descubierto y PTA.

*Nota.* Esta tabla muestra las características fisicoquímicas del agua residual doméstica tomada de Metcalf y Eddy (1995). Ingeniería de las aguas residuales, Tratamiento, vertido y reutilización (vol. II). McGraw-Hill.

Las principales características físicas de las aguas residuales son:

**a) Temperatura**

La temperatura de las aguas residuales es en general, un poco superior a la temperatura de las aguas de abastecimiento, debido a la contribución de los residuos sólidos de aguas calientes (Valladares y Garay, 2018).

### ***b) Potencial de hidrógeno (pH)***

Valladares y Garay (2018) señalan que el contenido de iones de hidrógeno es un parámetro de calidad muy importante tanto para el agua natural como para las aguas residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico.

### ***c) DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)***

Es la cantidad de oxígeno que los microorganismos requieren para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura determinado (generalmente 5 días y a 20 °C) (Espinoza, 2018).

### ***d) Demanda química de oxígeno(DQO)***

Es la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio como oxidante (Espinoza, 2018).

### ***e) El oxígeno disuelto***

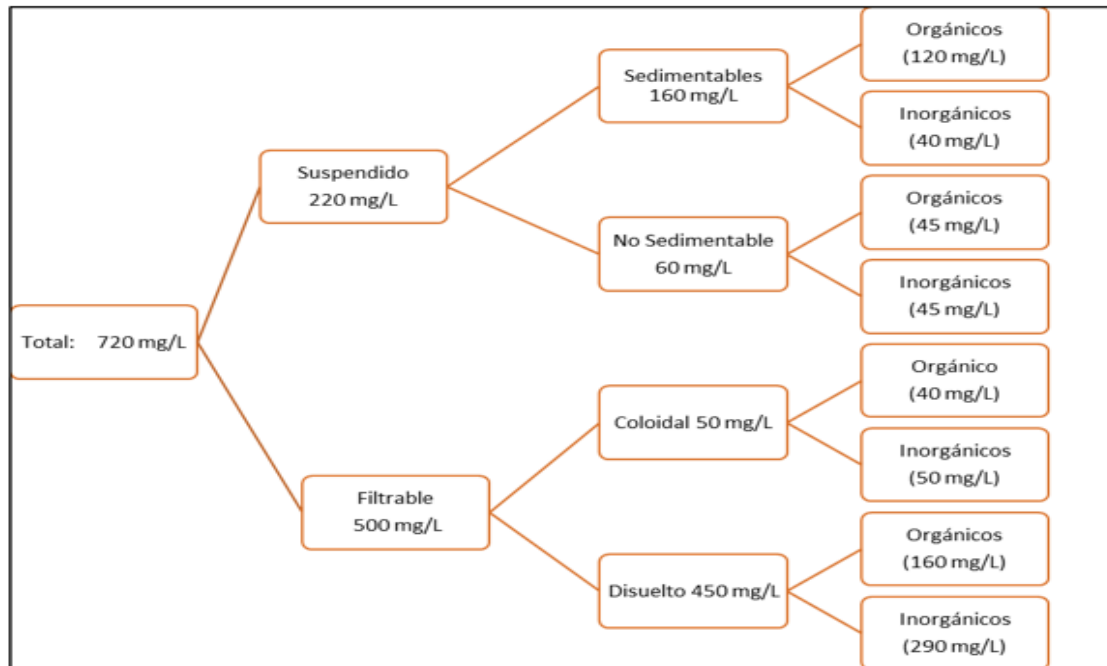
Para Flores *et al.* (2017) el oxígeno disuelto (OD) es el elemento que juega el papel más importante del agua. La solubilidad del oxígeno en aguas residuales es aproximadamente el 95 % de la solubilidad del oxígeno en agua limpia (Vargas, 2018). La determinación del oxígeno disuelto en aguas residuales es importante porque en combinación con la DBO<sub>5</sub>, indica la evolución del proceso de estabilización del agua residual.

### ***f) Los sólidos totales***

La caracterización física más importante en el agua residual es la determinación de su contenido de sólidos totales, que está compuesto de materia suspendida, materia sedimentable, materia coloidal y materia en solución como se muestra en la Figura 1 (Flores *et al.*, 2017).

**Figura 1**

*Clasificación de sólidos presentes en aguas residuales*



*Nota.* La distribución de las concentraciones de los sólidos en el agua. Diagrama tomado de Metcalf y Eddy (1995). Ingeniería de las aguas residuales, Tratamiento, vertido y reutilización (vol. II). McGraw-Hill.

### **g) Conductividad eléctrica**

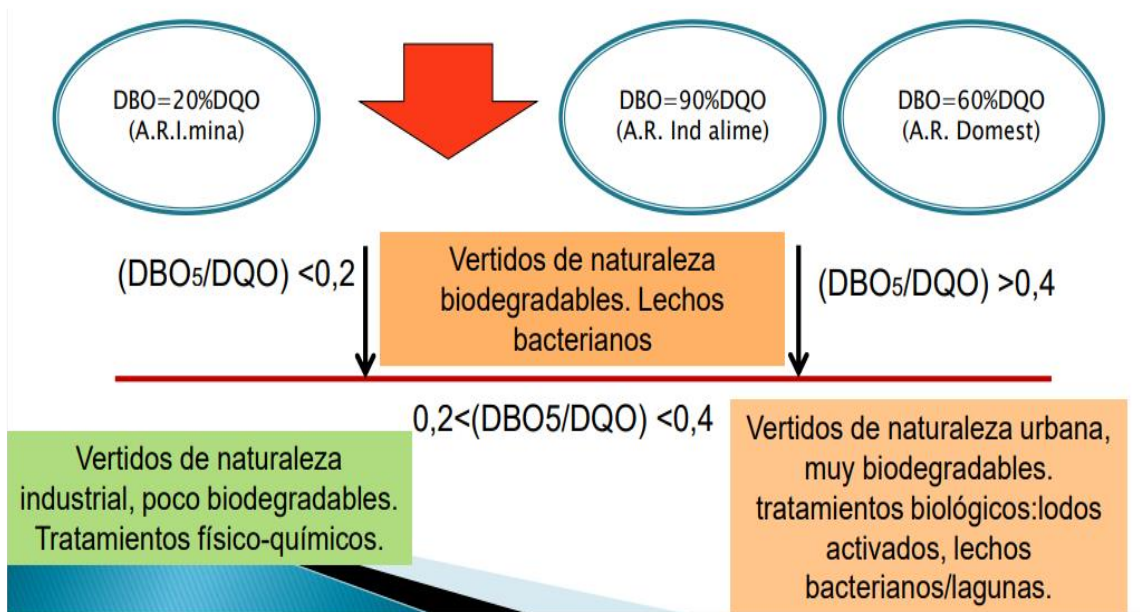
La conductividad eléctrica es la facultad que tiene la muestra de agua a fin de conducir la corriente eléctrica, por ello el valor requiere de una agrupación conjunta de sustancias ionizadas diluida en agua y de una T donde se realizó la medición. La conductividad tiene una gran relación con la concentración de sólidos disueltos en el agua (Flores *et al.*, 2017).

#### **1.2.5. Medición de la carga contaminante de un agua residual**

Las cargas contaminantes de las aguas residuales son medibles entre los parámetros DBO y DQO bajo las siguientes relaciones:  $DBO/DQO < 0,2$  (los contaminantes vertidos son de naturaleza industrial, poco biodegradables y requieren tratamientos físico-químicos);  $0,2 < DBO/DQO < 0,4$  (los contaminantes vertidos son de naturaleza biodegradables) y  $DBO/DQO > 0,4$  (los contaminantes vertidos son de naturaleza urbana, muy biodegradables). En la Figura 2 se muestra la medición de la carga contaminante (López, 2019).

**Figura 2**

*Medición de la carga contaminante de un agua residual*



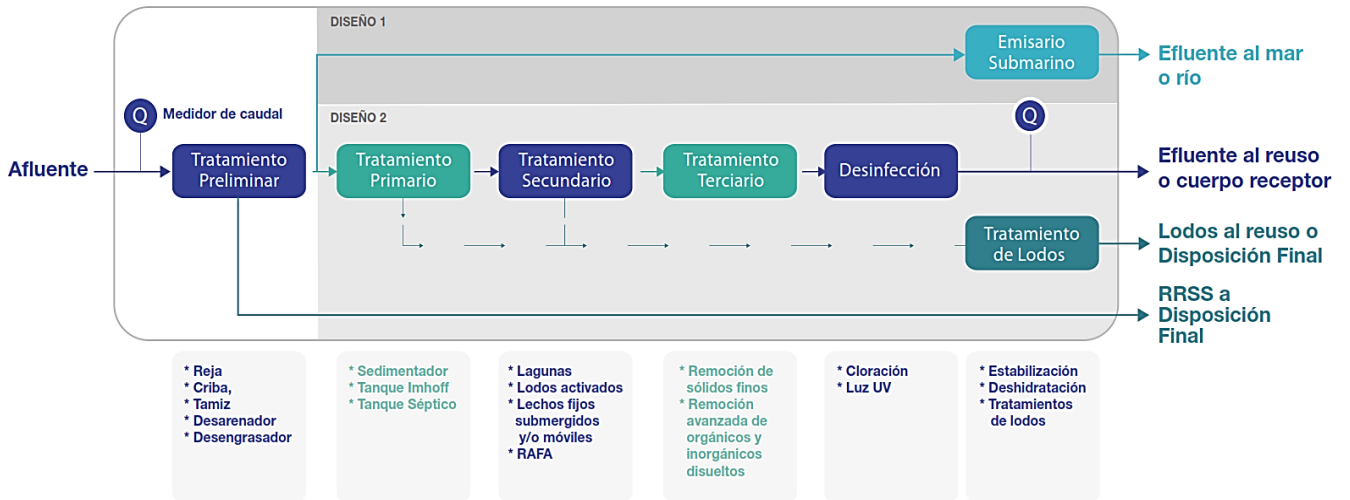
*Nota.* La carga contaminante del agua residual es medible en relación al DBO y DQO. Diagrama tomado de López (2019). Curso Tratamiento de aguas industriales, “Maestría en ciencias en ingeniería ambiental con mención en tratamiento de aguas y reúso de desechos”.

### 1.2.6. Sistema de tratamiento

OEFA (2014) lo define como la infraestructura y procesos que posibilitan el tratamiento de aguas residuales domésticas y/o municipales. Los sistemas de tratamiento en general consisten en realizar una serie de procesos físicos, químicos y bacteriológicos para limpiar las aguas residuales provenientes del alcantarillado de las ciudades o poblados y que muchas veces son vertidos a los ríos sin ningún tratamiento; estos procesos de tratamiento se dividen en tres partes (Figura 3): tratamiento primario, secundario y terciario que a su vez cada una tiene un grado de limpieza para dichas aguas residuales.

**Figura 3**

*Diagrama de PTAR de aguas residuales domésticas*



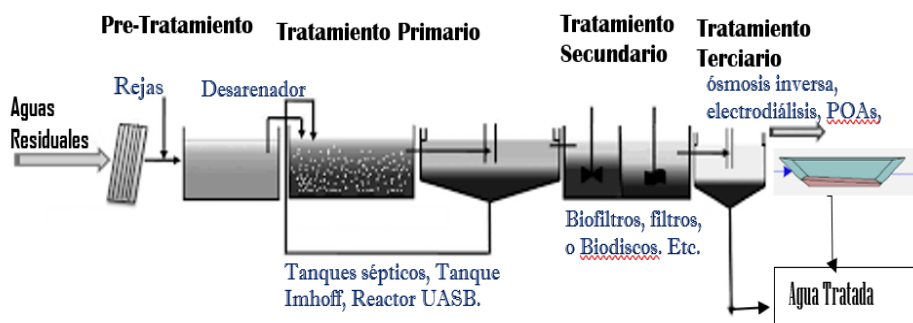
*Nota.* Sistemas de tratamiento de aguas residuales, procedentes de diferentes usos comerciales o industriales. Diagrama tomado de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS 2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. [www.proagua.org.pe](http://www.proagua.org.pe)

### 1.2.7. Procesos de tratamientos en aguas residuales

Para Castillejos y Aquino (2017), los niveles de tratamiento de las aguas residuales se pueden dar a través de una cascada de tratamientos (Figura 4).

**Figura 4**

*Procesos de tratamiento para aguas residuales*



*Nota.* Elaboración propia a partir de SUNASS (2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. [www.proagua.org.pe](http://www.proagua.org.pe)

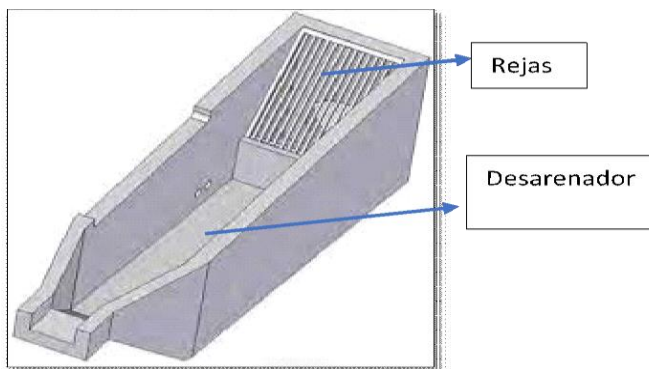


### 1.2.7.1. Pretratamiento

En estos sistemas se da la retención de los sólidos o partículas que poseen una densidad mayor a la arena y agua, cuyas dimensiones pueden obstruir o dificultar los procesos consecuentes, mayormente se utilizan rejas gruesas, finas, sedimentador y medidor de caudal como se observa en la Figura 5 (Quiroz *et al.*, 2019).

**Figura 5**

*Esquema de un pre tratamiento*



*Nota.* Esquema tomado de APROTEC (2010).

### 1.2.7.2. Tratamiento primario:

Los sistemas de tratamiento primario tienen el objetivo de limpiar el agua de impurezas cuyo tamaño sea menor a las que se pueden captar por decantación y las rejillas, estos sistemas se basan en métodos mecánicos y biológicos combinados (Quiroz *et al.*, 2019).

Este tratamiento es un proceso de sedimentación, destinado a eliminar los sólidos orgánicos suspendidos que no fueron eliminados en el tratamiento preliminar, es decir se da la remoción de una importante cantidad de materia en suspensión, la sedimentación primaria puede lograr la eliminación del 50-70% de sólidos suspendidos y del 30-40 % de la demanda biológica de oxígeno (DBO), es este tratamiento se usan principalmente tres procesos en esta etapa inicial: sedimentación, flotación, floculación (Castillejos y Aquino, 2017).

### 1.2.7.3. Tratamiento secundario

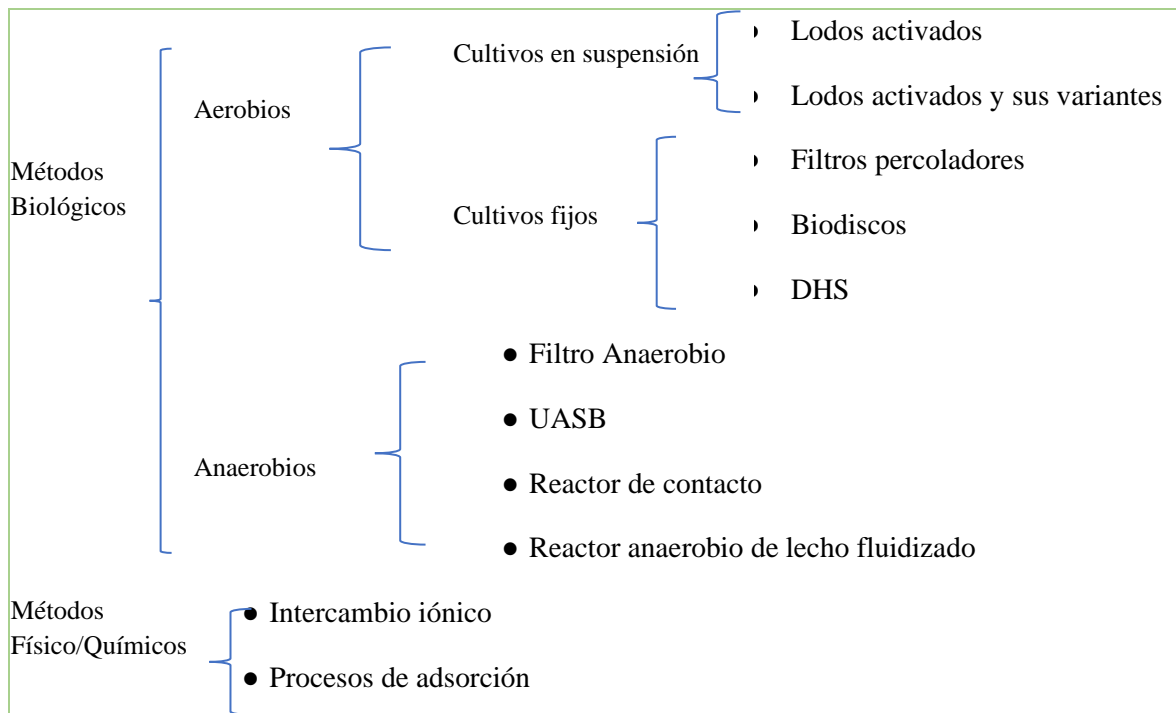
El tratamiento secundario es el nivel de tratamiento que permite alcanzar la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión, tales como biofiltros, filtros percoladores, filtros rotatorios o biodiscos y otros (Castillejos y Aquino, 2017). En el tratamiento secundario se usan microorganismos (bacterias, algas, hongos, protozoos y nematodos) que descomponen la materia orgánica en formas inorgánicas. En este proceso (aerobio y anaerobio) se elimina detergentes, restos de alimentos, desechos humanos o de procesos industriales, se utiliza en gran medida por causa de instituciones y compañías.

### Tratamientos biológicos

Para López (2019) los tratamientos biológicos consisten en el crecimiento de microorganismos capaces de absorber la materia orgánica biodegradable, los cuales a través de reacciones bioquímicas de oxidación y de síntesis logran la eliminación de contaminantes.

**Figura 6**

*Métodos fisicoquímicos y biológicos para tratamientos de agua residual*



*Nota:* Métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico, elaborado a partir de Flores *et al.* (2017); Llantoy y Sánchez (2018). Evaluación del reactor Downflow Hanging Sponge de primera generación en el tratamiento

de aguas residuales domésticas del efluente del tanque séptico, ubicado en la localidad de Marian, distrito de Independencia – Huaraz – Ancash 2016. Repositorio institucional UNASAM. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3350>.

### **A. Tratamientos anaerobios**

Estos tratamientos son una serie de procesos microbiológicos, que se llevan a cabo dentro de un reactor cerrado, cuyas velocidades de reacción están en función de la temperatura (°C) y tienen alta producción de metano (CH<sub>4</sub>). Degrada la materia soluble y coloidal. Usualmente requiere de una etapa de pulimento aerobio posterior (filtros percoladores, DHS). La Tabla 3 muestra los parámetros de operación de un reactor anaerobio (López, 2019). Asimismo, se presenta las siguientes ventajas y desventajas:

#### **Ventajas**

- No hay necesidad de suministrar oxígeno (bajo consumo de energía).
- Baja producción de lodos (el 20 % en comparación a lodos activados).
- El lodo se puede disponer como mejorador de suelos.
- Eficacia ante alteraciones significativas de carga.
- Probabilidad de tener periodos de pausa sin alteración significativa en la población bacteriana.
- Posibilidad para producir un gas útil.

#### **Desventajas**

- Se generan malos olores.
- Necesidad de un post-tratamiento, generalmente aerobio para lograr los niveles requeridos.
- Largos periodos de puesta en marcha- velocidades de reacción muy lentas.
- La velocidad de los procesos biológicos está en función de la temperatura (°C). El rango óptimo es 32-38 °C. El incremento de temperatura (°C) significa mayor velocidad con lo cual el requiriendo de tiempo de retención disminuye y los equipos son mucho más pequeños.

**Tabla 3**

*Parámetros de operación de un reactor anaerobio*

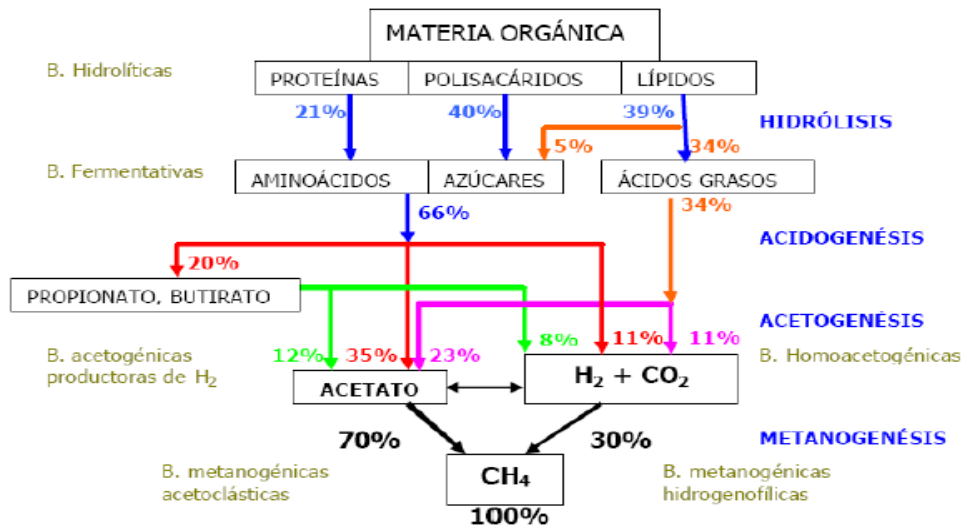
Parámetros	Etapa 1	Etapa 2
pH	5,2 – 6,3	6,7 – 7,5
T	25 - 35 °C	35 - 60 °C

*Nota.* Tabla tomada de López (2019). Curso Tratamiento de aguas industriales, “Maestría en ciencias en ingeniería ambiental con mención en tratamiento de aguas y reúso de desechos”.

En la Figura 7, se muestra las etapas de la digestión anaerobia.

**Figura 7**

*Fases del proceso anaerobio*



*Nota.* Esquema tomado de Gil (2017). Curso de Balance de materia y energía, Universidad Católica Sedes Sapientiae, Facultad de Ingeniería Ambiental, Lima – Perú.

## B. Tratamientos aerobios

### Biomasa en estado libre

Los microorganismos responsables del proceso se encuentran en mezcla íntima (no es posible separar sus componentes) con el agua residual a tratar (lodos activados) (López, 2019).

## **Biomasa de lecho fijo**

La biomasa se encuentra fijada sobre un soporte formado por partículas sólidas, que se mantiene en suspensión por la velocidad ascensional del agua en el tanque, los microorganismos se encuentran adheridos sobre un soporte físico (fijo o móvil), trasladando las aguas a través de sí mismo. Soporte fijo, como es el caso de los filtros percoladores, DHS; soporte móvil, biodiscos, biotambores y otros lechos fluidificados (López, 2019).

Para López (2019) las variantes son:

- Soporte fijo, tamiz percolador y DHS.
- Soporte móvil, como biodiscos y biocilindros.
- Un lecho fluidizado, la biomasa se inmoviliza contra el sostén hecho de partículas sólidas donde se mantienen en suspensión debido a la velocidad ascendente del agua.

### **1.2.7.4. Tratamiento terciario**

El tratamiento terciario incluye operaciones unitarias adicionales para llevar las aguas a la calidad definida por el uso al que está previsto el agua, en los procesos pueden incluir coagulación-floculación, filtración, desinfección, ablandamiento, filtración de carbón activado, filtración por membranas, como ósmosis inversa, POAs y más (López, 2019).

### **1.2.8. Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB)**

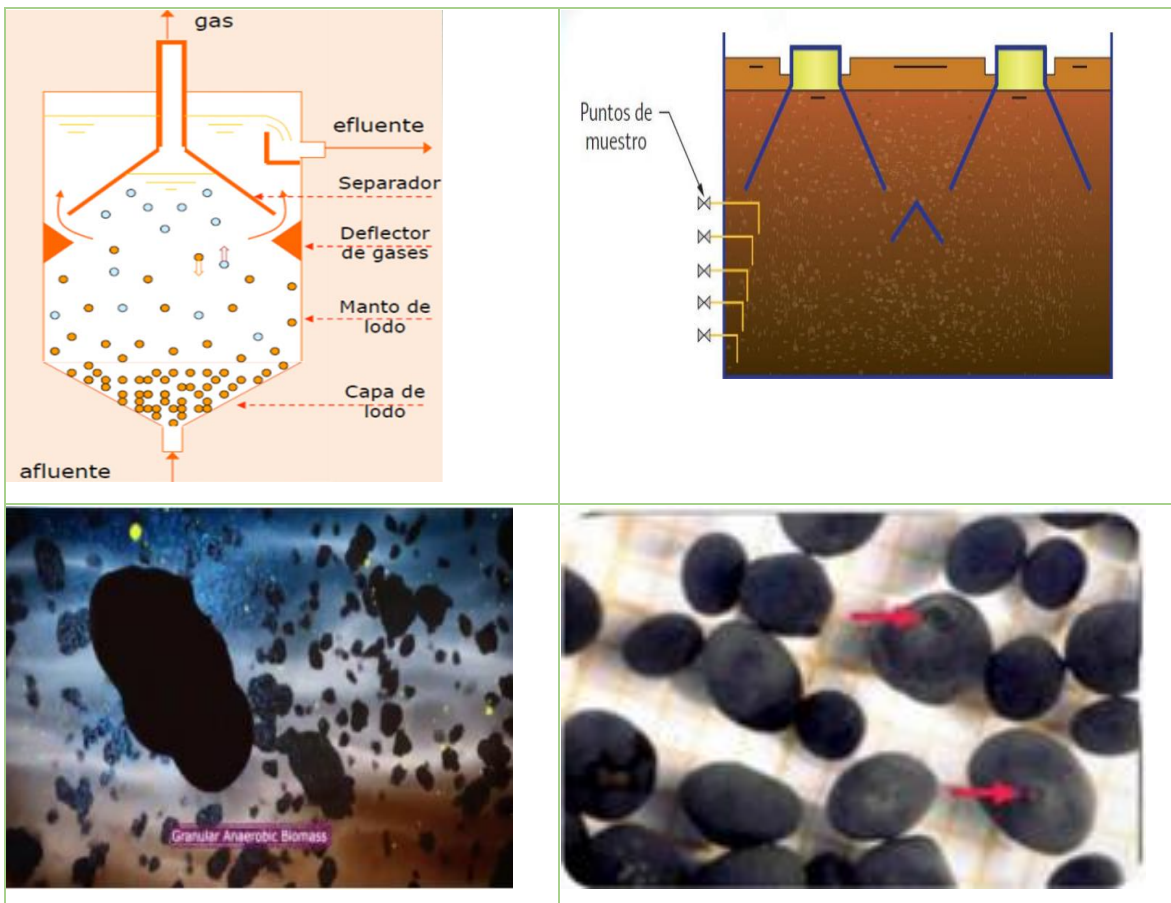
El reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) o también llamado el reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (RAFA), desarrollado por Lettinga y colaboradores en la década de los setenta, ha tenido gran auge en los últimos años, aplicado tanto para altas cargas orgánicas, correspondientes a líquidos residuales industriales, como para bajas cargas orgánicas, entre las que se encuentran las aguas residuales domésticas. En la Figura 8 podemos observar el esquema del reactor UASB (Llantoy y Sánchez, 2018).

### **Parámetros de control del proceso de un reactor UASB**

- Físicos: temperatura, mezclado, pH y ST y SVT (López, 2019).
- Químicos: alcalinidad, AGV, generación de biogás, nitrógeno amoniacal, sulfuros, DBO, DQO (López, 2019).

**Figura 8**

*Esquema de un reactor UASB*



*Nota.* Esquemas tomados de López (2019). A research on the performance of down-flow hanging sponge (DHS) reactor treating domestic wastewater. Vietnam Journal of Science and Technology, 56(4), 482-492. DOI: 10.15625/2525-2518/56/4/10878

### 1.2.9. Reactor de esponjas colgantes de flujo descendente (D.H.S)

Flores *et al.* (2017) refieren que:

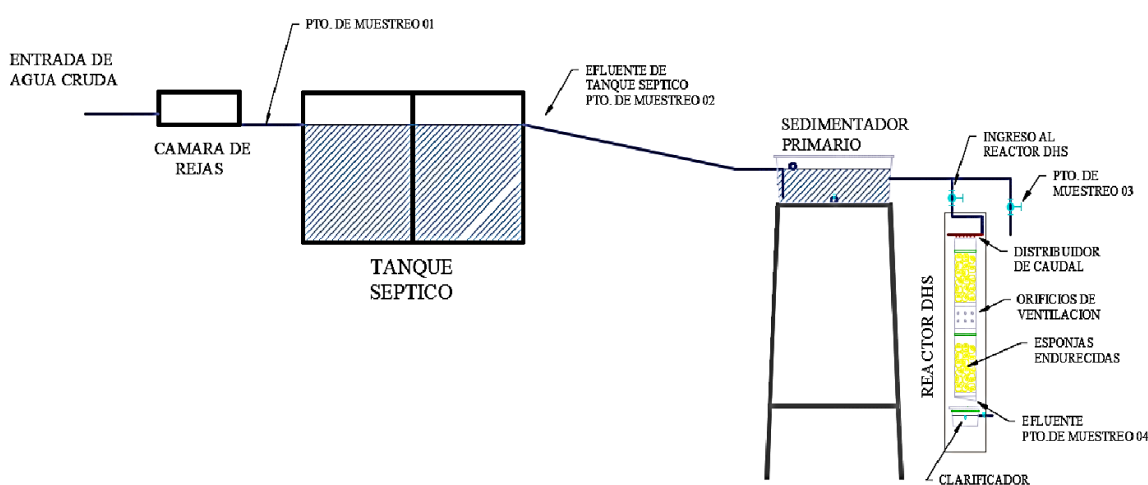
El reactor de esponjas colgantes de flujo descendentes tiene las siglas D.H.S en inglés (Down-flow Hanging Sponge), es un filtro de esponjas colgantes de flujo descendente que permite el crecimiento de la biomasa adherido a este medio filtrante, se utiliza en el post tratamiento aeróbico de los efluentes del reactor UASB, tanque

séptico o tanque inmovilizado. sistema de filtración por percolación sobre esponjas suspendidas, que por su porosidad retiene las bacterias, a su vez la existencia de oxígeno degrada los contaminantes, nitrogenados y fosforados y orgánicos de drenaje. Este filtro se encuentra en un medio aerobio para la formación de biomasa en las esponjas, las cuales degradan los contaminantes orgánicos y patógenos. (p.25)

En la Figura 9, se muestra un esquema del sistema de un reactor DHS-G6.

### Figura 9

*Esquema general del sistema Down-flow Hanging Sponge de sexta generación*



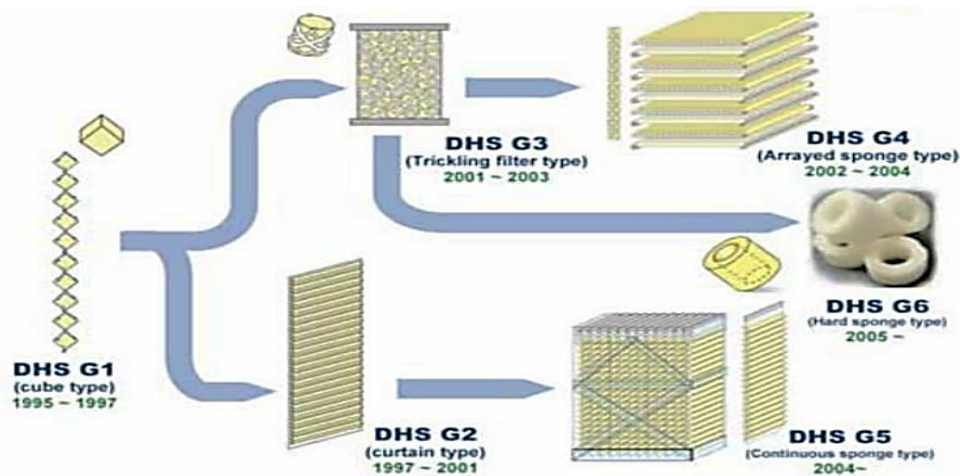
*Nota.* Esquema tomado de Flores *et al.* (2017). Determinación de la eficiencia del sistema de filtros de esponjas colgantes continuas (DHS) en el tratamiento de aguas residuales del centro poblado de Marian Huaraz – 2017. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2319>.

