

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO EN LA DECLORACIÓN DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PLANTA STP37-1 MINERA
YANACOCCHA SRL.**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

Bachiller: MARÍA ROSALES SANTA CRUZ MENDOZA

Asesor:

Dr. VALENTÍN VÍCTOR PAREDES OLIVA

Cajamarca – Perú

2020

COPYRIGHT © 2020 by
MARÍA ROSALES SANTA CRUZ MENDOZA
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS APROBADA:

**EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO EN LA DECLORACIÓN DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PLANTA STP37-1 MINERA
YANACOCCHA SRL.**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

Bachiller: MARÍA ROSALES SANTA CRUZ MENDOZA

JURADO EVALUADOR

Dr. Valentín Víctor Paredes Oliva
Asesor

Dr. Consuelo Belania Plasencia Alvarado
Jurado Evaluador

Dr. Marcial Hildelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador

Cajamarca – Perú

2020



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD

Escuela de Posgrado

CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

Siendo las 18,16 horas, del día 16 de octubre de Dos mil veinte, reunidos a través de meet.google.com/znn-dain-uje, creado por la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por la **Dra. CONSUELO BELANIA PLASENCIA ALVARADO**, **Dr. MARCIAL HIDELSO MENDO VELÁSQUEZ**; **Dr. EDÍN EDGARDO ALVA PLASENCIA**, y en calidad de Asesor el **Dr. VALENTIN VICTOR PAREDES OLIVA**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, y la Directiva para la Sustentación de Proyectos de Tesis, Seminarios de Tesis, Sustentación de Tesis y Actualización de Marco Teórico de los Programas de Maestría y Doctorado, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: **EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO EN LA DECLORACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PLANTA STP37-1 MINERA YANACUCHA SRL**, presentada por la **Bach. en Ingeniería de Minas MARÍA ROSALES SANTA CRUZ MENDOZA**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR con la calificación de Diecisiete (17), la mencionada Tesis; en tal virtud, la **Bach. en Ingeniería de Minas MARÍA ROSALES SANTA CRUZ MENDOZA**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Siendo las..... horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
Dr. Valentin Victor Paredes Oliva
Asesor

.....
Dr. Consuelo Belania Plasencia Alvarado
Jurado Evaluador

.....
Dr. Marcial Hildelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador

.....
Dr. Edín Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador

A:

Mis padres Flaminio, Jovita; hermanas Enma y Angelita por mostrarme el camino hacia la superación y apoyo incondicional en todo momento, a Aine por ser parte fundamental para empezar y concluir este trabajo, ellos son quienes me dieron grandes enseñanzas y los principales protagonistas de este “sueño alcanzado”.

AGRADECIMIENTO

Son muchas las personas que han contribuido para que este designio se convierta en realidad. Previamente quiero agradecer a mis padres Flaminio y Jovita por ser mi apoyo en cada paso dado. A Wilder, por ser la persona que me apoyo y me alentó en cada momento para que concluyera esta investigación.

Mi agradecimiento al Dr. Valentín Paredes Oliva por aceptar ser la guía de esta investigación, por su orientación, revisión y su valiosa atención a mis consultas.

Agradezco el apoyo de la empresa de Gestión de Servicios Ambientales - Ing. Freddy Rondón, por el préstamo de los equipos y las facilidades dadas para el desarrollo de esta investigación.

Agradezco al Ing. Fernando Cubas por su apoyo con los permisos para el ingreso y desarrollo de la investigación en las instalaciones de la planta STP37-1 de Minera Yanacocha SRL.

Agradezco a los señores Roberth Narro, Cesar Idrogo y Neider Guevara por su valioso apoyo.

Un trabajo de investigación es fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales.

Gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión.

Pero, sobre todo, gracias a mi Princesita, por su paciencia, comprensión, por el tiempo que me han concedido, un tiempo robado a la historia familiar.

Sin su apoyo este trabajo nunca se habría escrito y por eso, este trabajo es también el suyo.

A todos, muchas gracias.

El conocimiento no es una vasija que se llena, sino un fuego que se enciende - Plutarco

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	vi
CONTENIDO	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE ABREVIACIONES	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Bases Teóricas	7
2.2.1. <i>Carbón activado.</i>	7
2.2.1.1. <i>Composición del carbón activado.</i>	7
2.2.1.2. <i>Procesos de activación del carbón.</i>	8
2.2.1.3. <i>Propiedades del carbón activado.</i>	8
2.2.1.4. <i>Características del carbón activado.</i>	9
2.2.1.5. <i>Clases de carbón activado.</i>	11
2.2.1.6. <i>Aplicaciones del carbón activado.</i>	14
2.2.2. <i>Cloro.</i>	16
2.2.2.1. <i>Uso de cloro en el tratamiento de aguas residuales domésticas.</i>	16
2.2.2.2. <i>Productos derivados del cloro.</i>	16

2.2.2.3. Formación de sub-productos por uso de cloro en la desinfección de aguas residuales. 18	
2.2.2.4. Los sub productos de la desinfección (SPD) y la Salud Pública.....	22
2.2.3. Eliminación de cloro con carbón activado granular (decoloración).....	24
2.3. Definición de términos básicos	25
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Ubicación de la zona de estudio.....	27
3.1.1. Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas STP37-1.....	28
3.1.1.1. Cámara de desinfección (área de estudio).....	28
3.1.2. Puntos de monitoreo (PM).....	29
3.1.3. Ambiente físico.	30
3.1.3.1. Clima.	30
3.1.3.2. Sismicidad.	31
3.2. Materiales.....	31
3.2.1. Recurso humano.	31
3.2.2. Equipos de protección personal.....	32
3.2.3. Materiales para estructura de decoloración.....	32
3.2.4. Materiales para análisis de muestras	33
3.2.5. Equipos para análisis de muestras.	33
3.3. Metodología	33
3.3.1. Diseño y construcción de infraestructura para decoloración.	33
3.3.1.1. Descripción del material de adsorción usado para la decoloración.	37

3.3.2.	Toma de muestras de agua y análisis.....	38
3.3.2.1.	<i>Método para determinar la remoción de cloro residual en agua residual tratada.</i>	38
3.3.2.2.	<i>Procedimiento para toma de muestras de agua residual tratada.</i>	39
3.4.	Diseño experimental	40
3.4.1.	<i>Eficiencia del carbón activado en la dechloración.</i>	41
3.4.1.1.	<i>Determinación del porcentaje de remoción.</i>	41
3.4.2.	<i>Dosis óptima del carbón activado en la dechloración.</i>	42
3.4.3.	<i>Interacción de la turbiedad y el carbón activado en la dechloración.</i>	42
3.4.3.1.	<i>Diseños factoriales 2^k</i>	42
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		43
4.1.	Resultados	43
4.1.1.	<i>Eficiencia del carbón activado en la dechloración.</i>	43
4.1.2.	<i>Dosis óptima de carbón activado en la dechloración.</i>	53
4.1.3.	<i>Interacción de la variable turbiedad en la dechloración.</i>	55
4.2.	Prueba de hipótesis	66
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES		71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		72
APÉNDICE.....		78
ANEXOS		84

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Radios porales del carbón activado.	10
Figura 2. Carbón Activado Granular	11
Figura 3. Carbón activado en polvo.	13
Figura 4. Carbón activado pelletizado.	14
Figura 5. Mecanismo de formación de los THM	20
Figura 6. Ubicación - planta de tratamiento de aguas residuales domésticas STP37-1 – Minera Yanacocha SRL.	27
Figura 7. Ubicación de los puntos de monitoreo.	30
Figura 8: Prototipo de estructura de decloración de aguas residuales domésticas.	36
Figura 9: Estructura de decloración de aguas residuales domésticas.	37
Figura 10. Cubeta con muestra de agua para el análisis de cloro residual.	39
Figura 11. Agregando reactivo DPD a la muestra de agua.	40
Figura 12. Agitación de muestra con reactivo DPD.	40
Figura 13. Remoción de cloro residual experimento uno (E1).	48
Figura 14. Remoción de cloro residual experimento dos (E2).	48
Figura 15. Remoción de cloro residual del experimento tres (E3).	49
Figura 16. Remoción de cloro residual del experimento cuatro (E4).	50
Figura 17. Remoción de cloro residual E1, E2, E3 y E4.	50
Figura 18. Dosis de GAC para la decloración.	54
Figura 19. Interacción de la turbiedad en la decloración.	60
Figura 20. Interacción del carbón en la decloración	60
Figura 21. Promedios para cada efecto.	63

Figura 22. Diagrama PARETO para valores $\Delta/2$ o medios efectos.	63
Figura 23. Materiales para estructura de decoloración.....	79
Figura 24. Filtro con carbón activado (Adsorbente).	79
Figura 25. Armado de filtros con carbón activado.....	80
Figura 26. Conexión de filtros con bomba sumergible.	80
Figura 27. Verificación de funcionamiento de flujómetros.....	81
Figura 28. Sistema de tratamiento de decoloración para aguas residuales domésticas.....	81
Figura 29. Estructura de decoloración.....	82
Figura 30. Muestra de agua tomada del efluente.	82
Figura 31. Equipo listo para lectura de muestra.....	83
Figura 32. Lectura de la muestra N ^a 12 del experimento E1.	83

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Especificaciones de mallas estándar americanas.	12
Tabla 2. Información toxicológica de los SPD.	23
Tabla 3: Características técnicas de la cámara de desinfección (área de estudio).	29
Tabla 4. Equipos de protección personal usados.....	32
Tabla 5. Lista de equipos usados en proceso de cloración.....	33
Tabla 6: Características del medio de adsorción y filtración utilizado.....	37
Tabla 7. Matriz de diseño experimental.	41
Tabla 8. Remoción de cloro residual del experimento uno (E1).....	44
Tabla 9. Remoción de cloro residual del experimento dos (E2).	45
Tabla 10. Remoción de cloro residual del experimento tres (E3).	46
Tabla 11. Remoción de cloro residual del experimento cuatro (E4).	47
Tabla 12. Datos para el cálculo de las dosis del GAC en la cloración de agua.....	53
Tabla 13. Factores para diseño experimental.	55
Tabla 14. Matriz de diseño con valores codificados para pruebas de cloración.	56
Tabla 15. Matriz de diseño factorial.....	57
Tabla 16. Determinación del promedio de valores altos y valores bajos de las variables.....	58
Tabla 17. Valores promedios del carbón.	59
Tabla 18. Valores promedios de la turbiedad.	59
Tabla 19. Matriz codificada con columna de interacción.....	61
Tabla 20. Efecto de combinación de variables	62
Tabla 21. Cálculo de los medios efectos de las interacciones de las variables.....	62
Tabla 23. Resultados de los experimentos.....	68
Tabla 24. Estadística de muestras emparejadas.	68

Tabla 25. Relaciones de muestras emparejadas.	69
Tabla 26. Prueba de muestras emparejadas.	70

LISTA DE ABREVIACIONES

- **EPA:** Environmental Protection Agency
- **SPD:** Sub productos de la desinfección
- **THM:** Trihalometanos
- **GAC:** Carbón activado granular
- **THMsT:** Trihalometanos totales
- **CRL:** Cloro residual libre
- **CR:** Cloro residual
- **LMP:** Límites Máximos Permisibles
- **UNT:** Unidades nefolométricas de turbiedad
- **PTAR:** Plantas de tratamiento de agua residual
- **VM:** Valor medio
- **EIA:** Estudio de Impacto Ambiental.
- **IPERC:** Identificación de peligros, riesgos y controles
- **E:** Experimentos.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia del carbón activado en la remoción del cloro residual del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas STP37-1 del campamento minero Yanacocha SRL para ser vertidos al medio ambiente y así evitar daños al ser humano. Para este estudio se usó carbón activado granular (GAC) de cáscara de coco de malla 12x40 Mesh en proporciones de 3 kg y 1,5 kg, se aplicó un diseño experimental de dos factores (2^k) con 4 experimentos (E). Los 4 experimentos se realizaron con 12 muestras cada uno, 2, 2 mg.L⁻¹ de cloro residual (CL_{2r}) de ingreso, un caudal constante y una turbiedad de 5,6 UNT para los experimentos E1 y E2 y 2,54 UNT para los experimentos E3 y E4. Todos los datos obtenidos se procesaron en Excel versión 2016 y SPSS. Este estudio concluyó que la eficiencia del carbón activado usado llegó a declorar el 97% de 2,2 mg.L⁻¹ de cloro residual, la dosis óptima fue de 0,04 g.L⁻¹ y se concluyó que existe interacción y sinergia de la variable turbiedad en la decloración. Estos resultados demuestran que la hipótesis planteada se acepta en la aplicación del carbón activado, tiene un alto grado de eficacia en la purificación y adsorción del cloro residual en aguas residuales domésticas tratadas.

Palabras Claves: Decloración; carbón activado; eficiencia; agua residual doméstica.

ABSTRACT

The investigation had as objective determine the efficiency of activated carbon for removal residual chlorine of the effluent domestic wastewater treatment plant STP37-1 in Yanacocha SRL mining camp which has been discharged into the environment and avoid damage to human. This study, granular activated carbon (GAC) from 12x40-Mesh coconut shell was used in proportions of 3 kg and 1,5 kg, an experimental design of two factors (2k) with 4 experiments (E) was applied. 4 experiments were carried out with 12 samples each, 2,2 mg.L⁻¹ of residual chlorine (CL_{2r}) entering, with constant flow and turbidity 5,6 UNT the experiments E1 and E2 and 2,54 UNT for the experiments E3 and E4. The data were processed in Excel version 2016 and SPSS. This study concluded the efficiency the activated carbon used decreased by 97% of the 2,2 mg.L⁻¹ of residual chlorine, the optimal dose was 0,04 g. L⁻¹ and it was concluded that the interaction and synergy of the turbidity variable in dechlorination. These results show that the proposed hypothesis accepted in the application of activated carbon has a high degree of efficiency in purification and adsorption of residual chlorine in treated domestic wastewater.

Keywords: Dechlorination; activated carbon; efficiency; domestic wastewater

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

La Autoridad Nacional del Agua y Ministerio de Agricultura y Riego (ANA y MINAGRI, s.f.) mencionan que el agua es considerada como uno de los recursos más importantes para el desarrollo de la sociedad, su uso racional es muy importante para lograr un completo bienestar. En ese sentido por razones de salud pública y ambiental, las aguas residuales provenientes de los usos poblacionales o procesos industriales, no pueden ser eliminadas directamente a las fuentes naturales; es obligación de quien lo produce, asumir los costos que representa su tratamiento previo.

En el Perú se genera aproximadamente 2 217 946 m³ por día de aguas residuales de las cuales solo el 32% son tratadas en plantas, existiendo un total de 143 plantas de tratamiento de aguas residuales (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014).

Las mismas que durante el proceso de desinfección usan cloro en sus diferentes estados y derivados. Sin embargo, este desinfectante presenta diversas desventajas por que el cloro reacciona con la materia orgánica presente formando compuestos organoclorados como los trihalometanos. Estos compuestos son tóxicos para la salud humana, ya que actúan como depresores del sistema nervioso central y afectan las funciones del hígado y riñones, por lo que se establece como límite máximo para protección a la vida acuática de 300 µg.L⁻¹. También el efluente contiene nitrógeno amoniacal que genera cloraminas que son compuestos derivados del amonio; en el humano estos compuestos pueden llegar a causar problemas respiratorios, mientras que para la vida acuática son tóxicos.

La pregunta que guio la investigación fue ¿Cuál es la eficiencia del carbón activado, en la decoloración de aguas residuales domésticas de la planta STP37-1 minera Yanacocha SRL?

La hipótesis es que el carbón activado permite la decoloración al menos en un 70% del efluente de la planta de tratamiento de agua residual domestica STP37-1.

Los objetivos planteados de la investigación son: determinar la eficiencia, dosis óptima y la interacción de la variable turbiedad en la decoloración de aguas residuales doméstica.

Para la decoloración de las aguas residuales domésticas se utilizó carbón activado granular (GAC) mediante técnicas de muestreo aleatorio, aplicando un diseño experimental (2^k) de dos factores mediante 4 experimentos con 12 muestras cada uno, un ingreso de $2,2 \text{ mg.L}^{-1}$ de cloro residual, una turbiedad de 5,6 UNT para el experimento E1 y E2 y 2,54 UNT para el experimento E3 y E4.

El estudio se realizó en la planta STP37-1 de Minera Yanacocha SRL ubicada en el km 37 carretera a Bambamarca, distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca y departamento de Cajamarca en el periodo de enero a noviembre del 2019.

Las limitaciones que se tuvo no permitió realizar la evaluación de otras variables por requerir de varios permisos, uso de equipos altamente costosos, condiciones climatológicas (presencia de descargas atmosféricas), información restringida por ser un tema medio ambiental que es sensible hoy en día más aun para la ciudad de Cajamarca.

Las técnicas utilizadas consistieron en la observación directa y medición, además se utilizó el instrumento de registro de datos de campo para la toma de muestras y para el tratamiento de los datos obtenidos en campo se utilizó la estadística descriptiva y se procesó utilizando el software Excel y SPSS.

