

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Remoción de materia orgánica de aguas residuales  
municipales empleando un sistema combinado de  
carbón activo y lodos de depuradora**

Joselyn Madeleine Acevedo Bautista  
Geovana Alvarez Meza

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 TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN**

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Jose Vladimir Cornejo Tueros  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 2 de Julio de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

" REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EMPLEANDO UN SISTEMA COMBINADO DE CARBÓN ACTIVO Y LODOS DE DEPURADORA "

**Autores:**

1. JOSELYN MADELEINE ACEVEDO BAUTISTA – EAP. Ingeniería Ambiental
2. GEOVANA ALVAREZ MEZA – EAP. Ingeniería 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 18 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- |   |  |  |
|---|--|--|
| • Filtro de exclusión de bibliografía   | SI <input checked="" type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/>            |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores<br>Nº de palabras excluidas ( <b>en caso de elegir "SI"</b> ): 20 | SI <input checked="" type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/>            |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante   | SI <input type="checkbox"/>            | NO <input checked="" type="checkbox"/> |

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

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## **AGRADECIMIENTOS**

Un sincero agradecimiento a Dios y a nuestros padres, por su amor incondicional y su apoyo moral. Su fe en nosotras, incluso en los momentos más difíciles, ha sido el pilar de este logro.

También expresamos nuestra gratitud a nuestros tutores por su dedicación y paciencia, quienes supieron brindarnos su tiempo para escucharnos y apoyarnos. Sin ustedes, todo esto no habría sido posible. Su amor y sacrificio han sido la luz que guio mi camino a través de este viaje académico.

## **DEDICATORIA**

A Dios y a nuestros padres, quienes siempre han creído en nosotras. Gracias por su amor, por su sacrificio y por enseñarnos a nunca rendirnos ante los obstáculos de la vida. Este logro es también suyo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	iv
DEDICATORIA .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	13
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	13
1.1.1. Problema general .....	14
1.1.2. Problemas específicos.....	14
1.2. Objetivos .....	14
1.2.1. Objetivo general .....	14
1.2.2. Objetivos específicos .....	14
1.3. Justificación.....	15
1.3.1. Justificación teórica .....	15
1.3.2. Justificación ambiental .....	15
1.3.3. Justificación social.....	15
1.4. Hipótesis.....	15
1.5. Operacionalización de variables.....	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	17
2.1. Antecedentes de la investigación .....	17
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	17
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	22
2.1.3. Antecedentes regionales y locales.....	23
2.2. Bases teóricas.....	23
2.2.1. Procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) .....	23
2.2.2. Tratamiento primario .....	24
2.2.3. Lodos biológicos.....	25
2.2.4. Carbón activado (CA) .....	26
2.2.5. Síntesis de carbón activado a partir de biorresiduos .....	26
2.2.6. Factores que influyen en la eliminación de microcontaminantes por la presencia de CA.....	28

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	32
3.1. Método y alcance de la investigación .....	32
3.1.1. Método general .....	32
3.1.2. Método específico .....	32
3.1.3. Tipo de investigación .....	32
3.1.4. Nivel de investigación.....	33
3.2. Diseño de la investigación .....	33
3.3. Población y muestra.....	34
3.3.1. Población .....	34
3.3.2. Muestra .....	34
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.4.1. Técnicas e instrumentos.....	36
3.4.2. Materiales.....	36
3.4.3. Procedimientos.....	36
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
4.1. Presentación de resultados .....	39
4.1.1. Caracterización de agua residual municipal de San Agustín de Cajas.....	39
4.1.2. Selección de proporciones de carbón activado y lodo de depuradora.....	40
4.1.3. Concentración final de materia orgánica .....	42
4.1.4. Porcentaje de remoción de materia orgánica del agua residual municipal .....	45
4.1.5. Efecto de la proporción de carbón activado y lodo de depuradora .....	49
4.1.6. Efecto del tiempo para la remoción de materia orgánica.....	51
4.2. Contrastación de hipótesis .....	53
4.3. Discusión de resultados.....	57
CONCLUSIONES .....	61
RECOMENDACIONES.....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	63
ANEXOS .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de las variables.....	33
Tabla 2. Matriz para selección de proporciones de CA y LD.....	33
Tabla 3 . Diseño completamente al azar .....	34
Tabla 4. Coordenadas UTM.....	39
Tabla 5. Caracterización del agua residual municipal .....	39
Tabla 6. Selección de proporciones de CA y LD.....	40
Tabla 7. Determinación de proporciones .....	41
Tabla 8. Concentración final de DQO y DBO <sub>5</sub> - primera repetición .....	42
Tabla 9. Concentración final de DQO y DBO <sub>5</sub> - segunda repetición .....	42
Tabla 10. Porcentaje de remoción de materia orgánica .....	45
Tabla 11. Análisis de varianza para DQO.....	56
Tabla 12. Estadísticas descriptivas para DBO <sub>5</sub> .....	57
Tabla 13. Prueba de Mann Whitney para DBO <sub>5</sub> .....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tecnologías de gestión de lodos de depuradora .....	26
Figura 2. Rutas de síntesis de CA a partir de biorresiduos .....	27
Figura 3. Representación de un floculo de lodo en el biorreactor en presencia de CA .....	29
Figura 4. Mapa de ubicación del punto de monitoreo de las aguas residuales de San Agustín de Cajas.....	35
Figura 5. Concentración de DQO para la determinación de proporciones .....	41
Figura 6. Grafica de réplicas del análisis de DQO.....	43
Figura 7. Gráfica de réplicas del análisis de DBO <sub>5</sub> .....	43
Figura 8. Variación de resultados de la replicas con respecto al DQO.....	44
Figura 9. Variación de resultados de la replicas con respecto al DBO <sub>5</sub> .....	44
Figura 10. % de remoción de DQO.....	46
Figura 11. % de remoción de DBO <sub>5</sub> .....	46
Figura 12. Efectos principales para la remoción de DQO .....	47
Figura 13. Efectos principales para la remoción de DBO <sub>5</sub> .....	47
Figura 14. Grafica de interacción con respecto al DQO .....	48
Figura 15. Grafica de interacción con respecto al DBO <sub>5</sub> .....	49
Figura 16. Efecto de la proporción de carbón activado y lodo de depuradora en DQO .....	50
Figura 17. Efecto de la proporción de carbón activado y lodo de depuradora en DBO <sub>5</sub> .....	51
Figura 18. Efecto del tiempo con respecto al DQO .....	52
Figura 19. Efecto del tiempo con respecto al DBO <sub>5</sub> .....	53
Figura 20. Prueba de normalidad para DQO.....	54
Figura 21. Prueba de normalidad para DBO <sub>5</sub> .....	55
Figura 22. Diagrama de Pareto para DQO.....	56
Figura 23. Grafica de contorno con respecto al DQO.....	59
Figura 24. Grafica de contorno con respecto al DBO <sub>5</sub> .....	60

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la remoción de materia orgánica de aguas residuales municipales empleando un sistema combinado de carbón activado y lodos de depuradora. La metodología que se empleó fue experimental de método cuantitativo, tipo aplicado y nivel explicativo, el diseño usado fue un diseño completamente al azar (DCA) con 2 variables, las cuales son la proporción de carbón activado (CA) y lodos de depuradora (LD) y el tiempo de contacto (5 horas, 7 horas y 8 horas). La población con la que se trabajó fueron las aguas residuales municipales del distrito de San Agustín de Cajas – Huancayo que fue enviada a laboratorio obteniendo una concentración inicial de 436,5 mg/L para DQO y 221,60 mg/L para DBO<sub>5</sub>. Para el proceso experimental, se seleccionó las proporciones de carbón activado y lodos de depuradora de mayor eficiencia siendo ellas de 0,014 g/L (0,1 g/L de CA y 7 mL/L de LD), 0,030 g/L (0,15 g/L de CA y 5 mL/L de LD) y 0,020 g/L (0,2 g/L de CA y 10 mL/L de LD). Posteriormente, se realizó el proceso experimental con un flujo de 1L/min en cada vaso para después tomar muestras del sobrenadante para la determinación de DQO y DBO<sub>5</sub> después de 5 h, 7 h y 8 h de aireación. Cada tratamiento se replicó dos veces. Según resultados, la máxima remoción fue de 83,66 % para DQO y 84,85 % para DBO<sub>5</sub> e una proporción de 0,020 g/L y un tiempo de 8 horas. Asimismo, se realizó el análisis estadístico de varianza ANOVA para DQO y la prueba de Mann Whitney para DBO<sub>5</sub> obteniendo un valor de p de 0,000 menor que el valor de significancia de 0,05, por ende, se afirmó que empleando un sistema combinado de carbón activado y los lodos de depuradora se remueve significativamente la materia orgánica de las aguas residuales municipales.

**Palabras claves:** lodos de depuradora, carbón activado, tiempo, materia orgánica, agua residual municipal

## ABSTRACT

The objective of this research work was to determine the removal of organic matter from municipal wastewater using a combined system of activated carbon and sewage sludge. The methodology to be used was an experimental quantitative method, applied type and explanatory level, the design used was a completely randomized design (DCA) with 2 variables which are the proportion of activated carbon (AC) and sewage sludge (LD) and contact time (5 hours, 7 hours and 8 hours). The population that was worked on was municipal wastewater from the District of San Agustín de Cajas – Huancayo, which was sent to the laboratory, obtaining an initial concentration of 436,5 mg/L for COD and 221,60 mg/L for BOD<sub>5</sub>. For the experimental process, the most efficient proportions of activated carbon and sewage sludge were selected, being 0,014 g/L (0,1 g/L of CA and 7 mL/L of LD), 0,030 g/L (0,15 g/L of CA and 5 mL/L of LD) and 0,020 g/L (0,2 g/L of CA and 10 mL/L of LD). Subsequently, the experimental process was carried out with a flow of 1L/min in each glass and then samples of the supernatant were taken for the determination of COD and BOD<sub>5</sub> after 5 h, 7 h and 8 h of aeration. Each treatment was replicated twice. According to the results, the maximum removal was 83,66% for COD and 84,85% for BOD<sub>5</sub> at a proportion of 0,020 g/L and a time of 8 hours. Likewise, the statistical analysis of variance ANOVA for COD and the Mann Whitney test for BOD<sub>5</sub> were carried out, obtaining a p value of 0,000 lower than the significance value of 0,05, therefore, it was stated that using a combined carbon system Activated and sewage sludge significantly removes organic matter from municipal wastewater.

**Keywords:** sewage sludge, activated carbon, time, organic matter, municipal wastewater

## INTRODUCCIÓN

Factores como el crecimiento demográfico, una mayor demanda de alimentos, la necesidad de mejorar la salud y el bienestar social, el desarrollo industrial y la conservación de los ecosistemas han llevado a un aumento considerable de la necesidad de agua. Sin embargo, a pesar de la renovabilidad de los recursos hídricos, la cantidad de estos es limitada. Además, las aguas residuales y los efluentes son otros desafíos ambientales que agravan la crisis mundial del agua. Por lo tanto, el estudio de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales es un tema importante al que se enfrentan los investigadores de todo el mundo (1). El vertido de aguas residuales domésticas e industriales sin tratamiento terciario promueve eutrofización en cuerpos de agua receptores. La eutrofización es el enriquecimiento excesivo del agua por nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, que son responsables del agotamiento del oxígeno, producción de floraciones de algas, alteración del equilibrio del ecosistema y, por tanto, deterioro de calidad del agua. Por ende, es necesario lograr una eliminación suficiente de nutrientes de aguas residuales con el fin de prevenir la eutrofización de las masas de agua (2). Empleando métodos de tratamiento adecuados, las amenazas podrían convertirse en oportunidades y abordarse una gran proporción de la escasez de agua. La selección de una forma adecuada está relacionada con las cargas de residuos introducidas en el proceso de tratamiento (1). Métodos como la separación física o la adsorción eliminan elementos no biodegradables que no pueden degradarse completamente con la biomasa. Estos métodos de tratamiento se utilizan combinados con el biotratamiento o por separado. La baja relación  $DBO_5/DQO$  de las aguas residuales indica que las aguas residuales contienen algunos elementos no biodegradables y la necesidad de utilizar una forma de eliminarlos. El carbón activado es el adsorbente más utilizado para eliminar contaminantes de las aguas residuales. Las moléculas de los compuestos orgánicos existentes en las aguas residuales se absorben en la superficie del carbono y se eliminan. Además, se ha demostrado que el uso de lodos activados como fuente bacteriana genera carbón activado lo cual produce un incremento constante de este adsorbente generando un mayor rendimiento del proceso (3). Por lo tanto, en la presente investigación se dará uso de un sistema combinado de carbón activado y lodos de depuradora para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales municipales de San Agustín de Cajas.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

Uno de los recursos más valiosos de la Tierra es el agua y es esencial para la vida humana; por eso, debido al rápido aumento de la población mundial, la industrialización, el calentamiento global y el cambio climático, los problemas de escasez de agua se han vuelto más severos en muchos países del mundo, especialmente en los países en desarrollo. Sin embargo, se estima que alrededor de 1800 millones de personas no podrán acceder al agua dulce para 2025 (3). Además, según las predicciones del Consejo Nacional de Inteligencia de EE. UU., se espera que la demanda de agua aumente en un 40 % para 2030, lo que subraya la necesidad de un tratamiento de aguas residuales eficiente desde el punto de vista energético (4). La reutilización de la tecnología de tratamiento de aguas residuales es la mejor manera de reducir aún más los contaminantes del agua y mejorar la calidad general de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales. En general, la reutilización de aguas residuales es uno de los problemas más críticos a nivel mundial y está ganando más atención cada día. Además, puede ser un recurso hídrico alternativo conveniente para los países de bajos ingresos en regiones áridas y semiáridas para abordar la crisis de escasez de agua (2). Además, la reutilización del agua residual se puede utilizar para diversas aplicaciones, como riego de tierras agrícolas y riego urbano, recarga de aguas subterráneas, lavado de vehículos, descargas de inodoros, extinción de incendios, torres de enfriamiento industrial y otros usos no potables (4).

Hoy en día, los enfoques sostenibles para la gestión de los recursos hídricos y la tecnología avanzada declaran la importancia de la crisis y escasez mundial del agua y la necesidad de gestionar y controlar los recursos disponibles. La mayor cantidad de agua se utiliza para riego e industrias. Por lo tanto, los tratamientos biológicos como el lodo de depuradora y la adsorción física como el carbón activado son convenientes para la reutilización del agua, en particular

para las aguas residuales de baja concentración. Debido a varios factores: no requieren grandes espacios físicos para llevarse a cabo, los microorganismos no son sensibles a las especies químicas y el tiempo de tratamiento es relativamente corto (5). Una alternativa al tratamiento avanzado de aguas residuales es el reciclaje de aguas residuales. Estos tratamientos tienen un alto rendimiento en la degradación de materia orgánica como la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), motivo por el cual, se desarrollará la siguiente investigación.

### **1.1.1. Problema general**

¿Cuánto se removerá de materia orgánica de aguas residuales municipales empleando un sistema combinado de carbón activado y lodos de depuradora?

### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cuáles serán las características fisicoquímicas del agua residual municipal?
- ¿Cuál será la proporción de carbón activado y lodo de depuradora de mayor influencia en la remoción de la materia orgánica de las aguas residuales municipales?
- ¿Cuál será el tiempo de contacto de mayor influencia en la remoción de la materia orgánica de las aguas residuales municipales mediante adsorción, empleando el proceso combinado del carbón activado y los lodos de depuradora?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar la remoción de materia orgánica de aguas residuales municipales empleando un sistema combinado de carbón activado y lodos de depuradora.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Realizar la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales municipales.
- Determinar la proporción de carbón activado y lodo de depuradora de mayor influencia en la remoción de la materia orgánica de las aguas residuales municipales.
- Determinar el tiempo de contacto que mayor influencia presenta en la remoción de la materia orgánica de las aguas residuales municipales mediante adsorción, empleando el proceso combinado del carbón activado y los lodos de depuradora.

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Justificación teórica**

La propuesta de utilizar tecnologías que utilicen el carbón activado y lodos de depuradora en el tratamiento de aguas residuales domésticas se da con el fin de que se pueden producir agua de alta calidad que pueda ser reutilizada con tecnologías nuevas y eficaces, pues se sabe que las sustancias orgánicas de los efluentes municipales pueden ser eliminadas en su totalidad por carbón activado y lodos de depuradora. (6). Considerando que el factor crucial para la reutilización de aguas residuales es la eliminación de la materia orgánica, motivo por el cual se realizará esta investigación

#### **1.3.2. Justificación ambiental**

La importancia de mantener la calidad de las aguas es fundamental para no quedarnos sin suministros de este líquido a futuro, por ende la propuesta que realiza la presente investigación es la aplicación una nueva tecnología basada en el uso de carbón activado y lodos de depuradora que permitirá que el agua tratada logre ser reutilizada para el riego industrial y agrícola, además de reducir la contaminación y alteraciones de los ecosistemas que se encuentren presentes en las fuentes donde desembocan dichas aguas residuales.

#### **1.3.3. Justificación social**

La investigación permitirá generar mayor conciencia entre los ciudadanos sobre la importancia de tratar las aguas residuales, además de mostrarles los grandes beneficios que tiene el reutilizar agua residual tratada, para así de esta forma poder reducir los niveles de contaminación en las fuentes de este líquido como ríos, lagos y lagunas evitando el aumento del riesgo en la salud en personas que vivan cerca de estas áreas o sectores aledaños y por ende mejorar su estilo de vida de estas.

### **1.4. Hipótesis**

H0: Empleando un sistema combinado de carbón activado y los lodos de depuradora no se remueve significativamente la materia orgánica de las aguas residuales municipales.

Ha: Empleando un sistema combinado de carbón activado y los lodos de depuradora se remueve significativamente la materia orgánica de las aguas residuales municipales.

### 1.5. Operacionalización de variables

Variable	Tipo de Variable	Conceptualización	Categoría o dimensión	Indicador	Unidad de medida
Carbón activado y lodos de depuradora	Compleja Independiente	Compuestos que serán empleados como adsorbentes de compuestos orgánicos y permitirán la reducción de la DQO de las aguas residuales municipales.	Proporción de carbón activado (CA) y lodos de depuradora (LD)	dosis de compuesto en 1 L de agua residual	CA: g/L LD: mL/L
			Tiempo de contacto	Intervalo de tiempo	Horas (h)
Remoción de la materia orgánica	Cuantitativa Compleja Dependiente	Es el porcentaje de remoción de la materia orgánica empleando el carbón activado y los lodos de depuradora.	Remoción de la DQO y la DBO <sub>5</sub>	Concentración de la DQO y la DBO <sub>5</sub>	miligramos por litro (mg/L)

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

La investigación titulada: «Enfoque de modelado óptimo RSM-D para la eliminación de DQO de aguas residuales de baja concentración mediante microalgas, lodos y carbón activado: estudio de caso Mashhad» tuvo como objetivo general eliminar la demanda química de oxígeno (DQO) del efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en Mashhad, Irán, aguas residuales de baja concentración (DQO 70 mg/L). La metodología utilizada originó el estudio mediante dos procesos: carbón activado-lodos activados (AC-AS) y lodos activados-microalgas (AS-Microalgas). Como variables independientes, las concentraciones de AC y AS para el sistema AC-AS y las concentraciones de AS y microalgas para el sistema AS-algas se seleccionaron y optimizaron utilizando la metodología de superficie de respuesta (RSM) que involucra un nivel de cuatro y cinco niveles. diseño óptimo (D-Optimal), respectivamente. Las condiciones experimentales óptimas para el proceso AC-AS (es decir, 0,05 g/L AC y 7 mL/L AS) condujeron a una eliminación de DQO del 95 % en 8 h. En cuanto al proceso AS-Microalgas, se logró una eliminación de DQO del 85 % en 7 h en condiciones experimentales óptimas (es decir, 1 mL/L de AS y 7 mL/L de microalgas). Las conclusiones indican que las eficiencias de eliminación previstas y experimentales obtenidas para el sistema AC-AS y AS-Microalgas fueron (91 %, 91 %) y (82 %, 86 %), respectivamente. También se observó una excelente correlación entre los valores experimentales y predichos con coeficientes de determinación de 0,99 (sistema AC-AS) y 0,83 (sistema AS-Microalgas). De acuerdo con los estándares de descarga de la OMS, el efluente tratado por AS-Microalgas se puede aplicar para tierras agrícolas, riego de campos de golf y usos industriales, alcanzando un valor típico de DQO inferior a 30 mg/L. Además, el efluente tratado por AC-AS se puede utilizar para riego

de cultivos comestibles, riego de parques y patios escolares, lavaplatos y tanques de expansión de inodoros con un valor de DQO inferior a 12 mg/L (3).