### Tipos de reactor DHS

Desde que apareció el primer prototipo de un reactor DHS hace más de quince años, se ha modificado a configuraciones más nuevas, haciéndolo sencillo, más rentable y adecuado para aplicaciones a escala real. Las formas de las esponjas pueden desarrollar diferentes tipos de reactores DHS (Figura 10).

## Figura 10

Generaciones de los DHS a través de los años



Nota. Generaciones del diseño se esponja a través de los años (G1 a G6). Esquema tomado de Harada (2001). Nueva tecnología para el tratamiento secundario de los efluentes del reactor UASB, University of Technology.

El sistema de DHS y un sistema de lodos activados, son dos métodos diferentes, la remoción pueden ser casi iguales, este sistema remueve un promedio del 90 % de  $DBO_5$  y un 70 % de DQO. Con el paso de los años, el sistema DHS ha sido mejorado desde el DHS tipo cubo, conocido como la primera generación (DHS G-1) (Agrawal *et al.*, 1997; Machdar *et al.*, 1997). El sistema DHS G-1 mostró una buena eficiencia en la eliminación de orgánicos y compuestos nitrogenados, cuando se aplica como una unidad de tratamiento posterior para el tratamiento UASB de aguas residuales. Posterior al DHS G-1 se construyó un mejor arreglo de esponjas con tiras de esponja de poliuretano triangulares largas (3 cm x 3 cm x 75 cm) en mosaico en ambos lados de una lámina de plástico (Machdar *et al.*, 2000). Este tipo de sistema se denominó DHS tipo cortina o DHS-G2 que en su momento fue un gran salto en la tecnología DHS, ya que se había construido a escala piloto con capacidad 1 000 m<sup>3</sup>/día, para el tratamiento posterior de aguas residuales en Karnal-India el rendimiento de la planta fue bastante bueno con la  $DBO_5$  efluente alrededor de 10 mg/L y SST 10 mg/L (Tandukar *et al.*, 2006). Se conceptualizaron otros diseños de DHS dando lugar a la DHS-G3 y los reactores DHS-G4.

El DHS de tercera generación era más como un filtro engañoso, el medio de empaque se reemplazaba por pequeñas unidades de esponja colocadas dentro de una cubierta de plástico similar a una red (PVC) como medio de soporte. La construcción del DHS-G3 fue simple,



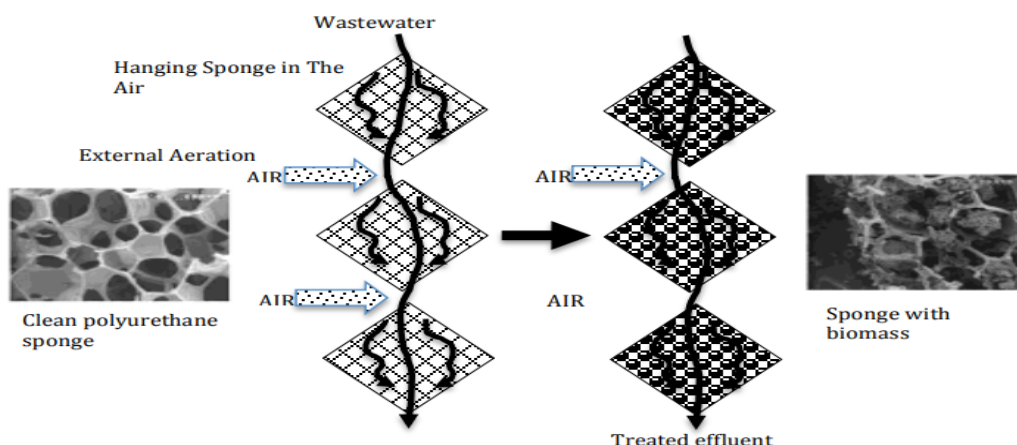
cuando las aguas residuales fluyen por el reactor DHS, impregna una tira de esponja, sale de ella y entra en la siguiente tira de esponja (Hariom *et al.*, 2012). Si bien el sistema DHS-G4 es la mejora del tipo anterior (DHS-G3), tiene módulos de caja con tiras de esponja largas (2,5 cm x 2,5 cm x 50 cm) que se colocan dentro de una red de plástico cilíndrico cubierta para proporcionar rigidez (Tandukar *et al.*, 2006).

En 2004 se desarrolló un concepto más nuevo de reactor DHS (DHS-G5), todas las cortinas se colocaron una al lado de la otra dentro de un marco rectangular con un espacio de 4 cm entre hojas consecutivas. Las hojas se fijaron a través del marco con la ayuda de un conjunto de suspensión. Toda esta construcción se consideró como un solo módulo (Tandukar *et al.*, 2007).

El DHS-G6 (Figura 11), es el diseño de reactor casi parecido al DHS-G3, donde los medios de esponja empaquetados al azar, pero sin ningún anillo de plástico rígido para el material de soporte. A medida que aumenta la superficie de la esponja, se expone a las aguas residuales y se mejoran las interacciones entre las aguas residuales, el aire y la biomasa en la esponja (Onodera *et al.*, 2013). La Figura 12 muestra el concepto de DHS.

### Figura 11

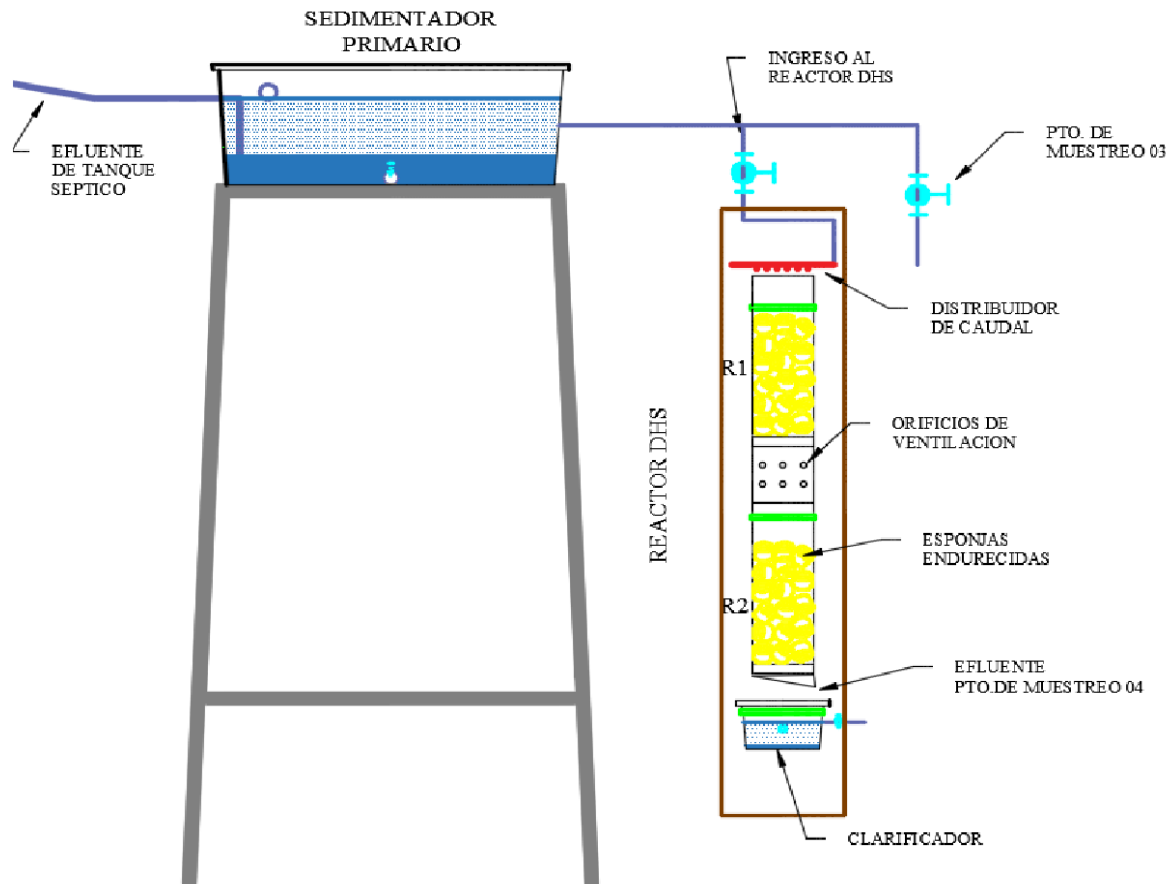
Concepto de un sistema DHS



*Nota.* Función de la esponja en el reactor DHS, esquema tomado de Harada (2008). India-Japan International Collaboration for an Innovative Sewage Treatment Technology with Cost-effective and Minimum Energy Requirement, Asian Science and Technology Seminar (ASTS) in Thailand. Tohoku University, Japan

**Figura 12**

*Esquema detallado del sistema de tratamiento de un Reactor (DHS-6)*



*Nota.* Diseño de un reactor DHS-G6. Esquema tomado de Castillejos y Aquino (2017). Determinación de la efectividad del sistema D, H, S, de cuarta generación como tratamiento secundario del efluente de tanque séptico para disminuir la DBO<sub>5</sub>, SST y CF en la localidad de Marian, Huaraz, 2016. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2349>.

### **1.2.10. Tiempo de retención hidráulica (TRH)**

Rodríguez (2006) lo define como:

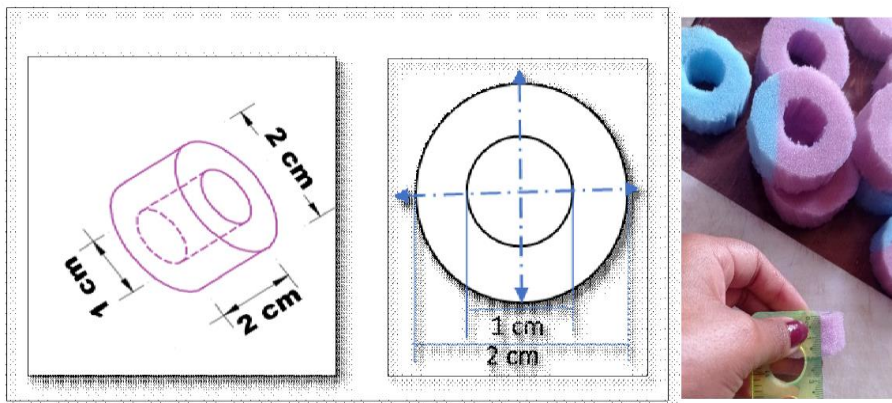
Es el tiempo que el agua permanece en el filtro biológico, es decir, el tiempo durante el cual el agua se encuentra en contacto íntimo tanto de la película como del floc granular suspendido. Al aumentar el tiempo de residencia hidráulico se refleja en una mayor producción de microorganismo y una mayor eficiencia de remoción de contaminantes. (p.25)

## Medio filtrante

El medio filtrante es la esponja cilíndrica, con un diámetro interno y externo de 1 y 2 cm respectivamente, y una altura de 2 cm, como se muestra en la Figura 13 estas esponjas han sido cortadas de forma cilíndrica. Además, en esta unidad se instaló tres segmentos 40 cm, con la finalidad de remover la gran cantidad de SST que contiene el efluente del reactor UASB, véase el diagrama esquemático del reactor DHS-G6 en la Figura 14.

### Figura 13

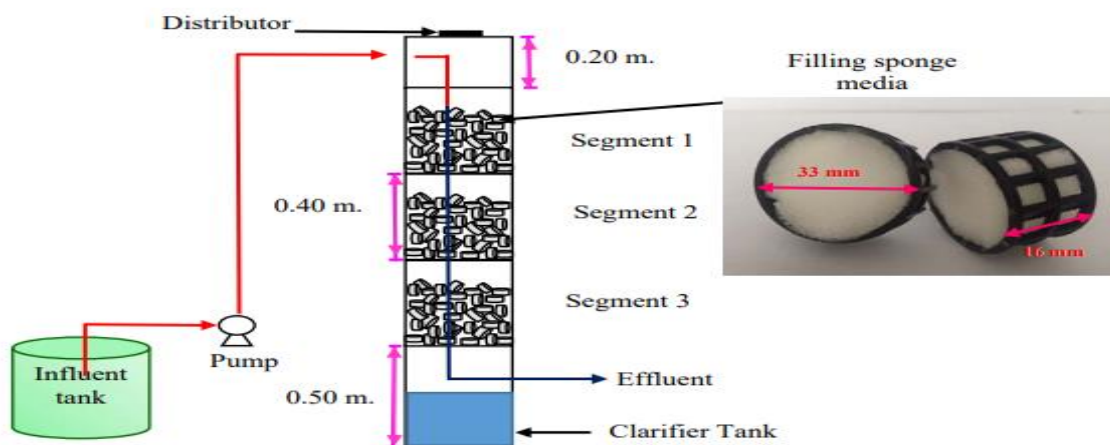
*Medios y formas de las esponjas de poliuretano para DHS G-6 generación*



*Nota.* Corte de las esponjas cilíndricas para el sistema DHS-G6, elaboración propia.

### Figura 14

*Diagrama esquemático del reactor DHS G-6*



*Nota.* Diseño del reactor DHS. Esquema tomado de Homchoam y Yoochatchaval (2019). Removal of Ammonia from Aquaculture Wastewater by Down-flow Hanging Sponge System, Thai Environmental Engineering Journal, 33 (1): 59-68.

## Densidades de la esponja

Para la elección del tipo de esponja se tomó en cuenta las consideraciones de la investigación de Julca y Rodríguez (2018), quienes evaluaron la porosidad de los tipos de esponjas de esponja de poliuretano de la marca zebra (Tabla 4).

Densidad real = Peso de la esponja / Volumen de la esponja Densidad real = 1,45 g / 63,50 cm<sup>3</sup> = 0,0228 g/cm<sup>3</sup> (Julca y Rodríguez, 2018).

**Tabla 4**

*Dimensiones de las Esponjas*

<b>Tipo</b>	<b>Diámetro interno (cm)</b>	<b>Diámetro Externo (cm)</b>	<b>Espesor (cm)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>
Zebra 1	1	2	2	4,71
Zebra 2	2	4	2	18,85
Zebra 3	4	8	2	75,40

## Relación volumen y área

Para un tratamiento biológico de aguas residuales, los microorganismos de mayor relevancia y responsables de casi el total de la remoción de la materia orgánica, son las bacterias. En efecto, su tamaño varía entre 0,3 y 50 µm estando las más comunes entre 0,5 y 3 µm (Orozco, 2005).

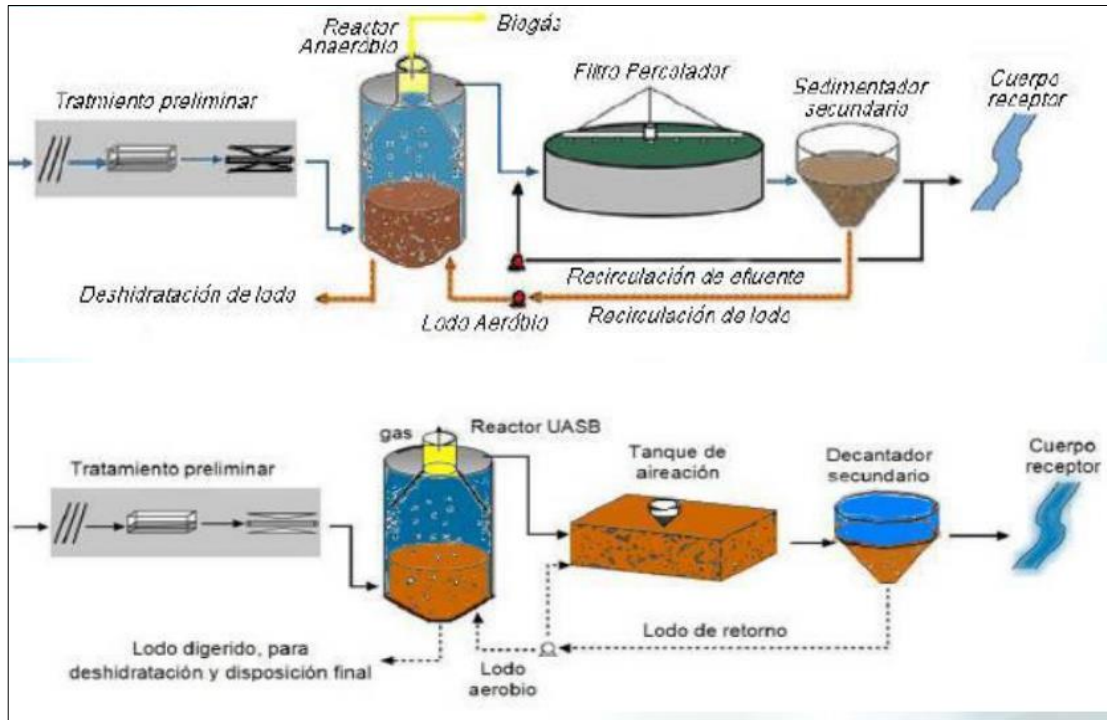
La relación área/volumen (A/V) es mucho mayor en un gran número de pequeños volúmenes (las bacterias se suponen tienen forma esférica según Cosme (2019) que suman un gran volumen), tiene gran área superficial 100 millones de gotas de agua que contengan un volumen de 1 cm<sup>3</sup>. Es por ello que bacterias de 1µm son mucho más eficientes que protozoos con células de 20 a 100 µm al tener mucha más área de absorción de sustrato para la misma cantidad de biomasa celular (Orozco, 2005).

## Sistemas combinados

Los sistemas combinados maximizan la eficiencia de la remoción como se observa en la Figura 15 (López, 2019).

**Figura 15**

*Sistema combinado de un tratamiento de una PTAR*



*Nota.* En la figura se muestra el diseño es un sistema de tratamiento común de agua residuales.

Esquema tomado de López (2019). A research on the performance of down-flow hanging sponge (DHS) reactor treating domestic wastewater. Vietnam Journal of Science and Technology, 56(4), 482-492. DOI: 10.15625/2525-2518/56/4/10878.

Ningún sistema de tratamiento de aguas residuales funcionará eficientemente si antes no se han retirado los sólidos sedimentables, suspendidos, coloidales y metales pesados disueltos. Hay que ir retirando uno a uno desde los sólidos más grandes hasta llegar a los de tamaño micro o nano (sólidos disueltos).

## CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es cuasi-experimental, debido a que por medio de este tipo de investigación podemos aproximarnos a los resultados de una investigación experimental, en situaciones en las que no es posible el control y manipulación absoluta de las variables. Se estudiaron simultáneamente dos factores (dimensión de esponja y TRH) se realizó 2 réplicas del diseño del reactor DHS-G6, diferenciándose de los experimentos simples en los que sólo se estudia un reactor (variable) (Calzada, 1970).

La investigación fue realizada en condiciones estrictamente controladas, con el objetivo de analizar de qué o por qué modo se da una situación o hecho. Por lo que el diseño metodológico de la investigación fue de tipo experimental, ya que el agua residual fue sometida a un tratamiento mediante un sistema de esponjas colgantes de flujo descendente (DHS-G6) para evaluar su posterior resultado, se avaluó la eficiencia de remoción de materia orgánica presente en un agua residual doméstica del efluente de un reactor UASB, mediante un sistema DHS de sexta generación, las muestras fueron tomadas del efluente del reactor UASB de PTAR Independencia.

Por otro lado, esta investigación presenta un enfoque de tipo cuantitativo, debido a que se realizó mediciones de las variables dependientes a través del tiempo, los parámetros evaluados in situ se realizaron con equipos calibrados por INACAL y otros analizados con laboratorio certificado por INACAL, los datos fueron recolectados y analizados para contestar las preguntas de la investigación, tal como lo recomienda Hernández *et al.* (2018).

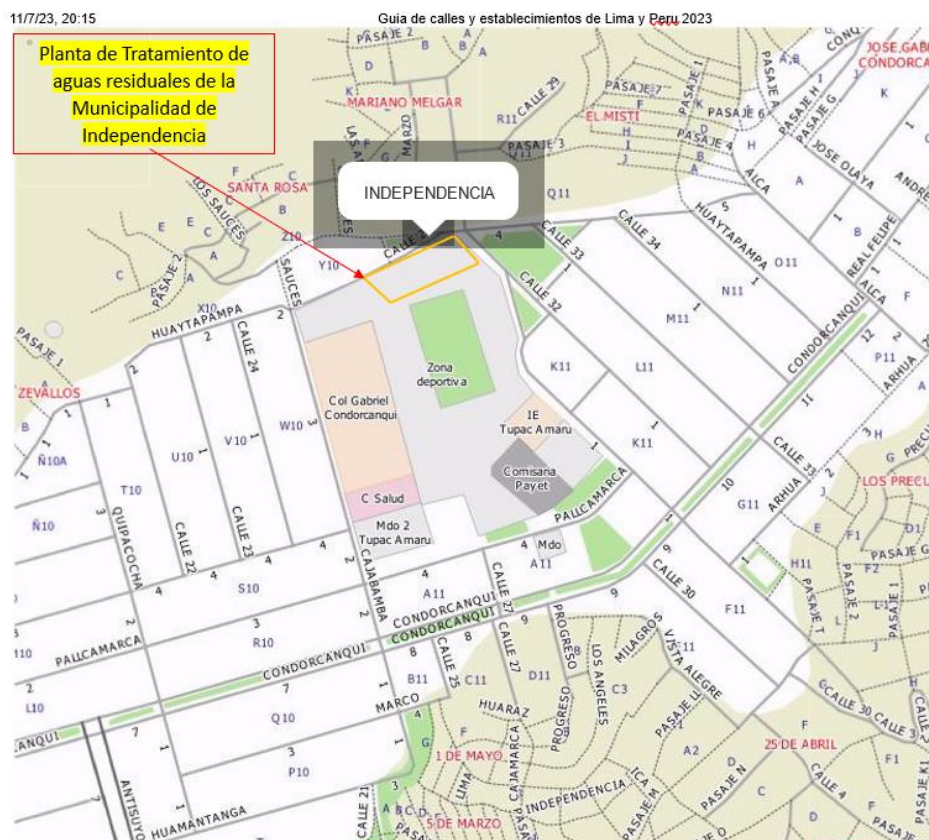
## 2.2. Lugar y fecha

La toma de muestra del efluente fue realizada en el reactor UASB de la PTAR de Independencia, en el Apéndice 9 se muestra el mapa de la PTAR, ubicado en el centro deportivo Sandro Baylón, parte alta colindante con la calle 32, de la urbanización Túpac Amaru, lote 10. La PTAR en las coordenadas: longitud  $11^{\circ}58'13.01''$ , latitud  $77^{\circ}02'42.51''$  con una altitud de 159 m s.n.m. (Figura 16 y 20).

El sistema a escala piloto del reactor DHS G-6 fue instalado en la Avenida Canta Callao con Izaguirre vivero los Ficus, con las coordenadas  $12^{\circ}00'43''$  sur y  $77^{\circ}03'07''$  oeste. En la Figura 17 se muestra el mapa geográfico donde fue instalado el sistema.

**Figura 16**

*Mapa de ubicación de PTAR Independencia*

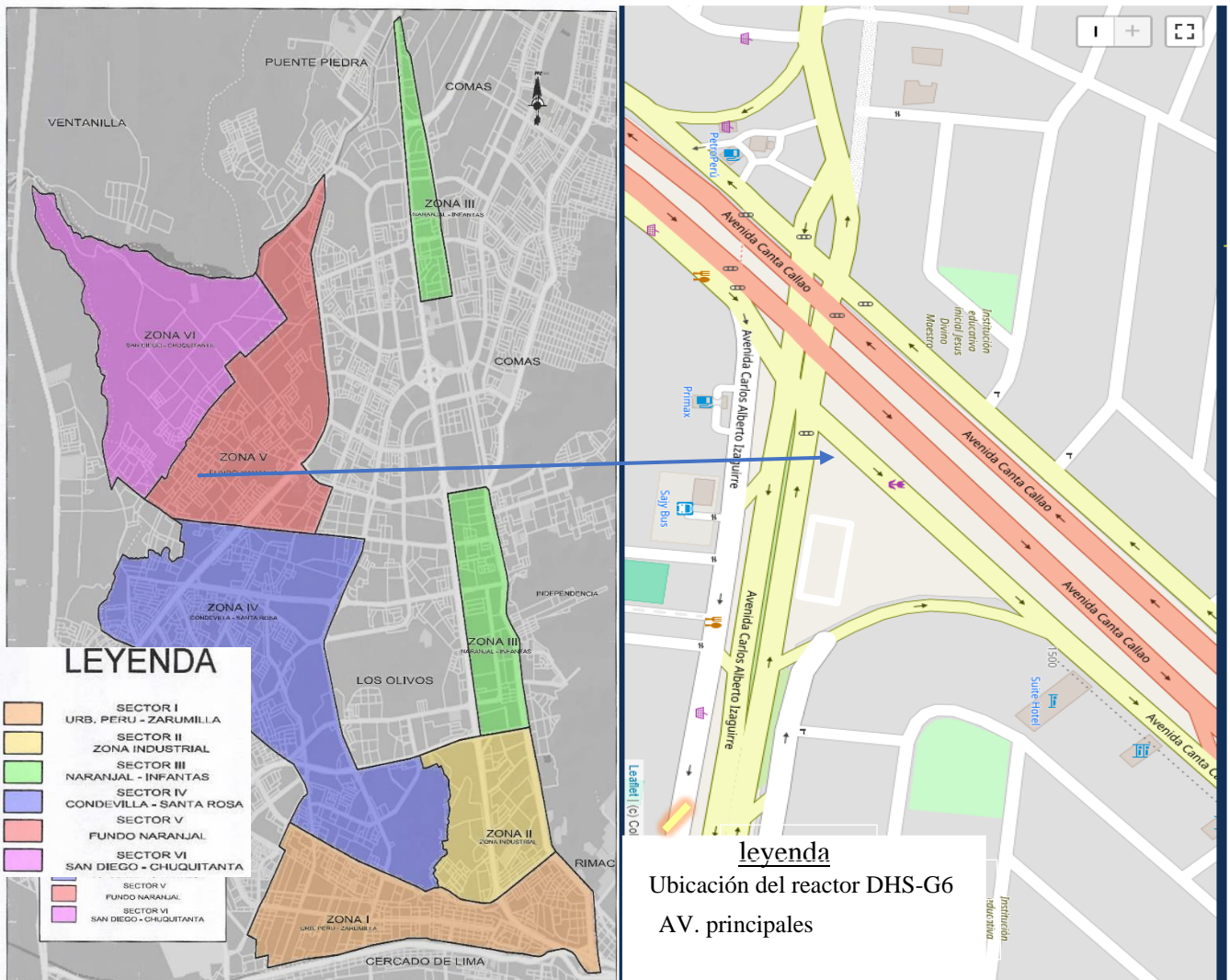


*Nota:* Obtenido de Guía Calles / Navi Systems © 2023



**Figura 17**

Mapa de ubicación del reactor DHS-G6



Nota: Obtenido de Guía Calles / Navi Systems © 2023.

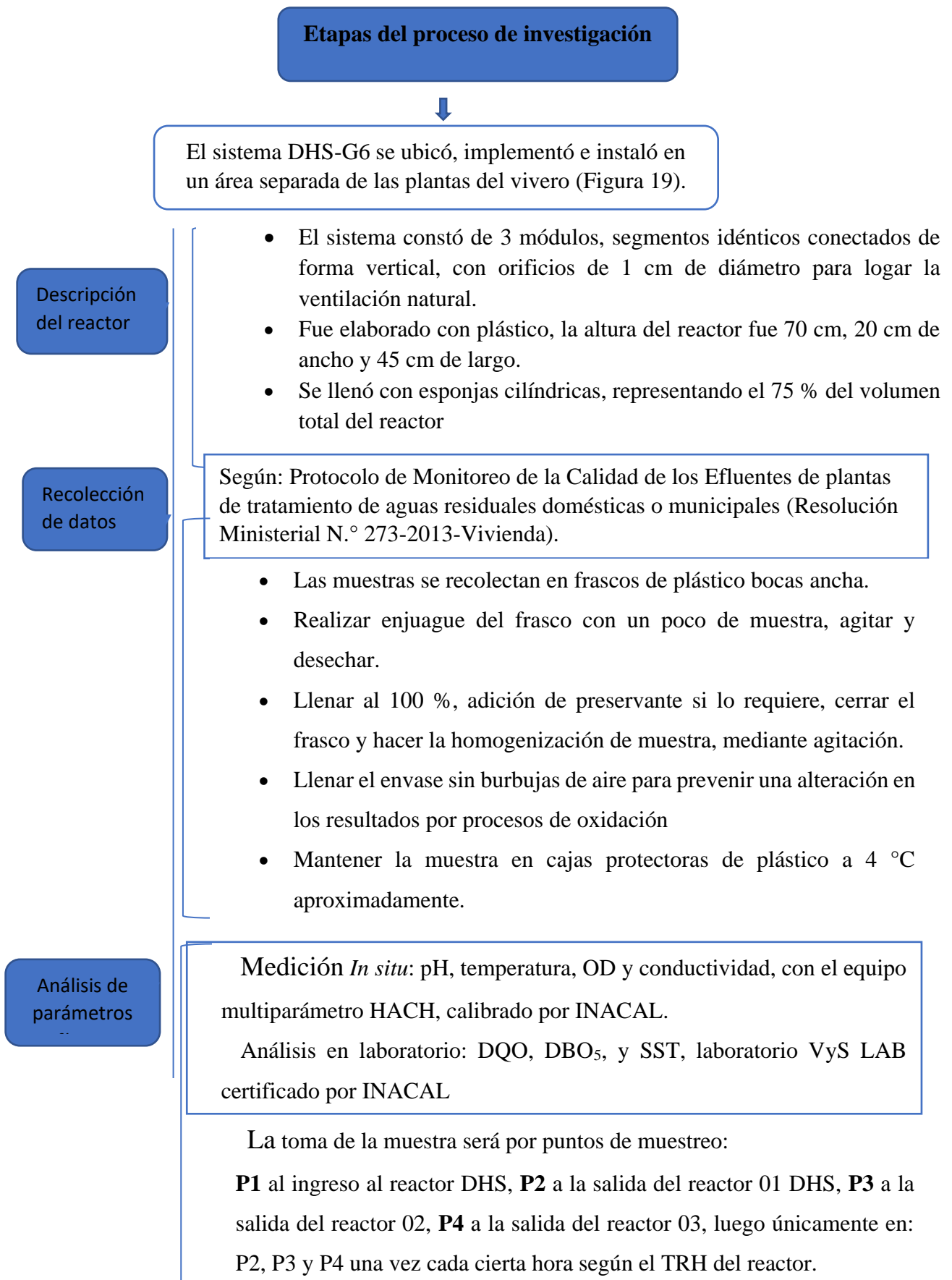
### 2.3. Descripción del experimento

En esta investigación se usó la referencia de investigación realizada por la investigación de Castillejo y Aquino (2017), Siguiendo una secuencia similar ordenada de etapas (secuencia ordenada de etapas). A continuación, en la Figura 18 se detalla el proceso que fue seguido:



**Figura 18**

*Etapas del proceso de investigación del sistema DHS-G6*



**Figura 19**

*Implementación del Sistema DHS-G6*



*Nota.* Construcción a escala piloto del sistema DHS-G6.

**Figura 20**

PTAR de la municipalidad de Independencia



*Nota.* Vista panorámica de la PTAR de independencia. Elaboración propia

## 2.4. Tratamientos

En esta investigación se diseñó un prototipo del sistema DHS-G6, en el que se realizó un tratamiento y 2 réplicas, es decir, se elaboró un sistema DHS-G6 y 2 réplicas del sistema, tal como se muestra en la Tabla 6.