Este estudio está dividido en varios capítulos como:

Capítulo I. Introducción, en donde se ha descrito de forma breve tres elementos: problemática, procedimiento general de la investigación y guía de lectura.

Capítulo II. Marco teórico revisado, que está relacionado con el tema de investigación, el cual es una parte crucial para el desarrollo de la investigación.

Capítulo III. Describe los materiales y la metodología seguida en las etapas del trabajo realizado; de cómo se obtuvieron los datos, técnicas e instrumentos y métodos estadísticos usados.

Capítulo IV. Presenta los datos obtenidos para concretizar los objetivos, haciéndose un análisis crítico y explica el resultado del diseño experimental.

Capítulo V. Presenta las conclusiones que da respuesta a nuestras preguntas e hipótesis planteada.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Internacionales

Arana (2016) realizó la evaluación de la aplicación de carbón activado granular en la filtración del agua clarificada del río Cauca. El estudio se realizó en la planta de potabilización de agua del Puerto Mallarino (Cali – Colombia). En este estudio se determinó que los filtros de Carbón activo granular evaluados lograron eficiencias de remoción de turbiedad de hasta un 80% y registros de hasta 0,1 UNT en algunos casos; lo cual permitió disminuir posiblemente de manera indirecta el riesgo microbiológico por la presencia de ooquistes de parásitos como de filo Apicomplexa (*quiste de Cryptosporidium*) y Giardia.; también en este estudio se determinó que la utilización de filtros de GAC con agua clarificada de turbiedad mayor a 1 UNT incide de forma directa en la capacidad de adsorción del medio filtrante. La alta eficiencia de remoción de turbiedad afectó la capacidad de adsorción de materia orgánica medida por UV₂₅₄ en el caso de las configuraciones de GAC. Esto se debió a la retención de partículas de turbiedad en el medio lo cual limitó la capacidad del filtro para adsorber la materia orgánica.

Bravo y Garzón (2017) estudiaron la eficiencia del carbón activado procedente del residuo agroindustrial de coco (*Cocus nucifera*) para remoción de contaminantes en agua. En este estudio se determinó que la eficiencia obtenida en la remoción de contaminantes del agua sintética fue alta, con porcentajes de remoción que van de 58 a 76% aproximadamente, aplicando diferentes niveles de carbón activado colocados en las unidades experimentales (filtros). El tratamiento de mejor respuesta experimental fue el tratamiento 3, que constó de un filtro con 100 g de carbón activado por el que se filtró un

litro de agua sintética con una eficiencia de remoción del 75,68% de las variables en estudio.

Pereira; Laryssa, Borges, Sánchez y Andrés (2013) estudiaron la evaluación del desempeño de filtración en múltiples etapas usando carbón activado granular y mantas sintéticas no tejidas, el cual se realizó en la orilla del lago en el Barrio Ipè en la ciudad de Ilha Solteira, Estado de Sao Paulo - Brasil. En este estudio concluyeron que la configuración de filtros lentos con manta no tejida y carbón activado granular (GAC) presentó mejor remoción de la turbiedad y favoreció la eficiente reducción de color aparente y color verdadero. La implementación de una capa de carbón activado granular en los filtros lentos permitió lograr una mayor remoción de materia orgánica, expresada en términos de oxígeno consumido. También concluyen que la concentración media de sólidos suspendidos en el agua cruda (AC) fue de $2,77 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, en el efluente del pre filtro dinámico (PFD) fue de 0,88 (eficiencia de remoción del 82,5%) y en el pre filtro vertical de flujo ascendente (PFVA) de $0,39 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (eficiencia del 19,7% respecto a su afluente).

Nacionales

Caracela (2017) evaluó el efecto del carbón activado de lenteja de agua (*lemna sp.*) en la remoción de cloro residual del agua en la industria de bebidas. Este estudio concluyó que el carbón activado con peso de 0,1 g elaborado con materia prima lenteja de agua (*Lemna sp.*) presenta mayor capacidad de adsorción de cloro residual con tamaño de partícula 0,070 mm, llegando a remover un 98,95% de $11,760 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ de cloro residual y para los tamaños de partícula de 0,160 mm y 0,315 mm, el porcentaje de la capacidad de adsorción de cloro residual fue de 97,01% y 94,71% respectivamente.

Yachas (2019) estudió el grado de eficacia del carbón activado de la cáscara de coco, en la absorción del hierro y plomo del agua de consumos de los estudiantes de la I.E. San Andrés de Paragsha - Simón Bolívar 2018, Provincia de Pasco – Perú. Este estudio concluyó que la aplicación del carbón activado de cáscara de coco logró purificar y absorber el hierro y plomo del agua de consumo en la I.E. San Andrés de Paragsha. El plomo se logró reducir de 0,9 mL/L a 0,05 mg.L⁻¹ (60 minutos) y 0,002 mg.L⁻¹ (90 minutos) y el hierro de 0,81 mg.L⁻¹ se bajó a 0,41 mg.L⁻¹ (60 minutos) y manteniéndose en 0,41 mg.L⁻¹ (90 minutos), lográndose obtener una reducción significativa en relación a la muestra inicial.

Segura (2017) estudió la influencia del carbón activado obtenido de huarango (*Acacia macracantha*) en la remoción de cloro libre residual en agua potable, Celendín. En este estudio concluyó que de concentraciones iniciales menores o iguales a 0,6 mg.L⁻¹ de cloro libre residual, los mayores porcentajes de remoción se produjo en los primeros 5 minutos de añadido el carbón activado, con valores alrededor del 80% y la remoción al 100% se logró con tiempo de exposición de entre 20 y 30 minutos, a partir de este tiempo la concentración de cloro fue 0, lo que quiere decir que la remoción fue de 100%; para valores mayores a 0,6 mg.L⁻¹, donde la mayor parte se removió en los primeros 5 minutos con porcentajes promedio de 80% y en 10 minutos se removió más del 90%, mientras que para lograr la remoción total se tarda entre 30 y 45 minutos, a partir de este tiempo la concentración de cloro fue 0, lo que quiere decir que la remoción fue de 100%. Concluyendo que la capacidad de adsorción del carbón activado producido de madera de *Acacia macracantha* “huarango” aplicada a la remoción de cloro libre residual en agua potable es altamente influyente, pues se alcanza porcentajes de remoción del 100% en un máximo de 45 min de exposición con una dosis de 0,5 g.L⁻¹ de adsorbente, con un máximo

de 80% en los primeros 5 minutos y luego disminuyendo a medida que se saturan los sitios activos.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Carbón activado.

El carbón activado es carbón poroso que atrapa compuestos, principalmente orgánicos, presentes en un gas o en un líquido. Lo hace con tal efectividad, que es el purificante más utilizado por el ser humano. Las materias primas más utilizadas para fabricar carbón activado son: maderas poco duras (como la de pino), carbones minerales (ligníticos, bituminosos y de antracita) y cáscaras o huesos de vegetales (concha de coco, hueso de aceituna o de durazno, cáscara de nuez, etc.) (Carbotecnia, 2020).

2.2.1.1. Composición del carbón activado.

Perdomo (2011) describe la composición del carbón activado:

2.2.1.1.1. Composición química.

El carbón activado otorga un amplio rango de materiales que se diferencian particularmente en las dimensiones granulométricas y en su estructura interna (poros y superficie específica). La composición química del carbón activado es aproximadamente de un 70-80% de C, del 5 al 10% de cenizas, del 60% de oxígeno y 0,5% en hidrógeno. Dicha composición química del carbón activo es prácticamente pura, al igual que lo es el grafito, el diamante y los diversos carbones minerales o de leña.

2.2.1.1.2. Composición física.

El carbón activado posee una estructura microcristalina que en gran medida es similar a la del grafito. Esta estructura que presenta el carbón activado da razón a una distribución de poros de tamaños bien determinados. Así, se pueden distinguir tres tipos de poros según su radio: macroporos ($r > 25$ nm), mesoporos ($25 > r > 1$ nm) y microporos ($r < 1$ nm).

2.2.1.2. Procesos de activación del carbón.

El carbón puede activarse mediante procesos térmicos o químicos (Carbotecnia, 2020).

Proceso térmico. Consiste en provocar una oxidación parcial del carbón, para lograr que se formen los poros, pero evitando que se gasifique y se pierda más carbón del necesario. Esto ocurre a temperaturas que están entre los 600 y los 1100 °C y en una atmósfera controlada (que se logra mediante la inyección de una cantidad adecuada de vapor de agua o de nitrógeno).

Proceso químico. Parten de la materia prima antes de carbonizarse. Los reactivos son agentes deshidratantes (como ácido fosfórico) que rompen las uniones que ligan entre sí a las cadenas de celulosa. Después de esta etapa, el material se carboniza a una temperatura relativamente baja (de unos 550 °C) y luego se lava para eliminar los restos de reactivo y de otros subproductos.

2.2.1.3. Propiedades del carbón activado.

Según Gómez, Rincón y Klose (2010) mencionan que las principales características de los carbones activados están determinadas por propiedades físicas y químicas

entre las que destacan son: estructura porosa y su potencial de adsorción. El potencial de adsorción queda determinado por la propia estructura, forma y distribución de la porosidad y por otras condiciones relacionadas con la química de las superficies de los carbones activados.

2.2.1.4. Características del carbón activado.

Según Yachas (2019) las principales características del carbón activados son:

a) Área superficial

Es la extensión de la superficie de los poros desarrollada dentro de la matriz del carbón activado. Se mide usando nitrógeno (N_2). Es el indicador primario del nivel de actividad, asumiendo que, a mayor área superficial, mayor número de puntos de adsorción disponibles.

b) Radios porales

La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) define la distribución de radios porales de la siguiente forma:

Microporos $r < 2$ nm

Mesoporos $r \approx 2-50$ nm

Macroporos $r > 50$ nm

Los macroporos son la vía de entrada al carbón activado, los mesoporos realizan el transporte, y los microporos la adsorción como se muestra en la figura 1.

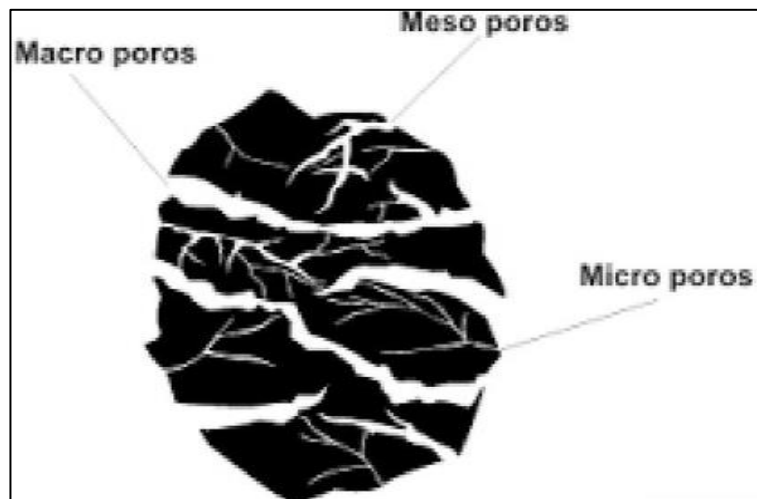


Figura 1. Radios porales del carbón activado.

Fuente: (Yachas, 2019)

c) Número de yodo

Medida de la porosidad mediante absorción de yodo en solución.

d) Dureza

Es un factor importante en el diseño del sistema, la vida útil de los filtros y la forma de manipulación. Presenta grandes variaciones, dependiendo del material original y su nivel de actividad.

e) Tamaño de las partículas

Cuanto más fino es el tamaño de las partículas de un determinado carbón activado, mejor es el acceso al área superficial y más rápida es la tasa de cinética de absorción. En sistemas de fase vapor, esto se debe considerar junto con la caída de presión, que afecta los costos energéticos.

2.2.1.5. Clases de carbón activado.

a) Carbón Activado granular (GAC).

Consiste en gránulos de forma irregular (figura 3) que se instalan dentro de un recipiente por el que se hace circular el líquido o gas que va a tratarse. En toda aplicación hay que buscar el tamaño de carbón activado granular menor posible (tabla 1), siempre y cuando la caída de presión provocada no sea excesiva (Sevillano y Torres, 2013).



Figura 2. Carbón Activado Granular

Fuente: (Vidal, 2018)

Tabla 1. Especificaciones de mallas estándar americanas.

Mallas (U.S. Standard Sieve)	Abertura (mm)	Malla (U.S. Standard Sieve)	Abertura (mm)
¼	6,35	30	0,595
4	4,76	35	0,5
5	4	40	0,42
6	3,36	45	0,354
8	2,38	50	0,297
10	2	60	0,25
12	1,68	70	0,21
14	1,41	80	0,177
16	1,19	100	0,149
18	1	200	0,074
20	0,84	325	0,044
25	0,71	400	0,037

En la tabla se muestra el tamaño de mallas y aberturas del carbón activado.

Fuente: Sevillano y Torres, 2013.

El rango de tamaño con el que se especifica un carbón activado granular, existen dos variables que definen con mayor precisión la distribución de tamaños dentro de ese rango: el tamaño efectivo de partículas y el coeficiente de uniformidad.

b) El carbón activado en polvo.

Carbón cuyas partículas pasan a través de la malla 80 (figura 3). La norma American Water Works Association (AWWA B600-90) relativa al carbón activado en polvo para el tratamiento de agua señala que el 99% debe pasar por la malla 100, 95% debe pasar la malla 200 y 90% la malla 325. Este tipo de carbón no puede emplearse en lechos fijos y por lo tanto no se utiliza en el tratamiento de gases. (Sevillano y Torres, 2013).



Figura 3. Carbón activado en polvo.

Fuente: (Sevillano y Torres, 2013)

Ventajas y desventajas del carbón activado en polvo sobre el carbón activado granular (Sevillano y Torres, 2013).

- El carbón activado en polvo trabaja a una velocidad superior a la del carbón activado granular.
- No requiere dureza, por lo tanto, cuando el carbón activado no es suficientemente duro como para aplicarse como granular, el polvo es una buena alternativa. Tal es el caso del carbón vegetal de madera de pino.
- El carbón activado en polvo genera una mayor caída de presión.

c) El carbón activado pelletizado.

El carbón activado puede pulverizarse y posteriormente pelletizarse bajo presión o con la ayuda de agentes ligantes, como brea, alquitranes y glucosa, entre otros. Una característica de este tipo de carbones radica en que, gracias a su forma regular, no tienen partes puntiagudas que se puedan romper fácilmente durante el manejo o erosionar durante los retrolavados o la operación. Una de las

desventajas es el mayor costo de fabricación, precios más altos con respecto a los granulares (Sevillano y Torres, 2013).



Figura 4. Carbón activado pelletizado.

Fuente:(Sevillano y Torres, 2013)

2.2.1.6. Aplicaciones del carbón activado.

El carbón activado es el adsorbente más versátil por su alta superficie específica, distribución polimodal de tamaños de poro, estructura porosa en forma de rendija y por su capacidad de presentar diferentes tipos de naturaleza química en su superficie. Los carbones activados que se utilizan en aplicaciones en fase líquida difieren fundamentalmente de los de fase gaseosa en la distribución de tamaños de poro, puesto que los primeros deben tener un mayor volumen de macroporos para facilitar la difusión de los líquidos a los meso y microporos. La aplicación puede requerir carbón activado en polvo, granular o conformado (el tamaño medio del carbón en polvo es 15-20 μm , mientras que el granular suele ser 0,3-3,0 mm), y la selección se basa fundamentalmente en el grado de purificación que se requiera.

Los granulares o conformados se suelen utilizar cuando se utiliza flujo continuo en lechos profundos, para eliminar esencialmente los contaminantes del líquido a purificar, y son los preferidos cuando se pueden esperar picos en la concentración de los contaminantes (Reinoso, 2005).

Según Reinoso (2005) Las principales aplicaciones están relacionadas con el tratamiento de aguas:

- a) **Aguas potables:** en los países desarrollados esta aplicación consume una cuarta parte del carbón activado utilizado en fase líquida, y su misión fundamental es complementar la desinfección y filtración habituales, mediante la adsorción de productos tóxicos y otros materiales orgánicos.
- b) **Aguas residuales:** esta aplicación consume aproximadamente la quinta parte del carbón activado utilizado en aplicaciones en fase líquida, y es previsible que sea la aplicación que más crezca como consecuencia de las regulaciones cada vez más estrictas.
- c) **Decoloración de edulcorantes:** la decoloración del azúcar y los sirupos consume también una quinta parte del total.
- d) **Industria química:** la purificación de muchos productos químicos (glicoles, colorantes, hidróxido potásico, ácidos clorhídrico y fosfórico, etc.) consume una importante cantidad de carbón activado
- e) **Industria alimentaria:** estas aplicaciones incluyen muchos alimentos habituales como aceite, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, café descafeinado, etc.

f) **Otras:** aquí se puede incluir la industria farmacéutica (antibióticos, vitaminas, disoluciones intravenosas, etc.), minería (especialmente la extracción del oro, como complejo cianurado), catálisis, electrodeposición, etc.