La investigación titulada: «Efectos de las microalgas, lodos y carbón activado en el tratamiento de aguas residuales con bajo contenido orgánico (aguas residuales débiles)» tuvo por objetivo general remediar las aguas residuales débiles mediante un tratamiento biológico con cultivo de lodos de microalgas combinado con la adsorción física del carbón activado. Las influencias de cada factor sobre la eficiencia del proceso han sido estudiadas en detalle mediante análisis estadístico. El diseño experimental se realizó utilizando el arreglo de Taguchi. La demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno (DBO) se midieron como respuestas durante 16 h de tratamiento. Encontraron que la adsorción física fue controlada por el tratamiento con mayor aporte (>71%). Mostramos que el segundo y tercer rango corresponden a las microalgas y lodos activados, respectivamente. Las condiciones óptimas para minimizar la DQO se obtuvieron en el carbón activado de 0,2 g/L, microalgas de 1 mL/L y lodos activados de 1 mL/L. Conclusiones, este estudio mostró que las reducciones en DQO y DBO son más del 90 % y 93 %, respectivamente. La validez del modelo matemático predicho también fue confirmada midiendo las respuestas en las condiciones óptimas, lo que dio como resultado una baja desviación. Por lo tanto, el proceso estudiado se puede utilizar de manera eficiente en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Finalmente, compararon los resultados obtenidos de este método con otros escenarios publicados, encontrando una buena concordancia (2).

La investigación titulada: «Estudio comparativo de tratamiento de aguas residuales y reciclaje de nutrientes mediante lodos activados, microalgas y sistemas combinados» tuvo por objetivo general caracterizar una cepa vigorosa de *Chlorella* y luego emplearla en un estudio comparativo de tratamiento de aguas residuales y evaluación del reciclaje de nutrientes a través de lodos activados (LA), microalgas y sus sistemas combinados. Metodología, *Chlorella sp.* cultivadas con LA a la luz, mostraron el mejor desempeño, en cuyo caso las eficiencias de remoción de DQO, NH<sub>3</sub>-N y P fueron 87,3 %, 99,2 % y 83,9 %, respectivamente, en un corto período de 1 día. La combinación de algas y bacterias a la luz tuvo la mejor capacidad de sedimentación. *Chlorella sp.* la biomasa contenida, podría procesarse para alimento, fertilizante o combustible debido a la calidad mejorada (mayor C/H/N) en comparación con los lodos. La investigación concluye que el análisis PCR-DGGE muestra que dos tipos de rizobacterias, a saber, *Pseudomonas putida* y *Flavobacterium hauense*, se enriquecieron en lodos cuando se cultivaron con algas a la luz, lo que sirvió como base para la construcción de consorcios artificiales para mejorar el tratamiento de aguas residuales (3).

La investigación titulada: «Eliminación de nutrientes y DQO mediante co-cultivo de lodos activados y *Chlorella vulgaris* inmovilizada» tuvo por objetivo general eliminar simultáneamente los nutrientes inorgánicos (nitrógeno y fósforo) y carbono orgánico (glucosa) a partir de aguas residuales municipales sintéticas mediante el co-cultivo de lodos activados suspendidos y *Chlorella vulgaris* inmovilizada en un solo reactor. El cocultivo simbiótico logró una eliminación eficiente de nutrientes y DQO en lugar de cultivos independientes de *C. vulgaris* y lodo activado después de 2 días de tiempo de retención. Al disminuir la relación de inóculo de lodo activado suspendido y *Chlorella vulgaris* inmovilizada (de 5,0 a 0,2), el rendimiento de la eliminación de nutrientes mejoró significativamente y el co-cultivo con una relación de inóculo de 0,5 logró la mayor eliminación de nitrógeno (99,8 %) y fósforo (100 %) dentro de los 2 días de incubación. En el caso de la eliminación de DQO, el co-cultivo con diferentes proporciones de inóculo demostró un rendimiento prácticamente similar (mostrando una eliminación del 90 % ~ 95 % después de un tratamiento de 2 días, lo que indica que no hubo una asociación sólida entre la degradación del carbono y la proporción de inóculo. El crecimiento máximo de microalgas se obtuvo del co-cultivo con una relación de inóculo de 0,5, lo que indica la importancia de una inoculación adecuada. El cocultivo a una proporción de inóculo de 0,5 de lodo activado suspendido y *C. vulgaris* inmovilizado se avanzó en el tratamiento de modo semicontinuo. La investigación llega a la conclusión de que al repetir los ciclos por lotes tres veces, el cocultivo eliminó considerablemente 98 % – 100 % de nitrógeno, 92 % – 100 % de fósforo y 94 % – 96 % de DQO y acumuló 2,2 g/L de producción de biomasa, lo que confirma la estabilidad del cocultivo actual en medio de aguas residuales municipales (6).

La investigación titulada: «Tratamiento de aguas residuales reales mediante co-cultivo de *Chlorella vulgaris* inmovilizada y lodos activados suspendidos» tuvo por objetivo general evaluar el rendimiento de eliminación de nutrientes inorgánicos (nitrógeno y fósforo) y contaminantes orgánicos usando aguas residuales municipales por el sistema de co-cultivo con diferentes proporciones de inóculo (R) de lodo activado en suspensión para microalgas inmovilizadas con alginato *Chlorella vulgaris*. Los reactores de cocultivo con menores proporciones de R obtuvieron mayor remoción de nitrógeno que en cultivo puro de *C. vulgaris*. El reactor con R = 0,5 (lodos/microalgas) presentó el mayor rendimiento logrando un 66 % de remoción a las 24 h y un 95 % de remoción a las 84 h. El fósforo se eliminó por completo (100%) en el sistema de cocultivo con relaciones de inóculo de 0,5 y 1,0 después de 24 h y en el cultivo puro de *C. vulgaris* después de 36 h. El nivel de DQO se redujo considerablemente en el reactor de lodos activados, mientras que aumentó en el cultivo puro de *C. vulgaris* después de 24 h de incubación. Sin embargo, la DQO casi se estabilizó después de 24 h en los reactores con relaciones R altas como 2,0; 5,0 y 10 debido a la mayor concentración de lodos activados.

La investigación llega a la conclusión de que el crecimiento de *C. vulgaris* se promovió de 0,03 g/L por día a 0,05 g/L por día en el co-cultivo de bajas relaciones de inóculo como  $R = 0,5$ , lo que implica que existe una relación de inóculo óptima en el co-cultivo sistema para lograr una eliminación eficiente de los nutrientes (7).

La investigación titulada: «Preparación de carbón activado a base de bagazo de caña de azúcar y su eficacia de adsorción en la eliminación de  $DBO_5$  y DQO de efluentes textiles: modelado, optimización y aspectos cinéticos basados en RSM» tuvo por objetivo general la eliminación de la demanda biológica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y la demanda química de oxígeno (DQO) de efluentes de desechos textiles utilizando carbón activado preparado a partir de bagazo de caña de azúcar (SBAC). Las tres variables de proceso independientes, la dosis de SBAC, el pH y el tiempo de reacción, se seleccionaron para desarrollar modelos matemáticos para la eficiencia de eliminación de  $DBO_5$  y DQO utilizando la metodología de superficie de respuesta (RSM). Los modelos previstos se optimizaron estadísticamente para maximizar la eliminación de  $DBO_5$  y DQO. Se pronosticó que los valores óptimos serían una dosis de SBAC de 0,915 g/L, un pH de 3,225 y un tiempo de reacción de 98,91 min para maximizar las eficiencias de eliminación de  $DBO_5$  y DQO de 0,0225 mg/L y 0,023 mg/L, respectivamente. La investigación llega a la conclusión de que usando estos valores óptimos, los estudios de cinética de los datos experimentales mostraron que las constantes de velocidad para la eliminación de  $DBO_5$  y DQO fueron 0,028 mg/L min<sup>2</sup> y 0,0274 mg/L min<sup>2</sup>, respectivamente (8).

La investigación titulada: «Tratamiento combinado de aguas residuales domésticas y de la industria de la pulpa y el papel en un biorreactor de lodo activado incrustado en paja de arroz para lograr objetivos de desarrollo sostenible» tuvo por objetivo general evaluar el desempeño del sistema de biorreactor de lodos activados (ASBS) para el tratamiento de aguas residuales de la industria de la pulpa y el papel (PPIW). Se caracterizó las aguas residuales de la industria de la pulpa y el papel. Durante el experimento, las aguas residuales domésticas y las aguas residuales de la industria de la pulpa y el papel se corrieron a un tiempo de retención hidráulica (TRH) fija de 1 día. Posteriormente, se evaluó el sistema de biorreactor de lodos activados variando el TRH y la tasa de carga orgánica. La TRH se varió en el rango de 3 días, 2 días y 1 día. A un TRH fijo de 2 días, la eliminación máxima y mínima de DQO fue de 88,4 % y 63,2 %. A lo largo del estudio, el sistema de biorreactor de lodos activados demostró una mayor eficiencia de tratamiento en términos de eliminación de DQO. Para el estudio se aplicaron modelos biocinéticos de primer orden, segundo orden Grau y Stover Kincannon modificado. La investigación biocinética muestra que el modelo cinético de Stover Kincannon modificado fue más apropiado para la descripción de los datos experimentales en términos de parámetros

de crecimiento microbiano. La investigación llega a la conclusión de que los coeficientes cinéticos obtenidos en este estudio podrían utilizarse para el escalado del biorreactor. El estudio también ha demostrado que el biosorbente fabricado a partir de residuos de biomasa puede ayudar potencialmente a preservar los recursos no renovables y promover el logro de cero residuos y los principios de una bioeconomía circular (9).

La investigación titulada: «Adición a gran escala de carbón activado en polvo al reactor de lodos activados de una planta de tratamiento de aguas residuales municipal: control de compuestos farmacéuticos e impacto general en el proceso» tuvo por objetivo general la dosificación de carbón activado en polvo (CAP) a un reactor de lodos activados (LA) convencional en el tratamiento de aguas residuales municipales. Se realizó una prueba CAP-LA a gran escala de 3 semanas en una planta de zanja de oxidación para evaluar el impacto del CAP en la calidad del efluente (carbono orgánico disuelto (COD) y otros parámetros), consumo de energía, producción de lodos y costos. Las dosis de CAP normalizadas con COD de 0,7 mg CAP/mg COD –2,6 mg CAP/mg COD redujeron significativamente la descarga en un 63 % –83 % para la carbamazepina y en un 67 % –69 % para el diclofenaco; la dosis más alta produjo una calidad del efluente más confiable. También se mejoró la calidad del efluente para el fósforo total, el color, la materia orgánica y la transmitancia y no se observó interferencia con la nitrificación, el potencial de oxidación-reducción o el oxígeno disuelto en la zanja de oxidación, por lo que no aumentó el consumo de energía. El CAP no tuvo impacto en la turbidez del efluente ni en la sedimentación de los sólidos en suspensión del licor mixto, mostrando un efecto positivo en el peso seco del lodo deshidratado y, en última instancia, un aumento del 7% al 9 % en la producción final de lodo. La investigación llega a la conclusión de que después de detener la dosificación de CAP, el CAP que quedaba en el lodo de retorno presentó capacidad de adsorción para algunos compuestos farmacéuticos hasta que estuvo completamente fuera del sistema. Los costos estimados para la adición de CAP al reactor LA se compararon favorablemente con los datos de la literatura para el tratamiento posterior con CAP y carbón activado granular y, de manera similar, con la ozonización posterior (10).

La investigación titulada: «Aprovechamiento de lodos depuradoras urbanas como adsorbente. Efecto del método de activación» tuvo por objetivo general estudiar los lodos de depuradoras urbanas de una PTAR en Matanzas y producir carbón activado para la remoción de fenol, Cuba. Se activó el lodo de depuradora por vapores de agua por el método físico y con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) por el método químico. Se desarrollaron estudios isotérmicos de Langmuir y Freundlich, del carbón activado obtenido a partir de los lodos de depuradora, obteniendo como resultado una alta capacidad de adsorción de fenol por el desarrollo de la porosidad producida en la activación y por las características superficiales de estructura

heterogénea. La investigación llega a la conclusión de que las características y condiciones del carbón activado obtenido del lodo de depuradora demostraron efectividad en la remoción de fenoles (11).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

La investigación titulada: «Remoción de demanda química de oxígeno de aguas residuales empleando carbón activado en la laguna de oxidación, Nuevo Chimbote – 2022» tuvo por objetivo general eliminar DQO de aguas residuales utilizando carbón activado en la laguna oxidación "La Gaviota". Es una investigación aplicada, demostración y desarrollo. Se compró un contenedor en el que se tuvo contacto directo con carbón activado. Pruebas realizadas: valor de la demanda química de oxígeno (DQO), como característica adicional demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y pH. El sistema incluye un filtro biológico al que se le suministrará el agua Escombros recogidos de la cercana laguna oxidante La Gaviota Nuevo Chimbote, eficiencia química estimada de DQO, DBO<sub>5</sub> y pH, que servirán de referencia, luego se graficó la propuesta de biofiltro y desarrollo de proyecto de biofiltro de carbono algarrobo activado, arena gruesa, grava, polis y otras aguas para tratamiento. Los plazos analizados fueron de 7 días, 14 días y 30 días, los cuales continuarán. La investigación llega a la conclusión de que el resultado es una eliminación efectiva del 75,74% DQO, 76,02%, DBO<sub>5</sub> y pH 7,45.(12).

La investigación titulada: «Empleo de filtros de carbón activado de endocarpio de coco y cascarilla de arroz para el tratamiento de aguas residuales» tuvo por objetivo general determinar la eficiencia del carbón activado cosechado de copra y cáscaras de arroz para el tratamiento de aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) el Molino. Se definió el comportamiento de los parámetros entre sí para elegir qué filtro mejor para tratar y finalmente comparar los resultados con los prescritos nacionales e internacionales. Para este propósito, los residuos se utilizan como precursores generados en grandes cantidades en la región amazónica, ha sido obtenido en fácil de continuar el procesamiento. El estudio anterior se llevó a cabo utilizando el método activador químico con 85 % de activador ácido fosfórico y clorhídrico <9,9 %. Por otro lado, para determinar el efecto carbón activado, se utilizaron 5 filtros con diferente composición interna, de los cuales muestra resultados óptimos con valores máximos de 20 %, 90 %, 91 %, 61 %, 45 % para son pH, DBO, DQO, CE y TSS, respectivamente. Sin embargo, para el parámetro no se ha demostrado la eficacia microbiana (*E. coli* termogénica). La investigación llega a la conclusión de que los filtros utilizados muestran diferencias significativas en los parámetros a evaluar. Sin embargo, filtro F2 (75% cáscara / 25% arroz con piel interna coco) y F4 (25% cáscara / 75% copra) es el más adaptable al tratamiento (13).

### **2.1.3. Antecedentes regionales y locales**

La investigación titulada: «Evaluación de parámetros biocinéticas mediante lodos activados a nivel de laboratorio de los efluentes de la piscigranja de Miraflores para remoción de la carga orgánica» tiene como objetivo principal evaluar los parámetros biocinéticas utilizando tratamiento por lodos activados a escala laboratorio de los efluentes de la piscigranja de Miraflores. La metodología utilizada implica la caracterización de las aguas residuales de la acuicultura, donde se muestra que se tomó en enero. Los resultados muestran pH de la solución de caracterización = 6,51, carga orgánica 658,1 mg DQO/L, oxígeno disuelto 3,1 mg/L. Para ello se operó un reactor aeróbico con una capacidad de 96,68 L; está comprobado hidráulico; luego alimenta el lodo bioactivo en el tanque de oxidación San Agustín de Cajas de la provincia de Huancayo (14).

La investigación titulada: «Diseño y construcción de un reactor biológico aerobio para la remoción de la carga orgánica a escala de laboratorio de las aguas residuales domésticas del distrito de San Agustín de cajas Huancayo» tuvo como objetivo principal diseñar y construir un biorreactor de oxígeno de laboratorio para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona de San Agustín de Cajas - Huancayo. Para ello, se ha caracterizado las aguas residuales domésticas de la zona, con un cartel concentraciones medias típicas en cargas orgánicas. Un proyecto tiene lugar en el proceso de aireación de largo plazo: TRH: 1, 00392 días, volumen orgánico (COV) <0,4 kg DBO/m<sup>3</sup>-día, edad de lodo de 20 días y un caudal de 0,096 m<sup>3</sup>/días. El material con que fue construido era de vidrio sólido de 6 mm de espesor y dimensiones con una longitud de 0,996 m, ancho: 0,238 m y altura 0,405 m, operando en dos etapas: experimentos preliminares que duran 27 días, causando la inoculación, adaptación y el inicio del sistema, y luego se realizan los experimentos de 9 días. La efectividad de eliminar una carga orgánica de un sistema operativo de 24 horas, con proporción de aire es de 2 L/min, de los cuales la temperatura es una variable independiente, que varió de 15 ° C a 25 ° C y variables dependientes como la remoción de DBO y DQO como parámetro de referencia. Dando como mejores condiciones una temperatura de 25 ° C, en el que el nivel de eliminación fue 80,91% en DBO y 81,11 % DQO, correspondiente al cumplimiento del límite máximo permitido según el MINAM (15).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)**

La configuración de una PTAR depende en gran medida de las características de las aguas residuales y de la calidad deseable del efluente final. El acondicionamiento y distribución de agua para usos residenciales, comerciales e industriales es necesario en todas las comunidades

humanas. Si bien el tratamiento de aguas residuales urbanas es una práctica bien establecida, el tratamiento de aguas hoy en día está sujeto a múltiples cambios. La aplicación de limitaciones más restrictivas sobre la calidad de los efluentes y el uso potencial de esos efluentes como fuentes de agua para la industria, la agricultura y los usos urbanos ha abierto nuevos temas y perspectivas que guiarán la investigación en los próximos años (16).

### **2.2.2. Tratamiento primario**

El proceso primario es el primer paso en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales. Las técnicas incluidas en el proceso primario están diseñadas para reducir los sólidos suspendidos y flotantes en las aguas residuales mediante dispositivos mecánicos o la acción de la gravedad. Los filtros y las pantallas estáticas y móviles bloquean los desechos voluminosos flotantes que podrían obstruir otras tuberías o bombas en la PTAR. Las cámaras de arena disminuyen el flujo, lo que permite el asentamiento de arena y sólidos finos similares. La grasa y el aceite restantes, responsables del olor, normalmente se eliminan en tanques. Además, la sedimentación natural de los sólidos en suspensión se puede mejorar mediante la adición de productos químicos en los tanques de coagulación y floculación. Finalmente, las aguas residuales van al tanque de sedimentación principal (clarificador o tanque de sedimentación), donde aproximadamente el 98 % de los sólidos sedimentables, entre el 60 % y el 80 % de los sólidos en suspensión y entre el 30 % y el 50 % de la demanda de oxígeno pueden eliminarse de las aguas residuales en el proceso. forma de lodo primario (17).

#### **2.2.2.1. Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario consiste en la degradación biológica de la materia orgánica degradable disuelta y los sólidos suspendidos remanentes por parte de microorganismos, reduciendo la carga orgánica en términos de DQO y DBO, así como el número de patógenos. El proceso convencional de lodos activos (LAC) ha sido la tecnología de aguas residuales más utilizada para eliminar nutrientes, materia biológica carbonosa y materia nitrogenada durante más de 100 años (18). La razón principal es su flexibilidad de uso para cualquier tipo de agua residual, produciendo un efluente de alta calidad que cumple con los estándares de efluentes cada vez más estrictos. La biomasa generada por el LAC junto con el efluente de desbordamiento se lleva a un tanque de sedimentación secundario. Parte del lodo se recicla y se usa como inóculo para el efluente primario. El resto del lodo, conocido como lodo secundario, se elimina (16).

#### **2.2.2.2. Tratamiento terciario**

El objetivo del tratamiento terciario es mejorar la calidad del agua tratada con el fin de cumplir con la normativa para su vertido al medio ambiente o reutilización como fuente de

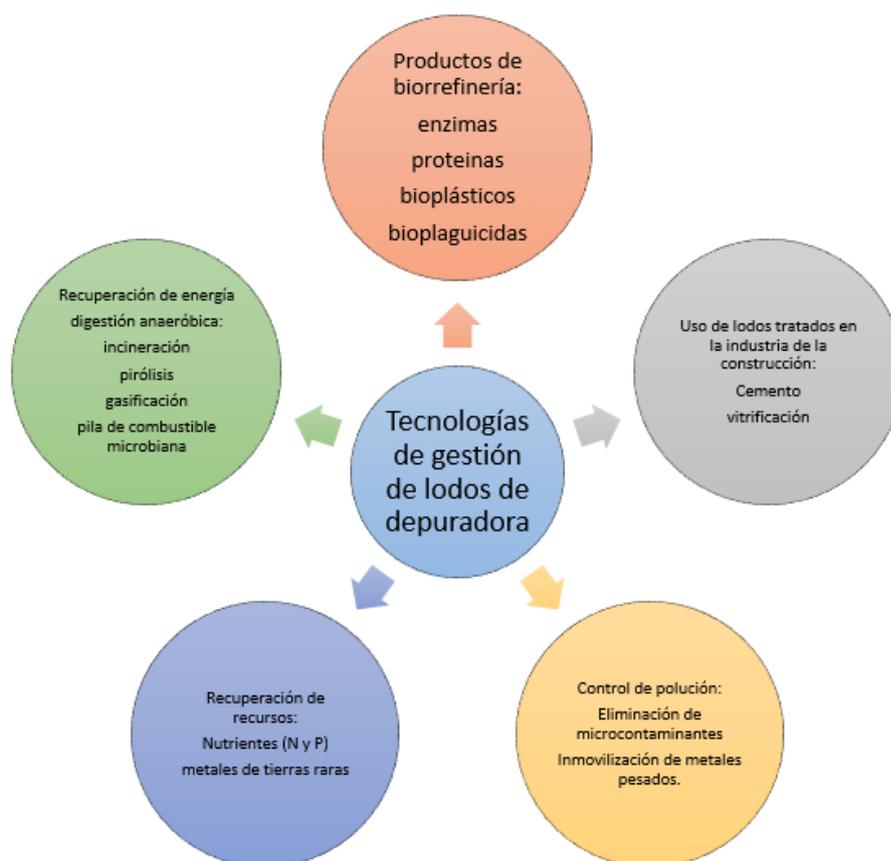
agua. Incluye la eliminación de turbidez y compuestos orgánicos, nutrientes (fósforo y nitrógeno) y metales pesados mediante adsorción en filtro de carbón, filtración, ósmosis inversa u otros procesos fisicoquímicos (16).