Las dimensiones de la esponja fueron: para el nivel de fluctuación 1 (2 cm de espesor por 2 cm de diámetro exterior y 1 cm diámetro interno), nivel de fluctuación 2 (2 cm de espesor por 5 cm de diámetro exterior y 2 cm diámetro interno), nivel de fluctuación 3 (2 cm de espesor por 8 cm de diámetro exterior y 4 cm diámetro interno), el primer nivel de fluctuación (dimensión de esponja de  $2 \times 1 \times 2 \text{ cm}^3$  y TRH 1 h) fue obtenida de los trabajos de investigación de Draaijer *et al.* (1992), Harada (2008), Araki *et al.* (1999), Machdar *et al.* (2000), Onodera *et al.* (2013), Kobayashi *et al.* (2017), Takahashi *et al.* (2011), Flores *et al.* (2017), Ossio y Acuña (2013) y Pacush y Arias (2018).

Además, en la investigación fueron planteados tres niveles de fluctuación, los cuales se describen a continuación:

El segundo nivel (dimensión de esponja de  $5 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$  y TRH 5 h) y tercer nivel (dimensión de esponja de  $8 \times 4 \times 2 \text{ cm}^3$  y TRH 5 h) de fluctuación se obtiene siguiendo planteado por Federer (1955). Para el TRH: 1,5 h; 4,5 h y 13; 5 h, hay que recordar que el primer nivel de fluctuación (dimensión de esponja de  $2 \times 1 \times 2 \text{ cm}^3$  y TRH 1 h) se obtuvo del trabajo de investigación de Draaijer *et al.* (1992), Harada (2008), Araki *et al.* (1999), Machdar *et al.* (2000), Onodera *et al.* (2013), Kobayashi *et al.* (2017), Takahashi *et al.* (2011), Flores *et al.* (2017), Ossio y Acuña (2013) y Pacush y Arias (2018), como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5***Niveles de fluctuación del estudio*

Factores	Niveles		
	Bajo	Medio	Alto
Dimensiones de esponja (X1)	2x1x2 cm <sup>3</sup>	5x2x2 cm <sup>3</sup>	8x4x2 cm <sup>3</sup>
Tiempo de retención hidráulica-TRH(h) (X2)	1	5	9

**Tabla 6***Diseño factorial del experimento*

Ítem	X1: Dimensiones de la esponja	X2: TRH
	(cm <sup>3</sup> )	(h)
1	8x4x2	9
2	8x4x2	5
3	8x4x2	1
4	5x2x2	9
5	5x2x2	5
6	5x2x2	1
7	2x1x2	9
8	2x1x2	5
9	2x1x2	1

No es recomendable ir a más de 03 factores en los experimentos por la complicación que esto entraña en la conducción e interpretación de los resultados (Calzada, 1970).

Para evaluar la eficiencia fue empleada la siguiente fórmula:

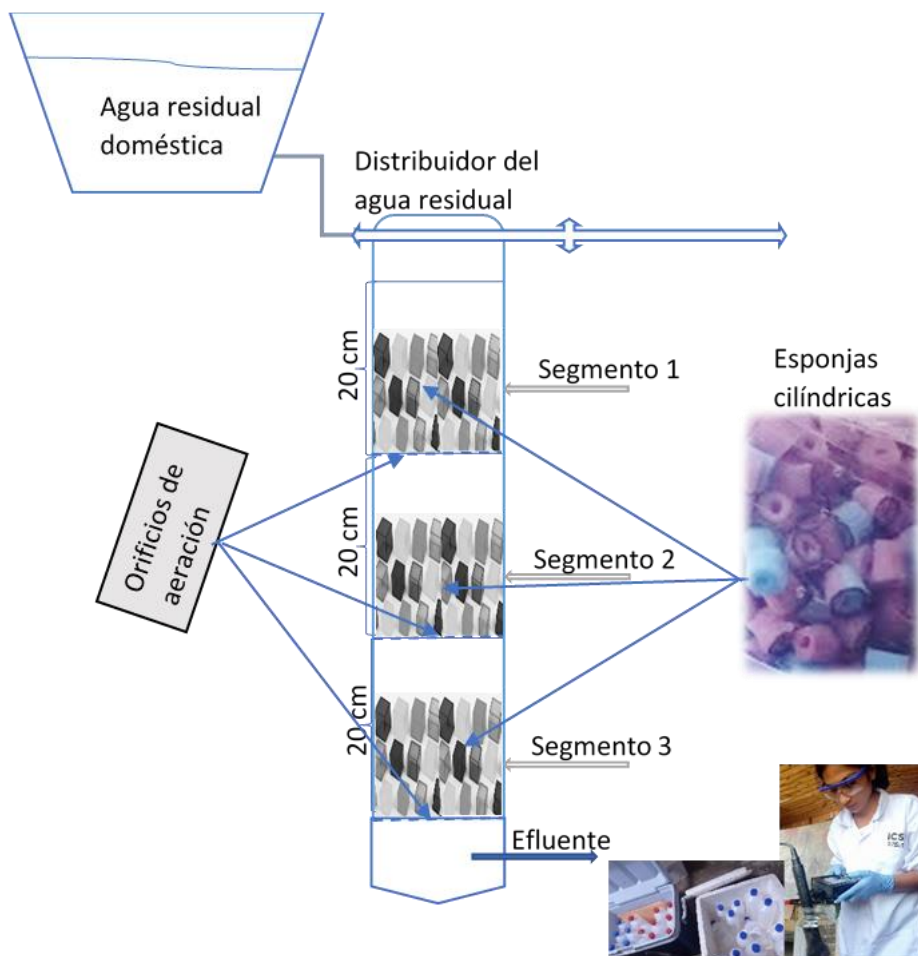
$$\text{Eficiencia remoción contaminante} = \frac{\text{entrada contaminante} - \text{salida contaminante}}{\text{entrada contaminante}} \times 100 \%$$

## 2.5. Unidades experimentales

La unidad experimental estuvo constituida por un biorreactor DHS-G6 y 2 réplicas del diseño de experimento factorial. Una unidad experimental es un biorreactor con un tratamiento específico del diseño, como se puede observar en la Figura 21. El sistema constó de 3 segmentos de sección rectangular con la dimensión interna de 20 cm por 45 cm y de 70 cm de largo; la división entre segmentos, en la base del reactor tuvo orificios de 2 cm de diámetro los que sirvieron para el soporte, aeración natural del medio filtrante (esponja cilíndrica). El material usado en la construcción de la estructura del reactor fue un plástico con 2 mm de espesor. El material utilizado para el apoyo de la estructura de soporte del reactor fue mediante anclajes de madera y plancha de madera.

**Figura 21**

*Sistema DHS G-6*



*Nota.* Implementación del sistema DHS-G6 y sus réplicas.

## 2.6. Identificación de variables y su mensuración

Las variables dependientes e independientes donde evaluaron en este estudio se muestran a continuación (Tabla 7).

**Tabla 7**  
*Variables a ser evaluados en la investigación*

<b>Variab</b> les	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Método de medición</b>	
<b>Independiente:</b>				
Reactor DHS de sexta generación Lima 2021	Tiempo de retención	h	Métodos convencionales	
	Caudal	L/d		
	Tamaño de la esponja	cm		
	pH			
<b>Dependiente:</b>				
Eficiencia de remoción de materia orgánica en reactor DHS de sexta generación Lima 2021	Temperatura	°C	Multiparámetro HACH (HQ40d)	
	Oxígeno Disuelto	mg/L		
	Conductividad Eléctrica	uS/cm		
	DBO	mg/L		Biochemical Oxygen Demand (BOD), APHA 5210 B, 23rd. Ed. 2017
	DQO <sub>5</sub>	mg/L		Chemical Oxygen Demand (COD). APHA- 5220 D, 23rd. Ed. 2017
	SST	mg/L		Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C -APHA- 2540 D, 23rd. Ed. 2017

## 2.7. Diseño estadístico del experimento

El diseño de investigación es causi-experimental, debido a que por medio de este tipo de investigación podemos aproximarnos a los resultados de una investigación experimental, en

situaciones en las que no es posible el control y manipulación absoluta de las variables. Se estudió simultáneamente dos factores (dimensión de esponja y TRH) se realizó 2 réplicas del diseño del reactor DHS-G6, diferenciándose de los experimentos simples en los que sólo se estudia un reactor (variable) (Calzada, 1970).

Constó de 3 segmentos de sección cuadrada y una dimensión interna de 15 cm x 14,52 cm y de 53 cm de largo; la separación entre segmentos fue de 20 cm que también tenía orificios de 2 cm de diámetro los que han servido para la ventilación natural del reactor. Para este estudio de remoción de la materia orgánica de un agua residual domestica influyen dos factores, la dimensión de esponja y TRH. La matriz de diseño sería (Tabla 8):

**Tabla 8**

*Matriz del diseño experimental para la preparación del reactor DHS-G6*

Experimento	FACTORES		
	X1:	X2:	
	Dimensiones de la esponja (cm <sup>3</sup> )	TRH (h)	
	1	8x4x2	9 h
R1	2	8x4x2	5 h
	3	8x4x2	1 h
	4	5x2x2	9 h
R2	5	5x2x2	5 h
	6	5x2x2	1 h
	7	2x1x2	9 h
R3	8	2x1x2	5 h
	9	2x1x2	1 h

## 2.8. Análisis estadístico de datos

El análisis estadístico de la investigación fue trabajado con el programa Excel y el software estadístico MINITAB 18, para lo cual se buscó conocer primero si los datos provenían de una distribución paramétrica (una distribución normal) o de una distribución no paramétrica.

El cual fue calculado a través de la prueba de normalidad de Shapiro –Wilk. Para el modelamiento del análisis estadístico y poder contrastar la hipótesis se se realizó análisis comparativos de los resultados obtenidos para cada una de las réplicas para conocer si son similares o diferentes. Este análisis se realizó por medio del análisis de las varianzas muestrales ANOVA.

Finalmente, para conocer si estadísticamente hay cambios o no en la remoción de la materia orgánica mediante el reactor DHS-G6 y determinar si son significativamente diferentes entre sí, se analizó la relación existente dentro y entre las medias de pares resultantes mediante la prueba de T-student (paramétricas).

## **2.9. Materiales y equipos**

Materiales para la evaluación del sistema DHS G-6

- 01 multiparámetro
- Vaso precipitado
- Agua destilada
- Papel toalla, desinfectante y papel tissue.
- Guantes látex, guardapolvo y lentes protectores.
- Envases para muestra
- Coolers
- Cuaderno de apuntes
- Cámara fotográfica

Materiales, equipos y herramientas utilizados en la construcción del sistema DHS-G6

- 01 tubo de PVC SAP de  $\frac{1}{2}$
- Curva de PVC
- 03 envases de plástico transparente de 8 L
- Balde de plástico 20 L
- 0.2 m de manguera de  $\frac{1}{6}$

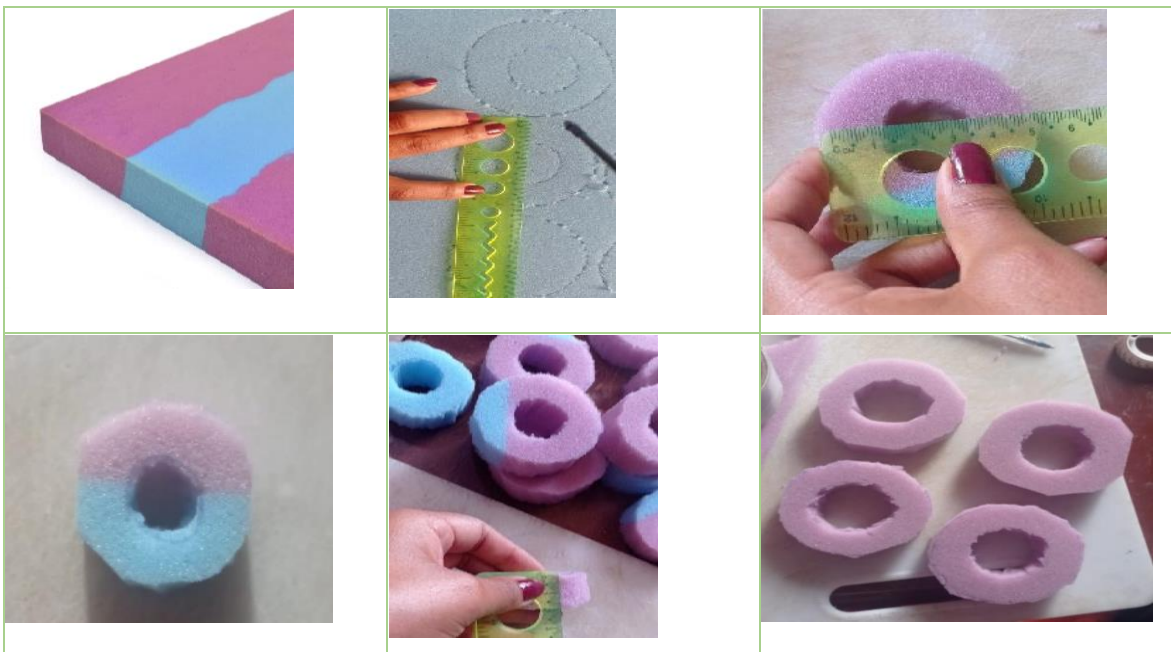


- Arco de sierra
- 01 caño de plástico
- 01 bidón de 80 L
- Regla, tijera, marcador, cúter, mechero, encendedor y venoclisis.

Unidad de filtros de esponjas colgantes continuas (Figura 22).

**Figura 22**

*Materiales para la construcción el sistema DHS G-6*



## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1. Comportamiento del caudal, pH, temperatura y conductividad eléctrica del sistema DHS

#### 3.1.1. Resultados del caudal de operación

Los resultados del caudal de operación del sistema DHS-G6 se detallan en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Determinación del caudal promedio de operación del sistema DHS-G6*

N°	Fecha	Hora	Caudal (L/s)
1	17/02/2022	3:00 p. m.	0,52
2	17/02/2022	4:00 p. m.	0,65
3	17/02/2022	5:00 p. m.	0,51
4	17/02/2022	6:00 p. m.	0,61
5	17/02/2022	7:00 p. m.	0,52
6	17/02/2022	8:00 p. m.	0,48
7	17/02/2022	9:00 p. m.	0,63
8	17/02/2022	10:00 p. m.	0,65
9	17/02/2022	11:00 p. m.	0,49
10	17/02/2022	12:00 a. m.	0,52
11	18/02/2022	1:00 a. m.	0,57
12	18/02/2022	2:00 a. m.	0,68
13	18/02/2022	3:00 a. m.	0,56
Caudal promedio (Qp)			0,57
Caudal máximo (Qmax)			0,68
Caudal mínimo (Qmin)			0,48

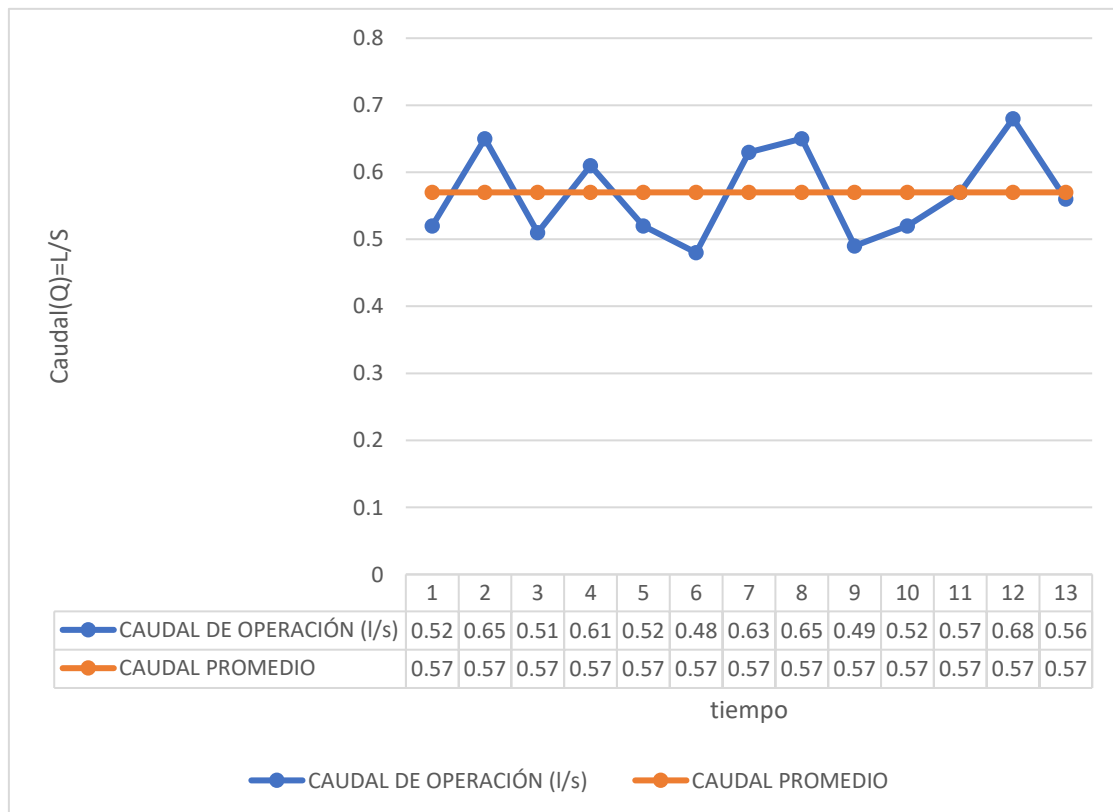
*Nota.* Datos del caudal tomados en el sistema DHS en diferentes horarios.

En la Tabla 8 se observa que el caudal promedio de operación es  $Q_p = 0,56 \text{ L/s}$ , el caudal máx. horario es  $Q_{\max} = 0,68 \text{ L/s}$  y como caudal mín. horario tenemos  $Q_{\min} = 0,48 \text{ L/s}$  para el caudal del sistema DHS-G6; determinado mediante el método volumétrico, para ello se realizó 13 mediciones del tiempo que tarda en llenar el agua en un recipiente con volumen de 8 litros.

En la Figura 23 observamos la variación del caudal de operación del sistema DHS-G6 donde identificamos el caudal mínimo ( $Q_{\min}$ ) obtenido el día jueves 17 de febrero del 2022 a las 3:00 pm de  $0,48 \text{ L/s}$  y el caudal máximo ( $Q_{\max}$ ) obtenido fue el día viernes 18 de febrero del 2022 a las 2:00 am de  $0,68 \text{ L/s}$ . El sistema DHS-G6 operó con un caudal promedio ( $Q_p$ ) de  $0,56 \text{ L/s}$ , este se mantuvo en todo el periodo en el que funcionaba el reactor para garantizar el tratamiento de agua residual.

**Figura 23**

*Caudal de operación del sistema DHS-G6*



*Nota.* Variación del caudal del sistema DHS-G6 en el tiempo.

### 3.1.2. Variación del pH en el afluente y efluente del Sistema DHS G-6

La Tabla 10 muestra los valores de pH obtenidos a la entrada (afluente) y salida (efluente) del sistema DHS-6.

**Tabla 10**

*Valores de pH a la entrada y salida del sistema DHS G-6 con LMP*

	LMP para efluentes de PTARs DS N° 003-2010-MINAM 6,5 - 8.5	pH			
		Entrada del reactor	Salida del reactor		
		E	R1	R2	R3
1	4:30 p. m.	5,98	7,45	7,14	6,98
2	8:30 p. m.	5,99	6,98	7,45	6,89
3	12:30 a. m.	5,89	7,35	7,59	6,78
4	1:30 a. m.	5,98	7,46	6,98	7,34
5	5:30 a. m.	5,98	6,98	7,4	7,45
6	9:30 a. m.	5,97	7,50	7,45	7,49
7	10:30 a. m.	5,98	7,35	6,98	7,35
8	2:30 p. m.	5,95	7,20	6,98	6,98
9	6:30 p. m.	5,98	7,35	7,54	7,45
10	7:30 p. m.	5,96	7,24	7,46	7,20
11	11:30 p. m.	5,98	7,35	7,45	7,48
12	3:30 a. m.	5,89	7,30	7,32	7,38
	Mínimo:	5,89	6,98	6,98	6,78
	Máximo:	5,99	7,5	7,59	7,49
	Promedio:	5,96	7,29	7,31	7,23

*Nota.* Data del pH en la entrada y salida del sistema DHS vs LMP.

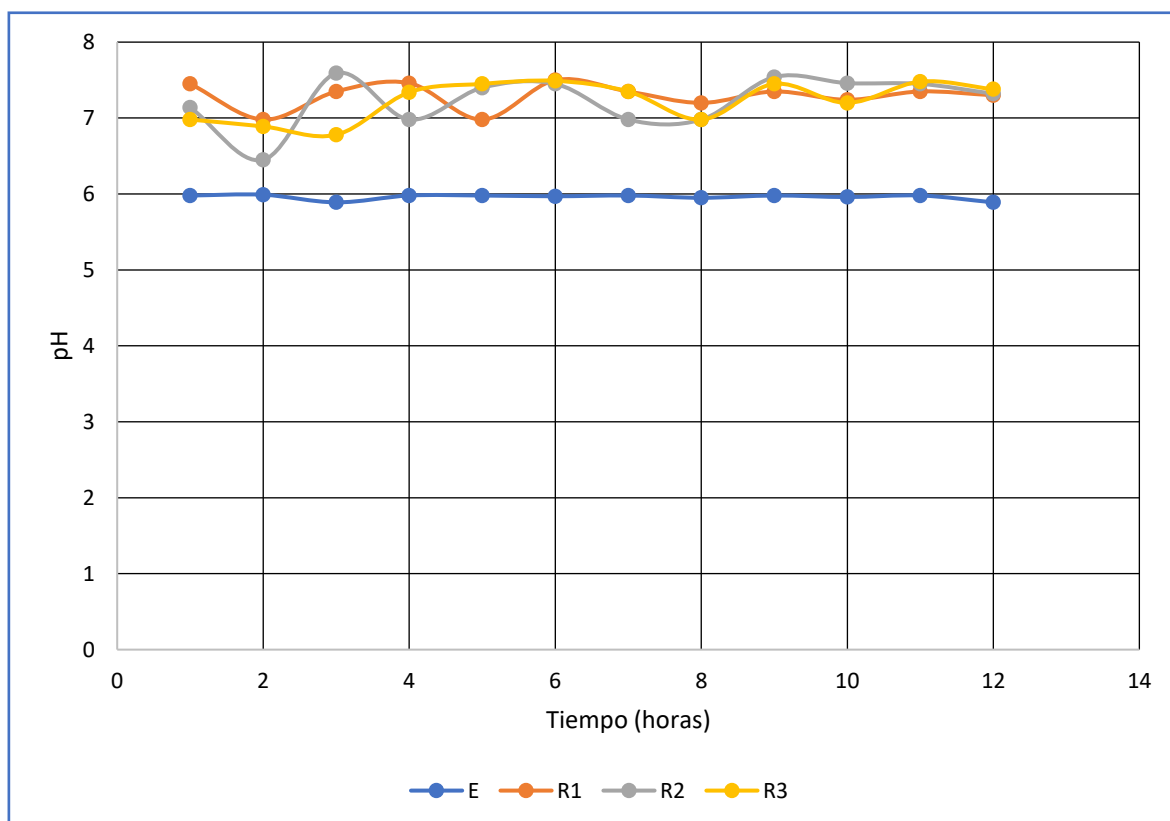
En la Tabla 9 se observa los registros obtenidos *in situ* con el equipo multiparámetro durante el periodo de análisis, presentándose en la entrada del reactor DHS-G6 un pH máximo de 5,99 y un pH mínimo de 5,89; en promedio se obtuvo un 5,96 de pH. En la salida del sistema se obtuvo: R1 con un pH máximo de 7,50 y un pH mínimo de 6,98 con un promedio de 7,29; R2 con un pH máximo de 7,59 y un pH mínimo de 6,98 en promedio se obtuvo 7,31 y por

último en R3 se obtuvo un pH máximo de 7,49 y un pH mínimo de 6,78 con un promedio de 7,23.

En la Figura 24 se observa el comportamiento del pH (potencial de hidrógeno), a la entrada del sistema DHS-G6 los valores oscilan entre 5,89 a 5,99, los cuales no se encuentran dentro de los valores permitidos de los LMP para una descarga del efluente, a diferencia de los valores del pH en la salida del sistema DHS-G6 que, si se encuentran dentro de los valores permitidos, también podemos observar que en R1 tiene una tendencia de valores inferiores al R2 y R3.

**Figura 24**

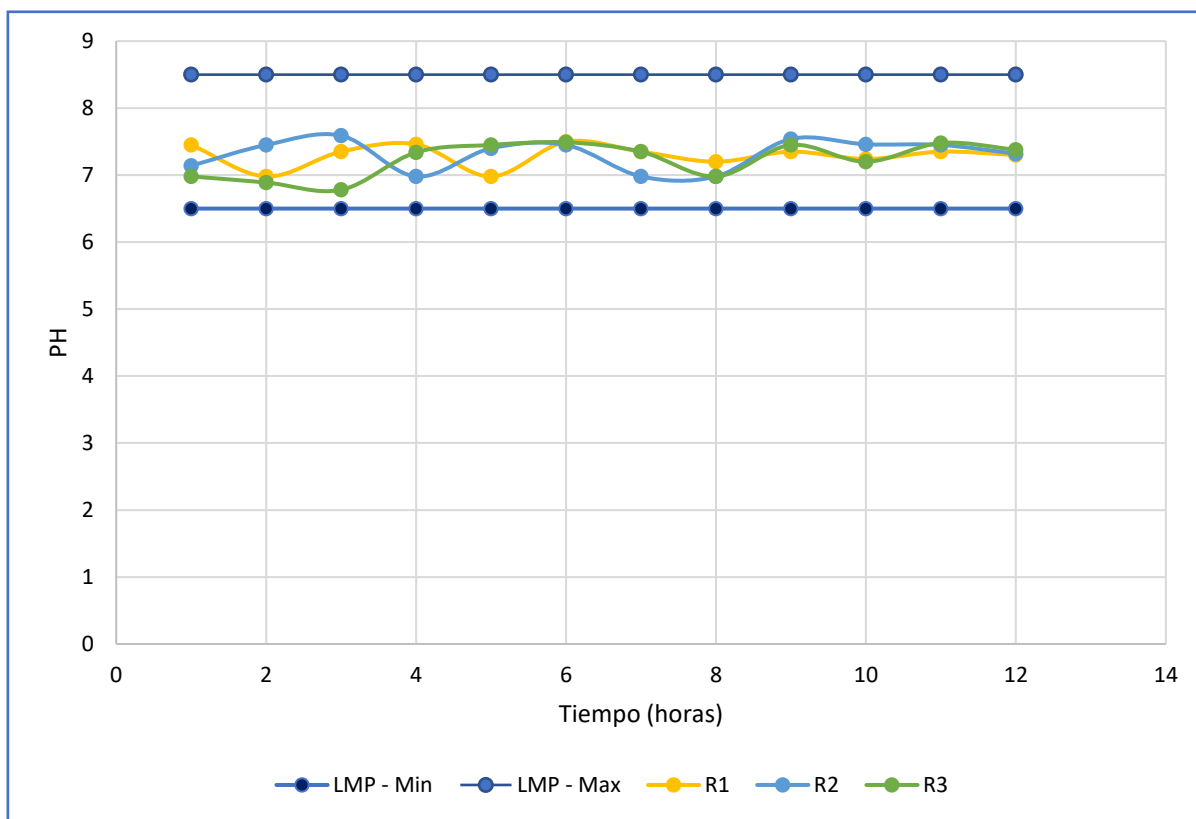
*Variación del pH en la entrada y en el efluente del sistema DHS-G6*



En el Figura 25, se observa que los valores de pH en la salida del sistema DHS-G6 de R1, R2 y R3, se encuentran dentro del intervalo LMP (6,5 - 8,5), establecido por el D.S. N° 003-2010-MINAM, efluentes de PTAR Domésticas o Municipales, con ello podemos demostrar o sugerir que dicho efluente puede ser vertido a un cuerpo receptor sin alterar la composición del medio.

**Figura 25**

Variación del pH del sistema DHS G-6 con respecto a los límites máximo permisibles



Nota: Variación del pH del sistema DHS G-6 vs LMP.

### 3.1.3. Variación de la temperatura en el afluente y efluente del sistema DHS G-6

En la Tabla 11, observamos los registros obtenidos de temperatura tomados *in situ* durante el periodo de análisis. En la entrada del reactor DHS-G6 que fue tomada a una temperatura máx. de 25,3 °C y una temperatura mín. de 20,8 °C; mientras que en la salida del sistema se obtuvo: R1 tuvo una temperatura máx. de 21,4 °C y una temperatura mín. de 25,1 °C; R2 tuvo una temperatura máx. de 25,1 °C y una temperatura mín. de 21,6 °C, mientras que R3 tuvo una temperatura máx. de 25,0 °C y una temperatura mín. de 21,4 °C. En los tres tratamientos fue obtenido un promedio de 23,7 °C en la salida del sistema.

**Tabla 11***Temperatura en la entrada y salida del sistema DHS G-6 con LMP*

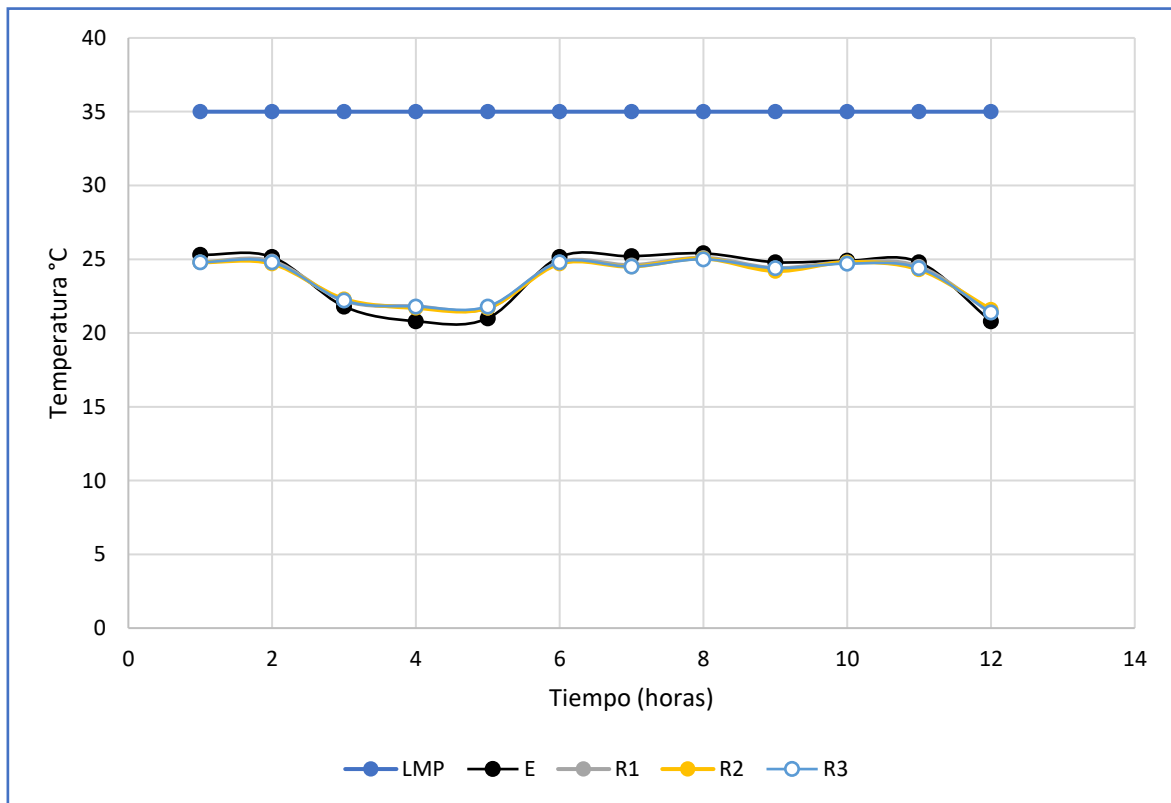
<b>LMP para efluentes de PTARs</b>			<b>Temperatura (°C)</b>			
<b>DS N° 003-2010-MINAM</b>		<b>Entrada del reactor (E)</b>	<b>Salida del reactor</b>			
	<b>LMP</b>	<b>E</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	
1	4:30 p. m.	25,3	24,8	24,8	24,8	
2	8:30 p. m.	25,2	24,9	24,7	24,8	
3	12:30 a. m.	21,8	22,2	22,3	22,2	
4	1:30 a. m.	20,8	21,8	21,7	21,8	
5	5:30 a. m.	21,0	21,7	21,7	21,8	
6	9:30 a. m.	25,2	24,8	24,7	24,8	
7	10:30 a. m. <35	25,2	24,6	24,5	24,5	
8	2:30 p. m.	25,3	25,1	25,1	25,0	
9	6:30 p. m.	24,8	24,4	24,2	24,4	
10	7:30 p. m.	24,7	24,8	24,8	24,7	
11	11:30 p. m.	24,8	24,5	24,3	24,4	
12	3:30 a. m.	20,8	21,4	21,6	21,4	
	Mínimo:	20,8	21,4	21,6	21,4	
	Máximo:	25,3	25,1	25,1	25,0	
	Promedio:	23,7	23,7	23,7	23,7	

*Nota.* Data de la temperatura durante todo el proceso de investigación del sistema DHS vs los LMP.