2.2.2. Cloro.

Esquedo, Ocasio, y Diez, (s.f.) refiere que el cloro es una sustancia tan energética y activa que solo existe en la naturaleza en combinación con otros elementos. El carácter tóxico de cloro y algunos de sus compuestos se atribuye en gran parte a su capacidad oxidante. El cloro y los compuestos que contienen cloro son oxidantes muy potentes y se pueden disipar en reacciones con una variedad de materiales orgánicos e inorgánicos en el agua antes de que se obtenga suficiente desinfección.

2.2.2.1. Uso de cloro en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

En todo el mundo, el mecanismo de desinfección más aplicado en los sistemas de tratamiento del agua residual es el cloro y sus derivados. Fue introducido masivamente a principios del siglo XX y constituyó una revolución tecnológica (Mendoza y Vera, 2010).

2.2.2.2. Productos derivados del cloro.

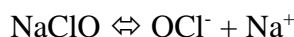
Según Dantas (2011) menciona los productos derivados de cloro que se usan en el tratamiento de aguas.

a) Cloro molecular (Cl_2).

El cloro en su forma elemental es un gas que tiene un olor muy fuerte sofocante que irrita el sistema respiratorio y mucoso y es tremendamente tóxico. En la naturaleza, el cloro se encuentra principalmente como iones cloruro disuelto en los océanos o depositados en las minas de sal.

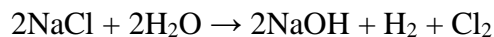
b) Hipoclorito Sódico (NaClO).

El Hipoclorito sódico o lejía, junto con el hipoclorito de calcio son los derivados del cloro preferentemente utilizados como alternativa al cloro gaseoso. Al igual que el cloro, es un oxidante muy potente y un desinfectante eficaz principalmente en pequeñas poblaciones. El hipoclorito sódico se disocia en agua de acuerdo a siguiente reacción según.



c) Generación de Hipoclorito “in situ” o Electrólisis.

La producción de hipoclorito “in situ” se lleva a cabo utilizando una célula electrolítica y una solución de cloruro sódico a concentración 5.500 ppm. El proceso químico de electrolisis ocurre en distintas fases. Inicialmente la electrolisis del cloruro sódico en el ánodo conduce a la formación de cloro (Cl₂).

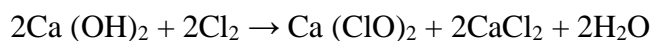


Que se hidroliza en agua formando ácidos hipocloroso y clorhídrico



d) Hipoclorito cálcico Ca(ClO)₂.

Se obtiene a partir de hidróxido de calcio (Cal hidratada). El proceso tiene como etapa principal la reacción de cloro gaseoso con la cal, seguida de una precipitación de hipoclorito cálcico deshidratado. Esta forma de hipoclorito suele encontrarse granulada, en polvo o en pastillas en concentraciones entre 65-70% de cloro activo, que se descompone fácilmente en agua liberando oxígeno y cloro.



e) Dióxido de Cloro (ClO₂).

Es obtenido por la mezcla de ácido clorhídrico y clorato de sodio o bien de clorito y cloro gas. La manera más usual para generación del dióxido de cloro, consiste en la reacción del clorito de sodio (NaClO₂) con cloro gas, o ácido clorhídrico.

2.2.2.3. Formación de sub-productos por uso de cloro en la desinfección de aguas residuales.

El agua que es sometida al proceso de desinfección, puede contener precursores orgánicos fundamentalmente ácidos húmicos y fúlvicos, que proceden de la degradación microbiana y química de carbohidratos y proteínas. Estos precursores reaccionan con el desinfectante, dando lugar a la aparición de una serie de sustancias indeseables, que en el caso de la desinfección por cloro se trata en general de compuestos orgánicos clorados, muchos de los cuales tienen comprobada su capacidad tóxica y/o muta génica para el hombre. De igual forma, la cloración de aguas con elevado contenido proteico, procedente de proliferaciones masivas de algas (eutrofización), también contribuye a la formación de estos subproductos de la desinfección. Los principales subproductos de la cloración son los trihalometanos, ácidos acéticos halogenados y cloraminas (Olmedo, 2008).

a) Trihalometanos (THMs).

Los THMs son subproductos de la cloración que se forman en mayor concentración. Por ello, se han utilizado tradicionalmente como indicadores de la concentración total de subproductos de la cloración. Como en la mayoría de

los casos se producen conjuntamente, se consideran como un grupo denominado trihalometanos totales (THMsT) (Olmedo, 2008).

Los THMs constituyen un grupo de compuestos orgánicos que son derivados del metano (CH₄), en cuya molécula, tres átomos de hidrógeno han sido sustituidos por igual número de halógenos (cloro, flúor, bromo o yodo). Por su bajo peso molecular, estos compuestos se caracterizan por ser volátiles (figura 5).

Rook (1974) encontró que el ácido hipocloroso y el ácido hipobromoso también reaccionan con materia orgánica de origen natural formando algunos subproductos de la desinfección del agua, incluyendo los cuatro trihalometanos principales (Gómez y Ordoñez, 2014).

- Cloroformo (CHCl₃)
- Bromodiclorometano (CHBrCl₂)
- Dibromoclorometano (CHBr₂Cl)
- Bromoformo (CHBr₃).

Los valores de THMs en el agua clorada pueden variar de manera considerable en función del origen del agua. Así mismo, por la misma causa, los cuatro THMs se forman también en diferente proporción. Así, los valores pueden oscilar desde menos de 10 µg.L⁻¹ en aguas cloradas de origen subterráneo a incluso más de 200 µg.L⁻¹ en aguas cloradas de origen superficial (Olmedo, 2008).

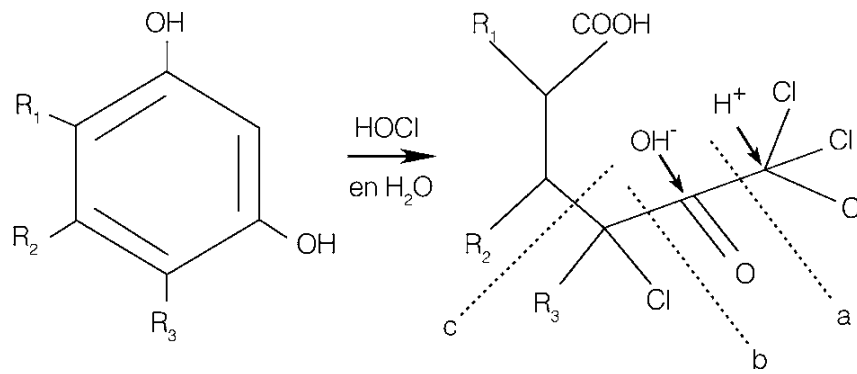


Figura 5. Mecanismo de formación de los THM

Fuente: (Rodríguez, Rodríguez, Serodes y Sadiq, 2007)

Factores que influyen en la formación y concentración de los trihalometanos según (Olmedo, 2018) son:

- La concentración de cloro: la concentración de cloroformo aumenta de forma directa con el residual del cloro.
- La naturaleza y la concentración de la materia orgánica: cuando en el agua existe gran cantidad de derivados del humus mayor será la probabilidad de formación de THMs.
- La concentración de bromo (Br) en el agua: el bromo es un constituyente natural del agua, reacciona con el cloro para formar ácido hipobromoso y a su vez éste con precursores orgánicos.
- La temperatura: manteniendo el pH y la dosis de cloro, al aumentar la temperatura mayor es la posibilidad de formación de cloroformo.
- pH: la formación de THMs es mayor al aumentar el valor del pH del agua, por la acción catalítica del haloformo.
- Tiempo de contacto del cloro: es necesario un tiempo mínimo de contacto de los precursores con el cloro.

- Turbiedad del agua mayor es la concentración de THMs. También se encuentran variaciones estacionales en los niveles que están relacionados con la materia orgánica en suspensión que contiene el agua, este parámetro puede estimarse por el valor de la turbiedad.

b) Ácidos acéticos halogenados.

Son los más abundantes después de los trihalometanos, estos forman un conjunto de 9 compuestos con diferente contenido de cloro y bromo: ácidos cloroacético, dicloroacético, tricloroacético, bromoacético, dibromoacético, tribromoacético, bromocloroacético, dibromocloroacético y bromodicloroacético. La concentración total de ácidos acéticos halogenados en el agua clorada suele ser la mitad que la de THM; los más abundantes son los que contienen dos cloros y/o bromos. El pH es el factor que más influye en su formación: al disminuir, la concentración de ácidos acéticos trihalogenados aumenta y la de ácidos acéticos dihalogenados permanece constante (Villanueva, Manolis y Grimalt, 2001).

c) MX (mutágeno X).

Con este nombre se conoce la 3 cloro 4 diclorometil 5 hidroxil 2(5H) furanona. Fue detectado por primera vez en 1984 en emanaciones de fábricas de pulpa de papel blanqueada con cloro en Finlandia. Dos años después fue detectado en aguas de consumo. Generalmente se encuentra en concentraciones muy bajas en aguas de consumo, pero tiene elevada actividad mutagénica en el test de Ames (Olmedo, 2008).

2.2.2.4. Los sub productos de la desinfección (SPD) y la Salud Pública.

La exposición de la población a los THM representa un riesgo de salud pública, ya que son considerados potencialmente cancerígenos para el humano. Se han determinado cuatro tipos de THM (tabla 2) según (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA], 1994).

Tabla 2. Información toxicológica de los SPD.

Clase de Sub-producto	Compuesto	Clasificación	Efectos nocivos
Trihalometanos (THM)	Cloroformo	B2	Cáncer, hígado, riñón, efectos sobre la reproducción.
	Dibromoclorometano	C	Sistema nervioso, hígado, riñón, efectos sobre la reproducción.
	Bromodichlorometano	B2	Cáncer, hígado, riñón, efectos sobre la reproducción.
Haloacetoniitrilo (HAN)	Bromoformo	B2	Cáncer, sistema nervioso, hígado, efectos sobre el riñón.
	Tricloroacetoniitrilo	C	Cáncer, efectos muta génicos y clasto génicos.
Aldehidos halogenados y cetonas	Formaldehído	B1	Muta génicos.
Halofenol	2-Chlorofenol	D	Cáncer, agente de tumores
Ácidos haloacéticos (AHA)	Ácido dicloroacético	B2	Cáncer, efectos sobre la reproducción y el desarrollo.
	Ácido tricloroacético	C	Hígado, riñón, bazo, efectos sobre el desarrollo.
Compuestos inorgánicos	Bromatos	B2	Cáncer.
	Cloritos	D	Efectos sobre el desarrollo y la reproducción.

A: carcinógeno humano, B1: carcinógeno humano probable (con alguna evidencia epidemiológica), B2: carcinógeno humano probable (evidencia de laboratorio suficiente), C: carcinógeno humano posible, D: no clasificable, *: exposición por inhalación.

Fuente: Modificada de EPA (1999b).

2.2.3. Eliminación de cloro con carbón activado granular (decloración).

Según Carbotecnia S.A. (2019) La decloración consiste en un mecanismo complicado que puede seguir distintos caminos de reacción en los que el GAC puede intervenir como reactivo o como catalizador. Para disminuir los niveles de cloro libre en agua, se han desarrollado varios procesos, pero la decloración en un lecho fijo de carbón activado granular (GAC) ha sido el más rentable, y por lo tanto el más común.

Cuando el carbón se expone al cloro libre, se llevan a cabo reacciones en las que el HOCl o el OCl⁻ se reducen a Ion cloruro (Cl⁻). Dicha reducción es el resultado de distintos caminos de reacción posibles. En dos de los más comunes, el GAC actúa como un agente reductor, de acuerdo con las siguientes reacciones:



Donde:

C* representa el carbón activado granular. C*O y C*O₂ son óxidos superficiales, que poco a poco van ocupando espacios, que, al quedar bloqueados, ya no participan en la reacción. Algunos de estos óxidos se liberan hacia la solución. Esto vuelve a dejar espacios disponibles que por lo tanto aumentan la capacidad del GAC para esta reacción de reducción. En cuanto al Cl⁻, también se acumula en la superficie del carbón durante los primeros momentos de operación. Al seguir llegando HOCl o OCl⁻ a la superficie del carbón, la reacción se hace un poco más lenta, y entonces se empieza a liberar el Cl⁻. Esta disminución de velocidad se debe a la ocupación

de espacios por los óxidos superficiales. Dicha ocupación continúa de manera gradual, mientras disminuye la capacidad, tanto de adsorción como de deoloración del GAC.

Cuando el carbón activado granular actúa solamente como catalizador, es el siguiente:



Éste se favorece cuando un porcentaje importante de la superficie del GAC ya está saturado. Existen muchas otras posibles reacciones, algunas de las cuáles se llevan a cabo entre el cloro libre y los óxidos superficiales que estaban presentes en el carbón desde antes de su aplicación.

2.3. Definición de términos básicos

Adsorción. Es un proceso por el cual los átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otros compuestos (Fombuena y Valentín, 2010).

Aguas residuales domésticas. Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014).

Carbón activado. El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 1,500 metros cuadrados, por gramo de carbón (Fombuena y Valentín, 2010).

Cloro residual libre. Es la cantidad de cloro presente en el agua en forma de ácido hipocloroso e hipoclorito que queda disponible después de haber efectuado la desinfección del agua, es decir, la destrucción o inactivación de los microorganismos presentes (Dirección General de Salud Ambiental, 2010)

Decloración. Proceso de remoción de los residuos libres y combinados de cloro (EPA, 2016).

CAPÍTULO III.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la zona de estudio

El área de estudio se encuentra dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas STP37-1 ubicada en el campamento minero de Minera Yanacocha SRL km 37, distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca y departamento de Cajamarca (figura 6) la cual se encuentra en las siguientes coordenadas.

Norte: 9228250 N

Este: 769 150 E

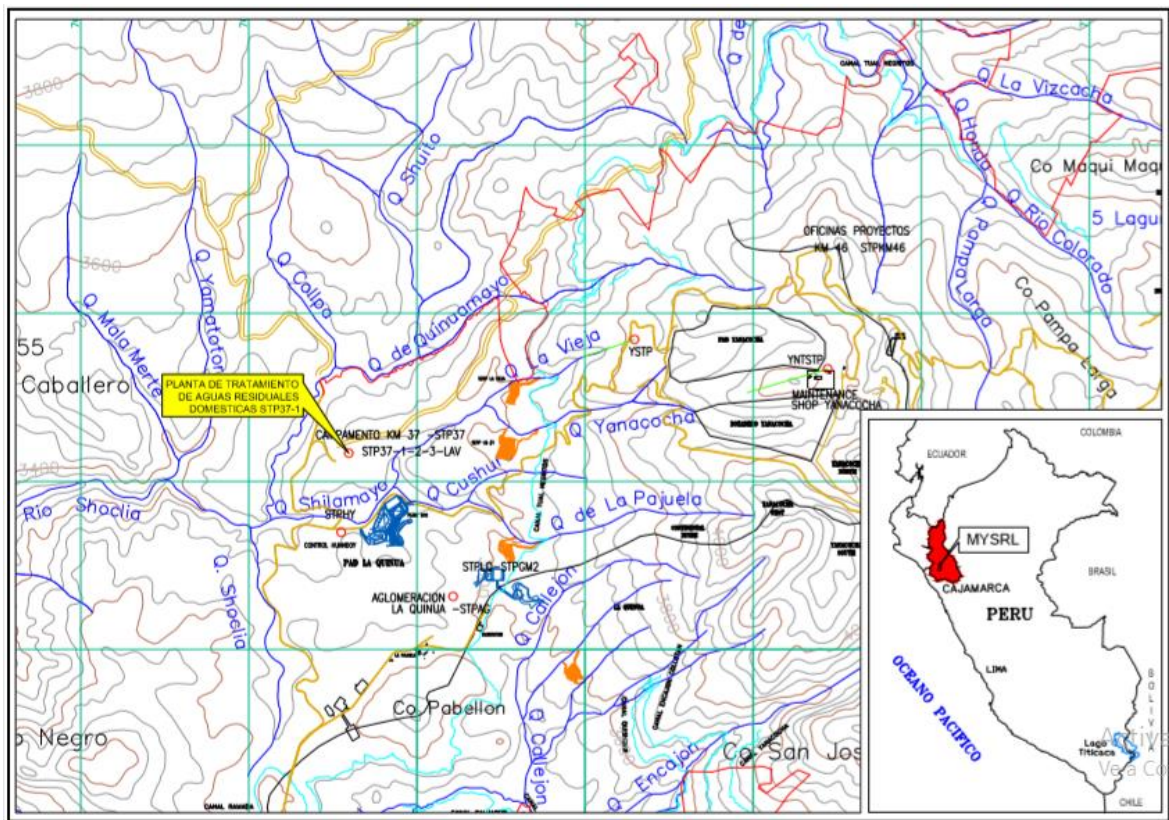


Figura 6. Ubicación - planta de tratamiento de aguas residuales domésticas STP37-1 – Minera Yanacocha SRL.