### **2.2.3. Lodos biológicos**

Las rutas de tratamiento físico, químico y biológico producen un subproducto sólido que se puede clasificar en dos grupos principales: lodos primarios y secundarios (activados por desechos). El lodo primario se genera mediante el tratamiento pos mecánico después de la etapa primaria, mientras que el lodo activado por desechos se genera mediante el tratamiento biológico mediante la transformación de la contaminación soluble (principalmente C, N y P) en biomasa particulada. Así, los lodos de depuradora son el principal subproducto generado en las PTAR y son una fuente potencial de contaminación ambiental secundaria. Aunque una parte se recicla en la operación de la PTAR, el exceso de lodos de depuradora debe gestionarse y eliminarse de las plantas de tratamiento de aguas residuales (19).

La eliminación de los lodos de depuradora representa un problema importante en las plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que representa entre el 50 % y el 60 % de los costos totales de operación de estas instalaciones (20). Además, se espera un aumento considerable de la generación de lodos debido al crecimiento de la población mundial y del nivel de vida. Este hecho, así como la promulgación de normas de eliminación más restringidas, significa que los métodos de gestión que implican el almacenamiento están siendo reemplazados por métodos que conducen a la estabilización de residuos y al reciclaje seguro (21). Además, la Comisión Europea, en 1991 y 2008, impulsó los métodos de reciclaje y gestión sobre el uso de vertederos. De hecho, es necesaria una reducción del 35% del contenido biodegradable en los vertederos (22).

La figura 1 muestra una variedad de estrategias comunes e innovadoras de manejo de lodos para energía, recuperación de recursos, generación de bioproductos, reutilización y aplicaciones para el control de la contaminación.



**Figura 1. Tecnologías de gestión de lodos de depuradora**  
Tomada y adaptada de Pariente et al. (16)

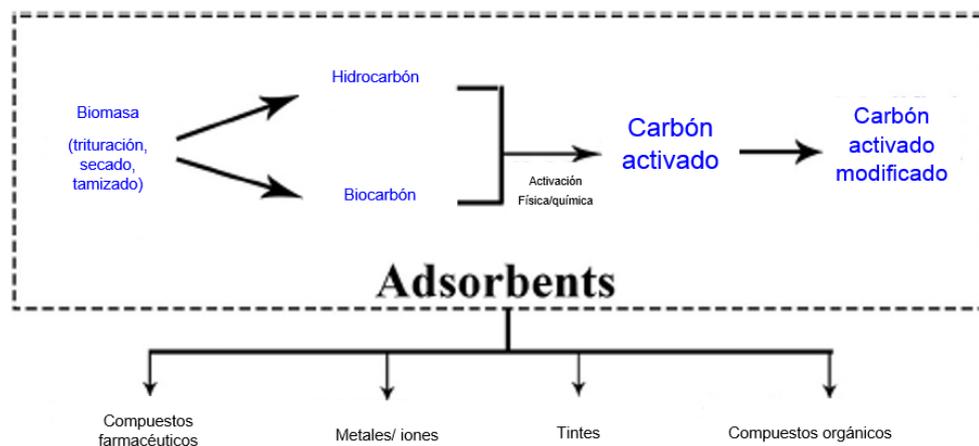
#### **2.2.4. Carbón activado (CA)**

La alta capacidad de adsorción de CA se ha propuesto como uno de los mecanismos más prometedores para eliminar los microcontaminantes de las aguas residuales. Los procesos de adsorción no generan subproductos tóxicos en comparación con otras tecnologías avanzadas utilizadas y también pueden eliminar los inhibidores del tratamiento biológico al mismo tiempo. Un inconveniente a considerar es la posible reducción en la capacidad de adsorción del CA debido a la presencia de materia orgánica disuelta que está presente en la corriente bajo tratamiento. Sin embargo, la materia orgánica disuelta adsorbida puede contribuir al desarrollo de microorganismos en la superficie del CA, mejorando los procesos de biodegradación por parte de la biomasa adherida. De esta manera, los parámetros de diseño y las condiciones operativas que podrían contribuir a aumentar la eficiencia de los sistemas híbridos son cruciales (23).

#### **2.2.5. Síntesis de carbón activado a partir de biorresiduos**

Hasta la fecha, los carbones activados (CA) comerciales utilizados en el tratamiento de aguas residuales se producen a partir de cáscaras de coco, carbón, madera y lignito. Los CA

poseen varias propiedades deseables que permiten su uso en la adsorción: gran área superficial y porosidad, junto con una química superficial que reacciona con moléculas con grupos funcionales específicos. Sin embargo, dado que el tratamiento de aguas residuales es menos rentable en comparación con otros sectores industriales, siempre es preferible reducir el costo que implica su tratamiento. El potencial de los biorresiduos para producir adsorbentes de bajo costo se ha identificado desde la última década y se han realizado una gran cantidad de estudios para determinar las características y eficiencias de los CA producidos a partir de diferentes biorresiduos en la eliminación de diferentes contaminantes de las aguas residuales (24).



**Figura 2. Rutas de síntesis de CA a partir de biorresiduos**  
Tomada y adaptado de Wong et al. (24)

Como se muestra en la figura 2, la síntesis de CA a partir de biomasa generalmente comienza con el pretratamiento de la muestra, que incluye trituración, secado (a  $\sim 100^{\circ}\text{C}$ ) y tamizado para obtener partículas pequeñas dentro de un rango de tamaño específico. A esto le sigue la carbonización de la biomasa en una atmósfera inerte seca ( $300^{\circ}\text{C}$ - $500^{\circ}\text{C}$ ) que facilita la eliminación de materias volátiles y alquitranes y conduce a la formación de biocarbón. Recientemente, el uso de la carbonización hidrotermal está ganando popularidad en la preparación de CA. En este proceso, la biomasa se mezcla con agua o solución reactiva antes de la carbonización (25). El producto de la carbonización hidrotermal se denomina hidrocarbón debido al método de síntesis diferente al del biocarbón. Se afirma que la carbonización hidrotermal es más ventajosa que la carbonización convencional ya que no se requiere el paso inicial de secado de la biomasa. Además, se utiliza una temperatura más baja ( $180^{\circ}\text{C}$ - $250^{\circ}\text{C}$ ) en dicho proceso, ya que la presión del vapor presente en el sistema cerrado actúa como una fuerza motriz adicional para convertir la biomasa en hidrocarbón. Se cree que el agua subcrítica formada en tales condiciones degrada la celulosa, la hemicelulosa y la lignina en la biomasa (26). Además, los gases ácidos producidos durante el calentamiento ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , etc.) pueden reaccionar con el agua para formar una solución ácida, por lo que se elimina la

necesidad de tratar dichos contaminantes gaseosos. También se reportó la presencia de varios grupos funcionales, especialmente oxigenados, en el hidro carbón, lo que resulta en una mayor capacidad de adsorción de contaminantes. Varios estudios demostraron que la presencia de estos grupos funcionales mejora la adsorción de metales pesados en el hidro carbón a pesar de tener una superficie más baja en comparación con los CAs (27).

### **2.2.6. Factores que influyen en la eliminación de microcontaminantes por la presencia de CA**

Los principales factores que influyen en la eliminación de microcontaminantes están relacionados con las propiedades de los compuestos, las características de CA y la frecuencia y el modo de dosificación, la composición de las aguas residuales (es decir, materia orgánica disuelta (MOD) y su contenido de moléculas grandes y compuestos orgánicos de bajo peso molecular) y las condiciones operativas del tratamiento. Las interacciones entre microcontaminantes y CA dependen de sus propiedades. La medida en que pueden desarrollarse estas interacciones está relacionada con la cantidad disponible de CA y microcontaminantes y las condiciones bajo las cuales ocurren estas interacciones (28).

#### **2.2.6.1. Propiedades microcontaminantes (MC)**

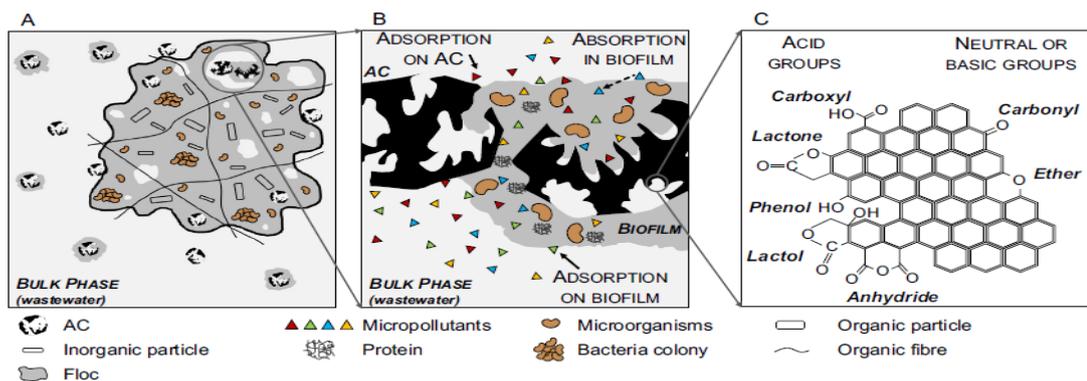
Las principales propiedades que afectan a los mecanismos de eliminación de MC incluyen la carga de la molécula, tamaño molecular y grupos funcionales específicos dentro de la molécula (28).

- a) Carga de la molécula: la carga es un parámetro principal y su eliminación se debe a interacciones electrostáticas con CA (compuestos aniónicos, neutros, zwitteriónicos y catiónicos al pH de operación) (28).
  
- b) Tamaño molecular: Alves y sus compañeros encontraron que, si se agrega CA al agua enriquecida, existe una clara correlación entre el peso molecular y la eficiencia de remoción: afirmaron que, a mayor peso molecular, mayor cantidad de CA para garantizar la misma eficiencia de remoción, lo que confirma que el impedimento estérico de las moléculas grandes dificulta su tasa de adsorción. Este comportamiento es más pronunciado en el caso de compuestos hidrofílicos (29).

#### **2.2.6.2. Características del carbón activado**

Alves y sus compañeros compararon las eficiencias de remoción para una amplia selección de compuestos con diferentes tipos de CA en términos de activación (con vapor o químicos), propiedades texturales, propiedades químicas (relacionadas con los grupos funcionales en la

capa externa del grano y en particular con la presencia de grupos superficiales de oxígeno, como carboxílicos, éteres y lactonas), punto de pH de carga cero, así como carga superficial a pH = 8. Descubrieron que, en agua pura, los carbones activados químicos son más propensos a atraer y unir MC que los carbones activados por vapor y garantizan una eliminación del 80 % en dosis más bajas (29). Choi y compañeros vincularon las características de CA (área de superficie específica, volumen de poro y material) con la adsorción de MC en columnas de carbón activado granular (CAG). Encontraron una correlación negativa entre el volumen de poro y el área de superficie específica; remarcaron que el área de superficie específica y el volumen de poro se reducen a medida que aumenta el tiempo de operación, su reducción ocurre principalmente en los microporos y que los ontomacroporos adsorbidos por MC y oxígeno disuelto (DO) pueden causar posteriormente un bloqueo de microporos. El alcance de esta reducción depende del tipo de carbono (30). Según las investigaciones de Fundneider, una proporción equilibrada de macro, meso y microporos en el CAG mejora la eliminación de MC en presencia de COD, mientras que el GAC con una alta proporción de microporos se ve más afectado por el bloqueo de poros debido a la adsorción de carbón orgánico disuelto (COD). La eliminación de MC se ve fuertemente afectada por la presencia de MOD que puede cubrir parcialmente la superficie de CA. Si un CA tiene carga positiva, atrae MOD (carga negativa) y, por lo tanto, su superficie tendrá zonas cargadas positiva y negativamente, atrayendo MC aniónicas y catiónicas respectivamente (figura 3). Finalmente, también se encontró que el volumen de poro es más importante que el área específica y un mayor volumen de poro generalmente permite una mayor eliminación de MC (31).



**Figura 3. Representación de un floculo de lodo en el biorreactor en presencia de CA Tomada y adaptada de Gutiérrez et al. de (28)**

De la figura 3, se observa (A) Mecanismos de eliminación de MC en una partícula de CA incorporada en el floculo de lodo (B); principales grupos funcionales en la superficie de CA (C).

### **2.2.6.3. Dosis y pérdidas de carbón activado en polvo CAP**

La dosis de CAP parece ser uno de los parámetros operativos cruciales con respecto a la influencia en la eliminación de MC. Las dosis probadas se definieron generalmente sobre la base de pruebas de lotes preliminares con el objetivo de investigar el potencial de sorción del MC específico en un CA en agua pura (28).

El CAP se agregó al inicio de las investigaciones (32) o periódicamente durante el período experimental (33). En este último escenario, el aire acondicionado nuevo se mezcla con el aire acondicionado "más antiguo" que está parcialmente saturado. Se encontró que la adición conduce a una mejora en la eliminación de MC recalcitrantes como la carbamazepina y el diclofenaco, por lo que se sugirió la carbamazepina (concentración) como indicador del nivel de saturación de CA (33).

La pérdida de la capacidad de adsorción potencial del CA se reduce no solo por su saturación progresiva, sino también por sus pérdidas del sistema, por la extracción del exceso de lodo o retenido de las unidades de membrana post tratamiento. La adición de CAP (reposición) es por lo tanto necesaria para mantener su concentración deseada en el tanque (28).

### **2.2.6.4. Tiempo de retención de lodos (TRL)**

Choon Aun y Darren Sun evaluaron la influencia del TRL en reactores de membranas híbrido. A TRL más bajos, se requiere una mayor cantidad de CAP fresco para mantener una concentración de CA bastante constante en el biorreactor. Esto proporcionaría una mayor adsorción de MC y MOD y, al mismo tiempo, esta práctica reduciría el riesgo de ensuciamiento de la membrana. Los TRL más altos promueven el desarrollo de una diversidad de especies de biomasa dentro del compartimento biológico y, por lo tanto, favorecerían los procesos de biodegradación de MC (34).

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

Según estudios cinéticos, como los de Kovalova, Mailler y Meinel, el tiempo de contacto influye en la tasa de eliminación de MC. Descubrieron que el TRH corto (30 min - 60 min) puede ser suficiente para garantizar una adsorción eficiente de la mayoría de los MC. Además, la adsorción es más rápida en el caso de CA más fino. En los estudios revisados, el TRH probado para el tanque con CAP como post tratamiento varió entre 0,5 h y 24 h y permite la transferencia de la mayoría de las MC de la fase líquida a la sólida (35–37). Según Lee Sangho, en el reactor de membranas, alto TRH, bajo flujo y mezcla intensa en el biorreactor son las mejores condiciones operativas para mantener el CAP en la fase a granel y reducir su deposición

contra la membrana. De hecho, descubrieron que el CAP contra la membrana reduce su superficie disponible de sorción y, por lo tanto, su capacidad potencial de eliminación. Estos hallazgos se refieren a investigaciones realizadas con agua desionizada, donde no puede ocurrir biodegradación para el compuesto investigado. Es importante remarcar que el tiempo de retención del CAP en el tanque es otro parámetro fundamental, pero lamentablemente no es posible correlacionar los datos de remoción de MC con el tiempo de retención del CAP debido a la falta de datos (38).

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

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

#### **3.1.1. Método general**

El método general o teórico de la investigación fue experimental, porque primero se realizó la investigación sobre la remoción de la materia orgánica y (como indicadores se tienen la DQO y la DBO) de aguas residuales municipales mediante el carbón activado y lodos de depuradora; para posteriormente, extraer e interpretar los resultados experimentales y validar o no las hipótesis de investigación planteadas (39).

#### **3.1.2. Método específico**

Según Espinoza, el método de investigación aplicó pasos sistemáticos para el desarrollo de la investigación tomando los sustentos teóricos y poniéndolos en práctica de manera consistente (40).

El método de investigación que se empleó fue cuantitativo, porque según Hernández este método recolecta información en base a resultados experimentales del fenómeno a estudiar a través del método experimental a desarrollar (39).

#### **3.1.3. Tipo de investigación**

Según el alcance de la investigación, el tipo de investigación que se desarrolló fue aplicado, ya que, según Hernández, este tipo de investigación aplica los conocimientos científicos en la solución de problemas de manera práctica. En la presente investigación se buscó remover la materia orgánica de las aguas residuales municipales mediante el carbón activado y los lodos de depuradora (39).

### 3.1.4. Nivel de investigación

Según el alcance de la investigación, el nivel de investigación que se desarrolló fue explicativo, porque se detalló el efecto del carbón activado y los lodos de depuradora a la eficiencia de remoción de la DQO y la DBO de las aguas residuales municipales (39).

### 3.2. Diseño de la investigación

Para poder determinar el efecto de la proporción de carbón activado y lodos de depuradora, y el tiempo de contacto sobre la remoción de la DQO y la DBO<sub>5</sub> se empleó un diseño de investigación experimental completamente al azar (DCA) (39).

**Tabla 1. Niveles de las variables**

Variabales	(-)	(0)	(+1)
Carbón activado (g/L)	0,10	0,15	0,20
Lodos de depuradora (mL/L)	5	7	10
Tiempo de contacto (horas)	5	7	8

**Tabla 2. Matriz para selección de proporciones de CA y LD**

Carbón activado (g/L)	Lodos de depuradora (mL/L)	DQO
0,10	5	Cf_DQO
	7	Cf_DQO
	10	Cf_DQO
0,15	5	Cf_DQO
	7	Cf_DQO
	10	Cf_DQO
0,20	5	Cf_DQO
	7	Cf_DQO
	10	Cf_DQO

Posteriormente se seleccionó las 3 proporciones de carbón activado y lodos de depuradora con mayor eficiencia en la remoción de DQO con el cual se trabajará el diseño experimental.

**Tabla 3 . Diseño completamente al azar**

Tratamiento	Carbón activado/Lodos de depuradora (g/mL)	Tiempo de contacto (h)	Réplica I	Réplica II
1	CA <sub>X</sub> /LD <sub>X</sub>	5	C <sub>F-DQO,DBO</sub>	C <sub>F-DQO,DBO</sub>
2		7	C <sub>F-DQO,DBO</sub>	C <sub>F-DQO,DBO</sub>
3		8	C <sub>F-DQO,DBO</sub>	C <sub>F-DQO,DBO</sub>
4	CA <sub>Y</sub> /LD <sub>Y</sub>	5	C <sub>F-DQO,DBO</sub>	C <sub>F-DQO,DBO</sub>
5		7	C <sub>F-DQO,DBO</sub>	C <sub>F-DQO,DBO</sub>
6		8	C <sub>F-DQO,DBO</sub>	C <sub>F-DQO,DBO</sub>
7	CA <sub>Z</sub> /LD <sub>Z</sub>	5	C <sub>F-DQO,DBO</sub>	C <sub>F-DQO,DBO</sub>
8		7	C <sub>F-DQO,DBO</sub>	C <sub>F-DQO,DBO</sub>
9		8	C <sub>F-DQO,DBO</sub>	C <sub>F-DQO,DBO</sub>

Donde: C<sub>F-DQO, DBO</sub>: concentración final de DQO y DBO<sub>5</sub>.

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

La población de estudio fue las aguas residuales municipales del distrito de San Agustín de Cajas – Huancayo.

#### 3.3.2. Muestra

La muestra tomada fue de un 1 L de agua residual municipal contaminada en un envase de plástico para la determinación inicial de los contaminantes presentes en el agua residual.

Se recolectó 18 litros más para las pruebas experimentales en las cuales se determinaron la remoción de la DQO y la DBO mediante el carbón activado y los lodos de depuradora. El total de volumen de la muestra de agua residual recolectada fue de 19 litros para el desarrollo experimental.

En la figura 4 se muestra las coordenadas y el punto exacto de la toma de muestra de las aguas residuales municipales de San Agustín de Cajas, que estuvo ubicada exactamente en colector de ingreso de la laguna de oxidación con la que cuenta dicho distrito. Esto debido a que en el protocolo de monitoreo de la calidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticos o municipales propuestos por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento menciona que en dicho punto se encuentran combinados las aguas residuales de los distintos colectores de la ciudad lo que nos permite obtener una muestra representativa.