En la Figura 26, se observa el comportamiento de la temperatura en la entrada del reactor DHS-G6 con valores que oscilan entre 20,8 y 25,4 °C, y en la salida del sistema los valores de la temperatura están entre 21,4 y 25,1 °C, los datos se tomaron a inicios de la época del verano, en el mes de febrero, como se puede observar no hay mucha diferencia en la temperatura, esto se debe a que la investigación se dio en un periodo corto, sin embargo podemos evidenciar que la temperatura se encuentran dentro de lo establecido por los L.M.P. Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (<35).

**Figura 26**

*Variación de la temperatura del sistema DHS-G6 con respecto a los LMP*



*Nota.* Variación de la temperatura del sistema DHS-G6 en comparación con los límites máximos permisibles.

### 3.1.4. Variación de la conductividad eléctrica en el afluente y efluente del sistema DHS G-6

En la Tabla 12, se observa los registros obtenidos de la conductividad eléctrica (CE) del agua tomados *in situ* con el multiparámetro HACH. En la entrada del sistema se encontró un promedio de 390,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de CE, en tanto en la salida del sistema se obtuvo: R1 tuvo un promedio de 804  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , R2 se encontró en promedio 810  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y R3 fue de 821,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Guías Internacionales recomiendan concentraciones menores a de 1 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de CE, por lo que podríamos decir que está dentro de lo recomendado.

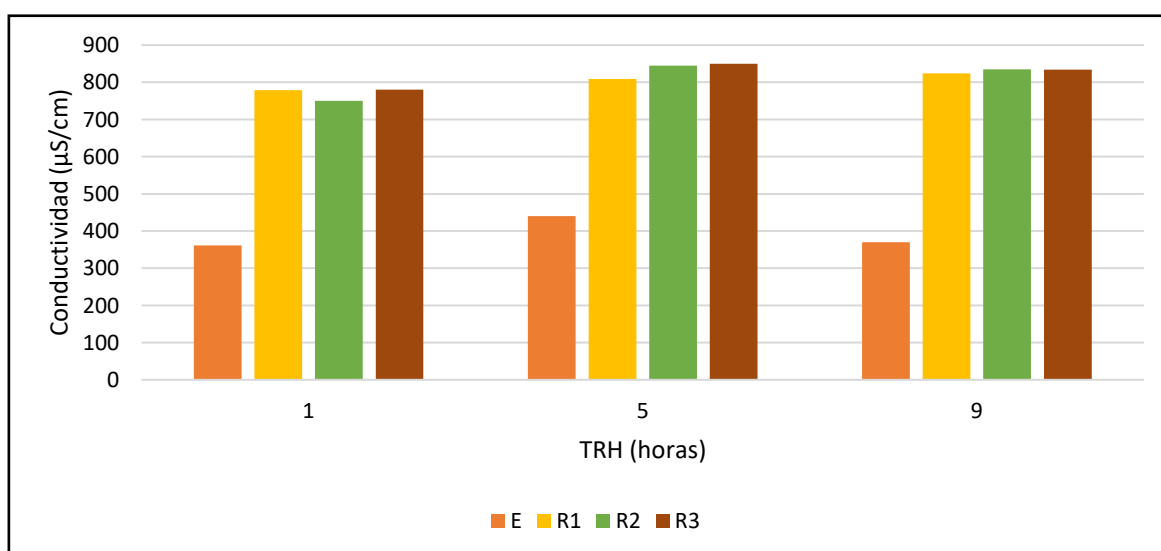


**Tabla 12***Conductividad eléctrica en la entrada y salida del sistema DHS-G6*

Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )				
TRH (horas)	Resultados a la entrada del reactor (E)	Resultados Obtenidos a la Salida del reactor		
	E	R1	R2	R3
1	361	779	750	780
5	440	809	845	850
9	370	824	835	834
Promedio:	390,3	804,0	810,0	821,3

*Nota.* Data de la medición de la conductividad del sistema DHS-G6, con el equipo multiparámetro.

En el Figura 27, se observa que la CE del agua en la entrada del sistema DHS-G6 tiene un promedio de 390,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y en la salida del sistema se observa un aumento en los valores de la conductividad a 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , es decir, el agua ha ganado sales en el proceso, según Julca y Rodríguez (2018) cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica.

**Figura 27***Conductividad eléctrica del agua en la entrada y salida del sistema DHS-G6*

*Nota.* Variación de la CE del sistema DHS-G6 en el tiempo de retención hidráulica.

### 3.2. Evaluación de la remoción de los parámetros analizados

#### 3.2.1. Determinación de la variación de la DBO<sub>5</sub>, DQO y SST

La Tabla 13 muestra las concentraciones de los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO y SST analizados por el laboratorio VyS lab EIRL, los cuales fueron medidos en la entrada y salida del sistema DHS-G6. En el ingreso al sistema DHS-G6 la concentración de la DBO<sub>5</sub> fue de 64,2 mg/L, de la DQO fue de 120 mg/L y la concentración de sólidos totales en suspensión fue de 606 mg/L. En el afluente o salida del sistema DHS-G6 presentaron concentraciones de la DBO<sub>5</sub> en un rango de 5,8 mg/L a 7,5 mg/L, concentraciones de la DQO en un rango de 9,6 a 13,2 mg/L y concentraciones de SST en un rango de 30 a 56 mg/L, en la entrada del sistema DHS G-6 presentaron concentraciones de la DBO<sub>5</sub> de 64,2 mg/L, concentraciones de la DQO fue de 120 mg/L y la concentración de SST fue de 606 mg/L.

**Tabla 13**

*Resultados obtenidos a la salida del sistema DHS G-6*

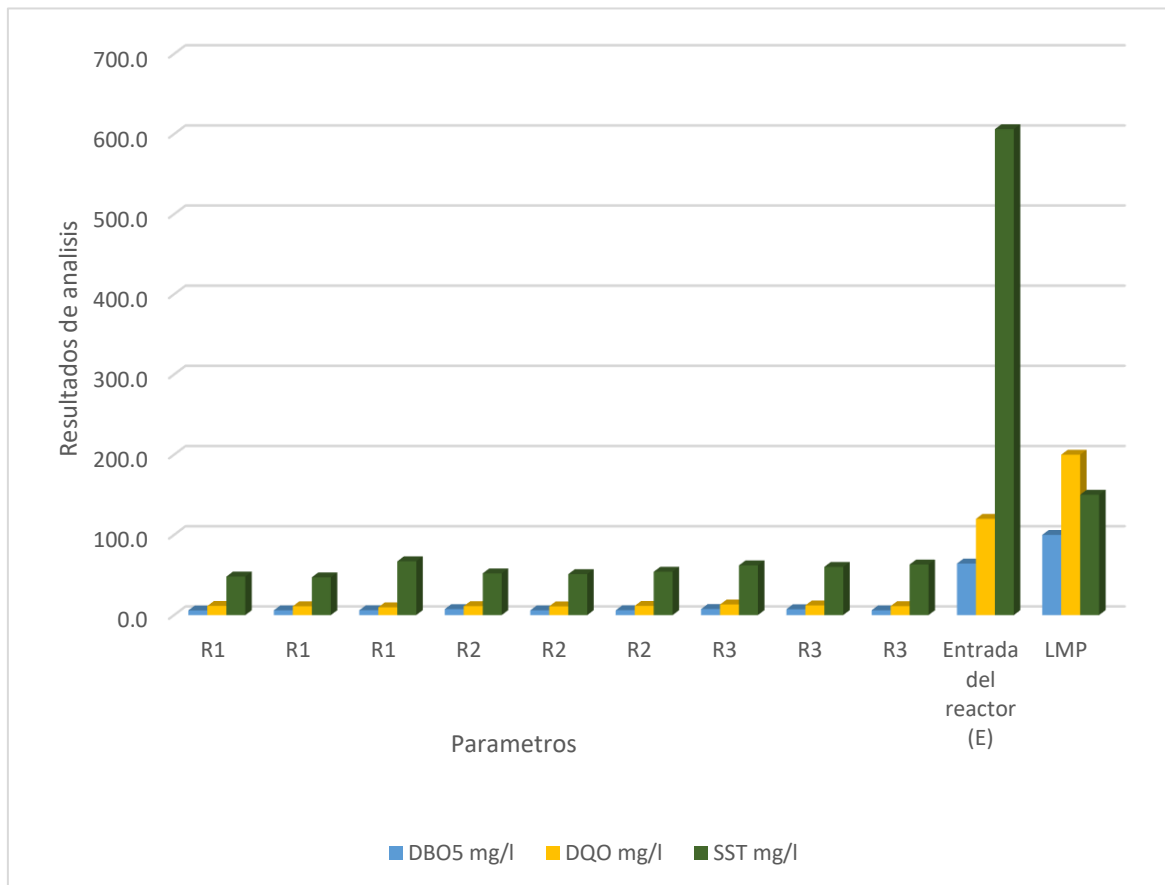
L.M.P. para efluentes de PTARs “DS N° 003-2010-MINAM”		Parámetro		
		Resultados en salida del reactor		
Método de ensayo		APHA 5210 B	APHA 5220 B	APHA 2540 A
Reactor	TRH (horas)	DBO <sub>5</sub> mg/L DBO <sub>5</sub>	DQO mg/L DQO	SST mg/L
R1	1	5,8	8,6	48,0
	5	5,9	9,8	47,0
	9	6,0	9,6	61,0
R2	1	7,4	11,1	47,0
	5	5,9	9,7	43,0
	9	6,0	11,5	48,0
R3	1	7,5	13,2	50,0
	5	7,2	9,6	45,0
	9	5,94	10,0	43,0
<b>Entrada del reactor (E)</b>		64,2	120	606
<b>LMP</b>		100	200	150

*Nota.* Data de los parámetros analizados por el laboratorio acreditado ante INACAL.

En la Figura 28 se muestra los resultados obtenidos de los parámetros analizados en el laboratorio VyS lab, en ello podemos observar que se logró los resultados esperados en la remoción de la materia orgánica del agua residual doméstica mediante el sistema DHS-G6.

**Figura 28**

*Parámetros analizados a la salida del sistema DHS-G6*

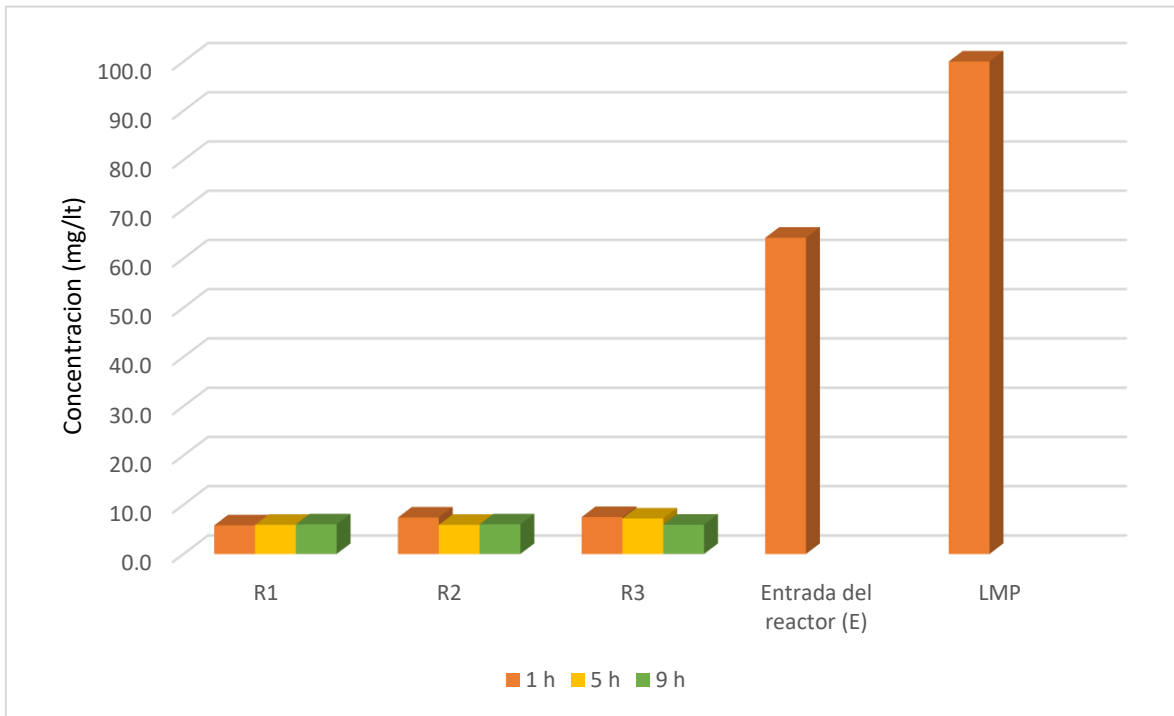


*Nota.* Parámetros (DQO, DBO<sub>5</sub> y SST) analizados en la salida del sistema DHS-G6, en comparación con los LMP.

En las Figuras 29 y 30 se observan el comportamiento de DBO<sub>5</sub> y DQO, los resultados finales obtenidos son menores a lo establecido por los LMP para efluentes de PTAR de aguas residuales domésticas o municipales, según los resultados obtenidos podemos evidenciar que la DBO<sub>5</sub> y DQO han sido removidos activamente mediante la actividad de los microorganismos y demás factores del sistema DHS-G6, también se observa que el R1 ha tenido un ligero porcentaje más de remoción del DBO<sub>5</sub> que R2 y R3.

**Figura 29**

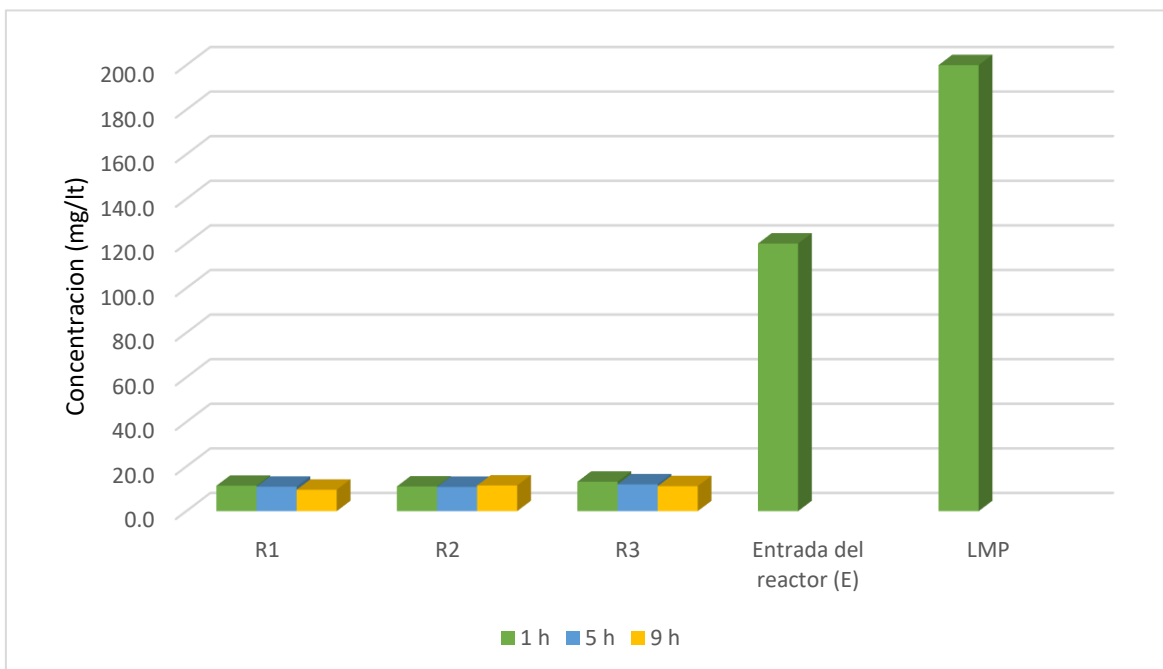
*Evaluación de la DBO<sub>5</sub> en los diferentes tipos de tratamiento con DHS*



*Nota.* Evaluación del DBO<sub>5</sub> en el ingreso al sistema DHS-G6 y en la salida del mismo, en comparación con los LMP.

**Figura 30**

*Comparación del DQO en el ingreso y salida del sistema DHS-G6 con respecto al LMP*

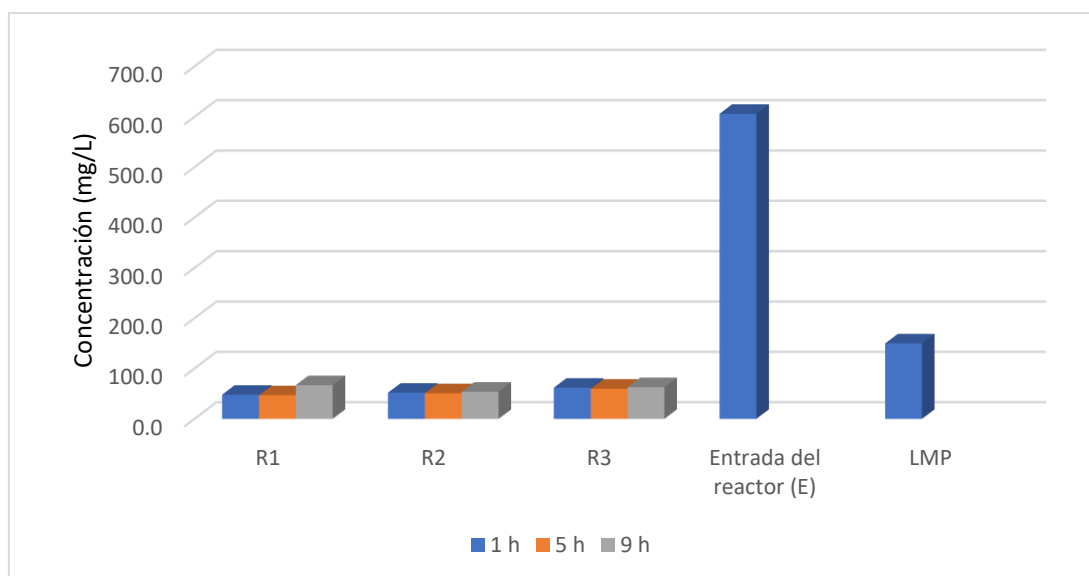


*Nota.* Evaluación del DQO en el ingreso y salida del sistema DHS-G6 en comparación con los LMP.

En la Figura 31 se observa el comportamiento de SST al ingreso y salida del sistema DHS-G6, podemos evidenciar que la concentración de los SST al ingreso del sistema está por encima de los valores permitidos con una concentración de 606 mg/L. Con los resultados obtenidos de SST a la salida del sistema podemos evidenciar que el sistema ha sido muy eficiente con un alto porcentaje de remoción de SST, estos resultados se encuentran por debajo de los valores permitidos para la descarga del efluente.

**Figura 31**

*Comparación del SST en el ingreso y salida del sistema DHS-G6 con LMP*



*Nota.* Evaluación de los sólidos totales en la entrada y salida del sistema DHS-G6, están entre los límites máximos permisibles para descarga del efluente.

### 3.2.2. Determinación de la remoción de la DBO<sub>5</sub>, DQO y SST

En la Tabla 14 se observa que el sistema DHS-G6 da resultados positivos en la remoción de materia orgánica, alcanzando un porcentaje por encima del 90 % de eficiencia en DQO, DBO<sub>5</sub> y SST. La mayor remoción o eliminación se logró en los SST, en la que se obtuvo una eficiencia promedio de 92,22 %. También podemos observar gráficamente los comportamientos de remoción de la materia orgánica durante todo el proceso del sistema DHS-G6 como se muestra en la Figura 32.

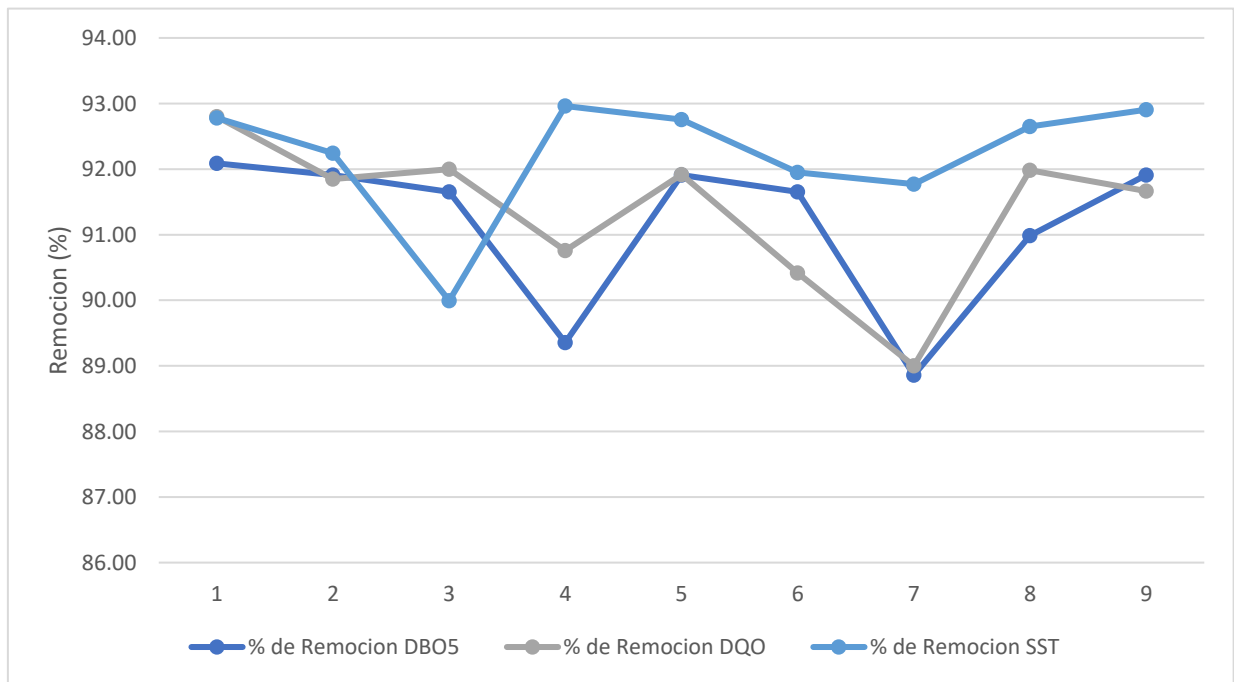
**Tabla 14***Porcentaje de remoción de los parámetros analizados en el laboratorio*

Reactor	TRH (horas)	DBO <sub>5</sub>	Remoción	DQO	Remoción	SST	Remoción
		mg/L DBO <sub>5</sub>	(%) DBO <sub>5</sub>	mg/L DQO	(%) DQO	mg/L	(%) SST
<b>R1</b>	1	5,8	92.09	8,6	92,80	48,0	92,78
	5	5,9	91.91	9,8	91,85	47,0	92,24
	9	6,0	91.65	9,6	92,00	61,0	89,99
<b>R2</b>	1	7,4	89.35	11,1	90,76	47,0	92,96
	5	5,9	91.91	9,7	91,92	43,0	92,75
	9	6,0	91.65	11,5	90,42	48,0	91,95
<b>R3</b>	1	7,5	88.86	13,2	89,00	50,0	91,77
	5	7,2	90.99	9,6	91,98	45,0	92,65
	9	5,9	91.91	10,0	91,67	43,0	92,90
<b>Promedio</b>		6,40	91.15	10,3	91,38	48,0	92,22
<b>Entrada del reactor (E)</b>		64,2		120		606	
<b>LMP</b>		100		200		150	

*Nota.* Resultados obtenidos en el efluente del reactor. Porcentaje de remoción de los parámetros analizados en el laboratorio en los 3 tiempos de retención hidráulica, estos están por encima del 90 %.

**Figura 32**

*Porcentaje de remoción de la materia orgánica (DBO5, DQO y SST) del sistema DHS-G6*



*Nota.* La remoción de la materia orgánica en el sistema DHS-G6 se muestra por encima del 90 %, ha sido más significativa en la DBO<sub>5</sub>.

### 3.2.3. Análisis del tiempo de retención hidráulica y la dimensión de la esponja

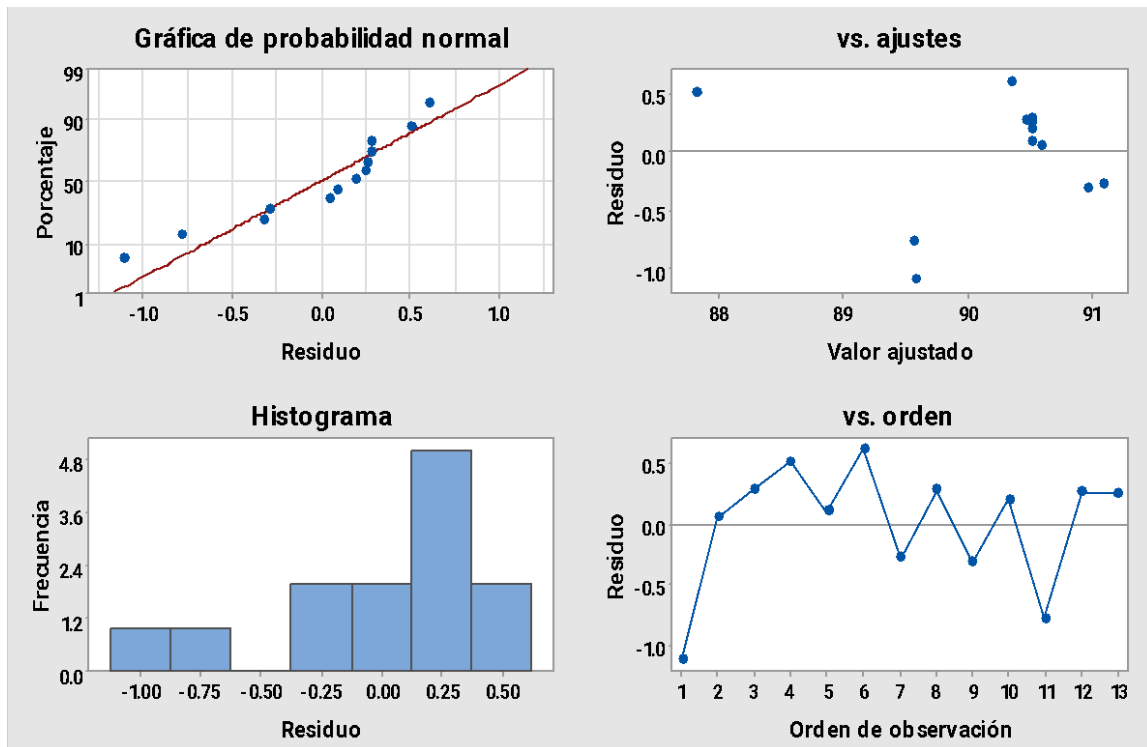
#### a. Análisis estadístico a los valores de DBO<sub>5</sub>

La data obtenida mediante el informe de ensayo N° 0222-044-JC (ver Apéndice 5) emitido por el laboratorio VyS Lab, fue analizada y procesada detalladamente, esta información fue ingresada en el software Minitab 18 (ver Apéndice 06), el cual brindó diferentes gráficos y datos estadísticos que son detallados líneas abajo.

El análisis de los residuos cumplió con los requisitos (normalidad, homogeneidad de la varianza e independencia) para aplicar el ANOVA. La Figura 33 muestra la gráfica de residuos para eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub>.

**Figura 33**

Gráfica de residuos para eficiencia de remoción de DBO5



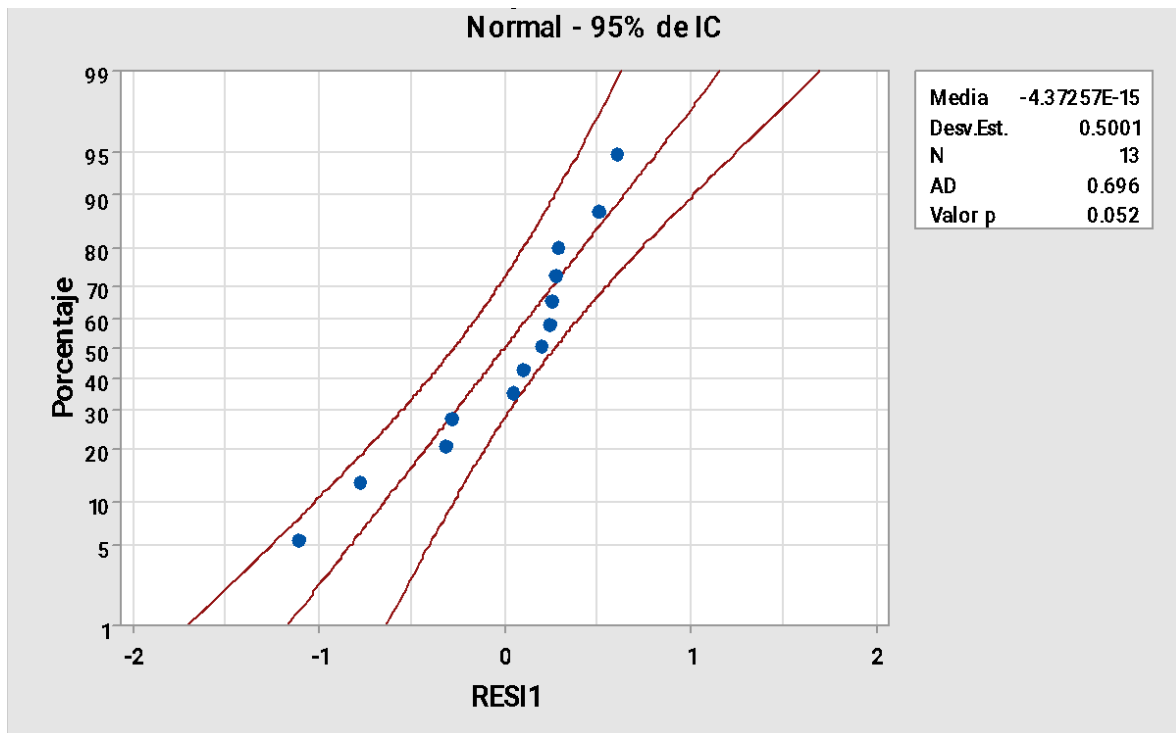
*Nota,* Los análisis de los residuos en los que se cumple con la normalidad, varianza constante e independencia,

En la Figura 33 observamos el análisis de normalidad de los residuos de la DBO<sub>5</sub>, el *p* valor o significancia es de  $p=0,052$ ; los residuos son paramétricos, es decir, que las variables estudiadas se ajustan a distribuciones teóricas conocidas, por lo que aseguramos el empleo del análisis de superficie de respuesta el cual se basa en el ANOVA. En la Figura 34 se observa la gráfica de probabilidad de RESI1 del DBO<sub>5</sub>.