3.1.1. Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas STP37-1.

La planta STP37-1 (ver anexo 1) es de modelo DIAPAC MA-60 constituida por los siguientes componentes:

- Cámara de ecualización.
- Cámara de aeración (oxidación).
- Cámara de decantación con función de recirculación de lodos (Air Lift).
- Cámara de desinfección (remoción de carga bacteriana).

Esta planta permitía realizar el tratamiento de las aguas residuales domésticas provenientes del campamento minero, mediante la técnica de aeración prolongada (lodos activados a baja carga). Su caudal máximo fue de $12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, caudal mínimo es $2,4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ y su caudal promedio fue de $6,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) de $16,5 \text{ kg} \cdot \text{Día}^{-1}$.

3.1.1.1. Cámara de desinfección (área de estudio).

Este componente recibía el agua pre tratada para la destrucción de la carga bacteriana mediante la dosificación de solución de hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) al 1% como agente desinfectante, contaba con cinco pantallas que permitían que el agua tenga 30 minutos de tiempo de contacto aproximadamente.

En esta cámara de decantación se ubicó la bomba para la alimentación de la estructura de decloración, la cual cuenta con las siguientes características técnicas (tabla 3):

Tabla 3: Características técnicas de la cámara de desinfección (área de estudio).

Componentes	Características técnicas	
Cámara de desinfección	Vol. del depósito de contacto	6,7 m ³ .
	Largo	2,70 m
	Ancho	1,65 m.
	Tiempo de contacto	30 min. Aprox.
	Dosificación	Hipoclorito de calcio

3.1.2. Puntos de monitoreo (PM).

En la investigación se tuvo cinco puntos de monitoreo (figura 7) donde se tomó las muestras para el análisis del cloro residual. En el PM0 se tomó las muestras para determinar la cantidad de cloro residual que tenía el agua antes del ingreso a la estructura de decloración, en los puntos de monitoreo PME1, PME2, PME3 Y PME4 se tomó las muestras para determinar cuánto de cloro residual se ha adsorbido con el GAC.

- Punto de monitoreo afluente (PM0).
- Punto de monitoreo experimento uno (PME1)
- Punto de monitoreo experimento dos (PME2)
- Punto de monitoreo experimento tres (PME3)
- Punto de monitoreo experimento cuatro (PME4)

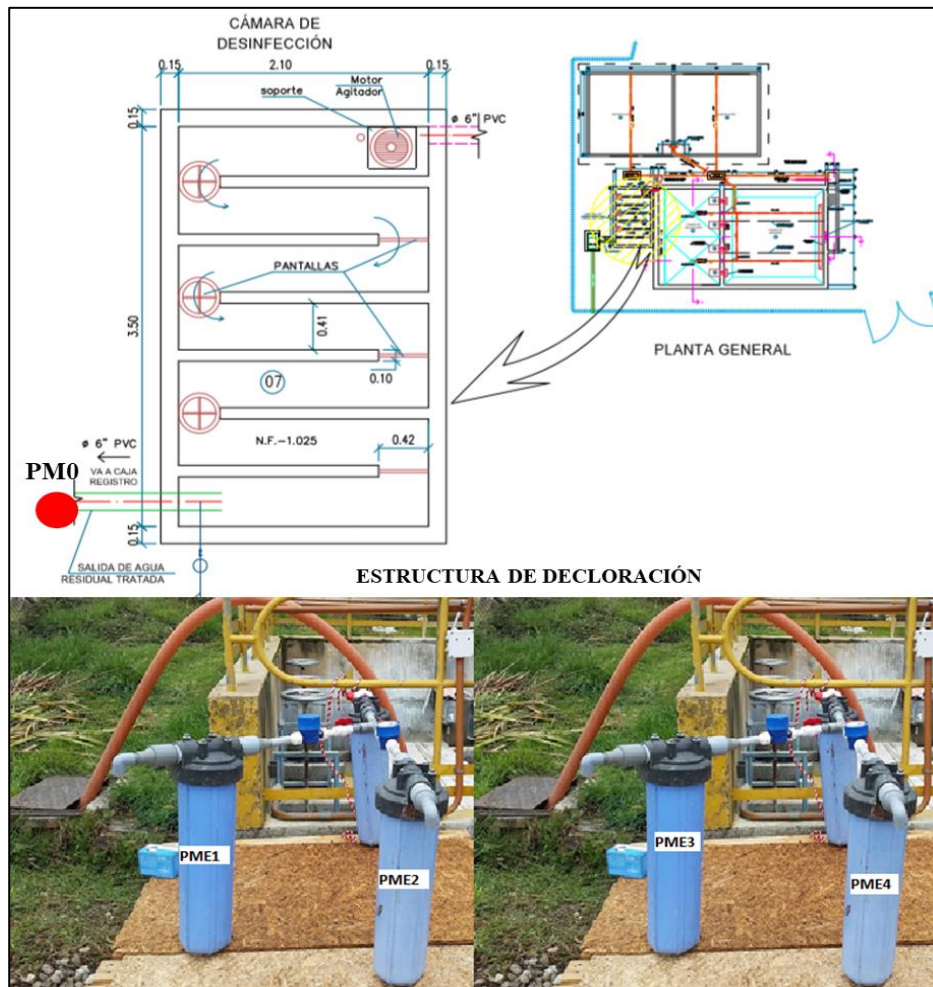


Figura 7. Ubicación de los puntos de monitoreo.

3.1.3. Ambiente físico.

3.1.3.1. Clima.

El área donde se ubica la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas STP37-1 se caracteriza por tener un clima frío y húmedo con estaciones de lluvias y estiaje claramente definidas; típicamente, la estación de lluvias es de octubre hasta abril y la temporada de estiaje de mayo a septiembre. La precipitación anual promedio varía entre 1,176 mm y 1,362 mm, las temperaturas promedio diarias reflejan una variación substancial entre la máxima y mínima (entre 18° C y 0° C) (Estudio de Impacto Ambiental [EIA], 2006).

3.1.3.2. Sismicidad.

La planta de tratamiento de aguas residuales STP37-1 se encuentra está bajo la influencia de dos principales fuentes de eventos sísmicos: la zona de subducción entre la Placa Continental Sudamericana y la Placa de Nazca (conocida como el Plano Wadati-Beniof) y una serie de sistemas de fallas geológicas activas de la región, ubicadas en la “zona de influencia” (radio de 300 km) del área en estudio. Sin embargo, dentro de la “zona crítica” (radio de 100 km) del área estudiada, no se han reconocido fallas activas (EIA, 2006).

3.2. Materiales

Para realizar la investigación se usó diversos recursos, materiales y equipos.

3.2.1. Recurso humano.

Se contó con el apoyo de personal técnico como:

- 01 técnico electricista para instalación y puesta en funcionamiento de bombas sumergible.
- 01 ayudante para la conexión de equipos y accesorios.
- 01 operador de planta para que verifique el funcionamiento de la bomba dosificadora de cloración.

Se solicitó a la empresa de Gestión de Servicios Ambientales S.A. el apoyo del personal antes mencionado ya que, por política de seguridad de la empresa, solo personal autorizado debe realizar las actividades mencionadas.

3.2.2. Equipos de protección personal.

Tabla 4. Equipos de protección personal usados.

Equipos de Protección Personal	Características	Cantidad
Casco de Seguridad	Clase eléctrica 0	01 unidad
Gafas de seguridad	Google de luna clara y oscura	02 pares
Tapones Auditivos	3M de silicona reusables	01 unidad
Guantes de nitrilo	3M de caña larga	01 par
Guantes látex	-	60 pares
Chaleco de seguridad	3M con cinta reflectiva.	01 unidad
Zapatos de Seguridad	Dieléctricos	01 unidad

3.2.3. Materiales para estructura de declaración.

- Abrazaderas
- Acoples de 2"
- Adaptadores de 1/2" y 1 1/2"
- Carbón activado granular (GAC) de malla de 12x40 Mesh.
- Cintas teflón
- Codos de 1 1/2"
- Extensiones (puntos para energía eléctrica).
- Llaves de paso de 1 1/2" con rosca
- Manguera de plástico 2"
- Pegamento 1/3
- Filtros (material reciclado - porta filtros).
- Reducciones de 1 1/2" y 3/4" y 3/4" x 1/2" m-m
- Reducción de 3/4" x 1/2" h-m

- Uniones simples de 1/2
- Yee de 3/4"

3.2.4. Materiales para análisis de muestras

- Baldes de 45 litros.
- Balde de 5 litros.
- Jarras plásticas
- Papel tisù
- Reactivo DPD (sobres de 10 mL)

3.2.5. Equipos para análisis de muestras.

Tabla 5. Lista de equipos usados en proceso de cloración.

Equipo	Características	
	Marca	Serie
Flujómetros 1/2"	Mak-ayron	19041209
Flujómetros 1/2"	Mak-ayron	19042283
*Clorímetro	Hach	16070E305368
*Bomba sumergible	Pedrollo	-
*Turbidímetro	Hach	-
Cronometro	-	-

*Estos equipos no fueron propiedad de la autora, eran préstamo de la Empresa de Gestión de Servicios Ambientales S.A.

3.3. Metodología

3.3.1. Diseño y construcción de infraestructura para cloración.

Para el diseño del filtro se tomó en cuenta la capacidad del carbón activado para clorar agua, normalmente se expresa mediante el valor medio (VM), este representa la altura de la columna, el cual se determinó mediante las siguientes ecuaciones.

Volumen del filtro:

$$V_f = \pi r^2 h_f$$

$$V_f = A_f * h_f$$

Donde:

V_f : Volumen del filtro (cm³)

r : Radio del filtro (cm)

h_f : altura del filtro (cm)

A_f : Área del filtro (cm²)

Volumen de tubería interna:

$$V_{tbi} = \pi (r_{tbi})^2 h_{tbi}$$

$$A_{tbi} = \pi (r_{tbi})^2$$

Donde:

V_{tbi} : Volumen de la tubería interna (m³)

r_{tbi} : Radio de la tubería interna (m)

h_{tbi} : altura de la tubería interna (m)

A_{tbi} : Área de la tubería interna (m²)

Cantidad de carbón:

$$V_{ca} = A_{ca} * h_{ca}$$

$$A_{ca} = A_f - A_{tbi}$$

Donde:

V_{ca} : Volumen de carbón activado (m³)

h_{ca} : Altura del lecho de carbón activado (m)

A_{ca} : Área del lecho de carbón activado (m²)

Para los filtros se usó material reciclado (porta filtros usados) tres unidades de material plástico de 40 cm de largo y 12 cm de diámetro cada uno.

La estructura estaba diseñada en forma de yee (figura 8 y 9), la cual contaba con una bomba sumergible para alimentación de agua residual tratada a la estructura de decoloración, tres llaves de paso de rosca, dos flujómetros y tres filtros con dos salidas en las tapas cada uno. El filtro de código PME1 contaba con una tubería perforada interna de 36 cm de alto, 3,34 cm de diámetro y 3 kg de GAC de malla 12x40 Mesh el otro filtro de código PME2 también contaba con una tubería perforada interna de 36 cm de alto, 3,34 cm de diámetro y 1,5 kg de GAC de malla 12x40 Mesh.

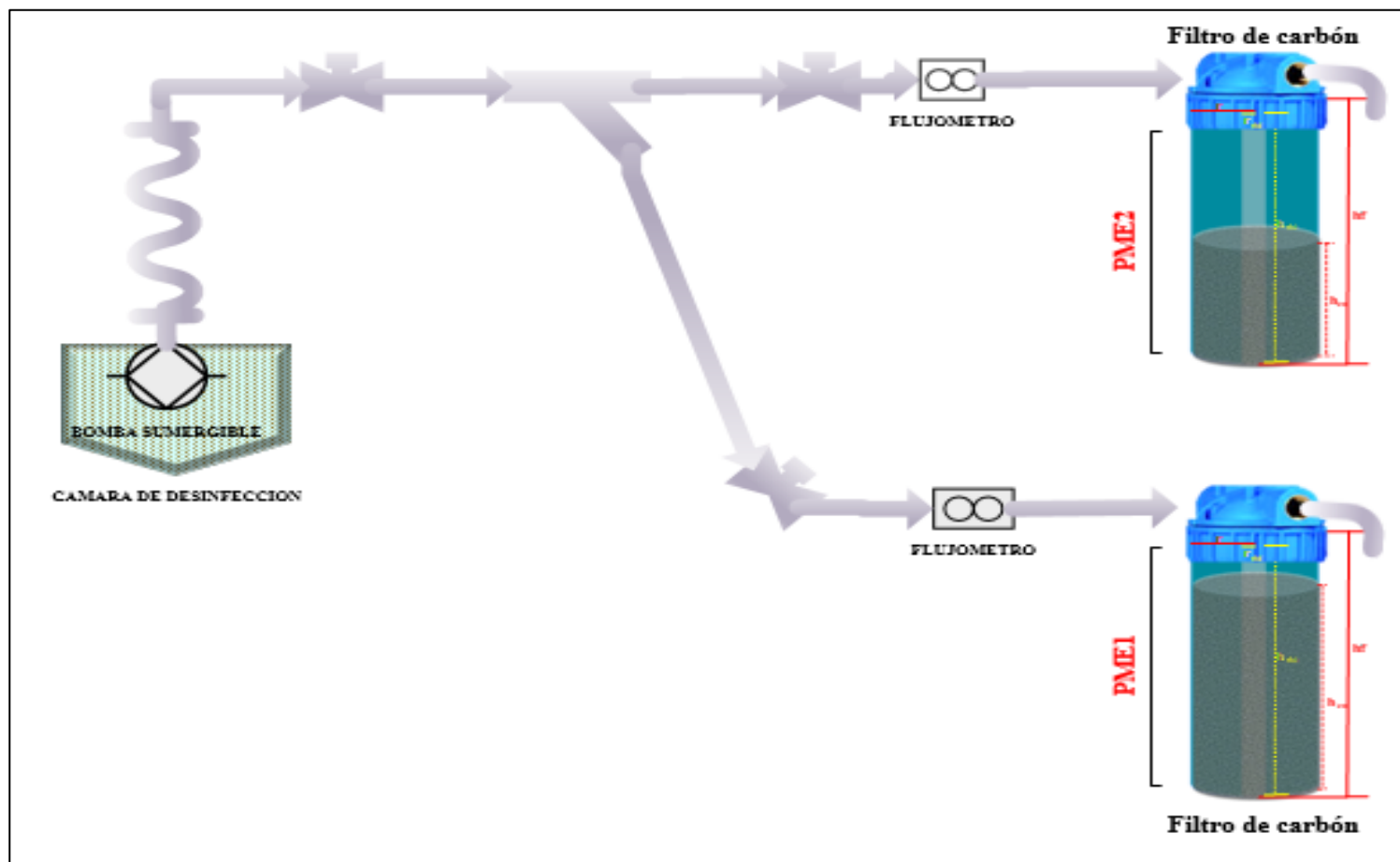


Figura 8: Prototipo de estructura de decloración de aguas residuales domésticas.



Figura 9: Estructura de dechloración de aguas residuales domésticas.

3.3.1.1. Descripción del material de adsorción usado para la dechloración.

En los 4 experimentos se evaluó GAC en dos proporciones diferentes. En la tabla 6 se describe las características del medio de adsorción utilizado en la dechloración de aguas residuales domésticas tratadas.

Tabla 6: Características del medio de adsorción y filtración utilizado.

Características	Carbón activado granular
Origen de la materia prima	Cascara de coco
Tipo de activación	Física
Tamaño efectivo (mm)	0,55-0,75
Tamaño de malla	12x40 Mesh (0,55 – 075 mm)
Adsorción de Iodo	$\geq 900 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$
Densidad aparente	$\geq 440 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$
Ceniza	$\leq 15 \%$
Dureza (Método Ball-pan)	96%

3.3.2. Toma de muestras de agua y análisis.

Para la recolección de muestras se ha seguido con algunos lineamientos establecidos en Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR, las cuales se recogieron en los puntos de monitoreo establecidos PM0, PME1, PME2, PME3 y PME4.

3.3.2.1. Método para determinar la remoción de cloro residual en agua residual tratada.

Para determinar el cloro residual, se ha utilizado el método DPD (N, N Dietil Parafenileno Diamina).

El reactivo DPD genera oxidación del cloro, esta reacción es la que determina el cambio de color; la intensidad del color es proporcional a la concentración de cloro en el equipo colorimétrico.

Para el análisis de muestras de la investigación se ha utilizado un equipo colorímetro digital portátil de marca: HACH, modelo: Pocket II de N° de serie: 16070E305368 en el cual se ha tomado todas las lecturas correspondientes (48 muestras). Este equipo cuenta con informe de calibración (ver anexo 2) para asegurar que las lecturas tomadas hayan sido exactas y confiables. La eficacia del método es: Límite de detección estimado es de $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ y precisión típica (intervalo de confianza 95%) es de $1,00 \pm 0,05 \text{ mg.L}^{-1}$.

3.3.2.2. Procedimiento para toma de muestras de agua residual tratada.

- 1.** Se recolectó las muestras de agua en un balde de 5 litros en los puntos de monitoreo PM0, PME1, PME2, PME3 y PME4.
- 2.** Luego se procedió al encendido del equipo colorimétrico Pocket II pulsando la tecla POWER, se retiró la tapa y se realizó la limpieza de la porta cubeta con papel tisú.
- 3.** Terminada la limpieza se procedió a llenar la cubeta de 10 mL con la muestra de agua, usando una jarra de 1 litro, se colocó la cubeta con la muestra blanco en la porta cubetas, con la marca del diamante mirando hacia el teclado para proceder con la lectura pulsando la tecla ZERO/SCROLL del equipo, el mismo que indicaba en la pantalla cero, momento en el cual se retiró la muestra blanco del equipo.



Figura 10. Cubeta con muestra de agua para el análisis de cloro residual.

4. Luego se llenó la otra cubeta de 10 mL con la muestra de agua, usando la jarra de 1 litro, luego se agregó el reactivo en polvo DPD para muestras de 10 mL, se tapó y agitó durante 20 segundos.



Figura 11. Agregando reactivo DPD a la muestra de agua.



Figura 12. Agitación de muestra con reactivo DPD.

5. Se colocó la cubeta con la muestra preparada en el soporte porta cubetas para taparlo y proceder con la lectura.
6. Una vez obtenido los resultados en la pantalla del equipo se anotó en la libreta de campo. Repitiendo el mismo procedimiento para todas las muestras.

3.4. Diseño experimental

Para la investigación se ha desarrollado una experimentación activa mediante un diseño predeterminado (diseño de experimentos), el cual ha permitido evaluar simultáneamente todas las variables consideradas.

Tabla 7. Matriz de diseño experimental.

Variab les	Niveles	Experim entos	Códigos
Carbón activado (kg)	3,0	Carbón 3 kg + Turbiedad 5,6 UNT	E1
	1,5	Carbón 1,5 kg + Turbiedad 5,6 UNT	E2
Turbiedad (UNT)	5,6	Carbón 3 kg + Turbiedad 2,5 UNT	E3
	2,5	Carbón 1,5 kg + Turbiedad 2,5 UNT	E4

3.4.1. Eficiencia del carbón activado en la deoloración.

Para evaluar la eficiencia del carbón activado en la deoloración de aguas residuales domésticas se hizo mediante el cálculo de porcentaje de remoción que permitió conocer el momento que el adsorbente necesita un retro lavado o regeneración.

3.4.1.1. Determinación del porcentaje de remoción.

Chuchón y Aybar (2008) define la siguiente fórmula para el cálculo del porcentaje de remoción de un contaminante con carbón activado.

$$\% \text{ de remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\%$$

Donde:

C_i: Concentración inicial del contaminante.

C_f: Concentración final del contaminante.

Aplicando esta fórmula calcularemos la eficiencia del carbón activado para esta investigación.

3.4.2. Dosis óptima del carbón activado en la decoloración.

Para calcular la dosis del carbón activado en la decoloración de aguas residuales domésticas se realizó mediante cálculo matemático a partir de los resultados obtenidos para cálculo de la eficiencia del carbón activado.

3.4.3. Interacción de la turbiedad y el carbón activado en la decoloración.

Para evaluar la interacción de la turbiedad y el carbón activado en el proceso de decoloración se usó diseño factoriales (2^k) por ser el método más eficiente cuando se tiene dos o más factores o variables que pueden influir en el proceso.

3.4.3.1. Diseños factoriales 2^k .

Método donde se investigan todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo completo o réplica del experimento (Medina y López, 2011).

$$N = 2^k$$

Donde:

K = número de variables;

N = número total de experimentos.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Eficiencia del carbón activado en la deoloración.

Para evaluar la eficiencia del carbón activado se realizó a través del cálculo de remoción. Los resultados obtenidos en la remoción de los cuatro experimentos (E1, E2, E3 y E4) se muestran en las tablas 8, 9, 10 y 11 y se visualiza en las figuras 14, 15, 16 y 17.

Tabla 8. Remoción de cloro residual del experimento uno (E1).

N ^a Experimento	N ^a Muestra	Variables					Cantidad adsorbida CL ₂ r (mg.L ⁻¹)	Remoción CL ₂ r (%)
		Carbón Activado Granular (kg)	Tiempo (h)	Caudal (m ³)	Turbiedad (UNT)	Ingreso Cl ₂ r (mg.L ⁻¹)		
E1	1	3,0	0	0,08	5,6	2,2	1	55%
	2		2	9,48		2,2	0,58	74%
	3		3	14,22		2,2	0,49	78%
	4		4	18,96		2,2	0,45	80%
	5		5	23,70		2,2	0,41	81%
	6		6	28,44		2,2	0,32	85%
	7		7	33,18		2,2	0,25	89%
	8		8	37,92		2,2	0,43	80%
	9		9	42,66		2,2	0,55	75%
	10		10	47,40		2,2	0,59	73%
	11		11	52,14		2,2	0,63	71%
	12		12	56,88		2,2	0,66	70%

Tabla 9. Remoción de cloro residual del experimento dos (E2).

N ^a Experimento	N ^a Muestra	Variables					Cantidad adsorbida CL ₂ r(mg.L ⁻¹)	Remoción CL ₂ r (%)
		Carbón Activado Granular (kg)	Tiempo (h)	Caudal (m ³)	Turbiedad (UNT)	Ingreso Cl ₂ r (mg.L ⁻¹)		
E2	1	1,5	0	0,08	5,6	2,2	1,09	50%
	2		2	9,48		2,2	0,69	69%
	3		3	14,22		2,2	0,58	74%
	4		4	18,96		2,2	0,4	82%
	5		5	23,70		2,2	0,36	84%
	6		6	28,44		2,2	0,26	88%
	7		7	33,18		2,2	0,18	92%
	8		8	37,92		2,2	0,43	80%
	9		9	42,66		2,2	0,51	77%
	10		10	47,40		2,2	0,56	75%
	11		11	52,14		2,2	0,59	73%
	12		12	56,88		2,2	0,62	72%

Tabla 10. Remoción de cloro residual del experimento tres (E3).

N ^a Experimento	N ^a Muestra	Variables					Cantidad adsorbida CL _{2r} (mg.L ⁻¹)	Remoción CL _{2r} (%)
		Carbón Activado Granular (kg)	Tiempo (h)	Caudal (m ³)	Turbiedad (UNT)	Ingreso Cl _{2r} (mg.L ⁻¹)		
E3	1	3,0	0	0,08	2,54	2,2	0,98	55%
	2		2	9,48		2,2	0,5	77%
	3		3	14,22		2,2	0,45	80%
	4		4	18,96		2,2	0,38	83%
	5		5	23,70		2,2	0,3	86%
	6		6	28,44		2,2	0,23	90%
	7		7	33,18		2,2	0,2	91%
	8		8	37,92		2,2	0,14	94%
	9		9	42,66		2,2	0,09	96%
	10		10	47,40		2,2	0,15	93%
	11		11	52,14		2,2	0,27	88%
	12		12	56,88		2,2	0,36	84%

Tabla 11. Remoción de cloro residual del experimento cuatro (E4).

N ^a Experimento	N ^a Muestra	Variables					Cantidad adsorbida CL ₂ r (mg.L ⁻¹)	Remoción CL ₂ r (%)
		Carbón Activado Granular (kg)	Tiempo (h)	Caudal (m ³)	Turbiedad (UNT)	Ingreso Cl ₂ r(mg.L ⁻¹)		
E4	1	1,5	0	0,08	2,54	2,2	1,5	32%
	2		2	9,48		2,2	0,85	61%
	3		3	14,22		2,2	0,53	76%
	4		4	18,96		2,2	0,48	78%
	5		5	23,70		2,2	0,34	85%
	6		6	28,44		2,2	0,28	87%
	7		7	33,18		2,2	0,15	93%
	8		8	37,92		2,2	0,09	96%
	9		9	42,66		2,2	0,06	97%
	10		10	47,40		2,2	0,18	92%
	11		11	52,14		2,2	0,25	89%
	12		12	56,88		2,2	0,35	84%

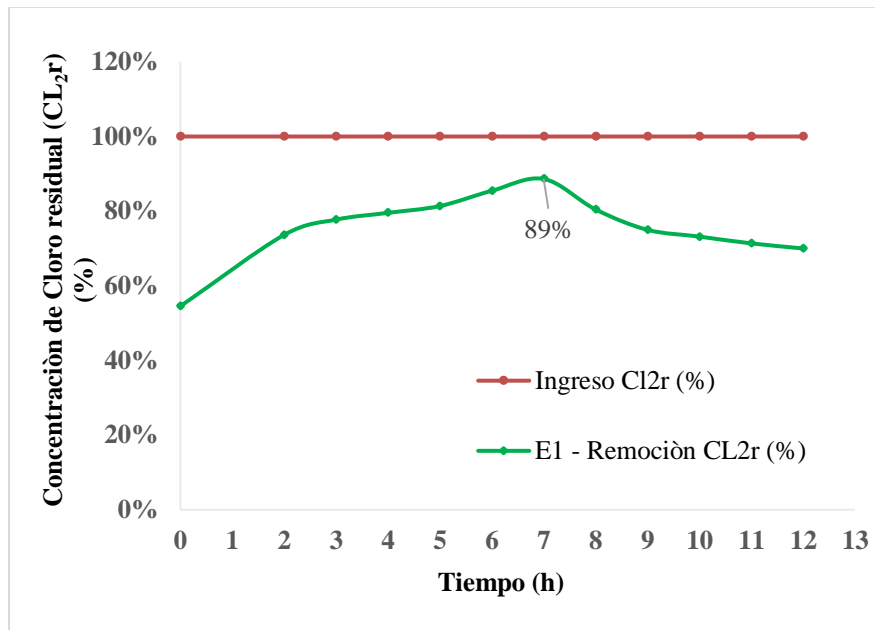


Figura 13. Remoción de cloro residual experimento uno (E1).

En la figura 14 se muestra que el E1 llegó a declorar un 55% en un primer momento, luego la remoción del cloro residual fue de forma gradual llegando a un 89% de 2,2 (mg.L⁻¹) en un tiempo de 7 horas.

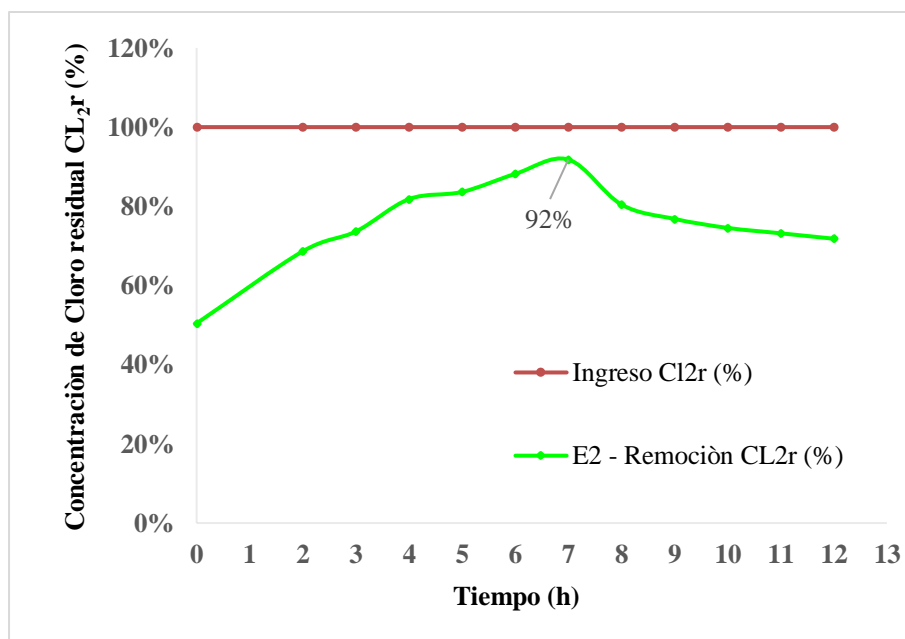


Figura 14. Remoción de cloro residual experimento dos (E2).

En la figura 14 se muestran que el E2 llega a decolorar un 50 % de 2,2 mg.L⁻¹ en un primer momento, luego los porcentajes de remoción son de forma gradual llegando a un 92 % en 7 horas, a partir de este tiempo el GAC empieza a saturarse.

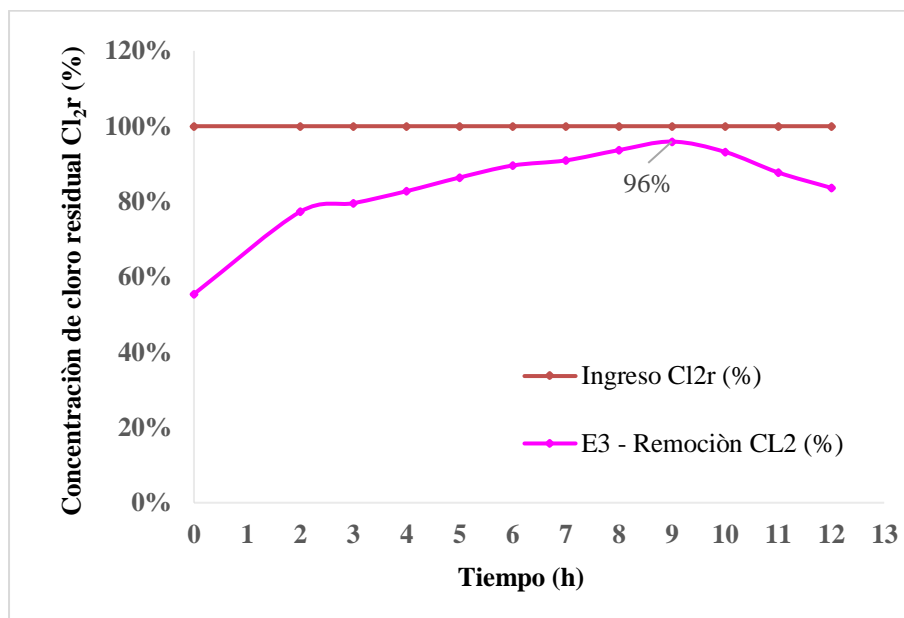


Figura 15. Remoción de cloro residual del experimento tres (E3).

En la figura 15 se muestra que el E3 llega a decolorar un 55 % de 2,2 mg.L⁻¹ en primer momento, luego los porcentajes de remoción son de forma gradual llegando a un 96 % de remoción de eficiencia en 9 horas, a partir de este tiempo el GAC empieza a saturarse.

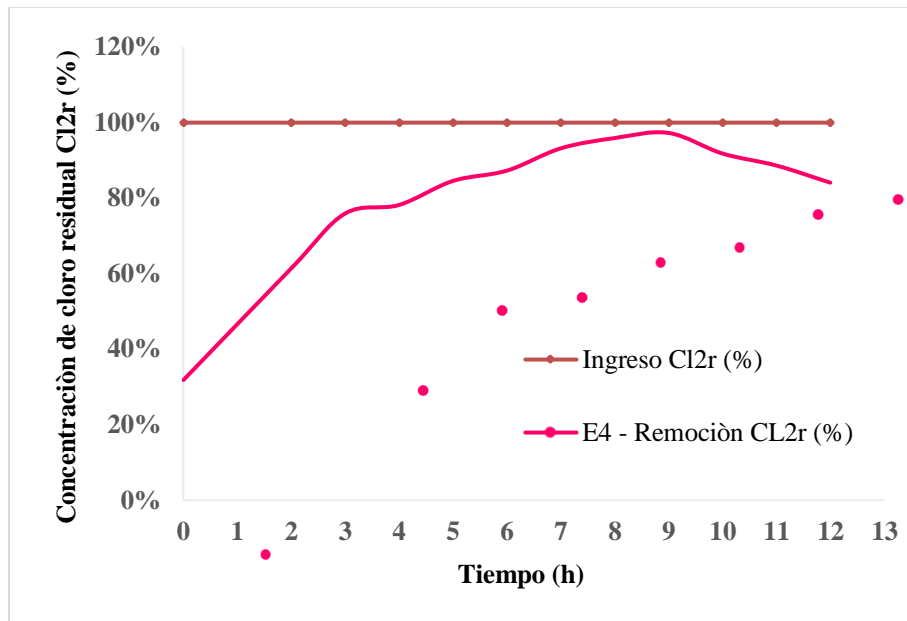


Figura 16. Remoción de cloro residual del experimento cuatro (E4).

En la figura 16 se muestran que el E4 llegó a declorar un 32% de 2,2 mg.L⁻¹ en primer momento, luego la remoción es gradual llegando a remover el 97% del cloro residual en 9 horas. Momento en el cual el GAC llega a su máxima eficiencia, a partir de este tiempo el carbón activado granular se satura.

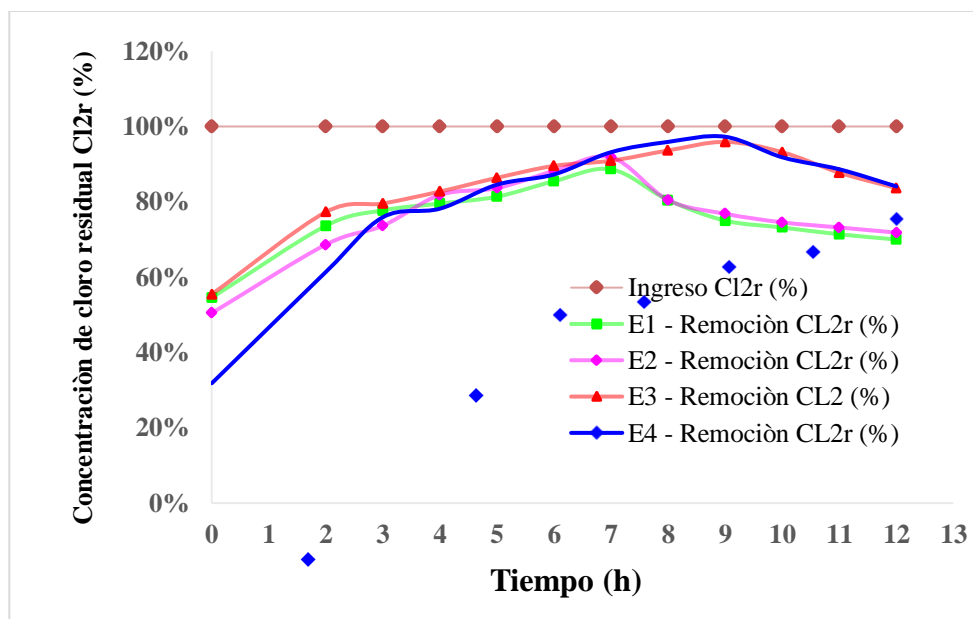


Figura 17. Remoción de cloro residual E1, E2, E3 y E4.

En la figura 17 se muestra los resultados de los cuatro experimentos E1, E2, E3 Y E4, donde se puede apreciar que la remoción del cloro fue de forma gradual y en un determinado tiempo el carbón activado granular llega a su máxima eficiencia. En los experimentos E1 y E2 se muestran que la eficiencia del GAC en 7 horas alcanzaron un 89% y 92%, a diferencia de los experimentos E3 y E4 que la eficiencia del GAC es en 9 horas alcanzando un 96% y 97% de dechloración del efluente de la planta STP37-1.

Según Bravo y Garzón (2017) en su estudio determinaron que la eficiencia del carbón activado fue de 93,60 % de 2,5 mg.L⁻¹ de cloro libre residual con 100 g de carbón activado , estos resultados concuerdan con los resultados obtenidos en los 4 experimentos que dechloraròn 89%, 92%, 96% y 97% de 2,2 mg.L⁻¹ de cloro residual en 7 y 9 horas. De acuerdo a los resultados obtenidos, al aumentar la cantidad de carbón activado, también aumenta la capacidad de retención del cloro residual si la turbiedad es menor o igual 2,5 UNT.

Arana (2016) en su estudio determinó que la alta eficiencia de remoción de turbiedad afectó la capacidad de adsorción de materia orgánica medida por UV254 en el caso de las configuraciones de GAC. Esto se debe a la retención de partículas de turbiedad en el medio lo cual limita la capacidad del filtro para adsorber la materia orgánica, también determina que la utilización de filtros de GAC con agua clarificada de turbiedad mayor a 1 UNT incide de forma directa en la capacidad de adsorción del medio filtrante (carbón activado granular), estos resultados concuerdan con los resultados obtenidos en los experimentos E1 y E2 que tiene mayor turbiedad (5,6 UNT) y su tiempo de vida como dechlorador llego a 7 horas, a

diferencia de los experimentos E3 y E4 que tiene menor turbiedad (2,5 UNT) y su tiempo de vida llego a 9 horas.

Segura (2017) en su estudio determinó que la capacidad de adsorción del carbón activado aplicada a la remoción del cloro libre residual en agua potable es altamente influyente, pues alcanzó porcentajes de remoción del 100% en un máximo de 45 min de exposición y del 80% en los primeros 5 minutos lo que concuerda con mis resultados obtenidos en los experimentos E1 y E2 que tiene mayor turbiedad (5,6 UNT) y su tiempo de vida como declorador llego a 7 horas, a diferencia de los experimentos E3 y E4 que tiene menor turbiedad (2,5 UNT) y su tiempo de vida llego a 9 horas.

Según Caracela (2017) y Bansal et al. (1998) determinan en sus estudios que a mayor área de superficie del adsorbente mayor decloración, lo que confirma con los resultados obtenidos en el experimento E3 que tiene 3 kg de GAC como área del adsorbente y decloró un 96% de 2,2 mg.L⁻¹ de cloro residual; pero difiere con los resultados obtenidos en el experimento E4 que tiene 1,5 kg de GAC como área del adsorbente y decloró un 97% de 2,2 mL/L de cloro residual. El alto porcentaje de remoción obtenido, muestra la excelente capacidad de adsorción del GAC, lo cual hace factible proponer su aplicabilidad potencial en la eliminación de cloro residual en aguas residuales domésticas tratadas.

Carbotecnia S.A. (2019) menciona que al mismo tiempo que el GAC actúa como declorador, adsorbe la materia orgánica presente en el agua. Por lo tanto, a mayor contaminación orgánica, disminuye su tiempo de vida como declorador, y viceversa lo que confirma con los resultados obtenidos en los experimentos E1 y E2 que tiene

mayor turbiedad (5,6 UNT) y su tiempo de vida como decolorador llego a 7 horas, a diferencia de los experimentos E3 y E4 que tiene menor turbiedad (2,5 UNT) y su tiempo de vida llego a 9 horas. De los resultados obtenidos se afirma que la variable turbiedad influye en la eficiencia del carbón activado en la decoloración, ya que a menor turbiedad mayor eficiencia del carbón activado en la decoloración.

4.1.2. Dosis óptima de carbón activado en la decoloración.

Para calcular la dosis óptima del carbón activado en la decoloración de aguas residuales domésticas se realizó considerando los datos del caudal y datos obtenidos en el análisis de las muestras de cloro residual de los experimentos (E1, E2, E3 y E4) como se muestra en la tabla 12 y figura 18.

Tabla 12. Datos para el cálculo de las dosis del GAC en la decoloración de agua.

N ^a Experimento	Carbón Activado Granular (g)	Caudal (m ³)	Dosis (g.L ⁻¹)
E1	3000	33180	0,09
E2	1500	33180	0,05
E3	3000	42660	0,07
E4	1500	42660	0,04

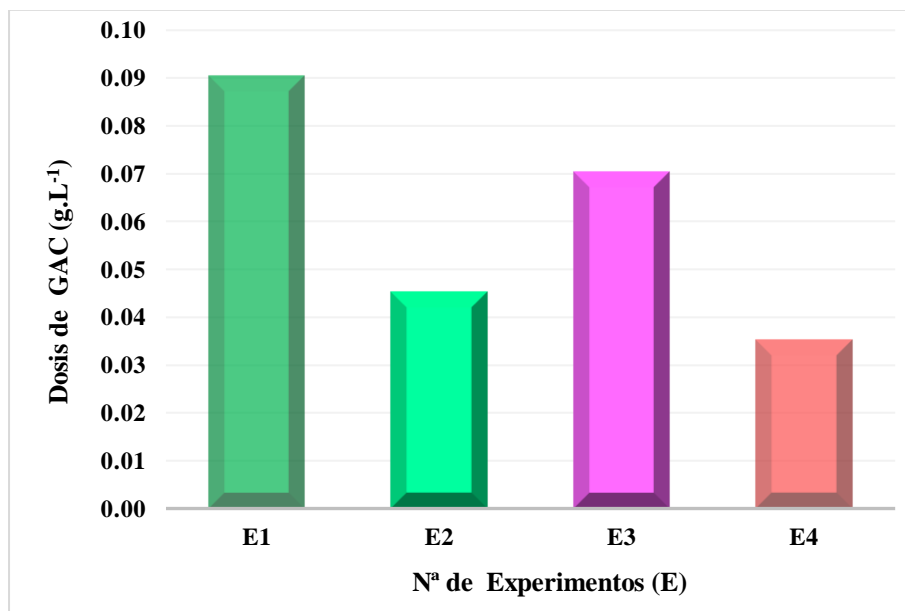


Figura 18. Dosis de GAC para la dechloración.

En la figura 18 se observa las dosis de GAC para cada uno de los experimentos (E1, E2, E3 y E4) en el proceso de dechloración. Donde se observa que el experimento E1 muestra que la dosis es de $0,09 \text{ g.L}^{-1}$ de GAC para dechlorar siendo mayor a las demás dosis de los otros experimentos E2, E3 y E4; también se observa que la dosis menor es $0,04 \text{ g.L}^{-1}$ de GAC del experimento E4, donde se puede concluir que, por cada 1 unidad de turbiedad se debe incrementar el carbón en $0,01 \text{ g.L}^{-1}$.

Segura (2017) determinó en su estudio que con una dosis de 0.5 g.L^{-1} de carbón activado removió el 100% del cloro libre residual en agua potable en un máximo de 45 min de exposición al adsorbente y el 80% en los primeros 5 minutos, lo que concuerda con los resultados obtenidos en los experimentos: $E1 = 0,09 \text{ g.L}^{-1}$, $E2 = 0,05 \text{ L}^{-1}$ en un tiempo de 7 horas, a diferencia de los experimentos $E3 = 0,07 \text{ g.L}^{-1}$ y $E4 = 0,04 \text{ g.L}^{-1}$ en un tiempo de 9 horas lograron remover el cloro residual de las aguas residuales domésticas.

4.1.3. Interacción de la variable turbiedad en la decoloración.

Para determinar la interacción de las variables de turbiedad y carbón activado en la decoloración de agua residuales domésticas se realizó el diseño experimental de dos factores.

Selección de factores: se seleccionó las variables de carbón y turbiedad para la evaluación experimental. Por lo tanto, las otras variables del proceso se mantuvieron constantes durante la experimentación. Tanto el carbón como la turbiedad en el proceso de decoloración son variables cuantificables, cuyos valores se fijaron a dos niveles como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Factores para diseño experimental.

Factor	Nivel (-)	Nivel (+)
Carbón (kg)	1,5	3
Turbiedad (UNT)	2,54	5,6

Una vez determinado los factores fijados a dos niveles, (+ y -), se realizó un diseño factorial completo, en donde $N = 2^k = 2^2 = 4$ experimentos. Los valores de las variables a experimentar se codifican con valores +1 y -1, como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Matriz de diseño con valores codificados para pruebas de decoloración.

N ^a Experimento	Valores Actuales		Valores Codificados	
	A Carbón (kg)	B Turbiedad (UNT)	A	B
E1	3	5,6	+1	+1
E2	1,5	5,6	-1	+1
E3	3	2,54	+1	-1
E4	1,5	2,54	-1	-1

En esta investigación se tomaron medidas para evitar inducir variabilidad diferente a cada muestra. Con los recursos que se dispuso, se decidió efectuar 12 muestras en cada uno de los 4 experimentos, midiendo la capacidad del carbón activado en la decoloración como la variable respuesta, estas repeticiones se efectuaron aleatoriamente; es decir, no repitiendo la misma combinación 12 veces continuadas. Los resultados obtenidos por la experimentación se resumen en la tabla 15.

Tabla 15. Matriz de diseño factorial.

N ^a Experimento	A Carbón		B Turbiedad		Muestras -Cloro Residual (CL _{2r})											Promedios	
	(kg)		(UNT)														
E1	3	(+1)	5,6	(+1)	1	0,58	0,49	0,45	0,41	0,32	0,25	0,43	0,55	0,59	0,63	0,66	0,53
E2	1,5	(-1)	5,6	(+1)	1,09	0,69	0,58	0,40	0,36	0,26	0,18	0,43	0,51	0,56	0,59	0,62	0,52
E3	3	(+1)	2,54	(-1)	0,98	0,5	0,45	0,38	0,3	0,23	0,2	0,14	0,09	0,15	0,27	0,36	0,34
E4	1,5	(-1)	2,54	(-1)	1,5	0,85	0,53	0,48	0,34	0,28	0,15	0,09	0,06	0,18	0,25	0,35	0,42

Los resultados muestran que la mejor combinación de variables corresponde a 3 kg de carbón activado y 2,54 de turbiedad, lo que determina la mejor eficiencia del carbón activado en la decoloración. En base a estos resultados no se puede definir que es la mejor opción. Esto no permite evaluar cuál de las variables tiene mayor efecto y desviación de los resultados, tanto posibles sub optimizaciones, como predecir la respuesta de valores no experimentados con las variables.

En la tabla 16 se muestra la metodología de evaluación para determinar el promedio de los valores altos y el promedio de los valores bajos para cada variable. Luego se calculó los efectos Δ , que representó la diferencia entre los valores altos y bajos

Tabla 16. Determinación del promedio de valores altos y valores bajos de las variables.

Promedio	A	B	
	Carbón (kg)	Turbiedad (UNT)	
(+)	0,43	0,53	Promedio de concentración de cloro residual de los valores altos.
(-)	0,47	0,38	Promedio de concentración de cloro residual de los valores bajos.
	-0,04	0,15	Efecto Δ
Promedio general		0,45	

En los cálculos de la tabla 16 se observa el efecto del factor carbón activado equivalente a -0,4 mg. Esto significa que el aumento del carbón activado de 1,5 kg a 3 kg no influye positivamente en la decoloración, a diferencia del factor turbiedad es de +0,15; esto significa que el aumento de la turbiedad si influye en la decoloración; Comparando los efectos, de las variables carbón activado y turbiedad,

resulta ser aproximadamente 4 veces más importante la variable carbón activado en la decoloración de las aguas residuales domésticas.

A continuación, se elabora las tablas 17 y 18 con los valores promedios obtenidos, como se observa en las figuras 19 y 20 para determinar la interacción que existe entre las dos variables en estudio.

Tabla 17. Valores promedios del carbón.

N^a Experimento	A Carbón (kg)	B Turbiedad (UNT)	Cloro residual (Cl₂r)
E1	3(+1)	5,6	0,53
E3	3(+1)	2,54	0,34
E2	1.5(-1)	5,6	0,52
E4	1.5(-1)	2,54	0,42

Tabla 18. Valores promedios de la turbiedad.

N^a Experimento	A Carbón (kg)	B Turbiedad (UNT)	Cloro residual (Cl₂r)
E1	3	5.60(+1)	0,53
E2	1,5	5,60(+1)	0,52
E3	3	2,54(-)	0,34
E4	1,5	2.54(-1)	0,42

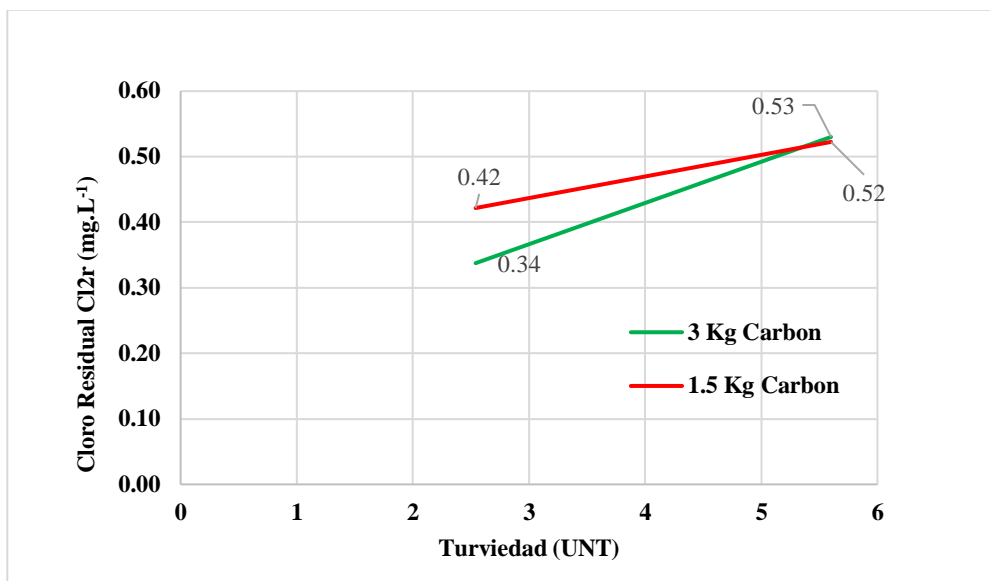


Figura 19. Interacción de la turbiedad en la dechloración.

En la figura 19, se observa que existe interacción y sinergia entre los niveles bajos y altos de carbón los cuales se intersectan. Pero también se observa que a mayor turbiedad (5,6 UNT) menor dechloración con respecto a la cantidad de carbón.

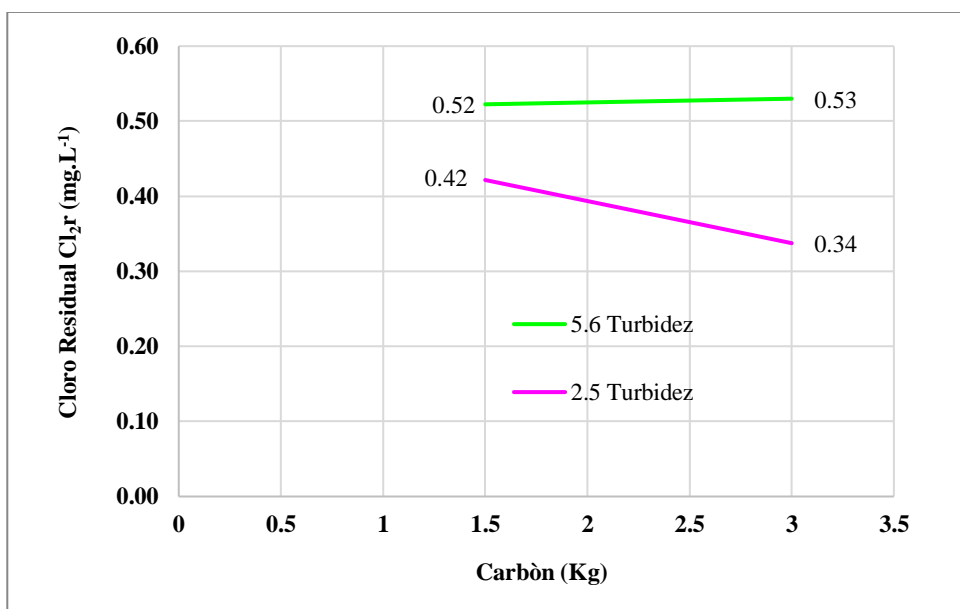


Figura 20. Interacción del carbón en la dechloración

En la figura 20, se observa que existe interacción de la turbiedad en la decloración, además se observa que con una turbiedad mayor a 5, 6 UNT no hay decloración a pesar de aumentar la cantidad de carbón. Por lo tanto, es importante controlar que la turbiedad no sea mayor a 2,5 UNT.

Con el objetivo de cuantificar los efectos de interacción, que se observan en los gráficos de las figuras 19 y 20, se elaboró la tabla 19 con las variables codificadas y la columna de interacciones de carbón activado y turbiedad (AB). Esta columna se obtuvo multiplicando los valores codificados correspondientes a las dos variables.

Tabla 19. Matriz codificada con columna de interacción

N^a	A	B		
Experimento	Carbón (kg)	Turbiedad (UNT)	AB	Promedio
E1	(+1)	(+1)	+1	0,53
E2	(-1)	(+1)	-1	0,52
E3	(+1)	(-1)	-1	0,34
E4	(-1)	(-1)	+1	0,42

En la tabla 20, se muestra los valores obtenidos matemáticamente del efecto de interacción entre las dos variables, utilizando la columna AB y la respuesta obtenida para cada combinación:

Tabla 20. Efecto de combinación de variables

Valores	Interacción AB				
(-)	$\frac{0,52}{2}$	+	$\frac{0,34}{2}$	0,69	Promedio de interacción para valores bajos
(+)	$\frac{0,53}{2}$	+	$\frac{0,42}{2}$	0,74	Promedio de interacción para valores altos
	0,74	-	0,69	0,05	Efecto Δ

En la tabla 20 se muestra el alto valor del efecto Δ para la interacción AB, indica la fuerte interacción que existe entre las 2 variables.

A continuación, en la tabla 21 se calculó los "medios efectos" para cada una de las variables para definir la ecuación de predicción del estudio.

Tabla 21. Cálculo de los medios efectos de las interacciones de las variables.

	A Carbón (kg)	B Turbiedad (UNT)	AB
$\Delta/2$	$\frac{-0,04}{2} = -0,02$	$\frac{0,15}{2} = 0,075$	$\frac{0,05}{2} = -0,025$

En las figuras 21 y 22, se resumieron los datos obtenidos en el estudio.

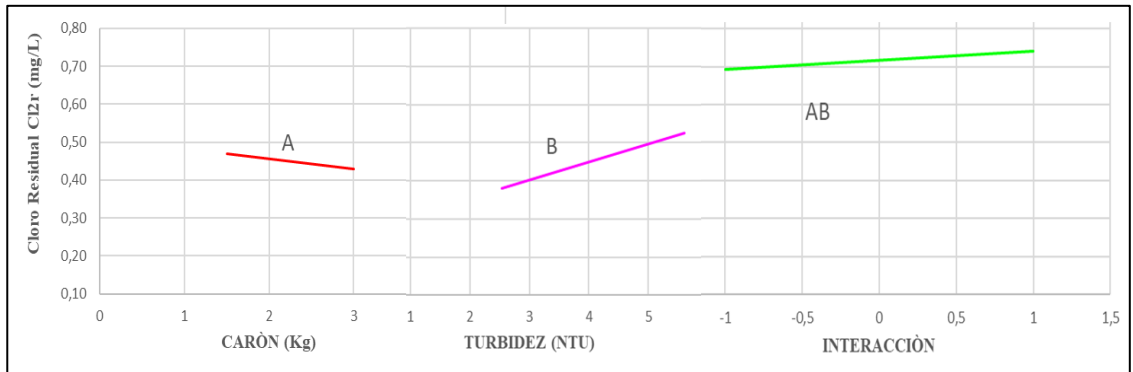


Figura 21. Promedios para cada efecto.

En la figura 21, se observa que las dos variables (carbón y turbiedad) influyen en la decloración, pero la variable turbiedad mayor a 2,5 UNT tiende anular la eficiencia del carbón en la decloración.

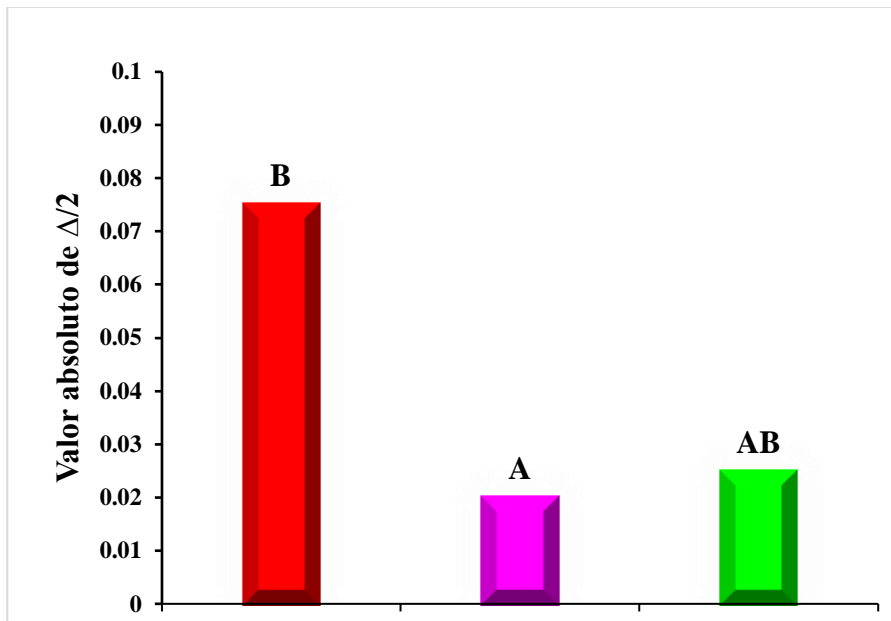


Figura 22. Diagrama PARETO para valores $\Delta/2$ o medios efectos.

En la figura 22 se muestra que la variable turbiedad (B) tiene mayor efecto e influye para el rendimiento del carbón cuando es mayor a 2,5 UNT.

A continuación, se evaluó cuáles de los factores e interacciones son importantes. Para ello se desarrolló el procedimiento de Análisis gráfico.

Análisis gráfico.

Este análisis se basa en la evaluación de los gráficos desarrollados luego del análisis de datos efectuados. Mediante este procedimiento se hizo el análisis y selección de los factores más importantes los cuales se usaron para definir la ecuación de predicción. El diagrama de PARETO muestra los factores que tienen mayor importancia en el proceso de decoloración.

Para ello se utilizó la ecuación general de predicción siendo:

$$\hat{Y} = \bar{y} + \left(\frac{\Delta_A}{2}\right)A + \left(\frac{\Delta_B}{2}\right)B + \left(\frac{\Delta_{AB}}{2}\right)AB + \dots$$

Donde:

\hat{Y} = la respuesta de predicción o Y estimado

\bar{y} = promedio de los valores de respuesta.

$\Delta_A/2$ = medio efecto para el factor A

$\Delta_B/2$ = medio efecto para el factor B

$\Delta_{AB}/2$ = medio efecto para el factor AB

De los resultados se concluye que las variables A (carbón) e interacción AB (carbón + turbiedad) tiene importancia significativa en el proceso de decoloración de aguas residuales domésticas.

El modelo matemático incluyó el factor turbiedad por mostrar incidencia significativa en el proceso, cuando la turbiedad es mayor a 2,5 UNT. Esto en razón que técnicamente se reconoce que la turbiedad influye en la eficiencia del carbón

activado en la decoloración. Con estas consideraciones, el modelo matemático queda definido de la siguiente manera

Verificación del modelo

A continuación, se prueba el modelo con valores ya experimentados. Considerando el carbón = 3 kg y turbiedad = 2,54, entonces el modelo responde a:

La siguiente formula considera A, B y AB de la tabla 19. Matriz codificada con columna de interacción y la formula de la predicción siguiente.

$$\hat{Y} = \bar{y} + \left(\frac{\Delta_A}{2}\right)A + \left(\frac{\Delta_B}{2}\right)B + \left(\frac{\Delta_{AB}}{2}\right)AB$$

Reemplazando la fórmula:

$$Y = 0,45 + (0,38/2) * (1) + (0,15/2) * (-1) + (0,005/2) * (1) * (-1) = 0,36$$

En cambio, si consideramos carbón = 3 kg y turbiedad = 5,6, entonces el modelo responde a:

$$Y = 0,45 + (0,38) * (1) + (0,15/2) * (1) + (0,005/2) * (1) * (1) = 0,06$$

Se observa que la ecuación de predicción responde correctamente a combinaciones de valores experimentados. Esto da seguridad que el modelo pueda ser utilizado para predecir combinaciones no probadas y/o predecir un valor objetivo.

Según Yachas (2019) menciona que el carbón activado redujo de 2,80 mg.L⁻¹ a 2,47 mg.L⁻¹ (60 minutos) y 1,93 mg.L⁻¹ (90 minutos) casi el 80% de turbiedad en agua de consumo lo que confirma con mis resultados que la turbiedad si tiene interacción en la eficiencia del carbón activado en el proceso de decoloración de aguas residuales domésticas.

Arana (2016) en su estudio determinó que la alta eficiencia de remoción de turbiedad afectó la capacidad de adsorción de materia orgánica medida por UV₂₅₄ en el caso de las configuraciones de GAC. Esto se debe a la retención de partículas de turbiedad en el medio lo cual limita la capacidad del filtro para adsorber la materia orgánica, también determina que la utilización de filtros de GAC con agua clarificada de turbiedad mayor a 1 UNT incide de forma directa en la capacidad de adsorción del medio filtrante (carbón activado granular), lo que confirma con los resultados obtenidos que la turbiedad si tiene interacción en el proceso de dechloración.

Bravo y Garzón (2017) en su estudio definieron que el carbón activado removió el 52,65% de 69 UNT de turbiedad del agua en estudio lo que confirma con el estudio que la variable turbiedad si tiene interacción en la eficiencia del carbón activado en el proceso de dechloración de aguas residuales domésticas.

Moral Torralbo (2016) indica que el carbón activado de coco tiene muy alta capacidad para retener contaminantes, pero es necesario tomar en cuenta que la cantidad global del agua (turbiedad y/o presencia de contaminantes) también afecta la capacidad del carbón activado para remover un contaminante específico, lo que confirma con mis resultados de que la turbiedad si tiene interacción en el proceso de dechloración.

4.2. Prueba de hipótesis

Para la prueba de hipótesis se utilizó t Student y se procesó los datos en el software IBM SPSS Statistics 23 y se analizó en tres escenarios:

1. Muestra relacionadas.

- Esto significa que las pruebas se midieron en dos momentos antes y después.

2. Dos muestras con varianzas homogéneas.

- Para dos grupos de muestras con varianzas homogéneas o varianzas similares.

3. Dos muestras con varianzas heterogenias.

- Para dos grupos de muestras con varianzas heterogenias o varianzas distintas.

Se utilizó los siguientes criterios para aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0).

Valor $P \leq$ nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Valor $P >$ nivel de significancia, se acepta la hipótesis nula (H_0).

Para la investigación las muestras relacionadas son: cloro residual inicial (antes de ingresar al tratamiento con carbón activado) y cloro residual final (después del tratamiento según el diseño experimental propuesto).

Siendo:

H_0 : el carbón activado permite una decloración menor al 70% del efluente.

H_1 : el carbón activado permite una decloración mayor al 70% del efluente.

Definir el porcentaje de error (α)=0,5 o 5%

Tabla 22. Resultados de los experimentos.

Cloro Residual (Cl ₂ r)	Experimento 1 (C 3 –T 5,6)	Experimento 2 (C 1,5 –T 5,6)	Experimento 3 (C 3 –T 2,5)	Experimento 4 (C 1,5 - T 2,5)
2,2	1	1,09	0,98	1,5
2,2	0,58	0,69	0,5	0,85
2,2	0,49	0,58	0,45	0,53
2,2	0,45	0,40	0,38	0,48
2,2	0,41	0,36	0,30	0,34
2,2	0,32	0,26	0,23	0,28
2,2	0,25	0,18	0,2	0,15
2,2	0,43	0,43	0,14	0,09
2,2	0,55	0,51	0,09	0,06
2,2	0,59	0,56	0,15	0,18
2,2	0,63	0,59	0,27	0,25

C = Carbón activado granular (kg)

T = turbiedad (UNT)

Tabla 23. Estadística de muestras emparejadas.

Combinaciones de análisis	Media	N ^a Muestras	Desviación Estándar	Media de Error Estándar
Par 1 Cl ₂ r inicial	2,2	12	0,000	0,000
E1: C 3 –T 5,6	0,53	12	0,193	0,056
Par 2 Cl ₂ r inicial	2,2	12	0,000	0,000
E2: C 1,5-T 5,6	0,523	12	0,235	0,068
Par 3 Cl ₂ r inicial	2,2	12	0,000	0,000
E3: C 3-T 2,5	0,338	12	0,239	0,069
Par 4 Cl ₂ r inicial	2,2	12	0,000	0,000
E4: C 1,5-T 2,5	0,422	12	0,404	0,117

E = Experimento.

C = Carbón activado granular (kg)

T = Turbiedad (UNT)

Tabla 24. Relaciones de muestras emparejadas.

Combinaciones de análisis		N ^a Muestras	Correlación	Significancia.
Par 1	Cl ₂ r inicial	12	No	-
	E1: C 3 –T 5,6			
Par 2	Cl ₂ r inicial	12	No	-
	E2: C 1,5-T 5,6			
Par 3	Cl ₂ r inicial	12	No	-
	E3: C 3-T 2,5			
Par 4	Cl ₂ r inicial	12	No	-
	E4: C 1,5-T 2,5			

Tabla 25. Prueba de muestras emparejadas.

Combinaciones de análisis	Diferencias emparejadas					T	Grado Libertad	Significancia (Bilateral)	
	Media	Desviación Estándar	Media Error Estándar	95% Confianza de la Diferencia					
				Inferior	Superior				
Par 1	Cl ₂ r inicial E1: C 3 –T 5,6	1,670	0,193	0,056	1,547	1,793	29,994	11	0
Par 2	Cl ₂ r inicial E2: C 1,5-T 5,6	1,678	0,235	0,068	1,528	1,827	24,774	11	0
Par 3	Cl ₂ r inicial E3: C 3-T 2,5	1,863	0,239	0,069	1,711	2,014	27,045	11	0
Par 4	Cl ₂ r inicial E4: C 1,5-T 2,5	1,778	0,404	0,117	1,522	2,035	15,247	11	0

Se observa en el análisis de muestras emparejadas con T Student, valor $P < \alpha$ (0,5), entonces se rechaza la H_0 y se acepta H_1 : el carbón activado permite una deoloración mayor al 70% del efluente.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES

La eficiencia del carbón activado en la decoloración de aguas residuales domésticas de la planta STP37-1 minera Yanacocha SRL fue del 97 % de 2,2 mg.L⁻¹ de cloro residual en 9 horas.

La dosis óptima del carbón activado en decoloración de las aguas residuales domésticas de la planta STP37-1 minera Yanacocha SRL fue de 0,04 g.L⁻¹.

La interacción de la variable turbiedad en la decoloración de aguas residuales domésticas de la planta STP 37-1 de minera Yanacocha SRL se determinó que si existe interacción.

El carbón activado permitió una decoloración mayor al 70% del efluente llegando a decolorar un 97 % de 2,2 mg.L⁻¹ de cloro residual de las aguas residuales domésticas de la planta STP 37-1 de Minera Yanacocha SRL.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gómez, A., Rincón, S. y Klose, W. (2010). Carbón activado de cuesco de palma. Estudio de termo gravimetría y estructura. Kassel University Press GmbH, Kassel. Recuperado de <https://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-820-0.volltext.frei.pdf>
- Arana, J. (2016) *Evaluación de la aplicación de carbón activado granular en la filtración del agua clarificada del río Cauca* (tesis para optar el grado de Ingeniero Sanitario Ambiental). Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Aragón, R., Ramírez, J., Coronel, C., Lucho, C., y Vázquez, G. (2013). Uso de Carbón Activado Granular (GAC) en un biofiltro para el tratamiento de efluentes acuícolas, *Simposio Iberoamericano multidisciplinario de ciencias e ingeniería*.
- Autoridad Nacional del Agua y Ministerio de Agricultura y Riego (s.f.). *Informe de país Perú aguas residuales en el Perú, problemática y uso en la agricultura*. Recuperado de <https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/356/module/content/128/Peru%20INFORME%20DE%20PAIS.pdf>.
- Bansal R, C., Donnet, J. B. y Stoeckli, F. (1998). *Active Carbon. New York: Marcel Dekker*.
- Bravo, M. y Garzón, M. (2017). *Eficiencia del carbón activado procedente del residuo agroindustrial de coco (Cocus nucifera) para remoción de contaminantes en agua* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Ecuador.

Caracela P. (2017). *Efecto del carbón activado de lenteja de agua (lemna sp.) En la remoción de cloro residual del agua en la industria de bebidas* (tesis de pregrado) Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Carbotecnia S. A. (2019). Eliminar cloro con carbón activado granular (Decloración). Recuperado de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/carbon-activado/carbon-activado-decloracion-eliminar-cloro-del-agua/>.

Carbotecnia S. A. (2020). Carbón activado. Recuperado de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/carbon-activado/que-es-el-carbon-activado/>

Chuchón, S y Aybar, C. (2008, 4 de julio). Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales La Totorá, Ayacucho, Perú. *Scielo Perú*. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a20v7n1-2.pdf>

Dantas, M. (2011). *Subproductos de Cloración Inorgánicos y Orgánicos en las Aguas de Castilla y León. Estado actual y perspectivas ante la Revisión de la Directiva Europea* (tesis doctoral). Universidad de Salamanca, Salamanca, España.

Environmental Protection Agency (1994). *National primary drinking water regulations; Disinfectants and disinfection by-products*. Federal Register Doc. 59:145:38667.

Environmental Protection Agency (1999b) Disinfection profiling and benchmarking guidance manual. US Environmental Protection Agency. Doc. EPA 815-R-99-013.

- Environmental Protection Agency (2016). Glosario ambiental bilingüe. Recuperado de <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-d>. (Consulta: 30 de octubre del 2020).
- Esquerdo, R., Ocasio, N., y Diez, M.(s.f.). El Uso del Cloro en la Desinfección del Agua. Recuperado de http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/uso_cloro.pdf
- Fombuena, M. y Valentín, A. (2010). Manual del carbón activado. *Aguapedia: Universidad de Sevilla. [en línea]. España.*
- Gómez, O. y Ordoñez, E. (2014). *Determinación de trihalometanos (THM's) en aguas tratadas de la Ciudad de Pereira mediante cromatografía de gases por microcaptura de electrones* (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Mendoza, M. y Vera, S. (2010). *Formación de trihalometanos y la manera más factible de su eliminación en el sistema de agua potable: Ing. Luis Alberto Gómez Ortiz “El Ceibal” (EPAM). En el sitio “El Pueblito” del Cantón Rocafuerte en el período: enero 2010 hasta julio 2010.* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica De Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador
- Moral Torralbo, S.L.U. (2016). TecnoAqua- Filtración. (En línea). ES. Consultado, 04 setiembre. 2020. Formato HTTP. Disponible en <http://moraltorralbo.com>
- Novoa, E. (2008) *Diseño de un filtro de carbón activado para la remoción del cloro libre residual del agua potable para uso de la industria farmacéutica* (tesis para optar el grado de Ingeniero Químico). Universidad San Francisco de Quito, Quito.

- Olmedo, M (2008). *Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro*. Efectos sobre la salud Hig. Sanid. Ambient. 8: 335-342
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. Recuperado de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827.
- Perdomo, A. M. (septiembre de 2011). Obtención de Carbono Activado Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos4/carbono/carbono.shtml>
- Pereira, E., Laryssa, R., Borges, M., Sánchez, R. y Andrés, I. (2013). *Evaluación del desempeño de filtración en múltiples etapas usando carbón activado granular y mantas sintéticas no tejidas Interciencia*, vol. 38, núm. 10, pp. 726-732 Asociación Interciencia -Caracas, Venezuela.
- Ramírez, F. (2005). Desinfección del agua con cloro y cloraminas. *Técnica Industrial*. Recuperado de <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/sumario.aspx>.
- R Chemical (2011, octubre). Control de Calidad de Agua – Determinación de Cloro Residual con DPD [Web log post]. Recuperado de <http://www.r-chemical.com/control-de-calidad-de-agua-determinacion-de-cloro-residual-con-dpd/>
- Reinoso, F. (2005). “Carbón activado: estructura, preparación y aplicaciones”. *Revista Uniandes*, 66-69. Universidad de Alicante –España.
- Medina, P. y López, A. (2011, abril). Análisis crítico del diseño factorial 2k sobre casos aplicados. *Scientia et Technica*. Recuperado de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/523/245>.

- Rodríguez, J., Rodríguez, G., Serodes, J., y Sadiq, R. (2007). Subproductos de la desinfección del agua potable: formación, aspectos sanitarios y reglamentación. *Interciencia*, 32(11), 749-756.
- Rodríguez, F. (2003). Procesos de potabilización del agua influencia del tratamiento de ozonización. Ediciones Díaz de Santos, 56.
- Rosales, J., Hernández, I. y Hammann, M. (1990) *Efecto de la cloración del agua de mar en la supervivencia y crecimiento de larvas del gruñon (leuresthes tenuis ayres), en condiciones de laboratorio*. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México y Centro de Investigaciones Pesqueras del Ministerio de la Industria Pesquera, Cuba.
- Segura H. (2017). *Influencia del carbón activado obtenido de huarango (acacia macracantha) en la remoción de cloro libre residual en agua potable, Celendín* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Sevillano, A. y Torres, P. (2013). *Obtención de carbón activado a partir de madera* (tesis Doctoral). Universidad Nacional de Cuyo San Rafael, Argentina.
- Vidal R. (2018 19 de septiembre). Valorización de residuos agrícolas en biocarbón activo para su uso en tratamiento de agua. Recuperado de <http://h2orizon.es/wp-content/uploads/2018/10/03-Rebeca-Vidal.pdf>
- Villanueva, M., Manolis, K. y Grimaltb, O. (2001). Cloración del agua potable y efectos sobre la salud: revisión de estudios epidemiológicos. *Medicina clínica*, 117(1), 27-35 pp.

Yachas, E. (2019). *Grado de eficacia del carbón activado de la cáscara de coco, en la absorción del hierro y plomo del agua de consumos de los estudiantes de la I.E. San Andrés de Paragsha - Simón Bolívar 2018* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro De Pasco – Perú.

APÉNDICE



Figura 23. Materiales para estructura de decoloración.



Figura 24. Filtro con carbón activado (Adsorbente).



Figura 25. Armado de filtros con carbón activado.



Figura 26. Conexión de filtros con bomba sumergible.



Figura 27. Verificación de funcionamiento de flujómetros.



Figura 28. Sistema de tratamiento de decoloración para aguas residuales domésticas.



Figura 29. Estructura de dechloración.



Figura 30. Muestra de agua tomada del efluente.



Figura 31. Equipo listo para lectura de muestra.

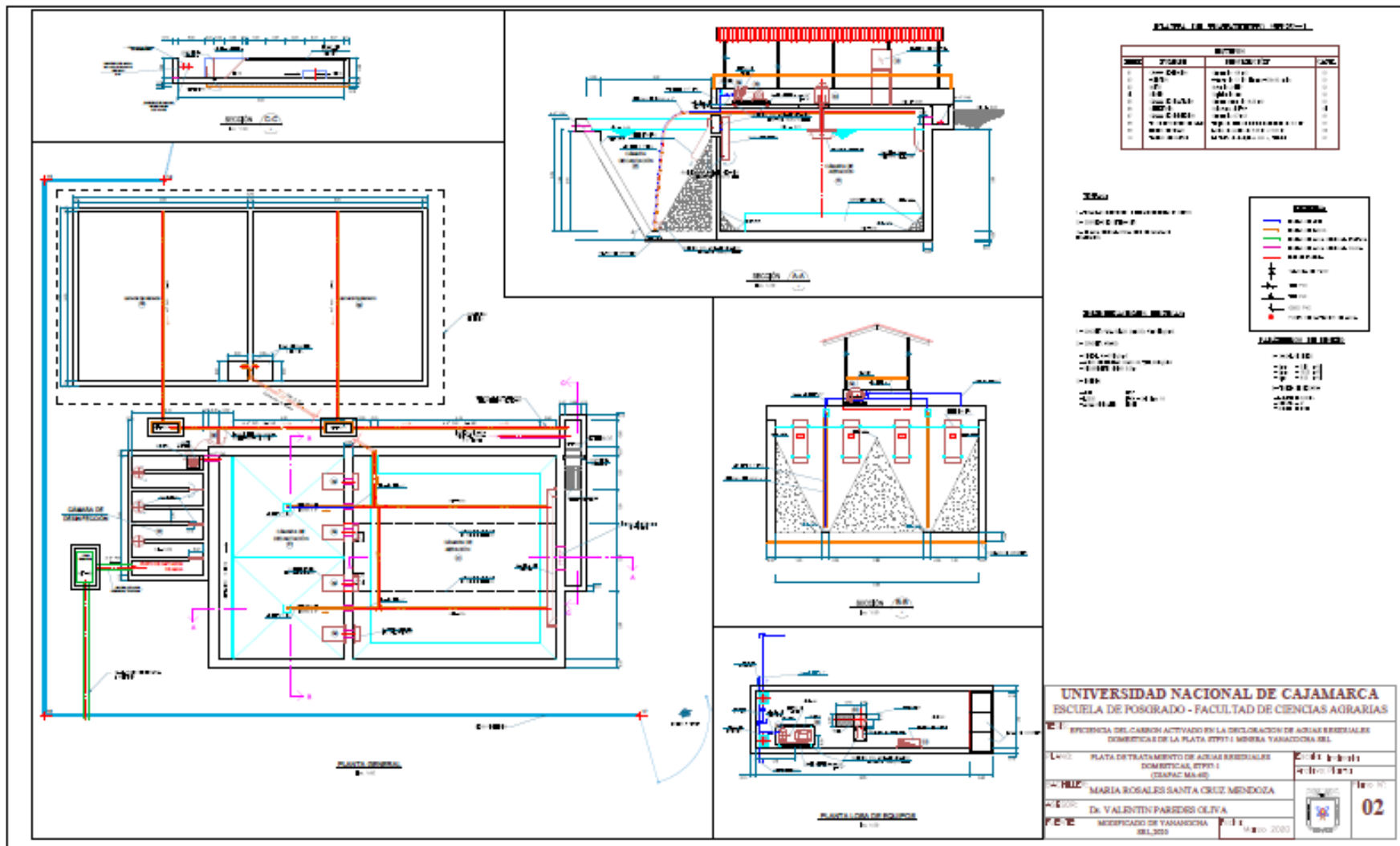


Figura 32. Lectura de la muestra N° 12 del experimento E1.

ANEXOS

ANEXO 1

**PLANO DE UBICACIÓN DE ZONA DE ESTUDIO – PLANO DE PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS STP37-1 – MINERA
YANACUCHA SRL**



ANEXO 2

INFORME DE VERIFICACIÓN DE EQUIPO MEDIDOR DE CLORO
(COLORÍMETRO).



INFORME DE VERIFICACION

N° - 121519 - 15

1.- SOLICITANTE: GESTION DE SERVICIOS AMBIENTALES S.A.C.

- Dirección: Av. Héroes del Cenepa N° 993, Barrio Nuevo – Cajamarca.

2.- EQUIPO DE MEDICIÓN: MEDIDOR DE CLORO

- Marca: HACH
- Modelo: Pocket II
- N° de serie: 16070E305368
- Código de Identificación: No Indica
- Procedencia: USA
- Alcance de lectura: LR: 0.02 a 2.00 mg/L Cl₂ y HR: 0.1 a 8.0 mg/L Cl₂

3.- FECHA Y LUGAR DE LA VERIFICACION:

- Verificado el 2018-12-15 en las instalaciones del cliente.

4.- MÉTODO DE VERIFICACION:

- La Verificación se realizó tomando como referencia el Instructivo de Mantenimiento, Instalación, Calibración y/o Verificación de Equipos HACH descrito en el PSI-IN-005, elaborado en base a las indicaciones del manual del equipo.

5.- TRAZABILIDAD:

- Se utilizó el kit de estándares secundario DPD-CHLORINE-LR para la calibración de instrumentos HACH colorímetros, el cual cuenta con los siguientes valores de estándar: 0.25 mg/L Cl₂ (lote: A6357), 0.89 mg/L Cl₂ (lote: A6357) y 1.56 mg/L Cl₂ (lote: A6357) y el blanco (lote: A6349). Todos ellos pertenecientes al Lote A7D12 y con certificado HACH.
- También se utilizó el kit de estándares secundario DPD-CHLORINE-HR, el cual cuenta con los siguientes valores de estándar: 2.2 mg/L Cl₂ (lote: A6244), 3.7 mg/L Cl₂ (lote: A6244) y 6.9 mg/L Cl₂ (lote: A6244) y el blanco (lote: A6267). Todos ellos pertenecientes al Lote A6294 y con certificado de análisis HACH.

Código: PSI-FO-014
Versión: 002

Aprobado por: CC
UL Rev. 2016-06-01

ESPECIALISTAS EN PROGRAMAS QUÍMICOS Y EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES

Oficina Administrativa:
Av. General Garzón 2210
Jesus Maria, Lima - Perú
Tel. (511) 512 2500 Fax. (511) 261 2858
www.aqaquimica.com

Oficina Comercial:
Parque Manuel González Prada 703
Magdalena del Mar, Lima - Perú
Tel. (511) 204 5700 Fax. (511) 204 5724 Central Nextel. 837*1386
ventas@hachpaquimica.com



6.- RESULTADOS:

SPEC- CHECK- DPD ALTO RANGO	BLANCO	ESTÁNDAR PATRÓN 1 2.2 ± 0.2 (mg/L Cl ₂)	ESTÁNDAR PATRÓN 2 3.7 ± 0.3 (mg/L Cl ₂)	ESTÁNDAR PATRÓN 3 6.9 ± 0.8 (mg/L Cl ₂)
Resultado de la Medición del equipo (mg/L Cl ₂)	0.0	2.2	3.8	7.1

SPEC- CHECK- DPD BAJO RANGO	BLANCO	ESTÁNDAR PATRÓN 1 0.25 ± 0.09 (mg/L Cl ₂)	ESTÁNDAR PATRÓN 2 0.89 ± 0.10 (mg/L Cl ₂)	ESTÁNDAR PATRÓN 3 1.58 ± 0.14 (mg/L Cl ₂)
Resultado de la Medición del equipo (mg/L Cl ₂)	0.00	0.25	0.89	1.58

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- Los resultados de la verificación se encuentran dentro de la tolerancia de los estándares por lo que se considera que el equipo es CONFIABLE.
- Utilizar silicona y un paño suave para limpiar los viales de vidrio cada vez que se realice alguna medición y/o verificación, pues esto evitara ralladuras en los viales y se obtendrán mediciones fiables y precisas.
- Se recomienda realizar la verificación cada año o según sea la frecuencia de uso.
- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la Indicación de: "Operativo" y la fecha del próximo servicio será el 15 de diciembre del 2019.

Atentamente.

Ing. Fernando J. Tapia Wong
Ingeniero de Servicio Técnico
CIP 198076

José Lozada Ruiz
Asistente Técnico

Código: PSI-FO-014
Versión: 002

Aprobado por: CC
Ul. Rev. 2018-08-01

ESPECIALISTAS EN PROGRAMAS QUÍMICOS Y EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES

Oficina Administrativa:
Av. General Garzón 2210
Jesús María, Lima - Perú
Tel. (511) 51 2 2500 Fax. (511) 261 2858
www.aqaquímica.com

Oficina Comercial:
Parque Manuel González Prada 705
Magdalena del Mar, Lima - Perú
Tel. (511) 204 5700 Fax. (511) 204 5724 Central Nextel. 837*1386
ventashach@aqaquímica.com