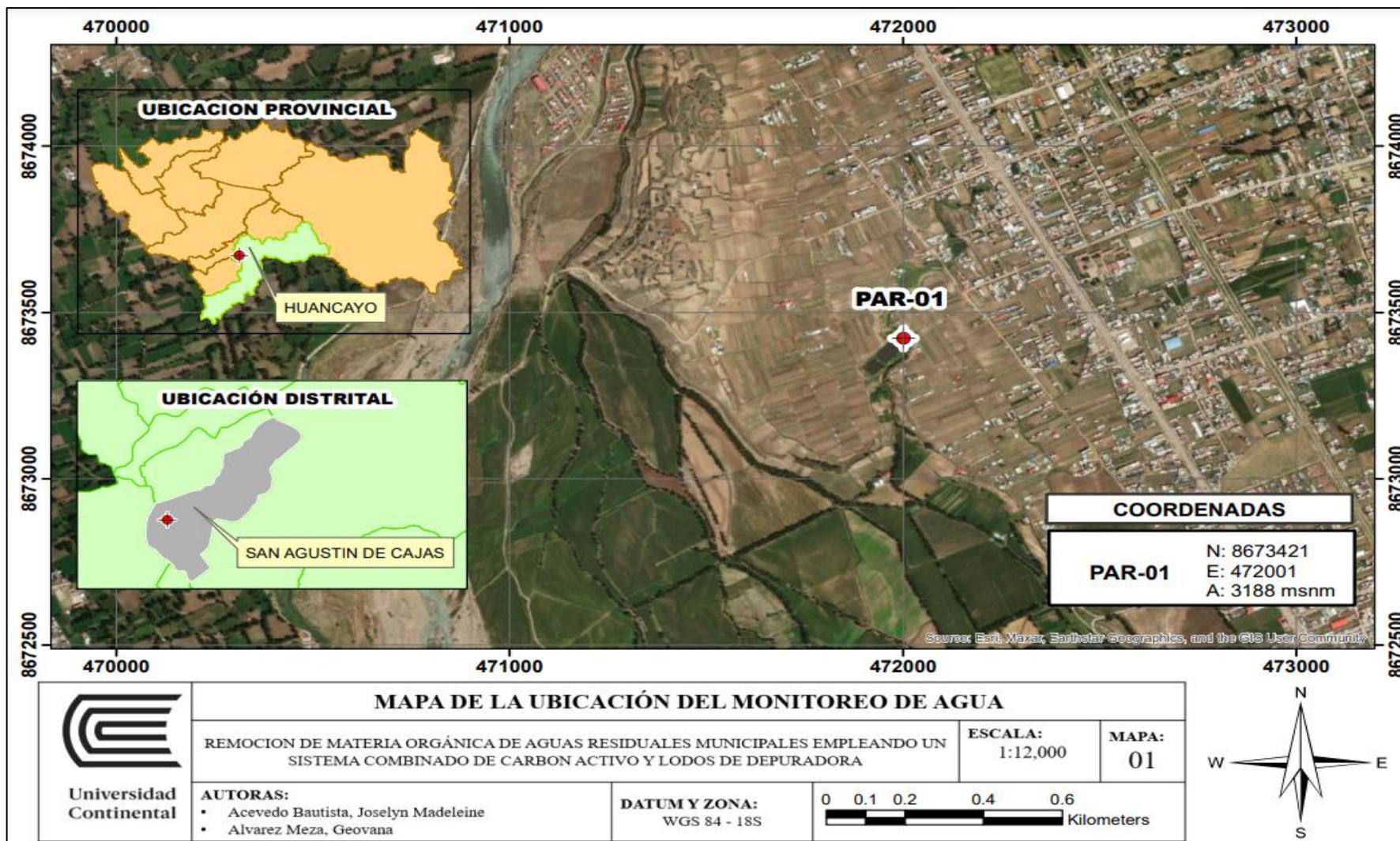


Figura 4. Mapa de ubicación del punto de monitoreo de las aguas residuales de San Agustín de Cajas

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

#### **3.4.1. Técnicas e instrumentos**

- ✓ Monitoreo y recolección de aguas residuales municipales
- ✓ Proceso experimental de remoción de la materia orgánica de las aguas residuales
- ✓ Análisis de laboratorio
- ✓ Reportes de laboratorio
- ✓ Síntesis de artículos científicos a fin con la investigación

#### **3.4.2. Materiales**

- Monitoreo
  - ✓ Cooler
  - ✓ 2 botellas de 500 mL de vidrio ámbar
  - ✓ Botella de 1000 mL de plásticos
  - ✓ Refrigerantes
  - ✓ Brazo muestreador
  - ✓ Pizarras
  - ✓ GPS
  - ✓ Multiparámetro
- Experimental
  - ✓ Vasos de precipitación de 1000 mL
  - ✓ Aireadores
  - ✓ Probetas
  - ✓ Balanza

#### **3.4.3. Procedimientos**

##### **3.4.3.1. Etapa de precampo**

- a) Se identificó la accesibilidad del lugar para la recolección de muestras para ello se realizó un mapeo con ayuda del Google Earth.
- b) Se revisó que los materiales para almacenar la muestra se encuentren esterilizados y acondicionaron adecuadamente.
- c) Se revisó que los envases a usar para el muestreo se encuentren rotulados y con la información necesaria para su identificación.
- d) Se alisto la cadena de custodia, registros necesarios como tableros, lapicero, plumones y pizarras para hacer anotaciones necesarias mencionados en el protocolo de monitoreo de la calidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticos o municipales.
- e) Además de los equipos de campo para ello se verifico que estén debidamente calibrados y en sus maletas de transporte.

- f) Se alistaron los refrigerantes para poder preservar las muestras hasta su envío a laboratorio.
- g) Se alistaron los EPPs necesarios para la recolección de muestras como: zapatos o botas de seguridad, lentes, mascarilla y guantes desechables.

### **3.4.3.2. Etapa de campo**

El agua residual que se utilizó en esta investigación fue el afluente de la laguna de oxidación de la municipal en San Agustín de Cajas, Huancayo. El agua residual se caracterizó de acuerdo con el método estándar de agua y aguas residuales para DQO y DBO. La concentración de la DQO y la DBO<sub>5</sub> se midieron con un espectrofotómetro.

La recolección de las muestras de agua residual se realizó siguiendo el protocolo de monitoreo de la calidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticos o municipales realizando los siguientes pasos:

- a) Se asistió al lugar de muestreo con los EPPs necesarios para un muestreo: cofia, guantes, mascarilla y guardapolvo.
- b) Se ubicó las coordenadas UTM del lugar de muestreo con ayuda del GPS.
- c) Se rotularon los frascos de plástico con la fecha y hora de muestreo.
- d) Se tomó la muestra en el afluente de la PTAR con los frascos al ras del envase para evitar el burbujeo para la determinación de la DQO y un 1/3 libre del frasco para la determinación de la DBO.
- e) Después de recolectar las muestras de aguas residuales, se mantuvo a temperaturas por debajo de 4 °C y pH por debajo de 2 para su posterior análisis.

- **Recolección de los lodos de depuradora y carbón activado**

Los lodos de depuradora fueron obtenidos del tratamiento primario y secundario de la PTAR de San Agustín de Cajas y el carbón activado fue adquirido de una distribuidora de productos químicos.

El carbón activado (CA) a utilizar en este estudio fue CA granular (CAG) a base de carbón que tenía una estructura porosa y un área superficial aproximadamente de 1500 m<sup>2</sup>/g. El CAG para el tratamiento de agua normalmente tiene un diámetro promedio de 1,2 mm a 1,6 mm (3).

### **3.4.3.3. Etapa de experimentación**

El procedimiento experimental fue adaptado del estudio de Zahmatkesh (3).

- **Selección de proporciones de carbón activado y lodos de depuradora:**
  - ✓ Para llevar a cabo las reacciones, se conectó los vasos de precipitación de 1 L a una bomba de aire.

- ✓ En cada vaso, se agregó una cantidad específica de lodo de depuradora y carbón activado (0,1 g/L, 0,15 g/L y 0,2 g/L de carbón activado con 5 mL/L, 7 mL/L y 10 mL/L de lodo de depuradora).
- ✓ Se introdujo aire con un flujo de 1L/min en cada vaso para asegurar una mezcla eficaz y suministrar oxígeno adecuado para la eliminación de DQO.
- ✓ La muestra se detuvo para sedimentar sus sólidos en suspensión en los conos imhoff, el lodo de depuradora y el carbón activado.
- ✓ Después de 7 h se midió la DQO en la muestra de agua tratada.
- ✓ Posteriormente, se seleccionó las 3 proporciones de carbón activado y lodo de depuradora que presentaron mayor eficiencia al remover DQO.

- **Tratamiento del agua residual municipal según diseño experimental**

En cada vaso, se agregó las proporciones seleccionadas de lodo de depuradora y carbón activado. Se introdujo aire con un flujo de 1L/min en cada vaso para asegurar una mezcla eficaz y suministrar oxígeno adecuado para la eliminación de DQO y DBO<sub>5</sub>.

- Luego de la aireación, la muestra se detuvo para sedimentar sus sólidos en suspensión en los conos imhoff, el lodo de depuradora y el carbón activado.
- En este experimento, se tomó muestras del sobrenadante y se determinó la DQO y la DBO<sub>5</sub>. Después de 5 h, 7 h y 8 h de aireación, se midió la DQO y la DBO<sub>5</sub> en la muestra final tratada.
- Finalmente, cada tratamiento se replicó dos veces.

#### **3.4.3.4. Etapa de laboratorio**

Se procedió a enviar las muestras tratadas en las condiciones mencionadas por el laboratorio de análisis ambiental, donde se procederá a determinar DQO y DBO<sub>5</sub>, debido a que son indicadores indirectos para la determinación del contenido total de materia orgánica en muestras acuosas ya que esta se puede medir partir de la cantidad de oxígeno necesaria para su completa oxidación. Así mismos estudios realizados por MUJTABA, Ghulam en el año 2017 (3) y ZAHMATKESH, S. en el 2020 (2) utilizaron los mismos parámetros para la determinación de la eficiencia del tratamiento.

#### **3.4.3.5. Etapa de gabinete**

Los reportes otorgados por el laboratorio de análisis ambiental fueron revisados para asegurar la conformidad de los datos personales que estos tengan y se procedió a realizar el análisis de estos resultados.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Presentación de resultados

##### 4.1.1. Caracterización de agua residual municipal de San Agustín de Cajas

**Tabla 4. Coordenadas UTM**

Coordenadas UTM			
	Norte	Este	Altitud (m s. n. m)
Agua residual municipal	8673421	472001	3188

En la tabla 4 se puede observar las coordenadas UTM de donde se recolectó la muestra de aguas residuales municipales en San Agustín de Cajas ubicado el punto de muestreo en la zona 18S 8679421 472001 a 3188 m s. n. m.

**Tabla 5. Caracterización del agua residual municipal**

Parámetros	Unidad	Resultado inicial
Temperatura	°C	17,10
pH	Unidades de pH	8,00
Conductividad	us/cm	780,00
Turbidez	NTU	79,45
Solidos totales disueltos	mg/L	160,00
DQO	mg/L	436,15
DBO <sub>5</sub>	mg/L	221,60

En la tabla 5 se puede observar los parámetros analizados de la muestra de agua residual municipal recolectada del distrito de San Agustín de Cajas – Huancayo, asimismo se puede observar la concentración inicial de DQO y DBO<sub>5</sub> las cuales sobrepasan los límites máximos permisibles (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO<sub>5</sub>.

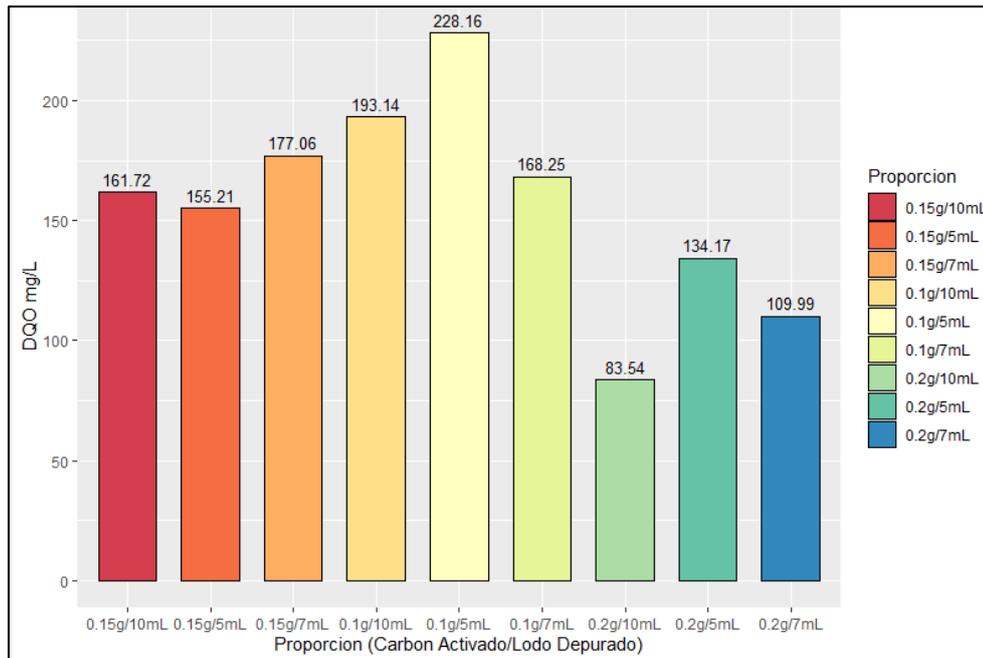
#### 4.1.2. Selección de proporciones de carbón activado y lodo de depuradora

De los tratamientos experimentales, se requirió conocer las proporciones de mayor eficiencia en la remoción de DQO por lo que se realizó el proceso experimental con un tiempo de 7 horas.

**Tabla 6. Selección de proporciones de CA y LD**

Carbón activado (g/L)	Lodo de depuradora (mL/L)	Tiempo de contacto (h)	DQO
0,1	5	7	228,16
0,1	7	7	168,25
0,1	10	7	193,14
0,15	5	7	155,21
0,15	7	7	177,06
0,15	10	7	161,72
0,2	5	7	134,17
0,2	7	7	109,99
0,2	10	7	83,54

En la tabla 6, se puede observar los resultados con respecto a la concentración final de DQO: con 0,1 g/L de carbón activado y 7 mL/L de lodo de depuradora se obtuvo una concentración final menor de DQO de 168,25 mg/L, con 0,15 g/L de carbón activado y 5 mL/L de lodo de depuradora se obtuvo una concentración final menor de DQO de 155,21 mg/L y con 0,2 g/L de carbón activado y 10 mL/L de lodo de depuradora se obtuvo una concentración final menor de DQO de 83,54 mg/L.



**Figura 5. Concentración de DQO para la determinación de proporciones**

En la figura 5, se puede observar que se obtuvo una concentración final mínima de DQO de hasta 83,54 mg/L con 0,2 g/L de carbón activado y 10 mL/L de lodo de depuradora, asimismo se obtuvo una mayor concentración final de 228,16 mg/L con 0,1 g/L de carbón activado y 7 mL/L de lodo de depuradora siendo esta la menos eficiente.

Las proporciones de carbón activado y lodo de depuradora se hallaron a continuación:

**Tabla 7. Determinación de proporciones**

Carbón activado (g/L)	Lodo de depuradora (mL/L)	CA/LD(g/mL)
0,1	7	0,014
0,15	5	0,030
0,2	10	0,020

En la tabla 7, se puede observar las proporciones que se obtienen al dividir la concentración de carbón activado con el lodo de depuradora, siendo ellas las proporciones con las que se trabajara nuestro proceso experimental.

### 4.1.3. Concentración final de materia orgánica

**Tabla 8. Concentración final de DQO y DBO<sub>5</sub> - primera repetición**

Tratamiento	Proporción de carbón activado y lodos de depuradora (g/mL)	Tiempo de contacto (h)	DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
1	0,014	5	183,89	84,71
2	(0,1 g/L de CA y 7 mL/L de LD)	7	169,14	79,45
3		8	155,31	73,05
4	0,030	5	157,79	79,42
5	(0,15 g/L de CA y 5 mL/L de LD)	7	137,53	68,97
6		8	146,74	70,15
7	0,020	5	123,98	63,74
8	(0,2 g/L de CA y 10 mL/L de LD)	7	105,94	52,67
9		8	71,74	34,19

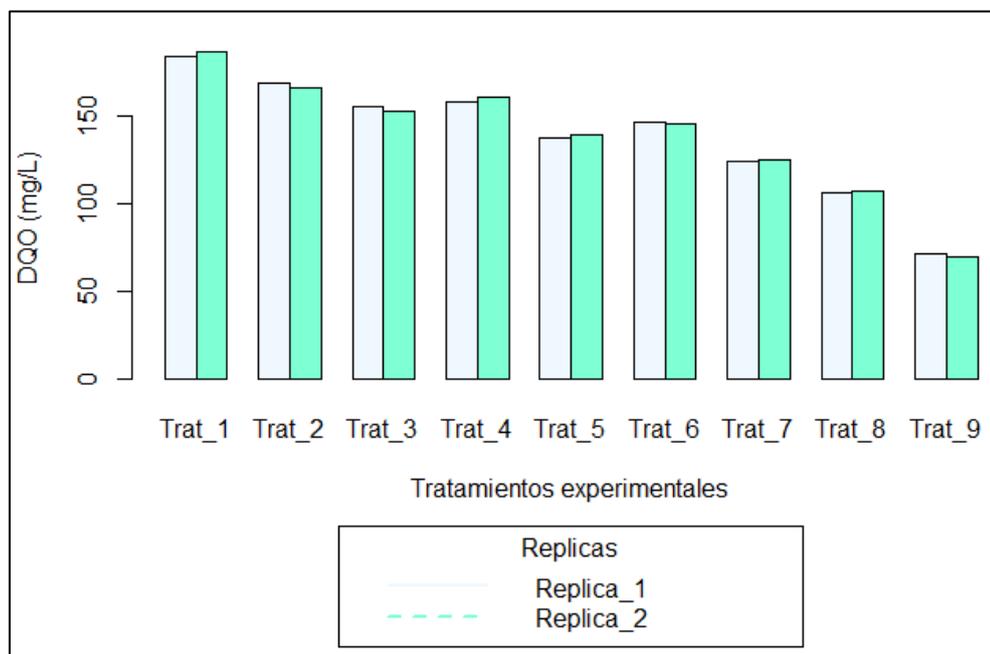
En la tabla 7, se puede observar que la menor concentración final obtenida de DQO y DBO<sub>5</sub> luego del tratamiento fue de hasta 71,74 mg/L y 34,19 mg/L respectivamente, esto se logró con una proporción 0,020 g/mL (0,2 g/L de CA y 10 mL/L de LD) y un tiempo de 8 h.

Se realizó un análisis inicial para el tratamiento de las II réplicas obteniendo los siguientes valores de 430,1 mg DQO/L y 218,20 mg/ DBO<sub>5</sub>/L.

**Tabla 9. Concentración final de DQO y DBO<sub>5</sub> - segunda repetición**

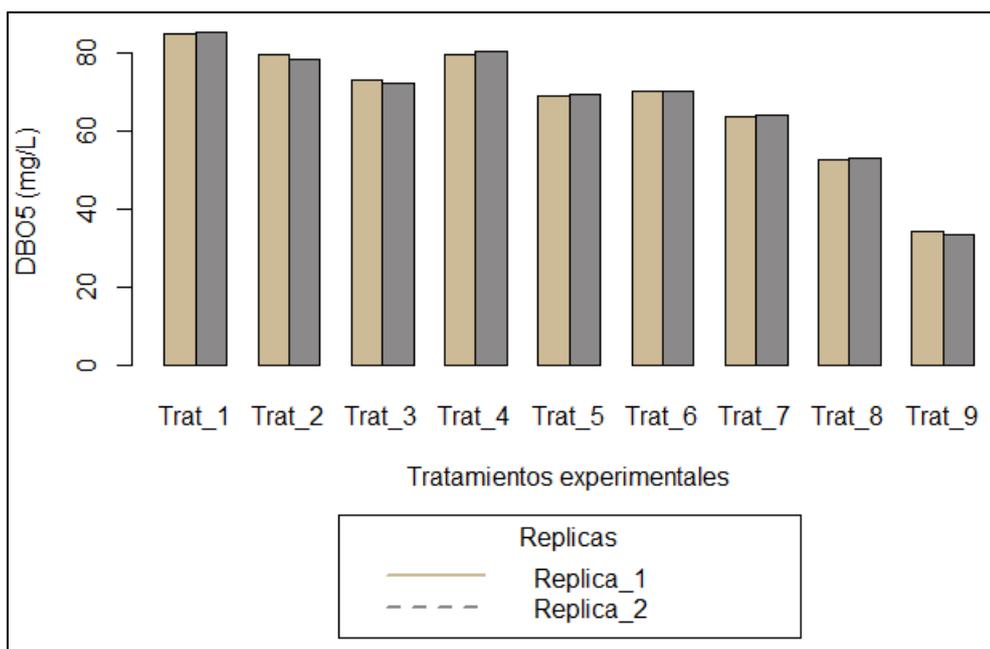
Tratamiento	Proporción de carbón activado y lodos de depuradora (g/mL)	Tiempo de contacto (h)	DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
1	0,014	5	186,47	86,14
2	(0,1 g/L de CA y 7 mL/L de LD)	7	166,54	77,14
3		8	152,71	74,04
4	0,030	5	160,45	82,19
5	(0,15 g/L de CA y 5 mL/L de LD)	7	139,48	70,14
6		8	145,89	71,01
7	0,020	5	125,48	65,11
8	(0,2 g/L de CA y 10 mL/L de LD)	7	107,46	54,97
9		8	69,85	32,45

En la tabla 8, se puede observar que la menor concentración final obtenida de DQO y DBO<sub>5</sub> luego del tratamiento fue de hasta 69,85 mg/L y 32,45 mg/L respectivamente, esto se logró con una proporción de 0,2 g/L de CA y 10 mL/L de LD y un tiempo de 8 h.