**Figura 34**

*Gráfica de Probabilidad de RESI1 del DBO5*



*Nota.* Gráfica de probabilidad de RESI1 hasta un 95 % de IC, Minitab 18.

#### ❖ **Análisis de varianza (ANOVA)**

Planteamiento de la hipótesis (Es posible que la DBO<sub>5</sub> presente en el agua residual doméstica del efluente de la PTAR de Independencia llegue hasta un 95 % en la eficiencia de la remoción de la DBO<sub>5</sub>) en los 3 reactores con diferentes tamaños de esponja.

Fue realizada el análisis de varianza para probar la hipótesis en que los diferentes volúmenes de esponja y tiempo de retención hidráulico afectan la remoción de la DBO<sub>5</sub>.

La hipótesis es:

H<sub>0</sub>:  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3$

H<sub>1</sub>:  $\tau_i \neq 0$ , aunque sea una media es distinto

A = 0,05 nivel de la significancia

En la Tabla 17 observamos que el *p* valor del modelo del sistema es menor que el nivel de

significancia (0,05), concluyendo que las medias de los tratamientos difieren, es decir, en la Tabla 15 se muestra el volumen de las esponjas y el tiempo de retención hidráulica (TRH) influyen de manera significativa en la remoción de la DBO<sub>5</sub>. La matriz de diseño utilizada en el análisis factorial se muestra en la Tabla 16.

**Tabla 15**

*Volumen de las esponjas y el TRH*

	Niveles		
	Bajo	Medio	Alto
X1: Dimensiones de esponja	2x1x2 cm <sup>3</sup>	5x2x2 cm <sup>3</sup>	8x4x2 cm <sup>3</sup>
X2: Tiempo de retención hidráulica- TRH(h)	1	5	9

**Tabla 16**

*Matriz del análisis factorial*

Experimento	Factores	
	X1: Dimensiones de la esponja (cm <sup>3</sup> )	X2: TRH (h)
1	8x4x2	9
2	8x4x2	5
3	8x4x2	1
4	5x2x2	9
5	5x2x2	5
6	5x2x2	1
7	2x1x2	9
8	2x1x2	5
9	2x1x2	1

**Tabla 17**  
*Análisis de la Varianza de DBO<sub>5</sub>*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	5	8,6467	1,72935	4,03	0,048
Lineal	2	7,2885	3,64424	8,50	0,013
Tiempo	1	3,8077	3,80767	8,88	0,021
Volumen esponja	1	3,4808	3,48082	8,12	0,025
Cuadrado	2	0,5404	0,27020	0,63	0,560
Tiempo*Tiempo	1	0,5119	0,51191	1,19	0,311
Volumen esponja*Volumen esponja	1	0,1684	0,16840	0,39	0,551
Interacción de 2 factores	1	1,1806	1,18060	2,75	0,141
Tiempo*Volumen esponja	1	1,1806	1,18060	2,75	0,141
Error	7	3,0014	0,42876		
Falta de ajuste	3	2,9792	0,99305	178,93	0,000
Error puro	4	0,0222	0,00555		
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>11,6481</b>			

*Nota.* Análisis de varianza de la DBO<sub>5</sub>.

En el Tabla 18 observamos un R-cuadrado (ajustado) cercano a 55,83 %, lo que explica que 55,83 % de la variabilidad de la remoción de la DBO<sub>5</sub> del agua residual fue influenciada por el volumen de las esponjas y el TRH, existen otros factores que no se han considerado en el estudio que influyen en un 44,17 % en la remoción de la DBO<sub>5</sub>. Para el R cuadrado de casi 74,23 %, por lo que podemos decir que existe una relación positiva considerable entre los factores analizados como el volumen de las esponjas y TRH en la remoción de la DBO<sub>5</sub>.

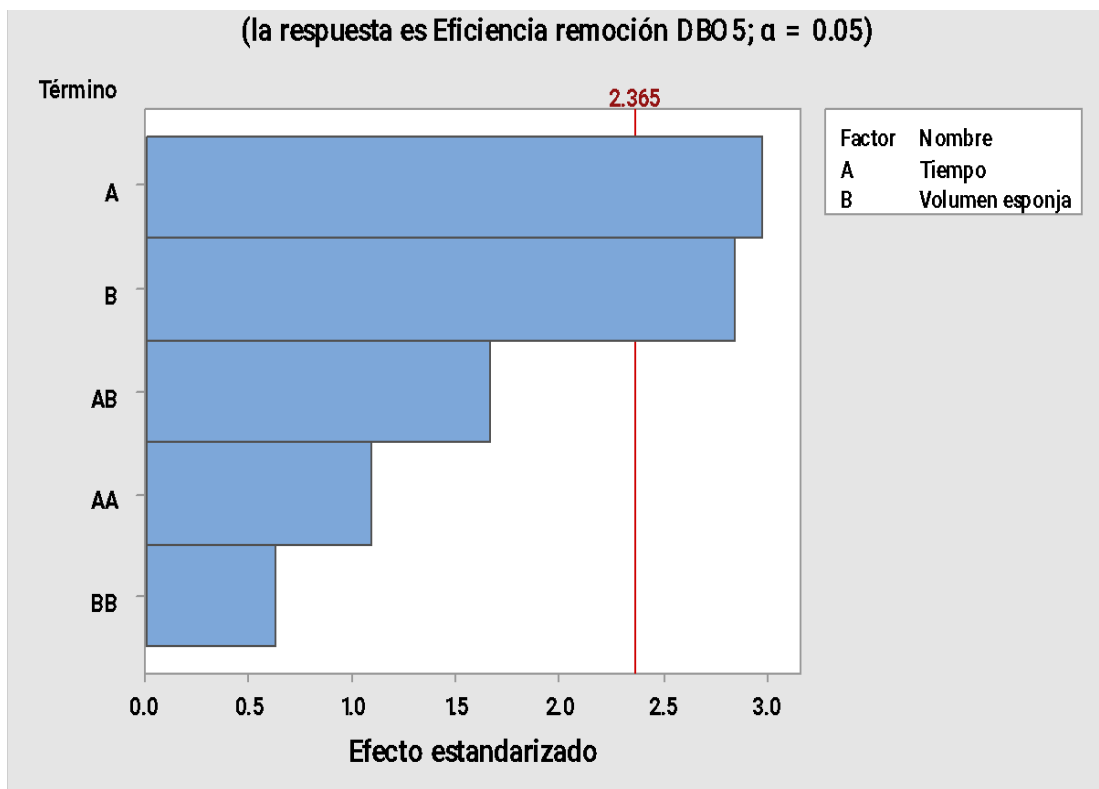
**Tabla 18**  
*Modelo estadístico para la DBO<sub>5</sub>*

<b>S</b>	<b>R-cuad,</b>	<b>R-cuad, (ajustado)</b>	<b>R-cuad, (pred)</b>
0,654801	74,23 %	55,83 %	0,00 %

Se utilizó el diagrama de Pareto para contrastar la magnitud de los principales efectos y también de interacción. La Figura 35 muestra el diagrama de Pareto de efectos estandarizados donde observamos a los factores tiempo y volumen de esponja con variaciones significativas ( $p < 0,05$ ) e importantes en el modelo estadístico de remoción de  $DBO_5$ .

**Figura 35**

*Diagrama de Pareto efectos estandarizados de  $DBO_5$*



## ❖ Modelamiento matemático o ecuación matemática

La Tabla 19 muestra la ecuación de regresión de unidades no modificadas para la DBO<sub>5</sub>.

**Tabla 19**

*Ecuación de regresión de unidades no codificadas para DBO<sub>5</sub>*

---

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia remoción DBO}_5 = & 90,349 + 0,328 \text{ Tiempo} - 0,0664 \text{ Volumen esponja} \\ & - 0,0269 \text{ Tiempo} * \text{Tiempo} \\ & + 0,000334 \text{ Volumen esponja} * \text{Volumen esponja} \\ & + 0,00363 \text{ Tiempo} * \text{Volumen esponja} \end{aligned}$$

---

La ecuación resultante corresponde a un polinomio de grado 2 o polinomio cuadrático:

T: Tiempo

V: Volumen de la esponja

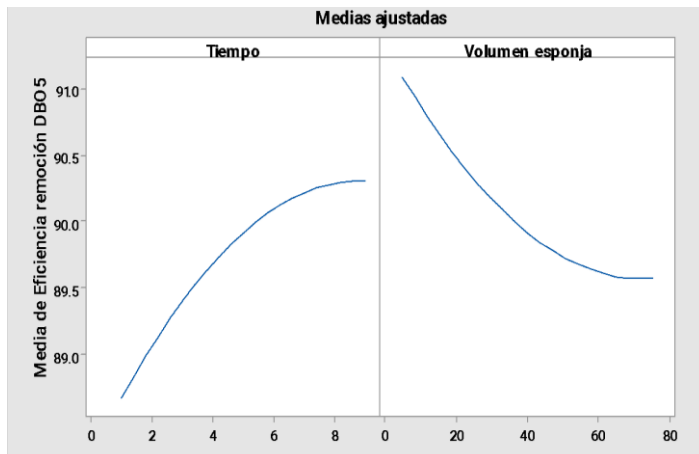
E: Eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub>

$$E = 90,349 + 0,328 * T - 0,0664 * V - 0,0269 * T^2 + 0,000334 * V^2 + 0,00363 * T * V$$

La Figura 36 muestra que a menor volumen de las esponjas mayor es la remoción, lo cual comprueba el principio de la transferencia de masa de oxígeno a la esponja y al agua residual. Con respecto al tiempo, observamos que la máxima eficiencia en la remoción de la DBO<sub>5</sub> ocurre en la hora 9.

**Figura 36**

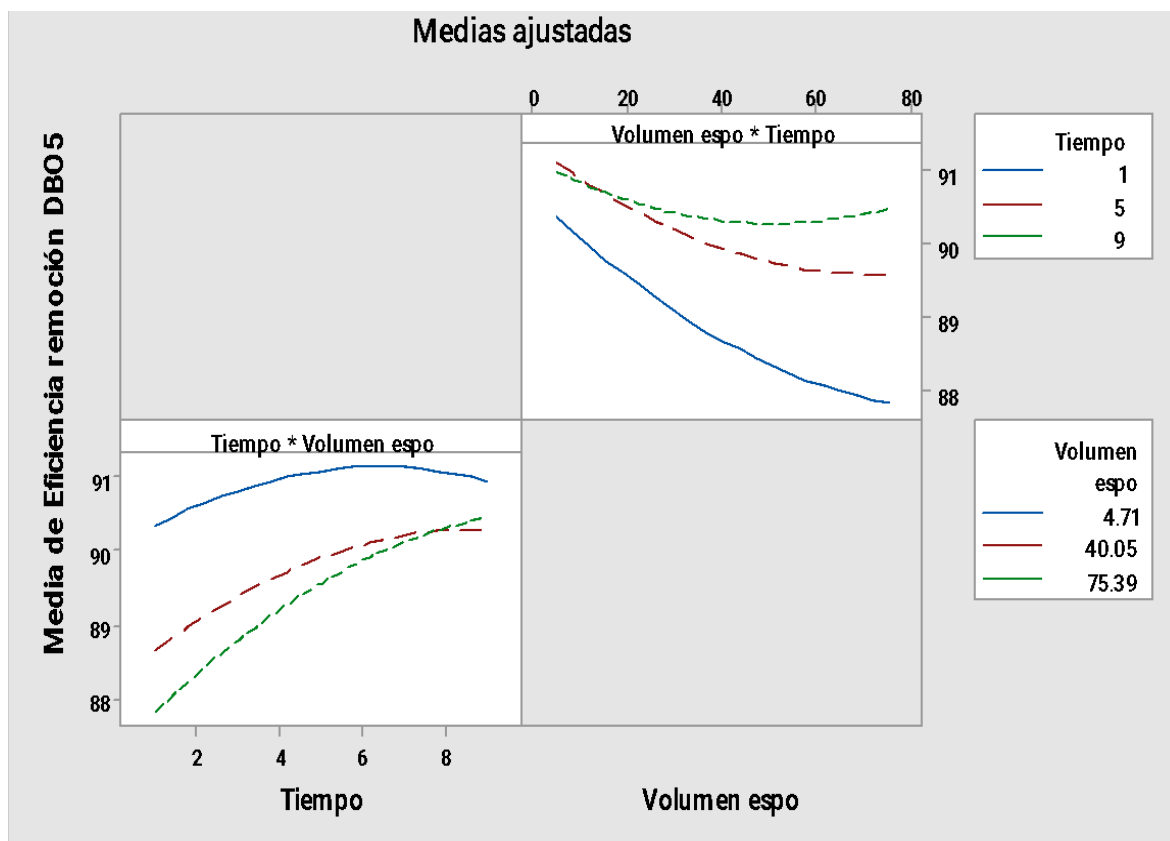
*Gráfica de efectos de remoción de DBO<sub>5</sub> en relación al tiempo y volumen de la esponja*



En la Figura 37 observamos la gráfica de interacción para eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub>, confirmando que la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> es máxima en un tiempo de 9 horas y con un menor volumen de esponjas.

**Figura 37**

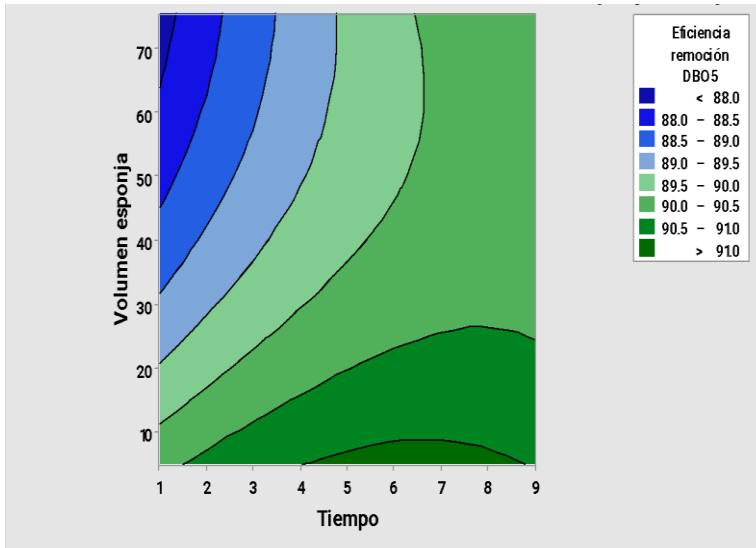
*Gráfica de interacción para eficiencia de remoción DBO<sub>5</sub>*



En la Figura 38 observamos la gráfica de contorno, confirmando que la eficiencia de remoción es mayor al 91 % en el área de color verde oscuro comprendida entre 4 horas a 9 horas de tiempo de retención hidráulica y un volumen de esponja menor a 5 cm<sup>3</sup>. En este proceso el oxígeno es el agente que oxida, queda, desdobra, rompe las cadenas largas de ciertos compuestos orgánicos para que posteriormente las bacterias lo digieran.

**Figura 38**

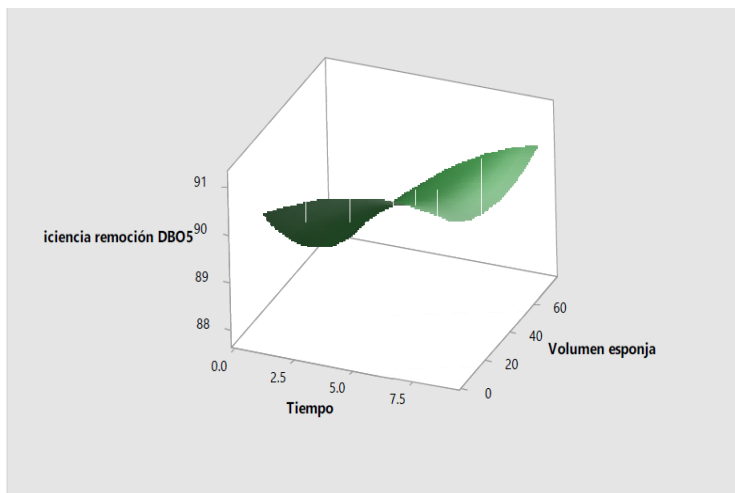
*Grafica de contorno de eficiencia de remoción vs volumen esponja; tiempo de DBO5*



En la Figura 39 observamos la gráfica de superficie de eficiencia de remoción DBO<sub>5</sub>, la cual se asemeja a una silla de montar y tiene puntos mínimos y máximos locales. Los picos y valles corresponden a las combinaciones de tiempo y volumen de esponja que producen máximos o mínimos locales.

**Figura 39**

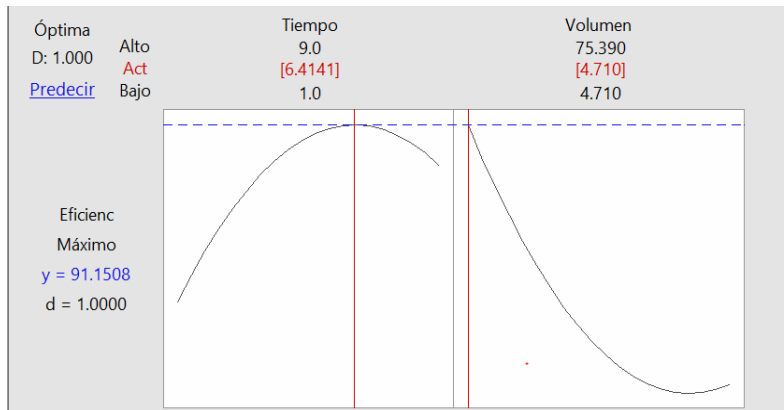
*Grafica de superficie de eficiencia de remoción DBO5 vs volumen esponja*



En la Figura 40 observamos que el Software estadístico Minitab 18 propone una solución óptima para maximizar la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub>, esta sería a 6,41 h y un volumen de esponja de 4, 710 cm<sup>3</sup> para lograr una máxima eficiencia de remoción de 91,15 %.

**Figura 40**

*Optimización de respuesta de DBO5*



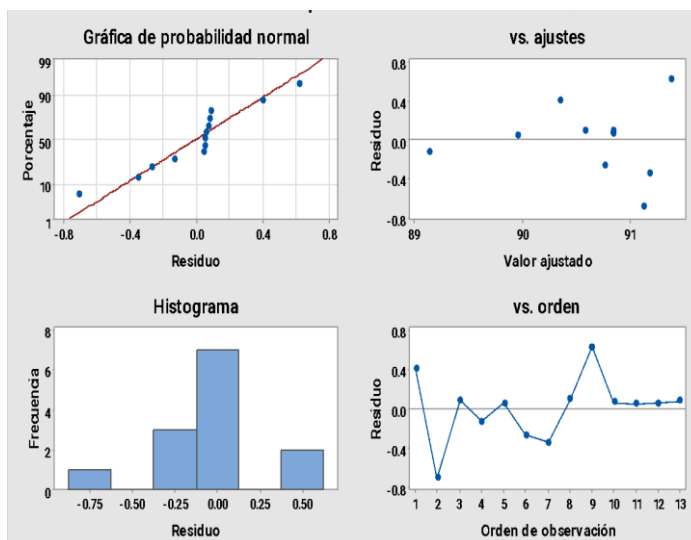
*Nota.* Elaboración a partir de la respuesta del software Minitab 18.

## b. Análisis estadístico a los valores de DQO

La Figura 41 muestra la gráfica de residuos para la eficiencia de remoción de DQO para ejecutar la prueba de normalidad.

**Figura 41**

*Gráfica de residuos para eficiencia de remoción de DQO*



*Nota.* Minitab 18.

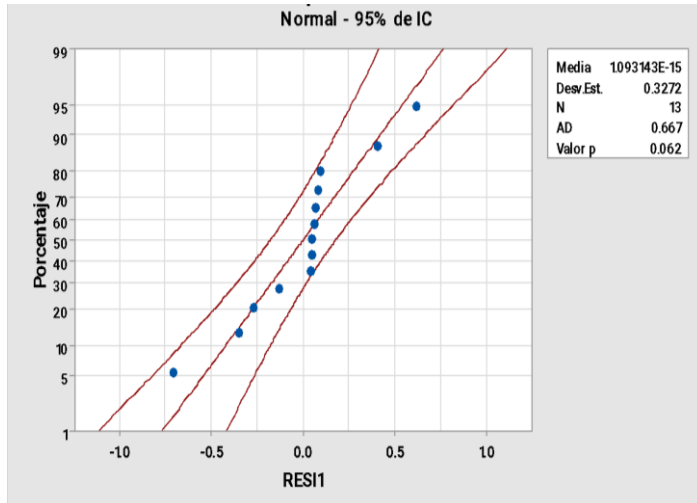
En la Figura 42 observamos el análisis de normalidad de los residuos de la DQO donde obtenemos un  $p=0,062$ , por lo que los residuos muestran tendencia paramétrica, es decir, los datos se pueden modelar mediante una distribución de probabilidad, empleándose para el



análisis de superficie el ANOVA. En la Figura 41 se observa la gráfica de probabilidad de RESI1 de la DQO.

**Figura 42**

*Probabilidad de RESI1 de DQO*



#### ❖ **Análisis de varianza (ANOVA)**

Planteamiento de la hipótesis (Es posible que la DQO presente en el agua residual doméstica del efluente de la PTAR de Independencia llegue hasta un 95 % en la eficiencia de la remoción de la DQO) en los 3 reactores con diferentes tamaños de esponja.

Realizamos el análisis de varianza para probar la hipótesis por la que diferentes volúmenes de esponja y tiempo de retención hidráulico afectan la remoción de la DQO.

La hipótesis es:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3$$

$$H_1: \tau_i \neq 0, \text{ aunque sea una media es distinta}$$

$\alpha = 0,05$ , nivel de significancia

En la Tabla 22 observamos que el  $p$  valor del análisis de la varianza es  $p < 0,05$ , por lo que se

concluye que las medias de los tratamientos difieren, es decir, el en la Tabla 20 se muestra el volumen de las esponjas y el tiempo de retención hidráulica (TRH) influyen de manera significativa en la remoción de la DQO. La matriz de diseño utilizada en el análisis factorial se muestra en la Tabla 21.

**Tabla 20**

*Volumen de las esponjas y el TRH*

	Niveles		
	Bajo	Medio	Alto
X1: Dimensiones de esponja	2x1x2 cm <sup>3</sup>	5x2x2 cm <sup>3</sup>	8x4x2 cm <sup>3</sup>
X2: Tiempo de retención hidráulica- TRH(h)	1	5	9

**Tabla 21**

*Matriz del análisis factorial*

Experimento	Factores	
	X1: Dimensiones de la esponja (cm <sup>3</sup> )	X2: TRH (h)
1	8x4x2	9 h
2	8x4x2	5 h
3	8x4x2	1 h
4	5x2x2	9 h
5	5x2x2	5 h
6	5x2x2	1 h
7	2x1x2	9 h
8	2x1x2	5 h
9	2x1x2	1 h

**Tabla 22***Análisis de la Varianza de DQO*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	4,11482	0,82296	4,48	0,038
Lineal	2	3,74380	1,87190	10,20	0,008
Tiempo	1	1,51120	1,51120	8,23	0,024
Volumen esponja	1	2,23260	2,23260	12,16	0,010
Cuadrado	2	0,03706	0,01853	0,10	0,905
Tiempo*Tiempo	1	0,02897	0,02897	0,16	0,703
Volumen esponja*Volumen esponja	1	0,02080	0,02080	0,11	0,746
Interacción de 2 factores	1	0,19564	0,19564	1,07	0,336
Tiempo*Volumen esponja	1	0,19564	0,19564	1,07	0,336
Error	7	1,28501	0,18357		
Falta de ajuste	3	1,28433	0,42811	2518,30	0,000
Error puro	4	0,00068	0,00017		
Total	12	5,39983			

En la Tabla 23, se observa con un R-cuadrado (ajustado) cercano a 59,20 %, lo que explica que la remoción de la DQO del agua residual es influenciada por el volumen de las esponjas y el TRH.

**Tabla 23***Modelo estadístico para DQO*

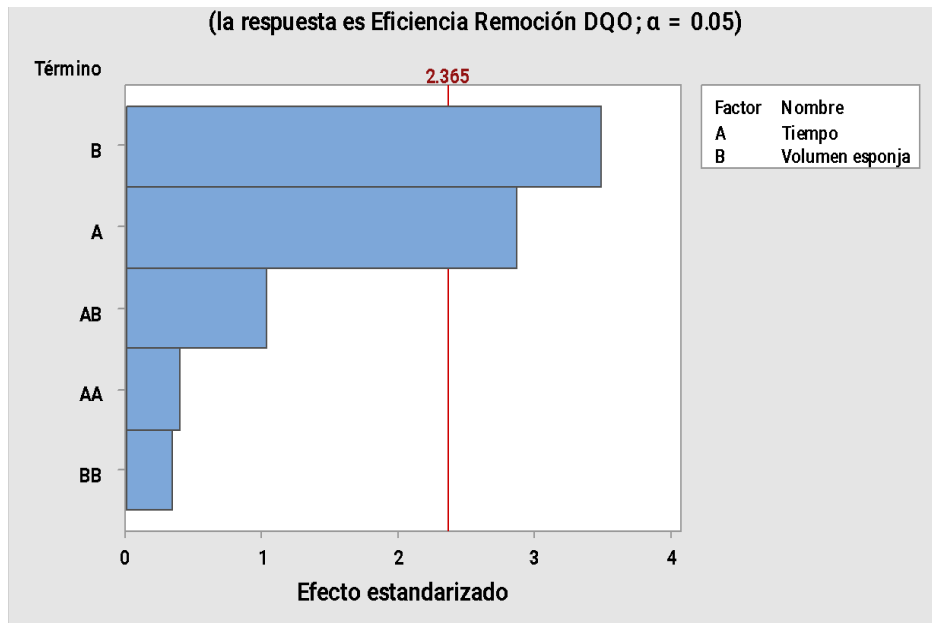
s	R-cuad,	R-cuad, (ajustado)	R-cuad, (pred)
0,428455	76,20 %	59,20 %	0,00 %

En el R-cuadrado de casi 76,20 % se obtiene un R de 0,8729; según el baremo de Pearson (ver apéndice 12) existe una relación positiva considerable entre los factores analizados volumen de las esponjas y TRH en la remoción de la DQO. Utilizamos el diagrama de Pareto para contrastar la magnitud de los principales efectos y también de interacción. El diagrama de Pareto de efectos estandarizados muestra que los factores tiempo y volumen de esponja son significativos o importantes en el modelo matemático de remoción de DQO.

En la Figura 43, se observa con un R-cuadrado (ajustado) cercano a 59,20 %, por lo que, el 59,20 % de la variabilidad de la remoción de la DQO del agua residual es influenciada por el volumen de las esponjas y el TRH, existen otros factores que no se han considerado en el estudio que influyen en un 40,80 % en la remoción de la DQO.

**Figura 43**

*Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de DQO*



❖ **Modelamiento matemático o ecuación matemática para la DQO**

La Tabla 24 muestra la ecuación de regresión de unidades no modificadas para la DQO.

**Tabla 24**

*Ecuación en unidades no codificadas para DQO*

---


$$\begin{aligned} \text{Eficiencia Remoción DQO} = & 90,793 + 0,134 \text{ Tiempo} - 0,0340 \text{ Volumen esponja} \\ & - 0,0064 \text{ Tiempo} * \text{Tiempo} \\ & + 0,000117 \text{ Volumen esponja} * \text{Volumen esponja} \\ & + 0,00148 \text{ Tiempo} * \text{Volumen esponja} \end{aligned}$$


---

Esta es la ecuación para encontrar los mínimos y máximos locales, es un polinomio de grado 2 o polinomio cuadrático:

V: Volumen de la esponja

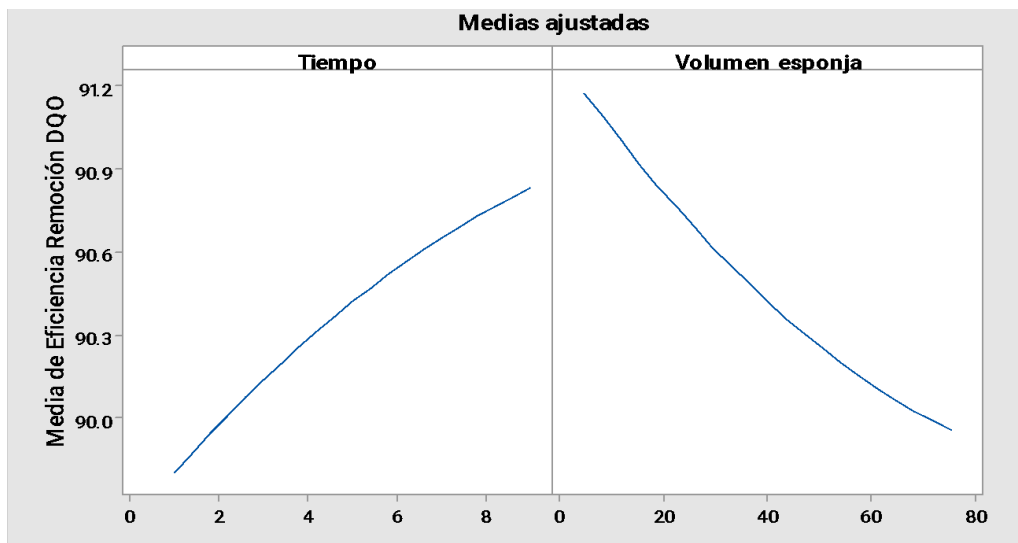
E: Eficiencia de remoción de DQO

$$E = 90,793 + 0,134 * T - 0,0340 * V - 0,0064 * T^2 + 0,000117 * V^2 + 0,00148 * T * V$$

En la Figura 44 observamos que a un menor volumen de esponjas mayor es la remoción de la DQO, lo cual comprueba el principio de la transferencia de masa de oxígeno a la esponja y al agua residual con respecto al tiempo; además, observamos que la máxima eficiencia en la remoción de la DQO ocurre en la hora 9.

**Figura 44**

*Gráfica de efectos principales para eficiencia de remoción de DQO*

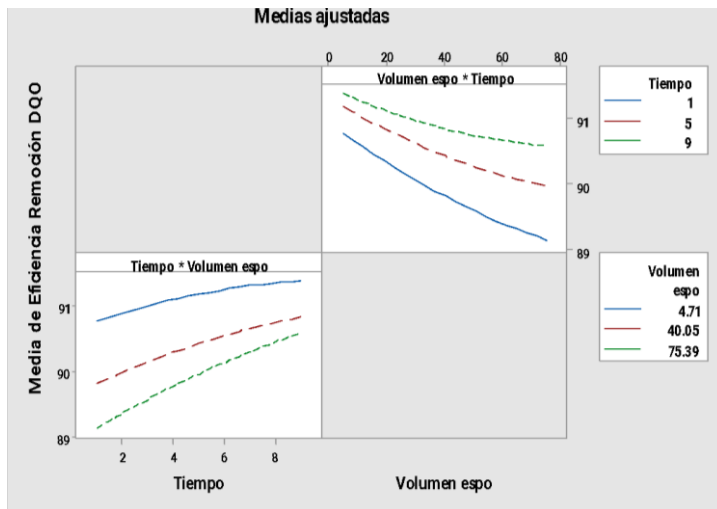


Nota. Minitab 18,

La Figura 45 de interacción para eficiencia de remoción de DQO muestra que la eficiencia de remoción de DQO es máxima en un tiempo de 9 horas y con un menor volumen de esponja.

