

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Remoción de contaminantes fisicoquímicos en  
aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio  
mediante un sistema de coagulación - floculación y  
adsorción**

Denis Huaman Laurente

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

**A** : FELIPE GUTARRA MEZA  
Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : José Vladimir Cornejo Tueros  
Asesor de tesis  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis  
**FECHA** : 18 de Enero de 2024

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "REMOCIÓN DE CONTAMINANTES FÍSICO-QUÍMICOS EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A NIVEL DE LABORATORIO MEDIANTE UN SISTEMA DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN Y ADSORCIÓN", perteneciente al estudiante DENIS HUAMAN LAURENTE, de la E.A.P. de INGENIERIA AMBIENTAL; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20% de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  N
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores  
(Nº de palabras excluidas: 0) SI  N
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  N

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



José Vladimir Cornejo Tueros  
Asesor de tesis

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, DENIS HUAMAN LAURENTE, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 45346750, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "REMOCIÓN DE CONTAMINANTES FÍSICO-QUÍMICOS EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A NIVEL DE LABORATORIO MEDIANTE UN SISTEMA DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN Y ADSORCIÓN", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

19 de ENERO de 2024.



---

DENIS HUAMAN LAURENTE

DNI. No. 45346750

# REMOCIÓN DE CONTAMINANTES FÍSICO-QUÍMICOS EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A NIVEL DE LABORATORIO MEDIANTE UN SISTEMA DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN Y ADSORCIÓN

## INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="#">Submitted to Universidad Continental</a> Trabajo del estudiante	3%
3	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="#">Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru</a> Trabajo del estudiante	1%
5	<a href="https://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://espanol.libretexts.org">espanol.libretexts.org</a> Fuente de Internet	1%

[core.ac.uk](https://core.ac.uk)

8	Fuente de Internet	1 %
9	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1 %
10	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
13	repositorioslatinoamericanos.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
14	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	doczz.es Fuente de Internet	<1 %
19	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

<1 %

20

[repositorio.ucv.edu.pe](http://repositorio.ucv.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

21

[repositorio.unheval.edu.pe](http://repositorio.unheval.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

22

[repositorio.uta.edu.ec](http://repositorio.uta.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

23

[bibdigital.epn.edu.ec](http://bibdigital.epn.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

24

[patents.google.com](http://patents.google.com)

Fuente de Internet

<1 %

25

[repositorio.umsa.bo](http://repositorio.umsa.bo)

Fuente de Internet

<1 %

26

[repository.ces.edu.co](http://repository.ces.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

27

[repositorio.uncp.edu.pe](http://repositorio.uncp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

28

[cdigital.uv.mx](http://cdigital.uv.mx)

Fuente de Internet

<1 %

29

[eprints.ucm.es](http://eprints.ucm.es)

Fuente de Internet

<1 %

30

[repositorio.uladech.edu.pe](http://repositorio.uladech.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

31	Submitted to Aliat Universidades Trabajo del estudiante	<1 %
32	Carlos M. López Vázquez, Germán Buitrón Méndez, Héctor A. García, Francisco J. Cervantes Carrillo. "Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño", Water Intelligence Online, 2017 Publicación	<1 %
33	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Universidad Anahuac México Sur Trabajo del estudiante	<1 %
35	<a href="http://investigacion.unirioja.es">investigacion.unirioja.es</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://repositorio.ucss.edu.pe">repositorio.ucss.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://revistas.elpoli.edu.co">revistas.elpoli.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %

41

[vsip.info](http://vsip.info)

Fuente de Internet

<1 %

---

42

Submitted to Edith Cowan University

Trabajo del estudiante

<1 %

---

43

Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

<1 %

---

44

Submitted to Universidad Técnica de Machala

Trabajo del estudiante

<1 %

---

45

Z. Chaouki, M. Hadri, M. Nawdali, M. Benzina, H. Zaitan. "Treatment of a landfill leachate from Casablanca city by a coagulation-flocculation and adsorption process using a palm bark powder (PBP)", Scientific African, 2021

Publicación

<1 %

---

46

[www.thefreelibrary.com](http://www.thefreelibrary.com)

Fuente de Internet

<1 %

---

47

Susan A. Bernal, Erich D. Rodríguez, Ruby Mejia de Gutiérrez, John L. Provis, Silvio Delvasto. "Activation of Metakaolin/Slag Blends Using Alkaline Solutions Based on Chemically Modified Silica Fume and Rice Husk Ash", Waste and Biomass Valorization, 2011

Publicación

<1 %

---

48	<a href="https://repositorio.unsm.edu.pe">repositorio.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
49	<a href="https://123docz.net">123docz.net</a> Fuente de Internet	<1 %
50	Edwar Aguilar-Ascón, Armando Solari-Godiño, Miguel Cueva-Martínez, Walter Neyra-Ascón, Miguel Albrecht-Ruíz. "Characterization of Sludge Resulting from Chemical Coagulation and Electrocoagulation of Pumping Water from Fishmeal Factories", Processes, 2023 Publicación	<1 %
51	Submitted to Universidad de San Buenaventura Trabajo del estudiante	<1 %
52	<a href="https://coggle.it">coggle.it</a> Fuente de Internet	<1 %
53	<a href="https://diposit.ub.edu">diposit.ub.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
54	<a href="https://fddocuments.es">fddocuments.es</a> Fuente de Internet	<1 %
55	<a href="https://muysalud.com">muysalud.com</a> Fuente de Internet	<1 %
56	<a href="https://ojs.uac.edu.co">ojs.uac.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
57	<a href="https://repositorio.ulvr.edu.ec">repositorio.ulvr.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %

<1 %

58

[repositorio.undac.edu.pe](https://repositorio.undac.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

59

[www.yamathosupply.com](http://www.yamathosupply.com)

Fuente de Internet

<1 %

60

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

61

Submitted to Universidad Nacional de Trujillo

Trabajo del estudiante

<1 %

62

[biogroup.usc.es](http://biogroup.usc.es)

Fuente de Internet

<1 %

63

[convencion.uclv.cu](http://convencion.uclv.cu)

Fuente de Internet

<1 %

64

[dokumen.pub](http://dokumen.pub)

Fuente de Internet

<1 %

65

[eprints.uanl.mx](http://eprints.uanl.mx)

Fuente de Internet

<1 %

66

[pdfcoffee.com](http://pdfcoffee.com)

Fuente de Internet

<1 %

67

[rein.umcc.cu](http://rein.umcc.cu)

Fuente de Internet

<1 %

68

[repositorio.unu.edu.pe](https://repositorio.unu.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

69	<a href="http://repositorio.upla.edu.pe">repositorio.upla.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
70	<a href="http://repositorio.utesup.edu.pe">repositorio.utesup.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
71	<a href="http://tesis.ipn.mx">tesis.ipn.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
72	<a href="http://theibfr.com">theibfr.com</a> Fuente de Internet	<1 %
73	<a href="http://uvadoc.uva.es">uvadoc.uva.es</a> Fuente de Internet	<1 %
74	<a href="http://www.aguasdemanizales.com.co">www.aguasdemanizales.com.co</a> Fuente de Internet	<1 %
75	<a href="http://www.lenntech.com">www.lenntech.com</a> Fuente de Internet	<1 %
76	<a href="http://www.locus.ufv.br">www.locus.ufv.br</a> Fuente de Internet	<1 %
77	<a href="http://www.oei.org.co">www.oei.org.co</a> Fuente de Internet	<1 %
78	<a href="http://baixardoc.com">baixardoc.com</a> Fuente de Internet	<1 %
79	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %

---

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias Apagado

Excluir bibliografía Activo

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias a Dios por sus bendiciones, por ser mi compañero, por guiarme a este día tan importante, por darme la fuerza para sobresalir en toda dificultad de mi vida.

A mis seres queridos que son mis padres por ser el pilar en todo mi desarrollo profesional, por motivarme cada día mientras realizaba mis investigaciones y por estar en cada momento de mi vida.

A la Universidad Continental por permitirme desarrollarme como profesional, a todos mis docentes por regalarme parte de su conocimiento y dejar una huella imborrable.

A mi asesor: Ing. José Vladimir Cornejo Tueros, por su disponibilidad, su tiempo, su conocimiento que aportaron de gran manera en la ejecución de mi proyecto

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres: Juana Laurente Echavaudis y Francisco Huaman Bastidas que, con su dedicación invaluable, amor y gran sacrificio, hicieron posible mi formación posible.

A mis hermanos, por ser mi inspiración para continuar creciendo profesionalmente y puedan seguir los mismos pasos.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE GENERAL .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN .....	x
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	10
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	10
1.1.1. Planteamiento del problema .....	10
1.1.2. Formulación del problema.....	11
1.2. Objetivos .....	12
1.2.1. Objetivo general .....	12
1.2.2. Objetivos específicos.....	12
1.3. Justificación e importancia .....	12
1.4. Hipótesis y descripción de variables.....	13
1.4.1. Hipótesis general .....	13
1.4.2. Hipótesis específicas .....	13
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Antecedentes de la investigación.....	15
2.2. Bases teóricas .....	18
2.2.1. Fundamentos teóricos.....	18
2.2.2. Definición de términos básicos.....	33
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	35
3.1. Método y alcances de la investigación.....	35
3.1.1. Método de la investigación.....	35
3.1.2. Alcances de la investigación.....	35
3.2. Diseño de la Investigación.....	36
3.2.1. Tipo de diseño de investigación.....	36
3.3. Área de estudio.....	36
3.4. Población y muestra .....	37
3.5. Procedimiento .....	37
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	38
3.6.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos.....	38

3.6.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos .....	38
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	39
4.1.1. Caracterización fisicoquímico de las aguas residuales domésticas .....	39
4.1.2. Influencia del sistema de coagulación-floculación en la remoción de contaminantes fisicoquímicos.....	39
4.1.3. Influencia del proceso de adsorción en la remoción de contaminantes físicos-químicos41	
4.1.4. Efecto del sistema de coagulación-floculación y adsorción en la remoción de contaminantes fisicoquímicos .....	58
4.2. Prueba de hipótesis .....	60
4.2.1. Hipótesis específicas .....	60
4.2.2. Hipótesis general .....	69
4.3. Discusión de resultados .....	70
4.3.1. Caracterización de las aguas residuales domésticas.....	70
4.3.2. Influencia del sistema de coagulación-floculación en la remoción de contaminantes físicos-químicos .....	70
4.3.3. Influencia del proceso de adsorción en la remoción de contaminantes físicos-químicos .....	71
4.3.4. Efecto del sistema de coagulación-floculación y adsorción en la remoción de contaminantes físicos-químicos .....	72
CONCLUSIONES .....	73
RECOMENDACIONES.....	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75
ANEXOS .....	79
Fotografía 1 Síntesis de las aguas residuales domésticas .....	80
Fotografía 2 Obtención de la cáscara de papa .....	81
Fotografía 3 Obtención del adsorbente a partir de la cáscara de papa .....	82
Fotografía 4 Sistema de coagulación-floculación.....	83
Fotografía 5 proceso de adsorción.....	84
Reporte de la caracterización inicial de las aguas residuales domésticas sintéticas .....	85
Reporte de la remoción de los contaminantes físicos-químicos para el sistema de coagulación-floculación .....	86
Reportes de la remoción de los contaminantes físicos-químicos para el proceso de adsorción .....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de las aguas residuales domésticas.....	21
Figura 2. Parámetros iniciales del agua residual doméstica.....	39
Figura 3. Mayores porcentajes de remoción en el sistema de coagulación-floculación.....	41
Figura 4. Influencia de la dosis en la remoción de la DQO.....	43
Figura 5. Influencia del pH en la remoción de la DQO.....	44
Figura 6. Gráfica de cajas para la dosis en la remoción de la DQO.....	45
Figura 7. Gráfica de cajas para el pH en la remoción de la DQO.....	45
Figura 8. Remoción de la DQO.....	46
Figura 9. Gráfica de contorno de la remoción de la DQO.....	47
Figura 10. Influencia de la dosis en la remoción de la DBO <sub>5</sub> .....	49
Figura 11. Influencia del pH en la remoción de la DBO <sub>5</sub> .....	49
Figura 12. Gráfica de cajas para la dosis en la remoción de la DBO <sub>5</sub> .....	50
Figura 13. Gráfica de cajas para el pH en la remoción de la DBO <sub>5</sub> .....	51
Figura 14. Remoción de la DBO <sub>5</sub> .....	51
Figura 15. Gráfica de contorno de la remoción de la DBO <sub>5</sub> .....	52
Figura 16. Influencia de la dosis en la remoción de la SST.....	55
Figura 17. Influencia del pH en la remoción de los SST.....	55
Figura 18. Gráfica de cajas para la dosis en la remoción de los SST.....	56
Figura 19. Gráfica de cajas para el pH en la remoción de los SST.....	57
Figura 20. Remoción de los SST.....	57
Figura 21. Gráfica de contorno de la remoción de los SST.....	58
Figura 22. Remoción de los contaminantes físicos-químicos.....	59
Figura 23. Parámetros iniciales del agua residual doméstica.....	59
Figura 24. Diagrama de Pareto para la DQO.....	64
Figura 25. Probabilidad normal de los residuos de la DQO.....	65
Figura 26 Diagrama de Pareto para la DBO <sub>5</sub> .....	66
Figura 27. Probabilidad normal de los residuos de la DBO <sub>5</sub> .....	67
Figura 28 Diagrama de Pareto para los SST.....	68
Figura 29. Probabilidad normal de los residuos de la DQO.....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	14
Tabla 2. Composición de las heces humanas y la orina. ....	20
Tabla 3. Matriz de combinaciones.....	36
Tabla 4. Remoción de DQO en el sistema de coagulación-floculación .....	40
Tabla 5. Remoción de DBO <sub>5</sub> en el sistema de coagulación-floculación .....	40
Tabla 6. Remoción de SST en el sistema de coagulación-floculación .....	41
Tabla 7. Remoción de DQO en porcentaje con el proceso de adsorción.....	42
Tabla 8. Remoción de DQO en mg/L con el proceso de adsorción.....	43
Tabla 9. Remoción de DBO <sub>5</sub> en porcentaje con el proceso de adsorción .....	47
Tabla 10. Remoción de DBO <sub>5</sub> en mg/L con el proceso de adsorción .....	48
Tabla 11. Remoción de SST en porcentaje con el proceso de adsorción.....	53
Tabla 12. Remoción de SST en mg/L con el proceso de adsorción .....	54
Tabla 13. Estadística descriptiva para DQO .....	60
Tabla 14. Estadística descriptiva para DBO <sub>5</sub> .....	60
Tabla 15. Estadística descriptiva para SST .....	61
Tabla 16. Análisis de regresión lineal múltiple para el sistema coagulación – flotación.....	62
Tabla 17. Ecuación de regresión.....	63
Tabla 18. Análisis de regresión lineal múltiple para DQO.....	63
Tabla 19. Análisis de regresión lineal múltiple para DBO <sub>5</sub> .....	65
Tabla 20. Análisis de regresión lineal múltiple para SST .....	67

## RESUMEN

El propósito de esta investigación es determinar el efecto del sistema de coagulación-floculación y adsorción en la remoción de contaminantes físicos y químicos de aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio. Se hizo uso del método cuantitativo, tipo hipotético-deductivo, con un diseño factorial de  $3^2$ . La población lo conformó las aguas residuales sintéticas elaborados en el laboratorio de análisis ambiental. Luego de realizado los análisis se concluye la caracterización inicial donde se tiene como resultado DQO de 501.7 mg/L, DBO<sub>5</sub> de 275.9 mg/L y SST de 4065 mL/L superando por mucho los LMP del DS 003-2010-MINAM. Para el sistema de coagulación-floculación se trabajó con cantidades de sulfato de aluminio de 1 g, 1.5 g y 2 g para determinar la dosis óptima que remueve el máximo de DQO, DBO y SST, donde a una cantidad de 1.5 g de sulfato de aluminio se tuvo los mejores resultados de DQO con 58.56 %, DBO<sub>5</sub> de 59.66 % y SST de 76.26 %, seguido del sistema de coagulación-floculación se pasó al proceso de adsorción donde se trabajó con variaciones de pH de 5, 6, 7 y dosis de cáscara de papa de 1 g, 1.5 g y 2 g, donde a un pH de 5 y 2 g de cascara de papa se obtuvo la mayor remoción de la DQO alcanzando un porcentaje de 84,01 %, para la DBO<sub>5</sub> de 85,59 % y para los SST de 97.84 %. Además, se tuvo un valor final de DQO de 80.2 mg/L, DBO<sub>5</sub> de 39.8 mg/L y SST de 87.9 mL/L que están por debajo del LMP. Por ende, se sugiere utilizar un sistema de coagulación-floculación y adsorción en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas.

Palabras claves: cáscara de papa, adsorción, coagulación-floculación

## ABSTRACT

The present research study sought to determine the effect of the coagulation-flocculation and adsorption system in the removal of physical-chemical contaminants in domestic wastewater at the laboratory level. The hypothetical-deductive quantitative method was used, with a factorial design of 3<sup>2</sup>. The population was made up of the synthetic wastewater produced in the environmental analysis laboratory. After carrying out the analyzes, the initial characterization was concluded, it had COD values of 501.7 mg / L, BOD<sub>5</sub> of 275.9 mg / L and TSS of 4065 mL / L, far exceeding the PML of DS 003-2010-MINAM. For the coagulation-flocculation system, we worked with amounts of aluminum sulfate of 1 g, 1.5 g and 2 g to determine the optimal dose that removes the maximum of COD, BOD and TSS from domestic wastewater, where at an amount of 1.5 g of aluminum sulfate had the best results of COD with 58.56 %, BOD<sub>5</sub> of 59.66 % and SST of 76.26 %, followed by the coagulation-flocculation system, the adsorption process was carried out where it was worked with pH variations of 5.6 , 7 and doses of potato peel of 1 g, 1.5 g and 2 g, where at a pH of 5 and a dose of 2 g there was the greatest reduction in COD, reaching a percentage of 84.01 %, for BOD<sub>5</sub> of 85.59 % and for the SST of 97.84 %. Furthermore, there was a final COD value of 80.2 mg/L, BOD<sub>5</sub> of 39.8 mg/L and TSS of 87.9 mL / L which are below the LMP. Therefore, it is suggested to use a coagulation-flocculation and adsorption system in the removal of physical-chemical pollutants in domestic wastewater.

Keywords: potato peel, adsorption, coagulation-flocculation

## INTRODUCCIÓN

Desde la primera mitad del siglo XX, la contaminación en las zonas fluviales de la nación ha redundado en frecuentes circunstancias de bajo nivel de oxígeno disuelto, lo que representa un peligroso impacto para la vida submarina. Mata peces, florece algas y aumenta la eutrofización y la contaminación bacteriana. Las aguas residuales municipales son una mezcla de diferentes tipos de aguas residuales que se originan en el sistema sanitario de viviendas comerciales, instalaciones industriales e instituciones. Las aguas residuales no tratadas generalmente contienen altos niveles de material orgánico, numerosos microorganismos patógenos, metales pesados, así como nutrientes y compuestos tóxicos. Estas aguas residuales conllevan riesgos ambientales y para la salud, en consecuencia, deben ser transportadas inmediatamente lejos de sus fuentes de generación y tratadas adecuadamente antes de su disposición final (1).

El incremento en la utilización del agua en diferentes grupos sociales hace necesario buscar alternativas tecnológicas para un tratamiento efectivo del agua. Con el fin de reducir los impactos que puedan provocar la liberación de contaminantes al cuerpo receptor, es por ello que muchos países buscan alternativas para devolver agua que no dañe al medio ambiente (2).

Los tratamientos más utilizados para las aguas residuales domésticas son métodos convencionales, por ejemplo, coagulación, floculación, sedimentación y filtración o una combinación de estos. Sin embargo, estos métodos son ineficaces principalmente en la eliminación de tensioactivos de los efluentes del lavado. En estos casos, la aplicación del proceso de adsorción con adsorbente natural puede mejorar la calidad del agua tratada, debido a su alta porosidad y superficie que puede adsorber una amplia gama de compuestos (2).

Dentro del capítulo inicial, se trata el tema de la contaminación generada por las aguas residuales domésticas, debido al incremento en la utilización del agua en diferentes segmentos de la sociedad, es fundamental buscar opciones innovadoras para un tratamiento adecuado de efluentes. Las aguas residuales provocan un daño irreparable al medio ambiente lo que causa una reducción de agua dulce en nuestro planeta. Por esta razón, se utilizará un proceso combinado de coagulación-floculación junto con adsorción para tener una expulsión más prominente de contaminantes fisicoquímicos de los efluentes. Se observa adicionalmente el abordaje para temas tanto comunes como particulares y de manera comparativa los objetivos de la investigación que consiste en determinar el impacto del sistema de coagulación-floculación y adsorción para la evacuación de contaminantes fisicoquímicos en aguas residuales domiciliarias a nivel de laboratorio de investigación.

En el segundo capítulo se incluyeron antecedentes del estudio, encontrándose 5 artículos que describen los procesos de coagulación-floculación y adsorción, así como 5 tesis relacionadas con el tema de análisis. También, se han compuesto las bases hipotéticas en base a qué es el agua, difusión del agua, qué son las aguas residuales, origen y composición, las características y por último el tratamiento de coagulación-floculación y adsorción.

En el tercer capítulo se menciona la metodología cuantitativa, ya que los aspectos básicos de un enfoque cuantitativo para investigar son medir cosas que se pueden enumerar (de esta manera, cantidad) y recopilar información suficiente para realizar un examen fáctico de la estrategia o estrategia común. Se utilizó el método general teórico-deductivo a fin de disponer de la información que se requería para la elaboración de los datos. También se tiene un tipo de indagación aplicada con un nivel exploratorio y diseño del tipo factorial de  $3^2$ .

En el cuarto capítulo se aborda el tratamiento de resultados con la discusión.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1. Planteamiento del problema

Se tiene un incremento de la población en los centros urbanos. Esta tendencia es particularmente intensa en países desarrollados, donde se espera que 2100 millones de habitantes más vivan en ciudades para 2030 (Naciones Unidas 2012). Estas ciudades producen miles de millones de toneladas de desechos cada año, incluidos lodos y aguas residuales. El destino de estos residuos es muy diferente según el contexto local: se pueden recolectar o no, tratar o no y finalmente utilizar de forma directa, indirecta o acabar sin un uso beneficioso (4) debido al aumento de la población, se generan más de  $330 \text{ km}^3 \text{ año}^{-1}$  de aguas residuales domésticas y menos del 60 % reciben tratamiento. La calidad y cantidad de las aguas residuales tratadas dependen de los hábitos de consumo, los factores ambientales y la zonificación de la población (rural/urbana) (4). En países no desarrollados, solo se trata entre el 8 % y el 20 % de sus aguas residuales. Su bajo nivel para tratar los efluentes está asociado al nivel de pobreza de la población y al acceso limitado a las tecnologías existentes. Las aguas residuales sin tratamiento se emplean principalmente en sistemas de riego, lo que ha provocado que casi el 88% de los males transmitidos por el agua se localizan en estos países (5).

En los países desarrollados, donde la población es principalmente urbana, se utilizan las tecnologías convencionales de tratamiento de aguas residuales centralizadas (> 2000 hab.) (Que cubren más del 90 % de la población). Las tecnologías centralizadas convencionales logran altos rendimientos en la reducción de materia orgánica (promedio del 90 %) (6). Sin embargo, las tecnologías centralizadas tienen costos de operación y mantenimiento más altos (hasta un 55 % más costosos) que los tratamientos no convencionales o descentralizados. Además, estas tecnologías son más complicadas de operar y no son sustentables para tratar los efluentes en contextos rurales (7). Por lo tanto, es importante la selección de tecnologías altamente eficientes (por ejemplo, hasta un 98 % para materia orgánica, sólidos suspendidos totales y nitrógeno), ecológicas (evitando la generación de lodos y utilizando menos recursos energéticos), fáciles de operar y de bajo costo, en especial en países que no han llegado a la industrialización(5).

Las operaciones para tratar los efluentes residuales requieren diferentes procesos unitarios u operaciones. Estos procesos unitarios (por ejemplo, cribado, pretratamiento químico, coagulación/floculación, filtración, desinfección, adsorción con carbón activado granular, aireación, ósmosis inversa, electrodiálisis, etc.) se combinan para formar un único sistema de

tratamiento. El sistema de tratamiento puede contener todos los procesos unitarios o una combinación de cualquiera de ellos. Por lo tanto, una o más de estas operaciones pueden usarse para tratar agua o aguas residuales. Según la naturaleza precisa del tratamiento y la extensión del tratamiento que puede garantizarse mediante un procedimiento de tratamiento particular, los procedimientos para tratar el agua residual se dividen en métodos de tratamiento primarios, secundarios y terciarios. El tratamiento primario (por ejemplo, cribado, sedimentación previa y adición de productos químicos) proporciona un amplio grado de tratamiento y la especificidad es baja. El tratamiento secundario (p. Ej., Coagulación-floculación, filtración, desinfección) proporciona una mayor magnitud de tratamiento y es más específico que el tratamiento primario, mientras que los métodos de tratamiento terciario (p. Ej., Adsorción, ósmosis inversa, etc.) a menudo se aplican cuando hay un grado de tratamiento más alto. se requiere, y a menudo es un contaminante específico (8).

El proceso de coagulación y floculación sirven para evacuar las degradaciones de partículas, en particular los sólidos no sedimentables, y el color del agua que se está tratando. Las partículas no sedimentables en el agua se expulsan a través de sustancias químicas que actúan como coagulantes. En el proceso de coagulación, se agregan productos químicos que inicialmente harán que las partículas se desestabilicen y se agrupen. Estas partículas se juntan para formar partículas más grandes en el proceso de floculación. Podría ser una estrategia físico-química comúnmente utilizada dentro del tratamiento de aguas residuales mecánicas que contienen metales, ya que expulsa partículas coloidales, algunos compuestos solventes y suspensiones fuertes excepcionalmente finas que se muestran al principio dentro de las aguas residuales, desestabilizando y formando flóculos. Este proceso desestabiliza la sustancia coloidal común. Los minerales arcillosos son sustancias normales utilizadas para tratar de aguas residuales y tienen mayor capacidad de comercio en partículas, propiedades de adsorción y catálisis, así como materiales normales y de bajo costo. (9).

## **1.1.2. Formulación del problema**

### **1.1.2.1. Problema general**

¿Cómo afecta el sistema de coagulación-floculación y adsorción en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio?

### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Qué características físico-químicas presentan las aguas residuales domésticas?
- ¿Cómo influye un sistema de coagulación-floculación en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio?

- ¿Cómo influye el proceso de adsorción en la remoción de contaminantes fisicoquímicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar el efecto del sistema de coagulación-floculación y adsorción en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características físico-químicas que se encuentran presentes en las aguas residuales domésticas.
- Determinar la influencia del sistema de coagulación-floculación en la remoción de contaminantes fisicoquímicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio.
- Determinar la influencia del proceso de adsorción en la remoción de contaminantes fisicoquímicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio.

## **1.3. Justificación e importancia**

El aumento en la utilización del agua en diferentes divisiones de la sociedad hace que sea fundamental buscar opciones mecánicas para tratar el agua de manera viable. Para restar importancia a los impactos provocados por la liberación de agua residual en los cuerpos receptores, numerosas naciones contribuyen con activos considerables para obtener agua que tengan valores permisibles para ser descargados al medio ambiente.(3). Las aguas residuales provocan daños irreparables a los ambientes naturales. De esta manera, se utilizará el proceso combinado de coagulación-floculación y adsorción para tener una remoción más prominente de contaminantes fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas.

Diferentes estrategias de tratar aguas residuales están disponibles hoy en día para garantizar la alta calidad que emana desde hace algún tiempo se transfieren a los alcantarillados metropolitanos. Las aguas residuales cambian términos en la composición de contaminantes dependiendo del comienzo de la industria. La transferencia de dichos efluentes contaminará aguas superficiales y subterráneas: demanda de oxígeno químico expandido, eutrofización, incomodidad del sistema biológico y peligros para el bienestar humano. (9). De esta forma, se requirió empezar a buscar alternativas de solución a esta problemática sin embargo sin embargo estos procesos no llegan a eliminar en su totalidad los contaminantes deseado por lo que se requiere evaluar cómo funciona cada tratamiento y si la combinación de ellos pueden generar

mejores resultados, en la investigación se evaluó el sistema coagulación-floculación como un pretratamiento y se añadió el proceso de adsorción con el fin de observar si se puede encontrar mayor remoción de parámetros fisicoquímicos al combinar estos procesos físicos químicos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

La importancia de este trabajo de investigación contribuirá con un alcance más destacado para fomentar la investigación sobre la idea de criterios para la evacuación de contaminantes físicos químicos de los efluentes domésticos a través de un sistema de coagulación-floculación y adsorción además que la combinación de estos procesos puede abrir las puertas a futuras investigaciones sobre métodos combinados con mayores resultados de remoción con respecto a contaminantes fisicoquímicos.

#### **1.4. Hipótesis y descripción de variables**

##### **1.4.1. Hipótesis general**

Ho: Un sistema de coagulación-floculación y adsorción no presenta una influencia significativa en la remoción de contaminantes fisicoquímicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio.

Ha: Un sistema de coagulación-floculación y adsorción presenta una influencia significativa en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio.

##### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- Las características físico-químicas que se encuentran presentes en las aguas residuales domésticas superan los límites máximos establecidos por el DS. 003-2010-MINAM.
- Un sistema de coagulación-floculación muestra una influencia significativa en la remoción de contaminantes fisicoquímicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio.
- El proceso de adsorción muestra una influencia significativa en la remoción de contaminantes fisicoquímicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio.

##### **Descripción de las variables**

**Tabla 1. Operacionalización de variables**

Tipo de variable	Variable	Conceptualización	Indicador	Unidad de medida
Independiente	Dosis coagulante adsorbente	Es la cantidad de sulfato de aluminio y cascara de papa que se utilizó en el sistema coagulación floculación y adsorción respectivamente. El sulfato de aluminio agrupó los sólidos suspendidos en el agua y aceleró la sedimentación, asimismo la cascara de papa atrajo y retuvo partículas del agua residual durante la adsorción disminuyendo así la concentración de contaminantes de estudio.	1 1,5 2	g
	pH	Es el índice de acidez al cual se sometió la muestra de agua residual para el proceso de adsorción.	5 6 7	-
Dependiente	Contaminantes físicos químicos de las aguas residuales domésticas	Los contaminantes físicos químicos son un conjunto de parámetros como la SST, DQO y DBO	SST	mL/L
			DQO	ppm
			DBO	ppm

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación.

El artículo científico titulado: “Proceso secuencial de coagulación / floculación / sedimentación- adsorción - Microfiltración para el tratamiento de efluentes de lavandería” el objetivo de este trabajo fue tratar el efluente de una lavandería industrial mediante una serie de tratamientos de coagulación / floculación / sedimentación-adsorción-microfiltración (C / F / S-ADS-MF) y analizar la calidad final de su agua tratada. En la etapa C / F / S, el análisis estadístico (ANOVA, valor  $p < 0.05$ ; prueba de Fisher, valor  $p > 0.05$ ) indicó que  $140 \text{ mg L}^{-1}$  era la mejor concentración de coagulante natural. Para la adsorción de surfactantes utilizando el carbón activado se tuvo un tiempo de contacto para establecer el equilibrio del sistema siendo de 10 h. El MF presentó un flujo de permeado de  $60.51 \text{ L h}^{-1}\text{m}^{-2}$ . Los parámetros de calidad del agua avanzaron con el uso del manejo sucesivo, resultando en una eficiencia de evacuación en general de 99.9 % para color, 80 % para solicitud de oxígeno químico, 92.9 % para surfactantes y 99.4 % para la demanda de oxígeno químico. Por lo tanto, el proceso secuencial propuesto demostró ser una técnica prometedora para tratar aguas residuales de lavandería industrial (2).

El artículo científico titulado: “Tratamiento de un lixiviado de un vertedero de la ciudad de Casablanca mediante un proceso de coagulación-floculación y adsorción utilizando un polvo de corteza de palma (PBP)”, evaluaron la eficiencia de un tratamiento combinado de lixiviados de vertedero (coagulación con cloruro férrico junto con adsorción en polvo de corteza de palma (PBP)) para mejorar un bioadsorbente de bajo costo. La eficacia de este tratamiento se estimó a través de la demanda química de oxígeno (DQO), eliminación de color y turbidez. El proceso de coagulación redujo la turbidez en un 90 %, la DQO en un 50 %, el color en un 80 % y la demanda biológica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ) en un 99 % para la dosis óptima de cloruro férrico de  $12 \text{ g Fe}^{3+} \cdot \text{L}^{-1}$ . A partir de entonces, el tratamiento secuencial de un lixiviado de vertedero basado en la coagulación como proceso de pretratamiento y luego la adsorción en PBP mejora la eliminación de turbidez, DQO y color al 99 %, 59 % y 90 %, respectivamente. Estos resultados demuestran que los procesos combinados de coagulación-floculación y adsorción podrían ser una opción útil para el tratamiento de lixiviados de vertederos de residuos sólidos (10).

El artículo científico titulado: “Eliminación de colorante reactivo de solución acuosa mediante coagulación-floculación junto con adsorción en hoja de papaya”, su objetivo fue investigar la eficacia de un proceso combinado de coagulación-floculación y adsorción para la eliminación

de un colorante reactivo (Reactive Red 3BS) de la solución acuosa. El efluente obtenido del proceso de coagulación-floculación fue la solución cruda para el segundo paso del proceso de acoplamiento, es decir, la adsorción. Se determinó el pH y las dosis óptimas de alumbre y óxido de calcio para el proceso de coagulación-floculación. Para ello se usó sulfato de aluminio (alumbre), óxido de calcio y hoja de papaya como coagulante, coagulante auxiliar y adsorbente, respectivamente. La eliminación completa del tinte de la solución cruda que tiene una concentración de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  podría lograrse usando  $300 \text{ mg L}^{-1}$  de alumbre,  $80 \text{ mg L}^{-1}$  de óxido de calcio y  $0,20 \text{ g}$  de adsorbente de hojas de papaya. Las pruebas de adsorción mostraron que la hoja de papaya podría usarse como un adsorbente potencial para la eliminación del Reactive Red 3BS. Las máximas capacidades de sorción de la hoja de papaya en el caso de sorción de la solución pretratada y la solución pura fueron  $50.23 \text{ mg g}^{-1}$  y  $21 \text{ mg g}^{-1}$ , respectivamente. (11).

El artículo científico titulado: “Perspectivas y desafíos del uso del método de coagulación-floculación en el tratamiento de efluentes” su objetivo fue la eliminación de estos metales tóxicos y contaminantes de las aguas residuales industriales ya que es una causa grave de degradación del agua. La coagulación-floculación es un método ampliamente utilizado para tratar aguas residuales. La coagulación / floculación es comúnmente utilizado para tratar aguas residuales en el que se agregan compuestos como cloruro férrico y / o polímero a las aguas residuales para desestabilizar los materiales coloidales y hacer que las partículas pequeñas se aglomeren en flóculos sedimentables más grandes. Por tanto, el uso futurista, así como los deméritos actuales de este proceso es necesario para tratar los efluentes (9).

El artículo científico titulado: “Unidad combinada de pretratamiento de coagulación y floculación para aguas residuales municipales”, su objetivo fue estudiar las potencialidades de utilizar la técnica hidráulica en unidad combinada para tratar aguas residuales municipales. Se diseñó una unidad combinada donde se realizan procesos de coagulación, floculación y sedimentación utilizando mezcla hidráulica en lugar de mezcla mecánica. Se ha realizado un estudio de tratabilidad de prueba de frasco para localizar la dosis óptima de coagulantes que se utilizará. Se probaron alumbre, sulfato ferroso, sulfato férrico, una mezcla de sulfatos férrico y ferroso, y una mezcla de cal y sulfato ferroso. Se construyó una unidad piloto en la planta de tratamiento de aguas residuales existente en la gobernación de El Mansoura ubicada en el norte de Egipto. La dosis óptima de coagulantes utilizada en la unidad combinada proporciona eficiencias de eliminación de DQO, DBO y fósforo total como 65 %, 55 % y 83 %, respectivamente (1).

En la tesis titulado: “Sistema de coagulación-Floculación y adsorción a nivel de laboratorio para la remoción de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados del almacén M.P.S.A.R.C.” evaluaron el proceso de coagulación-

floculación y adsorción a nivel de instalación de investigación para eliminación de componentes fisicoquímicos dentro de los efluentes residuales del proceso de lavado de los contenedores refrigerados. La población fue de 1 m<sup>3</sup>/h y un ensayo de 26 litros. Dentro del proceso de Coagulación - Floculación, se usó coagulante natural, cloruro férrico y policloruro de aluminio en medidas de 1 mL/L, 2 mL/L y 3 mL/L y una dosis estable de 3 mL/L de poliacrilamida aniónica que actuó de floculante. Dentro del procedimiento de adsorción, se utilizó 500 g del carbón activado granular, variando tiempos de contacto de 5 minutos y 10 minutos. Tras la finalización del proceso se minimizó un 98.11%, 98.88%, 99.84%, 99.50%, 99.90% de DBO<sub>5</sub>, DQO, TSS y AyG (12).

En la tesis titulada: “La combinación de coagulación y adsorción para controlar el ensuciamiento de la membrana de ultrafiltración en el tratamiento de agua” investigaron el impacto de cuatro pretratamientos diferentes: coagulación, adsorción, coagulación seguida de adsorción (C-A) y coagulación y adsorción simultáneas (C+A), sobre la contaminación de la membrana y la eficiencia de eliminación de materia orgánica natural. Los resultados mostraron que el proceso de adsorción requería una gran cantidad de adsorbente y formaba una densa capa de torta en la superficie de la membrana, lo que provocaba un fuerte ensuciamiento de la membrana. En comparación con la adsorción sola, los procesos de coagulación y C-A redujeron la presión transmembrana en 4.9 kPa. Se debió a una menor aglomeración de partículas en la membrana. En cuanto a la calidad del agua, para el proceso de ultrafiltración C-A se logró las mayores eficiencias de eliminación de materia orgánica natural y precursores de subproductos de desinfección. Por lo tanto, la adición de adsorbente después de la coagulación es un enfoque potencialmente importante para aliviar el ensuciamiento de la membrana de ultrafiltración y mejorar el rendimiento del tratamiento (13).

En la tesis titulado: “Sistema de coagulación-floculación a escala laboratorio y su eficiencia en el tratamiento de Aguas Residuales provenientes del proceso de preparación de pega para la elaboración de zapatos de cuero”, su ideal fue tratar aguas residuales. La caracterización de aguas residuales fue DBO de 4891.97 ppm y DQO de 10780 ppm. Para los resultados numéricos indicar la atención, clase de reactivos gelificantes similares al PRP 80 (4000 ppm) y floculantes similares al PHP 20 PLUS (12 ppm), lo cual se aplica en aguas residuales donde se tuvo un 99.7 % de desecho de turbidez, los valores físico químicos no se presentan dentro del rango establecido (14)

En la tesis titulado: “Estudio de la determinación de la actividad floculante en aguas provenientes del río Chili conteniendo As, Pb y Cr tratados con pectina obtenidos a partir de la cáscara de naranja, limón y mandarina”, estudiaron el pretratamiento del residuo biosorbente obtenida a partir de cáscara mandarina, limón y naranja. por lo tanto, teniendo las características

en función a la pectina de biosorbente de naranja, el pH fue de 6.25; humedad 13,14 % contenido de cenizas 9,73 %; fibra 22,71 %; el pH del limón fue de 6,55; humedad 12,57 %; contenido de cenizas 10,51 %; fibra 27,43 % y de mandarina, el pH fue de 5,55; humedad 12.76 %, cenizas 9.39 % y fibra 26.11 %, las pruebas aplicadas al agua de la cara del río Chili al utilizar pectina del biosorbente naranja se obtuvo una remoción de 43.13 % de arsénico; 17.65 % de cromo; En cuanto a pectina del biosorbente limón se consiguió remover 40.89 % de arsénico; 11.76 % de cromo y al utilizar la pectina del biosorbente mandarina se consiguió un 43.64 % de arsénico; 71.95 % de plomo (15)

En la tesis titulado: “Tratamiento de aguas residuales de lavanderías por el proceso de coagulación-floculación y adsorción”, con la finalidad de tratar aguas residuales mediante el proceso de coagulación-floculación y adsorción, se determinó que el agua residual de lavandería es de 2,84 mg/ L. La adsorción con carbón activado con cáscara de palma pulverizada fue adecuada para eliminar 93,43 % de detergente a pH 6 y un tiempo de adsorción de 60 min, asimismo para el carbón activado con cáscara de coco pulverizado se eliminó 95,31 % de detergente LAS a pH 10 y con 60 min de tiempo de adsorción. La última dosis de detergente en aguas residuales tratadas utilizando carbón activado a partir de cáscara de trigo pulverizado dio un valor de 0,15 mg/L y utilizando carbón activado de cáscara de coco se redujo a 0,12 mg/L, por lo que cumple con las normas de Calidad Ambiental del Agua para descarga a cuerpos de agua que es de 0.5 mg/L en limpiadores (16).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Fundamentos teóricos**

#### **2.2.1.1. Agua**

Agua que se deriva de la palabra anglosajona y bajo alemán, *wáter*, que es una sustancia inodora, sin sabor e incolora que necesitan los organismos vivos. Es el recurso primordial en océanos, lagos. El agua se encuentra en tres formas diferentes en la tierra, es decir, sólida, líquida y gaseosa. Estas formas de agua dependen de la temperatura. El agua en nuestro planeta está presente en forma sólida en las áreas cubiertas de hielo, líquida en ríos, arroyos y océanos y en forma de gas o vapor en la atmósfera (17).

Pero el escenario actual dice que todos los recursos hídricos que están presentes en el mundo se encuentran bajo una tensión importante. Hoy, sin embargo, la expansión de las industrias, la agricultura, las represas, la urbanización, la población y la contaminación amenazan estos recursos únicos en muchas partes de la tierra (17).

Pero la principal preocupación ahora es proporcionar agua potable a la población que no cuenta con este recurso; este es uno de los retos principales que afrontan los gobiernos hoy en día. En muchos países en desarrollo, el agua potable, libre de patógenos y otros contaminantes, no está disponible para gran parte de la población, y la contaminación del agua sigue siendo una preocupación incluso para los países desarrollados con buenos suministros de agua y sistemas de tratamiento avanzados (17).

#### **2.2.1.2. Distribución de agua**

Las formas de vida primarias sin duda surgieron en un medio fluido y en medio del proceso de desarrollo han sido moldeadas por las propiedades del medio fluido en el que comenzó la vida (18). Por lo tanto, la vida en la tierra que se origina en el mar y el agua juega un papel pionero en el desarrollo evolutivo de especies, formas de vida y moléculas relativamente complejas (17). Es un recurso esencial abundante en el planeta y se encuentra en un 71 % de la superficie terrestre. El agua de esta tierra consiste en un 3 % de agua dulce del suministro total de agua y se encuentra como agua superficial o subterránea, sin embargo, el 97 % como agua salada (19). Por lo tanto, ha concluido que la interferencia humana, el suministro inadecuado y la gestión inadecuada son las principales causas que conducen a la escasez de recursos que obstaculizan el desarrollo sostenible (20).

#### **2.2.1.3. Aguas residuales**

Son un subproducto del agua que usan, las industrias para muchos propósitos, incluido el procesamiento y la limpieza o enjuague de piezas. Con el rápido crecimiento de las ciudades, la urbanización y la industrialización, la cantidad de aguas grises/residuales está aumentando en la misma proporción. Según la Organización Central de Salud Pública e Ingeniería Ambiental (CPHEEO), se estima que entre el 70 % y el 80 % del agua total suministrada para uso doméstico se genera como aguas residuales. Por lo general, se generan entre 200 L y 500 L de aguas residuales por persona (17).

#### **2.2.1.4. Origen y composición de las aguas residuales domésticas**

Son aguas que contienen residuos de actividades realizadas por una comunidad. Las aguas residuales frescas es un fluido argentino turbulento con un olor a tierra. Comprende partículas suspendidas y flotantes grandes, partículas suspendidos inferiores y solidos coloidales suspendidos verdaderamente pequeños, así como contaminantes en verdadero resultado. Tiene una apariencia desagradable y un contenido peligroso, debido a la cantidad de organismos patógenos que tiene. En climas calurosos, tienden a disminuir su oxígeno disuelto, es por ello

que se vuelven rancias o sépticas. Las aguas residuales sépticas tienen un olor desagradable, generalmente sulfuro de hidrógeno (21).

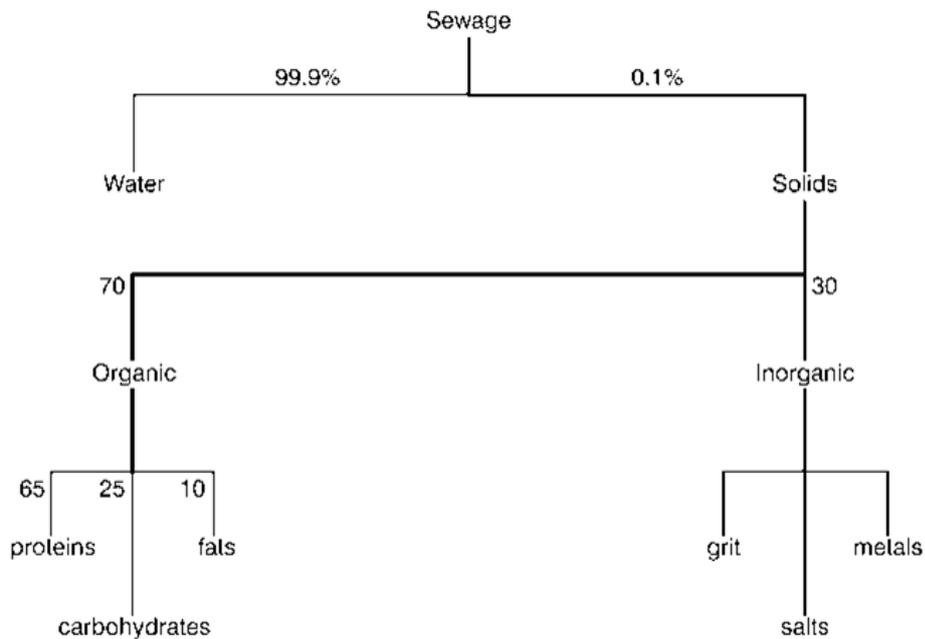
La composición de las heces y la orina humana se muestra en la Tabla 2, y para las aguas residuales, en una forma más simple, en la Figura 1. La fracción orgánica de ambos está compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas. Estos compuestos, particularmente los dos primeros, forman una excelente dieta para las bacterias, los organismos microscópicos cuyo voraz apetito por la comida es aprovechado por los ingenieros de salud pública para los tratamientos microbiológicos de las aguas residuales. Además de estos compuestos químicos, las heces y, en menor medida, la orina contiene muchos millones de bacterias intestinales y un número menor de otros organismos. La mayoría de estos son inofensivos, de hecho, algunos son beneficiosos, pero una minoría importante puede causar enfermedades humanas (21).

**Tabla 2. Composición de las heces humanas y la orina.**

	<b>Excrementos</b>	<b>Orina</b>
<b>Cantidades</b>		
<b>Cantidad (húmeda) por persona por día</b>	135-270 g	1.0-1.3 kg
<b>Cantidad (sólidos secos) por persona por día</b>	35-70 g	50-70 g
<b>Composición aproximada (%)</b>		
<b>Humedad</b>	66-80	93-96
<b>Materia orgánica</b>	88-97	65-85
<b>Nitrógeno</b>	5,0-7,0	15-19
<b>Fósforo (como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>	3.0-5.4	2.5-5.0
<b>Potasio (como K<sub>2</sub>O)</b>	1.0-2.5	3.0-4.5
<b>Carbón</b>	44-55	11-17
<b>Calcio (como CaO)</b>	4.5	4.5-6.0

Tomado de (21)

**Figura 1. Composición de las aguas residuales domésticas.**

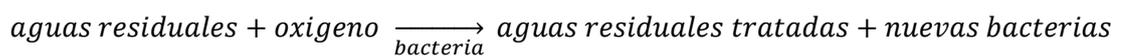


Tomado de (21)

Los desechos aportan una amplia variedad de productos químicos: detergentes, jabones, grasas y grasas de diversos tipos, pesticidas, cualquier cosa que de hecho se vaya al fregadero de la cocina, y esto puede incluir elementos tan diversos como leche agria, cáscaras de vegetales, hojas de té, partículas de tierra. (derivada de la preparación de verduras) y arena (utilizada para limpiar utensilios de cocina). La cantidad de diferentes productos químicos es tan grande en aguas residuales, no tendría sentido enumerarlos todos. Por esta razón, los ingenieros utilizan parámetros especiales para caracterizar las aguas residuales (21).

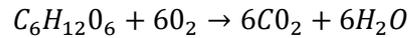
### **2.2.1.5. Caracterización de las aguas residuales domésticas**

Las aguas residuales generalmente se tratan suministrando oxígeno para que las bacterias le sirvan como alimento dentro de las aguas residuales:



La naturaleza de los efluentes domésticos es tan compleja que bloquea su examen completo. Sea como fuere, dado que generalmente es fácil calcular el oxígeno utilizado por microbios cuando se oxida el agua residual. Así, si, por ejemplo, se consume medio gramo de oxígeno en la oxidación de cada litro de un agua residual en particular, entonces decimos que esta agua residual tiene una 'demanda de oxígeno' de 500 mg/L. Básicamente, existen tres formas de expresar la demanda de oxígeno de un residuo:

**Demanda teórica de oxígeno (ThOD):** por lo general, la suma hipotética de oxígeno requerida para oxidar la división natural de las aguas residuales totalmente a dióxido de carbono y agua. La condición para la oxidación total de, digamos, la glucosa es:



Con C = 12, H = 1 y O = 16, C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> es 180 y 6O<sub>2</sub> es 192; Por tanto, podemos calcular que la ThOD de, por ejemplo, una solución de glucosa de 300 mg/L es (192/180) x 300 = 321 mg/L. Debido a que las aguas residuales son de naturaleza tan compleja, su ThOD no se puede calcular, pero en la práctica se aproxima por la DQO (21).

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** se obtiene mediante oxidación de aguas residuales con un arreglo de dicromato corrosivo burbujeante. Este mango oxida casi todos los compuestos naturales a CO<sub>2</sub> y agua, y la respuesta da normalmente más del 95 % del total. Las estimaciones de DQO se dan una rapidez excepcional (en 3 horas), pero tienen el impedimento de que no dan datos sobre la cantidad de aguas residuales que pueden ser oxidadas por microbios, ni sobre la velocidad a la que se sucede bio-oxidación (21).
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Es la proporción de oxígeno que se requiere para oxidar aguas residuales por parte de organismos microscópicos. De esta manera, podría ser un grado de concentración de materia natural en un desperdicio que puede ser oxidado por microbios (bio-oxidado o biodegradado). Por regla general, la DBO se comunica sobre la premisa de 5 días a 20 °C, es decir, como la suma del oxígeno gastado en medio de la oxidación de las aguas residuales durante 5 días a 20 °C. Esto se debe a menudo a que la DBO de 5 días, que es el oxígeno necesario para la biooxidación total de los residuos. El concepto adecuado de DBO es básico para tratar efluentes residuales en un tratamiento completo de la energía de evacuación de DBO. (21).

De lo anterior se desprende que:

$$ThOD > DQO > DBO_{\mu} > DBO_5$$

No existe una relación general entre estas diversas demandas de oxígeno. Sin embargo, para las aguas residuales domésticas no tratadas, una gran cantidad de mediciones han indicado las siguientes proporciones aproximadas:

$$DBO_5/DQO = 0.5$$

$$DBO_{\mu}/DBO_5 = 1.5$$

La presencia de aguas residuales industriales o agrícolas altera considerablemente estas proporciones (21).

#### **2.2.1.6. Operaciones de tratamiento de agua basadas en adsorción**

Se basa en el proceso de adsorción donde un soluto inicialmente presente en la fase acuosa se elimina de esa fase por acumulación en la interfase entre la fase acuosa y una fase sólida. La capacidad de la etapa sólida para realizar este trabajo depende del hecho de que su superficie tiene lugares dinámicos de energía que les permiten asociarse con un soluto en la etapa acuosa a través de sus propiedades electrónicas(22). Normalmente, los espacios activos cuentan con diferentes energías (es decir, la superficie es energéticamente heterogénea). En el transcurso del proceso de adsorción, si se alteran las variables del proceso (por ejemplo, concentración, temperatura, pH, fuerza iónica), se puede activar el proceso inverso de adsorción y las especies adsorbidas se liberan de la superficie y se transfieren de nuevo a la fase acuosa. fase. El proceso inverso de adsorción se conoce como desorción. La etapa fuerte que da a la superficie como etapa de adsorción se denomina adsorbente, mientras que las especies que se adsorben en el adsorbente se denomina adsorbato. A continuación, se muestra una breve descripción de los adsorbentes ordinarios de importancia mecánica: (8)

- Carbón activado: se trata de un material carbonoso similar al carbón con una gran superficie. Los carbones activados en polvo y granulados son los dos tipos de carbones activados que se utilizan de forma diferente en los procedimientos de adsorción debido a sus diferentes características.
- Gel de sílice: este es un material duro, granular y poroso que se fabrica mediante la precipitación de sílice en una solución ácida de silicato de sodio
- a partir de una solución de silicato de sodio en ácido.
- Alúmina activada: se produce mediante la activación de óxido de aluminio a alta temperatura y se utiliza principalmente para la adsorción de humedad.
- Aluminosilicatos (también conocidos como tamices moleculares): Son zeolitas sintéticas porosas o materiales que se utilizan principalmente en procesos de separación.

La adsorción es un procedimiento de tratamiento de agua potable centenario que utiliza carbón activado como adsorbente. Principalmente, el proceso tiene como objetivo la eliminación de los compuestos que imparten sabor y olor de la corriente de agua. Recientemente, el adsorbente convencional (es decir, carbón activado) ha demostrado ser eficaz en la eliminación de una serie de microcontaminantes orgánicos (por ejemplo, fenoles, hidrocarburos clorados, pesticidas, productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, inhibidores de corrosión, etc.) de matrices acuosas (22). La adsorción es un procedimiento terciario de aguas residuales con el

fin de pulir aguas parcialmente tratadas o aguas residuales antes de ser almacenadas o distribuidas para su consumo en el caso de agua potable, y para su descarga final en el caso de aguas residuales. Las sustancias orgánicas solubles que son recalcitrantes a la biodegradación por el tratamiento biológico convencional o que no se precipitan fácilmente por el proceso de clarificación química a menudo se eliminan por adsorción sobre carbón activado. En la operación de tratamiento de agua convencional basada en adsorción, el carbón activado se aplica como carbón activado en polvo (PAC) en reactores de suspensión o como carbón activado granular (GAC) en reactores de lecho fijo. El tamaño de partícula de PAC es menor de 74  $\mu\text{m}$  (el rango típico es de 10  $\mu\text{m}$  a 50  $\mu\text{m}$ ) y el material se usa comúnmente por adición directa. Para GAC, el tamaño de partícula es mayor de 100  $\mu\text{m}$  (el rango típico es de 0.4  $\mu\text{m}$  a 2.5  $\mu\text{m}$ ) y el material se usa comúnmente en reactores de lecho fijo. Como consecuencia del hecho de que la adsorción es un fenómeno de superficie, su capacidad para adsorber se asocia con una superficie muy alta por unidad de volumen (8).

Según la naturaleza de la interacción que se produce entre los adsorbentes y los adsorbatos, la adsorción se clasifica en términos generales como fisisorción o quimisorción. La fisisorción ocurre cuando el soluto se mantiene en el adsorbente por la fuerza de atracción de van der Waals, mientras que la quimisorción ocurre cuando el soluto se mantiene en el adsorbente a través de enlaces químicos específicos. El enlace químico específico que se produce en la quimisorción puede ser de naturaleza covalente o iónica. La aparición de los dos tipos de adsorción (es decir, fisisorción y quimisorción) a veces se experimenta simultáneamente. Ambos tipos de adsorción tienen características diferentes que los diferencian, y estas características a menudo se buscan para identificar el tipo real de adsorción que tuvo lugar en una operación de adsorción (8).

La relación de la concentración de equilibrio de un soluto o sustancia en fase acuosa y fase sólida adsorbente, a cualquier temperatura, se designa como isoterma de adsorción. La isoterma de adsorción de equilibrio es fundamentalmente importante para diseñar un proceso de tratamiento de agua basado en adsorción. Los resultados obtenidos del análisis de isotermas de equilibrio sugieren la capacidad de adsorción del adsorbente mientras que las diferentes ecuaciones de isotermas de adsorción se caracterizan por determinadas constantes cuyos valores expresan las propiedades superficiales y la afinidad del adsorbente en uso. La isoterma de adsorción de equilibrio se expresa convencionalmente en forma de dos ecuaciones matemáticas generalmente conocidas derivadas de Langmuir (y Freundlich). Estas ecuaciones se utilizan convencionalmente para analizar los datos obtenidos de una operación de adsorción típica. Sin embargo, recientemente, se han desarrollado otras ecuaciones de isotermas de equilibrio utilizando estas dos ecuaciones convencionales como fundamentos. Los resultados obtenidos

del análisis de isothermas de equilibrio proporcionan una idea del modo subyacente del proceso de adsorción (8).

Al diseñar un proceso de tratamiento de agua basado en adsorción, el análisis cinético del proceso de adsorción generalmente se analiza para obtener información valiosa sobre las vías de reacción y los mecanismos de adsorción. El análisis cinético ayuda a definir cómo las tasas de adsorción dependen de las concentraciones de soluto en una solución y cómo las tasas se ven afectadas por la capacidad de adsorción o por el carácter del adsorbente. Por tanto, la predicción de la velocidad a la que se elimina el soluto de las soluciones acuosas estableció el tiempo de residencia necesario para completar el proceso de adsorción. Los diferentes modelos cinéticos que han descrito el orden de reacción de los sistemas de adsorción se pueden clasificar en dos (23):

- Ecuación de la tasa de adsorción basada en la capacidad del adsorbente para un sistema sólido-líquido.
- Aquel cuya tasa de adsorción se basa en la concentración de la solución.

#### **2.2.1.7. Operación de tratamiento basado en adsorción**

Como consecuencia del hecho de que la adsorción es un fenómeno de superficie, la consideración fundamental en la elección del material que servirá como adsorbente es la estructura de la superficie del adsorbente. La estructura química de un adsorbente es importante para definir el posible modo de relación de un adsorbente y el adsorbato que se eliminará de la matriz de agua. Los adsorbentes adoptan una amplia gama de formas químicas y diferentes estructuras geométricas de superficie, y esto se refleja en la gama de sus aplicaciones en las industrias y las prácticas de laboratorio (24). Independientemente de la fuente de un adsorbente (es decir, natural o sintético), los adsorbentes pueden clasificarse ampliamente, por su composición química, como materiales de base orgánica o inorgánica y estas dos clases de adsorbentes atraviesan las diferentes fuentes. Convencionalmente, el carbón activado es el adsorbente de elección en la destrucción de compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos en operaciones de tratamiento de agua, pero las deficiencias inherentes han engendrado la búsqueda de sustitutos adecuados para este adsorbente convencional. Los materiales que se han estudiado como sustitutos de este adsorbente convencional incluyen minerales de arcilla, adsorbentes carbonosos, adsorbentes poliméricos, zeolitas naturales y sintéticas, biopolímeros, óxidos metálicos, desechos y subproductos (8).

Un análisis comparativo del rendimiento y la eficiencia operativa de los adsorbentes derivados de diferentes fuentes mostró que los adsorbentes sintéticos (también conocidos como

adsorbentes de ingeniería) exhiben mejores capacidades de adsorción y son consistentes en su eficiencia operativa y estabilidad. Se producen bajo un estricto control de calidad y muestran propiedades casi constantes. A menudo, su perfil de adsorción hacia una amplia variedad de adsorbatos es predecible, y las recomendaciones para sus aplicaciones pueden derivarse de estudios científicos e información de los productores. Sin embargo, los adsorbentes de ingeniería pueden ser a veces costosos. Comparativamente, las capacidades de adsorción de los adsorbentes naturales (es decir, biogénicos o geogénicos) como es la cascara de papa son mucho menores y las propiedades están sujetas a variaciones más fuertes. Puede ser interesante considerarlos debido a su bajo costo y ubicuidad, pero en la mayoría de los casos, los estudios sobre estos materiales se limitan a aplicaciones muy específicas y no hay suficiente información disponible para una experiencia generalizada y una evaluación final (25).

#### **A. Adsorbente de cascara de papa**

Se ha incrementado el uso de productos industrializados de papa, lo cual genera restos (sólidos-líquidos) que no son tratados y son desechados en botaderos, esto genera un manejo deficiente de los residuos. Es por ello por lo que se utiliza la cascara de papa como alternativa para el tratamiento de efluentes de curtiembres, por lo que se sustenta con la economía circular lo que nos ayuda en el ahorro de energía, reduciendo costos. Por lo que se le hace un adsorbente potencial para el tratamiento de aguas.(25).

### **2.2.1.8. Coagulación-floculación**

#### **A. Coagulación**

Es un proceso donde se da una reacción física y química de la alcalinidad del agua y el coagulante en el agua, por lo que nos da una formación de flóculos. Los polímeros son agregados para la formación de flóculos, este proceso desestabiliza una solución (26).

La coagulación se da por el uso de sustancias químicas conocidas como coagulantes, pueden ser inorgánicos, polímeros o coagulantes naturales. Es importante saber los tipos de coagulantes químicos que se utilizan ya que pueden ser dañinos y muy costosos, es por ello por lo que opta por coagulantes naturales. (27).

- **Descripción del proceso:** Consiste en la combinación del coagulante químico y el agua que se va a tratar. La finalidad del proceso es tener una mezcla rápida para que se distribuya de manera igual el coagulante. El proceso se produce en un corto tiempo y los resultados es la formación de flóculos (9).

- **Mezcla instantánea:** la mezcla instantánea es el primer paso en la coagulación. El coagulante se agrega al mezclador instantáneo y se dispersa por el agua. Es recomendable que la reacción se de en menor tiempo. La siguiente es una lista de ejemplos de mezcla flash:
  - Mezcla hidráulica utilizando energía de flujo en el sistema.
  - Mezcla mecánica
  - Difusores y sistemas de rejilla
  - Licuadoras bombeadas
  - Mezclador estático.
  - Hidráulico

La mezcla hidráulica mediante deflectores o válvulas de estrangulamiento se utilizan en sistemas con velocidad suficiente para causar turbulencias. Esta turbulencia que se presenta en el agua mezcla los químicos. Los mezcladores como paletas, turbinas y hélices son utilizados para el proceso de coagulación, sin embargo, los mezcladores mecánicos son más confiables, pero consumen mayor energía eléctrica. Se pueden utilizar difusores y sistemas de rejilla que consisten en tubos perforados o boquillas para dispersar coagulantes en aguas a tratar. Estos sistemas pueden proporcionar una distribución uniforme del coagulante en toda la cubeta de coagulación. Sin embargo, generalmente son sensibles a los cambios de flujo y pueden requerir ajustes frecuentes para producir la cantidad adecuada de mezcla. También son usados mezcladores de bombeo, en donde se agrega el coagulante a través de un difusor, esto genera una rápida dispersión sin perder carga significativa en el sistema. Para estos mezcladores el consumo de energía es bajo a comparación de un mezcladore mecánico (9).

- **Química básica de los coagulantes:** La coagulación es un conjunto de respuestas físicas y químicas que se dan entre la alcalinidad del agua, los contaminantes que contiene y los coagulantes incorporados al agua, produciéndose en la formación de flóculos insolubles. Estos son aglomeraciones de material particulado en suspensión dentro del agua cruda, los elementos de respuesta de los productos químicos incluidos, así como material coloidal y descompuesto dentro del agua adsorbido por estos elementos de respuesta. Para un coagulante específico (como el sulfato de aluminio), el pH determina qué especies de hidrólisis (compuestos químicos) predominan. Para pH con valores bajos favorecen a sustancias que tienen carga positiva, los cuales reaccionan con coloides de carga negativa, formando flóculos insolubles y eliminando contaminantes del agua. Es por ello que un pH óptimo para la coagulación del alumbre, que depende en gran medida del agua a tratar, suele estar en el rango de pH de 5 a 8, aproximadamente, Para el caso del hidróxido de aluminio que actúa como floculo es insoluble para pH con bandas estrechas. Por lo tanto,

es importante controlar el pH en el proceso de coagulación, para eliminar la turbiedad y color y también para lograr el nivel mínimo de aluminio residual disuelto en agua clarificada. (9).

Los polielectrolitos se utilizan para mejorar las características de sedimentación de flóculos producidos por coagulantes de aluminio o hierro. Generalmente no es posible controlar la alcalinidad y el pH, por lo que el análisis de estos parámetros puede tener un papel importante para la elección del tipo de coagulante químico a utilizar en un proceso de tratamiento de agua. La dosis excesiva, así como la poca dosis reducir la eficacia de eliminación de sólidos. Cualquiera de las dos condiciones puede corregirse realizando pruebas de jarra cuidadosamente y revisar el rendimiento cuando se realiza un cambio en el proceso de coagulación. (9).

- **Optimización de la coagulación:** El objetivo de la coagulación es acondicionar, por adición química, las impurezas en el agua para que se fusionen en floculación y se eliminen en clarificación y filtración junto con las sustancias químicas añadidas. Si el agua a tratar fuera tan constante en calidad y carácter como el agua subterránea de un pozo profundo, teóricamente sería posible calcular a partir de análisis del agua las condiciones químicas óptimas y la dosis de coagulante requerida. El agua superficial nunca es tan constante en calidad y carácter como el agua subterránea; Incluso en un lago grande, la temperatura cambia con la estación, el viento arrastra partículas que también pueden causar un aumento de la turbidez debido a la alteración de los sedimentos. Las condiciones químicas óptimas en términos de dosis de coagulante y pH para el tratamiento del agua en cuestión se evalúan mediante la prueba de la jarra, también llamada prueba de coagulación de laboratorio o prueba de la jarra de sedimentación (9).

Los coagulantes de esencia usados generalmente se distribuyen en dos órdenes frecuentes: los que se basan en aluminio y los que se basan en hierro. Para los de aluminio se tienen sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, cloruro de polialuminio y aluminato de sodio, en el caso de los de hierro se tienen sulfato férrico, sulfato ferroso, cobre clorado y cloruro férrico. Existen otros coagulantes químicos como la cal rociada,  $\text{Ca(OH)}_2$  y  $\text{MgCO}_3$ . Se utilizan con frecuencia los coagulantes de aluminio y hierro debido a su eficiencia, bajo costo, fácil vacuidad y a su capacidad de desarrollar complejos polinucleares que dan como resultado mejores características

La moda de los coagulantes de aluminio y hierro se debe no sólo a su eficacia como coagulantes, sino también a su fácil vacuidad y a su coste relativamente bajo. La eficacia de estos coagulantes surge principalmente de su capacidad para formar complejos polinucleares multi cargados que dan como resultado mejores características de adsorción. (9).

- **Sulfato de aluminio** –  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ : Es un coagulante muy utilizado que se fabrica mediante la digestión de bauxita o minerales de aluminio añadiéndole ácido sulfúrico. Las cantidades de bauxita utilizadas superan ligeramente las proporciones estequiométricas para mezclar con el ácido para que no exista ácido libre en el producto final. Durante el proceso se evapora el agua por lo que el producto final tiene la siguiente fórmula  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ . Cloruro de polialuminio con un contenido de óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) que oscila entre el 14 % y el 18 % (m/m) (9).
- **Cloruro de aluminio**- $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ : El cloruro de aluminio se añade en solución que contiene un 20 % de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  con un pH y una densidad de aproximadamente  $2.5 \text{ kgm}^{-3}$  y  $1300 \text{ kgm}^{-3}$  respectivamente. Son usados para el acondicionamiento de lodos y tienen que ser almacenados en condiciones parecidas al cloruro férrico debido a que se libera ácido clorhídrico en el proceso de hidrólisis (9).
- **Cloruro de polialuminio**-  $(\text{Al}(\text{OH})_{1.5}(\text{SO}_4)_{0.125}\text{Cl}_{1.25})_n$ : Este coagulante, un producto relativamente nuevo desarrollado en Japón, es un cloruro de aluminio parcialmente hidrolizado que incorpora una pequeña cantidad de sulfato. Los resultados obtenidos con este coagulante son equivalentes al uso de sulfato de aluminio junto con un polielectrolito, aunque no se comprende perfectamente la naturaleza química precisa del producto ni la razón de su rendimiento mejorado. Se requiere aproximadamente la mitad de la dosis para eliminar la turbidez, pero se requiere más o menos la misma dosis que el sulfato de aluminio para aguas predominantemente coloreadas. En los casos en que las aguas sean predominantemente turbias, el uso de este coagulante puede reducir significativamente los problemas de eliminación de lodos. El cloruro de polialuminio se suministra en forma líquida con el equivalente al 10 % de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Las soluciones diluidas de concentración 0.4 % - 3 % muestran evidencia de hidrólisis lenta (9).

Los polímeros actúan de manera similar como coagulantes en el sentido de que se unen a las partículas en el agua a través de una diferencia de carga eléctrica entre la partícula y el polímero. Así es como los polímeros se clasifican en tres grupos diferentes, por sus diferentes cargas:

- Aniónico: con carga negativa.
- Catiónico: tener una carga positiva
- No iónico: sin carga

## B. Floculación

Es un proceso donde se da una gran aglomeración de partículas en suspensión o de una pequeña aglomeración ya formada como efecto de la coagulación mediante agitación o agitación suave se denomina floculación (27).

Es el método por el cual los coloides desestabilizados, son accionadas unirse y formar así grandes aglomerados (r). La floculación es el proceso de agitación lenta que hace que las partículas pequeñas coaguladas se junten y formen partículas con mayor volumen y sean sedimentables. Cuando se formen los flóculos, son fácilmente eliminados a través de un proceso de sedimentación y posterior filtración. La interacción de partículas se da a partir de una agitación lenta mediante un medio de mezclado mecánico o hidráulico. La razón de la floculación es formar un flóculo de gran medida, espesor y tenacidad para su posterior expulsión dentro de las formas de sedimentación y filtración. La estimación principal de flóculos oscila entre 0.1 mm y casi 3 mm, según el tipo de mango de expulsión utilizado. Si las algas están presentes en grandes cantidades en el agua, el flóculo tendrá una apariencia fibrosa (26).

El proceso de floculación da condiciones para que la interacción entre las partículas avance en su aglutinación en flóculos que favorecer su eliminación, principalmente por clarificación y finalmente por filtración. Estas interacciones entre partículas son el resultado de una delicada perturbación hecha por mezclas mecánicas o de otro tipo, a un ritmo mucho más lento que el de la mezcla en la coagulación, en algunos casos en tanques dedicados a la floculación. En los depósitos de flujo ascendente con fondo de tolva que utilizan la capa de lodo afectan estas interacciones entre las partículas resultan de la mezcla hidráulica. La formación de flóculos se controla a partir de la velocidad de interacción de partículas y la efectividad de estas para la unión de partículas. El motivo de la floculación es formar un flóculo de medida, espesor y tenacidad adecuados para su posterior evacuación dentro de las formas de sedimentación y filtración. La estimación de flóculo más fina varía de 0,1 mm a aproximadamente 3 mm, según el tipo de preparación de transferencia utilizada, siendo la estimación de flóculo más pequeña la más adecuada para la filtración coordinada y la más grande para la transferencia de clarificación (9).

Algunas floculaciones pueden lograrse por la turbulencia que surge de la dureza en los canales, o la energía dispersada por la pérdida de carga asociada relacionadas con perplejos y agujeros. En su mayor parte, estas estrategias encuentran un uso restringido debido a impedimentos como una expansión localizada expansiva de la turbulencia, la falta de tiempo de permanencia y la turbulencia ampliamente variable debido a los cambios de corriente. (9).

- **Los coadyuvantes floculantes:** son aquellos productos químicos que se añaden a una solución desestabilizada para agilizar el crecimiento y fortalecer flóculos formados durante el proceso de floculación (26).

Hay dos etapas en el proceso de floculación: la primera, que recibe el nombre de floculación perikinética, surge de la agitación térmica. Además, aunque la barrera de energía potencial existente entre las partículas coloidales puede ser superada por la energía cinética térmica del movimiento browniano, a medida que las partículas se fusionan progresivamente, la magnitud de la barrera de energía aumenta aproximadamente proporcionalmente al área del témpano, de modo que eventualmente la floculación perikinética de tales partículas potencialmente repelentes deben cesar. La tasa de floculación o la tasa de disminución en el número de partículas de una suspensión debido a la floculación perikinética puede describirse mediante una ley de tasa de segundo orden. Por ejemplo, en agua turbia que contiene 106 partículas por ml, la concentración del número de partículas se reduciría a la mitad en un período de aproximadamente 6 días; siempre que todas las partículas estuvieran completamente desestabilizadas y las partículas no se volvieran demasiado grandes y estuvieran fuera del rango de movimiento browniano. La segunda etapa en el proceso de floculación recibe el nombre de floculación ortocinética y surge de la gradiente de velocidad llevado por un líquido. Tales gradientes pueden ser llevados con un líquido en movimiento por:

- Paso en torno de deflectores o agitación mecánica en un reactor de floculación.
- Donde los flóculos están suficientemente formados, por sedimentación dentro de una cuenca de sedimentación y así sucesivamente.
- **Floculadores:** Normalmente se colocan dos tipos de floculadores mecánicos:
  - Tipos de ruedas de paletas horizontales
  - Floculadores verticales.

Ambos tipos pueden proporcionar un rendimiento exitoso; aunque para floculadores verticales no se necesita mucho mantenimiento, ya que eliminan los cojinetes y empaquetaduras sumergidas. Los floculadores verticales pueden ser de tipo hélice, paleta o turbina. La mejor floculación generalmente se logra en más de una cubeta compartimentada en lugar de una cubeta de tamaño equivalente. Los compartimentos están separados por deflectores para evitar un cortocircuito del agua que se está tratando y para reducir el nivel de turbulencia en cada compartimento sucesivo reduciendo la velocidad de los agitadores o reduciendo el área de las paletas. A esto se le llama mezcla de energía cónica. La razón para reducir la velocidad de los agitadores es evitar que se rompan las partículas grandes de flóculos que ya se han formado. Romper el flóculo no logrará nada, reduce la eficiencia del asentamiento y sobrecargará los filtros porque no se asentarán tantos flóculos en la sedimentación (9).

### 2.2.1.9. El proceso de coagulación y floculación

La eficacia del sistema de coagulación-floculación depende de numerosos factores. Para el agua en específico, estos incorporan:

- Tipo de coagulante utilizado.
- Dosificaciones de coagulante.
- Último pH.
- Concentración de refuerzo de coagulación.
- Clasificación y medición de sustancias químicas añadidas distintas del coagulante esencial (por ejemplo, polielectrolitos, etc.).
- Agrupación de expansión química y holgura de tiempo para puntos de dosificación.
- Mezcla concentrada y término dentro de la etapa de mezcla rápida
- Tipo de dispositivo de mezcla rápida.
- Gradientes de velocidad conectados en medio del sistema de floculación.
- Tiempo de retención del floculador.
- Tipo de dispositivo de agitación a utilizar
- Geometría del floculador.

Para evaluar adecuadamente las condiciones óptimas para el proceso general, es necesario utilizar un procedimiento de prueba que mantenga secuencialmente cada parámetro constante mientras se determina el valor óptimo de un parámetro en particular (9).

El prerrequisito para tal serie de pruebas es, si es posible, analizar a fondo el agua y así identificar las impurezas que más requieren consideración. En muchos casos, las impurezas de mayor preocupación son el color y/o la turbidez, pero en otros, el fósforo residual, el hierro, los virus, etc. pueden ser el criterio rector. La aplicación particular, obviamente, decide la calidad del agua final deseada y, por tanto, la combinación de variables de coagulación-floculación más adecuada. En algunos casos, las pruebas deben realizarse en un agua o aguas residuales con características desconocidas. Aunque no es posible una estimación a priori del rango probable de variables de proceso en tales casos, el procedimiento de prueba sigue siendo esencialmente el mismo. Con algunas aplicaciones, la calidad final del efluente no es de mayor importancia; Un ejemplo es el acondicionamiento de lodos, donde la resistencia específica o el tiempo de succión capilar del lodo después del tratamiento es motivo de preocupación (9).

El aparato utilizado para evaluar el rendimiento de un coagulante primario particular es el aparato de prueba de jarra estándar. Consiste esencialmente en una rejilla de agitadores, accionada por un motor, bajo la cual se colocan vasos de precipitados de vidrio de 600 mL o

preferiblemente de 1 L. No se deben utilizar vasos de precipitados con una capacidad inferior a 600 mL, ya que pueden producirse resultados irreproducibles debido a las dificultades para añadir coagulantes o coagulantes con precisión. Además, cuando el criterio de prueba es la velocidad de asentamiento, se prefieren vasos altos de gran capacidad. Cuando se utilizan polielectrolitos como coagulantes primarios o coagulantes, las superficies internas de los vasos de precipitados sirven como sitios de adsorción para el polímero. El efecto se acentúa cuando se utilizan vasos de precipitados más pequeños y para aguas de baja turbidez donde el área de la superficie coloidal total puede ser del mismo orden de magnitud que el área de la superficie interior del vaso de precipitados. Por esta razón, se recomiendan vasos de precipitados de al menos un 1 % de capacidad (9).

#### **2.2.1.10. Procedimiento de prueba de tarro**

El procedimiento de prueba del frasco incluye los siguientes pasos:(9)

- Llene los soportes del analizador de la prueba de jarras con agua de prueba. Un soporte se utilizará como control, mientras que los otros 5 soportes se pueden equilibrar según las condiciones que se prueben. Por ejemplo, el pH de las botellas se puede equilibrar o se pueden incluir variedades de mediciones de coagulantes para decidir las condiciones de trabajo ideales.
- Agregue el coagulante a cada soporte y mezcle a aproximadamente 100 rpm por 1 minuto. La organización de mezcla rápida marca la diferencia del coagulante de dispersión en cada soporte.
- Apague las batidoras y deje que los recipientes se asienten durante 30 minutos a 45 minutos. Luego mida la turbidez final en cada recipiente.
- Disminuya la velocidad de perturbación de 25 rpm a 35 rpm y continúe licuando durante 15 minutos a 20 minutos. Esta velocidad de mezcla más lenta hace que la disposición de los flóculos avance la diferencia al mejorar las colisiones de moléculas que conducen a flóculos más grandes.
- A continuación, se representa gráficamente la turbidez residual frente a la dosis de coagulante y se determinan las condiciones óptimas. Los valores obtenidos a través de la exploración están relacionados y equilibrados para tener en cuenta el marco de tratamiento real.

#### **2.2.2. Definición de términos básicos**

- Agua: El agua se deriva de la palabra anglosajona y bajo alemán, *wáter*, que es una sustancia inodora, sin sabor e incolora que es vital para la humanidad (17).

- Distribución del agua: Es un recurso esencial abundante en el planeta y se encuentra en un 71 % de la superficie terrestre. El agua de esta tierra consiste en un 3% de agua dulce del suministro total de agua y se encuentra como agua superficial o subterránea, sin embargo, el 97 % como agua salada (19).
- Aguas residuales: Las aguas residuales domésticas son un subproducto del agua. Hay usos domésticos como bañarse, lavar platos, lavar la ropa y, por supuesto, tirar de la cadena del inodoro (17).
- Composición de las aguas residuales domésticas: Está formado por los desechos del cuerpo humano (estiércol y orina) y descargas de las actividades que realizan los seres humanos provenientes del lavado personal, la ropa, la alimentación y la limpieza de utensilios de cocina (21).
- Demanda química de oxígeno (DQO): Se obtiene mediante la oxidación de aguas residuales con un arreglo de dicromato corrosivo burbujeante. Este preparado oxida casi todos los compuestos naturales a CO<sub>2</sub> y agua, y la respuesta suele ser superior al 95 % en total. (21).
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>): es la proporción de oxígeno que se requiere para oxidar aguas residuales por parte de las bacterias (21).
- Carbón activado: se trata de un material carbonoso similar al carbón con una gran superficie. Los carbones activados en polvo y granulados son los dos tipos de carbones activados que se utilizan de forma diferente en los procedimientos de adsorción debido a sus diferentes características (8).
- Adsorción: es un procedimiento terciario de aguas residuales para el pulido de aguas parcialmente tratadas o aguas residuales antes de ser almacenadas o distribuidas para su consumo en el caso de agua potable, y para su descarga final en el caso de aguas residuales (22).
- Coagulación: Proceso que causa la desestabilización de una solución o suspensión, es decir el coagulante supera todo factor que provoca la estabilidad de la solución dada (26).
- Floculación: Es un proceso donde se da una gran aglomeración de partículas en suspensión o de una pequeña aglomeración ya formada como efecto de la coagulación mediante agitación o agitación suave se denomina floculación (27).

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Método y alcances de la investigación**

#### **3.1.1. Método de la investigación**

La metodología será cuantitativa, ya que Hernández Sampieri menciona que esta metodología brinda la posibilidad de ampliar los resultados, ofrece control sobre los fenómenos, así como un enfoque apoyado en conteos y magnitudes. También, proporciona una probabilidad de repetición y se enfoca en puntos específicos de tales fenómenos, por lo que facilita la comparación entre estudios semejantes .(28)

##### **3.1.1.1. Método general o teórico de la investigación**

Con respecto al método general, vamos a utilizar la estrategia especulativa - deductiva para disponer de la información que se requerirá para el procesamiento de los datos, vamos a analizar y comparar la evacuación de contaminantes físicos químicos de las aguas residuales residenciales a través del sistema de coagulación-floculación y adsorción. , por fin reduciremos los devenir para llegar a las conclusiones y comparar con teorías planteadas (28)

##### **3.1.1.2. Método específico de la investigación**

Con respecto al método específico se utilizó el método experimental puro ya que se manipulo nuestras variables independientes (dosis y tiempo) con el fin de obtener distintas eficiencias de eliminación de contaminantes que es nuestra variable dependiente.

#### **3.1.2. Alcances de la investigación**

##### **A. Tipo de investigación**

El tipo de plan será aplicativo debido a que se resolvió un problema, en este caso la eliminación de contaminantes de aguas residuales domésticas brindándole una solución eficiente al tratamiento de este tipo de aguas. Los procedimientos medibles apuntan a evaluar la victoria de la mediación en términos de: manejar, producir y afectar. (28)

##### **B. Nivel de investigación**

Nivel experimental, pues se basa en el control de factores en condiciones profundamente controladas (dosis y tiempo), duplicando un determinado fenómeno y observando el grado en

que la variable o factores incluidos y controlados generan un determinado impacto (reducción de contaminantes fisicoquímicos). (28)

### 3.2. Diseño de la Investigación

Se aplicó el diseño factorial ya que permite manipular dos o más variables independientes, donde incluyen dos o más niveles de presencia en cada una de las variables independientes, como en este caso la dosis y el tiempo, para así analizar experimentalmente el efecto que sobre las variables dependientes(28)

#### 3.2.1. Tipo de diseño de investigación.

El diseño de investigación será un diseño factorial ( $3^2$ ) es aquel en el que se examinan todas las combinaciones concebibles de niveles en cada ensayo total. En este caso se dice que se cruzan, mostrando el concepto de interacción. (28).

**Tabla 3. Matriz de combinaciones**

Pruebas	Variables independientes		Variable dependiente		
	pH	Dosis de cáscara de papa(g)	DQO	DBO <sub>5</sub>	SST
1	5	1			
2	5	1.5			
3	5	2			
4	6	1			
5	6	1.5			
6	6	2			
7	7	1			
8	7	1.5			
9	7	2			

### 3.3. Área de estudio

El trabajo se realizó dentro del centro de investigación de análisis ambiental que se encuentra dentro del territorio de Huancayo, las muestras se realizaron con el método probabilístico.

### **3.4. Población y muestra**

Para la población que se usó fue aguas residuales domésticas sintéticas las cuales se elaboraron en según lo mencionado por Almeida, Guacham y Guerrero en su estudio del año 2020, el cual fue preparado a partir de gelatina, almidón, azúcar, leche en polvo, jabón, entre otros, el procedimiento realizado se menciona en el punto 3.5.

Además la cantidad total preparada para toda la parte experimental fue de 10L, de la cual 1L estuvo destinada a la caracterización y inicial y 9L para la parte experimental de esta población obtenida se saco 1L de muestra para cada corrida experimental.

### **3.5. Procedimiento**

Síntesis de aguas residuales domésticas

De acuerdo a (5) y (29)

1. Se sintetizó las aguas residuales domésticas. La cual tendrá la composición de: gelatina ( $34 \text{ mg L}^{-1}$ ), almidón ( $100 \text{ mg L}^{-1}$ ), azúcar ( $171 \text{ mg L}^{-1}$ ), leche en polvo ( $200 \text{ mg L}^{-1}$ ), jabón ( $3 \text{ mg L}^{-1}$ ), fosfato ácido de potasio ( $44.5 \text{ mg L}^{-1}$ ), bicarbonato de sodio ( $150 \text{ mg L}^{-1}$ ), sulfato de amonio ( $74.2 \text{ mg L}^{-1}$ ) y sulfato de magnesio ( $3 \text{ mg L}^{-1}$ ). Todos los componentes se disolvieron mediante agitación magnética en 500 mL de agua caliente del grifo ( $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Posteriormente, se agregó agua potable para obtener 4.0 L de aguas residuales sintéticas. El agua residual doméstica sintética se preparó inmediatamente antes de realizar la parte experimental para preservar sus características.

Proceso de coagulación-floculación

1. Después de la síntesis de las aguas residuales se pasó a realizar el proceso de coagulación-floculación, donde se ajustará el pH a 7.5 por tratarse de un pH muy similar al de los recursos hídricos.
2. Luego se llevó los vasos de precipitación de 1 L al equipo de la prueba de jarras, donde se tomaron 600 mL de las aguas residuales domésticas.
3. Se dosificó con sulfato de aluminio en cantidades de 1 g, 1.5 g y 2 g para determinar la dosis óptima que remueve el máximo de DQO, DBO y SST de las aguas residuales domésticas, se eligió este coagulante debido a su alta disponibilidad, bajo costo además que

tiene gran rendimiento a pH 5 - pH 8 y no requiere adición de alcalinidad y coagulantes ayuda.

4. Se inició el proceso de coagulación haciendo la mezcla rápida durante 2 minutos a 150 rpm.
5. Terminado la coagulación se bajó la velocidad de agitación a 45 rpm por 15 minutos.
6. Luego se levantó las paletas de las pruebas de jarras y se dejaron sedimentar por 45 min.
7. Posteriormente, se recogió el sobrenadante para analizar la DQO, DBO y sólidos suspendidos totales (SST).

Proceso de adsorción

8. Los experimentos de adsorción se llevaron a cabo para investigar la influencia de la dosis de bioadsorción, el pH de la solución y el tiempo de contacto.
9. Se tomó 250 mL de agua residual doméstica pretratada, donde se adicione diferentes masas de adsorbente de 1 g, 1.5 g y 2 g.
10. Se modificó el pH de las aguas residuales domésticas pretratadas a valores de 5, 6 y 7 con NaOH al 0.1 M o HCl al 0.1 M. Sometiendo a 500 rpm por 1 hora.
11. Se tomó 250 mL de agua tratada para el análisis de DQO, DBO y SST. Antes dichas muestras serán filtrados por un papel filtro.

Gabinete:

- 1 Se manejan los datos obtenidos de los informes de las instalaciones de investigación, de las concentraciones de expulsión de DQO, DBO y SST.
- 2 Se realizó el análisis de regresión lineal múltiple para probar las teorías, asimismo se determinó su ecuación de regresión de los procesos para remover DQO, DBO<sub>5</sub> y SST.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos**

- Observación in situ.
- Desarrollo de corridas experimentales.
- Análisis de laboratorio

#### **3.6.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos**

- Monitoreo en laboratorio.
- Informes de los reportes de análisis.
- Resúmenes de trabajos de información

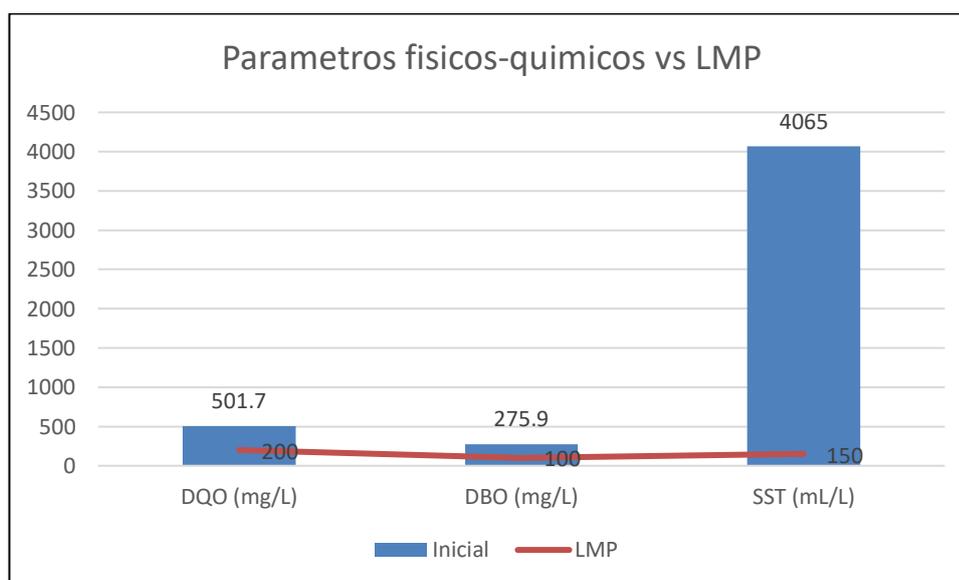
## CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos de la remoción de contaminantes fisicoquímicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio mediante un sistema de coagulación-floculación y adsorción. Se muestran tablas y figuras de las pruebas estudiadas.

#### 4.1.1. Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales domésticas

En la figura 2 se puede apreciar la caracterización inicial realizada por el laboratorio de análisis ambiental de los parámetros físicos-químicos de las aguas residuales domésticas, donde se tuvo un valor inicial de DQO de 501.7 mg/L, superando el LMP establecido en el DS 003-2010-MINAM de 200 mg/L para el DQO, de manera simultánea se tuvo un valor inicial de DBO<sub>5</sub> de 275.9 mg/L superando el LMP de 100 mg/L y para finalizar se tuvo un valor inicial de SST de 4065 mL/L superando por mucho el LMP de 150 mL/L.



**Figura 2. Parámetros iniciales del agua residual doméstica**

#### 4.1.2. Influencia del sistema de coagulación-floculación en la remoción de contaminantes fisicoquímicos

Para el sistema de coagulación-floculación se trabajó con un pH de 7.5 para todas las corridas experimentales, debido a que ese pH es similar al de los recursos hídricos, también se trabajó con cantidades de sulfato de aluminio de 1 g, 1.5 g y 2 g para determinar la dosis óptima que remueve el máximo de DQO, DBO y SST de las aguas residuales domésticas.

### Para la DQO

En la tabla 4 se muestra el tratamiento de las aguas residuales domésticas con el sistema de coagulación-floculación a diferentes dosis de sulfato de aluminio, donde a una dosis de 1.5 g se tuvo la mayor remoción de la DQO de un 58.56 % equivalente a 207.9 mg/L.

**Tabla 4. Remoción de DQO en el sistema de coagulación-floculación**

Dosis de sulfato de aluminio (g)	%R(DQO)	Concentración (mg/L)
1	51.60 %	242.8
1.5	58.56 %	207.9
2	56.29 %	219.3

### Para la DBO<sub>5</sub>

En la tabla 5 se muestra el tratamiento de las aguas residuales domésticas con el sistema de coagulación-floculación a diferentes dosis de sulfato de aluminio, donde a una dosis de 1.5 g se tuvo la mayor remoción de la DBO<sub>5</sub> de un 59.66 % equivalente a 111.3 mg/L.

**Tabla 5. Remoción de DBO<sub>5</sub> en el sistema de coagulación-floculación**

Dosis de sulfato de aluminio (g)	%R(DBO <sub>5</sub> )	Concentración (mg/L)
1	54.26 %	126.2
1.5	59.66 %	111.3
2	55.60 %	122.5

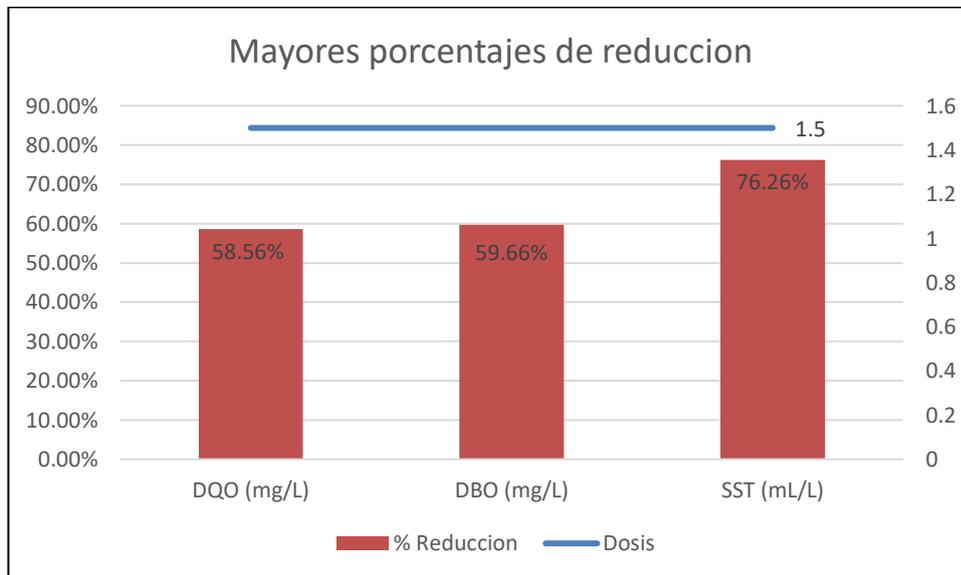
### Para SST

En la tabla 6 se muestra el tratamiento de las aguas residuales domésticas con el sistema de coagulación-floculación a diferentes dosis de sulfato de aluminio, donde a una dosis de 1.5 g se tuvo la mayor remoción de SST de un 76.26 % equivalente a 965 mL/L.

**Tabla 6. Remoción de SST en el sistema de coagulación-floculación**

Dosis de sulfato de aluminio (g)	%R(SST)	Concentración (mL/L)
1	44.65 %	2250
1.5	76.26 %	965
2	50.18 %	2025

En la figura 3 se muestra los mayores porcentajes obtenidos mediante el sistema de coagulación-floculación para la remoción de los parámetros físicos-químicos, donde a una cantidad de 1.5 g de sulfato de aluminio se tuvo los mejores resultados de DQO con 58.56 %, DBO<sub>5</sub> de 59.66 % y SST de 76.26 %. Con dichos resultados obtenidos se procedió a realizar el proceso de adsorción de las aguas residuales domésticas.



**Figura 3. Mayores porcentajes de remoción en el sistema de coagulación-floculación**

#### 4.1.3. Influencia del proceso de adsorción en la remoción de contaminantes físicos-químicos

Para poder observar la influencia del proceso de adsorción en la remoción de los contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas, se trabajó con variaciones de pH de 5, 6, 7 y dosis de cáscara de papa de 1 g, 1.5 g y 2 g.

##### Para la DQO

En la tabla 7 se observa los valores expresados en porcentajes obtenidos de la interacción del pH y la dosis de la cáscara de papa donde a un pH de 5 y una dosis de 2 g se tuvo la mayor

remoción de la DQO alcanzando un porcentaje de 84,01 %. Comparando con el sistema de coagulación-floculación y el proceso de adsorción se observó un aumento del 25.45 %.

**Tabla 7. Remoción de DQO en porcentaje con el proceso de adsorción**

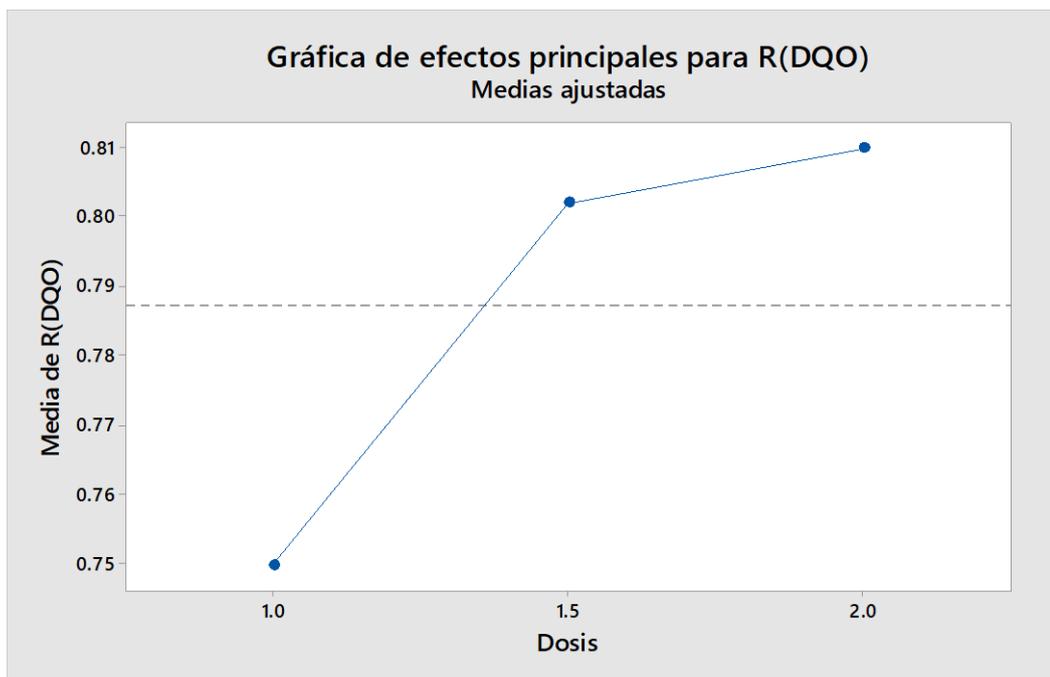
		Remoción de DQO			
		R-1	R-2	R-3	
pH	Dosis de cáscara de papa(g)	% R(DQO)	% R(DQO)	% R(DQO)	Promedio %
5	1	76.96 %	77.10 %	77.02 %	77.02 %
5	1.5	82.84 %	82.72 %	82.98 %	82.84 %
5	2	83.99 %	84.15 %	83.89 %	84.01 %
6	1	73.27 %	73.05 %	72.99 %	73.10 %
6	1.5	78.35 %	78.21 %	78.15 %	78.24 %
6	2	78.93 %	79.15 %	78.85 %	78.98 %
7	1	74.85 %	74.79 %	74.65 %	74.76 %
7	1.5	79.61 %	79.59 %	79.41 %	79.54 %
7	2	79.97 %	80.11 %	79.91 %	79.99 %

En la tabla 8 se observa los valores expresados en mg/L obtenidos de la interacción del pH y la dosis de la cáscara de papa donde a un pH de 5 y una dosis de 2 g se tuvo la mayor remoción de la DQO alcanzando un 80.2 mg/L. Comparando con el sistema de coagulación-floculación y el proceso de adsorción se observó una remoción de 127.7 mg/L.

**Tabla 8. Remoción de DQO en mg/L con el proceso de adsorción**

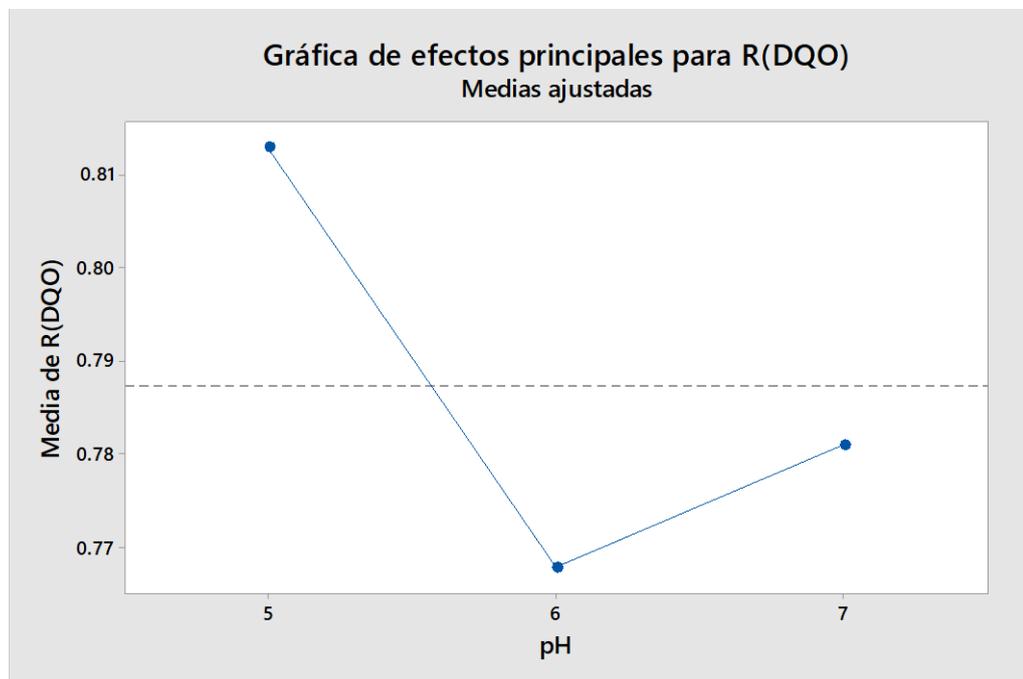
pH	Dosis cáscara de papa(g)	Remoción de DQO			Promedio mg/L
		R-1	R-2	R-3	
		R(DQO) mg/L	R(DQO) mg/L	R(DQO) mg/L	
5	1	115.6	114.9	115.3	115.3
5	1.5	86.1	86.7	85.4	86.1
5	2	80.3	79.5	80.8	80.2
6	1	134.1	135.2	135.5	134.9
6	1.5	108.6	109.3	109.6	109.2
6	2	105.7	104.6	106.1	105.5
7	1	126.2	126.5	127.2	126.6
7	1.5	102.3	102.4	103.3	102.7
7	2	100.5	99.8	100.8	100.4

En la figura 4 se observa la gráfica de efecto principal para la remoción de la DQO, en el cual a una dosis de 2 g de la cáscara de papa se tuvo la mayor remoción de DQO con un porcentaje de 80.2 %.



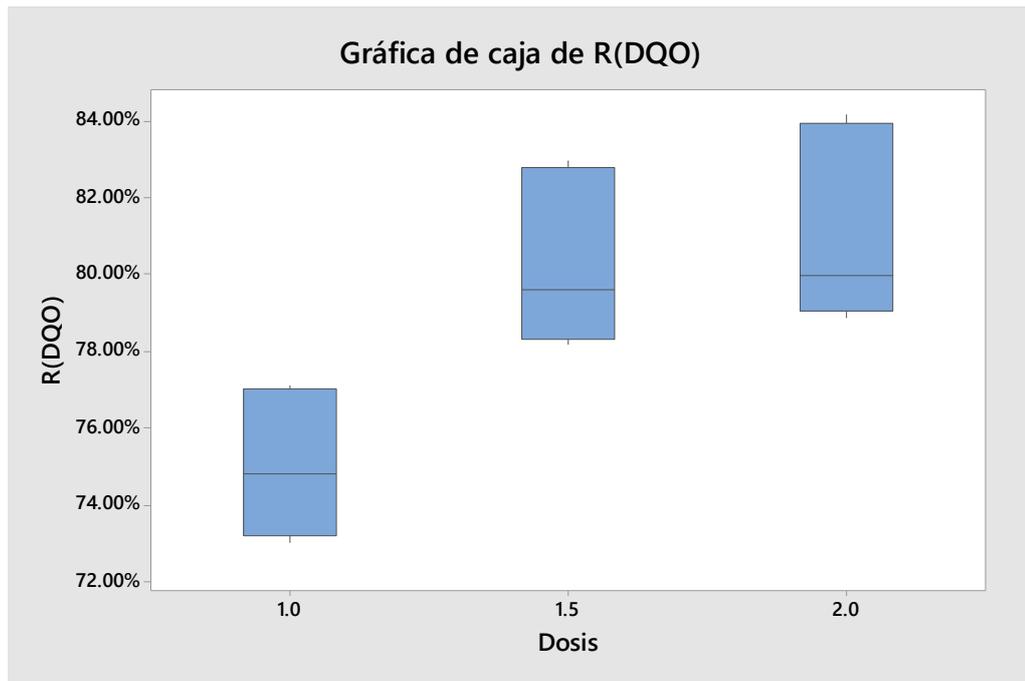
**Figura 4. Influencia de la dosis en la remoción de la DQO**

En la figura 5 se observa la gráfica de efecto principal para la remoción de la DQO, en el cual a un pH de 5 se tuvo la mayor remoción de DQO con un porcentaje de 81.29 %.



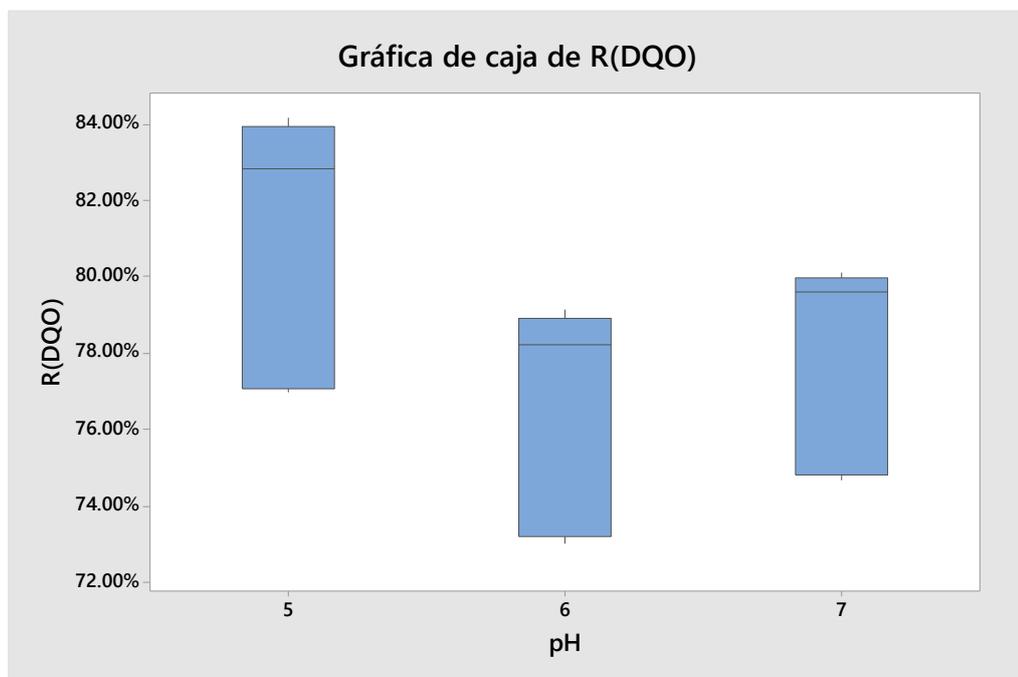
**Figura 5. Influencia del pH en la remoción de la DQO**

En la figura 6 se observa la gráfica de cajas para la dosis en la remoción de la DQO, en el cual a una dosis de 1 g se tiene un rango de remoción de la DQO de 73 % a 77 %, a una dosis de 1.5 g se tiene un rango de remoción de la DQO de 78.7 % a 82.7 % y a una dosis de 2 g se tiene un rango de remoción de la DQO de 79 % a 83.9 %.



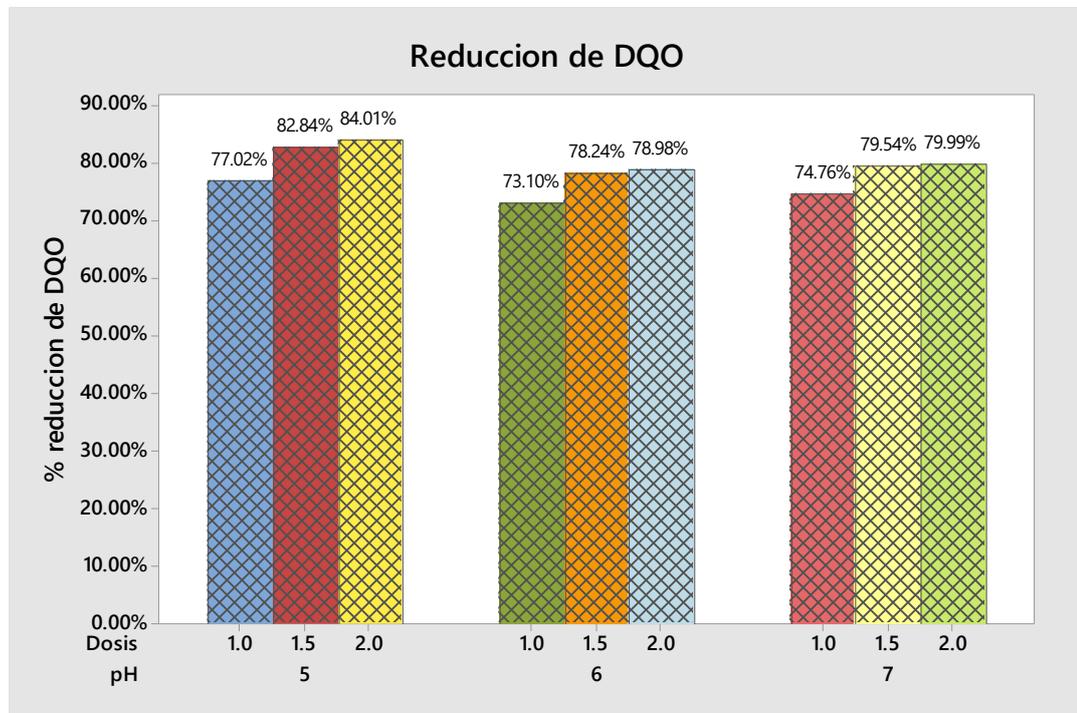
**Figura 6. Gráfica de cajas para la dosis en la remoción de la DQO**

En la figura 7 se observa la gráfica de cajas para el pH en la remoción de la DQO, en el cual a un pH de 5 se tiene un rango de remoción de la DQO de 77 % a 84 %, a un pH de 6 se tiene un rango de remoción de la DQO de 73 % a 79 % y a un pH de 7 tiene un rango de remoción de la DQO de 75 % a 79 %.



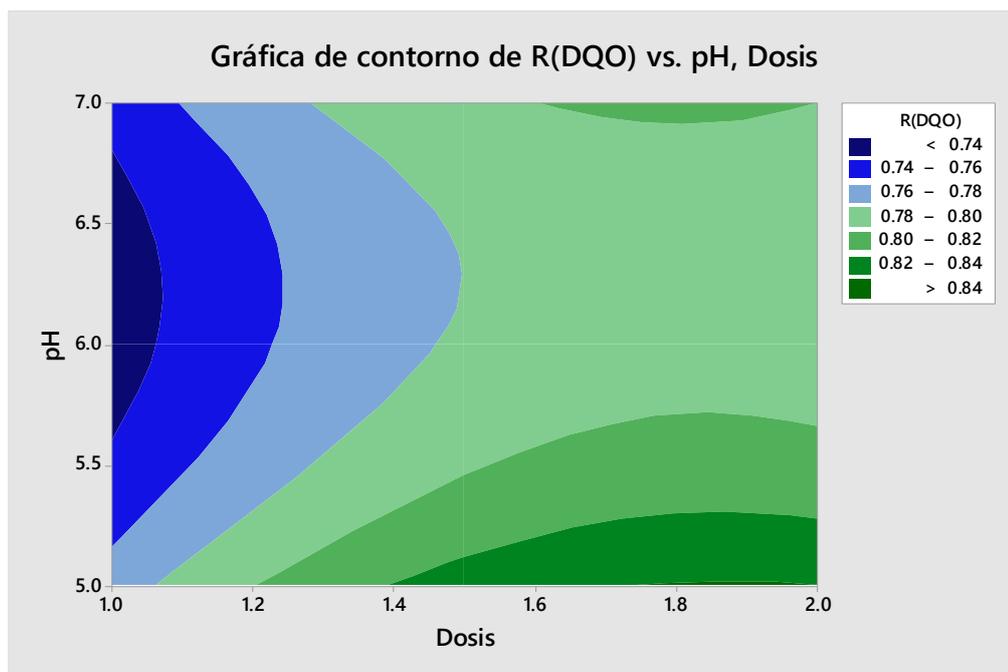
**Figura 7. Gráfica de cajas para el pH en la remoción de la DQO**

La figura 8 se observa la interacción del pH y la dosis del adsorbente en la remoción de la DQO con el proceso de adsorción de las aguas residuales domésticas, donde a un pH de 6 y una dosis de 1 g se tuvo la menor remoción de la DQO de un 73.1 %, pero a un pH de 5 y una dosis de 2 g se tuvo la mayor remoción de la DQO de un 84.01 %.



**Figura 8. Remoción de la DQO**

La figura 9 muestra la gráfica de contorno de la remoción de la DQO vs el pH y dosis, donde se visualiza que a un rango de pH de 5.6 a 6.6 y una dosis de 1 g a 1.1 g se tiene la menor remoción de la DQO, pero a un pH de 5 a 5.3 y una dosis de 1.8 g a 2 g se tiene la mayor remoción de la DQO.



**Figura 9. Gráfica de contorno de la remoción de la DQO**

**Para la DBO<sub>5</sub>**

En la tabla 9 se observa los valores expresados en porcentajes de la interacción del pH y la dosis de la cáscara de papa donde a un pH de 5 y una dosis de 2 g se consiguió la mayor remoción de la DBO<sub>5</sub> alcanzando un porcentaje de 85,59 %. Comparando con el sistema de coagulación-floculación y el proceso de adsorción se observó un aumento del 25.93 %.

**Tabla 9. Remoción de DBO<sub>5</sub> en porcentaje con el proceso de adsorción**

		Remoción de DBO <sub>5</sub>			Promedio %
		R-1	R-2	R-3	
pH	Dosis de cáscara papa(g)	% R(DBO <sub>5</sub> )	% R(DBO <sub>5</sub> )	% R(DBO <sub>5</sub> )	
5	1	78.76 %	79.05%	78.69%	78.83%
5	1.5	84.74 %	84.56%	84.41%	84.57%
5	2	85.57 %	85.43%	85.76%	85.59%
6	1	75.43 %	75.68%	75.32%	75.47%
6	1.5	79.96 %	79.81%	80.10%	79.96%

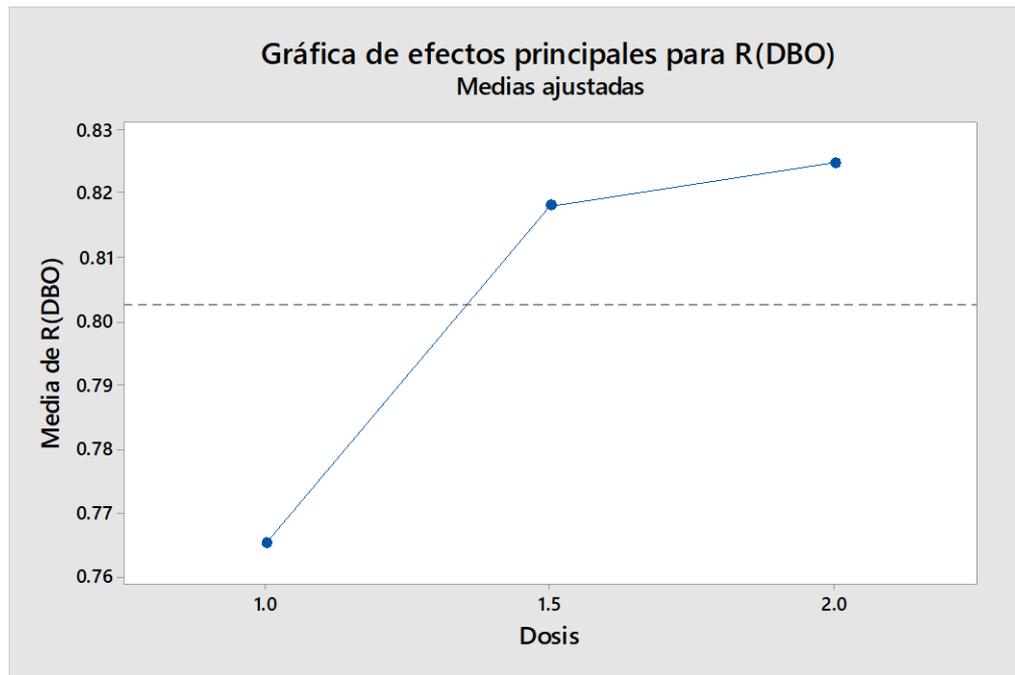
6	2	81.70 %	81.95%	81.81%	81.82%
7	1	75.21 %	75.32%	75.10%	75.21%
7	1.5	81.01 %	80.68%	80.94%	80.87%
7	2	80.03 %	80.07%	79.92%	80.00%

En la tabla 10 se observa los valores expresados en mg/L obtenidos de la interacción del pH y la dosis de la cáscara de papa donde a un pH de 5 y una dosis de 2 g se consiguió la mayor remoción de la DBO<sub>5</sub> alcanzando un 39.8 mg/L. Comparando con el sistema de coagulación-floculación y el proceso de adsorción se observó una remoción de 236.1 mg/L.

**Tabla 10. Remoción de DBO<sub>5</sub> en mg/L con el proceso de adsorción**

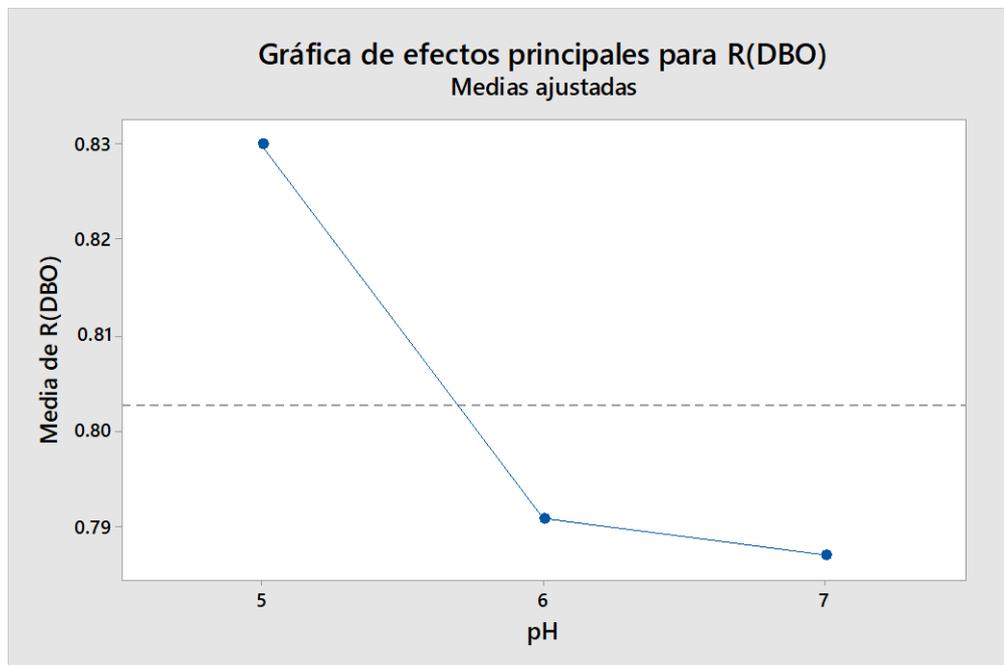
		Remoción de DQO			
		R-1	R-2	R-3	
pH	Dosis de cáscara de papa(g)	R(DBO <sub>5</sub> ) mg/L	R(DBO <sub>5</sub> ) mg/L	R(DBO <sub>5</sub> ) mg/L	Promedio mg/L
5	1	58.6	57.8	58.8	58.4
5	1.5	42.1	42.6	43	42.6
5	2	39.8	40.2	39.3	39.8
6	1	67.8	67.1	68.1	67.7
6	1.5	55.3	55.7	54.9	55.3
6	2	50.5	49.8	50.2	50.2
7	1	68.4	68.1	68.7	68.4
7	1.5	52.4	53.3	52.6	52.8
7	2	55.1	55	55.4	55.2

En la figura 10 se observa la gráfica de efecto principal para la remoción de la DBO<sub>5</sub>, donde a una dosis de la cáscara de papa de 2 g se tuvo la mayor remoción de DBO<sub>5</sub> con un porcentaje de 82.46 %.



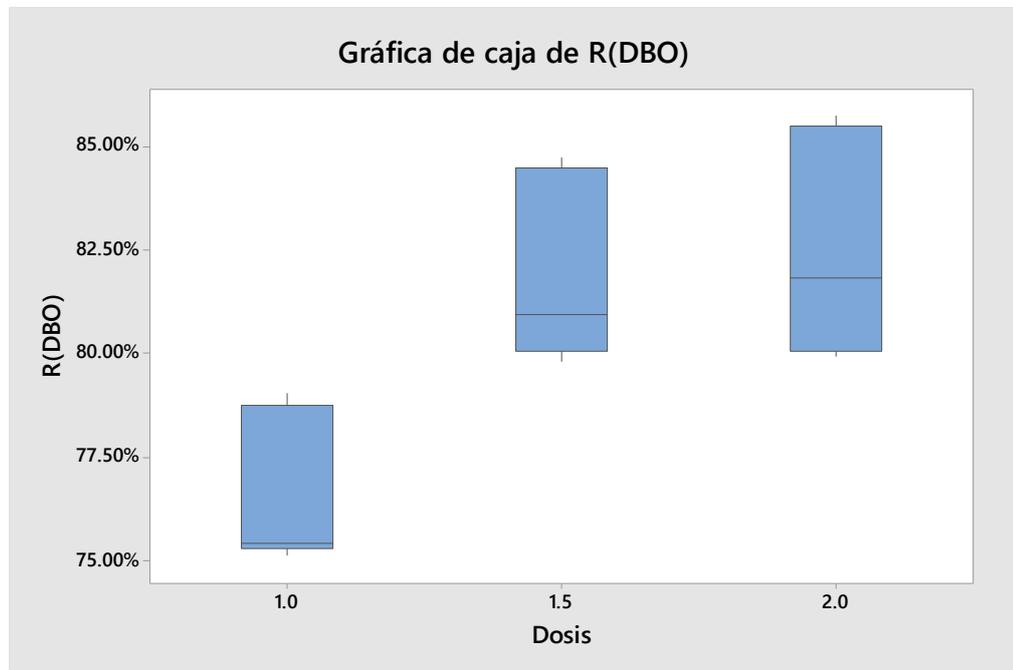
**Figura 10. Influencia de la dosis en la remoción de la DBO<sub>5</sub>**

En la figura 11 se observa la gráfica de efecto principal para la remoción de la DBO<sub>5</sub>, donde a un pH de 5 se tuvo la mayor remoción de DBO<sub>5</sub> con un porcentaje de 82.99 %.



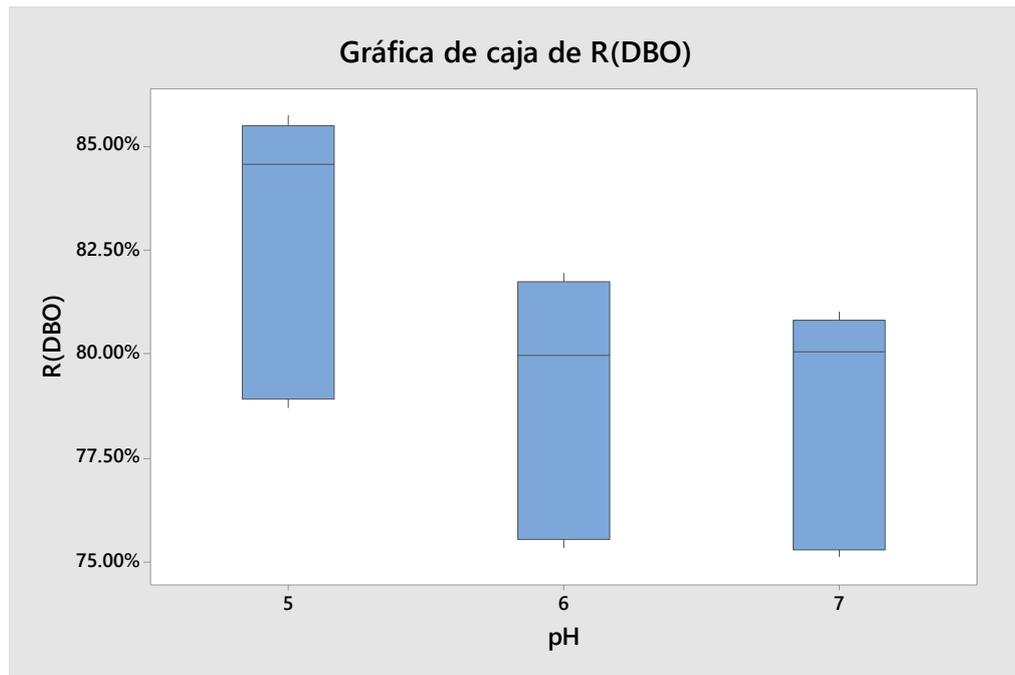
**Figura 11. Influencia del pH en la remoción de la DBO<sub>5</sub>**

En la figura 12 se observa la gráfica de cajas para la dosis en la remoción de la DBO<sub>5</sub>, donde a una dosis de 1 g se tiene un rango de remoción de la DBO<sub>5</sub> de 75 % a 78.4 %, a una dosis de 1.5 g se tiene un rango de remoción de la DBO<sub>5</sub> de 80 % a 84.4 % y a una dosis de 2 g se tiene un rango de remoción de la DBO<sub>5</sub> de 80.1 % a 85.5 %.



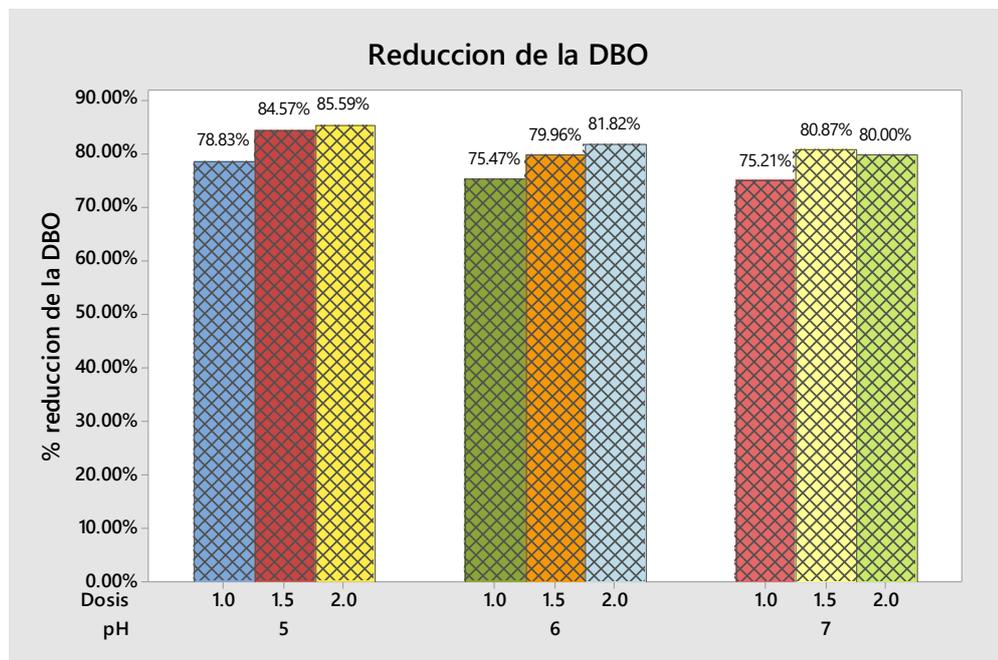
**Figura 12. Gráfica de cajas para la dosis en la remoción de la DBO<sub>5</sub>**

En la figura 13 se observa la gráfica de cajas para el pH en la remoción de la DBO<sub>5</sub>, donde a un pH de 5 se tiene un rango de remoción de la DBO<sub>5</sub> de 78 % a 85.5 %, a un pH de 6 se tiene un rango de remoción de la DBO<sub>5</sub> de 76 % a 82 % y a un pH de 7 tiene un rango de remoción de la DBO<sub>5</sub> de 75.3 % a 82 %.



**Figura 13. Gráfica de cajas para el pH en la remoción de la DBO<sub>5</sub>**

La figura 14 se observa la interacción del pH y la dosis del adsorbente en la remoción de la DBO<sub>5</sub> con el proceso de adsorción de las aguas residuales domésticas, donde a un pH de 7 y una dosis de 1 g se consiguió la menor remoción de la DBO<sub>5</sub> de un 75.21 %, pero a un pH de 5 y una dosis de 2 g se consiguió la mayor remoción de la DBO<sub>5</sub> de un 85.59 %.



**Figura 14. Remoción de la DBO<sub>5</sub>**

La figura 15 muestra la gráfica de contorno de remoción de la DBO<sub>5</sub> vs el pH y dosis, donde se visualiza que a un rango de pH de 5.9 a 7 y una dosis de 1 g a 1.1 g se tiene la menor remoción de la DBO<sub>5</sub>, pero a un pH de 5 a 5.3 y una dosis de 1.8 g a 2 g se tiene la mayor remoción de la DBO<sub>5</sub>.

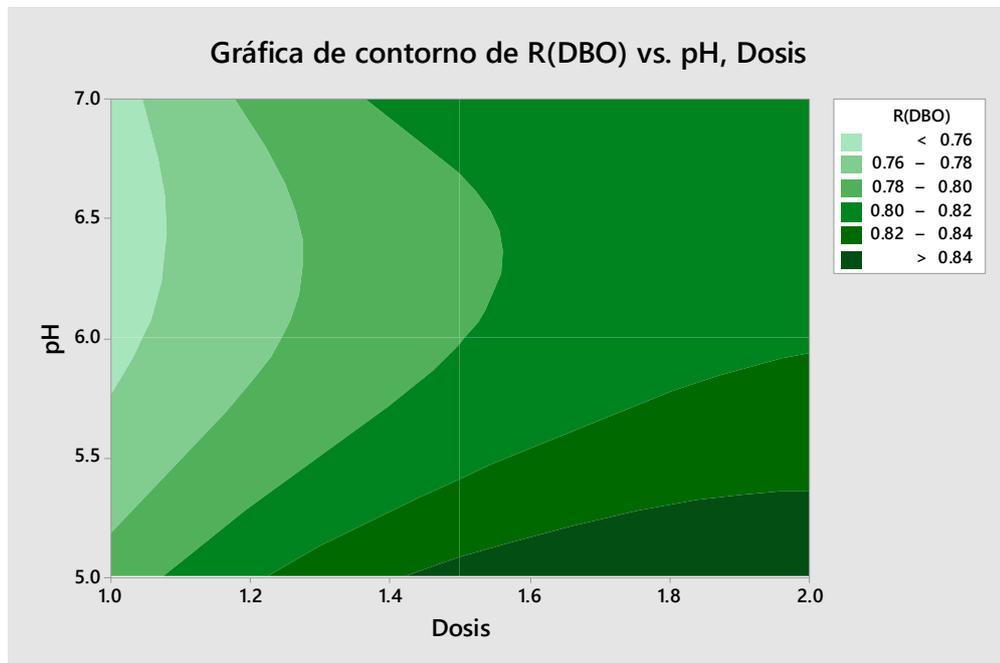


Figura 15. Gráfica de contorno de la remoción de la DBO<sub>5</sub>

### Para SST

En la tabla 11 tenemos los valores expresados en porcentajes de la interacción del pH y la dosis de la cáscara de papa donde a un pH de 5 y una dosis de 2 g se tuvo la mayor remoción de los SST alcanzando un porcentaje de 97,84 %. Comparando con el sistema de coagulación-floculación y el proceso de adsorción se observó un aumento del 21.58 %.

**Tabla 11. Remoción de SST en porcentaje con el proceso de adsorción**

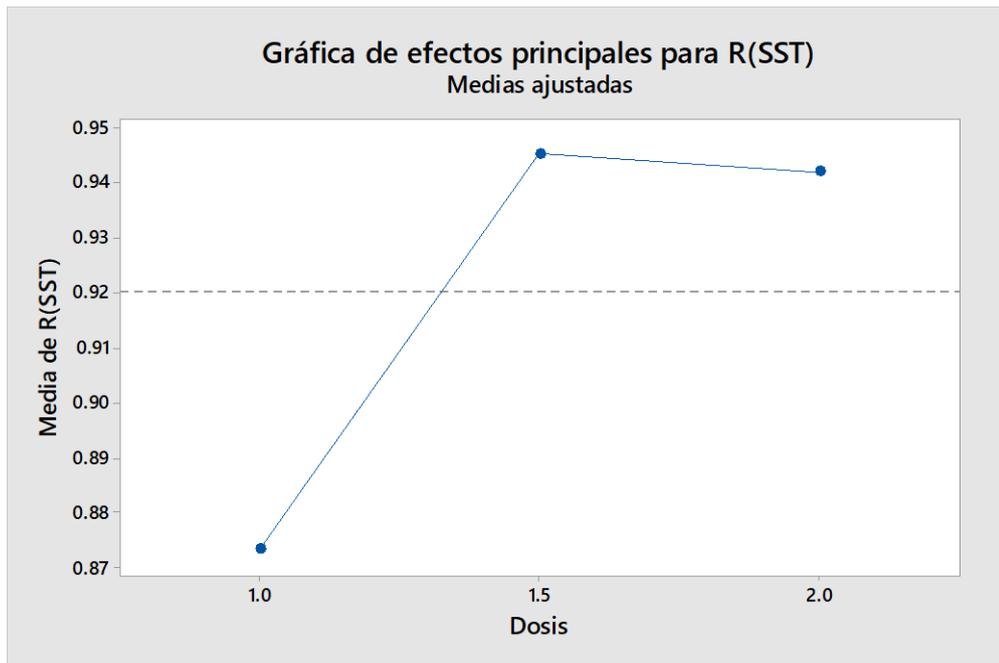
<b>Remoción de DQO</b>					
<b>R-1</b>					
<b>R-2</b>					
<b>R-3</b>					
<b>pH</b>	<b>Dosis de cáscara de papa(g)</b>	<b>% R(SST)</b>	<b>% R(SST)</b>	<b>% R(SST)</b>	<b>Promedio %</b>
5	1	93.75%	93.73%	93.74%	93.74%
5	1.5	95.87%	95.85%	95.83%	95.85%
5	2	97.84%	97.82%	97.85%	97.84%
6	1	87.48%	87.44%	87.45%	87.46%
6	1.5	95.28%	95.26%	95.28%	95.27%
6	2	94.74%	94.72%	94.72%	94.72%
7	1	80.76%	80.72%	80.75%	80.74%
7	1.5	92.47%	92.48%	92.47%	92.47%
7	2	90.04%	90.01%	90.02%	90.02%

En la tabla 12 se observa los valores expresados en mL/L obtenidos de la interacción del pH y la dosis de la cáscara de papa donde a un pH de 5 y una dosis de 2 g se tuvo la mayor remoción de los SST alcanzando un 87.9 mL/L. Comparando con el sistema de coagulación-floculación y el proceso de adsorción se observó una remoción de 3 977.1 mL/L.

**Tabla 12. Remoción de SST en mg/L con el proceso de adsorción**

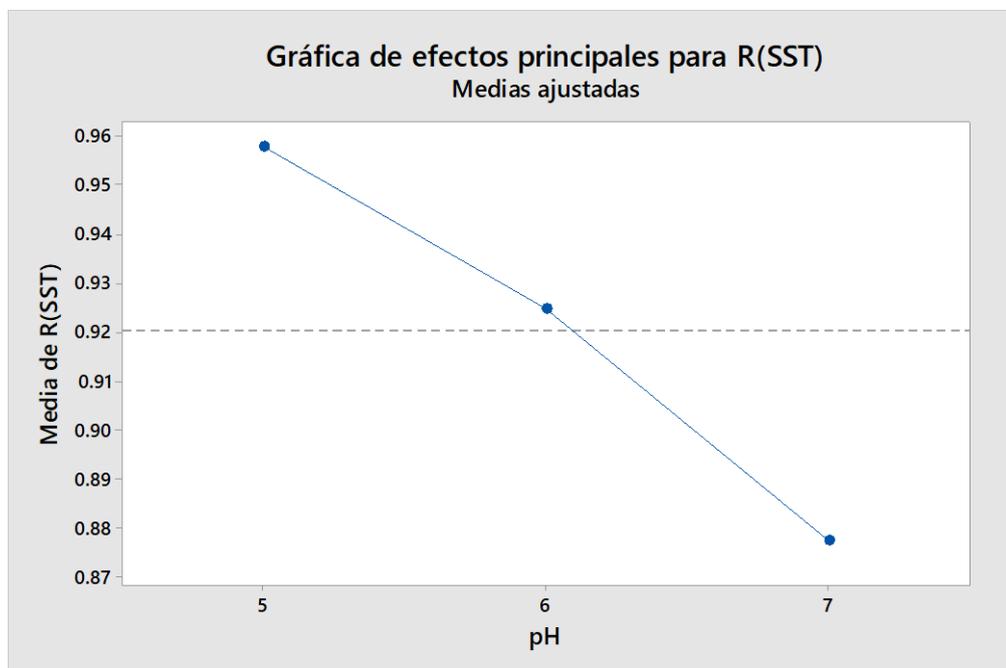
Remoción de DQO						
R-1						
R-2						
R-3						
pH	Dosis cáscara de papa(g)	R(SST) mL/L	R(SST) mL/L	R(SST) mL/L	Promedio mL/L	
5	1	254	255	254.3	254.4	
5	1.5	168	168.9	169.4	168.8	
5	2	88	88.5	87.2	87.9	
6	1	509	510.4	510.3	509.9	
6	1.5	192	192.5	191.9	192.1	
6	2	214	214.6	214.8	214.5	
7	1	782	783.7	782.5	782.7	
7	1.5	306	305.8	306.2	306.0	
7	2	405	406.1	405.6	405.6	

En la figura 16 se observa la gráfica de efecto principal para la remoción de los SST, en el cual a una dosis de 2 g de cáscara de papa se tuvo la mayor remoción de los SST con un porcentaje de 94.1 %.



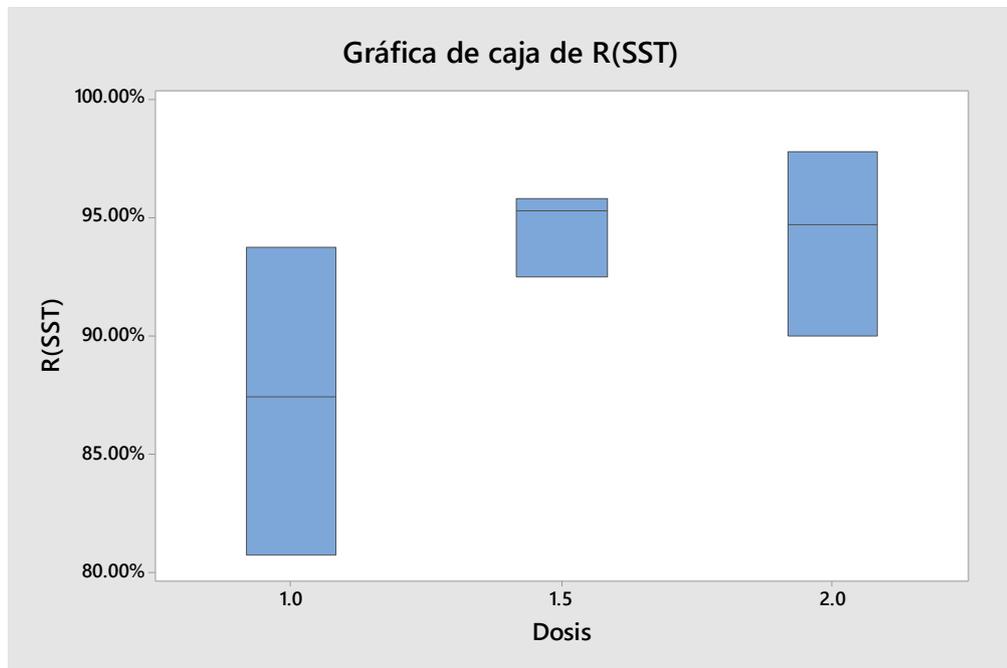
**Figura 16. Influencia de la dosis en la remoción de la SST**

En la figura 17 se observa la gráfica de efecto principal para la remoción de los SST, en el cual a un pH de 5 se tuvo la mayor remoción de los SST con un porcentaje de 95.8 %.



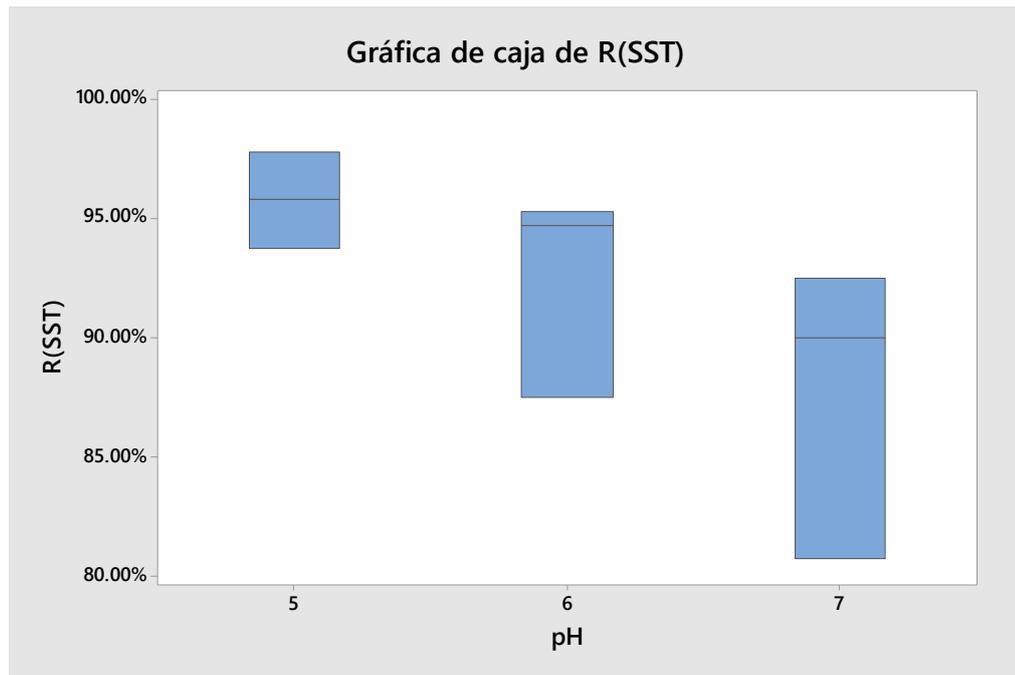
**Figura 17. Influencia del pH en la remoción de los SST**

En la figura 18 se observa la gráfica de cajas para la dosis en la remoción de la SST, en el cual a una dosis de 1 g se tiene un rango de remoción de los SST de 81 % a 94 %, a una dosis de 1.5 g se tiene un rango de remoción de los SST de 93 % a 96 % y a una dosis de 2 g se tiene un rango de remoción de los SST de 90 % a 97 %.



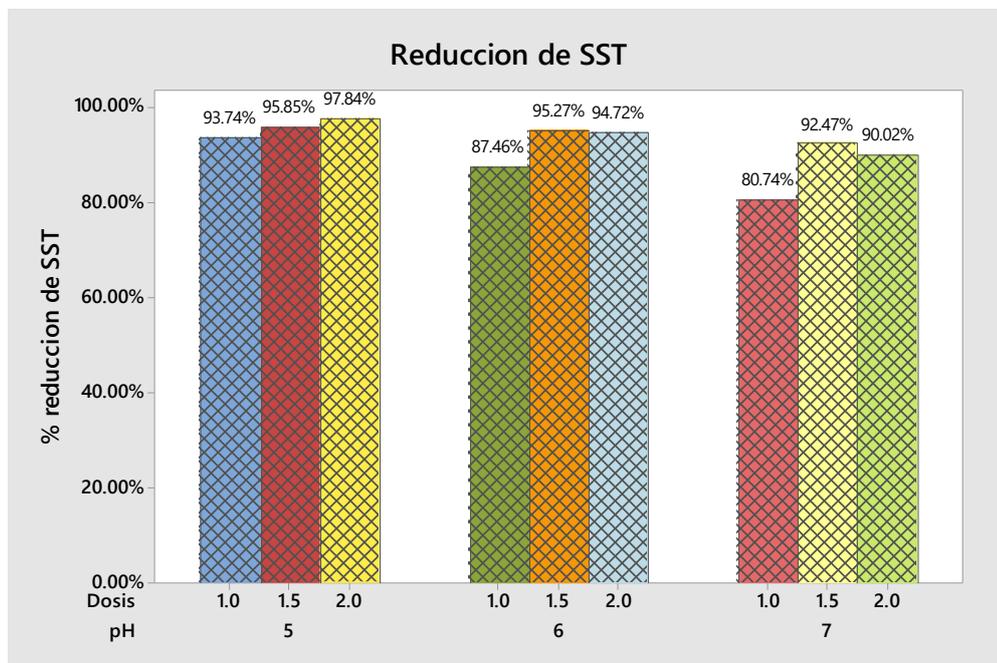
**Figura 18. Gráfica de cajas para la dosis en la remoción de los SST**

En la figura 19 se observa la gráfica de cajas para el pH en la remoción de los SST, en el cual a un pH de 5 se tiene un rango de remoción de los SST de 93 % a 97 %, a un pH de 6 se tiene un rango de remoción de los SST de 87 % a 95 % y a un pH de 7 tiene un rango de remoción de los SST de 80 % a 92 %.



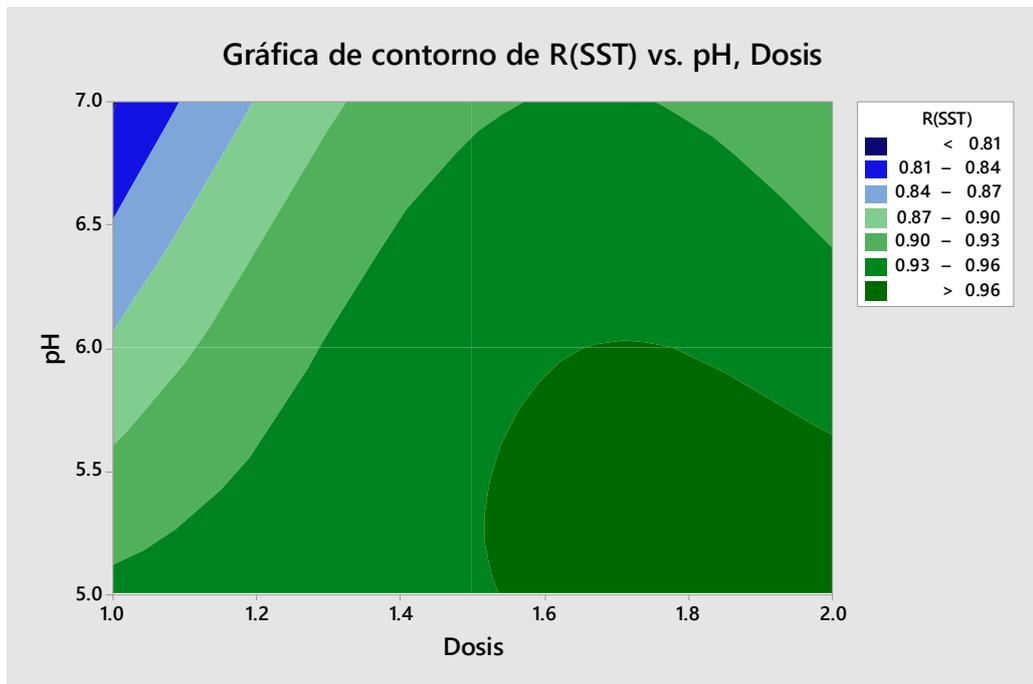
**Figura 19. Gráfica de cajas para el pH en la remoción de los SST**

La figura 20 se observa la interacción del pH y la dosis del adsorbente en la remoción de los SST con el proceso de adsorción de las aguas residuales domésticas, donde a un pH de 7 y una dosis de 1 g se tuvo la menor remoción de los SST de un 80.74 %, pero a un pH de 5 y una dosis de 2 g se tuvo la mayor remoción de los SST de un 97.84 %.



**Figura 20. Remoción de los SST**

La figura 21 se observa la gráfica de contorno de la remoción de los SST vs el pH y dosis, donde se visualiza que a un rango de pH de 6.6 a 7 y una dosis de 1 g a 1.1 g se tiene la menor remoción de los SST, pero a un pH de 5 y una dosis de 1.8 g a 2 g se tiene la mayor remoción de los SST.

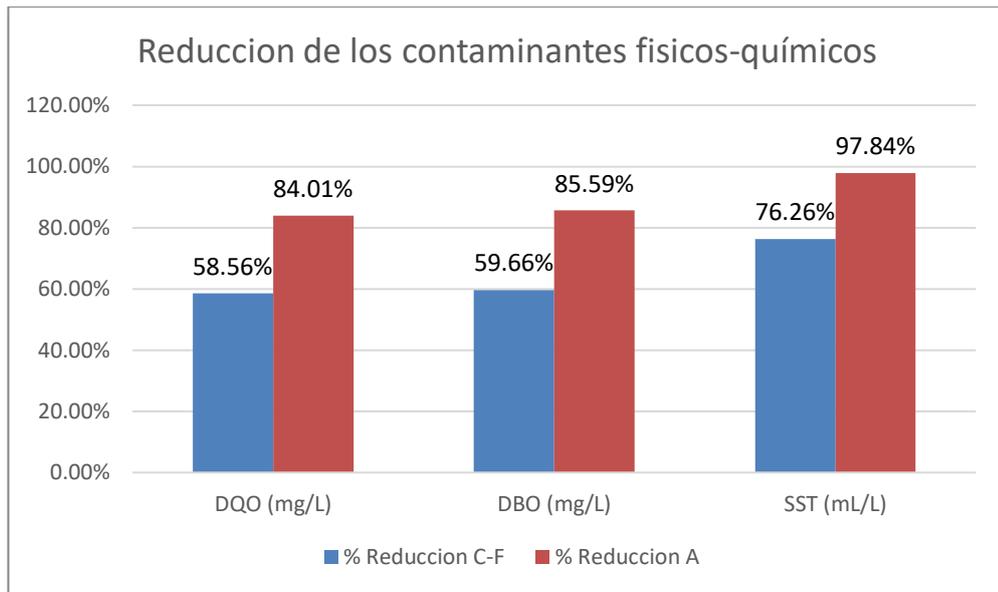


**Figura 21. Gráfica de contorno de la remoción de los SST**

#### **4.1.4. Efecto del sistema de coagulación-floculación y adsorción en la remoción de contaminantes fisicoquímicos**

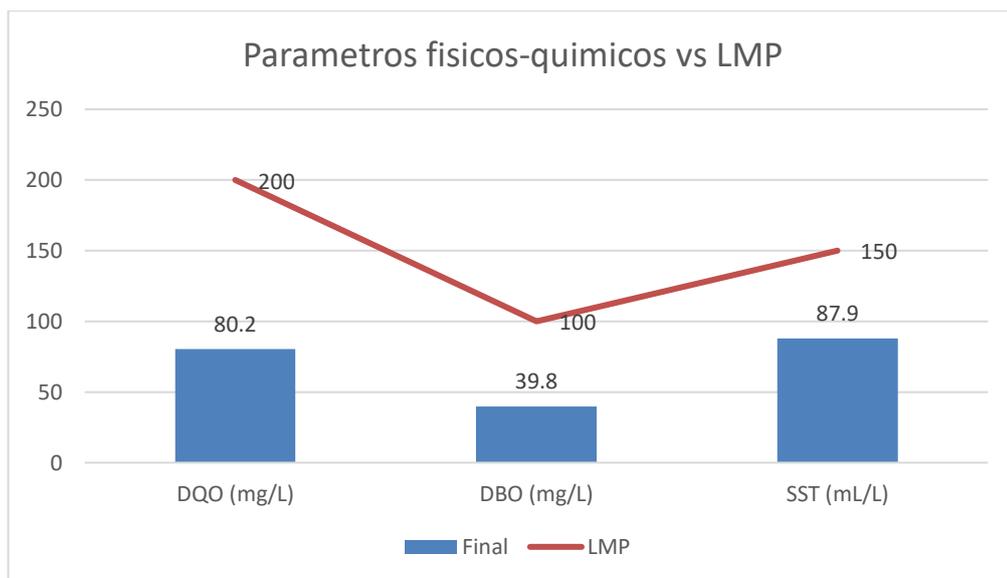
En el sistema de coagulación-floculación y adsorción en la remoción de contaminantes fisicoquímicos en aguas residuales domésticas se obtuvo resultados por debajo de los LMP.

En la figura 22 se muestra cómo hay una mejora en la remoción de los contaminantes fisicoquímicos mediante el sistema de coagulación-floculación y adsorción, donde en el sistema de coagulación-floculación se tuvo las mayores reducciones de DQO, DBO<sub>5</sub> y SST de 58.56 %, 59.66 % y 76.26 % respectivamente. Y con el proceso de adsorción se llegó a reducciones de 84.01 %, 85.59 % y 97.84 % de DQO, DBO<sub>5</sub> y SST respectivamente.



**Figura 22. Remoción de los contaminantes físicos-químicos**

En la figura 23 se puede apreciar la caracterización final realizada por el laboratorio de análisis ambiental de los parámetros físicos-químicos de las aguas residuales domésticas, donde se tuvo un valor final de DQO de 80.2 mg/L, que está por debajo del LMP establecido en el DS 003-2010-MINAM de 200 mg/L para el DQO, de manera simultánea se tuvo un valor final de DBO<sub>5</sub> de 39.8 mg/L que está por debajo del LMP de 100 mg/L y para finalizar se tuvo un valor final de SST de 87.9 mL/L que está por debajo del LMP de 150 mL/L



**Figura 23. Parámetros iniciales del agua residual doméstica**

## 4.2. Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis se realizó en el programa MINITAB V 18, en el que se hizo el diseño factorial de diferentes niveles y se analizó mediante un análisis de regresión lineal múltiple, en ese momento se realizó la gráfica de Pareto para observar los impactos estandarizados, la t de student para poder decidir si existe diferencia crítica de los significados de dos grupos y finalmente una prueba de tipicidad para los residuos, para reconocer si nuestros datos obtenidos vienen de una población normal sin mostrar datos atípicos.

### 4.2.1. Hipótesis específicas

#### 4.2.1.1. Primera hipótesis específica

$H_0$  = Las características físico-químicas que se encuentran presentes en las aguas residuales domésticas no superan los límites máximos establecidos por el DS. 003-2010-MINAM.

$H_1$  = Las características físico-químicas que se encuentran presentes en las aguas residuales domésticas superan los límites máximos establecidos por el DS. 003-2010-MINAM.

T de una muestra para DQO

**Tabla 13. Estadística descriptiva para DQO**

N	Media	Desv.Est	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
1	501.700	0.050	0.035	501.477

$\mu$ : media de una Muestra

Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 200$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu > 200$

Valor T	Valor p
8533.36	0.000

T de una muestra para  $DBO_5$

**Tabla 14. Estadística descriptiva para  $DBO_5$**

<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est</b>	<b>Error estándar de la media</b>	<b>Límite inferior de 95% para <math>\mu</math></b>
1	275.900	0.050	0.035	275.677

$\mu$ : media de una Muestra

Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 100$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu > 100$

<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>
4975.20	0.000

T de una muestra para los SST

**Tabla 15. Estadística descriptiva para SST**

<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est</b>	<b>Error estándar de la media</b>	<b>Límite inferior de 95% para <math>\mu</math></b>
1	4065.00	0.05	0.04	4064.78

$\mu$ : media de una Muestra

Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 150$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu > 150$

<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>
110732.92	0.000

Las pruebas de t-student realizadas para poder contrastar nuestra primera hipótesis específica, nos permite establecer si existe diferencia significativa entre las medias de dos grupos, en este caso de la caracterización inicial realiza a las aguas residuales domésticas y los LMP según el DS 003-2010-MINAM. El t-student muestra un valor de p de 0.000 para DQO, DBO<sub>5</sub> y SST, siendo un valor menor al de significancia de 0.05, es por ello que, rechazamos la hipótesis nula

y aceptamos la hipótesis alterna, afirmando que las características físicos-químicos que se encuentran presentes en las aguas residuales domésticas superan los límites máximos establecidos por el DS. 003-2010-MINAM.

#### 4.2.1.2. Segunda hipótesis específica

$H_0$  = Un sistema de coagulación-floculación no muestra una influencia significativa en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio

$H_2$  = Un sistema de coagulación-floculación muestra una influencia significativa en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio.

Análisis de la varianza

La tabla 16 muestra el análisis de regresión lineal múltiple el cual nos permite establecer si se rechaza la hipótesis nula o se acepta la hipótesis alterna. En este caso se puede observar un valor de p de 0,971, siendo un valor mayor al de significancia de 0.05. Por lo que se acepta la hipótesis nula, un sistema de coagulación-floculación no muestra una influencia significativa en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio.

**Tabla 16. Análisis de regresión lineal múltiple para el sistema coagulación – flotación**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Regresión	3	0.002606	0.000869	0.07	0.971
Dosis	1	0.002235	0.002235	0.19	0.681
Resultados	2	0.000371	0.000185	0.02	0.984
Error	5	0.058873	0.011775		
Total	8	0.061479			

Asimismo, se puede observar las ecuaciones de regresión lineal múltiple para los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub> y SST en la tabla 17:

**Tabla 17. Ecuación de regresión**

<b>Resultados</b>					
DQO	% REMOCIÓN	=	0.497 + 0.0386 Dosis		
DBO	% REMOCIÓN	=	0.507 + 0.0386 Dosis		
SST	% REMOCIÓN	=	0.512 + 0.0386 Dosis		

#### 4.2.1.3. Tercera hipótesis específica

$H_0$  = El proceso de adsorción no muestra una influencia significativa en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio.

$H_3$  = El proceso de adsorción muestra una influencia significativa en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio

#### Para la DQO

Análisis de regresión lineal múltiple

La tabla 18 muestra el análisis de regresión lineal múltiple el cual nos permite establecer si se rechaza la hipótesis nula o se acepta la hipótesis alterna. En este caso se puede observar un valor de p de 0.001 para el pH y un valor de p de 0,000 para dosis, siendo valores menores al de significancia de 0.05 por lo que se determina que ambas variables influyen significativamente en la remoción de DQO.

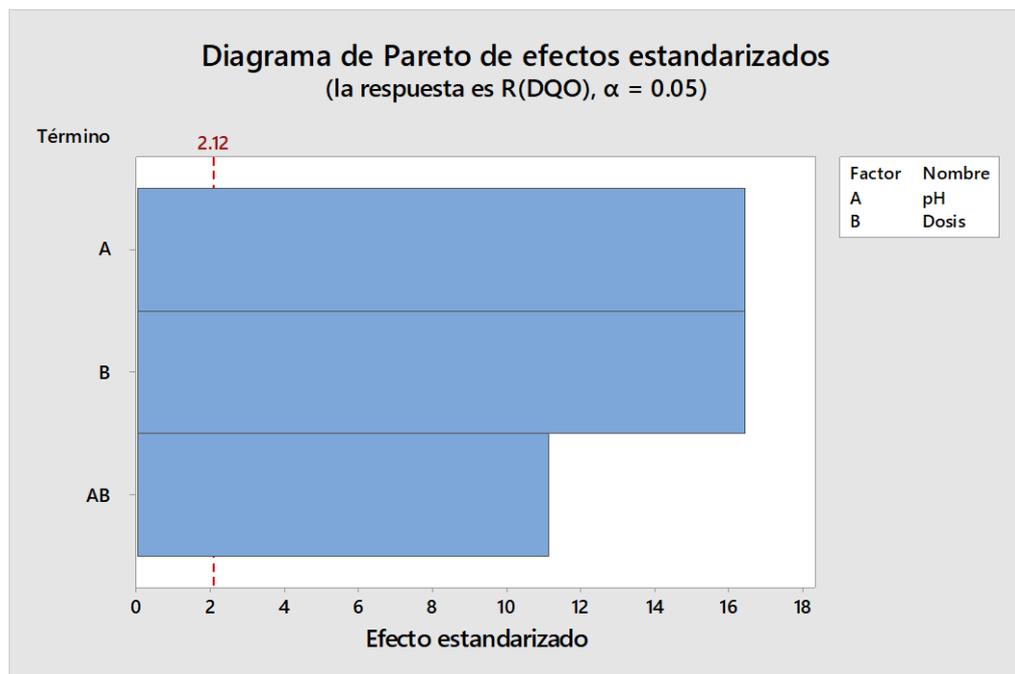
**Tabla 18. Análisis de regresión lineal múltiple para DQO**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Regresión	2	0.020980	0.010490	30.10	0.000
Ph	1	0.004602	0.004602	13.21	0.001
Dosis	1	0.016378	0.016378	47.00	0.000
Error	24	0.008363	0.000348		
Falta de ajuste	6	0.008338	0.001390	978.64	0.000
Error puro	18	0.000026	0.000001		
Total	26	0.029343			

Asimismo, de determino mediante el software Minitab V18 la ecuación de regresión para DQO siendo ella:

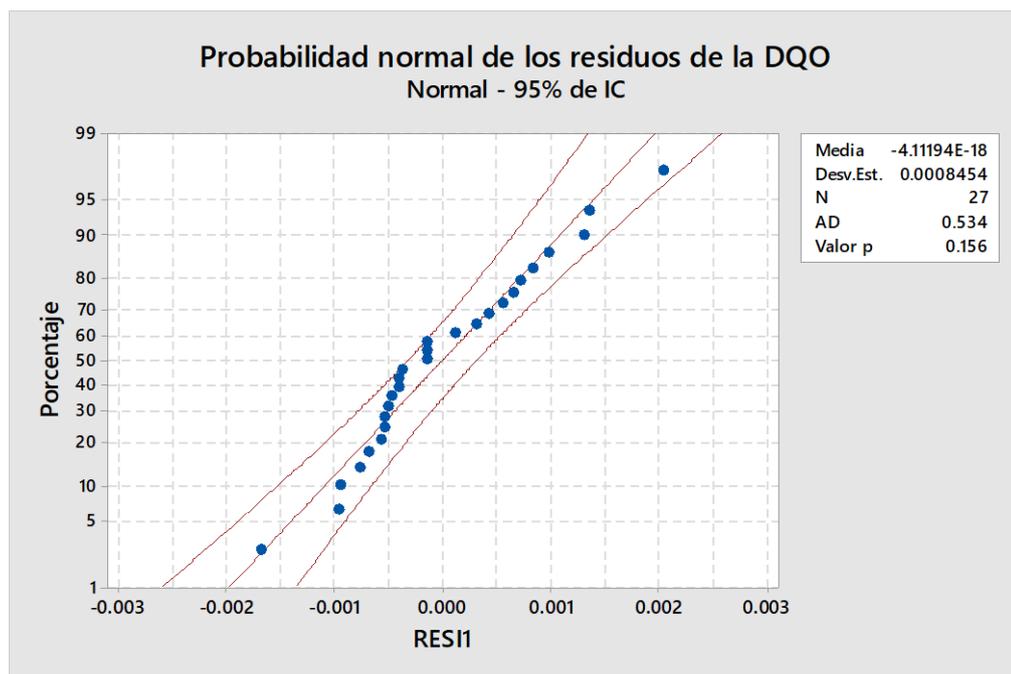
$$\text{DQO} = 0.7927 - 0.01599 \text{ pH} + 0.06033 \text{ Dosis}$$

La figura 24 se describe los efectos estandarizados de los factores A (pH), B (dosis) y AB (pH y dosis), donde todos los factores muestran un efecto sobre el proceso, ya sea en el sistema de coagulación-floculación que solo se trabajó con dosis o en el proceso de adsorción que se trabajó con la interacción del pH y dosis, todos ellos muestran una influencia significativa.



**Figura 24. Diagrama de Pareto para la DQO**

La figura 25 nos muestra la probabilidad normal de los residuos de la DQO, en el cual se tiene un valor de p de 0.156, siendo un valor superior al de significancia de 0.05, afirmando así que todos los datos analizados provienen de una población normal.



**Figura 25. Probabilidad normal de los residuos de la DQO**

**Para la DBO<sub>5</sub>**

Análisis de regresión lineal múltiple

La tabla 19 muestra el análisis de regresión lineal múltiple el cual nos permite establecer si se rechaza la hipótesis nula o se acepta la hipótesis alterna. En este caso se puede observar un valor de p de 0.000 tanto para el pH y dosis, siendo un valor menor al de significancia de 0.05 por lo que se establece que ambas variables influyen significativamente en la remoción de DBO<sub>5</sub>.

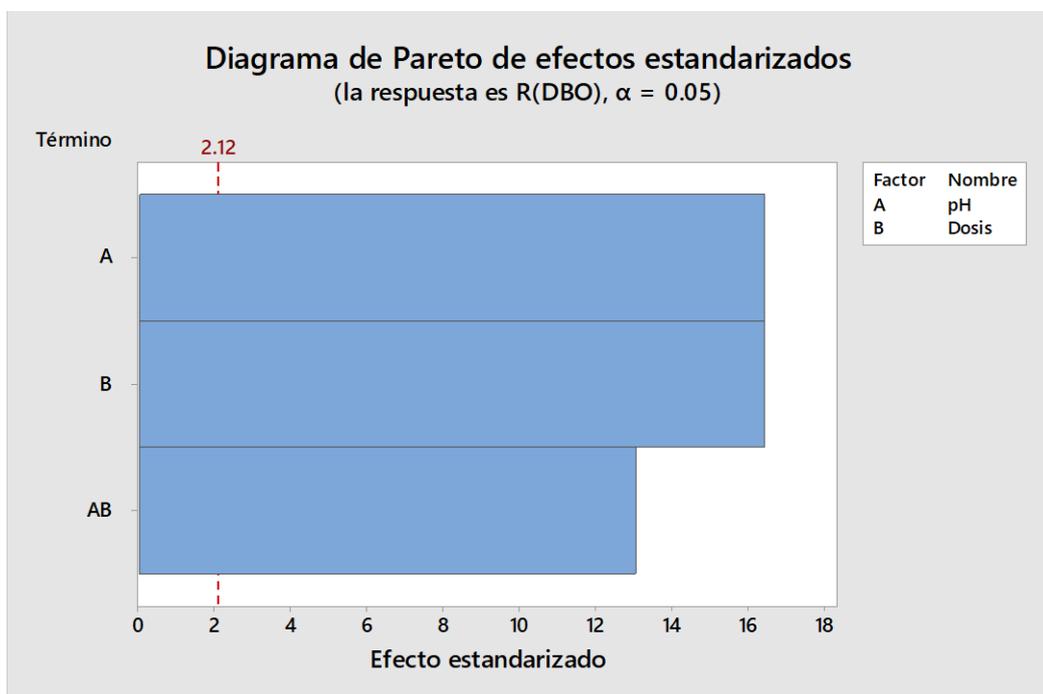
**Tabla 19. Análisis de regresión lineal múltiple para DBO<sub>5</sub>**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	2	0.024333	0.012166	50.14	0.000
pH	1	0.008325	0.008325	34.31	0.000
Dosis	1	0.016008	0.016008	65.97	0.000
Error	24	0.005824	0.000243		
Falta de ajuste	6	0.005782	0.000964	415.21	0.000
Error puro	18	0.000042	0.000002		
Total	26	0.030156			

Asimismo, de determino mediante el software Minitab V18 la ecuación de regresión para  $DBO_5$  siendo ella:

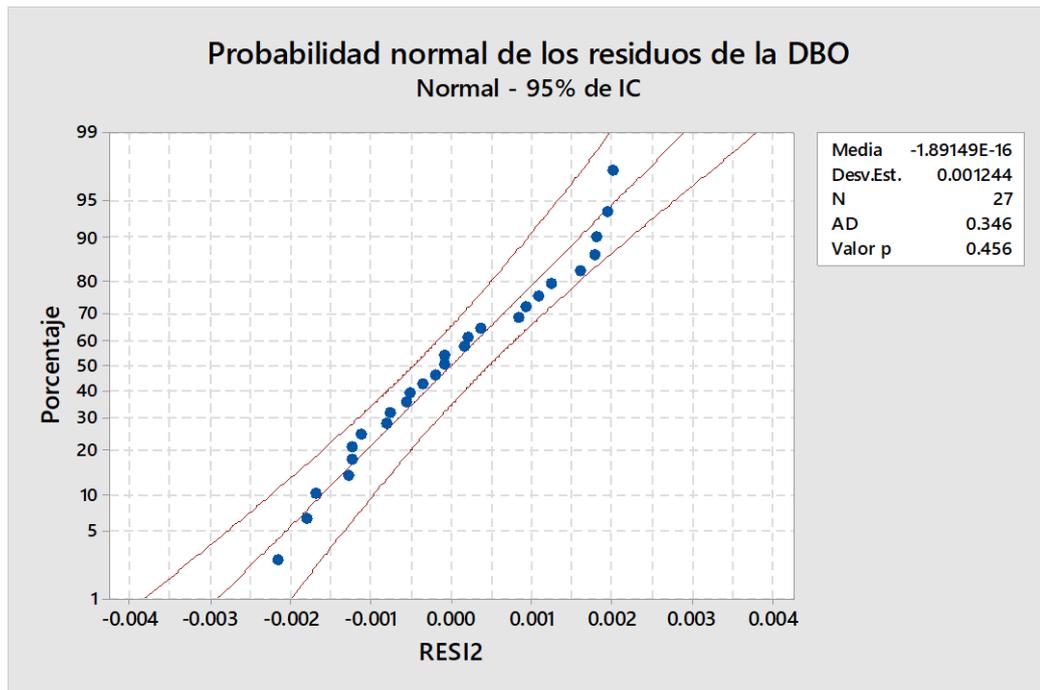
$$DBO_5 = 0.8422 - 0.02151 \text{ pH} + 0.05964 \text{ Dosis}$$

La figura 26 se describe los efectos estandarizados de los factores A (pH), B (dosis) y AB (pH y dosis), donde todos los factores muestran un efecto sobre el proceso, ya sea en el sistema de coagulación-floculación que solo se trabajó con dosis o en el proceso de adsorción que se trabajó con la interacción del pH y dosis, todos ellos muestran una influencia significativa.



**Figura 26 Diagrama de Pareto para la  $DBO_5$**

La figura 27 nos muestra la probabilidad normal de los residuos de la  $DBO_5$ , donde se tiene un valor de p de 0.456, siendo un valor superior al de significancia de 0.05, afirmando así que todos los datos analizados provienen de una población normal.



**Figura 27. Probabilidad normal de los residuos de la DBO<sub>5</sub>**

**Para lo SST**

Análisis de regresión lineal múltiple

La tabla 20 muestra el análisis de regresión lineal múltiple el cual nos permite establecer si se rechaza la hipótesis nula o se acepta la hipótesis alterna. En este caso se puede observar un valor de p de 0.000 tanto para el pH y dosis, siendo un valor menor al de significancia de 0.05.

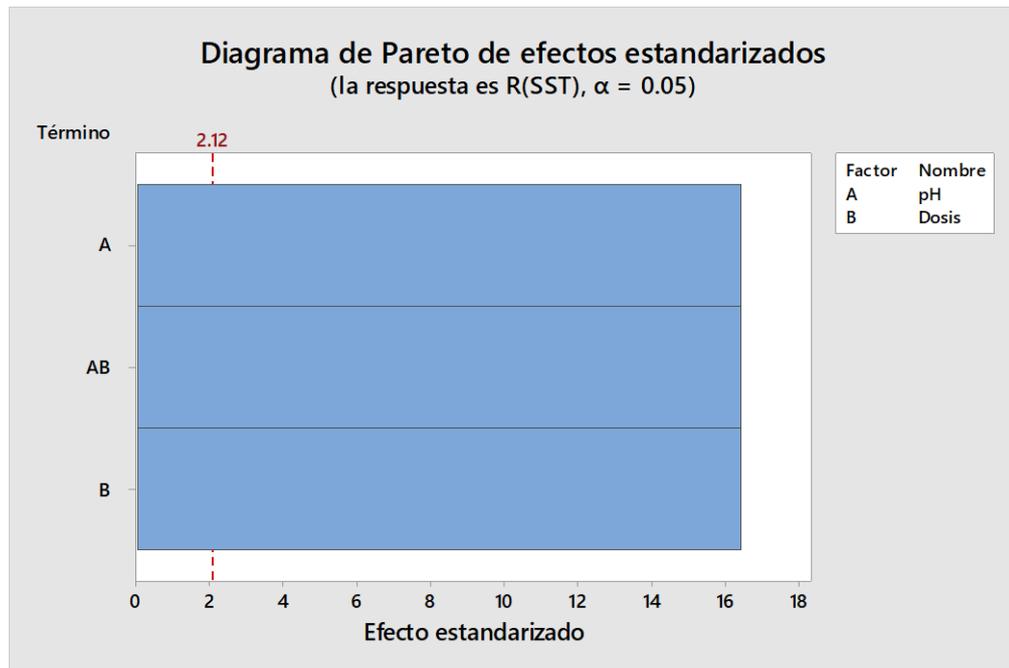
**Tabla 20. Análisis de regresión lineal múltiple para SST**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	2	0.050557	0.025278	38.16	0.000
pH	1	0.029250	0.029250	44.16	0.000
Dosis	1	0.021306	0.021306	32.17	0.000
Error	24	0.015898	0.000662		
Falta de ajuste	6	0.015897	0.002650	123522.40	0.000
Error puro	18	0.000000	0.000000		
Total	26	0.066455			

Asimismo, de determino mediante el software Minitab V18 la ecuación de regresión para DBO<sub>5</sub> siendo ella:

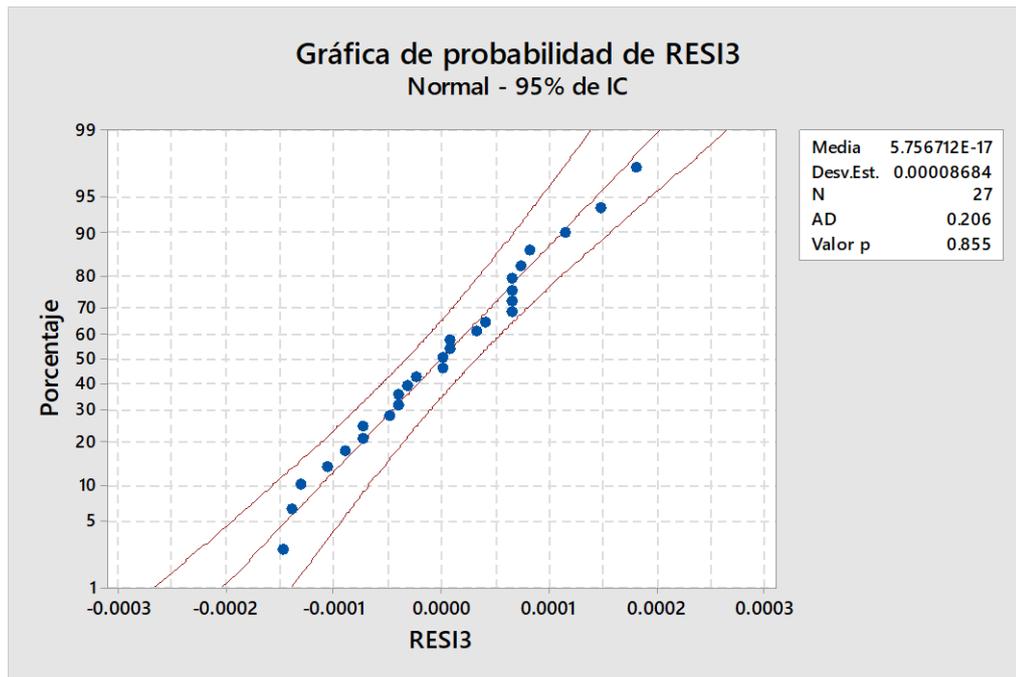
$$SST = 1.0588 - 0.04031 \text{ pH} + 0.0688 \text{ Dosis}$$

La figura 28 se describe los efectos estandarizados de los factores A (pH), B (dosis) y AB (pH y dosis), donde todos los factores muestran un efecto sobre el proceso, ya sea en el sistema de coagulación-floculación que solo se trabajó con dosis o en el proceso de adsorción que se trabajó con la interacción del pH y dosis, todos ellos muestran una influencia significativa.



**Figura 28 Diagrama de Pareto para los SST**

La figura 29 nos muestra la probabilidad normal de los residuos de los SST, donde se tiene un valor de p de 0.855, siendo un valor superior al de significancia de 0.05, afirmando así que todos los datos analizados provienen de una población normal.



**Figura 29. Probabilidad normal de los residuos de la DQO**

La prueba de Anova o análisis de varianza fueron realizadas para poder contrastar la tercera hipótesis específica, ya que dicha prueba nos determina si existe una influencia significativa. La prueba de Anova muestra un valor de p de 0.000 para DQO, DBO<sub>5</sub> y SST, siendo un valor menor al de significancia de 0.05, es por ello que el proceso de adsorción muestra una influencia significativa en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio.

#### **4.2.2. Hipótesis general**

$H_1$  = Un sistema de coagulación-floculación y adsorción presenta una influencia significativa en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio.

$H_0$  = Un sistema de coagulación-floculación y adsorción no presenta una influencia significativa en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio.

Teniendo como referencia las tablas del análisis de regresión lineal múltiple de la tercera hipótesis específica, donde se observa un valor de p de 0.000 y el diagrama de Pareto que existe efectos sobre el proceso de la investigación desarrollada, podemos afirmar que el sistema de coagulación-floculación y adsorción presenta una influencia significativa en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio.

### **4.3. Discusión de resultados**

#### **4.3.1. Caracterización de las aguas residuales domésticas**

En nuestra caracterización inicial realizada por el laboratorio de análisis ambiental de los parámetros físicos-químicos de las aguas residuales domésticas, se tuvo DQO de 501.7 mg/L, DBO<sub>5</sub> de 275.9 mg/L y SST de 4065 mL/L superando por mucho los LMP. Según Nayaran (17) las aguas residuales o las aguas domésticas son un subproducto del agua. Hay usos domésticos como bañarse, lavar platos, lavar la ropa y, por supuesto, tirar de la cadena del inodoro. Por lo general, se generan entre 200 L y 500 L de aguas residuales por persona. De acuerdo a Almeida et al. (5) al sintetizar sus aguas residuales domésticas se tuvo valores de DQO de 596 mg/L, pH de 7.5 y una temperatura de 19.5 °C, de manera similar Almeida et al. (29) al preparar aguas residuales domésticas obtuvo un valor de DQO de 606.83 mg/L.

#### **4.3.2. Influencia del sistema de coagulación-floculación en la remoción de contaminantes físicos-químicos**

Para determinar la influencia del sistema de coagulación-floculación en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio, se trabajó con un pH de 7.5 para todas las corridas experimentales, debido a que ese pH es similar al de los recursos hídricos, también se trabajó con cantidades de sulfato de aluminio de 1 g, 1.5 g y 2 g para determinar la dosis óptima que remueve el máximo de DQO, DBO y SST de las aguas residuales domésticas, donde a 1.5 g de sulfato de aluminio se tuvo los mejores resultados de DQO con 58.56 %, DBO<sub>5</sub> de 59.66 % y SST de 76.26 %. Según Mukhlis et al. (11) una dosis insuficiente o una sobredosis de coagulante daría como resultado un rendimiento deficiente del proceso de coagulación-floculación. Para ello es crucial determinar la dosificación de coagulante para minimizar el costo de dosificación y obtener el rendimiento óptimo en el tratamiento. Dicho autor trabajó con 50 mg/L a 800 mg/L de dosis de coagulante de, la eficacia de eliminación del tinte aumentó con la dosis de coagulante hasta una cierta dosis. Con un aumento adicional de la dosis de coagulante, la eficacia de eliminación disminuyó gradualmente. Se observó que para lograr una buena remoción del tinte (superior al 50 %) la dosis de alumbre debe estar en el rango de 250 mg L<sup>-1</sup> a 450 mg L<sup>-1</sup>. La dosis óptima de alumbre fue de 300 mg L<sup>-1</sup>, que proporcionó la máxima eficiencia de eliminación de color de 58.47 %, de manera similar ocurre en nuestra investigación que a mayor dosis se tiene una disminución en la remoción de los contaminantes físicos-químicos. De acuerdo a Huang et al. (2) trabajo con un proceso secuencia de coagulación/floculación donde determino que la mejor concentración de coagulante fue de 140 mg/L, donde tuvo una remoción de la DQO del 60 %. De manera similar Chaouki (10) realizó el tratamiento de aguas a través de un proceso

coagulación-floculación, donde tuvo una dosis optima de cloruro férrico de  $12 \text{ g L}^{-1}$ , con remoción de turbidez en un 90 %, la DQO en un 50 %, el color en un 80 % y la demanda biológica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ) en un 99 %. Ismail et al. (1) la dosis óptima de coagulante de  $1 \text{ g/L}$  utilizada en la unidad combinada proporciona eficiencias de eliminación de DQO,  $\text{DBO}_5$  y fósforo total como 65 %, 55 % y 83 %, respectivamente. Iwuozor (9) afirma que los procesos de coagulación y floculación son necesarios para pre acondicionar las partículas que no sedimentan en el agua cruda. Una partícula pequeña es liviana sin un proceso de coagulación y floculación por lo que no serán grandes como para quedarse atrapada en el proceso de filtración. En este sentido es apropiado tener en cuenta como proceso de tratamiento a la coagulación-floculación.

#### **4.3.3. Influencia del proceso de adsorción en la remoción de contaminantes físicos-químicos**

Para poder determinar la influencia del proceso de adsorción en la remoción de los contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas, se trabajó con variaciones de pH de 5, 6, 7 y dosis de cáscara de papa de 1 g, 1.5 g y 2 g, donde a un pH de 5 y una dosis de cáscara de papa de 2 g se tuvo la mayor remoción de los contaminantes físicos-químicos de 84.01 %, 85.59 % y 97.84 % de DQO,  $\text{DBO}_5$  y SST respectivamente. De acuerdo a Huang et al. (2) trabajo con el proceso de adsorción donde determinó que la mejor concentración de coagulante fue de  $140 \text{ mg/L}$ , donde tuvo una remoción de la DQO del 80 %. De manera similar Chaouki (10) trabajó variando la dosis de  $0.5 \text{ g/L}$  a  $20 \text{ g/L}$  de adsorbente, donde al aumentar la dosis del adsorbente observó un aumento en la remoción de DQO de 51 % a 59 %, esto puede atribuirse a que el sitio de adsorción aumenta al aumentar la dosis del adsorbente. De manera similar ocurre con nuestra investigación que al aumentar la dosis del adsorbente de la cáscara de papa de 1 g a 2 g la remoción de DQO va de 75 % a 81 %, para la  $\text{DBO}_5$  va de 76.5 % a 82.3 % y para los SST va de 87 % a 94 %. Chaouki (10) varió el pH en un rango de 2 a 12 la remoción de sus contaminantes está influenciada por el pH de la solución. El valor de pH a 4 representa la capacidad máxima de adsorción de DQO de 59 %. Sin embargo, el valor de pH de 12 representó una baja eficiencia de eliminación del 47.6 %. Las eficiencias de eliminación de DQO disminuyeron con el aumento de los valores de pH. Para un pH ácido ( $2 < \text{pH} < 5.6$ ), se observa un incremento en la eficiencia de eliminación de DQO. Por encima de este pH, la remoción de DQO disminuye. Sin embargo, a pH básico, la eliminación de DQO disminuye abruptamente, lo que puede deberse a la repugnancia electrostática hacia la superficie del bioadsorbente (iones  $\text{OH}^-$  con las moléculas orgánicas). De manera similar ocurre en nuestra investigación que a un pH ácido se tuvo las mayores reducciones de los contaminantes físicos-químicos. Para la DQO de 82 % a 77 %,  $\text{DBO}_5$  de 82,99 % a 78 % y SST de 95.8 % a 88 %.

De manera similar los autores Mukhlis et al. (11), Ismail et al. (1) y Bu et al. (13) afirman que a mayor dosis de adsorbente y menor pH se obtienen mejores reducciones de los contaminantes físicos-químicos.

#### **4.3.4. Efecto del sistema de coagulación-floculación y adsorción en la remoción de contaminantes físicos-químicos**

El proceso de coagulación-floculación y adsorción en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales domésticas se obtuvo resultados por debajo de los LMP, donde en el sistema de coagulación-floculación se tuvo las mayores reducciones de DQO, DBO<sub>5</sub> y SST de 58.56 %, 59.66 % y 76.26 % respectivamente. Y con el proceso de adsorción se llegó a reducciones de 84.01 %, 85.59 % y 97.84 % de DQO, DBO<sub>5</sub> y SST respectivamente. Este proceso es una buena opción ya que se tuvo un valor final de DQO de 80.2 mg/L, DBO<sub>5</sub> de 39.8 mg/L y SST de 87.9 mL/L que están por debajo de los LMP. De manera similar Huang et al (2) trabajó con procesos combinados similares a nuestra investigación para el tratamiento de efluentes de lavandería, obteniendo un 99.9 % para el color, 80 % para la DQO y 99.4 % para la turbidez. Chaouki et al. (10) quienes trabajaron el proceso de coagulación-floculación y adsorción, teniendo mejor la eliminación de turbidez, DQO y color al 99 %, 59 % y 90 %, respectivamente. Revollo (12) tras la culminación del tratamiento combinado de coagulación-floculación y adsorción a escala de laboratorio redujo el 98.11 %, 98.88 %, 99.84 % de DBO<sub>5</sub>, de DQO, SST respectivamente; cumpliendo con los VMA. Casi similar con nuestro estudio donde los contaminantes físicos-químicos se redujeron por debajo de los LMP de acuerdo con el DS. 003-2010-MINAM. De manera similar otros autores como: Jordán (14), Laura (15) y Chambi (16) trabajaron el sistema de coagulación-floculación y adsorción, obteniendo resultados satisfactorios en cuanto a la remoción de los contaminantes dentro de las aguas residuales domésticas. Afirmando así que este método combinado demostró ser prometedor para su aplicación en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

## CONCLUSIONES

Se determinó las características físico-químicas de las aguas residuales domésticas sintetizadas en el laboratorio, donde se tuvo un valor inicial de DQO de 501.7 mg/L, de manera simultánea se tuvo un valor inicial de DBO<sub>5</sub> de 275.9 mg/L.

Se determinó la influencia del sistema de coagulación-floculación en la remoción de contaminantes físico-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio, donde a una cantidad de 1.5 g de sulfato de aluminio se tuvo los mejores resultados de DQO con 58.56 %, DBO<sub>5</sub> de 59.66 % y SST de 76.26 %.

Se determinó la influencia del proceso de adsorción en la remoción de contaminantes físico-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio, donde a un pH de 5 y una dosis de 2 g se consiguió la mayor remoción de la DQO alcanzando un porcentaje de 84,01 %, para la DBO<sub>5</sub> de 85,59 % y para los SST de 97.84 %.

Se determinó el efecto del sistema de coagulación-floculación y adsorción en la remoción de contaminantes físico-químicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio, donde se tuvo un valor final de DQO de 80.2 mg/L, de manera simultánea se tuvo un valor final de DBO<sub>5</sub> de 39.8 mg/L y para finalizar se tuvo un valor final de SST de 87.9 mL/L.

## RECOMENDACIONES

Para el sistema de coagulación-floculación y adsorción, se emplea la tecnología con carbón activado para remover contaminantes físicos-químicos en efluentes domésticas.

Realizar un estudio de los grupos funcionales dentro del adsorbente de la cáscara de papa y explicar la interacción que ocurre en la adsorción

En sistema de coagulación-floculación en la remoción de contaminantes físicos-químicos en aguas residuales, realizar una comparación entre diferentes tipos de floculantes y coagulantes tanto químicos como naturales, para observar cual es la mejor opción en la remoción.

Realizar una evaluación de factibilidad económica, dando un valor agregado a los residuos de la papa, para así aprovechar sus propiedades.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ISMAIL, Ibrahim, Ahmed FAWZY, Nabil ABDEL-MONEM, Mahmoud MAHMOUD a Mohamed EL-HALWANY. Combined coagulation flocculation pre treatment unit for municipal wastewater. *Journal of Advanced Research* [online]. 2012, **3**(4), 331–336. ISSN 20901232. Dostupné z: doi:10.1016/j.jare.2011.10.004
- 2 HUANG, Anita, Marcia VEIT, Patricia JUCHEN, Gilberto GONÇALVES, Soraya PALÁCIO a Camila CARDOSO. Sequential process of coagulation/flocculation/sedimentation- adsorption - Microfiltration for laundry effluent treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [online]. 2019, **7**(4), 103226. ISSN 22133437. Dostupné z: doi:10.1016/j.jece.2019.103226
- 3 HAHN, H. Wastewater treatment. in: *the Scientific Basis of Flotation, Proc. Nato Advanced Study Inst., (Cambridge, U.K.: Jul. 5-16, 1982), K.J. Ives (Ed.)*, [online]. 1984, (75 ) (ISBN 90-247-2907–6)), 379–414. ISSN 0042-8469. Dostupné z: doi:10.5937/vojtehg61-1749
- 4 DRECHSEL, Pay, Manzoor QADIR a Dennis WICHELNS. Wastewater: Economic asset in an urbanizing world. *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World* [online]. 2015, 1–282. Dostupné z: doi:10.1007/978-94-017-9545-6
- 5 ALMEIDA, Cristina, Gabriela GUACHAM a V GUERRERO. Heliconia stricta Huber Behavior on Hybrid Constructed Wetlands Fed with Synthetic Domestic Wastewater. 2020.
- 6 MASSOUD, May, Akram TARHINI a Joumana NASR. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management* [online]. 2009, **90**(1), 652–659. ISSN 03014797. Dostupné z: doi:10.1016/j.jenvman.2008.07.001
- 7 GARFÍ, Marianna, Laura FLORES a Ivet FERRER. Life Cycle Assessment of wastewater treatment systems for small communities: Activated sludge, constructed wetlands and high rate algal ponds. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2017, **161**, 211–219. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2017.05.116
- 8 OLADOJA, Nurudeen, Emmanuel UNUABONAH, Omotayo AMUDA a Olatunji KOLAWOLE. Operational Principles and Material Requirements for Coagulation/Flocculation and Adsorption-based Water Treatment Operations [online]. 2017, 1–11. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-56599-6\_1

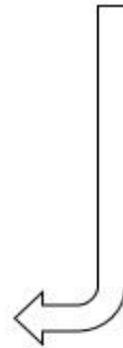
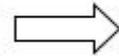
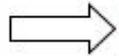
- 9 IWUOZOR, Kingsley. Prospects and Challenges of Using Coagulation-Flocculation method in the treatment of Effluents. *Advanced Journal of Chemistry-Section A* [online]. 2019, **2**(2), 105–127. Dostupné z: doi:10.29088/sami/ajca.2019.2.105127
- 10 CHAOUKI, Z., M. HADRI, M. NAWDALI, M. BENZINA a H. ZAITAN. Treatment of a landfill leachate from Casablanca city by a coagulation-flocculation and adsorption process using a palm bark powder (PBP). *Scientific African* [online]. 2021, **12**, e00721. ISSN 24682276. Dostupné z: doi:10.1016/j.sciaf.2021.e00721
- 11 MUKHLISH, M., M. KHAN, A. ISLAM a A. AKANDA. Removal of reactive dye from aqueous solution using coagulation-flocculation coupled with adsorption on papaya leaf. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences* [online]. 2016, **10**(1), 1884–1894. ISSN 22318380. Dostupné z: doi:10.15282/jmes.10.1.2016.12.0180
- 12 REVOLLEDO, A. Sistema de coagulación-Floculación y adsorción a nivel de laboratorio para la reducción de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados del almacén M.P.S.A.R.C. B.m., 2014. Universidad Privada del Norte.
- 13 BU, Fan, Baoyu GAO, Qinyan YUE, Caiyu LUI, Wenyu WANG a Xue SHEN. The Combination of Coagulation and Adsorption for Controlling Ultra-Filtration Membrane Fouling in Water Treatment [online]. 2019. Dostupné z: doi:10.3390/w11010090
- 14 JORDÁN, Leticia. Sistema de coagulación-floculación a escala laboratorio y su eficiencia en el tratamiento de Aguas Residuales provenientes del proceso de preparación de pega para la elaboración de zapatos de cuero [online]. B.m., 2014. Universidad Tecnica de Ambato. Dostupné z: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29346>
- 15 LAURA, Esmeralda. Estudio de la determinación de la actividad floculante en aguas provenientes del río Chili conteniendo As, Pb y Cr tratados con pectina obtenidos a partir de la cáscara de naranja, limón y mandarina. B.m., 2018. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- 16 CHAMBI, Z. Tratamiento de aguas residuales de lavanderías por el proceso de coagulación-floculación y adsorción. B.m., 2018. Universidad Nacional del Altiplano.
- 17 NARAYAN, Maitreyie, Praveen SOLANKI a Rajeev Kumar SRIVASTAVA. Treatment of Sewage (Domestic Wastewater or Municipal Wastewater) and Electricity Production by Integrating Constructed Wetland with Microbial Fuel Cell. *Sewage* [online]. 2018. Dostupné z: doi:10.5772/intechopen.75658

- 18 NELSON, David, Michael COX a Albert LEHNINGER. Absolute Ultimate Guide For Lehninger Principles Of Biochemistry Description : Title : Absolute Ultimate Guide for Lehninger Principles of Biochemistry. nedatováno.
- 19 DE, A.K. *Environmental Chemistry*. 7th Editio. New Delhi: New Age International Pvt Limited, 2012.
- 20 INGOLE, Nandkishor, R. RAM, Rajeev RANJAN a Anil SHANKHWAR. Advance application of geospatial technology for fisheries perspective in Tarai region of Himalayan state of Uttarakhand. *Sustainable Water Resources Management* [online]. 2015, **1**(2), 181–187. ISSN 23635045. Dostupné z: doi:10.1007/s40899-015-0012-9
- 21 MARA, Duncan. *Domestic wastewater treatment in developing countries* [online]. 2013. ISBN 9781849771023. Dostupné z: doi:10.4324/9781849771023
- 22 ZAROR, Claudio. Enhanced oxidation of toxic effluents using simultaneous ozonation and activated carbon treatment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* [online]. 1997, **70**(1), 21–28. ISSN 02682575. Dostupné z: doi:10.1002/(SICI)1097-4660(199709)70:1<21::AID-JCTB706>3.0.CO;2-3
- 23 OLADOJA, Nurudeen. A critical review of the applicability of Avrami fractional kinetic equation in adsorption-based water treatment studies. *Desalination and Water Treatment* [online]. 2016, **57**(34), 15813–15825. ISSN 19443986. Dostupné z: doi:10.1080/19443994.2015.1076355
- 24 DĄBROWSKI, A. Adsorption - From theory to practice. *Advances in Colloid and Interface Science* [online]. 2001, **93**(1–3), 135–224. ISSN 00018686. Dostupné z: doi:10.1016/S0001-8686(00)00082-8
- 25 WORCH, Eckhard. *Adsorption Technology in Water Treatment* [online]. 2012. ISBN 9783110240221. Dostupné z: doi:10.1515/9783110240238
- 26 BRATBY, J. Coagulation and flocculation: with an emphasis on water and wastewater treatment. [online]. 1980. ISSN 03009467. Dostupné z: doi:10.1016/0300-9467(81)80062-7
- 27 AYANGUNNA, Ronke, Saidat GIWA a Abdulwahab GIWA. Coagulation-flocculation treatment of industrial wastewater using tamarind seed powder. *International Journal of ChemTech Research*. 2016, **9**(5), 771–780. ISSN 09744290.

28 HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, Carlos FERNÁNDEZ COLLADO a María del Pilar BAPTISTA LUCIO. *Metodología de la investigación* [online]. 2014. ISBN 9788578110796. Dostupné z: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25246403><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4249520>

29 ALMEIDA, Cristina, Patricio ESPINOZA, Marcelo MUÑOZ a Cristina VILLAMAR. Hydraulic Retention Time Influence on Improving Flocculation in the Activated Sludge Processes Through Polyelectrolytes [online]. 2017, **i**, 1–9. Dostupné z: [doi:10.1007/s11270-017-3427-0](https://doi.org/10.1007/s11270-017-3427-0)

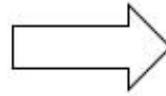
## **ANEXOS**



Fotografía 1 Síntesis de las aguas residuales domésticas



Cascara de papa 2 kg



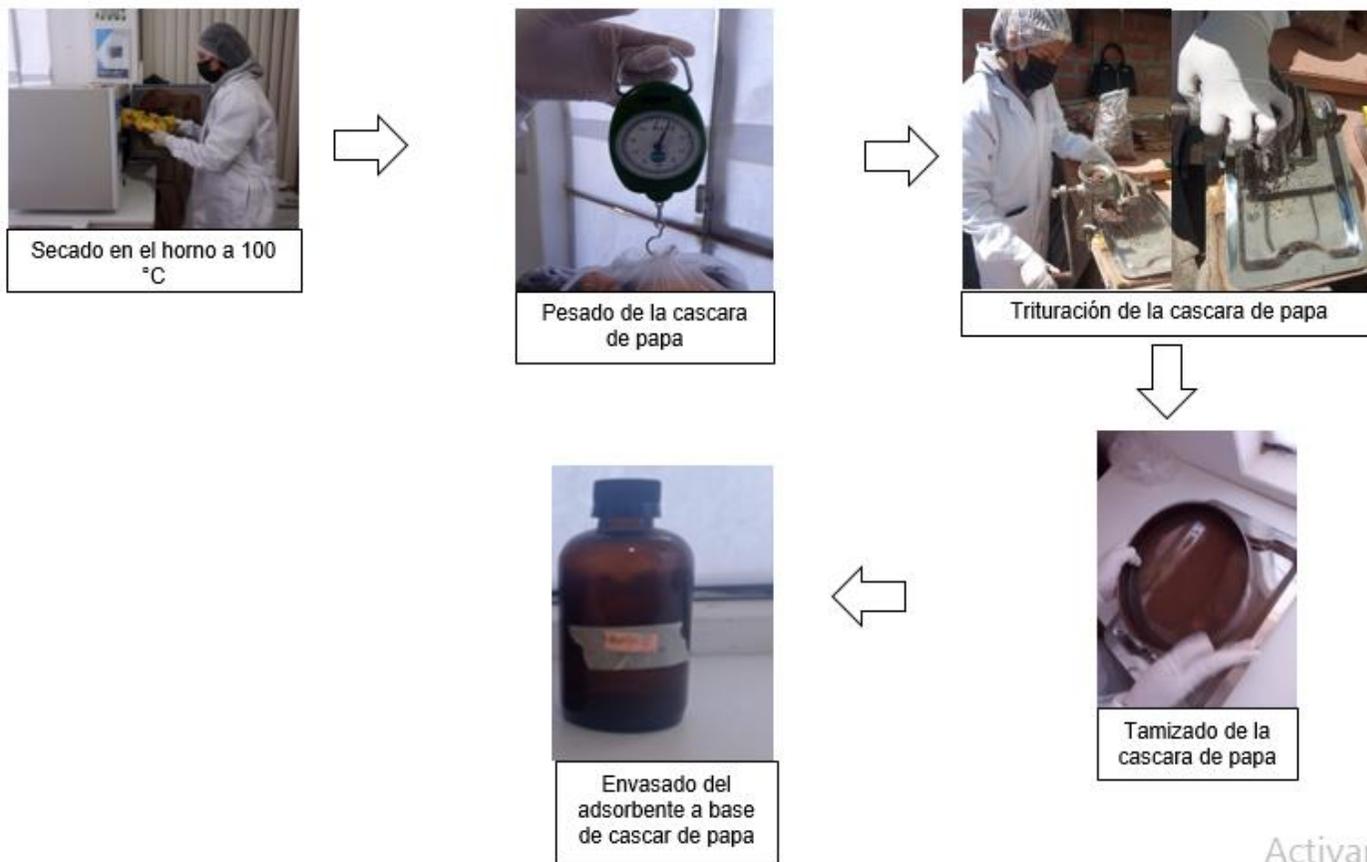
Lavado de la cascara de papa de 2 kg



Secado al sol por 2 días



Fotografía 2 Obtención de la cáscara de papa

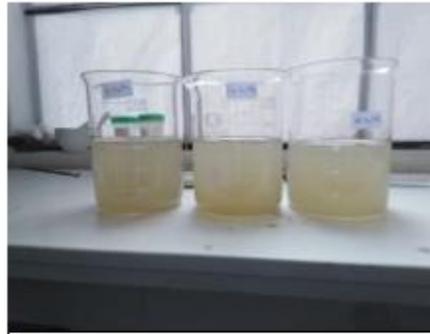


Activar V

Fotografía 3 Obtención del adsorbente a partir de la cáscara de papa



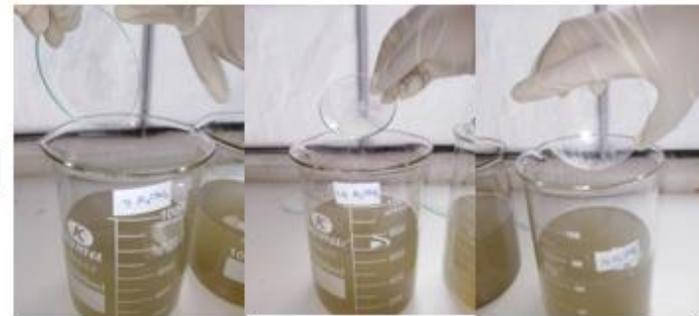
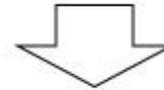
Medición de las aguas a 600 mL



600 mL en 3 vasos de precipitación de 1L



Calibración del pH a 7.5



Agregado del sulfato de aluminio a 1g, 1.5 g y 2 g



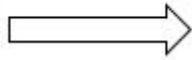
Proceso de coagulación-floculación a 150 rpm

Activar W

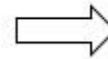
Fotografía 4 Sistema de coagulación-floculación



Pesado del adsorbente a 1 g, 1.5 g y 2 g



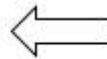
Medición de 250 mL de agua residual domestica



Modificación del pH de las aguas ya tratadas a pH de 5, 6 y 7



Agregado del adsorbente



Proceso de adsorción a 500 rpm por 1 hora

Acti  
Ir a C

Fotografía 5 proceso de adsorción



**INFORME DE ENSAYO N° 1-0124/21**

Pág. 1/1

**Solicitante** : Denis Huaman Laurente  
**Domicilio legal** : Av. Leoncio prado N°2512 - Auquimarca  
**Proyecto** : Remoción de contaminantes físico químicos en aguas residuales domésticas a nivel laboratorio mediante el sistema coagulación - floculación y adsorción.  
**Muestra(s) Declarada(s)** : Agua residual doméstica  
**Procedencia de la Muestra** :  
**Lugar de Muestreo** :  
**Cantidad de muestras para el Ensayo** : 01 muestra x 250 mL  
**Forma de Presentación** : 01 Frasco de Plástico  
**Fecha de Recepción** : 29/09/21  
**Fecha de Inicio del Ensayo** : 29/09/21  
**Fecha de Término del Ensayo** : 04/10/21  
**Fecha de Emisión de Informe** : 05/10/21  
**N° de Cotización de Servicio** :

Codigo del cliente	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)
D00	275.9	501.70	4065.00



- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia

**Método de Análisis:**

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5- Day BOD Test.  
 Demanda Química de oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-HH B, D, 23rd Ed.2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.  
 Sólidos Suspensidos Totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540D, 23rd Ed.2017, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.

Huancayo, 05 de Octubre de 2021

**GRUPO JHACC S.A.C**  
 Ing. Henry R. Ochoa León  
 CIP N° 124232  
 JEFE DE LABORATORIO

\*El informe de ensayo sólo es valido para las muestras referidas en el presente informe

\*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC  
 \*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Rev: 01

Reporte de la remoción de los contaminantes físicos-químicos para el sistema de coagulación-floculación



**INFORME DE ENSAYO N° 1-0133/21**

Pág. 1/1

**Solicitante** : Denis Huaman Laurente  
**Domicilio legal** : Av. Leoncio prado N°2512 - Auquimarca  
**Proyecto** : Remoción de contaminantes físico químicos en aguas residuales domésticas a nivel laboratorio mediante el sistema coagulación-floculación y adsorción.  
**Muestra(s) Declarada(s)** : Agua residual doméstica  
**Procedencia de la Muestra**  
**Lugar de Muestreo** :  
**Cantidad de muestras para el Ensayo** : 03 muestras x 250 mL  
**Forma de Presentación** : 03 Frascos de Plástico  
**Fecha de Recepción** : 06/10/21  
**Fecha de Inicio del Ensayo** : 06/10/21  
**Fecha de Término del Ensayo** : 11/10/21  
**Fecha de Emisión de Informe** : 12/10/21  
**N° de Cotización de Servicio** :

Codigo del cliente	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)
D01	126.2	242.80	2250.00
D02	111.3	207.90	965.00
D03	122.5	219.30	2025.00



- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia

**Método de Análisis:**

Demanda Biológica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5- Day BOD Test.  
 Demanda Química de oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed.2017, Closed Reflux, Colorimetric Method.  
 Sólidos Suspensos Totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540C, 23rd Ed.2017, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.

Huancayo, 12 de Octubre de 2021

**GRUPO JHACC S.A.C**  
**Mg. Henry R. Ochoa León**  
 CIP N° 124232  
 JEFE DE LABORATORIO

"El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe"  
 "Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC"  
 "Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce."

LAA-GJ

Rev: 01

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Reportes de la remoción de los contaminantes físico-químicos para el proceso de adsorción



**INFORME DE ENSAYO N° 1-0142/21**

Pág. 1/1

**Solicitante** : Denis Huaman Laurente  
**Domicilio legal** : Av. Leoncio prado N°2512 - Auquimarca  
**Proyecto** : Remoción de contaminantes físico químicos en aguas residuales domésticas a nivel laboratorio mediante el sistema coagulación - floculación y adsorción.  
**Muestra(s) Declarada(s)** : Agua residual doméstica - Tratada  
**Procedencia de la Muestra** :  
**Lugar de Muestreo** :  
**Cantidad de muestras para el Ensayo** : 09 muestras x 250 mL  
**Forma de Presentación** : 09 Frascos de Plástico  
**Fecha de Recepción** : 15/10/21  
**Fecha de Inicio del Ensayo** : 15/10/21  
**Fecha de Término del Ensayo** : 20/10/21  
**Fecha de Emisión de Informe** : 21/10/21  
**N° de Cotización de Servicio** :

Codigo del cliente	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)
D11R1	58.60	115.60	254.00
D12R1	42.10	86.10	168.00
D13R1	39.80	80.30	88.00
D121R1	67.80	134.10	509.00
D122R1	55.30	108.60	192.00
D123R1	50.50	105.70	214.00
D131R1	68.40	126.20	782.00
D132R1	52.40	102.30	306.00
D133R1	55.10	100.50	405.00



- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia.

**Método de Análisis:**

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMENW-APHA-AWWA-WEF Part 5210. B, 23rd Ed 2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5- Day BOD Test.  
 Demanda Química de oxígeno: SMENW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed 2017, Closed Reflux, Colorimetric Method.  
 Sólidos Suspendedos Totales: SMENW-APHA-AWWA-WEF Part 2540D, 23rd Ed 2017, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.

Huancayo, 21 de Octubre de 2021

**GRUPO JHACC S.A.C.**  
 Ing. Henry R. Ochoa León  
 C.E. N° 124232  
 JEFE DE LABORATORIO

\*El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.  
 \*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC.  
 \*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-0J

Rev: 01

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

## INFORME DE ENSAYO N° 1-0151/21

Pág. 1/1

**Solicitante** : Denis Huaman Laurente  
**Domicilio legal** : Av. Leoncio Prado N°2512 - Auquimarca  
**Proyecto** : Remoción de contaminantes físico químicos en aguas residuales domésticas a nivel laboratorio mediante el sistema coagulación floculación y adsorción.  
**Muestra(s) Declarada(s)** : Agua residual doméstica - Tratada  
**Procedencia de la Muestra** :  
**Lugar de Muestreo** :  
**Cantidad de muestras para el Ensayo** : 09 muestras x 250 mL  
**Forma de Presentación** : 09 Frascos de Plástico  
**Fecha de Recepción** : 27/10/21  
**Fecha de Inicio del Ensayo** : 27/10/21  
**Fecha de Término del Ensayo** : 01/11/21  
**Fecha de Emisión de Informe** : 02/11/21  
**N° de Cotización de Servicio** :

Codigo del cliente	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)
D111R2	57.80	114.90	255.00
D112R2	42.60	86.70	168.90
D113R2	40.20	79.50	88.50
D121R2	67.10	135.20	510.40
D122R2	55.70	109.30	192.50
D123R2	49.80	104.60	214.60
D131R2	68.10	126.50	783.70
D132R2	53.30	102.40	305.80
D133R2	55.00	99.80	406.10

\* Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente  
 \* El cliente renuncia al derecho de la giramota.

**Método de Análisis:**

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5- Day BOD Test.  
 Demanda Química de oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed. 2017, Closed Reflux, Colorimetric Method.  
 Sólidos Suspendidos Totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540D, 23rd Ed. 2017, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.

Huancayo, 02 de Noviembre de 2021

  
**GRUPO JHACC S.A.C.**  
**Mg. Henry R. Ochoa León**  
 CP N° 134232  
 JEFE DE LABORATORIO

\*El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.  
 \*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC.  
 \*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

(Rev: 01)

**INFORME DE ENSAYO N° 1-0160/21**

Pág. 1/1

Solicitante : Denis Huaman Laurente  
 Domicilio legal : Av. Leoncio Prado N°2512 - Auquimarca  
 Proyecto : Remoción de contaminantes físico químicos en aguas residuales domésticas a nivel laboratorio mediante el sistema coagulación - floculación y adsorción.  
 Muestra(s) Declarada(s) : Agua residual doméstica - Tratada  
 Procedencia de la Muestra :  
 Lugar de Muestreo :  
 Cantidad de muestras para el Ensayo : 09 muestras x 250 mL  
 Forma de Presentación : 09 Frascos de Plástico  
 Fecha de Recepción : 05/11/21  
 Fecha de Inicio del Ensayo : 05/11/21  
 Fecha de Término del Ensayo : 10/11/21  
 Fecha de Emisión de Informe : 11/11/21  
 N° de Cotización de Servicio :

Codigo del cliente	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)
D111R3	58.80	115.30	254.30
D112R3	43.00	85.40	169.40
D113R3	39.30	80.80	87.20
D121R3	68.10	135.50	510.30
D122R3	54.90	109.60	191.90
D123R3	50.20	106.10	214.80
D131R3	68.70	127.20	782.50
D132R3	52.60	103.30	306.20
D133R3	55.40	100.80	405.60



- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
- El cliente renuncia al derecho de la diferencia.

**Método de Análisis:**

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed 2017 Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5- Day BOD Test  
 Demanda Química de oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed 2017, Closed Reflux, Colorimetric Method  
 Sólidos Suspended Totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540D, 23rd Ed 2017, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.

Huancayo, 11 de Noviembre de 2021

**GRUPO JHACC S.A.C**  
  
**Ing. Henry R. Ochoa León**  
 CIP N° 184232  
 JEFE DE LABORATORIO

\*El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.  
 \*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC  
 \*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Rev: 01