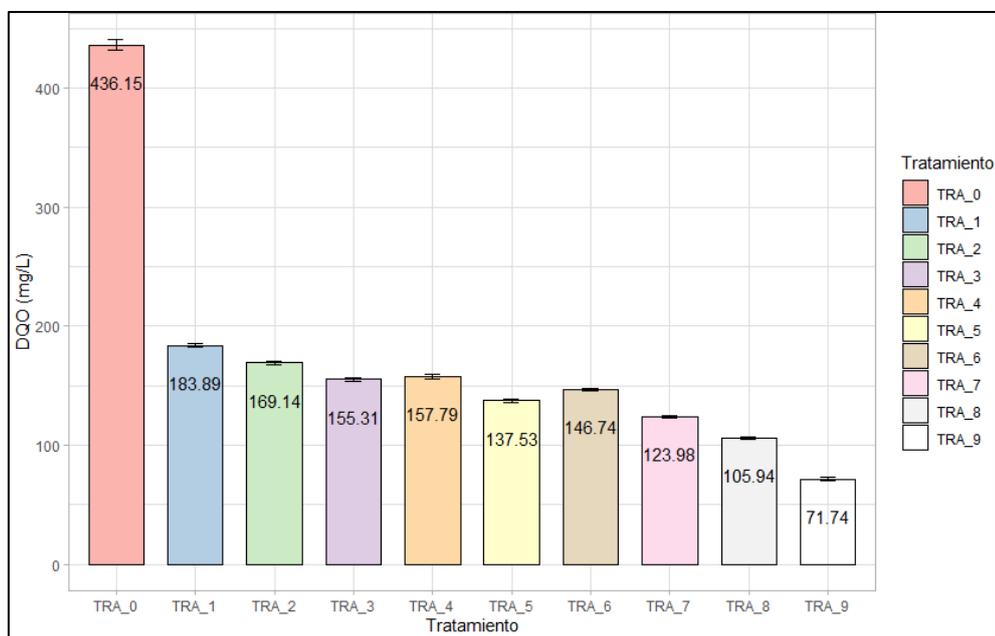
**Figura 6. Grafica de réplicas del análisis de DQO**

En la figura 6, se puede observar la concentración final de DQO para las dos replicas, mostrando que las concentraciones obtenidas luego del tratamiento 9 fueron las más bajas por lo tanto tuvo mejores resultados.



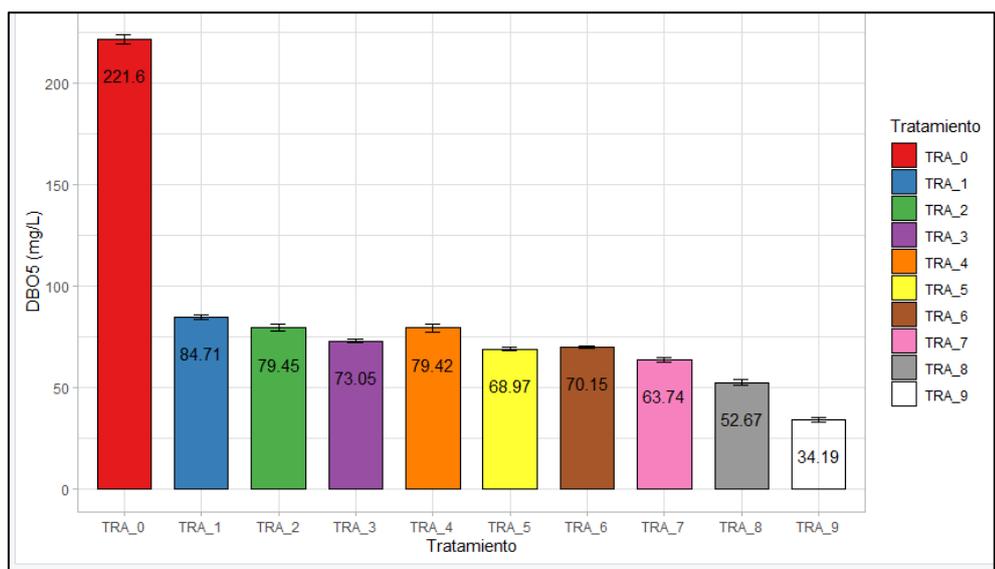
**Figura 7. Gráfica de réplicas del análisis de DBO<sub>5</sub>**

En la figura 7, se puede observar la concentración final de DBO<sub>5</sub> para las dos replicas, mostrando que las concentraciones obtenidas luego del tratamiento 9 fueron las más bajas por lo tanto tuvo mejores resultados.



**Figura 8. Variación de resultados de la replicas con respecto al DQO**

En la figura 8, se puede observar las concentraciones de DQO obtenidas luego del tratamiento observando que la variación entre las 2 réplicas es mínima por lo que nuestros resultados son confiables.



**Figura 9. Variación de resultados de la replicas con respecto al DBO<sub>5</sub>**

En la figura 9, se puede observar las concentraciones de DBO<sub>5</sub> obtenidas luego del tratamiento observando que la variación entre las 2 réplicas es mínima por lo que nuestros resultados son confiables.

#### 4.1.4. Porcentaje de remoción de materia orgánica del agua residual municipal

Para determinar el % de remoción se requirió utilizar la siguiente formula:

$$\% \text{ de Remoción} = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} \times 100$$

C<sub>o</sub> = Concentración inicial mg/L.

C<sub>f</sub> = Concentración final mg/L.

$$\% \text{ de Remoción} = \frac{436,14 - 183,89}{436,15} \times 100$$

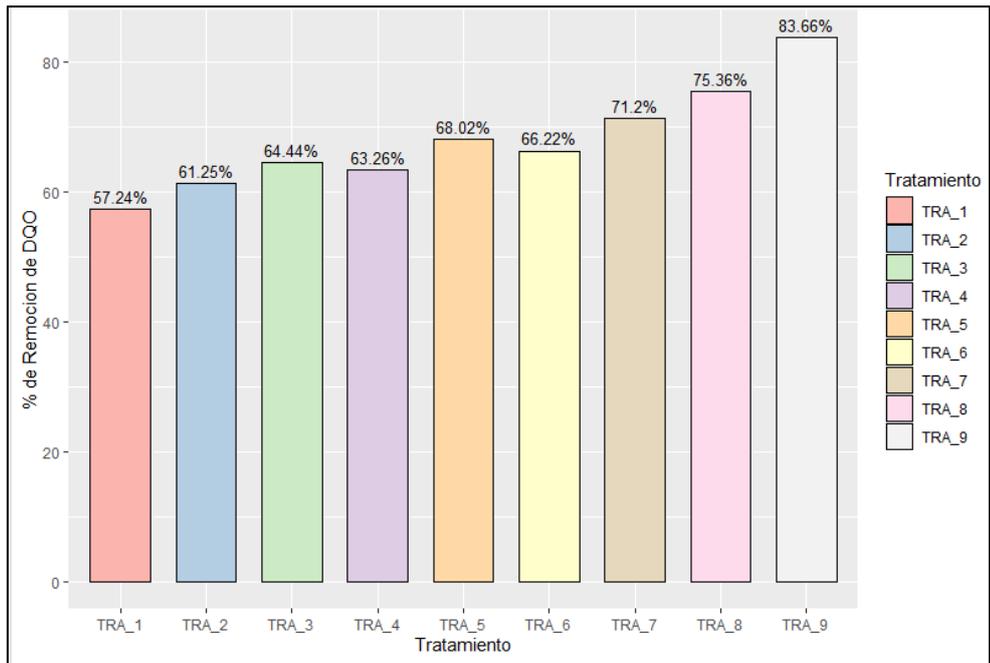
$$\% \text{ de Remoción} = 57,84\%$$

Los mismos cálculos se realizó para cada tratamiento.

**Tabla 10. Porcentaje de remoción de materia orgánica**

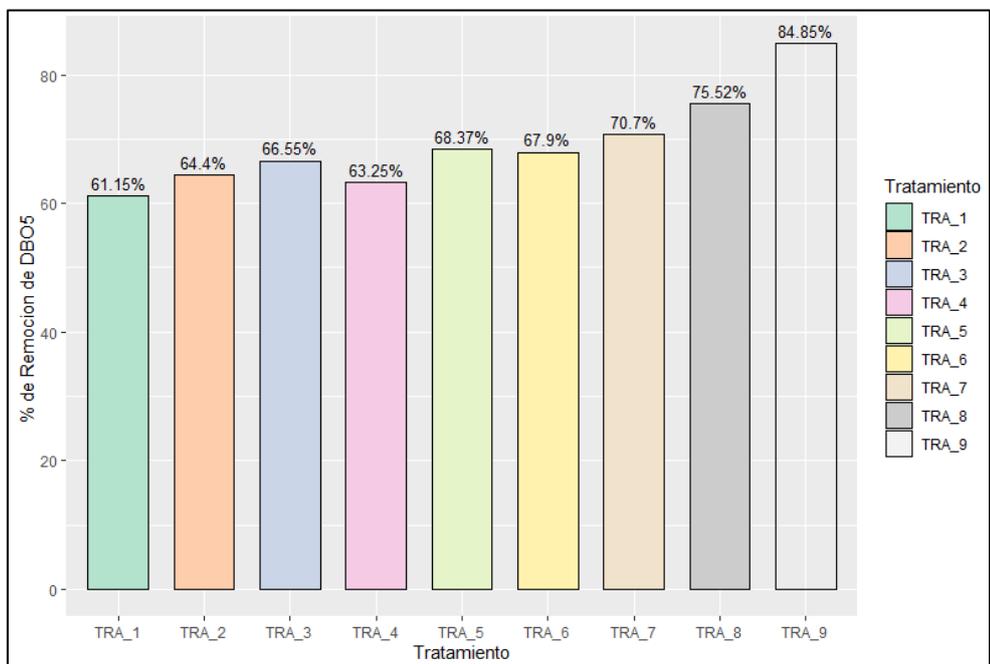
Tratamiento	Proporción de carbón activado y lodos de depuradora (g/mL)	Tiempo de contacto (h)	DQO (%)			DBO <sub>5</sub> (%)		
			RI	RII	Pr.	RI	RII	Pr.
1	0,014	5	57,84	56,64	57,24	61,77	60,52	61,15
2	(0,1 g/L de CA y 7 mL/L de LD)	7	61,22	61,28	61,25	64,15	64,65	64,40
3		8	64,39	64,49	64,44	67,04	66,07	66,55
4	0,030	5	63,82	62,69	63,26	64,16	62,33	63,25
5	(0,15 g/L de CA y 5 mL/L de LD)	7	68,47	67,57	68,02	68,88	67,86	68,37
6		8	66,36	66,08	66,22	68,34	67,46	67,90
7	0,020	5	71,57	70,83	71,20	71,24	70,16	70,70
8	(0,2 g/L de CA y 10 mL/L de LD)	7	75,71	75,02	75,36	76,23	74,81	75,52
9		8	83,55	83,76	83,66	84,57	85,13	84,85

En la tabla 10, se puede observar el porcentaje de remoción de materia orgánica luego del tratamiento obteniendo un porcentaje de remoción máximo de 83,66 % para DQO y 84,85 % para DBO<sub>5</sub>, a una proporción de 0,020 g/mL (0,2 g/L de CA y 10 mL/L de LD) y tiempo de contacto de 8 horas, asimismo se obtuvo un porcentaje de remoción mínimo de 57,24 % para DQO y 61,15% para DBO<sub>5</sub> a una proporción de 0,014 g/mL (0,1 g/L de CA y 7 mL/L de LD) y tiempo de contacto de 5 horas.



**Figura 10. % de remoción de DQO**

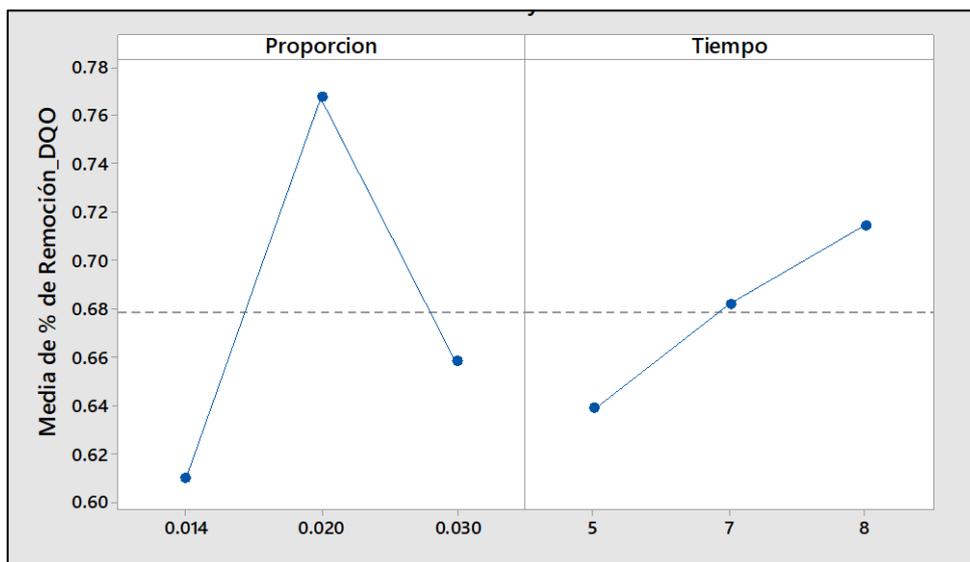
En la figura 10, se muestra el % de remoción de DQO luego del tratamiento obteniendo desde 57,24 % hasta un 83,86 % de remoción de DQO obteniendo una variación de hasta 26,62 %, asimismo el porcentaje máximo de remoción de 83,86 % con el más cercano a tal de 75,36 % presenta una variación de 8,5 %.



**Figura 11. % de remoción de DBO5**

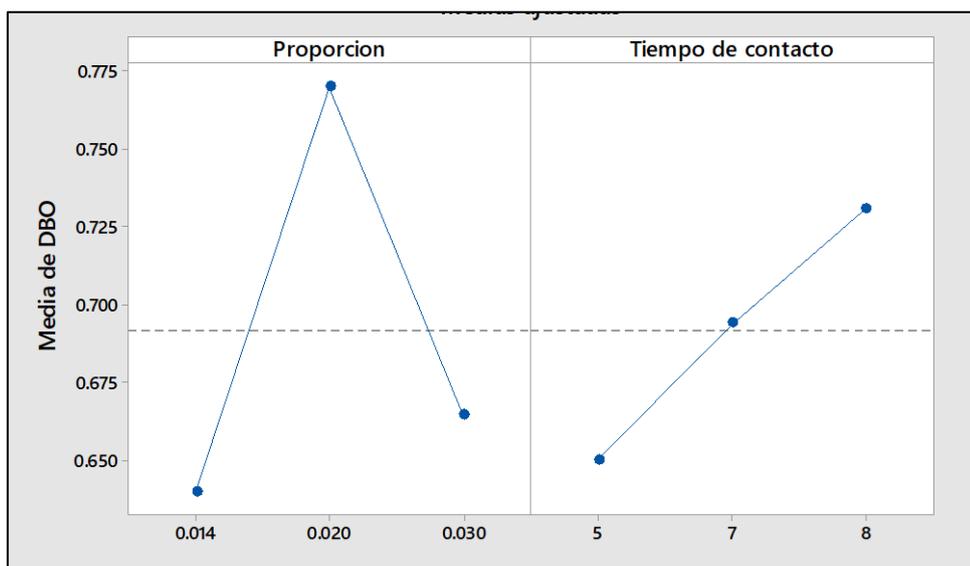
En la figura 11, se muestra el % de remoción de DBO5 luego del tratamiento obteniendo desde 61,15 % hasta un 84,85 % de remoción de DBO5 obteniendo una variación de hasta

23,7 %, asimismo el porcentaje máximo de remoción de 84,85 % con el más cercano a tal de 75,52 % presenta una variación de 9,33 %.



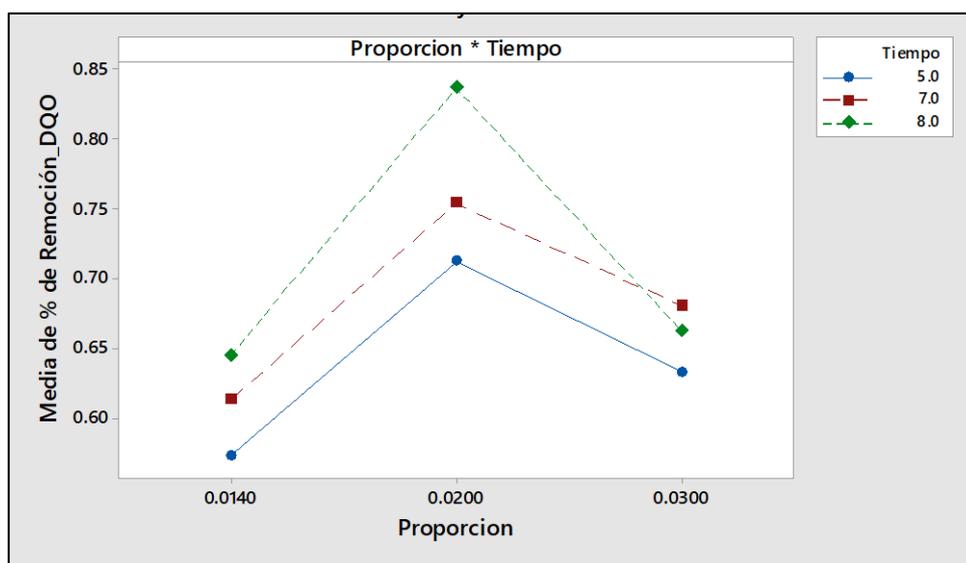
*Figura 12. Efectos principales para la remoción de DQO*

En la figura 12, se puede observar el efecto que tienen las variables tiempo y proporción con respecto al DQO obteniendo que la proporción muestra un pico más elevado (proporción de 0,020 g/mL) a comparación del tiempo por lo que su efecto de la proporción es mayor que el tiempo de contacto. Asimismo, se observa que a una proporción de 0,020 g/mL y a un tiempo de contacto de 8 horas se logró los mejores resultados con respecto al porcentaje de remoción de DQO.



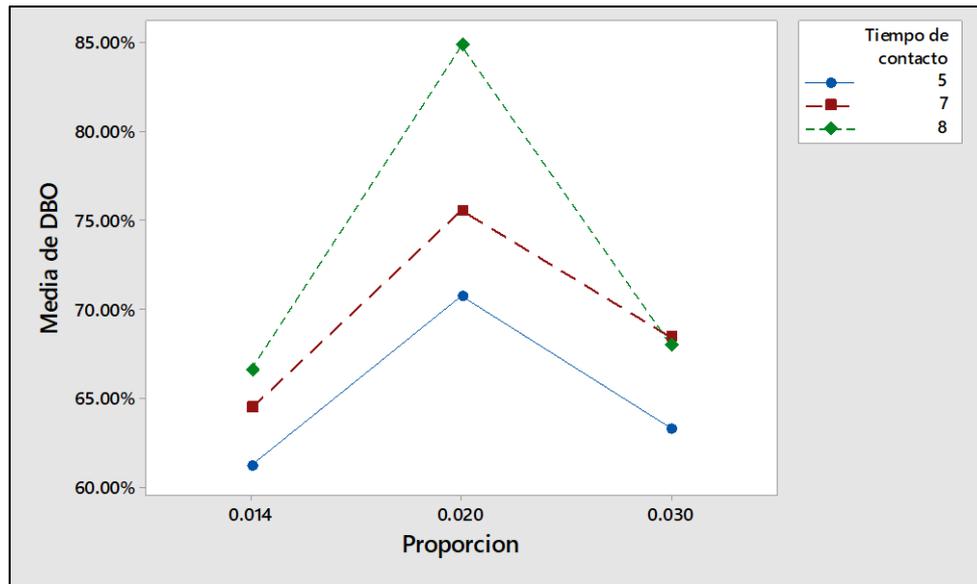
*Figura 13. Efectos principales para la remoción de DBO<sub>5</sub>*

En la figura 13, se puede observar el efecto que tienen las variables tiempo y proporción con respecto al  $\text{DBO}_5$  obteniendo que la proporción muestra un pico más elevado (proporción de 0,020 g/mL) a comparación del tiempo por lo que su efecto de la proporción es mayor que el tiempo de contacto. Asimismo, se observa que a una proporción de 0,020 g/mL y a un tiempo de contacto de 8 horas se logró los mejores resultados con respecto al porcentaje de remoción de  $\text{DBO}_5$ .



*Figura 14. Grafica de interacción con respecto al DQO*

En la figura 14, se puede observar la interacción de nuestras variables proporción y tiempo con respecto al DQO obteniendo que a una proporción de 0,020 g/mL y un tiempo de 8 horas se obtiene los mejores resultados siendo esta interacción de niveles de nuestras variables la más eficiente, asimismo se observa que a una proporción de 0,014 g/mL y un tiempo de 5 horas se obtiene los menores % de remoción de DQO siendo esta interacción de niveles de nuestras variables la menos eficiente.

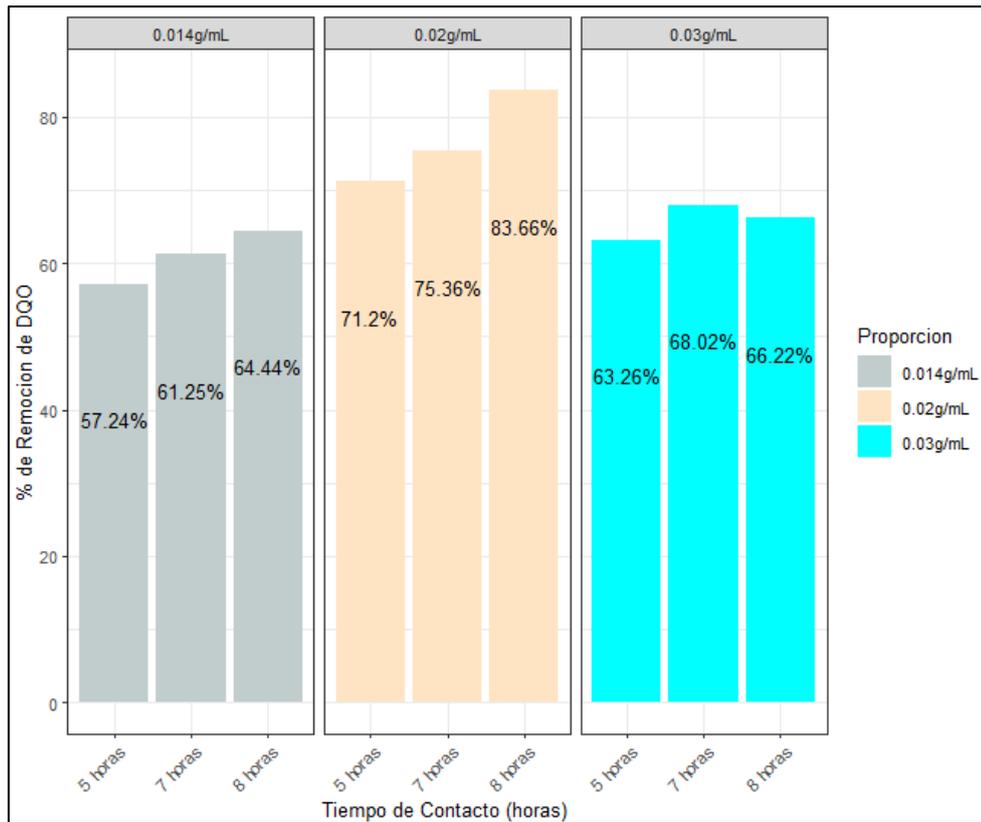


*Figura 15. Grafica de interacción con respecto al DBO<sub>5</sub>*

En la figura 15, se puede observar la interacción de nuestras variables proporción y tiempo con respecto al DBO<sub>5</sub> obteniendo que a una proporción de 0,020 g/mL y un tiempo de 8 horas se obtiene los mejores resultados siendo esta interacción de niveles de nuestras variables la más eficiente, asimismo se observa que a una proporción de 0,014 g/mL y un tiempo de 5 horas se obtiene los menores % de remoción de DBO<sub>5</sub> siendo esta interacción de niveles de nuestras variables la menos eficiente.

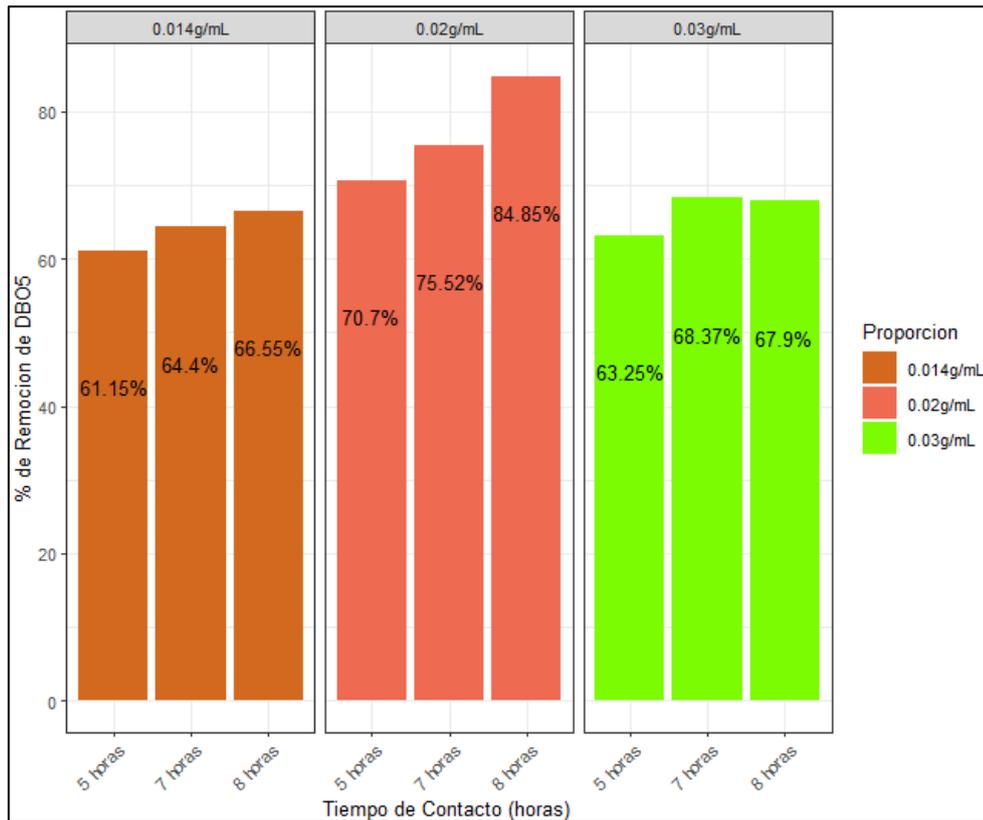
#### **4.1.5. Efecto de la proporción de carbón activado y lodo de depuradora**

Para observar el efecto que tiene la proporción de carbón activado y lodo de depuradora en la remoción de materia orgánica, se trabajó con las proporciones de 0,014 g/mL, 0,020 g/mL y 0,030 mg/mL.



**Figura 16. Efecto de la proporción de carbón activado y lodo de depuradora en DQO**

En la figura 16, se puede observar que con una proporción de 0,014 g/mL de carbón activado y lodo de depuradora se obtuvo como mayor porcentaje de remoción de DQO un 64,44 %; por otro lado, con una proporción de 0,020 g/mL de carbón activado y lodo de depuradora se obtuvo como mayor porcentaje de remoción de DQO un 83,66% y con una proporción de 0,030 g/mL de carbón activado y lodo de depuradora se obtuvo como mayor porcentaje de remoción de DQO un 68,02 % siendo la proporción de 0,020 g/mL la que brindó mejores resultados de remoción de DQO.

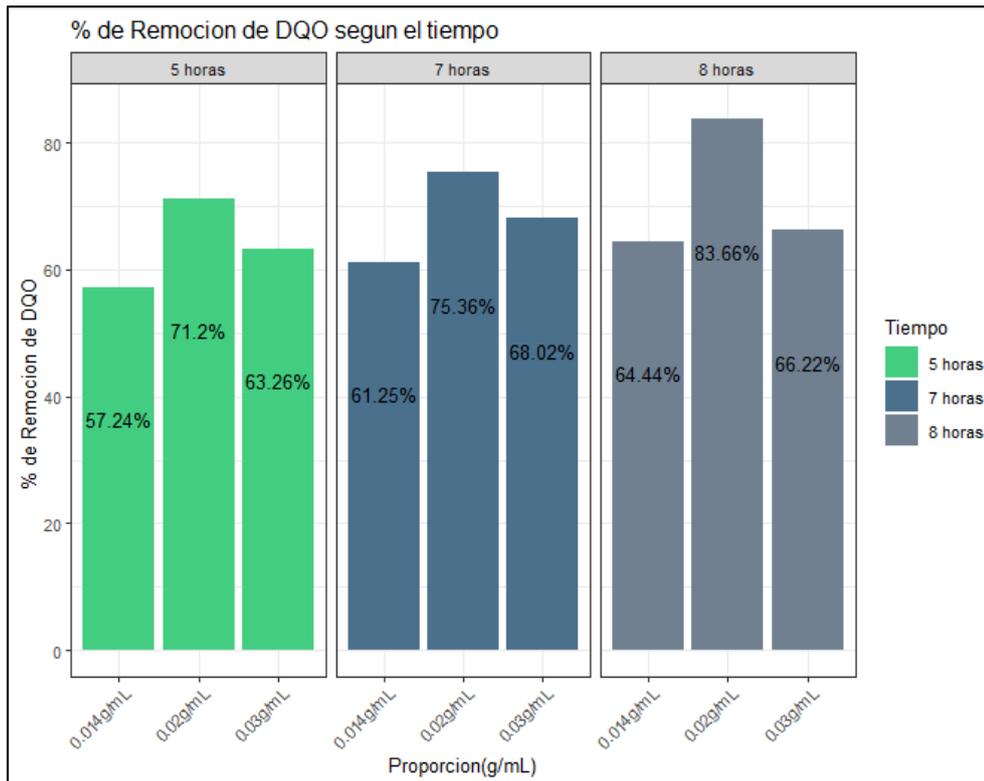


**Figura 17. Efecto de la proporción de carbón activado y lodo de depuradora en DBO<sub>5</sub>**

En la figura 17, se puede observar que con una proporción de 0,014 g/mL de carbón activado y lodo de depuradora se obtuvo como mayor porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> un 66,55%; por otro lado, con una proporción de 0,020 g/mL de carbón activado y lodo de depuradora se obtuvo como mayor porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> un 84,85% y con una proporción de 0,030 g/mL de carbón activado y lodo de depuradora se obtuvo como mayor porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> un 68,37% siendo la proporción de 0,020 g/mL la que brindó mejores resultados de remoción de DBO<sub>5</sub>.

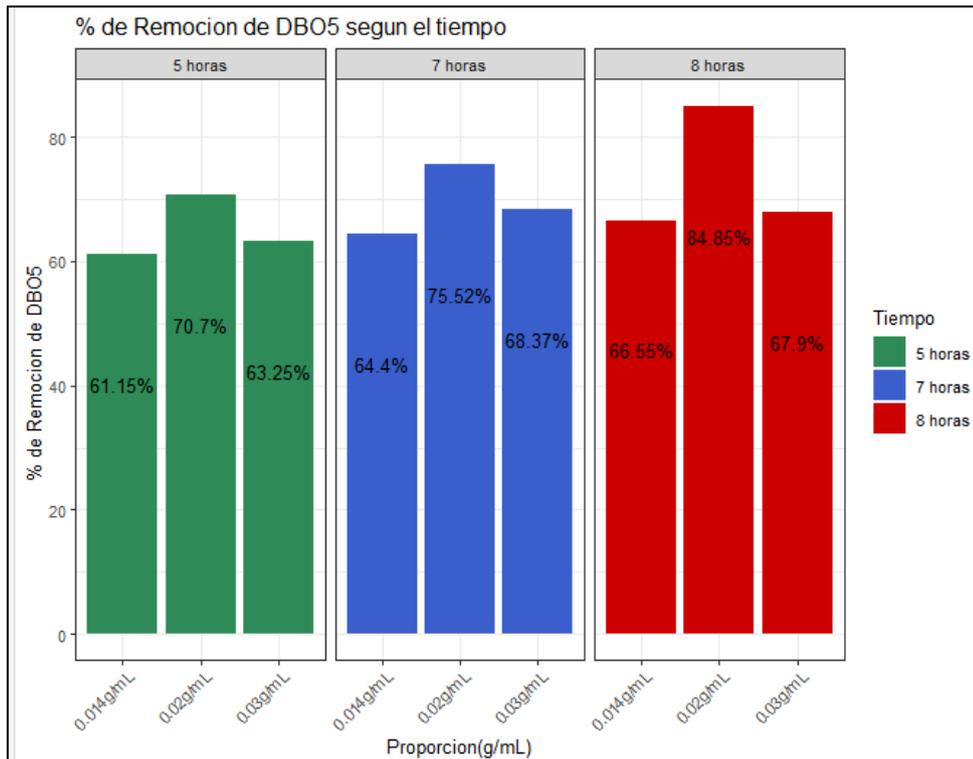
#### **4.1.6. Efecto del tiempo para la remoción de materia orgánica**

Para observar el efecto que tiene el tiempo en la remoción de materia orgánica, se trabajó con los tiempos de 5 horas, 7 horas y 8 horas obteniendo:



**Figura 18. Efecto del tiempo con respecto al DQO**

En la figura 18, se puede observar que con un tiempo de 5 horas se obtuvo como mayor porcentaje de remoción de DQO un 71,2 %, con un tiempo de 7 horas se obtuvo como mayor porcentaje de remoción de DQO un 75,36 % y con un tiempo de 8 horas se obtuvo como mayor porcentaje de remoción de DQO un 83,66 %, siendo 8 horas el tiempo que brindó los mejores resultados de remoción de DQO.



**Figura 19. Efecto del tiempo con respecto al DBO<sub>5</sub>**

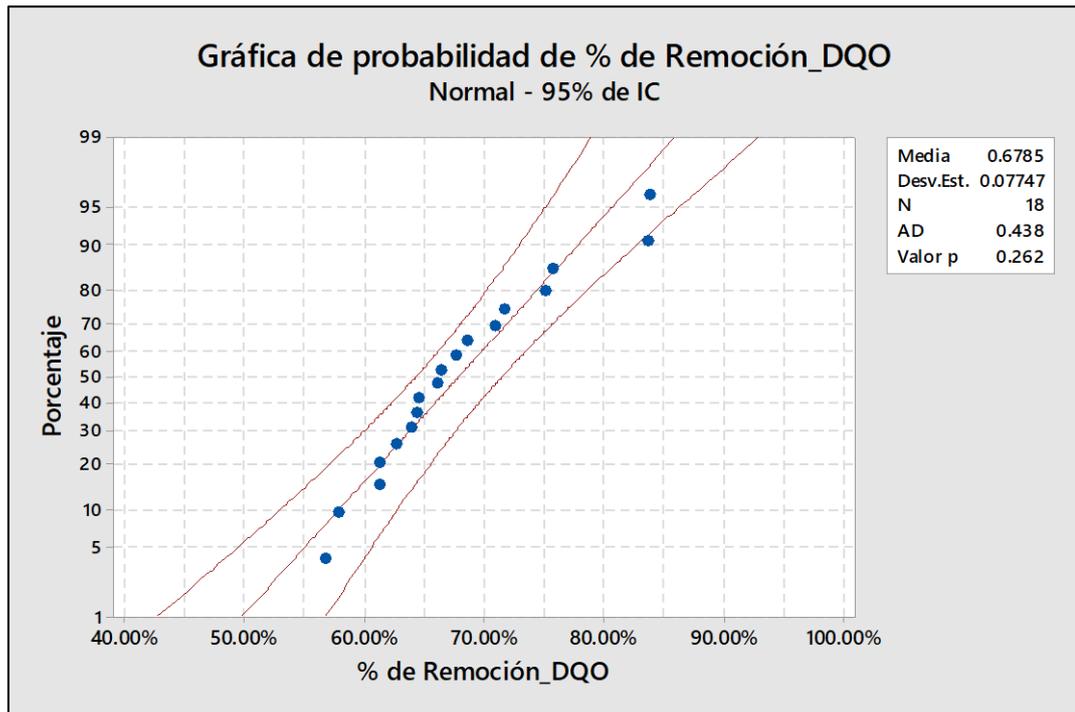
En la figura 19, se puede observar que con un tiempo de 5 horas se obtuvo como mayor porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> un 70,7 %, con un tiempo de 7 horas se obtuvo como mayor porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> un 75,52 % y con un tiempo de 8 horas se obtuvo como mayor porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> un 84,85 %, siendo 8 horas el tiempo que brindó los mejores resultados de remoción de DBO<sub>5</sub>.

#### 4.2. Contratación de hipótesis

Primeramente, se realizó una prueba de normalidad, para comprobar estadísticamente si los datos se distribuyen normalmente; para lo cual nos planteamos las siguientes hipótesis.

**H<sub>0</sub>**: Los datos siguen una distribución normal

**H<sub>a</sub>**: Los datos no siguen una distribución normal

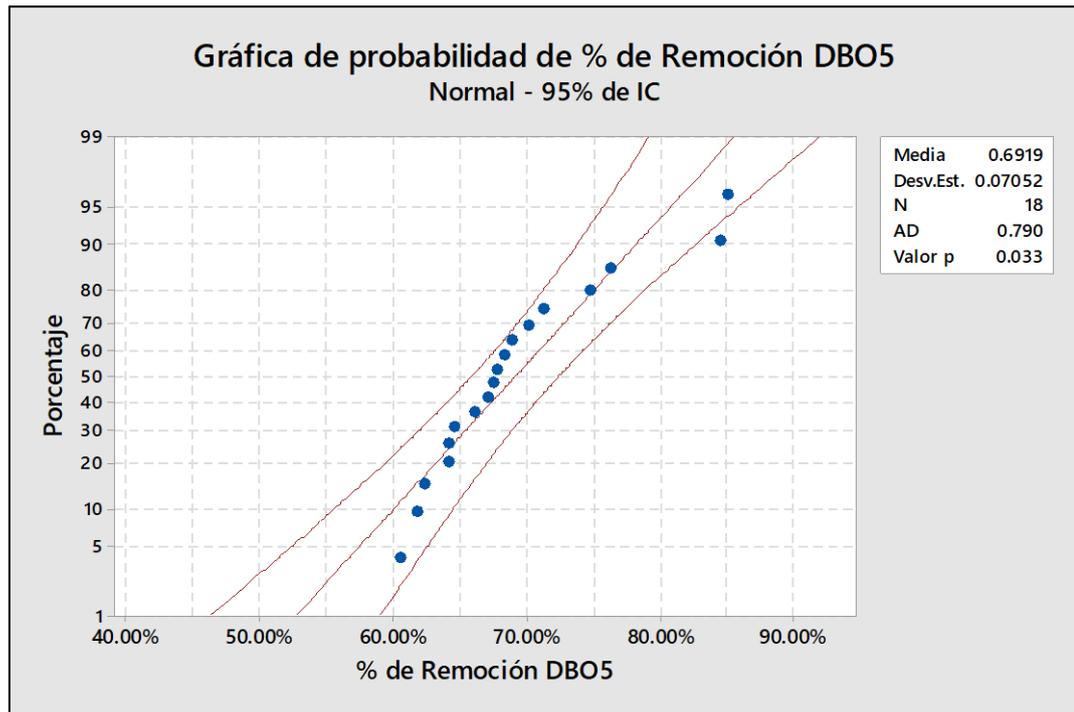


*Figura 20. Prueba de normalidad para DQO*

La figura 20, muestra la prueba de normalidad aplicado con el estadístico Anderson Darling donde se obtuvo valor de p de 0,262. El valor de significancia con la que se evaluó la prueba de normalidad fue de 0,05 con un 95% de confianza obteniendo:

$$0,262 > 0,05$$

Por lo que estadísticamente, se acepta la hipótesis nula, los datos siguen una distribución normal con respecto al DQO por lo que se trabajará con un análisis paramétrico.



**Figura 21. Prueba de normalidad para DBO<sub>5</sub>**

La figura 21, muestra la prueba de normalidad aplicado con el estadístico Anderson Darling donde se obtuvo valor de p de 0,033. El valor de significancia con la que se evaluó la prueba de normalidad fue de 0,05 con un 95% de confianza obteniendo:

$$0,033 < 0,05$$

Por lo que estadísticamente, se rechaza la hipótesis nula, los datos no siguen una distribución normal con respecto al DBO<sub>5</sub> por lo que se trabajará con un análisis no paramétrico.

Luego de realizar la prueba de normalidad se asume que los datos obtenidos con respecto al DQO siguen una distribución normal, por lo que se trabajara con un análisis paramétrico el cual es el análisis de varianza ANOVA mientras que para el DBO<sub>5</sub> se observó que sus datos no siguen una distribución normal por lo que se trabajó con un análisis no paramétrico el cual es la prueba de Mann Whitney, a continuación, se plantean las siguientes hipótesis:

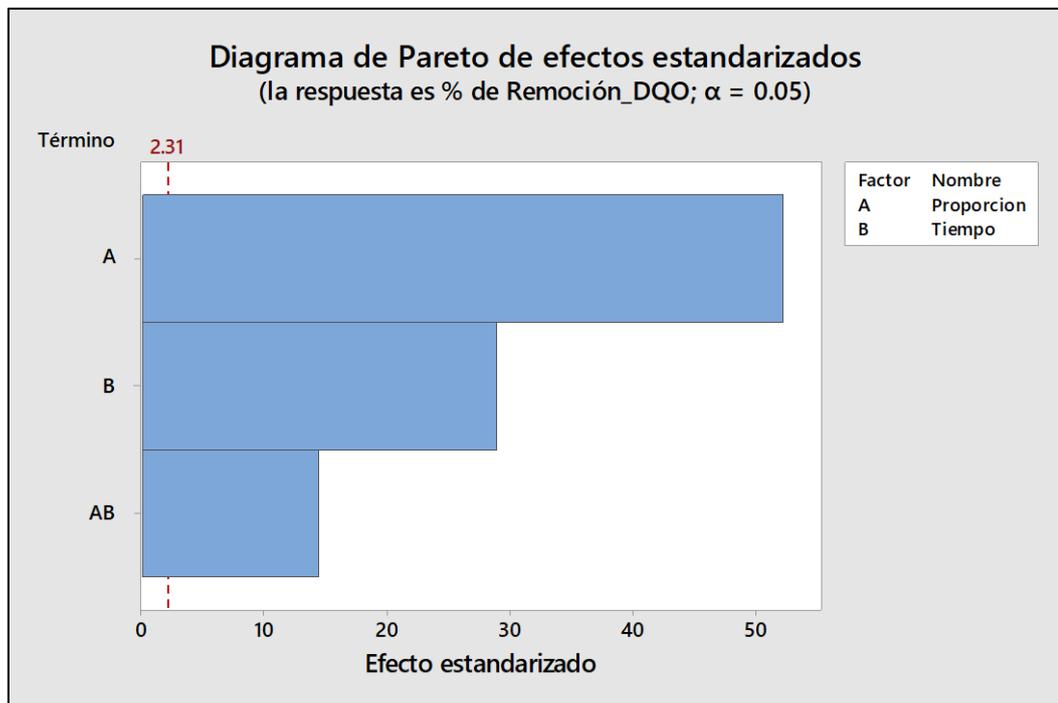
H<sub>0</sub>: Empleando un sistema combinado de carbón activado y los lodos de depuradora no se remueve significativamente la materia orgánica de las aguas residuales municipales.

H<sub>a</sub>: Empleando un sistema combinado de carbón activado y los lodos de depuradora se remueve significativamente la materia orgánica de las aguas residuales municipales.

**Tabla 11. Análisis de varianza para DQO**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Bloques	1	0,000116	0,000116	7,85	0,023
Proporción	2	0,078193	0,039096	2651,50	0,000
Tiempo	2	0,017167	0,008584	582,13	0,000
Proporción*Tiempo	4	0,006435	0,001609	109,10	0,000
Error	8	0,000118	0,000015		
Total	17	0,102029			

En la tabla 11, se puede observar que se obtuvo un valor de p de 0,000 menor que el valor de significancia por lo que se afirma que el sistema combinado de carbón activado y los lodos de depuradora afectan significativamente en la remoción de DQO.



**Figura 22. Diagrama de Pareto para DQO**

En la figura 22, se puede observar el efecto de cada variable del proceso, el resultado indica que todas las variables, individual y conjuntamente, influyen en el proceso de remoción de DQO, asimismo se observa que la proporción de carbón activado y los lodos de depuradora es la variable que influyó más en el proceso.

Para el  $DBO_5$  se realizó una prueba de Mann Whitney donde se comparó la concentración inicial de  $DBO_5$  con los resultados obtenidos luego del tratamiento para conocer si el tratamiento influyo significativamente o no en la remoción de materia orgánica.

**Tabla 12. Estadísticas descriptivas para DBO<sub>5</sub>**

Muestra	N	Mediana
CI_DBO	2	219,900
DBO	18	0,677

**Tabla 13. Prueba de Mann Whitney para DBO<sub>5</sub>**

Valor W	Valor p
4401,00	0,000
4401,00	0,000
Ho: $\eta_1 - \eta_2 = 0$	
H <sub>1</sub> : $\eta_1 - \eta_2 \neq 0$	

Basándonos en la prueba de Mann Withney para DBO<sub>5</sub> se pudo obtener un valor de p de 0,000 por lo que se afirma que el sistema combinado de carbón activado y los lodos de depuradora presenta un efecto significativo en la remoción de DBO<sub>5</sub>.

En conclusión, en las tablas 11 y 13 se muestra que el valor de p es de 0,000 menor que el valor de significancia de 0,05, por ende, aceptamos nuestra hipótesis general y rechazamos nuestra hipótesis nula, afirmando que empleando un sistema combinado de carbón activado y los lodos de depuradora se remueve significativamente la materia orgánica de las aguas residuales municipales.

### 4.3. Discusión de resultados

Los resultados dados al caracterizar inicialmente las aguas residuales municipales de San Agustín de Cajas determinaron que las concentraciones de DQO y DBO<sub>5</sub> obtenidas fueron de 436,15 mg/L y 221,60 mg/L respectivamente, las que sobrepasan los límites máximos permisibles (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO<sub>5</sub>. Esto se debe a que en el distrito de San Agustín de Cajas las aguas residuales domésticas están siendo tratadas por dos lagunas facultativas que, en la actualidad, están siendo un problema al producir olores desagradables y la desoxigenación del agua, características del agua cuando esta tiene un exceso de materia orgánica biodegradable (15). En un estudio similar al de la investigación presente, se buscó tratar el efluente de la piscigranja de Miraflores por lo que se trabajó con lodo activado biológico sacado de la laguna de oxidación de San Agustín de Cajas, en este estudio se obtuvo hasta una carga orgánica de 658,1 mg/L de DQO (4), asimismo, en otro estudio en San Agustín de Cajas se monitoreo sus aguas municipales obteniendo hasta 321,2 mg/L de DQO y 177,5 mg/L de DBO<sub>5</sub> (15).

Para determinar la proporción de carbón activado y lodo de depuradora de mayor influencia en la remoción de la materia orgánica de las aguas residuales municipales, se trabajó con las 3 proporciones que fueron 0,014 g/L (0,1 g/L de carbón activado y 7 mL/L de lodo de depuradora), 0,030 g/L (0,15 g/L de carbón activado y 5 mL/L de lodo de depuradora) y 0,020 g/L (0,2 g/L de carbón activado y 10 mL/L de lodo de depuradora) de las cuales se determinó que trabajando con una proporción de 0,020 g/L se obtuvo mejores resultados de hasta un 83,66 %. Esta remoción se debe a que con una adecuada proporción de carbón activado y lodo de depuradora se puede eliminar los inhibidores del tratamiento biológico al mismo tiempo además que se produce una mayor adsorción de materia orgánica (34). En ciertos estudios, se determinó que las condiciones experimentales óptimas para el proceso carbón activado y lodos de depuradora son de 0,05 g/L de carbón activado y 7 mL/L de lodo de depuradora logrando a una eliminación de DQO del 95 %, proporción similar al de nuestro trabajo, de igual manera, en otro estudio se determinó las condiciones óptimas para minimizar la DQO obteniendo que con un carbón activado de 0,2 g/L, microalgas de 1 mL/L y lodos activados de 1 mL/L se consigue reducciones en DQO y DBO de hasta un 90% y 93%, respectivamente (3), la cual es una proporción parecida a la nuestra con el cual también se obtuvo buenos resultados de remoción. Por último, un estudio similar determinó que al trabajar en sistemas combinados con lodo activado suspendido de 5,0 a 0,2, se logra mejorar el rendimiento de la eliminación de nutrientes, eliminando considerablemente hasta un 98 % de nitrógeno – 100 % de nitrógeno, 92 % de fósforo – 100 % de fósforo y 94 % de DQO – 96 % de DQO en medio de aguas residuales municipales (6) demostrando así que la proporción con la que se trabajó brinda buenos resultados.

Para determinar el tiempo de contacto que mayor influencia presenta en la remoción de la materia orgánica de las aguas residuales municipales mediante adsorción, empleando el proceso combinado del carbón activado y los lodos de depuradora., se trabajó con 3 tiempos que fueron de 5, 7 y 8 horas obteniendo así que a un tiempo de 8 horas se obtuvo mejores resultados de hasta un 83,66 %. Esta remoción se debe a que los tiempos más altos promueven el desarrollo de una diversidad de especies de biomasa dentro del compartimento biológico y, por lo tanto, favorecen los procesos de biodegradación de materia orgánica (34), asimismo un rango dentro de las 24 horas para el proceso puede ser suficiente para garantizar una adsorción eficiente de la mayoría de materia orgánica (38). Un estudio determinó que, los lodos de depuración en un sistema de cocultivo en un tiempo de hasta 24 horas logrando hasta un 66 % de remoción de DQO (7). Asimismo, otro estudio trabajó con aguas residuales domésticas en Mashhad, Irán obteniendo que el carbón activado-lodos activados (AC-AS) en un tiempo de 8 horas logra hasta una eliminación de DQO del 95 % en 8 horas, tiempo que nuestro proceso experimental determino como el más eficiente al remover materia orgánica (3). Por último, una investigación

sobre los efectos de las microalgas, lodos y carbón activado en el tratamiento de aguas residuales trabajó con 16 horas de tratamiento obteniendo que en este tiempo se logró reducciones en DQO y DBO del 90 % y 93 %, respectivamente por lo que a mayor tiempo mejor es el % de remoción (2).

Para determinar la remoción de materia orgánica de aguas residuales municipales empleando un sistema combinado de carbón activado y lodos de depuradora se trabajó para la DQO con el análisis de varianza ANOVA mientras que para el DBO<sub>5</sub> se trabajó con la prueba de Mann Whitney obteniendo un valor de p de 0,000 menor que el valor de significancia de 0,05, por ende, se afirmó que empleando un sistema combinado de carbón activado y los lodos de depuradora se remueve significativamente la materia orgánica de las aguas residuales municipales. Esto se debe a que la masa de carbón activado y lodos de depuradora promueven el desarrollo de una diversidad de especies de biomasa dentro del compartimento biológico y, por lo tanto, favorecerían los procesos de biodegradación de MC (34). Asimismo, las interacciones electrostáticas con los adsorbentes (compuestos aniónicos, neutros, y catiónicos al pH de operación) generan la remoción de DQO y DBO<sub>5</sub> (28).

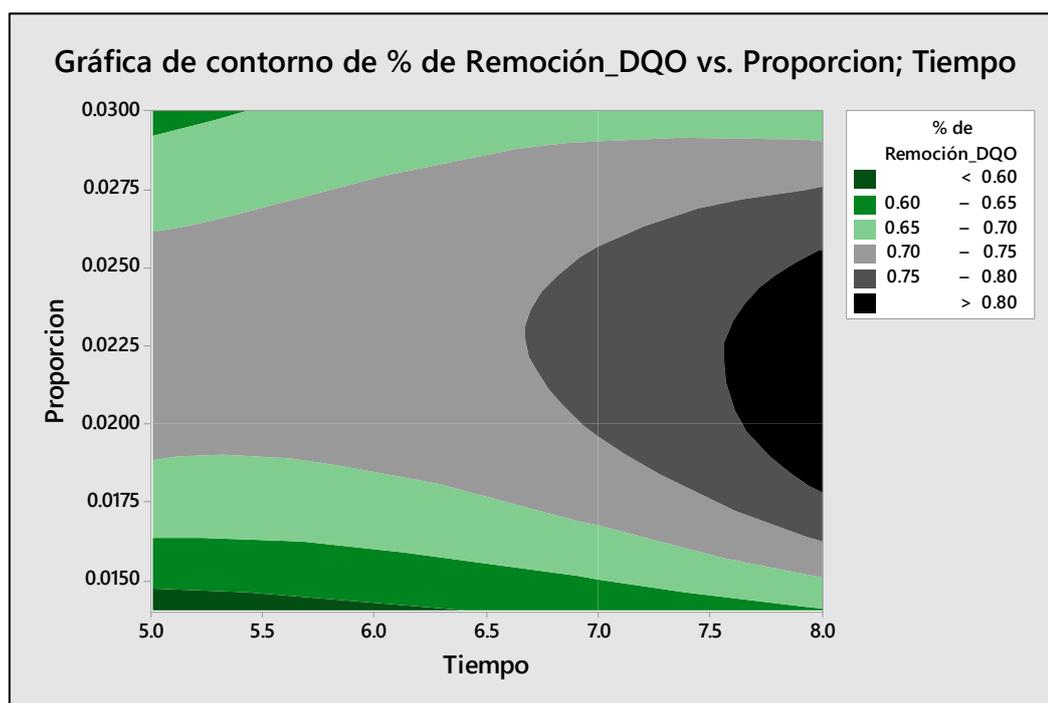
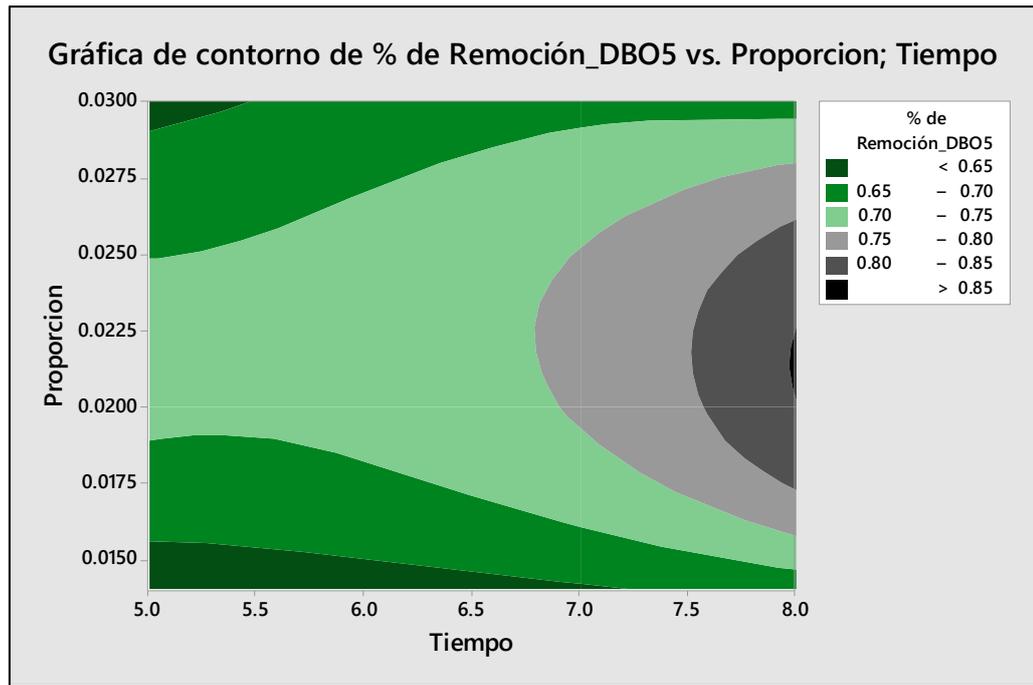


Figura 23. Gráfica de contorno con respecto al DQO

En la figura 23, se puede observar que los resultados obtenidos de DQO estuvieron mayormente en un rango de 70 % y 75 % de remoción (zona gris claro), asimismo la zona negra representa los mayores porcentajes de remoción de DQO siendo mayores que un 80 %.



*Figura 24. Grafica de contorno con respecto al DBO<sub>5</sub>*

En la figura 24, se puede observar que los resultados obtenidos de DBO<sub>5</sub> estuvieron, mayormente, en un rango de 70 % y 75 % de remoción (zona verde claro), asimismo la zona negra representa los mayores porcentajes de remoción de DBO<sub>5</sub> siendo mayores que un 85 %.

## CONCLUSIONES

1. Se determinó de forma estadística que la remoción de materia orgánica de aguas residuales municipales empleando un sistema combinado de carbón activado y lodos de depurador es significativa ya que mediante el análisis de varianza ANOVA para el DQO y la prueba de Mann Whitney para el DBO<sub>5</sub> se obtuvo un valor de p de 0,000 menor que el valor de significancia de 0,05, por ende, se afirmó que empleando un sistema combinado de carbón activado y los lodos de depuradora se remueve significativamente la materia orgánica de las aguas residuales municipales.
2. Se realizó la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales municipales de San Agustín de Cajas obteniendo una concentración de 436,5 mg/L para DQO y 221,60 mg/L para DBO<sub>5</sub>.
3. Se determinó que la proporción de carbón activado y lodo de depuradora de mayor influencia en la remoción de la materia orgánica de las aguas residuales municipales fue de 0,020 g/mL (0,2 g/L de carbón activado y 10 mL/L de lodo de depuradora) obteniendo hasta un 83,66% de remoción de DQO y hasta un 84,85% de remoción de DBO<sub>5</sub>.
4. Se determinó que el tiempo de contacto de mayor influencia en la remoción de la materia orgánica de las aguas residuales municipales fue de 8 horas obteniendo hasta un 83,66% de remoción de DQO y hasta un 84,85 % de remoción de DBO<sub>5</sub>.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda determinar el comportamiento del reactor con alimentación de agua residual industrial a fin de comparar y corroborar los resultados obtenidos en este trabajo.
2. Se recomienda el estudio de materia orgánica junto con otros parámetros como el pH ya que puede influir en el proceso de remoción.
3. Se recomienda realizar estudios con la variación de carbón activado y lodos de depuración por separado con el fin de observar el comportamiento de cada adsorbente.
4. Se recomienda utilizar todos los instrumentos y equipamientos de laboratorio como son los guantes, mascarillas, entre otros con el fin de evitar accidentes en el laboratorio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ZAHMATKESH, S. y PIROUZI, A. Effects of the microalgae, sludge and activated carbon on the wastewater treatment with low organics (weak wastewater). *International Journal of Environmental Science and Technology* [online]. 2020, 17(5), 2681–2688. ISSN 17352630. Dostupné z: doi:10.1007/s13762-020-02661-9
2. MUJTABA, Ghulam y LEE, Kisay. Treatment of real wastewater using co-culture of immobilized *Chlorella vulgaris* and suspended activated sludge. *Water Research* [online]. 2017, 120, 174–184. ISSN 18792448. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.watres.2017.04.078
3. ZAHMATKESH, Sasan, FAR, Sara y SILLANPÄÄ, Mika. RSM-D-optimal modeling approach for COD removal from low strength wastewater by microalgae, sludge, and activated carbon- case study Mashhad. *Journal of Hazardous Materials Advances* [online]. 2022, 7(May), 100110. ISSN 27724166. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.hazadv.2022.100110
4. BERNABE, Yanet. Capacidad de absorción de plomo en la totora (*Scirpus californicus*), en crecimiento en las aguas en la zona del Delta Upamayo - Lago Chinchaycocha - 2019. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2020, 87 pp.
5. WANG, Liang, LIU, Jinli, ZHAO, Quanyu, Wei y SUN, Yuhan. Comparative study of wastewater treatment and nutrient recycle via activated sludge, microalgae and combination systems. *Bioresource Technology* [online]. 2016, 211, 1–5. ISSN 18732976. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.biortech.2016.03.048
6. MUJTABA, Ghulam, RIZWAN, Muhammad, KIM, Garam y LEE, Kisay. Removal of nutrients and COD through co-culturing activated sludge and immobilized *Chlorella vulgaris*. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2018, 343, 155–162. ISSN 13858947. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.cej.2018.03.007
7. MUJTABA, Ghulam a LEE, Kisay. Treatment of real wastewater using co-culture of immobilized *Chlorella vulgaris* and suspended activated sludge. *Water Research* [online]. 2017, 120, 174–184. ISSN 18792448. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.watres.2017.04.078
8. BEYAN, Surafel, PRABHU, Venkatesa, T. SISSAY, Tsegaye y GETAHUN, Abraham. Sugarcane bagasse based activated carbon preparation and its adsorption efficacy on removal of BOD and COD from textile effluents: RSM based modeling, optimization and kinetic aspects. *Bioresource Technology Reports* [online]. 2021, 14(February), 100664. ISSN 2589014X. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.biteb.2021.100664
9. JAGABA, Ahmad, KUTTY, Shamsul, BALOO, Lavania, BIRNIWA, Abdullahi, LAWAL, Ibrahim, ALIYU, Mohammed, Nura YARO, Shehu y USMAN, Abdullahi. Combined treatment of domestic and pulp and paper industry wastewater in a rice straw embedded

- activated sludge bioreactor to achieve sustainable development goals. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* [online]. 2022, 6(October), 100261. ISSN 26660164. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.csee.2022.100261
10. CAMPINAS, Margarida, VIEGA, Rui, ALMEIDA, Cristina, MARTINS, António, SILVA, Catarina, MESQUITA, Elsa, COELHO, Maria, SILVA, Sofia, CARDOSO, Vítor, BENOLIEL, Maria y ROSA, Maria João. Powdered activated carbon full-scale addition to the activated sludge reactor of a municipal wastewater treatment plant: Pharmaceutical compounds control and overall impact on the process. *Journal of Water Process Engineering* [online]. 2022, 49(March). ISSN 22147144. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.jwpe.2022.102975
  11. GONZÁLES, Lourdes, OTELO, Marta, JUNCO, Juana y PARDINI, Giovanni. Aprovechamiento de lodos de depuradoras urbanas como adsorbente. Efecto del método de activación. *Tecnología Química*, XXIX (1), 2009, pp. 108-117
  12. LÓPEZ, Jhon y TOOTH, Fabiola. Remoción de demanda química de oxígeno de aguas residuales empleando carbón activado en la laguna de oxidación, Nuevo Chimbote - 2022. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2022, 87 pp.
  13. CHAVEZ CHAMAYA, Emerson. Empleo de filtros de carbón activado de endocarpio de coco y cascarilla de arroz para el tratamiento de aguas residuales. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Chachapoyas: Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, 2022, 56 pp.
  14. TORRES, Fredy y YAURI, Denisse. Evaluación de parámetros biocinéticas mediante lodos activados a nivel de laboratorio de los efluentes de la piscigranja de Miraflores para remoción de la carga orgánica. Tesis (Título de Ingeniero Químico Industrial). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019, 84 pp.
  15. CUYOTUPA, Clous. Diseño y construcción de un reactor biológico aerobio para la remoción de la carga orgánica a escala de laboratorio de las aguas residuales domésticas del distrito de san Agustín de cajas Huancayo. Tesis (Título de Ingeniero Químico Industrial). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017, 117 pp.
  16. PARIENTE, M. I., Y. SEGURA, R. MOLINA a F. MARTÍNEZ. Wastewater treatment as a process and a resource. *Wastewater Treatment Residues as Resources for Biorefinery Products and Biofuels* [online]. 2019, 19–45. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-816204-0.00002-3
  17. LEE, Chai Siah, ROBINSON, John y CHONG, Mei Fong. A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection* [online]. 2014, 92(6), 489–508. ISSN 09575820. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.psep.2014.04.010

18. JENKINS, David a J WANNER. Activated sludge - 100 Years and Counting. 2014.
19. KACPRZAK, Małgorzata, NECZAJ, Ewa, FIJAŁKOWSKI, Krzysztof, GROBELAK, Anna, GROSSER, Anna, WORWAG, Małgorzata, RORAT, Agnieszka, BRATTEBO, Helge, ALMÅS, Åsgeir y SINGH, Bal. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. *Environmental Research* [online]. 2017, 156(March), 39–46. ISSN 10960953. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.envres.2017.03.010
20. GUO, Wan Qian, YANG, Shan Shan, XIANG, Wen Sheng WANG, Xiang Jing y REN, Nan Qi. Minimization of excess sludge production by in-situ activated sludge treatment processes - A comprehensive review. *Biotechnology Advances* [online]. 2013, 31(8), 1386–1396. ISSN 07349750. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.biotechadv.2013.06.003
21. CIEŚLIK, Bartłomiej, NAMIEŚNIK, Jacek y KONIECZKA, Piotr. Review of sewage sludge management: Standards, regulations and analytical methods. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2015, 90, 1–15. ISSN 09596526. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.11.031
22. VALDERRAMA, Cesar, GRANADOS Ricard, CORTINA Jose, GASOL Carles, GUILLEM, Manel y JOSA Alejandro. Comparative LCA of sewage sludge valorisation as both fuel and raw material substitute in clinker production. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2013, 51(2013), 205–213. ISSN 09596526. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.01.026
23. GUTIÉRREZ, Marina, GRILLINI, Vittoria, MUTAVDŽIĆ PAVLOVIĆ, Dragana y VERLICCHI, Paola. Activated carbon coupled with advanced biological wastewater treatment: A review of the enhancement in micropollutant removal. *Science of the Total Environment* [online]. 2021, 790. ISSN 18791026. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148050
24. WONG, Syieluing, NGADI, Norzita, M INUWA, Ibrahim y HASSAN, Onn. Recent advances in applications of activated carbon from biowaste for wastewater treatment : A short review. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2018, 175, 361–375. ISSN 0959-6526. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.059
25. ISLAM, Azharul, M J AHMED, W A KHANDAY, M ASIF y B H HAMEED. Mesoporous activated carbon prepared from NaOH activation of rattan (*Lacosperma secundiflorum*) hydrochar for methylene blue removal. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. 2017, 138(August 2016), 279–285. ISSN 0147-6513. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.01.010
26. KALDERIS, D, M S KOTTI, A MÉNDEZ y G GASCÓ. Characterization of hydrochars produced by hydrothermal carbonization of rice husk [online]. 2014, 477–483. Dostupné z: doi:10.5194/se-5-477-2014

27. ZHOU, Nan, CHEN, Honggang, XI, Junting, YAO, Denghui, ZHOU, Zhi, TIAN, Yun y LU, Xiangyang. Biochars with Excellent Pb ( II ) Adsorption Property Produced from Fresh and Dehydrated Banana Peels via Hydrothermal Carbonization. *Bioresource Technology* [online]. 2017, (li). ISSN 0960-8524. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.biortech.2017.01.074
28. GUTIÉRREZ, Marina, Vittoria GRILLINI, Dragana MUTAVD a Paola VERLICCHI. *Science of the Total Environment* Activated carbon coupled with advanced biological wastewater treatment : A review of the enhancement in micropollutant removal [online]. 2021, 790. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148050
29. ALVES, Thiago Caique, Alba CABRERA-CODONY, Damià BARCELÓ, Sara RODRIGUEZ-MOZAZ, Adilson PINHEIRO a Rafael GONZALEZ-OLMOS. Influencing factors on the removal of pharmaceuticals from water with micro-grain activated carbon. *Water Research* [online]. 2018, 144, 402–412. ISSN 18792448. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.watres.2018.07.037
30. CHOI, Keun J., Sang G. KIM, Chang W. KIM a Seung H. KIM. Effects of activated carbon types and service life on removal of endocrine disrupting chemicals: Amitrol, nonylphenol, and bisphenol-A. *Chemosphere* [online]. 2005, 58(11), 1535–1545. ISSN 00456535. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.chemosphere.2004.11.080
31. FUNDNEIDER, T., V. ACEVEDO ALONSO, A. WICK, D. ALBRECHT a S. LACKNER. Implications of biological activated carbon filters for micropollutant removal in wastewater treatment. *Water Research* [online]. 2021, 189, 116588. ISSN 18792448. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.watres.2020.116588
32. ALVARINO, T., N. TORREGROSA, F. OMIL, J. M. LEMA a S. SUAREZ. Assessing the feasibility of two hybrid MBR systems using PAC for removing macro and micropollutants. *Journal of Environmental Management* [online]. 2017, 203, 831–837. ISSN 10958630. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.03.023
33. ALVARINO, T., S. SUAREZ, J. LEMA a F. OMIL. Understanding the sorption and biotransformation of organic micropollutants in innovative biological wastewater treatment technologies. *Science of the Total Environment* [online]. 2018, 615, 297–306. ISSN 18791026. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.278
34. NG, Choon Aun, Darren SUN, Mohammed J.K. BASHIR, Soon Han WAI, Ling Yong WONG, Humaira NISAR, Bing WU a Anthony G. FANE. Optimization of membrane bioreactors by the addition of powdered activated carbon. *Bioresource Technology* [online]. 2013, 138, 38–47. ISSN 18732976. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.biortech.2013.03.129
35. KOVALOVA, Lubomira, Detlef R.U. KNAPPE, Kai LEHNBERG, Christian KAZNER a Juliane HOLLENDER. Removal of highly polar micropollutants from wastewater by

- powdered activated carbon. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 2013, 20(6), 3607–3615. ISSN 09441344. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-012-1432-9
36. MAILLER, R., J. GASPERI, Y. COQUET, C. DEROME, A. BULETÉ, E. VULLIET, A. BRESSY, G. VARRAULT, G. CHEBBO a V. ROCHER. Removal of emerging micropollutants from wastewater by activated carbon adsorption: Experimental study of different activated carbons and factors influencing the adsorption of micropollutants in wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [online]. 2016, 4(1), 1102–1109. ISSN 22133437. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.jece.2016.01.018
37. MEINEL, F., A. S. RUHL, A. SPERLICH, F. ZIETZSCHMANN a M. JEKEL. Pilot-Scale Investigation of Micropollutant Removal with Granular and Powdered Activated Carbon. *Water, Air, and Soil Pollution* [online]. 2015, 226(1), 1–10. ISSN 15732932. Dostupné z: doi:10.1007/s11270-014-2260-y
38. LEE, Sangho, Jin Woo LEE, Sejoong KIM, Pyung Kyu PARK, Jae Hyuk KIM a Chung Hak LEE. Removal of 17 $\beta$ -estradiol by powdered activated carbon-Microfiltration hybrid process: The effect of PAC deposition on membrane surface. *Journal of Membrane Science* [online]. 2009, 326(1), 84–91. ISSN 03767388. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.memsci.2008.09.031
39. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. *Metodología de la investigación*. 2014. ISBN 9781456223960.
40. ESPINOZA, Ciro. *Metodología de la Investigación Tecnológica*. 2010. ISBN 978-612-00-0222-3.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Registro fotográfico

#### Identificación de punto de monitoreo



#### Tomas de muestra para caracterización



Tomas de muestra para el proceso experimental



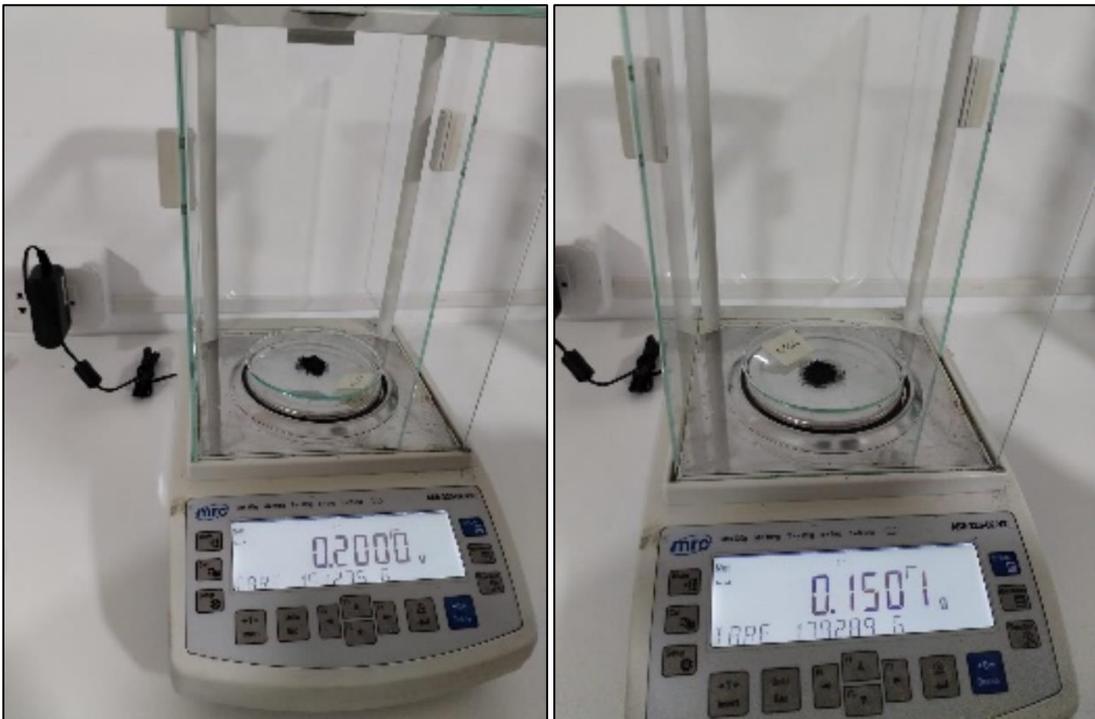
Toma de parámetros in situ

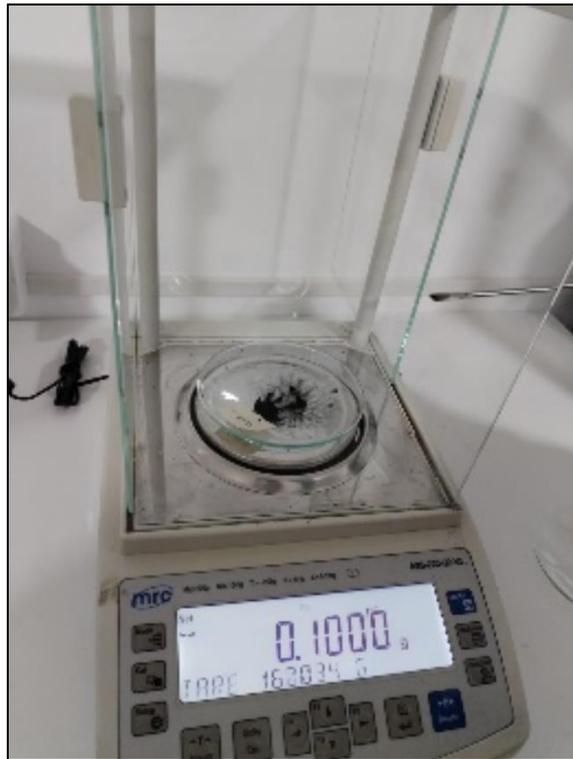


## Separación de muestra



## Pesado de lodo activado





Preparación de muestras



Adición de carbón activado



Conexión de vasos de precipitación a bomba de aire.



Anexo 10. Sedimentación de muestras



## Anexo 2

### Reportes de laboratorio



### INFORME DE ENSAYO N° 1-0102/23

Pág. 1/1

**Solicitante** : Joselyn Madeleine Acevedo Bautista  
Geovana Alvarez Meza

**Domicilio legal** : Jr. Tumbes N°234 - El Tambo  
Psj. Lon Angeles N°187 - Chilca

**Proyecto** : "Remoción de materia orgánica de aguas residuales municipales empleando un sistema combinado de carbón activo y lodos de depuradora"

**Muestra(s) Declarada(s)** : Agua residual municipal

**Procedencia de la muestra** : San Agustín de Cajías

**Cantidad de muestras para el Ensayo** : 02 muestras x 500 mL

**Forma de Presentación** : 02 Frasco de Vidrio

**Fecha de Recepción** : 08/08/23

**Fecha de Inicio del Ensayo** : 08/08/23

**Fecha de Término del Ensayo** : 14/08/23

**Fecha de Emisión de Informe** : 15/08/23

**N° de Cotización de Servicio** : .....



#### MEDICIONES IN SITU

Código del cliente	COORDENADAS UTM		ALTITUD (m.sn.m)
	Norte	Este	
PAR-01	8679421	472001	3188

#### PARÁMETROS DE CAMPO

Código del cliente	Ensayo	Unidad	Resultados
PAR-01	Temperatura	°C	17.10
	pH	Unidades de pH	8.00
	Conductividad	uS/cm	780.00

#### CALIDAD DEL AGUA

Código del cliente	Ensayo	Unidad	Resultados
PAR-01	Turbidez	NTU	79.45
	STD	mg/L	160.00
	DQO	mg/L	436.15
	DBO <sub>5</sub>	mg/L	221.60

\* Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente

\* El cliente renuncia al derecho de la dirimencia:

#### Método de Análisis:

Turbidez: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2150, 23rd Ed.2017. Turbidity, Nephelometric Method

STD: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510, 23rd Ed.2017. Solids, Total Dissolved Solids Dried at 180°C

Demanda Química de oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H<sub>2</sub> B, D, 23rd Ed.2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5-Day BOD Test.

Huancayo, 15 de Agosto de 2023

**GRUPO JHACC S.A.C**  
Ing. 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 certificación del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Rev. 01

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682  
Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com  
www.grupojhacc.com

**INFORME DE ENSAYO N° 1-0100/23**

Pag. 1/1

**Solicitante** : Joselyn Madeleine Acevedo Bautista  
Geovana Alvarez Meza

**Domicilio legal** : Jr. Tumbes N°234 - El Tambo  
Psi. Lon Angeles N°187 - Chilca

**Proyecto** : "Remoción de materia orgánica de aguas residuales  
municipales empleando un sistema combinado de carbón  
activo y lodos de depuradora"

**Muestra(s) Declarada(s)** : Agua residual municipal tratada

**Procedencia de la muestra** : .....

**Cantidad de muestras para el Ensayo** : 09 muestras x 250 mL

**Forma de Presentación** : 09 Frasco de plástico

**Fecha de Recepción** : 10/08/23

**Fecha de Inicio del Ensayo** : 10/08/23

**Fecha de Término del Ensayo** : 11/08/23

**Fecha de Emisión de Informe** : 14/08/23

**N° de Cotización de Servicio** : .....



**CALIDAD DEL AGUA**

Código del cliente	DQO (mg/L)
RCL1	228.16
RCL2	168.25
RCL3	193.14
RCL4	155.21
RCL5	177.06
RCL6	161.72
RCL7	134.17
RCL8	109.99
RCL9	83.54

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

**Método de Análisis:**  
Demanda Química de oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed.2017, Closed Reflux, Colorimetric Method.

Huancayo, 14 de Agosto de 2023

**GRUPO JHACC S.A.C.**  
**Ing. 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-01

Rev: 01

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682  
Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com  
www.grupojhacc.com

**INFORME DE ENSAYO N° 1-0106/23**

Pág. 1/1

**Solicitante** : Joselyn Madeleine Acevedo Bautista  
 Geovana Alvarez Meza

**Domicilio legal** : Jr. Tumbes N°234 - El Tambo  
 Psi. Lon Angeles N°187 - Chilca

**Proyecto** : "Remoción de materia orgánica de aguas residuales municipales empleando un sistema combinado de carbón activo y lodos de depuradora"

**Muestra(s) Declarada(s)** : Agua residual municipal tratada

**Procedencia de la muestra** : .....

**Cantidad de muestras para el Ensayo** : 9 muestras x 250 mL

**Forma de Presentación** : 9 Frasco de plástico

**Fecha de Recepción** : 16/08/23

**Fecha de Inicio del Ensayo** : 16/08/23

**Fecha de Término del Ensayo** : 21/08/23

**Fecha de Emisión de Informe** : 22/08/23

**N° de Cotización de Servicio** : .....



**CALIDAD DEL AGUA**

Código del cliente	DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
JG114 - RI	183.89	84.71
JG123 - RI	169.14	79.45
JG131 - RI	155.31	73.05
JG212 - RI	157.79	79.42
JG223 - RI	137.53	68.97
JG231 - RI	146.74	70.15
JG312 - RI	123.98	63.74
JG321 - RI	105.94	52.67
JG332 - RI	71.74	34.19

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

**Método de Análisis:**

Demanda Química de oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed.2017, Closed Reflux, Colorimetric Method.  
 Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5- Day BOD Test.

Huancayo, 22 de Agosto de 2023

  
**GRUPO JHACC S.A.C**  
 Ing. 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

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682  
 Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com  
 www.grupojhacc.com

**INFORME DE ENSAYO N° 1-0109/23**

Pag. 1/1

**Solicitante** : Joselyn Madeleine Acevedo Bautista  
 Geovana Alvarez Meza

**Domicilio legal** : Jr. Tumbes N°234 - El Tambo  
 Psi. Lon Angeles N°187 - Chilca

**Proyecto** : "Remoción de materia orgánica de aguas residuales municipales empleando un sistema combinado de carbón activo y lodos de depuradora"

**Muestra(s) Declarada(s)** : Agua residual municipal tratada

**Procedencia de la muestra** : .....

**Cantidad de muestras para el Ensayo** : 10 muestras x 250 mL

**Forma de Presentación** : 10 Frasco de plástico

**Fecha de Recepción** : 18/08/23

**Fecha de Inicio del Ensayo** : 18/08/23

**Fecha de Término del Ensayo** : 23/08/23

**Fecha de Emisión de Informe** : 24/08/23

**N° de Cotización de Servicio** : .....



**CALIDAD DEL AGUA**

Código del cliente	DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
JG00-RII	430.10	218.20
JG114 - RII	186.47	85.14
JG123 - RII	166.54	78.14
JG131 - RII	152.71	72.04
JG212 - RII	160.45	80.19
JG223 - RII	139.48	69.14
JG231 - RII	145.89	70.01
JG312 - RII	125.48	64.11
JG321 - RII	107.46	52.97
JG332 - RII	69.85	33.45

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

**Método de Análisis:**

Demanda Química de oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed.2017, Closed Reflux, Colorimetric Method.  
 Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part.5210 B, 23rd Ed.2017.Biochemical Oxygen Demand (BOD)-5- Day BOD Test.

Huancayo, 24 de Agosto de 2023

  
**GRUPO JHACC S.A.C**  
**Ing. 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"

**Anexo 3**  
**Datos de análisis estadístico**

<b>Bloques</b>	<b>Proporción</b>	<b>Tiempo</b>	<b>% de Remoción_DQO</b>	<b>% de Remoción_DBO5</b>
<b>1</b>	0.014	5	57.84%	61.77%
<b>1</b>	0.014	7	61.22%	64.15%
<b>1</b>	0.014	8	64.39%	67.04%
<b>1</b>	0.02	5	71.57%	71.24%
<b>1</b>	0.02	7	75.71%	76.23%
<b>1</b>	0.02	8	83.55%	84.57%
<b>1</b>	0.03	5	63.82%	64.16%
<b>1</b>	0.03	7	68.47%	68.88%
<b>1</b>	0.03	8	66.36%	68.34%
<b>2</b>	0.014	5	56.64%	60.52%
<b>2</b>	0.014	7	61.28%	64.65%
<b>2</b>	0.014	8	64.49%	66.07%
<b>2</b>	0.02	5	70.83%	70.16%
<b>2</b>	0.02	7	75.02%	74.81%
<b>2</b>	0.02	8	83.76%	85.13%
<b>2</b>	0.03	5	62.69%	62.33%
<b>2</b>	0.03	7	67.57%	67.86%
<b>2</b>	0.03	8	66.08%	67.46%