**Figura 45**

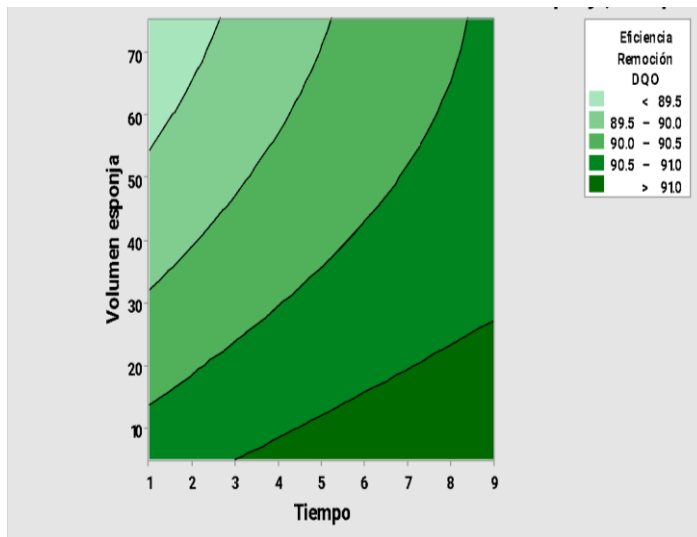
*Gráfica de interacción para eficiencia de remoción de DQO*



La Figura 46 muestra la eficiencia de remoción mayor al 91 % en el área de color verde oscuro. Además, está comprendida entre 3 a 9 horas de TRH y un volumen de esponja entre 1 a 5 cm<sup>3</sup>.

**Figura 46**

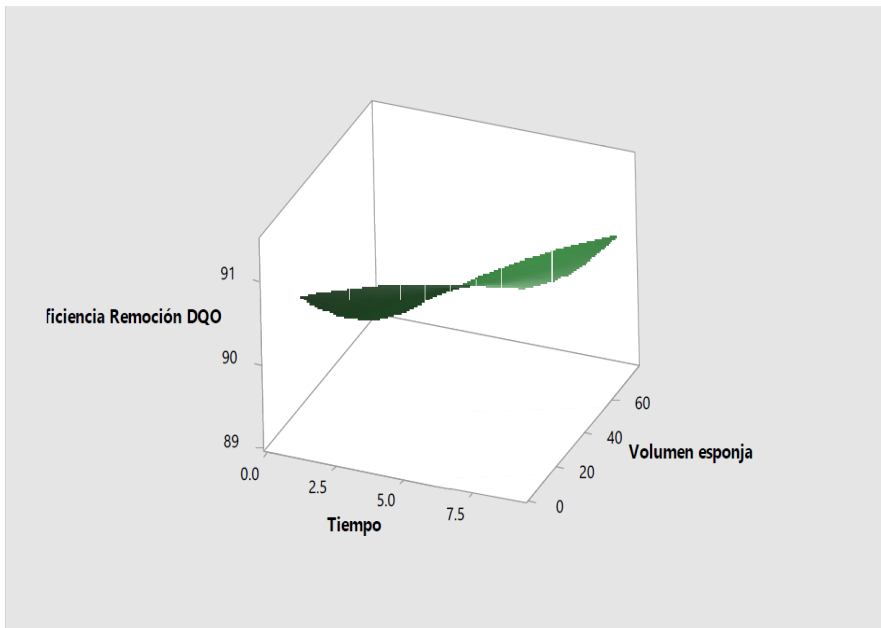
*Gráfica de contorno eficiencia remoción vs volumen esponja: tiempo de DQO*



La Figura 47 de superficie de eficiencia de remoción DQO se asemeja a una silla de montar tiene puntos mínimos y máximos locales, los picos y valles corresponden a las combinaciones de tiempo y volumen de esponja que producen máximos o mínimos niveles de remoción de la DQO.

**Figura 47**

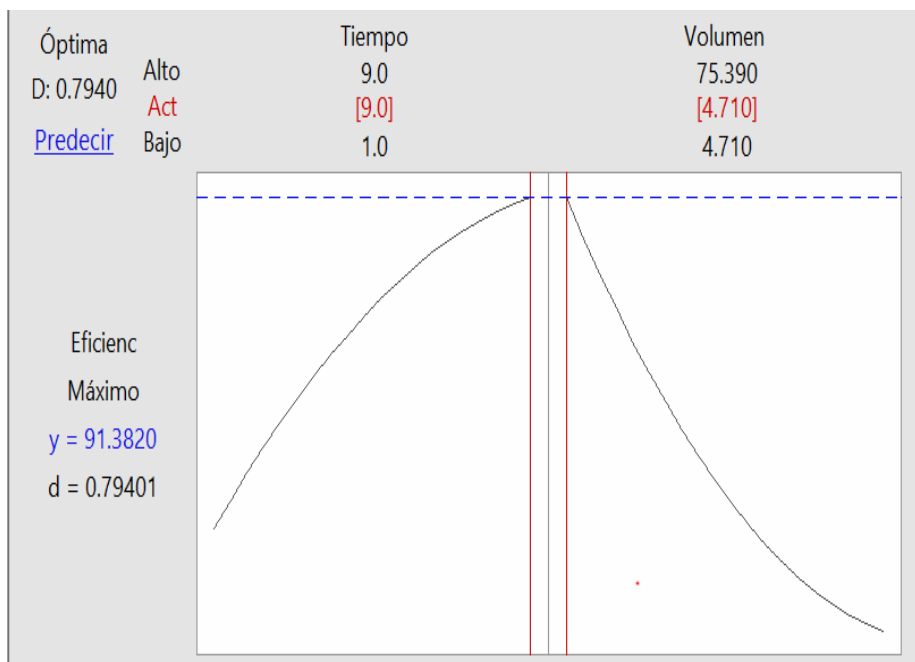
*Grafica de superficie de eficiencia de remoción vs volumen de esponja en 3d DQO*



En la Figura 48 observamos la maximización de la eficiencia de remoción de DQO en 9 h y un volumen de esponja de 4,710 cm<sup>3</sup> logrando una eficiencia de remoción a 91,38 %.

**Figura 48**

*Optimización de respuesta para DQO*

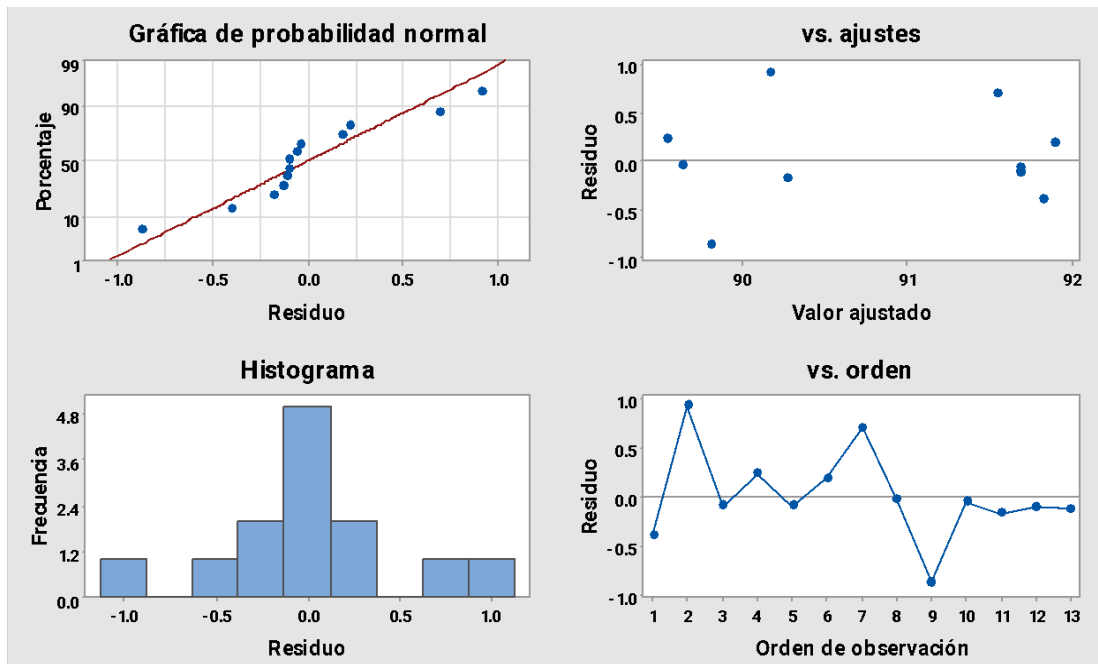


### c. Análisis estadístico a los valores de SST

La Figura 49 muestra la gráfica de residuos para ejecutar la prueba de normalidad.

**Figura 49**

*Gráfica de residuos para la eficiencia de remoción de SST*

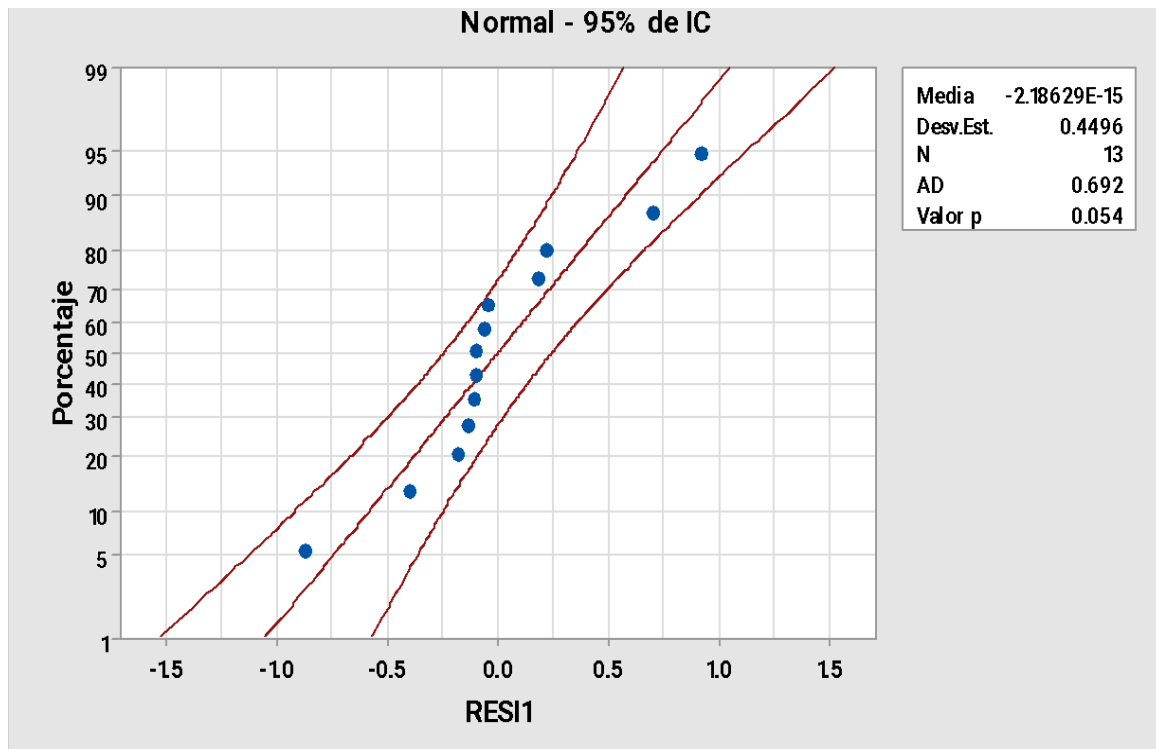


Realizando el análisis de los residuos de SST donde observamos un p valor o significancia de 0,054, es decir, que el comportamiento de los reactores es diferente por lo menos de uno. Los residuos son paramétricos por lo que aseguramos el empleo del análisis de superficie de respuesta el cual se basa en el ANOVA (Figura 50).



**Figura 50**

*Gráfico de probabilidad de RESII de SST*



❖ **Análisis de varianza (ANOVA)**

Planteamiento de la hipótesis (Es posible que la SST presente en el agua residual doméstica del efluente de la PTAR de Independencia llegue hasta un 95 % en la eficiencia de la remoción de la SST) en los 3 reactores con diferentes tamaños de esponja.

Fue realizado un análisis de varianza para probar la hipótesis de que los diferentes volúmenes de esponja y tiempo de retención hidráulico afectan la remoción de SST.

La hipótesis fue:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3$$

$H_1: \tau_i \neq 0$ , aunque sea una media es distinta

$\alpha = 0,05$ , nivel de significancia

En la Tabla 27 observamos que el valor de  $p < 0,05$ , por lo que se concluye que las medias de

los tratamientos difieren, es decir, es decir, el en la Tabla 25 se muestra el volumen de las esponjas y el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) influyen de manera significativa en la remoción de la SST. La matriz de diseño utilizada en el análisis factorial se muestra en la Tabla 26.

**Tabla 25**

*Volumen de las esponjas y el TRH*

	Niveles		
	Bajo	Medio	Alto
X1: Dimensiones de esponja	2x1x2 cm <sup>3</sup>	5x2x2 cm <sup>3</sup>	8x4x2 cm <sup>3</sup>
X2: Tiempo de retención hidráulica-TRH(h)	1	5	9

**Tabla 26**

*Matriz del análisis factorial*

Experimento	Factores	
	X1: Dimensiones de la esponja (cm <sup>3</sup> )	X2: TRH (h)
1	8x4x2	9 h
2	8x4x2	5 h
3	8x4x2	1 h
4	5x2x2	9 h
5	5x2x2	5 h
6	5x2x2	1 h
7	2x1x2	9 h
8	2x1x2	5 h
9	2x1x2	1 h

**Tabla 27***Análisis de varianza de SST*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	11,5485	2,30971	10,45	0,004
Lineal	2	4,6023	2,30114	10,41	0,008
Tiempo	1	2,2083	2,20827	9,99	0,016
Volumen esponja	1	2,3940	2,39402	10,83	0,013
Cuadrado	2	4,7410	237,051	10,73	0,007
Tiempo*Tiempo	1	1,2992	129,922	5,88	0,046
Volumen esponja*Volumen esponja	1	1,6412	1,64120	7,43	0,030
Interacción de 2 factores	1	2,2052	2,20522	9,98	0,016
Tiempo*Volumen esponja	1	2,2052	2,20522	9,98	0,016
Error	7	1,5470	0,22100		
Falta de ajuste	3	1,5470	0,51566	*	*
Error puro	4	0,00000	0,00000		
Total	12	13,0955			

Con un R-cuadrado (ajustado) cercano a 79,75 %, quiere decir que 79,75 % de la variabilidad de la remoción de SST del agua residual es influenciada por el volumen de las esponjas y el TRH, existen otros factores que no se han considerado en el estudio del DHS-G6 que influyen un 20,25 % en la remoción de SST (Tabla 21).

**Tabla 21***Modelo estadístico para SST*

	SR-cuad. (ajustado)	R-cuadr. R-cuadr.	R-cuad. (pred)
0,470101	88,19 %	79,75 %	0,00 %

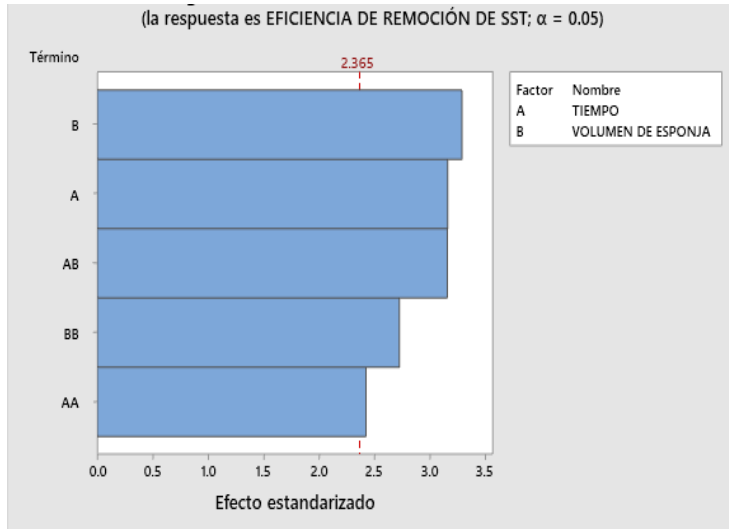
En el R-cuadrado de casi 88,19 % se obtiene un R de 0,9390 y según el baremo de Pearson existe una relación positiva muy fuerte entre los factores analizados volumen de las esponjas y TRH en la remoción de SST.

En la Figura 51 se presenta el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, donde se observa que el factor tiempo es significativo o importante en el modelo matemático de remoción de SST, con referencia al volumen de la esponja también es fundamental para la

absorción y retención de los SST.

### Figura 51

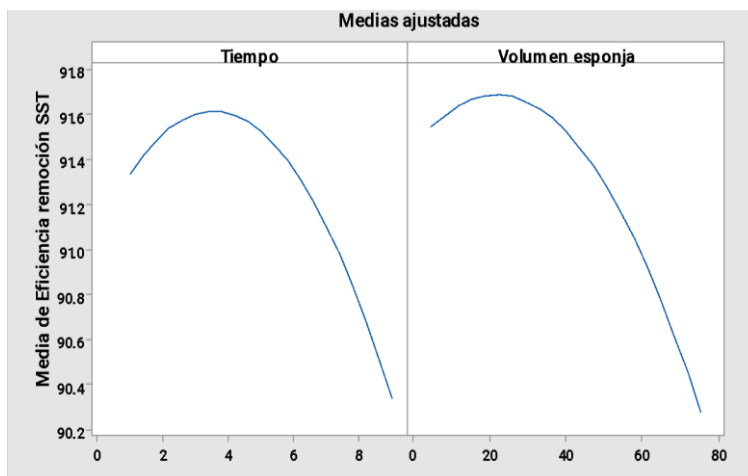
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de SST



En la Figura 52 se observa que a menor volumen de las esponjas mayor es la remoción, lo cual evidencia el principio de la transferencia de masa de oxígeno a la esponja y al agua residual con respecto al tiempo, se observa que la máxima eficiencia en la remoción de SST ocurre en la hora 3.

### Figura 52

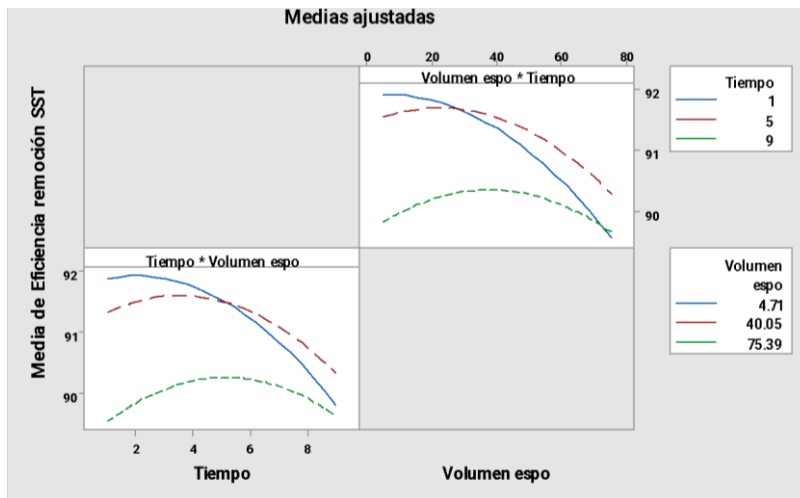
Gráfica de efectos principales para eficiencia remoción SST



En la Figura 53 muestra que la eficiencia de remoción de SST es máxima en un tiempo de 3 horas y con un menor volumen de esponja.

**Figura 53**

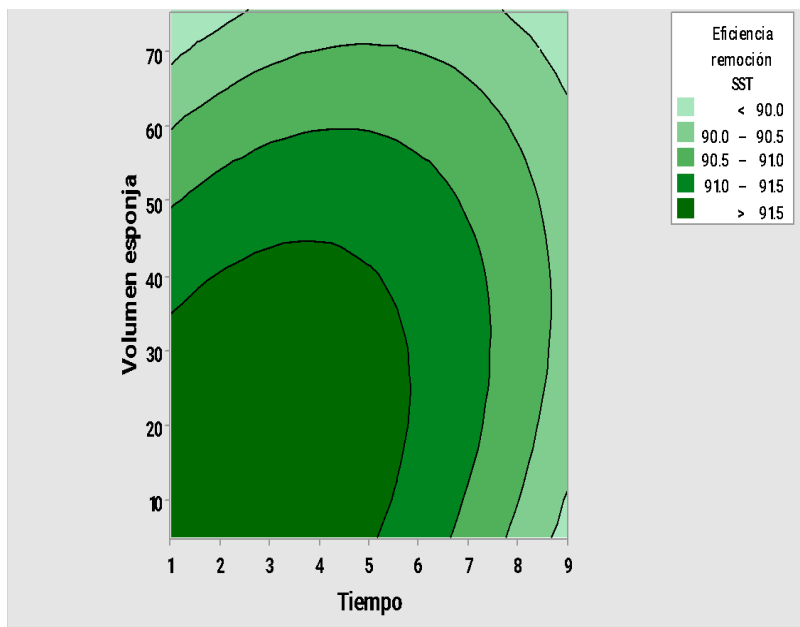
*Gráfica de interacción para eficiencia de remoción de SST*



La Figura 54 de contorno confirma que la eficiencia de remoción es mayor al 91,5 % en el área de color verde oscuro comprendida entre 1 a 6 horas en TRH y un volumen de esponja entre 1 a 40 cm<sup>3</sup>.

**Figura 54**

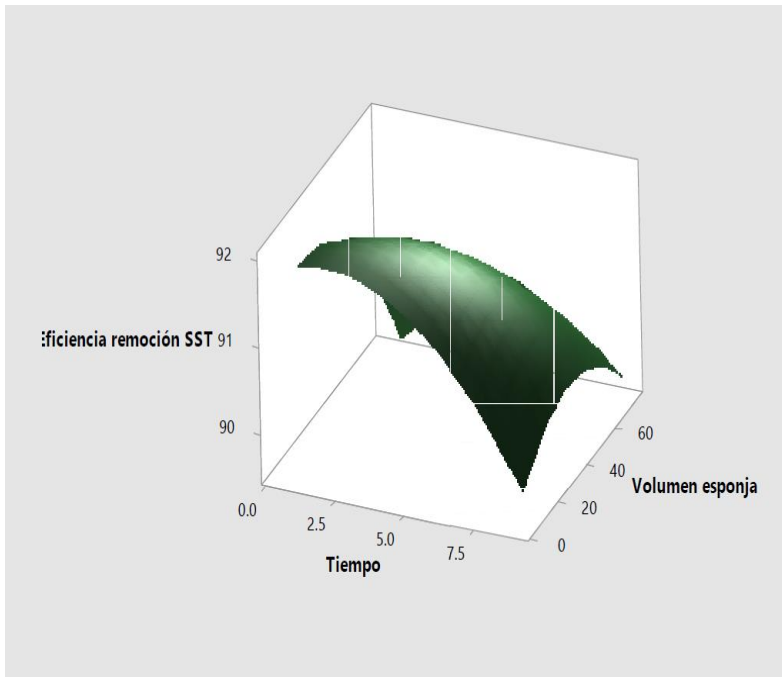
*Gráfica de contorno de eficiencia de remoción vs volumen de esponja; tiempo en SST*



La Figura 55 de superficie de eficiencia de remoción SST tiene puntos mínimos y máximos locales, los picos y valles corresponden a las combinaciones de TRH y volumen de esponja que producen máximos o mínimos en la remoción de los SST.

**Figura 55**

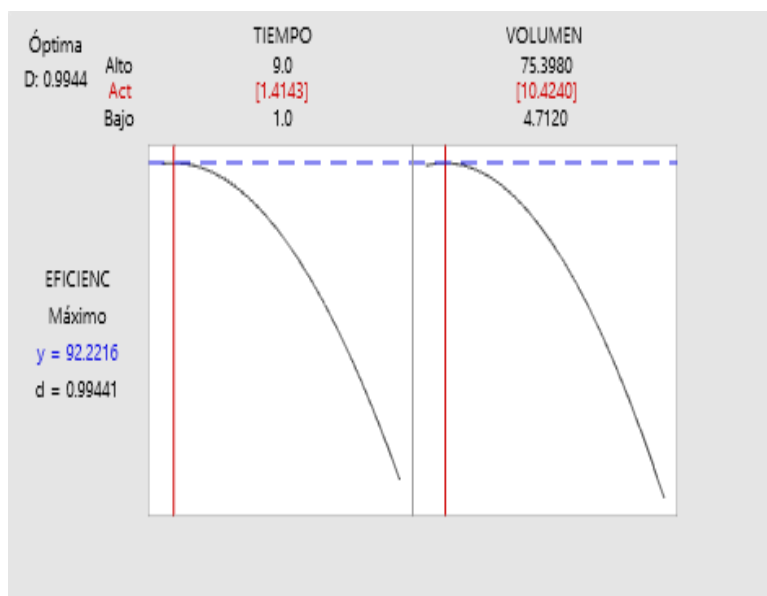
*Grafica de superficie de eficiencia de remoción SST vs volumen de esponja 3d SST*



En la Figura 56 se muestra que Minitab encuentra una solución óptima para maximizar la eficiencia de remoción de SST con 1,4143 horas y un volumen de esponja de 10,4240 cm<sup>3</sup> se logra maximizar la eficiencia de remoción a 92,2216 %.

**Figura 56**

*Optimización de respuesta de SST*



## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

### 4.1. Comportamiento del Caudal, pH, temperatura y conductividad eléctrica del sistema DHS

El caudal para este sistema DHS estuvo entre los 0,48 y 0,68 L/s, es decir, que no hubo mucha variación del caudal obteniendo un promedio del caudal de 0,57 L/s, en comparación con los resultados encontrados en la investigación de Llantoy y Sánchez (2018), en un sistema DHS, con remoción para la DBO y DQO de 87,2 y 85,4 % respectivamente que alcanzaron un promedio de 0.56 L/s. Este caudal de 0,57 L/s aplicado al sistema DHS-G6 registró valores de remoción para la DBO de 91,15 %, para la DQO de 91,38 % y para SST con 92,22 %, comparando con Llantoy y Sánchez (2018), reportaron una remoción para la DBO y DQO de 89,04 y 90,14 % respectivamente con un caudal de 0,56 L/s. Castillejo y Aquino (2017) reportaron para un caudal similar (0,52 L/s) en un sistema DHS, remoción para la DBO y DQO de 87,2 y 85,4 % respectivamente. Por otro lado, Tra *et al.* (2021) reportaron valores para la DQO y SST de 60,4 y 69,7 % respectivamente, en sistemas con un caudal de 0,011 L/s. Evaluando los resultados de la remoción obtenidos en la investigación, con el caudal aplicado al sistema nos permitieron obtener valores superiores al 91 % de eficiencia en la remoción de los parámetros, con base a estos resultados se puede considerar como un caudal de 0.57 L/s el más apropiado para este tipo de sistema.

Los valores de pH promedio obtenidos al ingreso del reactor fue de 5,99; mientras que para la salida del sistema fue de 7,23. Este valor promedio del pH de salida estuvo dentro del intervalo establecido por el D.S. N° 003-2010-MINAM (6,5-8,5) a lo largo de toda la evaluación. Similar resultado fue presentado por Tandukar *et al.* (2006), quienes emplearon un sistema D.H.S. de quinta generación, encontrando un valor promedio de pH en la salida del sistema de 7,5. En la presente investigación, el sistema de D.H.S. de sexta generación presentó el pH de salida superior al pH de entrada, esto posiblemente a que los microorganismos tuvieron condiciones favorables en su desarrollo, siendo el pH registrado

como valor óptimo para el crecimiento de la biomasa en las esponjas, lo cual beneficia al del tratamiento del agua residual según Flores *et al.* (2017).

Con respecto a la temperatura, en esta investigación se reportaron en los ingresos y salidas del sistema DHS-G6 con 23,7 °C de promedio. Este valor obtenido se encuentra dentro de lo establecido por los L.M.P. <35 °C (MINAM, 2010). Similar resultado de temperatura (26 °C) fueron reportados por Aranda (2019) en sistemas DHS, con altas remociones en la turbidez de las aguas evaluadas. El incremento o disminución de la temperatura podría influir en la actividad biológica, la presencia de organismos mesofílicos se desarrolla muy bien a esta temperatura, haciendo que aumente principalmente la solubilidad de los sólidos, tal como lo establece Rojas y Visurraga (2012).

Para la conductividad eléctrica fue registrado un valor de 390,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y una salida del sistema con 821,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , observándose un incremento de 110,42 %. Estos valores obtenidos son menores a los límites máximos exigidos en la Norma Cubana (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo [AECID], 2021) que para descargas de aguas residuales establecen 1400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La norma peruana no establece valor para este parámetro. Para Chong *et al.* (2012) y Kumar *et al.* (2020) obtuvieron un valor de 73  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 144  $\mu\text{S}/\text{cm}$  al evaluar afluentes de sistemas de esponjas colgantes, lo cual expresan un comportamiento crítico de este parámetro, mostrando bajas disminuciones o incrementos que podrían afectar directamente al consorcio microbiano dispuesto en el sistema.

Lo más relevante de los resultados de los parámetros evaluados in situ es que no hay mucha variación en los reactores a pesar de presentar diferentes dimensiones de la esponja, estos presentan resultados parecidos.



## 4.2. Evaluación de la remoción de los parámetros analizados

### 4.2.1. Determinación de la remoción de la demanda química de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

La remoción de DBO<sub>5</sub> en el sistema piloto DHS-G6 realizado en Lima 2021, alcanzó una eficiencia promedio de remoción de un 91,15 % en el tratamiento del efluente de un reactor UASB, el sistema DHS-G6 empleado tuvo una altura de 70 cm con 3 segmentos iguales con orificios de 1 cm para una ventilación natural y estuvo relleno con esponjas cilíndricas. Comparando los resultados obtenidos con los de Castillejo y Aquino (2017) en su investigación, donde el principal indicador de la carga orgánica, DBO<sub>5</sub>, logró una remoción del 87,2 %, en un reactor de 106 cm de altura con 2 segmentos y con orificios para una ventilación natural. La variación se debe a la cantidad de segmentos utilizados en cada investigación dentro del proceso de tratamiento orgánico, existe una variación, dicha variación explica el comportamiento del caudal, carga orgánica del efluente en los diferentes estudios realizados (Flores *et al.*, 2017).

Según los resultados del comportamiento de la DBO<sub>5</sub> obtenidos a la salida del sistema DHS-G6, el contraste entre los valores paramétricos obtenidos en el efluente del sistema, según la normativa ambiental vigente para este tipo de efluentes indica que la DBO<sub>5</sub> cumple con los niveles establecidos en los Límites Máximos Permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM). El resultado promedio en la salida del sistema DHS-G6 con respecto a la DBO<sub>5</sub> fue de 6,40 mL/L, es decir, un 93,6 % por debajo del nivel establecido por la norma peruana (100 mg/L). Por otro lado, investigadores como Julca y Rodríguez (2018), y Pacush y Arias (2018) en su investigación reportaron resultados de DBO<sub>5</sub> inferiores a lo establecido por la normativa, los datos variaron de 23,08 a 86,21 %, no logrando el cumplimiento de los LMP, porque el agua que trataron tenía elevadas concentraciones de la DBO<sub>5</sub>, a pesar del 86 % de remoción no lograron llegar a cumplir con los LMP.

Por otro lado, Tsuyoshi *et al.* (2020) también realizaron una investigación en la que evaluaron el comportamiento de un sistema DHS a escala piloto en una planta comunitaria por los bajos costos que conlleva implementar este tratamiento, el agua fue recolectado

directamente del sistema de alcantarillado, la evaluación fue por 600 días a temperatura ambiente, con respecto a la  $DBO_5$  se encontró una eficiencia de remoción del 95 %, en comparación con nuestra investigación que fue de 91,15 % de  $DBO_5$ , la variación fue mínima en la remoción de la  $DBO_5$  esto puede deberse al periodo de evaluación, ya que puede saturarse las esponjas y necesitan un mantenimiento, así lo mencionan Pacush y Arias (2018) en su investigación.

#### **4.2.2. Determinar la remoción de demanda química de oxígeno (DQO)**

La remoción de DQO en el sistema DHS-G6 a una escala piloto, alcanzó una eficiencia promedio de remoción de un 91,38 %, el diseño del reactor fue de 70 cm de altura con 3 segmentos iguales con orificios en la superficie para una ventilación natural, el material filtrante se agregó a un 75 % de la capacidad del reactor, cada reactor fue hecho con material plástico; los datos del diseño se asemejan con los resultados de Llantoy y Sánchez (2018), quienes evaluaron el comportamiento de un DHS-G1 como tratamiento del efluente de un tanque séptico, el reactor fue hecho con recipiente de vidrio, con una altura de 80 cm, el cual constó de 2 segmentos con orificios para la ventilación, asimismo, el material filtrante fue agregado a un 80 % de la capacidad del reactor. En esta investigación encontraron que en la DQO logró una remoción total de 90,14 %, sin embargo, en la investigación realizada por Castillejo y Aquino (2017) obtuvieron 85,40 % de remoción de la DQO, el sistema del reactor que utilizaron fue acrílico transparente de 106 cm de altura con 2 segmentos y con orificios para una ventilación natural, cuyo material filtrante fue agregado a un 90 % de la capacidad del reactor. Según los antecedentes analizados y comparados con nuestra investigación, podemos resaltar que el material filtrante es más eficiente a un 70 y 80 % de la capacidad total del reactor.

La Tabla 12 y 13 muestran los resultados obtenidos de la DQO a la salida del sistema DHS-G6, comparando los resultados con la normativa ambiental vigente para este tipo de efluentes, indica que la DQO cumple con los niveles establecidos en los Límites Máximos Permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM). El resultado promedio en la salida del sistema DHS-G6 con respecto a la DQO fue de 10,30 mg/L, es decir, un 91,38 % por debajo del nivel establecido por la norma (200 mg/L). Por otro lado, los investigadores como

Julca y Rodríguez (2018) y Pacush y Arias (2018) reportaron concentraciones de DQO por debajo de lo establecido por la normativa con valores que variaron de 50 y 80 %, esto se debe a que ellos evaluaron un agua elevada en DQO.

Hiep *et al.* (2018) también evaluaron el desempeño de un sistema DHS a escala piloto con una capacidad de 60 L, el sistema DHS fue de 1,5 m de altura y superficie cuadrada con 0,2 m de ancho, con tres segmentos idénticos conectados verticalmente en serie cada segmento y relleno con esponjas de poliuretano al 90 % de capacidad del reactor; con respecto a la DQO se encontró una eficiencia de remoción del 80 %, a diferencia de nuestra investigación el diseño del reactor fue de 70 cm de altura con 3 segmentos iguales con orificios en la superficie para una ventilación natural, el material filtrante se agregó a un 75 % de la capacidad del reactor, lo cual logró una remoción total de 91,38 %.

Según los antecedentes analizados y comparados con nuestra investigación, podemos resaltar que el material filtrante es más eficiente a un 70 y 80 % de la capacidad total del reactor. Por lo tanto, el reactor DHS es un tratamiento de bajo costo, fácil de implementar con materiales que fácilmente podemos encontrar en el mercado local y es eficiente en la eliminación de materia orgánica de las aguas residuales domésticas.

#### **4.2.3. Determinación de la remoción de sólidos suspendidos totales (SST)**

En la presente investigación la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) del sistema DHS-G6 a escala piloto, alimentado de agua residual doméstica procedente de un reactor UASB, fue de 92,22 % con un valor de tiempo óptimo en 1,41 horas y un volumen óptimo de esponja de 10,4240 cm<sup>3</sup>. Estos resultados que se obtuvieron se acercan a los de Castillejos y Aquino (2017), quienes obtuvieron resultados de eficiencia de 99,62 %, en un reactor DHS-G1 dentro de un periodo de 23 semanas.

Los investigadores Julca y Rodríguez (2018) y Pacush y Arias (2018), quienes realizaron similares procesos con respecto a los SST, encontraron que la remoción total de los SST fue de 69 y 71,47 % en reactores de DHS-G3 y DHS-G4 respectivamente; ambos en 155 días de

evaluación. De estos resultados, comparados a nuestra presente investigación, podemos referir que el DHS-G6 es más eficiente en la remoción de SST ya que presenta resultados superiores al 90 %.

Los resultados obtenidos de la eficiencia de remoción de los SST en el sistema DHS-G6 en promedio fue de 92,22 % a la salida del sistema DHS-G6 (Tabla 13), en comparación con la normativa ambiental vigente para este tipo de efluentes indica que; el parámetro de SST cumple con el nivel establecido en los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM) así, el resultado promedio a la salida del reactor de SST fue de 48 mg/L (72 % menos que el LMP), por debajo del nivel establecido en la norma (150 mL/L).

Según los resultados evaluados y analizados se encontró un alto porcentaje de remoción de la materia orgánica en el corto tiempo que se realizó la investigación a escala piloto, en base a estos resultados podemos identificar como una limitación el corto plazo de ejecución de la investigación para analizar mayores cambios en el sistema.

#### **4.3. Analizar el tiempo de retención hidráulico y la dimensión de la esponja en un reactor DHS-G6**

En la presente investigación en el sistema DHS-G6 alimentado de agua residual doméstica procedente de un reactor UASB, se determinó un TRH de 6,4141 horas para DBO<sub>5</sub>, para DQO 9 horas y para SST 1,4143 horas, cuyo TRH promedio fue de 5,609 horas. Estos resultados obtenidos se compararon a los de Llantoy y Sánchez (2018), Valladares y Garay (2019), Monsalve (2018), quienes realizaron los mismos procesos y encontraron que el tiempo de retención hidráulica fueron: 23 semanas para la primera investigación en un reactor DHS-G1; en la siguiente lograron un tiempo de retención hidráulico teórico promedio de 40 minutos, para un sistema de filtros de esponjas colgantes continuas (DHS-G5) y finalmente, se logró un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 30 horas del sistema de filtros de esponjas colgantes continuas (DHS-G5). Los resultados de nuestra investigación presentan una TRH menor frente a las otras investigaciones, haciendo que sea una alternativa

más rápida, barata y eficiente. Asimismo, este sistema con un menor TRH requiere de menos operación y mantenimiento, en comparación a otros sistemas de tratamiento secundario, según Aranda (2020).

Los resultados obtenidos en el efluente del sistema DHS-G6, cumplen con las normas nacionales de descarga de aguas residuales, que en este caso son las normas de los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Tabla 13), por ello el uso de un sistema DHS-G6 es una alternativa de tratamiento eficaz de las aguas residuales domésticas, el resultado promedio a la salida del sistema DHS-G6 de DBO<sub>5</sub> fue de 6,40 mg/L (93,6 % menos que el LMP), DQO de 10,3 mg/L (94,85 % menos que el LMP), SST fue de 48 mg/L (72 % menos que el LMP), por debajo del nivel establecido en la norma.

Lo más relevante en que se identificó y/o encontró en la investigación es que la esponja cilíndrica genera una alta retención de la materia orgánica, no presenta saturación por los orificios que sirven como ventilación natural.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

- El caudal de 0,57 L/s, pH de 7,23 y temperatura de 23,7 °C registrados en el sistema DHS-G6 permitieron obtener altos valores de remoción, siendo apropiado para este sistema. Mientras que la conductividad eléctrica ha incrementado en un 110,42 % no sobrepaso los límites máximos de normas internacionales.
- Con respecto a la máxima eficiencia de remoción de los parámetros evaluados, para la DBO<sub>5</sub> fue de 91,15 %; para la DQO fue de 91,38 % y para los SST fue de 92,22 %. Los parámetros del efluente estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles para aguas residuales.
- En la presente investigación los tiempos de retención hidráulica y los volúmenes de las esponjas que presentaron máximas eficiencias de remoción en los parámetros fueron de 6 h y 4,71 cm<sup>3</sup> para la DBO<sub>5</sub>, 9 h y 4,71 cm<sup>3</sup> para la DQO y en los SST fueron de 1,4 h y 11,14 cm<sup>3</sup>. Estos resultados de los factores físicos fueron influyentes en la remoción de los parámetros por el sistema de filtros de esponjas colgantes continuas propuesta.

## **CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES**

- Se recomienda monitorear continuamente los parámetros físicos con equipos calibrados por el instituto de calidad (INACAL) para dar mayor credibilidad a los resultados.
- Recomendación realizar una investigación con mayor tiempo de evaluación y analizar más parámetros químicos y biológicos para mejorar el funcionamiento de cada etapa del sistema DHS-G6.
- Para mantener la operatividad del sistema D.H.S., es necesario realizar periódicamente la verificación del estado de las esponjas con el fin de realizar el lavado o efectuar la renovación de las esponjas. Es imprescindible realizar un mantenimiento de estos ya que de no realizarse se podrían presentar obturaciones, malos olores y finalmente el colapso del sistema.
- Se recomienda realizar un análisis detallado del comportamiento de las esponjas cilíndricas como medio filtrante del reactor DHS-G6, para poder evaluar su comportamiento con el alojamiento de microorganismos que degraden la materia orgánica y se mantengan en el tiempo.

## REFERENCIAS

- Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo [AECID] (2021). Análisis de normativas latinoamericanas sobre vertidos de poblaciones.
- Agrawal, L., Ohashi, Y., Mochida, E., Okui, H., Ueki, Y., Harada, H. y Ohashi, A. (1997). Treatment of raw sewage in a temperature climate using a UASB reactor and the hanging sponge cubes process [Tratamiento de aguas residuales brutas en un clima templado mediante un reactor UASB y el proceso de cubos de esponja colgantes], *Water Sci, and Technol*, 36(6-7), 433-440.
- APROTEC (2010). Energías alternativas con tecnologías apropiadas. [http://www.aprotec.com.co/pages/hidrica\\_componentes.html](http://www.aprotec.com.co/pages/hidrica_componentes.html).
- Araki, N., Ohashi A., Machdar I. y Harada H. (1999). Behaviors of nitrifiers in a novel biofilm reactor employing hanging sponge-cubes as attachment site [Comportamiento de nitrificantes en un novedoso reactor de biopelícula que emplea cubos de esponja colgantes como lugar de union]. *Water Science and Technology*, 39 (7): 23-31. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273122399001468>.
- Aranda, C. (2020). Tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando esponjas cilíndricas colgantes de poliuretano. *Saber Servir: revista de la Escuela Nacional de Administración Pública*, (3), 126-139.
- Aranda, C. (2019). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un sistema Down-flow Hanging Sponge (DHS) utilizando esponjas cilíndricas colgantes de poliuretano. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional UPEU. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/1840>
- Calzada, J. (1970). *Métodos estadísticos para la investigación*, Perú, Editorial Jurídica S, A, Lima, Perú.
- Castillejo, A., y Aquino, C., (2017). *Determinación de la efectividad del sistema D, H, S, de cuarta generación como tratamiento secundario del efluente de tanque séptico para disminuir la DBO5, SST y CF en la localidad de Marian – Independencia – Huaraz, 2016*, [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo]. Repositorio institucional UNSAM. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2349>



- Centeno, E. (2017) Assesment of a pilot plant for the treatment of domestic wastewater with a reactor of Downflow Hanging Sponge (DHS) for the posttreatment of a primary sedimentation effluent [Evaluación de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales domésticas con un reactor de esponja colgante de flujo descendente (DHS) para el postratamiento de un efluente de sedimentación primaria]. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil. ISSN: 2215-2652.
- Cosme, D. (2019). Curso Tratamiento de aguas residuales domésticas. Maestría en ciencias en ingeniería ambiental con mención en tratamiento de aguas y reúso de desechos, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental, Lima – Perú.
- Chong, S., Kanti, T., Kayaalp, A. y Ang, H. (2012). The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (AUSB) reactors for domestic sludge treatment [ Mejoras del rendimiento de los reactores anaeróbicos de flujo ascendente (AUSB) para el tratamiento de lodos domésticos]. A state-of-the-art review. *Water research*, 46(11), 3434-3470.
- Dacewicz, E. (2019). The Application of Biofiltration with Polyurethane Foams for Domestic Sewage Treatment [La Aplicación de la Biofiltración con Espumas de Poliuretano para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas]. *Journal of Ecological Engineering*, 20(2): 131–140 <https://doi.org/10.12911/22998993/96342>
- Draaijer, H., Maas, J., Schapman, J. y Khan, A. (1992). Performance of the 5 MLD UASB Reactor for Sewage Treatment at Kanpur, India [Rendimiento del reactor UASB 5 MLD para tratamiento de aguas residuales en Kanpur, India]. *Water Sci Technol*, 25 (7): 123–133. <https://doi.org/10.2166/wst.1992.0145>.
- Espinoza Rodríguez, H. J. (2018). *Proceso constructivo en la planta de tratamiento para la reutilización de aguas residuales del Mall El Quinde de Ica - 2018*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Federer, W.T. (1955). Experimental design, theory and application [Diseño experimental, teoría y aplicación]. New York: Macmillan.
- Flores, I., Polo, R., Huamán, M, y Araujo, N, (2017). *Determinación de la eficiencia del sistema de filtros de esponjas colgantes continuas (DHS) en el tratamiento de aguas residuales del centro poblado de Marian Huaraz – 2017*. [Informe de Investigación, Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo]. Repositorio institucional UNSAM. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2319>.
- Gil, A. (2017). Curso de Balance de materia y energía, Universidad Católica Sedes Sapientiae, Facultad de Ingeniería Ambiental, Lima – Perú,

- Guillén Valle, Óscar Rafael (2016). *Guía de SPSS 22 para elaboración de trabajos de investigación científica*, Málaga: Universidad de los Pueblos de Europa, 182 pp,
- Harada, H. (2001). Nueva tecnología para el tratamiento secundario de los efluentes del reactor UASB, University of Technology: Nagaoka, Japón.
- Harada, H. (2008). India-Japan International Collaboration for an Innovative Sewage Treatment Technology with Cost-effective and Minimum Energy Requirement [Colaboración internacional entre India y Japón para una tecnología innovadora de tratamiento de aguas residuales con un requisito mínimo de energía y rentable]. *Asian Science and Technology Seminar (ASTS) in Thailand*.
- Hariom, S., Aora, B., Bharwadj, R. y Harada H. (2012). Development of Community Sewage Treatment System Consisting of UASB and the Third Generation DHS (Down Flow Hanging Sponge) Reactor for Developing Countries [Desarrollo de un sistema comunitario de tratamiento de aguas residuales compuesto por UASB y el reactor DHS (esponja colgante de flujo descendente) de tercera generación para países en Desarrollo]. *MR International Journal of Engineering and Technology*.4(2): 7-9.
- Hernández-Sampieri, R, y Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación, Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.
- Hiep, T., Nga, D. T. y Tuan, P. D. (2018). A research on the performance of down-flow hanging sponge (DHS) reactor treating domestic wastewater [Una investigación sobre el rendimiento del reactor de esponja colgante de flujo descendente (DHS) para el tratamiento de aguas residuales domésticas]. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 56(4), 482-492. DOI: 10.15625/2525-2518/56/4/10878
- Homchoam T. y Yoochatchaval W. (2019). Removal of Ammonia from Aquaculture Wastewater by Down-flow Hanging Sponge System [Eliminación de amoníaco de aguas residuales de acuicultura mediante un sistema de esponjas colgantes de flujo descendente]. *Thai Environmental Engineering Journal*, 33 (1): 59-68
- Julca, E, y Rodríguez, L. (2018). *Estudio del sistema D.H.S, de tercera generación para remover los parámetros de análisis de los LMP en el efluente del tanque séptico del centro poblado de Marian – Independencia - Huaraz – 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo]. Repositorio institucional UNSAM. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2352>.
- Kobayashi, N., Oshiki, M., Ito, T., Segawa, T., Hatamoto, M., Kato, T. Yamaguchi, T., Kubota, K., Takahashi, M., Iguchi, A., Tagawa, T., Okubo, T., Uemura, S., Harada,

- H., Motoyama, T., Araki, N. y Sano, D. (2017). Reduction efficiency of human pathogenic viruses in a pilot-scale down-flow hanging sponge (DHS) reactor treating municipal wastewater [Eficiencia de reducción de virus patógenos humanos en un reactor de esponja colgante de flujo descendente (DHS) a escala piloto que trata aguas residuales municipales]. *Water Res.* 1 (110): 389-398. doi: 10.1016/j.watres.2016.10.054 2021.
- Koul, B., Yadav, D., Singh, S., Kumar, M. y Song, M. (2022). Insights into the Domestic Wastewater Treatment (DWWT) Regimes [Información sobre los regímenes de tratamiento de aguas residuales domésticas]. A Review, *Water*, 14(21), 3542,
- Kumar, M., Gogoi, A. y Mukherjee, S. (2020). Metal removal, partitioning and phase distributions in the wastewater and sludge: Performance evaluation of conventional, upflow anaerobic sludge blanket and downflow hanging sponge treatment systems [Eliminación de metales, partición y distribución de fases en aguas residuales y lodos: evaluación del rendimiento de sistemas convencionales de tratamiento con manto de lodos anaeróbicos de flujo ascendente y sistemas de tratamiento de esponjas colgantes de flujo descendente]. *The Journal of Cleaner Production*, vol 249. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119426>
- López, M. (2019). Curso Tratamiento de aguas industriales, “Maestría en ciencias en ingeniería ambiental con mención en tratamiento de aguas y reúso de desechos”, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental, Lima – Perú.
- Llantoy Ciriaco Michael Justo y Sánchez Rondan Jarber Ángel (2018). *Evaluación del reactor Downflow Hanging Sponge de primera generación en el tratamiento de aguas residuales domésticas del efluente del tanque séptico, ubicado en la localidad de Marian, distrito de Independencia – Huaraz – Ancash 2016*, [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo]. Repositorio institucional UNASAM. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3350>.
- Espinoza, H. (2018). *Procesos constructivos en la planta de tratamiento para la reutilización de aguas residuales del Mall El Quinde de Ica – 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/38600>.
- Machdar, I., Harada, H., Ohashi, A., Sekiguchi, Y., Okui, H. y Ueki, K. (1997). A novel and cost-effective sewage treatment system consisting of UASB pretreatment and aerobic post treatment units for developing countries [Un sistema de tratamiento de aguas residuales novedoso y rentable que consta de unidades de pretratamiento UASB y postratamiento aeróbico para países en desarrollo]. *Water Sci, and Technol*, 36(12): 189-197. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00739-7](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00739-7)

- Machdar I., Sekiguchi Y., Sumino H., Ohashi A. y Harada H. (2000). Combination of a UASB reactor and a curtain type DHS (downflow hanging sponge) reactor as a cost-effective sewage treatment system for developing countries. [Combinación de un reactor UASB y un reactor DHS (esponja colgante de flujo descendente) tipo cortina como sistema rentable de tratamiento de aguas residuales para países en desarrollo]. ScienceDirect. disponible en: <https://iwaponline.com/wst/article/42/3-4/83/29801/Combination-of-a-UASB-reactor-and-a-curtain-type>.
- Metcalf y Eddy, (1995). Ingeniería de las aguas residuales, Tratamiento, vertido y reutilización, Madrid: McGraw-Hill.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2009). Decreto Supremo N° 004-2009-MINAM, (17 de marzo del 2009) Aprueban Reglamento del numeral 149,1 del Artículo 149 de la Ley N° 28611
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2010). Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, (17 de marzo del 2010), Normas Legales, 415675, Diario Oficial El Peruano, 17 de marzo del 2010, pp, 415675-415676.
- Ministerio del Ambiente [MINAM] (2012). Glosario de términos para la gestión ambiental peruana, Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente [MINAM] (2021), Informe nacional sobre el estado del ambiente 2014-2019, Lima, Perú. 1ra. Edición. Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú n.º 2021-07208
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006). 011-2006-Vivienda, Reglamento Nacional de Edificaciones D, S N°, NORMA OS,090 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, Reglamento, 2006.
- Onodera, T., Tandukar, M., Sugiyana, D., Uemura, S., Ohashi, A. y Harada H. (2013). Development of a sixth-generation down-flow hanging sponge (DHS) reactor using rigid sponge media for post-treatment of UASB treating municipal sewage [Desarrollo de un reactor de esponja colgante de flujo descendente (DHS) de sexta generación que utiliza medios de esponja rígidos para el postratamiento de UASB que trata aguas residuales municipales]. *Bioresource Technology*, 152: 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.10.106>.
- Organización de Naciones Unidas (18 de octubre de 2018), Informe resumido Taller mundial para el seguimiento integrado del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 sobre agua y saneamiento. United Nations. <https://www.unwater.org/about-un-water>.

- Organismo de evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales, OEFA Lima, Peru, Hecho en Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2014-05991, [www.oefa.gob.pe](http://www.oefa.gob.pe),
- Orozco, A. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales*. Editorial Acodal, Primera Edición, Colombia, 407 pp, ISBN: 958-96454-5-3.
- Ossio, S. y Acuña, E. (2013). *Eficiencia del sistema de esponjas colgantes dhs de primera generacion en el tratamiento del efluente del reactor UASB*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/1090>.
- Pacush, G. y Arias, J. (2018). *Determinación de la efectividad del sistema DHS de cuarta generación como tratamiento secundario del efluente de tanque séptico para disminuir la DBO5, SST y CF en la localidad de Marian – Independencia – Huaraz, 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo]. Repositorio institucional UNASAM. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2349>.
- Palella, S. y Martins, F. (2012). Metodología de la Investigación Cuantitativa (3ra ed.). Caracas, Venezuela: Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (FEDUPEL).
- Quiroz, S., Mendez, C. y Kulich, E. (2019). Tratamiento de aguas residuales. Ediciones UTM Ecuador, 305 pp, ISBN: 978-9942-948-40-3.
- Rodríguez, M. (2006). *Operación de un filtro anaerobio de flujo ascendente (rafa) hasta alcanzar el estado estable*. [Tesis de titulación inédita]. Universidad Nacional de Colombia.
- Rojas, R. y Visurraga, L. (2012). *Tratamiento de aguas residuales con tecnología D.H.S. a Escala Piloto* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional – UNI. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- Ruíz H., Rodríguez R., Rodríguez R., Contreras J. y Aguila C. (2007). Diseño de biorreactores para fermentación en medio sólido. Revista mexicana de ingeniería química Vol. 6, No.1 (2007) 33-40
- Sánchez, M. (2017). *Las aguas residuales en Perú, realidad al 2017*, <https://www.iagua.es/blogs/maria-sanchez-montes/aguas-residuales-peru-costo-improvisacion>,

- Solís, K. (2018). *Evaluación del modelo escala de biomasa suspendida por medio de esponjas colgantes de flujo descendente (DHS) con postratamiento de un reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB)*, [Tesis de pregrado, Universidad de Costa Rica]. Repositorio institucional SIBDI-UCR, <http://repositorio,sibdi,ucr,ac,cr:8080/jspui/handle/123456789/5939>.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS] (2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento.
- Takahashi, M., Yamaguchi, T., Kuramoto, Y., Nagano, A., Shimosaki, S., Sumino, H., Araki, N., Yamazaki, S., Kawakami, S. y Harada, H. (2011). Performance of a pilot-scale sewage treatment: An up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) and a down-flow hanging sponge (DHS) reactors combined system by sulfur-redox reaction process under low-temperature conditions [Realización de un tratamiento de aguas residuales a escala piloto: sistema combinado de reactores de manta anaeróbica de lodos de flujo ascendente (UASB) y de esponja colgante de flujo descendente (DHS) mediante un proceso de reacción redox de azufre en condiciones de baja temperatura]. *Bioresource Technology*, 102 (2): 753-757. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.081>.
- Tandukar, M., Mechdar, I., Uemura, S., Ohashi, A, y Harada, H, (2006). Potential of a novel sewage treatment system for developing countries [Potencial de un nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales para los países en Desarrollo]. *long term evaluation, J, Environ, Eng*, 32(2): 166-172.
- Tawfik, A. y Wahab, R. (2011). Effect of hydraulic retention time on the performance of down-flow hanging sponge system treating grey wastewater [Efecto del tiempo de retención hidráulica en el rendimiento del sistema de esponjas colgantes de flujo descendente en el tratamiento de aguas residuales grises]. *Bioprocess Biosyst Eng* 34:767–776, DOI 10,1007/s00449-011-0528-9.
- Tra, V. T., Dang, B. T., Binh, Q. A., Nguyen, Q. H., Nguyen, P. T., Nguyen, H. H. y Bui, X. T. (2021). Influence of hydraulic loading rate on performance and energy-efficient of a pilot-scale down-flow hanging sponge reactor treating domestic wastewater [Influencia de la tasa de carga hidráulica en el rendimiento y la eficiencia energética de un reactor de esponja colgante de flujo descendente a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales domésticas]. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101273.
- Tsuyoshi, D., Wilasinee, Y., Yasuyuki, T., Yuma, M., Mai, K., Wachira, T., Sirikes H., Hideaki, S., Takashi, Y., Noriko, T., Pathan, B., Tomohiro, O., Yoshitaka, E. y Kazuaki, S. (2020). Performance evaluation of a down-flow hanging sponge (DHS) reactor as a decentralized domestic wastewater treatment system in tropical regions [Evaluación del desempeño de un reactor de esponja colgante de flujo descendente

(DHS) como sistema descentralizado de tratamiento de aguas residuales domésticas en regiones tropicales]. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*: 1–11, doi:10.1080/10934529.2020.174847. <https://doi.org/10.1080/10934529.2020.1748472>

Valladares, M. y Garay, A. (2018). *Eficiencia del sistema de filtros de esponjas colgantes continuas en el tratamiento del efluente del tanque séptico en la localidad de Marian – 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio institucional UNASAM. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2367>

## TERMINOLOGÍA

**Agua residual:** El D.S. 004-2009-MINAM define que son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (MINAM, 2009).

**Agua residual doméstica:** Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente (MINAM, 2009).

**Biorreactor:** Los biorreactores son los equipos donde se realiza el proceso de cultivo (también comúnmente denominado “fermentador”), sea en estado sólido o líquido (Ruíz *et al.*, 2007).

**Contaminación ambiental:** Se denomina a la presencia de componentes nocivos (físico, químico o biológico) en el ambiente, de modo que supongan un perjuicio para los seres vivos que habitan un espacio (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2012).

**Eficiencia de tratamiento:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico, Puede expresarse en decimales o porcentajes (Ministerio de Vivienda, 2006).

**Efluente:** Líquido que sale de un proceso de tratamiento, Aguas residuales que son descargadas al ambiente, las cuales debe contener una concentración máxima de contaminantes medidos según los límites máximos permisibles (MINAM, 2012).

**Límites Máximos Permisibles (LMP):** El D, S N° 003-2010-MINAM define que es la medida de la concentración o del 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 (MINAM, 2010).



**Parámetro:** Valor numérico o dato fijo que se considera en el estudio o análisis de una característica, se refiere a una característica física, química y/o biológica de un efluente (MINAM, 2012).

**Planta piloto:** Planta de tratamiento a escala, utilizada para determinación de constantes cinéticas y parámetros de diseño del proceso (011-2006-Vivienda 2006).

**Tiempo de retención hidráulica (TRH):** Se considera al tiempo que el agua permanece en el filtro biológico, es decir el tiempo durante el cual el agua se encuentra en contacto íntimo tanto de la película como del floc granular suspendido (Castillejo y Aquino, 2017).

**Reactor anaerobio de flujo ascendente con un manto de lodos (UASB):** Es un recipiente que no necesariamente necesita ser cerrado, que contiene un flujo ascendente, y que en las dos terceras partes más bajas del reactor vamos a promover el crecimiento de las bacterias anaerobias (Espinoza, 2018).

**Reactor Downflow Hanging Sponge (DHS):** Es un sistema de filtración por percolación usando esponjas poliuretano, estas debido a su gran porosidad retienen las bacterias (microorganismos heterótrofos), y a su vez en presencia del oxígeno degradan los contaminantes orgánicos, nitrogenados y fosforados del desagüe (Aranda 2019).

**Valores Máximos Admisibles (VMA):** son los elementos o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico, que será descargado a la red de alcantarillado, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a la infraestructura y equipos de la PTAR e influye negativamente en los procesos de (Espinoza, 2018).

# APÉNDICES

## Apéndice 1

### Certificado de calibración del parámetro PH ante INACAL



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO  
POR EL ORGANISMO A2LA CON CERTIFICADO #6032.01  
SEGÚN NTP-ISO/IEC 17025:2017



#### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQA-0020-2021

Expediente : 00077

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2021-02-27

- 1 **Solicitante** : INSTITUTO CIENTÍFICO  
SOSTENIBLE MINERO S.A.C.
- Dirección** : Z. I. Asoc. Parque Industrial El Asesor  
Mza. J-Lt. 6 - Ate - Lima - Lima
- 2 **Instrumento calibrado** : **MULTIPARÁMETRO**
- Marca : HACH
  - Modelo : HQ40d
  - Número de serie : 150400018463
  - Serie del electrodo : 131682561018
  - Identificación : NO INDICA
  - Procedencia : U.S.A.
  - Intervalo de medida : 0,00 pH a 14,00 pH
  - Resolución : 0,01 pH
- 3 **Lugar de calibración** : Laboratorio de Fisicoquímica de ALAB
- 4 **Fecha de calibración** : 2021-02-17
- 5 **Método de calibración** :  
La calibración se realizó por comparación con material de referencia certificado según el procedimiento PC-020 "Procedimiento para la calibración de medidores de pH". Segunda Edición. 2017. INACAL.

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

ALAB EIRL no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

#### 7. Trazabilidad

Se utilizó las soluciones tampones patrones de pH:

pH	N° Lote	Certificado de Análisis	Incertidumbres (pH)
4,008	CC655433	4280-10976852	0,011
6,994	CC631810	4281-10578064	0,011
10,013	CC632041	4282-10582508	0,011

y un termómetro patrón de código PTT-002, con Certificado de Calibración N° LT-091-2020

Oscar F. Vivanco Valerio  
Jefe de Laboratorio de Metrología

Av. Guardia Chalaca N° 1877 Bellavista - Callao  
Telf. 01-717 5802 / 01-7175803 / Cel. 961768828  
www.alab.com.pe

## Certificado de Calibración N° LFQA-0020-2021

Página 2 de 2

## 8. Condiciones de calibración

	Inicial	Final
Temperatura Ambiental	24,5 °C	25 °C
Humedad Relativa	59,0 %H.R.	62,0 %H.R.

## 9. Resultados

INDICACIÓN DEL PHMETRO ( pH )	SOLUCIÓN TAMPÓN (BUFFER) PATRÓN ( pH )	ERROR ( pH )	INCERTIDUMBRE ( pH )
4,46	4,008	0,452	0,014
7,59	6,994	0,596	0,014
10,67	10,013	0,657	0,014

- Valor de la solución tampón patrón = Indicación del pHmetro - Error
- Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25 °C
- La incertidumbre de la medición se da con un nivel de confianza aproximado del 95 % con un factor de cobertura  $k = 2$ .

## 10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva en el instrumento con la indicación "CALIBRADO".
- El equipo no admitió ajuste antes de la calibración.

(FIN DEL DOCUMENTO)

## Apéndice 2

### Certificado de calibración de la conductividad ante INACAL



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO  
POR EL ORGANISMO A2LA CON CERTIFICADO #6032.01  
SEGÚN NTP-ISO/IEC 17025:2017



#### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQA - 0017 - 2021

Expediente : 00077  
Fecha de emisión : 2021-02-27

Página 1 de 2

1. **Solicitante** : INSTITUTO CIENTÍFICO SOSTENIBLE MINERO S.A.C.
2. **Dirección** : Z.I. ASOC. PARQUE INDUSTRIAL EL ASESOR MZA.  
J - LT. 6 - ATE - LIMA - LIMA
3. **Instrumento** : **CONDUCTÍMETRO**  
  
**Marca** : HACH  
**Modelo** : HQ40d  
**Serie** : 150400018463  
**Serie del electrodo** : 112642583015  
**Procedencia** : U.S.A.  
**Código de identificación** : NO INDICA  
**Intervalo de Indicación** : 10  $\mu\text{S/cm}$  a 200  $\text{mS/cm}$   
**Resolución** : 0,1  $\mu\text{S/cm}$ ; 1  $\mu\text{S/cm}$ ; 0,01  $\text{mS/cm}$
4. **Lugar de calibración** : Laboratorio de Físico Química de ALAB E.I.R.L.
5. **Fecha de calibración** : 2021-02-17

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

6. **Método de calibración**  
La calibración se realizó por comparación con material de referencia certificado según el procedimiento PC-022 "Procedimiento para la calibración de Conductímetros" Primera Edición, 2014, INDECOPIL.

#### 7. Trazabilidad

Valor Certificado a 25 °C	N° de lote	Certificado de Análisis	Incertidumbre (k=2)
99,70 $\mu\text{S/cm}$	CC20442	4066-11681671	2,1 $\mu\text{S/cm}$
1412 $\mu\text{S/cm}$	CC20203	4173-11497708	4,6 $\mu\text{S/cm}$
9988,00 $\mu\text{S/cm}$	CC20400	4068-11639556	40 $\mu\text{S/cm}$

Código	Instrumento Patrón	Certificado de calibración
PTT-002	Termómetro digital de incertidumbre 0,022 °C a 0,034 °C	LT-091-2020

#### 8. Condiciones de calibración

	Inicial	Final
Temperatura ambiental :	24,5 °C	25,0 °C
Humedad relativa :	59 % H.R.	62 % H.R.

Oscar F. Vivanco Valerio  
Jefe de Laboratorio de Metrología

9. Resultados

Valor del Certificado	Lectura promedio del conductímetro	Error	Incertidumbre
99,70 $\mu\text{S/cm}$	98,1 $\mu\text{S/cm}$	-1,60 $\mu\text{S/cm}$	3,2 $\mu\text{S/cm}$
1412 $\mu\text{S/cm}$	1409 $\mu\text{S/cm}$	-3 $\mu\text{S/cm}$	5,6 $\mu\text{S/cm}$
9,988 $\text{mS/cm}$	10,41 $\text{mS/cm}$	0,422 $\text{mS/cm}$	40 $\mu\text{S/cm}$

Valor Certificado = Lectura del Conductímetro - Error

- Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25 °C.
- Las incertidumbres de medición expandidas reportadas son las incertidumbres de medición estándares multiplicadas por el factor de cobertura  $k=2$  de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

(FIN DEL DOCUMENTO)

## Apéndice 3

### Certificado de calibración del parámetro OD ante INACAL



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQ-0005-2021

Expediente : 00077

Fecha de emisión : 2021-02-27

Página 1 de 2

- Solicitante** : INSTITUTO CIENTÍFICO SOSTENIBLE MINERO S.A.C.
- Dirección** : Z.I. Asoc. Parque Industrial El Asesor Mza. J - Lt.6 - Ate - Lima - Lima
- Instrumento** : Sonda LDO  
**Marca / Fabricante** : HACH  
**Modelo** : HQ40d  
**Serie** : 150400018463  
**Serie del electrodo** : 132662597001  
**Procedencia** : U.S.A  
**Código de identificación** : NO INDICA  
**Intervalo de indicación** : 0 mg/L a 20 mg/L  
**Resolución** : 0,01 mg/L
- Lugar de calibración** : Laboratorio de Físicoquímica de ALAB
- Fecha de calibración** : 2021-02-17
- Método de calibración** : Medición con solución oxígeno disuelto, basados SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210, 23rd. Ed. 2017
- Trazabilidad** : Solución de cero oxígeno

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

ALAB EIRL. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ALAB EIRL.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB EIRL.

Producto	Marca	N° Lote	Expiración
HI7040-1	Hanna Instruments	3163	2023-07
HI7040-2	Hanna Instruments	3222	2023-07

Código	Instrumento Patrón	Certificado de calibración
B-50-3	Bureta, marca WITEG	MV-1248-2019
EM-001	Balanza electrónica, marca Mettler Toledo	BD20-C-0610

- Condiciones de calibración**

	Inicial	Final
Temperatura ambiental	: 24,7 °C	24,3 °C
Humedad relativa	: 67 % H.R.	71,0 % H.R.

Oscar Félix Vivanco Valerio  
Jefe de Laboratorio de Metrología

**9. Resultados**

Valor referencia (mg/L)	Lectura promedio del instrumento (mg/L)	Error promedio encontrado (mg/L)	Incertidumbre (mg/L)
0,000	0,05	0,05	0,12
7,820	7,74	-0,08	0,12

Valor de referencia = Lectura del Instrumento - Error

- Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- La incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura  $k=2$  de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

(FIN DEL DOCUMENTO)



## Apéndice 4

Certificado ante INACAL del Laboratorio VyS Lab E.I.R.L.

**Certificado**

**INACAL**  
Instituto Nacional  
de Calidad  
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, OTORGA el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

**V&S LAB E.I.R.L.**  
Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Pasaje Manuel Gonzales Prada Nro. 106, urbanización Chacarilla de Otero, distrito de San Juan de Lurigancho, departamento de Lima.

Con base en la norma  
**NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración**

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la renovación otorgada que se detalla en el DA-acr-OSP-17F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 13 de julio de 2017  
Fecha de Vencimiento: 12 de julio de 2021

Cédula N° : 0348-2017-INACAL/DA  
Contrato N° : 022-2017-INACAL-DA  
Registro N° : LE-081

*Johana Hidalgo Murrésta*  
Johana HIDALGO MURRÉSTA  
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 16 de agosto de 2017

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de acreditación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web [www.inacal.gob.pe/acreditacion/acreditados](http://www.inacal.gob.pe/acreditacion/acreditados) al momento de hacer uso del presente certificado.  
La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mútuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-OSP-0294 Ver. 02



## Apéndice 5

Informe de ensayo N° 0222-044-JC resultados de los análisis de laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE-081



Registro N° LE - 081

### INFORME DE ENSAYO N° 0222-044-JC

I. DATOS GENERALES	
Razón Social	: ING. JARUMI CASTILLO
Dirección	: San Martín de Porres
Solicitado por	: ING. ESTEFANY COÑES
Cotización	: C-088-2022
Orden de servicio	: OS-028-2022
Nombre del proyecto	: Evaluación de M.O. presente en A.R. en D.H.S.
Lugar o dirección del muestreo	: San Martín de Porres
Procedencia: Dpto. - Prov. - Dist.	: Lima
Muestreo realizado por	: V&S LAB. E.I.R.L.
Fecha de muestreo	: 16 y 18 de Febrero de
Tipo de muestra	: 2022 Agua Residual
Cantidad de muestra	: 4
Fecha de recepción	: 11 de Febrero de 2022
Fecha de ensayo	: 11 de Febrero de 2022
Fecha de emisión	: 21 de Febrero de 2022

II. METODOLOGÍA UTILIZADA	
ENSAYO	NORMA - TÍTULO DE LA NORMA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO-5)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012 Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5 - Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, D, 23rd Ed. 2017 Chemical Oxygen Demand. Titrimetric Method. Closed Reflux. Colorimetric Method
Sólidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A y B, 23rd Ed. 2017 Solids. Total Solids Dried at 103-105°C

Signos: "EPA": U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis. "ASTM": American Society for Testing and Materials. "SMWW": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

V&S LAB E.I.R.Ltda. - Pj. Manuel González Prada N°108. Urb. Chacarilla de Otero- San Juan de Lurigancho

Tel: (+051-1) 519-6135 / Cel: 933576085

informes@vyslabb.com

F-PG15-1/Ver.00

Pág. 1/3

**INFORME DE ENSAYO**  
**N° 0222-044-JC**

**III. RESULTADOS**

Código de laboratorio		044-01	044-02	044-03	
Código del cliente		R-1	R-1	R-1	
Fecha de muestreo		17/02/2022	17/02/2022	18/02/2022	
Hora de muestreo		4:20 p. m.	9:20 p. m.	1:20 a. m.	
Ubicación geográfica (WGS 84)		Norte	No Indica	No Indica	No Indica
		Este	No Indica	No Indica	No Indica
Tipo de Muestra		Agua Residual-Doméstica	Agua Residual-Doméstica	Agua Residual-Doméstica	
Ensayo	Unidades	Resultados			L.C.M.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5.8	5.9	6.0	2.0 <sup>(i)</sup>
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	8.6	9.8	9.6	6.7
Sólidos Totales	mg/L	46.0	47.0	61.0	1.7

Código de laboratorio		044-04	044-05	044-06	
Código del cliente		R-2	R-2	R-2	
Fecha de muestreo		17/02/2022	17/02/2022	18/02/2022	
Hora de muestreo		4:27 p. m.	9:27 p. m.	1:27 a. m.	
Ubicación geográfica (WGS 84)		Norte	No Indica	No Indica	No Indica
		Este	No Indica	No Indica	No Indica
Tipo de Muestra		Agua Residual-Doméstica	Agua Residual-Doméstica	Agua Residual-Doméstica	
Ensayo	Unidades	Resultados			L.C.M.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	7.4	5.9	6.0	2.0 <sup>(i)</sup>
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	11.1	9.7	11.5	6.7
Sólidos Totales	mg/L	47.0	43.0	48.0	1.7

Código de laboratorio		044-07	044-08	044-09	
Código del cliente		R-3	R-3	R3	
Fecha de muestreo		17/02/2022	17/02/2022	18/02/2022	
Hora de muestreo		4:33 p. m.	9:33 p. m.	1:33 a. m.	
Ubicación geográfica (WGS 84)		Norte	No Indica	No Indica	No Indica
		Este	No Indica	No Indica	No Indica
Tipo de Muestra		Agua Residual-Doméstica	Agua Residual-Doméstica	Agua Residual-Doméstica	
Ensayo	Unidades	Resultados			L.C.M.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	7.5	7.2	5.9	2.0 <sup>(i)</sup>
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	13.2	9.6	10.0	6.7
Sólidos Totales	mg/L	50.0	45.0	43.0	1.7

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método. L.D.M. = Límite de detección del método. \*c\* = menor que el L.C.M. o L.D.M.  
 (i) = No solicitado por el cliente. (j) = Límite de detección del método. (\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.

INFORME DE ENSAYO  
N° 0222-044-JC

III. RESULTADOS

Código de laboratorio	044-10		
Código del cliente	El Puente		
Fecha de muestreo	16/02/2022		
Hora de muestreo	9:00 a. m.		
Ubicación geográfica (WGS 84)	Norte	867599.44	
	Este	277332.177	
Tipo de Muestra	Agua Residual-Doméstica		
Encayo	Unidades	Resultados	L.C.M.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	64.2	2.0 <sup>0</sup>
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	120.0	6.7
Sólidos Totales	mg/L	606.0	1.7

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método. L.D.M. = Límite de detección del método.  
" < " = menor que el L.C.M. o L.D.M. " - " = No solicitado por el cliente. ( ) = Límite de detección del método. (\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.




Lic. Victor Alberto Huamani León  
C.O.P. N° 1165  
JEFE DE LABORATORIO

Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con norma de producto. Esta prohibido la reproducción parcial y total del presente documento salvo autorización de V&S LAB E.I.R.L. Los resultados se relacionan solamente con los ítems de ensayo, bajo las condiciones de las muestras como se recibieron.

\*\*\*FIN DEL DOCUMENTO\*\*\*

## Apéndice 6

Datos Ingresados al Minitab de DBO5, DQO Y SST

OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	Tiempo	Volumen esponja	Eficiencia remoción DBO5	RESI1
5	1	-1	1	1	18.84	88.47	-1.11573625
6	2	-1	1	9	18.84	90.65	0.0450466
9	3	0	1	5	18.84	90.81	0.28413793
3	4	1	1	1	75.39	88.32	0.5078681
13	5	0	1	5	18.84	90.62	0.09413793
1	6	1	1	1	4.71	90.97	0.60786816
7	7	-1	1	5	4.71	90.81	-0.28701149
4	8	1	1	9	75.39	90.75	0.27581006
2	9	1	1	9	4.71	90.65	-0.32085666
11	10	0	1	5	18.84	90.72	0.19413793
8	11	-1	1	5	75.39	88.79	-0.78367816
12	12	0	1	5	18.84	90.78	0.25413793
10	13	0	1	5	18.84	90.77	0.24413793

OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	Tiempo	Volumen esponja	Eficiencia Remoción DQO	RESI1
5	1	-1	1	1	18.84	90.75	0.40144811
6	2	-1	1	9	18.84	90.42	-0.70799983
9	3	0	1	5	18.84	90.92	0.07931034
3	4	1	1	1	75.39	89	-0.13175977
13	5	0	1	5	18.84	90.89	0.04931034
1	6	1	1	1	4.71	90.5	-0.26968833
7	7	-1	1	5	4.71	90.83	-0.34827586
4	8	1	1	9	75.39	90.67	0.09003563
2	9	1	1	9	4.71	92	0.6179642
11	10	0	1	5	18.84	90.9	0.05931034
8	11	-1	1	5	75.39	90	0.04172414
12	12	0	1	5	18.84	90.89	0.04931034
10	13	0	1	5	18.84	90.91	0.06931034

OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	Tiempo	Volumen esponja	Eficiencia remoción SST	RESI1
5	1	-1	1	1	18.84	91.42	-0.40180023
6	2	-1	1	9	18.84	91.09	0.91731747
9	3	0	1	5	18.84	91.58	-0.10310345
3	4	1	1	1	75.39	89.77	0.22214314
13	5	0	1	5	18.84	91.58	-0.10310345
1	6	1	1	1	4.71	92.08	0.17965709
7	7	-1	1	5	4.71	92.24	0.69609195
4	8	1	1	9	75.39	89.6	-0.04156842
2	9	1	1	9	4.71	88.94	-0.87574904
11	10	0	1	5	18.84	91.62	-0.06310345
8	11	-1	1	5	75.39	90.1	-0.18057471
12	12	0	1	5	18.84	91.57	-0.11310345
10	13	0	1	5	18.84	91.55	-0.13310345

Apéndice 7

Cadenas de custodia de las muestras de agua

V&S LAB		Cadena de custodia		Fecha del cliente		Fecha de emisión		Fecha de recepción		Fecha de entrega																																					
NOMBRE Y RAZÓN SOCIAL DEL CLIENTE		Ing. Juanita Castillo		CITE/ORDEN N°		C-066-2022		LABORATORIO		MUESTRA																																					
CONTACTO		Ing. Estefany Cones		EMPRESA / NOMBRE DEL PROYECTO		Evaluación de MO presente en A.R. en un DHS.		CANTIDAD DE MUESTRAS		CANTIDAD DE MUESTRAS																																					
DIRECCIÓN DE SERVICIO N°		San Martín de Porres		EMPRESA / NOMBRE DEL PROYECTO		Evaluación de MO presente en A.R. en un DHS.		CANTIDAD DE MUESTRAS		CANTIDAD DE MUESTRAS																																					
FECHA	CODIGO DEL PUNTO DE MUESTREO	DESIGNACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO	HORA (00-00-00)	HORA (00-00-00)	TÍTULO DE MUESTRA (T)	FECHA (DD-MM-AA)	HORA (00-00-00)	COMPAGNIA/UTM	NOTAS	ESTE	ALTIPLANO																																				
C1	R1	Reactor (1h)	17/02/22 4:20 PM	17/02/22 4:25 PM	E-D	17/02/22	4:25 PM		11-93905	77-80498	128-7340001																																				
C2	R1	Reactor (5h)	17/02/22 9:20 PM	17/02/22 9:25 PM																																											
C3	R1	Reactor (9h)	17/02/22 1:20 AM	18/02/22 1:25 AM																																											
C4	R2	Reactor (1h)	17/02/22 4:27	17/02/22 4:31 PM																																											
C5	R2	Reactor (5h)	17/02/22 9:27	17/02/22 9:31 PM																																											
C6	R2	Reactor (9h)	17/02/22 1:27	18/02/22 1:31 AM																																											
C7	R3	Reactor (1h)	17/02/22 4:33	17/02/22 4:37 PM																																											
C8	R3	Reactor (5h)	17/02/22 9:33	17/02/22 9:37 PM																																											
TOTAL DE MUESTRAS INGRESADAS																																															
<table border="0"> <tr> <td>DEPARTAMENTO</td> <td>REGION</td> <td>PROVINCIA</td> <td>CANTON</td> <td>PARISH</td> <td>SECTOR</td> <td>VALLE</td> <td>FINCA</td> <td>PARCELA</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>												DEPARTAMENTO	REGION	PROVINCIA	CANTON	PARISH	SECTOR	VALLE	FINCA	PARCELA																											
DEPARTAMENTO	REGION	PROVINCIA	CANTON	PARISH	SECTOR	VALLE	FINCA	PARCELA																																							
<table border="0"> <tr> <td colspan="6">MUESTRO REALIZADO POR</td> <td colspan="6">MUESTRO REALIZADO POR</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Nombre: Estefany Cones</td> <td colspan="6">Nombre: Aur Lamas</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Firma: <i>[Signature]</i></td> <td colspan="6">Firma: <i>[Signature]</i></td> </tr> </table>												MUESTRO REALIZADO POR						MUESTRO REALIZADO POR						Nombre: Estefany Cones						Nombre: Aur Lamas						Firma: <i>[Signature]</i>						Firma: <i>[Signature]</i>					
MUESTRO REALIZADO POR						MUESTRO REALIZADO POR																																									
Nombre: Estefany Cones						Nombre: Aur Lamas																																									
Firma: <i>[Signature]</i>						Firma: <i>[Signature]</i>																																									
<table border="0"> <tr> <td colspan="6">SUPERVISOR / REPRESENTANTE DEL CLIENTE</td> <td colspan="6">SUPERVISOR / REPRESENTANTE DEL CLIENTE</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Nombre: _____</td> <td colspan="6">Nombre: _____</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Cargo: _____</td> <td colspan="6">Cargo: _____</td> </tr> </table>												SUPERVISOR / REPRESENTANTE DEL CLIENTE						SUPERVISOR / REPRESENTANTE DEL CLIENTE						Nombre: _____						Nombre: _____						Cargo: _____						Cargo: _____					
SUPERVISOR / REPRESENTANTE DEL CLIENTE						SUPERVISOR / REPRESENTANTE DEL CLIENTE																																									
Nombre: _____						Nombre: _____																																									
Cargo: _____						Cargo: _____																																									
<table border="0"> <tr> <td colspan="4">LABORATORIO</td> <td colspan="4">MUESTRA</td> <td colspan="4">FECHA</td> </tr> <tr> <td colspan="4">V&amp;S LAB</td> <td colspan="4">DHS</td> <td colspan="4">18/02/22</td> </tr> </table>												LABORATORIO				MUESTRA				FECHA				V&S LAB				DHS				18/02/22															
LABORATORIO				MUESTRA				FECHA																																							
V&S LAB				DHS				18/02/22																																							





## Apéndice 8

### Recolección de datos de los Parámetros Evaluados

FECHA: / /

Hoja de Campo

Nombre de Proyecto: Evaluación de eficiencia de  
recolección de H.O. presente en el agua Residual  
de un DHS-E-6 Zona.

fechas: 16-02-2022 al 18-02-2022

Parámetros: Caudal

Hora	Fecha	caudal
3:00 pm	16-02-22	0.52
4:00 pm	" "	0.65
5:00 pm	" "	0.51
6:00 pm	" "	0.61
7:00 pm	" "	0.52
8:00 pm	" "	0.48
9:00 pm	" "	0.63
10:00 pm	" "	0.65
11:00 pm	" "	0.49
12:00 AM	17/02/22	0.52
01:00 AM	" "	0.57
02:00 AM	" "	0.68
03:00 AM	" "	0.56
promedio (60)		0.56
G. m <sup>3</sup>		0.68
G. m <sup>3</sup> /m		0.48



Nota. Resultados del caudal evaluado en el sistema DHS G-6.

FECHA: / /

Hoja de Campo

Parámetro: T° C

Hora	Temperatura Sistema	T1	T2	T3
4:30 pm	25.3	24.8	24.8	24.8
6:30 pm	25.2	24.7	24.7	24.8
12:30 AM	21.8	27.2	27.3	27.2
1:30 AM	20.8	21.7	21.7	21.8
5:30 AM	21.0	21.7	21.7	21.8
9:30 AM	25.2	24.8	24.7	24.8
10:30 AM	25.2	24.6	24.5	24.5
2:30 pm	23.3	25.1	25.1	25.0
6:30 pm	24.8	24.4	24.2	24.2
7:30 pm	24.7	24.8	24.8	24.7
11:30 pm	24.8	24.5	24.3	24.4
3:30 am	20.8	21.4	21.6	21.4
Mínimo	20.8	21.4	21.6	21.4
Máximo	25.3	25.1	25.1	25.0
promedio	23.7	23.7	23.7	23.70



Nota. Resultados de la T °C evaluados en el sistema DHS G-6.



FECHA: / /

Hoja de campo

* Parámetro	Conductividad	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
TPH	Entrada de Sistema			
1	361	779	750	780
5	440	809	845	850
9	370	824	824	834
promedio	390.3	804.0	810.0	812.3

* OD	Conductividad	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
TPH	Entrada de Sistema			
1	6.43	7.91	8.17	7.91
5	6.45	8.10	7.96	7.96
9	6.45	7.91	8.16	7.90
promedio	6.44	7.97	8.10	7.92

Nota. Resultados de los parámetros evaluados OD y Conductividad del sistema DHS G-6.

FECHA: / /

Hoja de campo

Hora	medición	PH	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
4:30pm	Entrada del sistema				
4:30pm	5.98	7.45	7.14	6.98	
6:30pm	5.99	6.98	7.45	6.89	
12:30pm	5.89	7.35	7.59	6.78	
1:30pm	5.98	7.46	6.98	7.34	
5:30pm	5.98	6.98	7.4	7.45	
9:30pm	5.97	7.50	7.45	7.44	
10:30pm	5.98	7.35	6.98	7.35	
2:30pm	5.95	7.20	6.98	6.98	
6:30pm	5.98	7.35	7.51	7.45	
7:30pm	5.96	7.24	7.46	7.20	
11:30pm	5.98	7.35	7.45	7.48	
3:30pm	5.89	7.30	7.32	7.38	
Máximo	5.89	6.98	6.98	6.78	
Mínimo	5.99	7.5	7.59	7.49	
Promedio	5.96	7.29	7.31	7.23	

Nota. Resultados del PH evaluado en el sistema DHS G-6.



## Apéndice 9

Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

### ANEXO

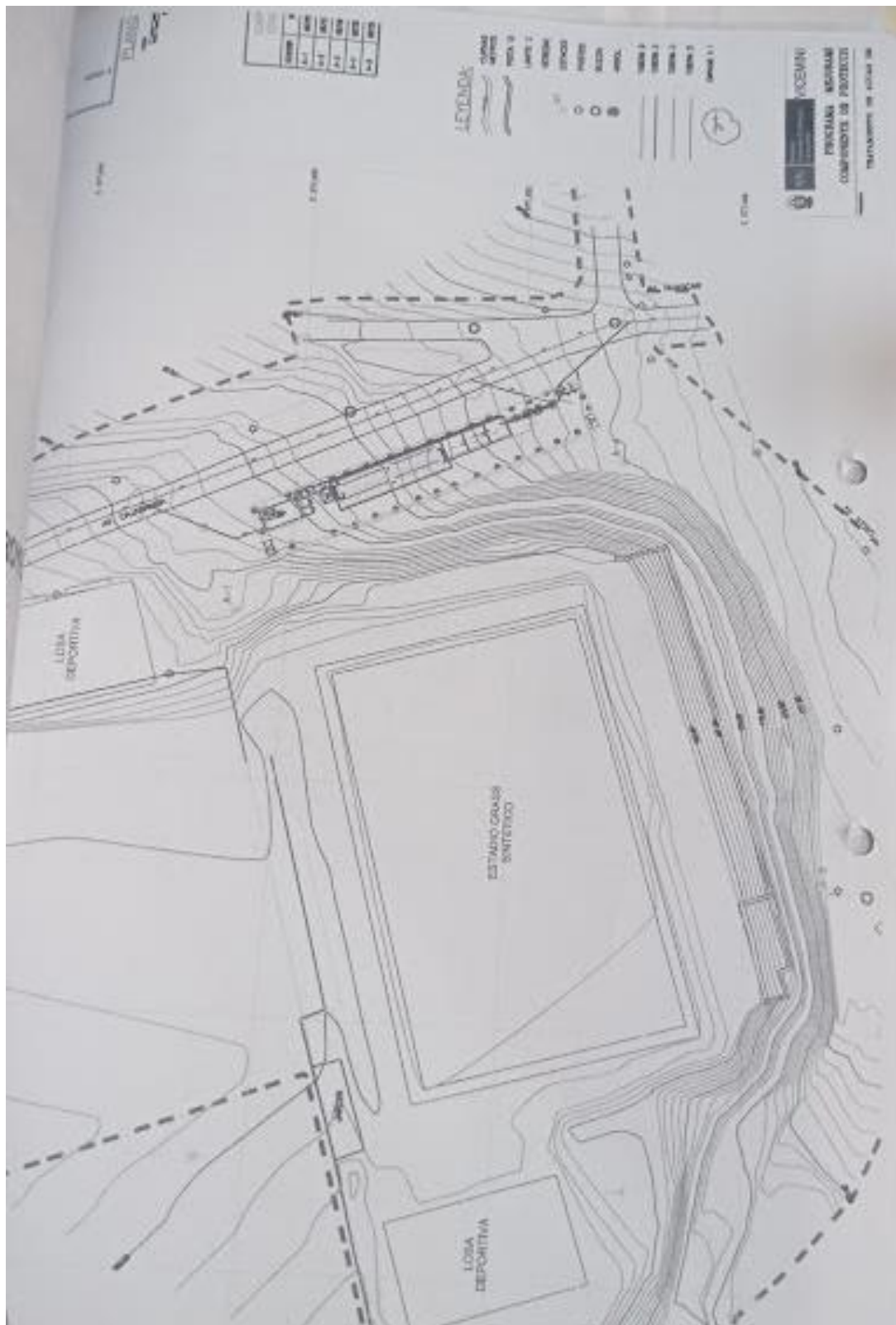
#### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

**469446-2**

## Apéndice 10

### Mapa de la PTAR de Independencia

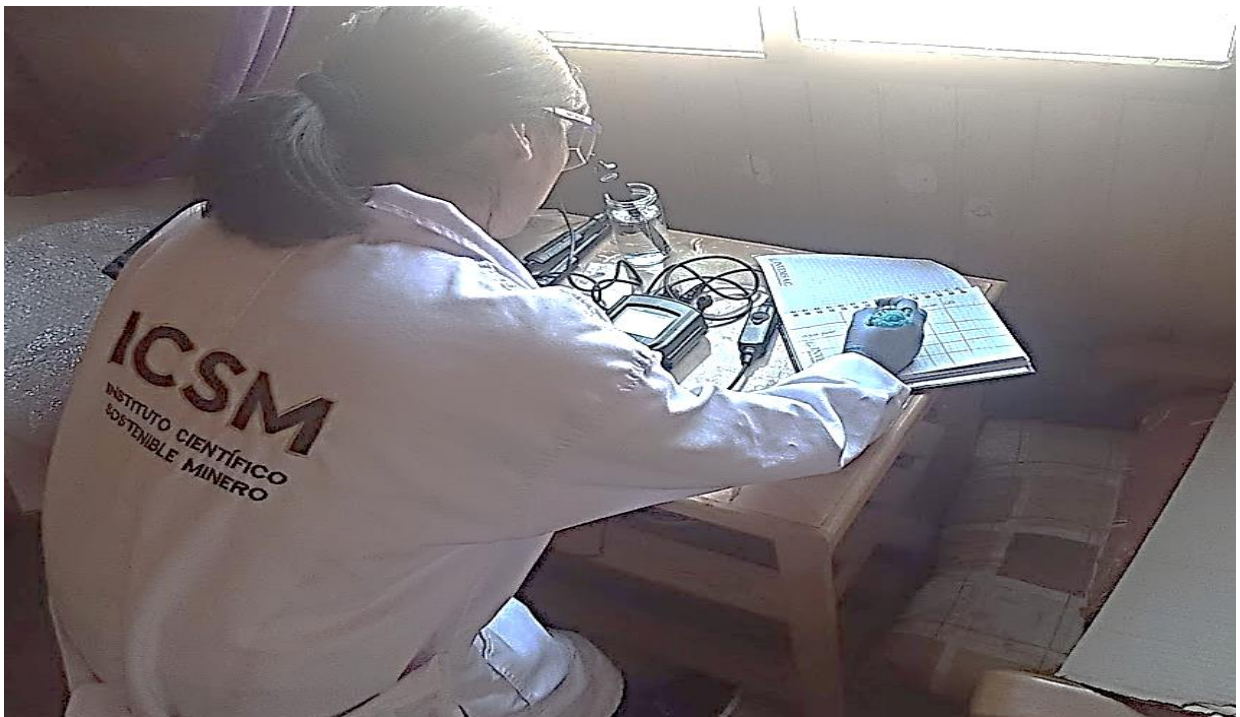


## Apéndice 11

Fotografías del proceso de ejecución del proyecto



*Nota.* Multiparámetro HACH, para analizar los parámetros in situ.



*Nota.* Analizando los parámetros In situ del sistema DHS G-6.





*Nota.* Elaboración del medio filtrante (medición y corte de la esponja zebra según medidas necesarias para el sistema DHS G – 6).



*Nota.* Elaboración del sistema DHS G – 6.



*Nota.* Sistema DHS-G6.



*Nota.* Medición de parámetros.





*Nota:* Medición de parámetros con el multiparámetro.



*Nota.* Toma de muestras para el análisis en laboratorio.



*Nota.* Envases para la toma de muestras para los análisis en laboratorio.

## Apéndice 12

### Baremo de pearson

El coeficiente de correlación de Pearson se calcula a partir de las puntuaciones obtenidas en una muestra en dos variables. Se relacionan las puntuaciones recolectadas de una variable con las puntuaciones obtenidas de la otra, con los mismos participantes o casos (The SAGE Glossary of the Social and Behavioral Sciences, 2009g; Bagiella, 2007; Onwuegbuzie, Daniel y Leech, 2006a).

*Nivel de medición de las variables:* intervalos o razón.

*Interpretación:* el coeficiente  $r$  de Pearson puede variar de  $-1.00$  a  $+1.00$ , donde:

$-1.00$  = *correlación negativa perfecta*. (“A mayor  $X$ , menor  $Y$ ”, de manera proporcional. Es decir, cada vez que  $X$  aumenta una unidad,  $Y$  disminuye siempre una cantidad constante). Esto también se aplica “a menor  $X$ , mayor  $Y$ ”.

$-0.90$  = Correlación negativa muy fuerte.

$-0.75$  = Correlación negativa considerable.

$-0.50$  = Correlación negativa media.

$-0.25$  = Correlación negativa débil.

$-0.10$  = Correlación negativa muy débil.

$0.00$  = No existe correlación alguna entre las variables.

$+0.10$  = Correlación positiva muy débil.

$+0.25$  = Correlación positiva débil.

$+0.50$  = Correlación positiva media.

$+0.75$  = Correlación positiva considerable.

$+0.90$  = Correlación positiva muy fuerte.

$+1.00$  = *Correlación positiva perfecta* (“A mayor  $X$ , mayor  $Y$ ” o “a menor  $X$ , menor  $Y$ ”, de manera proporcional. Cada vez que  $X$  aumenta,  $Y$  aumenta siempre una cantidad constante).

El signo indica la dirección de la correlación (positiva o negativa); y el valor numérico, la magnitud de la correlación. Los principales programas computacionales de análisis estadístico indican si el coeficiente es o no significativo de la siguiente manera:

$r = 0.7831$	(valor del coeficiente)
$s$ o $P = 0.001$	(significancia)
$N = 625$	(número de casos correlacionados)

Si  $s$  o  $P$  es menor del valor 0.05, se dice que el coeficiente es *significativo* en el nivel de 0.05 (95% de confianza en que la correlación sea verdadera y 5% de probabilidad de error). Si es menor a 0.01, el coeficiente es *significativo* al nivel de 0.01 (99% de confianza de que la correlación sea verdadera y 1% de probabilidad de error).

O bien, otros programas como IBM SPSS® presentan los coeficientes de correlación en una tabla, donde las filas o columnas son las variables asociadas y se señala con asterisco(s) el nivel de significancia: un asterisco (\*) implica que el coeficiente es significativo al nivel del 0.05 y dos asteriscos (\*\*) que es significativo al nivel del 0.01. Esto podemos verlo en el ejemplo de la tabla 10.12: