

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS:

**Remoción de la turbidez del agua de consumo humano del
centro poblado de Intay usando filtros de diatomita activada
térmicamente - Luricocha - Huanta - 2025**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

Bach. Karnol Crhistian RUIZ BARBOZA

ASESORA:

Mtra. Ingrid LANDEO GARAY

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

A mis padres Juan Carlos Ruiz Tinco y Noemi Luyeba Barboza Merino por su apoyo incondicional y motivación en mi vida universitaria, a mi hermano Alexander Ruiz Barboza por motivarme y apoyarme, a mi compañera de vida Angela Santiago por su amor y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme las fuerzas, conocimientos y la disciplina para seguir adelante en este camino.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, expreso mi más sincero agradecimiento por brindarme la oportunidad de realizar esta tesis y por proporcionarme los recursos y el apoyo necesario para llevar a cabo esta investigación. Agradezco a los profesores y personal administrativo de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia especialmente de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, por su guía, orientación y apoyo durante todo este proceso.

Al centro experimental de cerámica (CEC) por permitirme desarrollar mi tesis en sus ambientes, específicamente a la Ing. Mawome Pumallihua Ramos por su predisposición y apoyo en la activación térmica de la diatomita en los hornos del CEC.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi asesora la Mtra. Ingrid Landeo Garay por su invaluable guía, orientación y apoyo durante la realización del trabajo de investigación. Su experiencia, conocimientos y dedicación han sido fundamentales durante todo el proceso de elaboración de la tesis, gracias por creer en mí y por su compromiso con mi formación académica.

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo remover la turbidez mediante filtros de diatomita activada térmicamente, utilizando muestras de agua del centro poblado de Intay, distrito de Luricocha, provincia de Huanta, departamento de Ayacucho. Se empleó diatomita del yacimiento de Moya, distrito de Quinua, caracterizada por una alta concentración de SiO_2 (85,5 %), lo que la convierte en un material idóneo para procesos de filtración.

Se realizaron pruebas con diferentes granulometrías, alturas de lecho y temperaturas de activación, con el fin de identificar las condiciones óptimas de operación. Los resultados demostraron que la máxima eficiencia de remoción (99,72 %) se alcanzó con diatomita activada a 800 °C, empleando un lecho de 10 cm y granulometría entre 0,50 y 0,63 mm. Se evidenció que la activación térmica es indispensable, ya que la diatomita en crudo presenta aglomeración y taponamiento, mientras que al ser activada térmicamente adquiere resistencia mecánica y estabilidad estructural.

Asimismo, se determinó que la altura del lecho no incrementa linealmente la eficiencia, sino que existe un rango óptimo entre 10 y 20 cm, mientras que a 30 cm se observaron pérdidas de rendimiento por fenómenos de compactación y canalización. En cuanto a la temperatura, valores inferiores a 800 °C no logran la sinterización requerida, y superiores a 900–1000 °C provocan cristalización del SiO_2 , pérdida de porosidad y disminución de la capacidad de filtración.

Finalmente, aunque la eficiencia de remoción superó el 90 % en todos los casos, solo algunos tratamientos lograron reducir la turbidez por debajo de las 5 NTU establecidas por el D.S. 031-2010 del MINSA. Estos hallazgos evidencian el potencial de la diatomita activada como medio filtrante y la necesidad de optimizar parámetros de granulometría, altura de lecho y temperatura de activación para cumplir con estándares de calidad de agua.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate turbidity removal using thermally activated diatomite filters, with water samples collected from the populated center of Intay, district of Luricocha, province of Huanta, department of Ayacucho. Diatomite from the Moya deposit, district of Quinua, characterized by a high SiO₂ concentration (85.5%), was used as an ideal material for filtration processes.

Tests were conducted with different particle sizes, bed heights, and activation temperatures to identify optimal operating conditions. The maximum removal efficiency (99.72%) was achieved with diatomite activated at 800 °C, using a 10 cm bed and particle size between 0.50 mm and 0.63 mm. Thermal activation proved essential, since raw diatomite tends to agglomerate and clog, whereas calcined diatomite acquires mechanical strength and structural stability.

It was also determined that bed height does not increase efficiency linearly; instead, an optimal range was found between 10 and 20 cm. At 30 cm, performance losses occurred due to compaction and channeling phenomena. Regarding temperature, values below 800 °C did not achieve the required sintering, while values above 900–1000 °C caused SiO₂ crystallization, loss of porosity, and reduced filtration capacity.

Although removal efficiency exceeded 90% in all cases, only some treatments reduced turbidity below 5 NTU, the maximum limit established by Supreme Decree 031-2010 of MINSA for drinking water. These findings highlight the potential of thermally activated diatomite as a filtering medium, while emphasizing the need to optimize particle size, bed height, and activation temperature to meet national water quality standards.

ÍNDICE

I.	CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO.....	1
1.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1.1.	Internacional	1
1.1.2.	Nacional	2
1.1.3.	Local.....	3
1.2.	EL AGUA.....	5
1.2.1.	Fuentes de agua	6
1.2.2.	Agua para el consumo humano.....	7
1.2.3.	Tratamiento de agua para consumo humano	7
1.3.	TURBIDEZ	11
1.4.	DIATOMITA.....	12
1.5.	TIPOS DE DIATOMITA	13
1.5.1.	Diatomita lacustre	14
1.5.2.	Diatomita marina.....	14
1.6.	ORIGEN Y YACIMIENTOS DE DIATOMITA	14
1.7.	TIPOS DE ACTIVACIÓN DE LA DIATOMITA	15
1.8.	USOS DE LA DIATOMITA	18
1.9.	GRANULOMETRÍA	19
1.10.	TAMICES	19
1.11.	TEMPERATURA.....	20
1.12.	CALCINACIÓN	20
1.13.	FUNDENTE.....	20
1.14.	SINTERIZACIÓN	20
1.15.	FILTRACIÓN.....	21
1.16.	MARCO LEGAL	22
1.16.1.	Agua para el consumo humano.....	22
1.16.2.	Límites máximos permisibles	23
II.	CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
2.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	24
2.1.1.	Ubicación del punto de recolección de agua	24
2.1.2.	Ubicación del yacimiento de diatomita	26
2.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	26
2.3.	DISEÑO METODOLÓGICO	26
2.3.1.	Tipo de investigación	26
2.3.2.	Nivel de investigación	26
2.4.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	27
2.5.	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	28

2.5.1.	Recolección de la muestra de agua	28
2.5.2.	Recolección de diatomita	28
2.5.3.	Medición de turbidez.....	29
2.5.4.	Construcción del filtro prototipo	30
2.5.5.	Pretratamiento de la diatomita.....	32
2.5.6.	Pruebas para selección de la granulometría óptima.....	35
2.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	39
2.7.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	39
III.	CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSION	40
3.1.	FASE PRELIMINAR	40
3.2.	SELECCIÓN DE LA GRANULOMETRÍA ÓPTIMA.....	41
3.2.1.	Prueba con diatomita cruda.....	41
3.2.2.	Prueba con diatomita activada térmicamente	45
3.2.3.	Prueba con fundente	51
3.3.	ACTIVACIÓN TÉRMICA DE LA DIATOMITA.....	51
3.3.1.	Activación térmica a 800 °C	52
3.3.2.	Activación térmica a 900 °C	54
3.3.3.	Activación térmica a 700 °C	56
3.3.4.	Comparación de la diatomita tras la activación térmica	58
3.4.	EVALUACION DE LOS FILTROS.....	59
3.4.1.	Prueba de filtrado con diatomita activada a 700 °C.....	59
3.4.2.	Prueba de filtrado con diatomita activada a 800 °C.....	61
3.4.3.	Prueba de filtrado con diatomita activada a 900 °C.....	63
3.5.	RESUMEN DE LOS RESULTADOS.....	67
3.5.1.	Muestra RLUR_M01_A.....	67
3.5.2.	Muestra RLUR_M01_B.....	69
3.5.3.	Muestra RLUR_M01_C	71
3.6.	RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DE LOS FILTROS.....	73
IV.	CONCLUSIONES	75
V.	RECOMENDACIONES.....	76
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
VII.	ANEXOS	81
7.1.	APÉNDICE.....	81
7.2.	PANEL FOTOGRAFICO.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	El agua	5
Figura 2	Planta de tratamiento de agua potable	7
Figura 3	Diagrama de flujo del tratamiento de agua potable	10
Figura 4	Turbidímetro digital	11
Figura 5	Diatomita a nivel microscópico	12
Figura 6	Yacimiento de diatomita	13
Figura 7	Diagrama de flujo de la activación térmica y química de la diatomita	17
Figura 8	La diatomita en tierras de cultivo como insecticida natural	18
Figura 9	Tamiz metálico	19
Figura 10	Ubicación y ruta al STPACH del C.P. de Intay	25
Figura 11	Línea de aducción de STPACH del C.P. de Intay	25
Figura 12	Ubicación geográfica del yacimiento de Moya	26
Figura 13	Diagrama de bloques del proceso de desarrollo de la investigación	27
Figura 14	Visita al STPACH del C.P. de Intay y recolección de muestra	28
Figura 15	Recolección de diatomita en el yacimiento de Moya	29
Figura 16	Turbidez de la muestra inicial	29
Figura 17	Corte y lijado de los tubos	30
Figura 18	Funcionamiento del filtro	31
Figura 19	Acondicionamiento de una pequeña placa metálica con orificios	31
Figura 20	Esquema del filtro prototipo	32
Figura 21	Molienda de diatomita en molino de rodillos y molino de martillos	33
Figura 22	Tamizado de diatomita en el CEC	34
Figura 23	Llenado del lecho de diatomita en los tubos	34
Figura 24	Filtro tras la primera prueba	35
Figura 25	Fragmentación y aglomeración de la diatomita cruda	36
Figura 26	Temperatura (°C) vs Tiempo de activación (min)	37
Figura 27	Activación térmica de diatomita en el horno del CEC	38
Figura 28	Temperatura de la diatomita activada a 800 °C	38
Figura 29	Evolución del tiempo de filtración en Filtro 1 (1,6–2,0 mm)	43
Figura 30	Evolución del tiempo de filtración en Filtro 2 (2,0–2,5 mm)	43
Figura 31	Evolución del tiempo de filtración en Filtro 3 (2,5–3,15 mm)	44
Figura 32	Primera filtración con agua turbia	46
Figura 33	Filtración con tamaños de partícula entre 1,0 mm y 2,0 mm	48
Figura 34	Efluente del filtro F2 (0,8 mm – 0,63 mm)	49
Figura 35	Efluentes de la última prueba de filtración	50
Figura 36	Perfil térmico de activación a 800 °C en función del tiempo (min)	53
Figura 37	Registro de la temperatura de 800 °C según la termocupla	53

Figura 38	Perfil térmico de activación a 900 °C en función del tiempo (min)	55
Figura 39	Registro de la temperatura de 900 °C según la termocupla.....	55
Figura 40	Perfil térmico de activación a 700 °C en función del Tiempo (min).....	57
Figura 41	Registro de la temperatura de 900 °C según la termocupla.....	57
Figura 42	Diatomita tras el proceso de activación térmica	58
Figura 43	Preparación de los filtros para la evaluación	65
Figura 44	Recolección de muestras filtradas de agua RLUR_M01_A.....	66
Figura 45	Muestras filtradas de agua RLUR_M01_A.....	66
Figura 46	Filtración de la muestra A en función de la altura y temperatura	68
Figura 47	Remoción de la turbidez en función de la temperatura y altura del lecho filtrante tras la filtración con la muestra A.....	68
Figura 48	Filtración de la muestra B en función de la altura y temperatura	70
Figura 49	Remoción de la turbidez en función de la temperatura y altura del lecho filtrante tras la filtración con la muestra B.....	70
Figura 50	Filtración de la muestra C en función de la altura y temperatura	72
Figura 51	Remoción de la turbidez en función de la temperatura y altura del lecho filtrante tras la filtración con la muestra C	72
Figura 52	Porcentaje de remoción de la turbidez en función de la temperatura de activación y altura de lecho filtrante.....	73
Figura 53	Lectura de parámetros insitu, antes de las lluvias.....	84
Figura 54	Recolección de diatomita en el yacimiento de Moya.....	84
Figura 55	Recolección de muestras de agua turbia en temporada de lluvia.....	85
Figura 56	Reducción de tamaño de la diatomita	85
Figura 57	Tamizado de diatomita en el CEC.....	86
Figura 58	Pesando diatomita cruda	86
Figura 59	Comparación en color de la diatomita cruda vs activada térmicamente	87
Figura 60	Pruebas de retro lavado	87
Figura 61	Retro lavado de la diatomita activada térmicamente	88
Figura 62	Lecturas en el laboratorio de instrumental	88
Figura 63	Lecturas en SEDA Cabrapata	89
Figura 64	Lecturas en SEDA Huanta	89
Figura 65	Pesado de diatomita y fundente	90
Figura 66	Diatomita y fundente combinados listos para activar térmicamente	90
Figura 67	Lecturas de temperaturas del tablero de control y la termocupla.....	91
Figura 68	Comparación de textura y color entre 700 °C y 900 °C.....	92
Figura 69	Perdidas de diatomita pegadas en la base del recipiente	92
Figura 70	Envasado de las diatomitas activadas térmicamente	93
Figura 71	Compilación de todas las granulometrías activadas térmicamente	93
Figura 72	Preparación de los lechos de diatomita en los filtros.....	94

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Temperatura en la activación térmica de la diatomita	37
Tabla 2	Formato de recolección de datos de lecturas de turbidez de muestras de agua	39
Tabla 3	Formato de recolección de lecturas de turbidez tras la filtración	39
Tabla 4	Turbidez inicial de la muestra de agua.....	40
Tabla 5	Tamaños de partícula de diatomita entre 0,5 mm y 1,0 mm	41
Tabla 6	Tamaños de partícula de diatomita entre 1,6 mm y 3,15 mm	42
Tabla 7	Filtros con lecho de diatomita activada térmicamente y agua limpia	45
Tabla 8	Filtros con lecho de diatomita activada térmicamente y solución sintética	46
Tabla 9	Tamaños de partícula de diatomita entre 1,0 mm y 2,0 mm	47
Tabla 10	Tamaños de partícula de diatomita entre 0,5 mm y 1,0 mm	48
Tabla 11	Turbidez de muestras de agua tratadas por filtración	50
Tabla 12	Comparación usando fundente de Na ₂ CO ₃ y sin fundente en la filtración	51
Tabla 13	Temperatura en la activación térmica de la diatomita a 800 °C	52
Tabla 14	Temperatura en la activación térmica de la diatomita a 900 °C	54
Tabla 15	Temperatura en la activación térmica de la diatomita a 700 °C	56
Tabla 16	Cuadro comparativo de la activación térmica a 3 temperaturas de la diatomita.....	58
Tabla 17	Turbidez del filtrado de la muestra A evaluada con diatomita activada a 700 °C	59
Tabla 18	Turbidez del filtrado de la muestra B evaluada con diatomita activada a 700 °C	60
Tabla 19	Turbidez del filtrado de la muestra C evaluada con diatomita activada a 700 °C	60
Tabla 20	Turbidez del filtrado de la muestra A con diatomita activada a 800 °C.....	61
Tabla 21	Turbidez del filtrado de la muestra B evaluada con diatomita activada a 800 °C	62
Tabla 22	Turbidez del filtrado de la muestra C evaluada con diatomita activada a 800 °C	62
Tabla 23	Turbidez del filtrado de la muestra A evaluada con diatomita activada a 900 °C	63
Tabla 24	Turbidez del filtrado de la muestra B evaluada con diatomita activada a 900 °C	64
Tabla 25	Turbidez del filtrado de la muestra C evaluada con diatomita activada a 900 °C	64
Tabla 26	Filtración de la muestra A	67
Tabla 27	Filtración la muestra B	69
Tabla 28	Filtración de la muestra C	71

GLOSARIO

- **NTU:** Unidades Nefelométricas de Turbidez, para medir la Turbidez del agua.
- **TDS:** Sólidos Totales Disueltos, cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos en un volumen de agua.
- **LMP:** Límites Máximos Permisibles
- **UTM:** Universal Transverse Mercator, es un sistema de coordenadas geográficas.
- **STPACH:** Sistema con Tratamiento Primario para Agua de Consumo Humano
- **C.P.:** Centro Poblado
- **RLUR:** Rio Luricocha
- **ANA:** Autoridad Nacional del Agua
- **SEDA HUANTA:** Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Ayacucho, sede en la provincia de Huanta.
- **SEDA CABRAPATA:** Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Ayacucho, sede en la provincia de Huamanga.
- **MINSA:** Ministerio de Salud.
- **F1:** Filtro 1
- **F2:** Filtro 2
- **F3:** Filtro 3

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de agua de calidad en la región de Ayacucho se evidencia cada vez con mayor intensidad, y el centro poblado de Intay, distrito de Luricocha, provincia de Huanta, no es ajeno a esta problemática. El agua destinada al consumo humano en esta localidad presenta elevados niveles de turbidez, superiores a 300 NTU durante la época de lluvias, según el análisis realizado el 25 de noviembre de 2024. Dichos valores superan ampliamente los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por el Ministerio de Salud (MINSA). Esta condición se explica por el hecho de que la principal fuente de abastecimiento es el río Luricocha, cuyo caudal incrementado en temporada de lluvias arrastra sólidos en suspensión y eleva la turbidez del agua.

El centro poblado de Intay no dispone de un sistema de tratamiento de agua potable conforme a los estándares establecidos por la normativa nacional e internacional. Actualmente, solo cuenta con procesos primarios de carácter básico, consistentes en una captación equipada con rejillas de baja capacidad, un desarenador que presenta colapso recurrente durante eventos de precipitación, una caseta destinada a la cloración y un reservorio para el almacenamiento del agua. Estas infraestructuras resultan insuficientes para garantizar la calidad del recurso hídrico, ya que no aseguran la eliminación de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos, lo cual representa un riesgo para la salud pública y evidencia la necesidad de implementar un sistema integral de potabilización acorde con los lineamientos técnicos vigentes.

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo general determinar el porcentaje de remoción de turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay mediante filtros de diatomita activada térmicamente. Los objetivos específicos fueron:

- (A) Identificar la granulometría adecuada para una filtración óptima.
- (B) Determinar la temperatura óptima de activación de la diatomita.
- (C) Establecer la altura óptima del lecho filtrante.

Para el desarrollo experimental se empleó diatomita proveniente del yacimiento de Moya, distrito de Quinoa, caracterizado por su alta concentración de SiO_2 . El material fue sometido a tratamientos térmicos en los hornos del Centro Experimental de Cerámica a tres temperaturas: 700 °C, 800 °C y 900 °C. Los ensayos se realizaron con

alturas de lecho de 10 cm, 20 cm y 30 cm, utilizando partículas de diatomita con granulometría entre 0,50 y 0,63 mm.

Finalmente, se plantearon los problemas, hipótesis y justificación que sustentan el presente trabajo de investigación, los cuales se desarrollan en las siguientes secciones.

Problema principal

¿Cuánto será el porcentaje de remoción de la turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay usando filtros de diatomita activada térmicamente?

Problemas secundarios

- ¿Cuál será la granulometría de la diatomita para lograr un óptimo filtrado y buenos resultados con respecto a la turbidez del agua a tratar?
- ¿Cuál será la temperatura de activación adecuada de la diatomita que se utilizará para remover la turbidez del agua a tratar?
- ¿Cuál será la altura del lecho de filtrado óptimo para lograr buenos resultados con respecto a la turbidez del agua a tratar?

Hipótesis principal

El filtro de diatomita activada térmicamente remueve más de un 85% de la turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay.

Hipótesis secundarias

- A una menor granulometría de la diatomita existe mayor remoción de la turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay.
- A una mayor temperatura de activación de la diatomita, mayor es la remoción de la turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay.
- Existe mayor remoción de la turbidez en el agua de consumo humano a mayor altura del lecho filtrante.

Justificación técnica

La región de Ayacucho posee una significativa oferta potencial de diatomitas. De acuerdo con el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2010), esta región concentra 19 de las 43 canteras registradas a nivel nacional, lo que representa aproximadamente el 44 % del total. Las diatomitas extraídas en estas canteras presentan un elevado contenido de óxido de silicio (SiO_2), indicador clave de su pureza y calidad. Esta disponibilidad y calidad del recurso facilita su aprovechamiento como materia prima en la elaboración de filtros para el tratamiento de agua

Justificación social

En la región de Ayacucho, diversos sectores presentan problemas asociados a la turbidez del agua. Según la *Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006)*, una elevada turbidez dificulta los procesos de desinfección, ya que las partículas suspendidas pueden proteger a los microorganismos patógenos de la acción de los desinfectantes. Esta condición favorece la proliferación bacteriana y, en consecuencia, incrementa el riesgo de enfermedades de transmisión hídrica, como infecciones y enfermedades gastrointestinales. Tal es el caso del centro poblado de Intay que enfrenta recurrentemente este problema, especialmente durante la temporada de lluvias. Ante esta situación, es necesario implementar estrategias que permitan reducir los niveles de turbidez del agua destinada al consumo humano. En este contexto, la elaboración de un filtro adecuado se plantea como una alternativa viable para mitigar dicha problemática.

Justificación económica

La diatomita activada constituye una alternativa económica superior en comparación con otros medios filtrantes debido a su bajo costo de materia prima, simplicidad de procesamiento, eficiencia en remoción de turbidez y reducción de costos operativos de transporte del material. Su implementación es especialmente pertinente para zonas rurales de Ayacucho como el centro poblado de Intay, donde la variación estacional de la turbidez hace necesaria una tecnología efectiva, accesible y sostenible.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. Internacional

Acarapi Tolino (2013) en su investigación realizada en La Paz Bolivia titulada “Estudio y aplicación de los recursos diatomáceos de las localidades Charaña y Bella Vista, departamentos de La Paz y Potosí.” menciona que las diatomitas que mejores resultados expresaron en función de la turbidez fueron las activadas a más de 800°C ya que a mayor temperatura a la que se le somete ocurre una mejor sinterización de las frústulas de las diatomeas, que al perder un poco de agua dentro de su composición se reducen en tamaño pero se unen unas a otras, por tanto el tamaño de "una" partícula individual aumenta, al final de lo cual se obtiene un material más grueso (granulométricamente) pero con estructuras más resistentes (a escalas microscópicas), y el flujo de agua, posee aun suficiente espacio para fluir dentro las partículas de diatomita. En la investigación el autor concluye que la turbidez y variables organolépticas no mejoraron, intuye que fue por la baja calidad de las diatomitas que pudo recolectar y por las posibles contaminaciones tanto en la muestra de agua residual que uso para estudio y la contaminación a la hora de activar térmicamente la diatomita.

Diaz Restrepo & Niño Lozada (2018) realizaron una investigación titulada “Evaluación del comportamiento de materiales alternativos para lechos filtrantes en procesos de potabilización de agua” en la Facultad de Ingeniera de la Universidad Católica de Colombia. Realizaron 5 tipos de arreglos de lechos filtrantes con diferentes alturas de antracita, tierra diatomea, carbón y arena, sin embargo, utilizaron diatomita cruda y muy fina, es decir, pasante malla 200 (menor a 0,074 mm de tamaño de

partícula), lo que les generó problemas de aglutinamiento y por lo tanto casi nula tasa de filtración. Concluyen que los arreglos en la que usan mayor espesor de diatomita (mayores a 3 cm de espesor) son los más lentos ya que tienden a formar películas casi impermeables, mientras que los arreglos donde el espesor de la antracita es mayor, resulto con tasas de filtración mayores.

Díaz Moreno (2023) en su investigación titulada “Determinación del Potencial de Adsorción de las Diatomitas en Estado Natural para Remoción de Manganeso (Mn) Soluble en Agua” desarrollada en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, busca reducir la concentración de Manganeso en agua. Por lo que su investigación propone el análisis del comportamiento y la capacidad de adsorción de la diatomita frente a efluentes contaminados de Mn. Puesto que, la diatomita es óptima para la remoción de iones metálicos disueltos. Los ensayos usados para la obtención de datos fueron los de Espectrofotometría de absorción atómica, Ensayo de Espectroscopia de Raman, Microscopia Electrónica de Barrido y Análisis de Fluorescencia para 6 muestras de efluentes de concentraciones distintas, para después analizarlos mediante pruebas de correlación estadística, donde se demostró que el porcentaje de adsorción aumenta proporcionalmente respecto al grado de concentración de Mn soluble y su capacidad de regulación y recuperación del Mn, asimismo menciona que la diatomita es una alternativa eficiente y de bajo costo con alta relevancia para el tratamiento de aguas residuales.

1.1.2. Nacional

Caballero & Zuni (2017) en su investigación titulada “Elaboración de filtros de diatomita activada con adición de quitosano para la descontaminación de las aguas del Rio Chili a nivel de laboratorio” desarrollado en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, mencionan que el agua filtrada fue proveniente del rio Chili a la altura del puente Uchumayo, y los resultados obtenidos de la filtración mostraron que el filtro óptimo escogido redujo la turbidez, plomo, zinc, cromo. Mencionan que las variables más significativas sobre la turbidez son el tamaño de partícula del filtro (pasante de malla N° 200) y la activación combinada de térmica y química de la diatomita. Además, subrayan que las variables más significativas que afectan el contenido final de Cromo y Arsénico en el filtrado es el tamaño de partícula de la filtración y la activación de la diatomita, obteniendo mejores resultados al menor tamaño de partícula (pasante malla N°100) para el filtrado y la activación térmica. Finalizan y sugieren la activación térmica

de la diatomita a una temperatura mayor para la obtención de un filtro óptimo y de buena calidad.

Mansilla Rios & Pazce Rivera (2019) en su tesis titulada “Filtro basado en césped seco y diatomita para la reducción de contaminantes en las aguas del río Rímac para riego, El Agustino, 2019” realizan una investigación para mejorar el agua de riego en el distrito del Agustino – Lima usando agua del río Rímac. Para tal motivo utilizan bidones de 110 L como lecho filtrante, piedra y arena que superan los 50 kg y 8 kg de diatomita activada a 800 °C. Aunque en su investigación no evalúan la turbidez, los parámetros microbiológicos analizados: Coliformes Termo tolerantes: se redujeron de 3 500 000 a 39,9 NMP/100 ml, *Escherichia coli*: se redujo de 540 000 a 6,5 NMP/100 ml. En los parámetros fisicoquímicos: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5): Se redujo de 235 mg/L a < 2,6 mg/L. Demanda Química de Oxígeno (DQO): Se redujo de 830,9 mg/L a 26,5 mg/L. Parámetros Inorgánicos: Se reportaron reducciones importantes en metales como Aluminio, Cobre, Hierro, Manganeso y Plomo, llevando sus concentraciones a niveles dentro de la norma.

Rojas Tamata (2016) En su investigación titulada “Remoción de arsénico (V) y cromo (VI) presente en lechos acuáticos mediante el uso de tierra de diatomeas recubierta con sales de hierro, Arequipa 2016” busca disminuir la alta concentración de arsénico y cromo en el agua de suelo volcánico de la Región Arequipa. Por ello, propuso un tratamiento de remoción de cromo y arsénico del agua, mediante la tierra de diatomea con recubrimiento de sal de hierro (FeCl_3) que ayuda en la adsorción de los metales pesados, demostrando que sigue el modelo de Isoterma de Langmuir. Por lo que, hicieron uso de temperaturas variables y la óptima para el arsénico fue a 30 °C donde removieron 173 mg/g de diatomea y para el cromo fue a 20 °C donde removieron 125 mg/g de diatomea con un tiempo de exposición de 270 minutos. Concluyeron que el tiempo de remoción para arsénico es de 0,65 min y para cromo es de 46 min, evidenciando que el tratamiento de agua empleando tierra diatomea es viable para la remoción de metales pesados.

1.1.3. Local

Buitrón Pizarro (2013) en su investigación titulada “Obtención de diatomita activada para emplear como ayuda filtrante en el tratamiento de agua potable” menciona que usó diatomita del yacimiento de Quicapata, ubicado en el distrito de Carmen Alto de la provincia de Huamanga, la cual fue activada óptimamente a 967 °C

llegando hasta un 97,5% de pureza de SiO_2 luego de la calcinación con un 5 % en peso de fundente de carbonato de sodio, diseñó un lecho filtrante de 2,35 m de altura con un diámetro de 4 pulgadas y un caudal de 1,38 L/min, donde usó 40 cm de grava que funcionara como soporte del filtro, 30 cm de arena y 45 cm de altura de diatomita . De los experimentos de filtración el autor hace una comparativa de la eficiencia del filtro experimental de diatomita contra los filtros de antracita que se utilizan en SEDA Ayacucho, concluyendo que mejora hasta en un 50% la capacidad de remoción de turbidez. Además, los parámetros de color, aluminio, manganeso, hierro y los análisis microbiológicos fueron adecuados en comparación con los filtros de antracita de la PTAP Ayacucho.

Loayza Aguilar (2019) en su investigación titulada “Diseño, construcción y evaluación de un prototipo de tratamiento de agua para su potabilización a nivel planta piloto” desarrollada en la Universidad nacional de San Cristóbal de Huamanga. diseñó y construyó una planta piloto en acrílico para tratar agua superficial de alta turbidez, típica de comunidades rurales de Ayacucho. Utilizó agua simulada, ajustada con lodo a turbideces entre 60 y 100 NTU, con parámetros fisicoquímicos específicos (pH 6,5–8,5, alcalinidad 28 ppm, dureza 58 mg/L). El prototipo constó de módulos de mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración, operando a 4,8 L/min. Se aplicaron todos los procesos convencionales: coagulación (con dosis óptima de sulfato de aluminio), floculación, sedimentación y filtración rápida.

Mediante mediciones técnicas, el sistema logró reducir la turbidez del agua a 1,09 NTU, alcanzando un rendimiento del 98,91%. Los valores obtenidos cumplieron la normativa peruana de agua potable, demostrando la efectividad del diseño planteado. Los resultados también fueron validados usando datos reales de la planta de tratamiento de Quicapata.

El trabajo sugiere que la planta piloto puede servir como solución replicable para zonas rurales, aportando agua segura y facilitando prácticas educativas universitarias mediante la visualización de los procesos operativos.

Trejo Espinoza, (2020) en su investigación titulada “Evaluación de la remoción de arsénico del agua con adsorbentes naturales no metálicos en un reactor de lecho fijo a escala semipiloto Ayacucho 2019” buscó analizar la efectividad de la remoción de arsénico del agua utilizando adsorbentes naturales no metálicos en un reactor de lecho fijo a escala semipiloto. La muestra de agua elaborada a partir de arsenito de sodio,

1000 mL y 1 ppm de arsénico, As^{+3} . Para la medición del arsénico empleó la técnica espectrofotométrica a una longitud de onda de 880 nm, utilizando una curva de calibración, con la ecuación obtenida igual a $y = 0,6065x + 0,0666$; grado de correlación, R^2 igual a 0,9973.

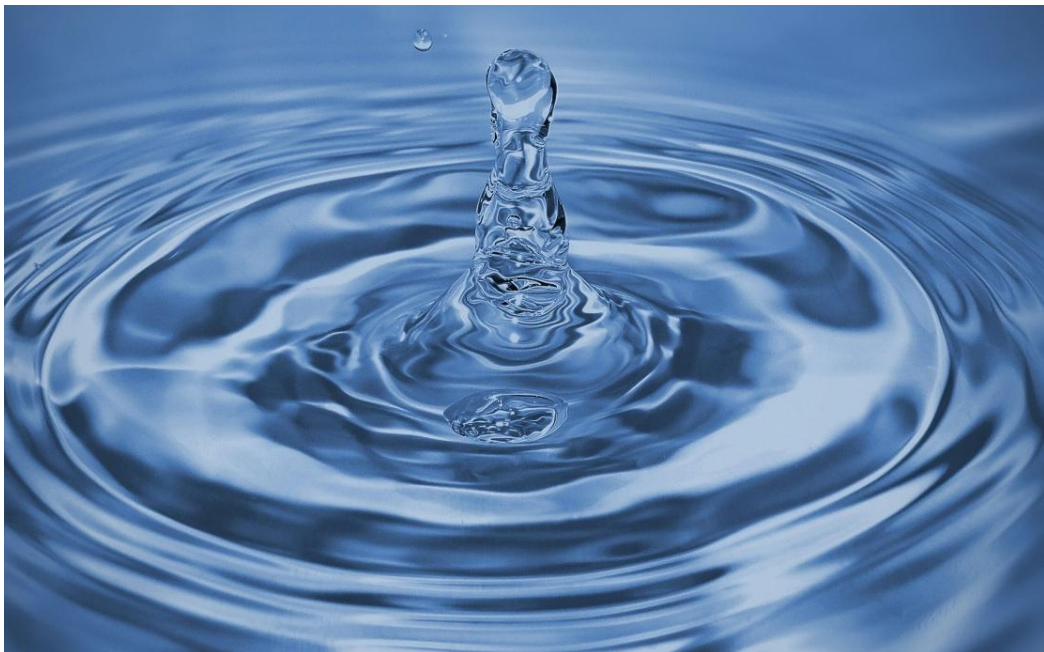
La arcilla roja que adsorbe arsénico del agua fue extraída del Centro experimental de planta piloto de cerámica de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, previamente procesada con un tamaño de partícula de 630 a 230 μm . Utilizó el diseño de superficie de respuesta, específicamente el diseño compuesto central rotatable 2^2 principal, para investigar los efectos de 2 factores en 13 ejecuciones. Este diseño lo realizó en un solo bloque, y el orden de los experimentos lo aleatorizó completamente, a fin de maximizar la eliminación de arsénico por encima de la región especificada

1.2. EL AGUA

Según la OMS (2017), el agua es un recurso esencial que cubre aproximadamente el 71 % del planeta. Se clasifica según su origen en aguas superficiales (ríos, lagos) y subterráneas (acuíferos), y según su calidad en dulce, salada o salobre. El agua es una sustancia esencial para la vida, el desarrollo de los ecosistemas y las actividades humanas.

Figura 1

El agua



Nota: De "El agua: Elemento vital" por (Fundación Hidrógeno Aragón, 2023)

Químicamente, para Campbell & Reece (2007) el agua (proviene del latín aqua) es una sustancia cuya molécula se compone de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O) enlazados mediante un enlace covalente. El término agua, normalmente, se refiere a la sustancia en estado líquido, aunque puede encontrarse en estado sólido, conocido como hielo, y en estado gaseoso, llamado vapor.

Su molécula está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O), y se encuentra en los tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso. En la naturaleza, participa en un ciclo continuo de evaporación, condensación y precipitación conocido como ciclo hidrológico, que asegura su renovación, aunque no siempre en la misma calidad ni disponibilidad. (OMS, 2017)

1.2.1. Fuentes de agua

La OMS (2017) clasifica las fuentes de agua de la siguiente manera:

1.2.1.1. Según su origen

- **Aguas superficiales:** comprenden ríos, lagos, lagunas y manantiales. Son las más utilizadas para abastecimiento público, pero también las más vulnerables a la contaminación por descargas domésticas, agrícolas o industriales.
- **Aguas subterráneas:** se encuentran almacenadas en acuíferos bajo la superficie terrestre. Generalmente presentan mejor calidad natural por su filtración a través del suelo, aunque pueden afectarse por sobreexplotación o infiltraciones contaminantes.
- **Aguas meteóricas:** provienen directamente de la precipitación (lluvia, nieve, granizo) y pueden aprovecharse para consumo o riego tras procesos de captación y tratamiento.

1.2.1.2. Según su composición y contenido de sales disueltas:

- **Aguas dulces:** contienen menos de 1 000 mg/L de sólidos disueltos totales (TDS). Son aptas para el consumo humano y agrícola, previa potabilización.
- **Aguas salobres:** presentan entre 1 000 y 10 000 mg/L de TDS. Suelen hallarse en zonas costeras o acuíferos contaminados con intrusión marina.
- **Aguas saladas:** superan los 10 000 mg/L de TDS, como las de los océanos, y no son aptas para consumo sin desalinización.

1.2.2. Agua para el consumo humano

El agua es el solvente biológico fundamental para la salud, esencial para el transporte de nutrientes, la eliminación de desechos y la regulación de la temperatura corporal a través de la homeostasis (Villena Chávez, 2018).

Según la OMS (2021), para el año 2021 la escasez de agua potable afectó a más de 2000 millones de personas, y se prevé que empeore debido a los cambios climáticos y crecimiento demográfico. Así mismo, la contaminación del agua representa un grave riesgo para la salud, con al menos 1700 millones de personas consumiendo agua contaminada con heces para el año 2022; y al ser la contaminación microbiana la principal amenaza y causante de más de 500 000 muertes anuales por enfermedades diarreicas (Organización Panamericana de la Salud, 2011).

1.2.3. Tratamiento de agua para consumo humano

El tratamiento del agua para consumo humano tiene como finalidad eliminar o reducir los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua cruda, para hacerla apta según los parámetros dispuestos por la DIGESA (2010) y la OMS (2017). Los métodos aplicados dependen del tipo de fuente (superficial o subterránea) y del nivel de contaminación, combinando procesos físicos, químicos y fisicoquímicos.

Figura 2

Planta de tratamiento de agua potable



Nota: De "PTAP: Claves para la salud y desarrollo" por (Accuaproduct, 2024)

El Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2020) señala los siguientes procesos en el tratamiento de agua:

1.2.3.1. *Procesos físicos*

Son aquellos en los que se eliminan impurezas sin alterar la composición química del agua.

- **Rejas y cribas:** retienen materiales gruesos como ramas, hojas y sólidos flotantes antes de ingresar a la planta.
- **Desarenado:** permite sedimentar partículas de arena o grava por gravedad, evitando abrasión en los equipos posteriores.
- **Sedimentación:** en tanques o decantadores, las partículas más densas que el agua se depositan por acción de la gravedad.
- **Filtración:** el agua pasa a través de medios porosos (arena, grava, diatomita, etc.), que retienen partículas finas y coloides, mejorando la turbidez y color. Este proceso se puede dar de manera rápida o lenta dependiendo del diseño del lecho filtrante.

1.2.3.2. *Procesos químicos*

Emplean reactivos para modificar la composición del agua y eliminar sustancias disueltas o microorganismos.

- **Desinfección:** se utilizan agentes como cloro, ozono o radiación ultravioleta (UV) para destruir microorganismos patógenos. El cloro es el más común por su bajo costo y poder residual.
- **Neutralización:** se ajusta el pH del agua usando sustancias alcalinas (como cal o soda cáustica) o ácidas (ácido sulfúrico o dióxido de carbono) para mantener un rango de 6.5–8.5.
- **Precipitación química:** consiste en agregar reactivos (como sulfato de aluminio o cal) que transforman sustancias disueltas en insolubles, facilitando su remoción posterior.

1.2.3.3. *Procesos fisicoquímicos*

Combinan la acción física y química para remover partículas suspendidas y coloides finos.

- **Coagulación:** se adicionan coagulantes (como sulfato de aluminio, cloruro férrico o polímeros) que neutralizan las cargas eléctricas de las partículas, permitiendo su aglomeración.
- **Floculación:** consiste en agitar lentamente el agua tratada con coagulantes para formar flóculos o agregados más grandes que sedimentan con facilidad.
- **Sedimentación secundaria:** los flóculos formados se depositan en el fondo de los sedimentadores, separando las partículas del agua clara.

1.2.3.4. *Procesos complementarios*

- **Adsorción:** se emplea carbón activado para eliminar compuestos orgánicos, sabores, olores y color.
- **Intercambio iónico:** elimina dureza (iones Ca^{2+} , Mg^{2+}) o nitratos mediante resinas sintéticas.
- **Desinfección final y almacenamiento:** asegura la potabilidad durante la distribución, manteniendo un nivel residual de desinfectante para evitar la recontaminación.

Estos procesos combinados garantizan que el agua cumpla con los límites máximos permisibles de turbidez, pH, color, microorganismos y otras características señaladas por la normativa peruana y las recomendaciones internacionales.

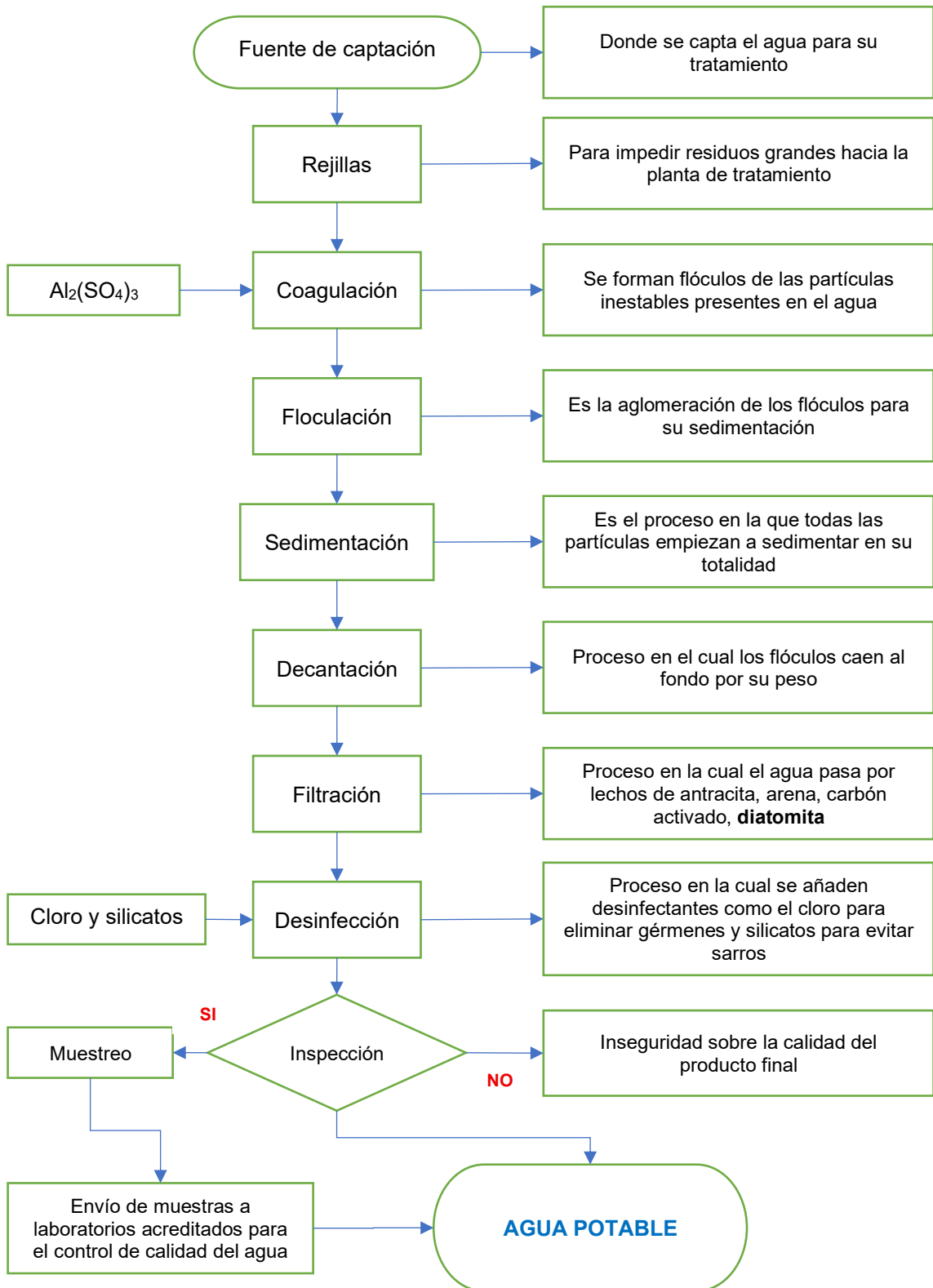
El agua considerada apta para el consumo humano, o "potable", no solo debe ser segura, sino también estéticamente agradable, lo que implica ser clara, inodora, insípida y tener una temperatura moderada (Guzmán et al., 2013).

Puesto que las fuentes de agua natural rara vez cumplen con estos estándares de calidad para el uso doméstico o industrial, es necesario someterlas a un tratamiento antes de su distribución, uso y/o consumo (Feria et al., 2014)

Se presenta un diagrama de flujo del tratamiento de agua potable:

Figura 3

Diagrama de flujo del tratamiento de agua potable



Nota: Adaptado de “Diagrama de flujo de la PTAP de la provincia de Espinar” por (Ahuanlla, 2020).

1.3. TURBIDEZ

Según Lawler (2016) la turbidez es una expresión de la propiedad óptica de un medio, que hace que la luz se disperse y absorba en lugar de transmitirse en líneas rectas a través de una muestra. La turbidez se puede medir utilizando las técnicas de turbidimetría o nefelometría.

La turbidimetría es la medición de turbidez logrado cuantificando el grado de atenuación de un haz de luz de intensidad inicial conocida. Por lo general, se aplica a medios de bastante alta turbidez en el que las partículas de dispersión son relativamente grandes (por ejemplo, aguas naturales) (Frazer et al., 2016).

Turbidímetro

El turbidímetro mide la absorbancia de la muestra líquida, es decir, mide el nivel de nubosidad o falta de transparencia originada por partículas en suspensión. El turbidímetro funciona midiendo la cantidad de luz que se dispersa o se bloquea al pasar a través de la muestra, utilizando el principio de la medición nefelométrica. Los resultados se miden en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). Su aplicación se centra en la evaluación de la calidad de agua potable y residual y otras industrias. (Acebo & Hernández, 2012)

Figura 4

Turbidímetro digital



Nota: Tomada de (Hach España, 2020)

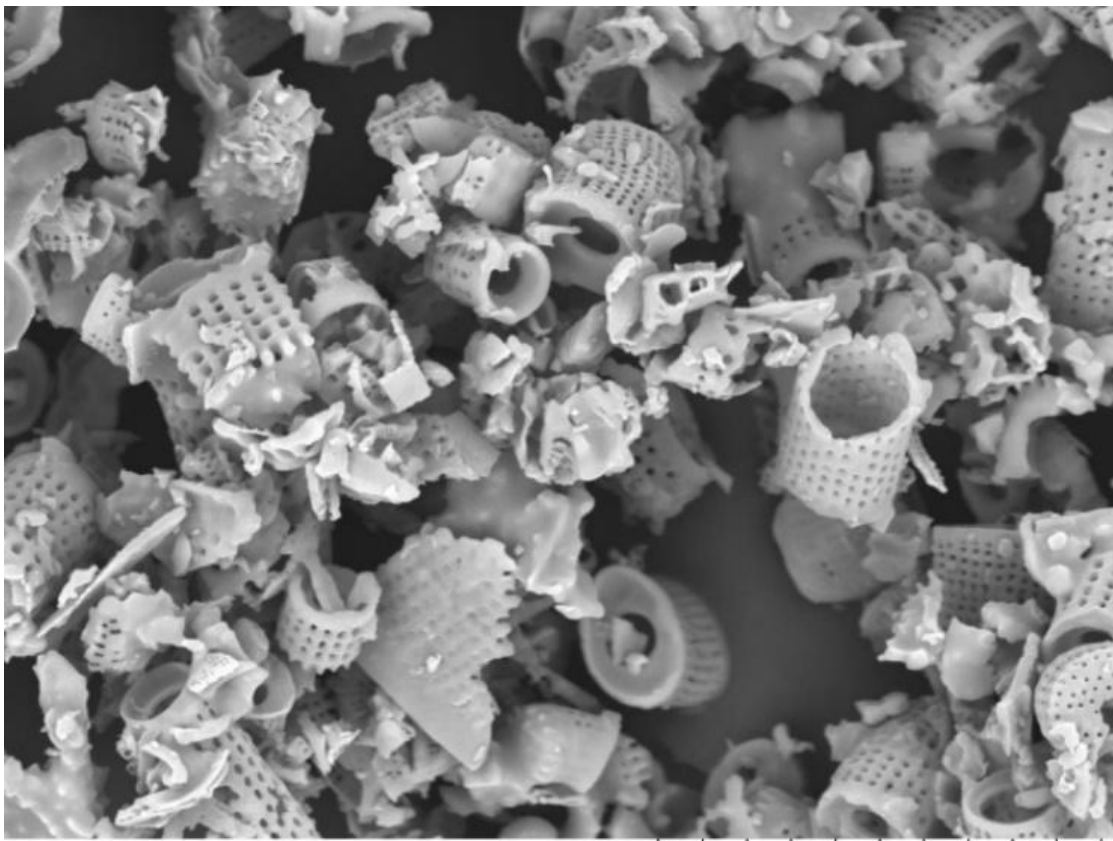
1.4. DIATOMITA

La diatomita es una materia prima no metálica compuesta por restos esqueléticos de plantas de agua unicelulares, formada por la acumulación y fosilización de los esqueletos microscópicos, llamados frústulas, de unas algas unicelulares acuáticas llamadas diatomeas, tiene muchas características útiles para su uso en varias aplicaciones industriales, como alta porosidad, una estructura porosa y permeable, resistencia química, alta pureza, gran área de superficie específica, alta capacidad de adsorción. Ediz et al. (2010)

La diatomita, también llamada tierra de diatomeas, es una roca sedimentaria silícea de origen biogénico formada por la acumulación de frústulas (esqueletos microscópicos) de diatomeas, un tipo de microalgas unicelulares que habitan en ambientes acuáticos marinos y continentales. Estas frústulas están compuestas principalmente por sílice amorfa hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Figura 5

Diatomita a nivel microscópico



30 μm

Nota: Vista microscópica de las frústulas que componen la diatomita a una escala de 30 μm tomado de (Siodłak, 2015)

Por su estructura altamente porosa, baja densidad aparente y gran superficie específica, la diatomita tiene una amplia gama de aplicaciones: filtración de líquidos, adsorción de contaminantes, aislante térmico, portador de catalizadores. La composición química típica de la diatomita natural contiene entre 80–95 % de SiO_2 , 2–6 % de Al_2O_3 , y pequeñas proporciones de Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O y K_2O (Flórez, 2017).

La estructura que posee le permite formar una capa filtrante que es excepcionalmente eficaz, capaz de retener partículas muy pequeñas, de hasta 2 a 5 micras, lo que resulta fundamental para la clarificación de líquidos en industrias como la de bebidas como la cerveza y el vino, y el tratamiento de aguas, incluyendo filtros de piscina (Vázquez et al., 2022).

Figura 6

Yacimiento de diatomita



Nota: Extracción de diatomita en Kenia, tomado de (Jordan, 2023)

1.5. TIPOS DE DIATOMITA

Gutiérrez et al. (2019) clasifica las diatomitas de acuerdo con su origen sedimentario en dos tipos:

1.5.1. Diatomita lacustre

Se forma en lagos, lagunas, donde la alta productividad biológica y la lenta sedimentación permiten la acumulación casi exclusiva de frústulas de diatomeas.

- Características: color blanco o crema, alta pureza (mayor contenido de SiO₂), baja densidad y elevada porosidad.
- Usos: óptima para filtración de agua, bebidas, aceites y productos farmacéuticos.

1.5.2. Diatomita marina

Se origina en fondos oceánicos o en antiguos ambientes costeros, donde las diatomeas se mezclan con arcillas, limos y restos volcánicos.

- Características: mayor contenido de impurezas minerales (Fe, Al, Ti), color beige o grisáceo, y densidad superior.
- Usos: producción de materiales refractarios, adsorbentes y aislantes térmicos.

1.6. ORIGEN Y YACIMIENTOS DE DIATOMITA

Según el INGEMMET (2017), la diatomita se forma en ambientes acuáticos con alta productividad biológica, especialmente en fondos lacustres y marinos donde se acumulan los restos silíceos de diatomeas. En Perú, se localizan importantes yacimientos en Arequipa, Puno, Cajamarca y Ayacucho, asociados a depósitos volcánicos y sedimentarios.

Tipos de yacimientos de diatomita

Los yacimientos de diatomita se originan por la acumulación prolongada de diatomeas muertas en cuerpos de agua con baja energía de sedimentación y altos aportes de sílice disuelta. Dependiendo del ambiente de formación, se distinguen tres tipos principales:

Yacimientos lacustres

Formados en cuencas continentales cerradas con baja salinidad. Son los más comunes y económicamente explotables. Suelen estar intercalados con capas de arcilla o ceniza volcánica.

Ejemplo: Yacimientos de Carumas (Moquegua) y Huaylillas (Ayacucho), Perú.

Yacimientos marinos o costeros

Asociados a antiguos fondos marinos someros o a depósitos costeros elevados por procesos tectónicos. Contienen impurezas detríticas y fragmentos volcánicos.

Ejemplo: Depósitos de Arequipa y Tacna, asociados a formaciones volcánicas terciarias.

Yacimientos volcánicos-sedimentarios

Derivan de ambientes lacustres afectados por actividad volcánica, donde las cenizas aportan sílice soluble que favorece la formación de diatomeas.

Ejemplo: Diatomitas de Cajamarca y Puno, Perú.

Estos depósitos pueden tener espesores desde pocos metros hasta más de 50 m y se extraen mediante minería a cielo abierto. Posteriormente, el material se seca, muele y clasifica por granulometría antes de su activación térmica o química para uso industrial.

1.7. TIPOS DE ACTIVACIÓN DE LA DIATOMITA

Según Vera et al. (2018) la diatomita puede activarse térmicamente (calcinación entre 800 – 1000 °C) para aumentar su porosidad y eliminar materia orgánica, o activarse químicamente mediante ácidos o bases que modifican su superficie, mejorando su capacidad de adsorción y filtración.

La activación térmica de la diatomita se obtiene al someter el material natural a altas temperaturas de hasta 1100 °C, este proceso de calcinación elimina la materia orgánica y endurece las partículas, lo que la hace apta para ciertos usos de filtración industrial con un caudal mejorado en comparación con la natural (Castellar et al., 2025).

La activación térmica consiste en someter la diatomita a temperaturas elevadas, generalmente entre 600 °C y 1000 °C, en hornos o muflas controladas. Este proceso produce varios efectos fisicoquímicos:

- Eliminación de materia orgánica y humedad, lo que aumenta la pureza del material.
- Deshidroxilación parcial de la sílice amorfa, incrementando su estabilidad térmica.
- Incremento de la porosidad y del área superficial específica, al eliminar impurezas volátiles y abrir los poros naturales de las frústulas de diatomeas.

- Modificación del color (de blanco a rosado o beige), según la temperatura y los minerales acompañantes (como óxidos de hierro).

La activación térmica con fundente de Na_2CO_3 para la Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME, 2021) favorece la formación de un material más permeable y con mayor tamaño de poro, lo que mejora su capacidad de filtración. Sin embargo, temperaturas excesivas pueden inducir cristalización del SiO_2 y pérdida de porosidad. Mayor tamaño de partícula y permeabilidad: El fundente promueve la expansión y el desarrollo de poros más grandes.

La activación química para Ramos et al., (2022), se realiza mediante adición de ácidos como el nítrico y se usa en la investigación para purificar la diatomita eliminando impurezas (arcillas y óxidos) que obstruyen los poros, lo que a su vez incrementa el área superficial y mejora su capacidad de adsorción de contaminantes, como los metales pesados.

La activación química implica el tratamiento de la diatomita con agentes reactivos generalmente ácidos fuertes (como HCl , H_2SO_4 o HNO_3) o bases (como NaOH) con el propósito de modificar su composición superficial.

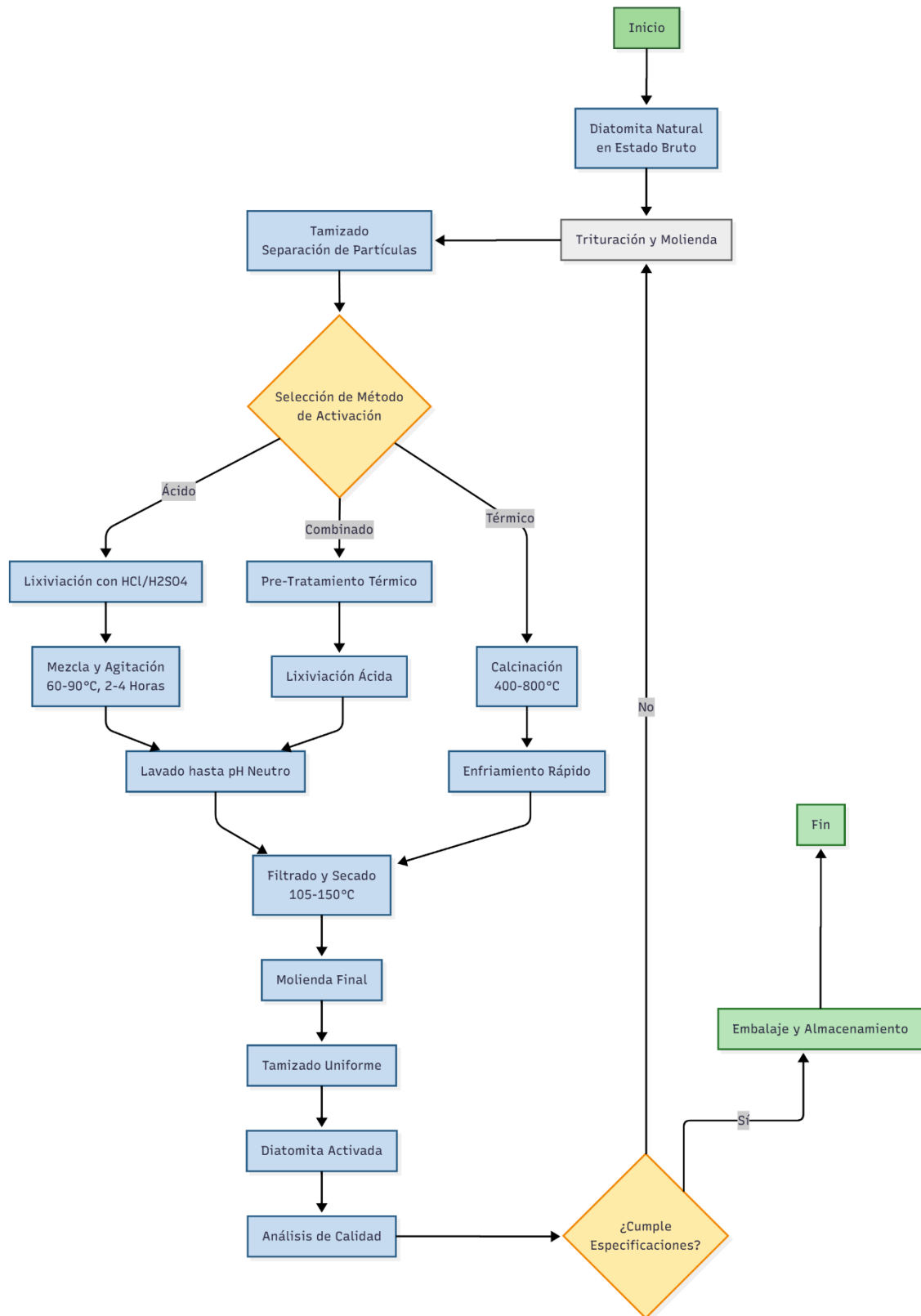
Ramos et al., (2022) mencionan los efectos principales de la activación química:

- Disolución de impurezas minerales, tales como carbonatos, óxidos metálicos y arcillas.
- Aumento del contenido relativo de sílice amorfa (SiO_2) y de la relación Si/Al, mejorando la pureza del material.
- Modificación de la superficie mediante la introducción de grupos funcionales silanol ($\equiv\text{Si}-\text{OH}$), que incrementan la adsorción de contaminantes metálicos o iónicos.
- Aumento de la capacidad de intercambio iónico y afinidad por compuestos orgánicos, especialmente cuando se usan tratamientos combinados con sales o surfactantes.

Después de la activación química, el material debe lavarse cuidadosamente con agua destilada y secarse para eliminar residuos de reactivos que podrían alterar el pH del agua tratada. (Silva & Rojas, 2020)

Figura 7

Diagrama de flujo de la activación térmica y química de la diatomita



Nota: Elaborado a partir de Vera et al. (2018), Ramos et al. (2022) y (Silva & Rojas, 2020).

1.8. USOS DE LA DIATOMITA

La diatomita es ampliamente utilizada como un excelente material filtrante o ayuda de filtración debido a su composición de sílice amorfa y la estructura altamente porosa e intrincada de los esqueletos fosilizados de diatomeas (Donato, 2019).

Los usos industriales comunes para la diatomita incluyen la filtración de jarabe de azúcar, cerveza, whisky, vino, jugo de fruta, agua, aceites minerales o vegetales y productos farmacéuticos. (Ediz et al., 2010)

En la agricultura y control de plagas, la diatomita actúa de manera físico-mecánica, sin químicos tóxicos, cumpliendo un doble rol: como insecticida/acaricida natural y como enmienda para las plantas (Bilbao et al., 2007). Como biocida, las partículas microscópicas de sílice perforan la capa cerosa (cutícula) de los insectos y ácaros por abrasión, lo que permite que el material poroso absorba sus fluidos corporales, provocando su muerte por deshidratación (Méndez & Castellanos, 2019)

Sandhya et al.,(2018) mencionan que, al aplicarse al suelo, la diatomita libera silicio que la planta absorbe para fortalecer las paredes celulares de hojas y tallos, aumentando su resistencia estructural contra el estrés (sequía, calor) y los ataques de plagas.

Figura 8

La diatomita en tierras de cultivo como insecticida natural



Nota: De (Huerto es Vida, 2021)

1.9. GRANULOMETRÍA

Para Pérez Porto (2021) la granulometría es una rama de la petrografía que estudia el tamaño de las partículas presentes en el suelo o de una muestra de suelo. Por lo general se dedica a analizar la distribución de los tamaños de los elementos que conforman la muestra. Las operaciones realizadas en la granulometría constituyen lo que se conoce como análisis granulométrico. Dichas operaciones son el tamizado de la muestra, la determinación de la masa de la muestra retenida en los diferentes matices y el cálculo de cada porcentaje retenido y con ello obtener la curva granulométrica.

Nota: De “Operaciones Unitarias en Ingeniería Química”, por (McCabe et al., 2007)

1.10. TAMICES

CROMTEK (2018) define al tamiz como un utensilio físico con una malla fina para separar partículas de diferentes dimensiones. Es una herramienta esencial en el análisis granulométrico y control de calidad de diversas industrias. Para garantizar la precisión se debe realizar la calibración del tamiz y se debe asegurar que cumpla con los estándares de calidad con Normativas ASTM, ISO, entre otros.

Figura 9

Tamiz metálico



Nota: Tomado de (CROMTEK, 2018)

1.11. TEMPERATURA

Para (Melo & Cuamatzi, 2007) la temperatura se puede obtener de la Ley cero de la termodinámica, que establece que, si dos sistemas A y B están en equilibrio térmico, con un tercer sistema C, entonces los sistemas A y B estarán en equilibrio térmico entre sí. Termodinámicamente se habla de la velocidad promedio o la energía cinética (movimiento) de las partículas (átomos o moléculas) contenidas en un sistema. De esta manera, a temperaturas altas, la velocidad de las partículas es alta. En el cero absoluto las partículas no tienen movimiento.

1.12. CALCINACIÓN

La calcinación se refiere al proceso de calentar un material a altas temperaturas para provocar cambios químicos o físicos. En el contexto de los procesos siderúrgicos y de construcción, la calcinación se utiliza principalmente para la descomposición térmica de minerales como calizas y dolomitas, con el fin de obtener óxidos de calcio y magnesio (cal y magnesia) que se utilizan en diversas aplicaciones industriales. Lara Doñate (2014)

La calcinación puede realizarse con o sin adición de fundentes (como carbonato de sodio), dependiendo del uso final. Para aplicaciones en filtración de agua, se busca conservar la estructura porosa, evitando temperaturas excesivas que provoquen sinterización o fusión parcial del material. (Vera et al., 2018)

1.13. FUNDENTE

Según Humpston & Jacobson (2004), un fundente es una sustancia química que se emplea para aportar cualidades diferentes al material que se somete a una fundición o calcinación. Entre estas funciones, ayuda a evitar el contacto con el aire, eliminar y disolver los óxidos que pueden generarse y mejorar la permeabilidad del material base por el metal de aportación fundido, lo que permite que este fluya y se reparta de manera uniforme.

1.14. SINTERIZACIÓN

La sinterización es un proceso térmico en el cual la pieza previamente compactada se somete a calentamiento durante un tiempo específico. Este aumento controlado de temperatura favorece la unión de las partículas de polvo y la difusión de los elementos aleantes a través de mecanismos de difusión en estado sólido. El proceso

se lleva a cabo en hornos continuos, con una velocidad de avance regulada y bajo una atmósfera cuya composición química se mantiene controlada. Habitualmente, las temperaturas de sinterización varían entre 750 °C y 1300 °C, dependiendo del tipo de material y de las propiedades que se desean obtener. Como resultado, se obtiene una pieza metálica con cierta microporosidad, gran precisión dimensional y completamente funcional, siempre que sus características cumplan con las especificaciones requeridas del componente. (AMES Group Sintering, 2022)

1.15. FILTRACIÓN

Según Coulson et al., (2003), la filtración es el proceso único de separar sólidos en suspensión a través de un medio mecánico poroso (también llamado tamiz, criba o filtro). En una suspensión en la que el líquido pasa a través de un medio poroso, retiene sólidos más grandes que el tamaño de los poros y permite el paso de líquidos y partículas más pequeñas que el tamaño de los poros.

Tipos de filtración

Macrofilter (2023) clasifica los tipos de filtración según el medio y método:

- **Filtración mecánica:** Utiliza un medio poroso o malla para retener partículas sólidas suspendidas en un líquido o gas. Ejemplos son filtros de malla, filtros de tela y filtros de cartucho.
- **Filtración por profundidad:** El fluido atraviesa un medio poroso grueso (arena, antracita, zeolita) donde se retienen las partículas en todo el volumen del medio filtrante, no solo en la superficie.
- **Filtración química:** Se basa en procesos químicos para remover contaminantes, como el uso de carbón activado para adsorber compuestos orgánicos.
- **Filtración biológica:** Usa microorganismos para degradar contaminantes en el fluido.
- **Filtración por membranas:** Usa membranas semipermeables para separar partículas moleculares o iónicas, incluyendo microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa.

Los tipos de filtros específicos para la industria según Carbotecnia (2024) son:

- **Filtros tipo bolsa:** Utilizan bolsas de tela o fibra para capturar partículas grandes o medianas.
- **Filtros tipo cartucho:** Contienen cartuchos filtrantes que ofrecen alta calidad de filtración para fluidos líquidos o gaseosos.
- **Filtros de neblina:** Para eliminar gotas finas o neblinas en gases.
- **Filtros de panel:** Paneles filtrantes usados en sistemas de ventilación y aire acondicionado.
- **Filtros de arena o lecho profundo:** Usan un lecho granular para retener impurezas.
- **Filtros de carbón activado:** Para adsorción de contaminantes químicos y olores.
- **Filtros de discos:** Usan discos plásticos o metálicos para filtración con autolimpieza.

Cada tipo tiene aplicaciones específicas y se selecciona según el tamaño de partícula a filtrar, el tipo de contaminante, y las características del fluido a tratar.

Los lechos filtrantes según Coulson et al., (2003) se realiza haciendo pasar el agua a través de lechos compuestos por distintos materiales, lo que permite retener las partículas en profundidad y reducir los sólidos en suspensión. Este método es especialmente útil para eliminar partículas coloidales difíciles de separar mediante filtraciones superficiales. Para que el proceso sea eficiente, las impurezas deben penetrar en el lecho sin obstruir su superficie. Con el tiempo, el filtro se satura, lo que se evidencia por un aumento de la presión diferencial o una disminución del caudal. En ese momento, se requiere un lavado a contracorriente para eliminar los sólidos acumulados y restablecer su funcionamiento normal.

1.16. MARCO LEGAL

1.16.1. Agua para el consumo humano

Mediante el Decreto Supremo (Reglamento de la Calidad del Agua para el Consumo Humano, 2010) se regula la calidad del Agua para el consumo humano para garantizar la inocuidad y la prevención de los factores de riesgos sanitarios. Con arreglo a la ley N°26842 – Ley General de Salud, el reglamento norma varios aspectos, principalmente los requisitos físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos del agua para consumo humano, la gestión de la calidad del agua, el control y supervisión de la calidad

del agua y la fiscalización para la aprobación y autorización sanitaria para los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano.

1.16.2. Límites máximos permisibles

Según el (Reglamento de la Calidad del Agua para & Humano, 2010), establece que la turbidez para el agua de consumo humano no debe exceder las 5 UNT, siendo este valor el límite máximo permisible.

El agua para consumo humano debe cumplir parámetros de calidad establecidos por normas nacionales e internacionales. En Perú, la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria (DIGESA, 2010) regula estos criterios mediante el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N.º 031-2010-SA), que define los límites de turbidez, color, pH, otros parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, así también los parámetros inorgánicos y orgánicos.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El centro poblado (C.P.) de Intay se localiza en el distrito de Luricocha, provincia de Huanta, departamento de Ayacucho. Este centro poblado dispone de un Sistema con Tratamiento Primario para Agua de Consumo Humano (STPACH), conformado por la captación, línea de conducción, desarenador, reservorio menor con caseta de cloración, reservorio principal para el almacenamiento del agua clorada, línea de aducción y red de distribución hacia las viviendas.

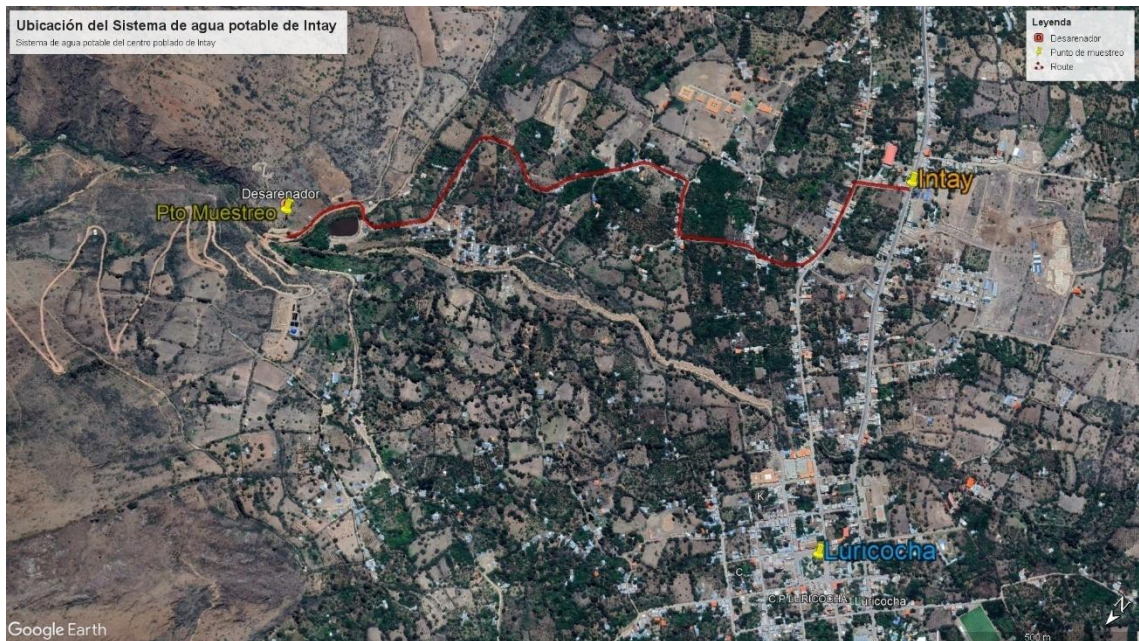
La recolección de la muestra de agua se realizó en el punto de ingreso al desarenador del STPACH del C.P de Intay. La elección de este punto respondió a diversas restricciones técnicas: el incremento del caudal del río impidió la toma directa en la captación; el reservorio de cloración fue descartado debido a la profundidad del nivel de ingreso, que dificultaba la extracción; y el segundo reservorio destinado al almacenamiento permanecía cerrado, imposibilitando el acceso. En consecuencia, el ingreso al desarenador se definió como el único punto operativo y técnicamente viable para la obtención de la muestra.

2.1.1. Ubicación del punto de recolección de agua

El punto de toma de muestras de agua se encuentra a aproximadamente 1,400 m del C.P. de Intay. Las coordenadas geográficas son UTM Zona 18L: 580226E, 8574076S.

Figura 10

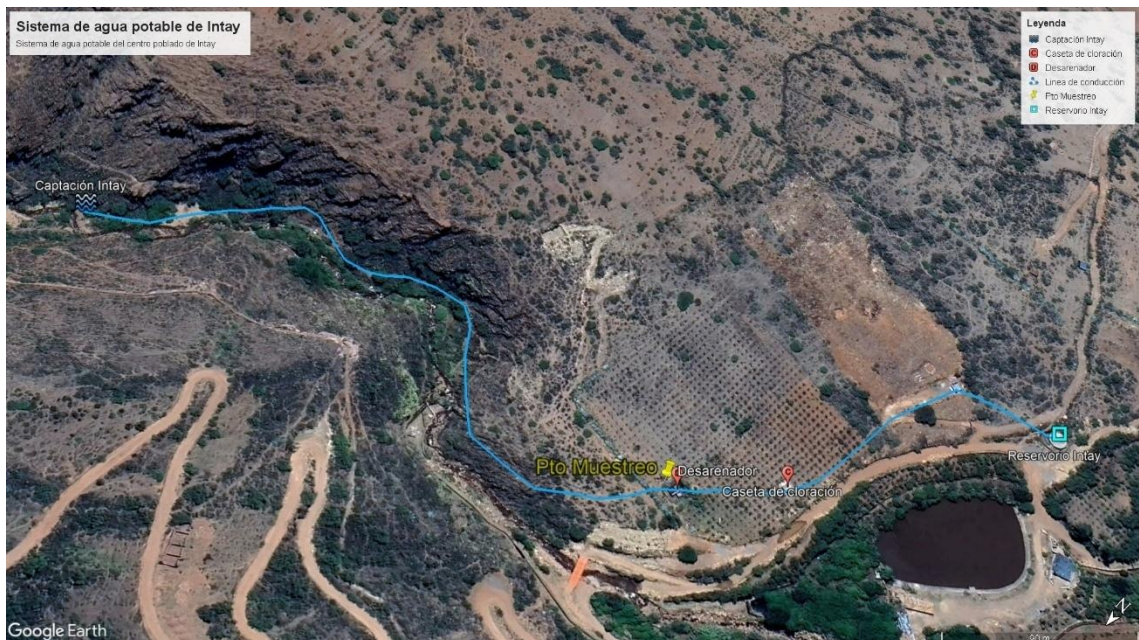
Ubicación y ruta al STPACH del C.P. de Intay



Nota: Adaptado de Google Earth, 2025.

Figura 11

Línea de aducción de STPACH del C.P. de Intay



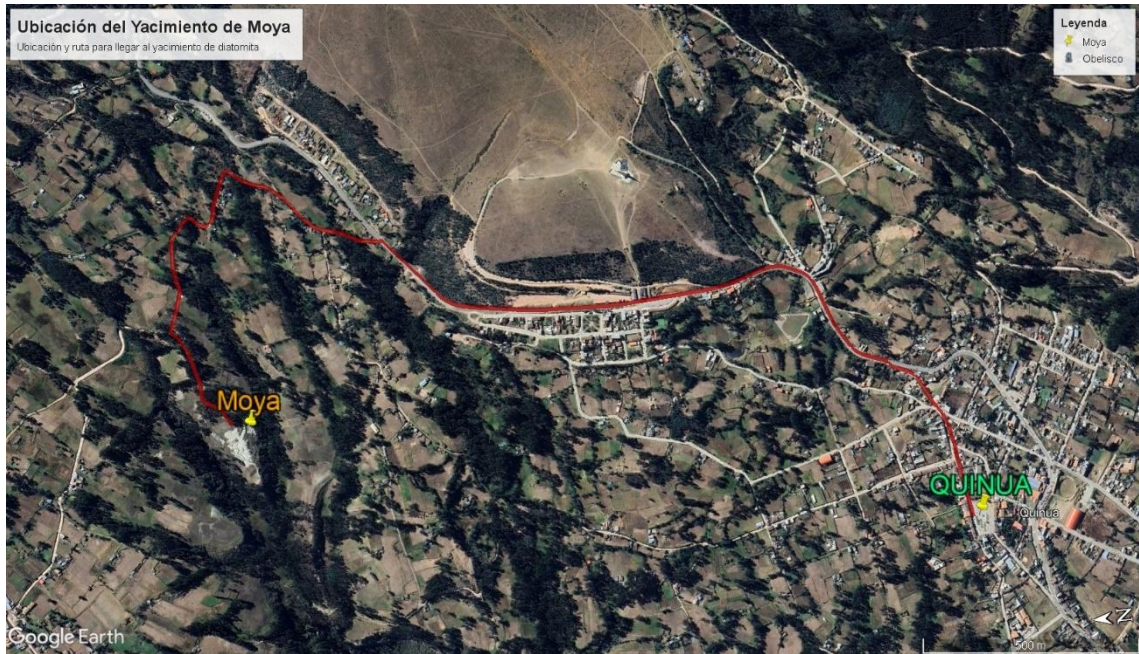
Nota: Adaptado de Google Earth, 2025.

2.1.2. Ubicación del yacimiento de diatomita

La diatomita se recolectó del yacimiento de Moya, ubicado a 1,800 metros del distrito de Quinua, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho. Las coordenadas geográficas del punto de extracción son UTM Zona 18 L: 593653E, 8558957S.

Figura 12

Ubicación geográfica del yacimiento de Moya



Nota: Adaptado de Google Earth, 2025.

2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población: Fuente de agua del centro poblado de Intay.

Muestra: 3 muestras de agua de ingreso al STPACH del centro poblado de Intay.

2.3. DISEÑO METODOLÓGICO

2.3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada y experimental porque se manipulan variables independientes como la granulometría, altura de lecho y temperatura.

2.3.2. Nivel de investigación

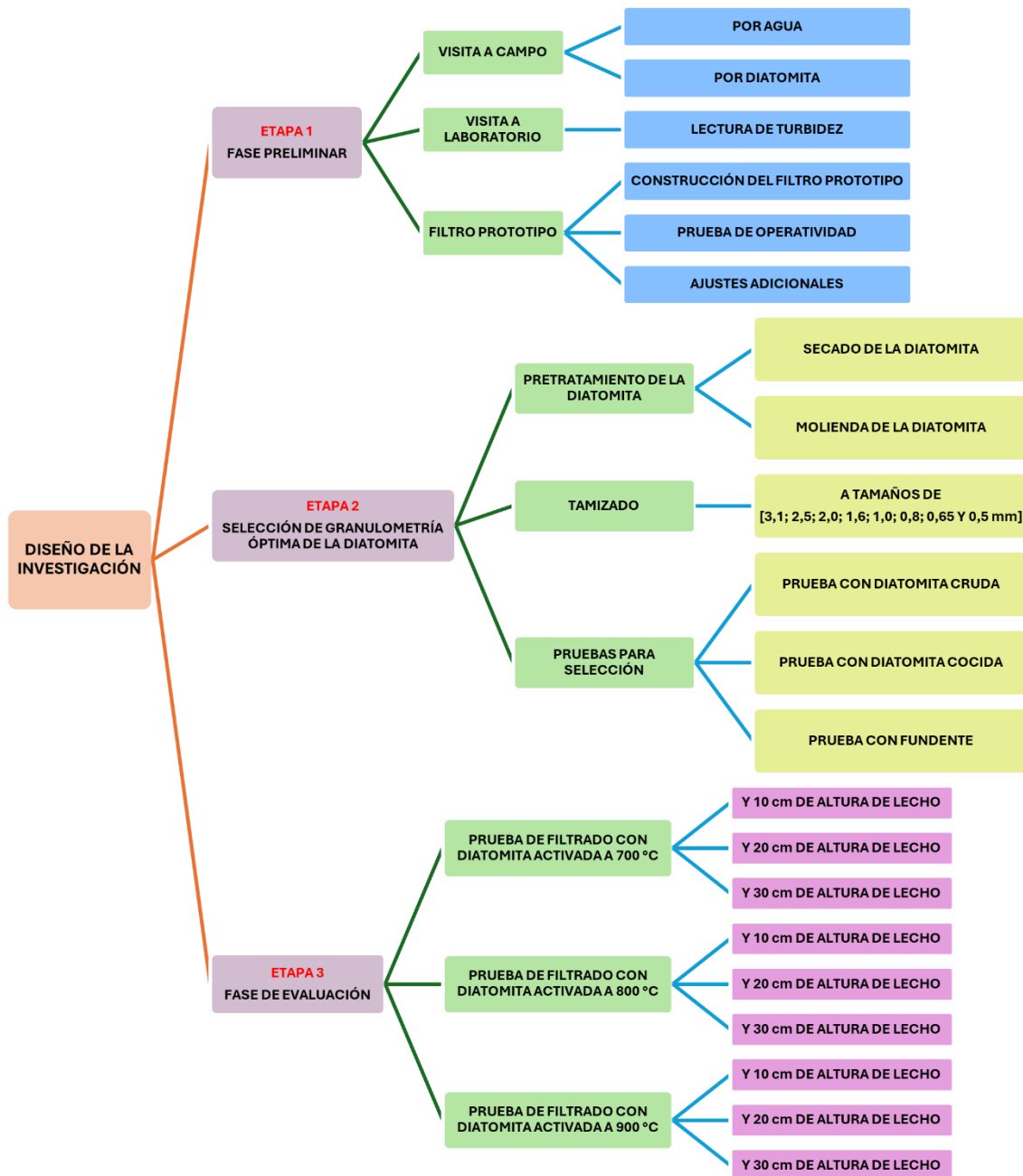
El nivel de investigación es explicativo – analítico.

2.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se dividió en tres etapas, primero la fase preliminar, segundo la fase de optimización y tercero la fase de evaluación que se distribuyen de la siguiente manera:

Figura 13

Diagrama de bloques del proceso de desarrollo de la investigación



2.5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Se realizaron métodos de recolección de agua y diatomita de la siguiente manera:

2.5.1. Recolección de la muestra de agua

Se recolectaron tres muestras de agua tomadas en días distintos dentro del periodo de estudio usando recipientes estériles debidamente etiquetados según los lineamientos del “Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales” del ANA. El objetivo fue identificar la concentración de turbidez más crítica. Las muestras se llevaron al laboratorio, donde se midió la turbidez con un equipo digital calibrado, garantizando la precisión de los resultados analíticos.

Figura 14

Visita al STPACH del C.P. de Intay y recolección de muestra



2.5.2. Recolección de diatomita

La diatomita empleada en la investigación fue recolectada en el yacimiento de Moya, situado en el distrito de Quinua, provincia de Huamanga, región Ayacucho. La obtención del material se efectuó mediante un muestreo controlado, asegurando su representatividad para los posteriores procesos de activación térmica y aplicación en la remoción de turbidez.

Figura 15

Recolección de diatomita en el yacimiento de Moya



2.5.3. Medición de turbidez

Se realizó la medición de la turbidez de las muestras de agua recolectadas previamente en el laboratorio fisicoquímico de SEDA Huanta.

Figura 16

Turbidez de la muestra inicial



Nota: Las lecturas fueron realizadas en Seda Huanta y los resultados obtenidos se representan en la Tabla 4

2.5.4. Construcción del filtro prototipo

Se construyó un filtro prototipo con un tubo de 3 pulgadas de diámetro y 90 cm de altura.

Con el fin de incrementar la eficiencia de las pruebas, se construyeron tres filtros para su evaluación simultánea. Para ello, se diseñó un soporte metálico a medida y se adaptaron los tubos mediante reducciones de 3 a 2 pulgadas.

Figura 17

Corte y lijado de los tubos



Posteriormente se adicionó una capa de grava de 15 cm de altura que sirvió como soporte para el lecho de la diatomita de la siguiente manera:

- 7 cm de altura de lecho con una pulgada de tamaño de partícula de diatomita.
- 5 cm de altura de lecho con media pulgada de tamaño de partícula.
- 3 cm de altura con 5 mm de tamaño de partícula.

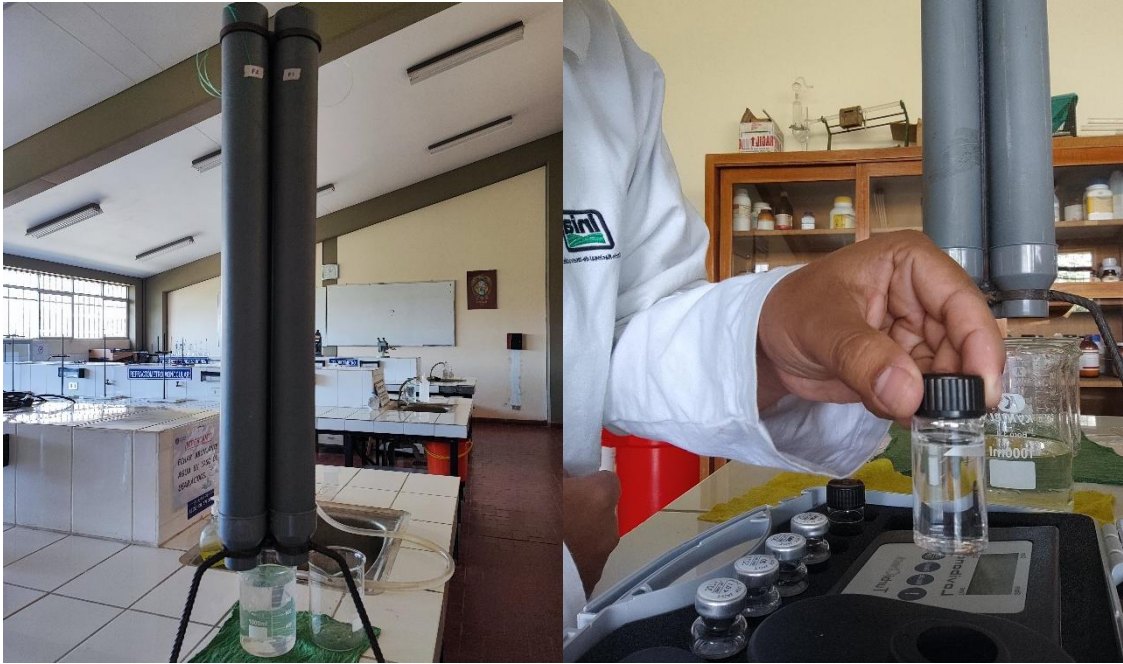
Haciendo un total de 15 cm de altura de grava que sirvió como soporte del lecho de diatomita.

2.5.4.1. Prueba de operatividad

Se realizó pruebas de operatividad de los filtros en el laboratorio de química analítica.

Figura 18

Funcionamiento del filtro



2.5.4.2. Ajustes adicionales

Tras las pruebas preliminares del filtro, se optó por acondicionar una placa del diámetro del tubo con orificios pequeños, diseñada para facilitar la separación entre la arena y la diatomita, y optimizar las labores de limpieza.

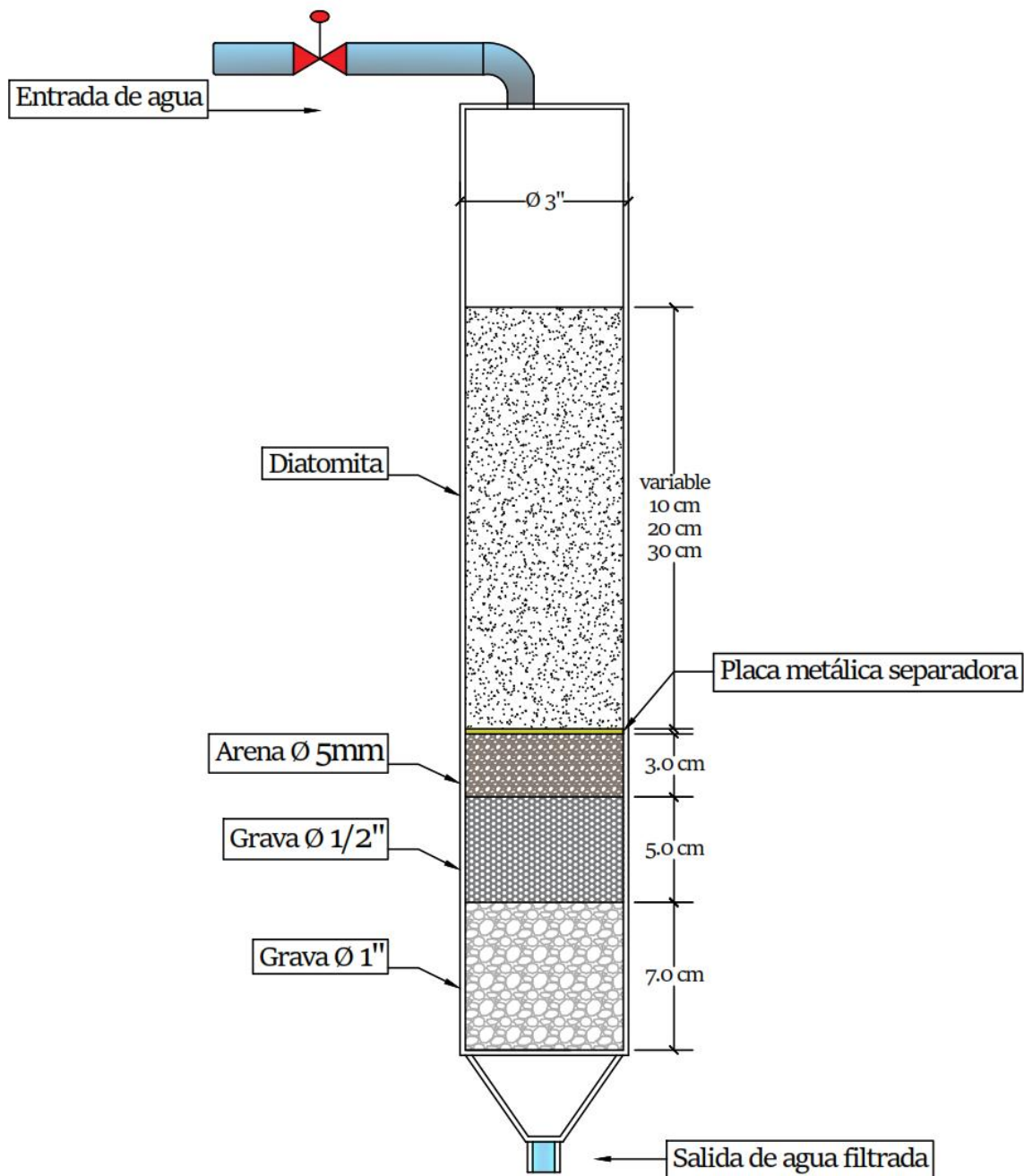
Figura 19

Acondicionamiento de una pequeña placa metálica con orificios



Figura 20

Esquema del filtro prototipo



Nota: Se construyeron 3 filtros prototipo del mismo tamaño y con la misma distribución la cual se muestra en la Figura 20, esto con el objetivo de optimizar la operatividad y repetividad de las pruebas de filtración.

2.5.5. Pretratamiento de la diatomita

Para la selección de la granulometría óptima, la diatomita fue preparada previamente tras su extracción del yacimiento de Moya.

2.5.5.1. Secado

La diatomita fue sometida a un proceso de secado natural durante una semana, expuesta a la radiación solar. Se supervisó constantemente con el fin de evitar que las precipitaciones interrumpieran el proceso y volvieran a humedecer el material.

2.5.5.2. Molienda

Posteriormente con la diatomita ya seca se procedió con la molienda con la finalidad de reducir el tamaño de las partículas.

Figura 21

Molienda de diatomita en molino de rodillos y molino de martillos



En la Figura 21, la imagen de la izquierda se muestra la molienda con un molino de rodillos y a la derecha se muestra la molienda con un molino de martillos. Se demostró que el molino de martillos presentó un mejor desempeño, ya que permitió una reducción más estable del tamaño de la diatomita. En contraste, el molino de rodillos tiende a comprimir el material hasta casi pulverizarlo, lo que debilita su estructura mecánica y, en consecuencia, genera una mayor cantidad de sedimentos finos durante las pruebas.

2.5.5.3. Tamizado

Se realizaron pruebas en el Centro Experimental de Cerámica (CEC) con tamaños de partículas definidos para lo cual se utilizaron tamices cuyas aberturas fueron las siguientes: [3,15 mm; 2,5 mm; 2,0 mm; 1,6 mm; 1,0 mm; 0,8 mm; 0,63 mm y 0,5 mm].

Figura 22

Tamizado de diatomita en el CEC



En la Figura 22 se observa el tamizado de la diatomita del proceso anterior a tamaños de entre 0,5 mm – 1,0 mm.

Figura 23

Llenado del lecho de diatomita en los tubos



En la Figura 23 se observa a la izquierda se llenó los tubos con la granulometría de diatomita a evaluar, en la derecha se midió la altura de lecho a ensayar.

2.5.6. Pruebas para selección de la granulometría óptima

Para la selección de la granulometría óptima se realizaron pruebas de filtración con tamaños de partícula: [3,15 mm; 2,5 mm; 2,0 mm; 1,6 mm; 1,0 mm; 0,8 mm; 0,63 mm y 0,5 mm] primeramente, con diatomita cruda y posteriormente con diatomita activada térmicamente.

Con la diatomita cruda se utilizó agua de grifo como matriz de prueba con una turbidez entre 1,5 – 1,8 NTU. Esto con la finalidad de observar la contaminación que generaba la diatomita cruda. Con la diatomita activada se utilizó dos lotes de agua turbia sintética. La solución de agua turbia sintética se preparó usando material de suelo de jardín muy fino en un rango de turbidez de 700 - 800 NTU y 100 - 120 NTU.

2.5.6.1. Prueba con diatomita cruda

Figura 24

Filtro tras la primera prueba



En la Figura 24 se observó que las partículas presentan un tamaño muy reducido y de baja resistencia mecánica. Dado que, durante la adición de agua en la etapa de prueba, estas tienden a desintegrarse progresivamente, lo que provoca el taponamiento del sistema y contribuye a la contaminación del agua.

Figura 25

Fragmentación y aglomeración de la diatomita cruda



En la Figura 25 se evidenció la aglomeración de la diatomita cruda, producto de su fragilidad, lo que genera fragmentación, formación de aglomerados y taponamiento del lecho filtrante. Esta condición dificulta el proceso de filtración y contribuye a la contaminación del agua, incrementando su turbidez.

Tras la experimentación con diatomita cruda orientada a determinar la granulometría óptima, se seleccionó el rango comprendido entre 2,5 mm y 3,15 mm, por presentar menor nivel de contaminación y mayor velocidad de filtración. No obstante, estos resultados variaron al realizar las pruebas con diatomita activada térmicamente

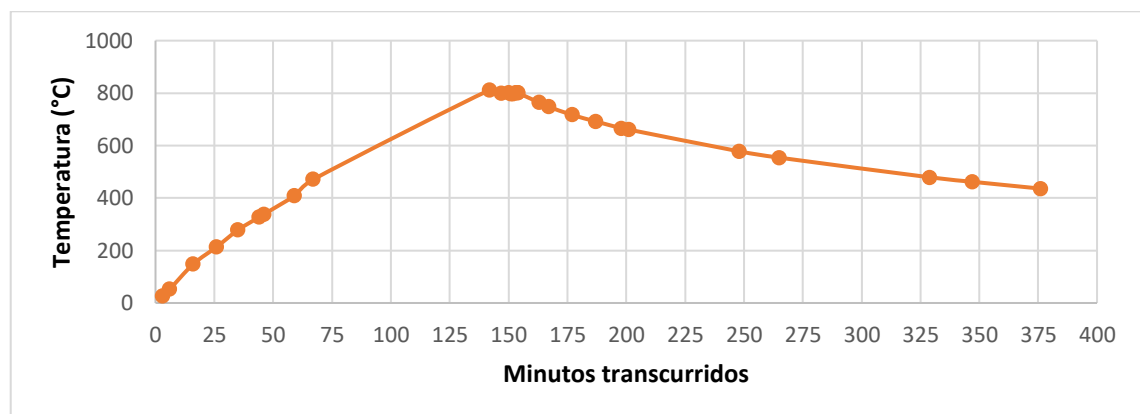
2.5.6.2. Prueba con diatomita activada térmicamente

Activación térmica de la diatomita

La diatomita fue sometida a una temperatura de 800 °C en el Centro Experimental de Cerámica (CEC), seguida de una activación térmica de 12 minutos a la misma temperatura. El tiempo requerido para alcanzar los 800 °C desde 20 °C fue de 142 minutos. Los tiempos específicos del proceso se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1*Temperatura en la activación térmica de la diatomita*

HORA	Tiempo transcurrido (min)	TEMPERATURA (°C)
Inicio: 10:02	0	20
10:05	3	26
10:18	16	148
10:28	26	214
10:37	35	278
10:46	44	327
11:09	67	471
Set: 12:24	142	804
12:29	147	800
12:32	150	802
12:34	152	798
12:35	153	802
12:36	154	802
Fin: 12:36	154	801
12:45	163	764
12:59	177	717
13:09	187	692
13:20	198	666
14:10	248	578
14:27	265	554
15:31	329	479
16:18	376	436

Figura 26*Temperatura (°C) vs Tiempo de activación (min)*

La Figura 26 presenta la curva térmica del proceso de activación térmica, iniciado a las 10:02 horas y con alcance de 800 °C a las 12:24 horas (2 h 22 min). La temperatura se mantuvo durante 12 minutos y posteriormente se efectuó un enfriamiento controlado de hasta 24 horas. La diatomita fue acondicionada en recipientes cerámicos e ingresada al horno del CEC para su tratamiento térmico a 800 °C.

Figura 27

Activación térmica de diatomita en el horno del CEC



La figura 27 muestra la diatomita tamizada a tamaños entre 3,15 - 2,5 mm, sobre un recipiente cerámico para ser activada térmicamente a 800 °C en el horno del CEC.

Figura 28

Temperatura de la diatomita activada a 800 °C



De la Figura 28 se aprecia que, a la izquierda, una termocupla digital registra la temperatura de 799 °C, mientras que a la derecha se evidencia la diferencia cromática entre la diatomita cruda y la activada térmicamente: la primera presenta un tono blanquecino, en tanto que la segunda adquiere una coloración anaranjada

2.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Son formatos de recopilación de datos de los ensayos realizados, tales como:

Tabla 2

Formato de recolección de datos de lecturas de turbidez de muestras de agua

CODIGO DE MUESTRA	Fecha de toma de muestra	Lectura de turbidez (NTU)	PROMEDIO (NTU)
RLUR_M01_A			
RLUR_M01_B			
RLUR_M01_C			

Nota: La codificación de las muestras siguen los lineamientos del “Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales” del (ANA, 2016).

Tabla 3

Formato de recolección de lecturas de turbidez tras la filtración

Muestra RLUR M0...					
Ensayo	Código	Temperatura (°C)	Altura (cm)	Lectura de turbidez inicial (°C)	Lectura de turbidez del filtrado (°C)
1	F1_700_10_M0...				
2	F1_700_20_M0...				
3	F1_700_30_M0...				

2.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

- Cálculos de remoción de turbidez usando fórmulas.
- Evaluación gráfica de los resultados obtenidos con ayuda de un software computacional como Excel.

CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. FASE PRELIMINAR

Lectura de turbidez de la muestra inicial

De las muestras de agua recolectadas inicialmente del STPACH del C.P. de Intay, se realizaron las lecturas mediante un turbidímetro digital y se obtuvo las siguientes lecturas y su promedio.

Tabla 4

Turbidez inicial de la muestra de agua

CÓDIGO DE MUESTRA	Fecha de toma de muestra	LECTURA (NTU)	PROMEDIO (NTU)
RLUR_M01_A	18/02/2025	429,33	443,11
		447,33	
		452,67	
RLUR_M01_B	21/02/2025	543,67	542,56
		544,67	
		539,33	
RLUR_M01_C	03/03/2025	506,33	503,22
		500,00	
		503,33	

Nota: Los términos A, B y C representan muestras de agua no tratadas recolectadas en un mismo punto, pero en diferentes fechas.

Según las lecturas de la Tabla 4, la muestra A presentó una turbidez promedio de 443,11 NTU, siendo la más baja entre las tres. En contraste, la muestra B alcanzó 542,56 NTU, registrando el valor más alto de turbidez en el agua del centro poblado de Intay.

3.2. SELECCIÓN DE LA GRANULOMETRÍA ÓPTIMA

Para determinar la granulometría óptima, se realizaron pruebas de filtración utilizando tamaños de partículas de diatomita: 3,15 mm; 2,5 mm; 2,0 mm; 1,6 mm; 1,0 mm; 0,8 mm; 0,63 mm y 0,5 mm.

Los ensayos se efectuaron inicialmente con diatomita cruda (con agua limpia de grifo para evaluar el comportamiento y la contaminación de filtro) y, posteriormente, con diatomita sometida a activación térmica (con solución turbia sintética).

3.2.1. Prueba con diatomita cruda

Se realizaron dos bloques de pruebas con la diatomita cruda:

3.2.1.1. *Primer bloque con diatomita cruda*

Este comprende los tamaños de granulometría para el filtro 1 (F1) entre 0,5 mm y 0,63 mm, para el filtro 2 (F2) entre 0,63 mm y 0,8 mm y para el filtro 3 (F3) entre 0,8 mm y 1,0 mm, todas con alturas de 5 cm y 10 cm.

Tabla 5

Tamaños de partícula de diatomita entre 0,5 mm y 1,0 mm

Tamaño de partícula	Altura Lecho (cm)	
	5 cm	10 cm
En F1: [0,5 mm; 0,63 mm]	NO SE ENSAYÓ	El agua no pasa, esta se taponea.
En F2 entre 0,63 mm y 0,8 mm	NO SE ENSAYÓ	Empieza a verse unas pocas gotas que logran pasar.
En F3 entre 0,8 mm y 1,0 mm	El agua pasa muy lento y turbio.	El agua logra pasar, pero lento y turbio.
Liberando F1: entre 1,0 mm y 1,6 mm	El agua aún pasa turbia pero un poco más rápido que el anterior.	El agua sigue pasando lento y turbio.

3.2.1.2. Segundo bloque con diatomita cruda

La prueba se realizó utilizando tres filtros con alturas de lecho de 5 cm, cada uno con rangos granulométricos específicos: entre 1,6 mm y 2,0 mm en el filtro 1; entre 2,0 mm y 2,5 mm en el filtro 2; y entre 2,5 mm y 3,15 mm en el filtro 3.

Se emplearon 500 mL de agua de grifo (sin turbidez) como fluido de ensayo, registrando el tiempo de filtración en segundos por cada fracción de 100 mL hasta completar 400 mL. El procedimiento fue replicado en tres ensayos consecutivos para garantizar la consistencia de los resultados y observar los efectos del agua sobre la diatomita cruda.

Tabla 6

Tamaños de partícula de diatomita entre 1,6 mm y 3,15 mm

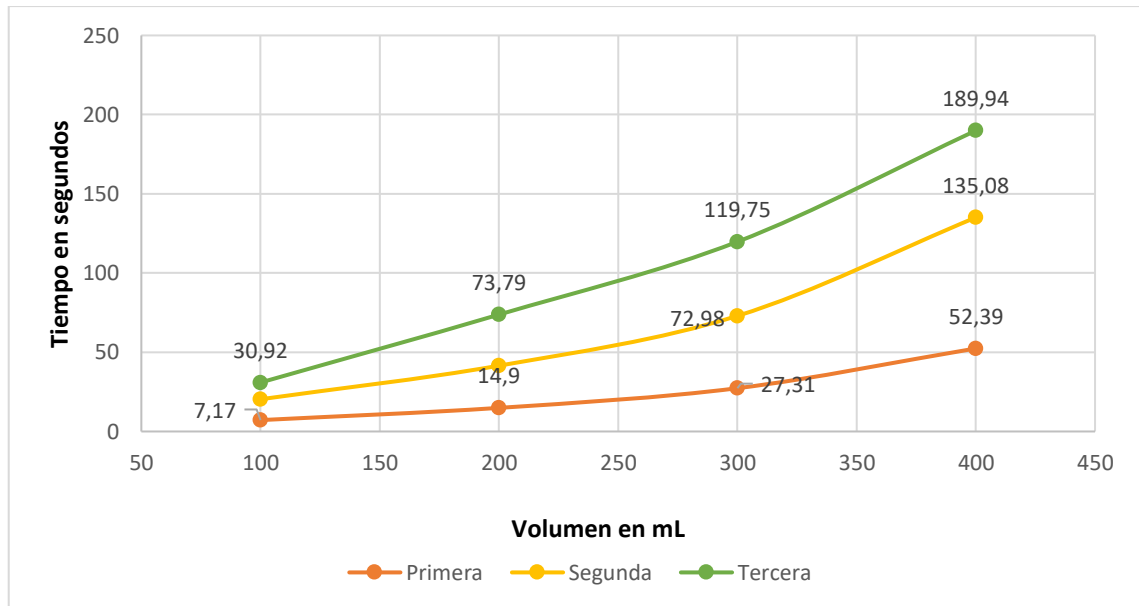
BATCH de 500 mL	Volumen			
	de agua añadida (mL)	1ra filtración (segundos)	2da filtración (segundos)	3ra filtración (segundos)
F1 (1,6 mm - 2,0 mm)	100	7,17	20,33	30,92
	200	14,9	41,53	73,79
	300	27,31	72,98	119,75
	400	52,39	135,08	189,94
F2 (2,0 mm - 2,5 mm)	100	12,09	31,52	54,13
	200	40,76	67,42	103,12
	300	86,10	116,45	167,24
	400	150,82	178,14	245,12
F3 (2,5 mm - 3,15 mm)	100	4,43	11,24	42,74
	200	7,13	27,86	114,62
	300	10,04	41,55	200,70
	400	15,68	64,44	295,40

Los resultados Tabla 6 muestran que el tiempo de filtración aumenta progresivamente, debido a los lodos que genera la fricción de la diatomita cruda y reduce la velocidad de paso del agua.

En las siguientes Figuras 29, 30 y 31, se representa el tiempo en que se llega a filtrar 100mL por unidad de tiempo.

Figura 29

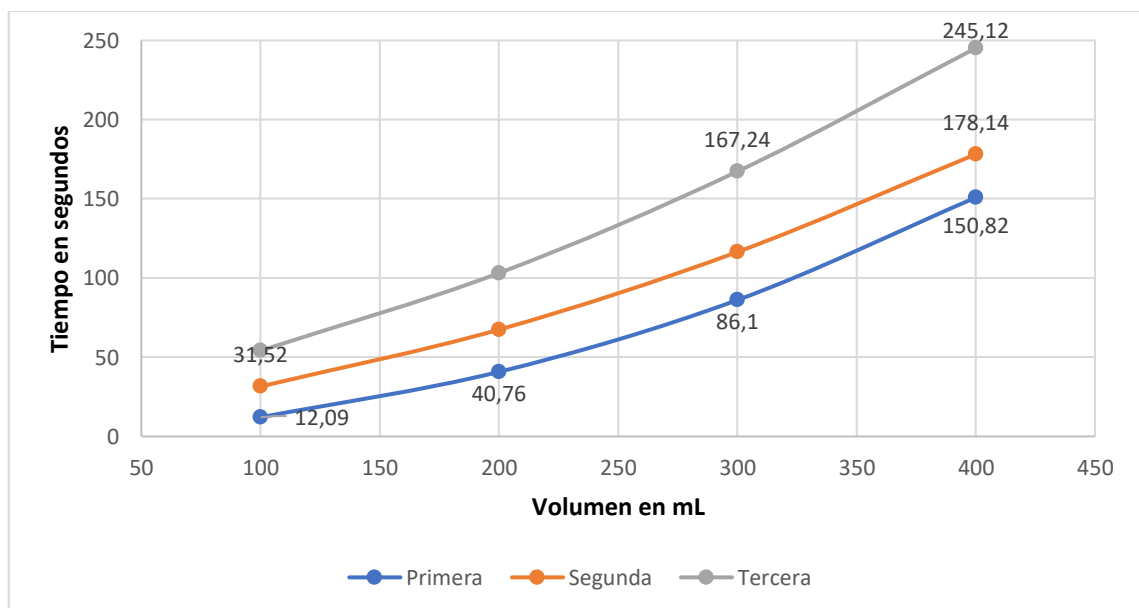
Evolución del tiempo de filtración en Filtro 1 (1,6–2,0 mm)



En la Figura 29 se presentan los tiempos de filtración correspondientes al filtro 1. En la primera pasada, se alcanzaron 400 mL en 52,39 segundos; en la segunda, el mismo volumen se obtuvo en 135,08 segundos; y en la tercera, en 189,94 segundos. Esta tendencia creciente sugiere que, a medida que el agua atraviesa el lecho filtrante, se generan sedimentos producto de la fragmentación progresiva de la diatomita cruda, lo cual reduce la permeabilidad del medio y prolonga el tiempo de filtración

Figura 30

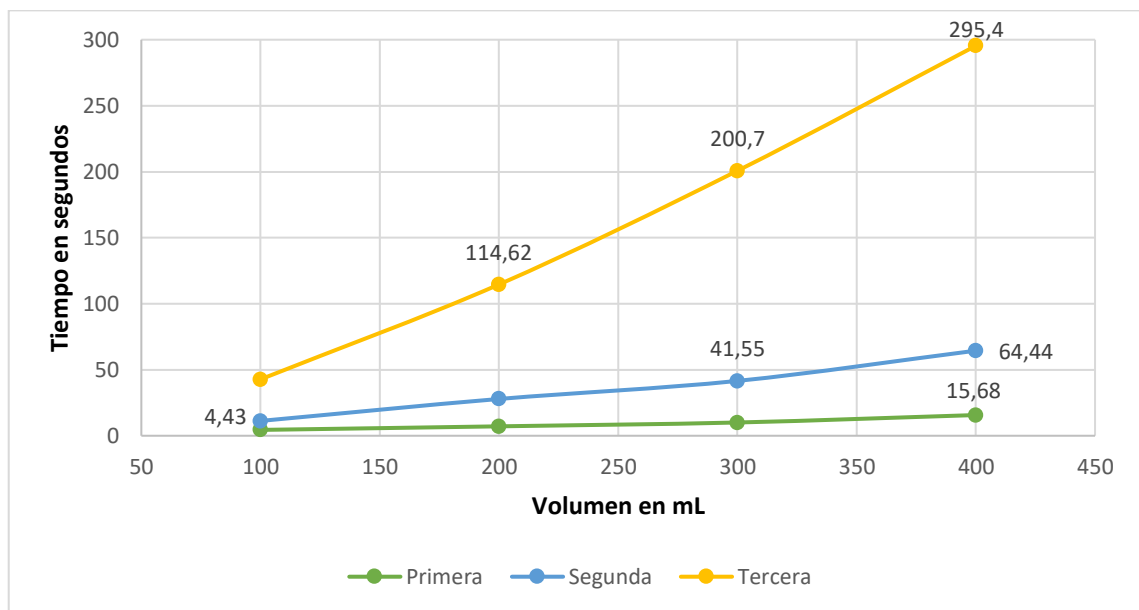
Evolución del tiempo de filtración en Filtro 2 (2,0–2,5 mm)



En la Figura 30 se muestran los tiempos de filtración obtenidos para el filtro 2. En la primera prueba se alcanzaron 400 mL en 150,82 segundos, evidenciándose una obstrucción inicial al demorarse 12,09 segundos en llegar a los primeros 100 mL. En la segunda filtración, el volumen de 400 mL se obtuvo en 178,14 segundos, mientras que en la tercera se alcanzó el mismo volumen en 245,12 segundos. Esta progresión refleja un incremento en la resistencia al flujo del agua del lecho filtrante, asociado a la acumulación de sedimentos y a la reducción de la permeabilidad del medio.

Figura 31

Evolución del tiempo de filtración en Filtro 3 (2,5–3,15 mm)



Finalmente, en la Figura 31 se presentan los tiempos de filtración correspondientes al filtro 3. En la primera prueba, se alcanzaron 100 mL en 4,43 segundos y 400 mL en 15,68 segundos. De la misma manera, en la segunda prueba, se alcanzaron los 100 mL en 11,24 segundos y 400 mL en 64,44 segundos. Sin embargo, la fragmentación de la diatomita cruda resulta más evidente en este lecho, ya que en la tercera filtración el tiempo requerido para obtener 400 mL se incrementó significativamente hasta 295 segundos, reflejando una reducción notable en la permeabilidad del medio filtrante.

Tras la experimentación con diatomita cruda orientada a determinar la granulometría óptima, se seleccionó el rango comprendido entre 2,5 mm y 3,15 mm, por presentar menor nivel de contaminación y mayor velocidad de filtración. No obstante, estos resultados variaron al realizar las pruebas con diatomita activada térmicamente.

3.2.2. Prueba con diatomita activada térmicamente

3.2.2.1. Primera parte: con agua de grifo (limpia)

Se activó térmicamente aproximadamente 500 gramos de diatomita con granulometrías entre (3,15 mm - 2,5 mm) y (2,5 mm – 2,0 mm) respectivamente, posteriormente se hizo los arreglos en los filtros de la siguiente manera:

- En F1, granulometría entre 3,15 mm y 2,5 mm con 15 cm de altura de lecho.
- En F2, granulometría entre 2,5 mm y 2,0 mm con 10 cm de altura de lecho.
- En F3, granulometría entre 2,5 mm y 2,0 mm con 5 cm de altura de lecho.

Se utilizó 400 mL de agua de grifo en cada filtro con el objetivo de ver el comportamiento del filtro con lecho de diatomita activada, la observación se resume en la siguiente tabla.

Tabla 7

Filtros con lecho de diatomita activada térmicamente y agua limpia

BATCH de 400 mL (agua limpia)	Volumen (mL)	1ra filtración (segundos)	2da filtración (segundos)	3ra filtración (segundos)
F1 (3,15 mm - 2,5 mm) 15 cm de altura de lecho	100	Muy Veloz (400 mL en menos de 2 s)	Muy Veloz (400 mL en menos de 2 s)	Muy Veloz (400 mL en menos de 2 s)
	200			
	300			
	400			
F2 (2,5 mm - 2,0 mm) 10 cm de altura de lecho	100	2,31	2,64	2,72
	200	3,74	4,34	4,38
	300	4,76	5,38	5,38
	400	10,20	8,41	9,03
F3 (2,5 mm - 2,0 mm) 5 cm de altura de lecho	100	Muy Veloz (400 mL en menos de 2 s)	Muy Veloz (400 mL en menos de 2 s)	Muy Veloz (400 mL en menos de 2 s)
	200			
	300			
	400			

La Tabla 7 muestra que el flujo de agua fue más rápido y claro al emplear diatomita activada térmicamente en comparación con la diatomita cruda. Tras la activación térmica, el material adquiere mayor estabilidad estructural y deja de desintegrarse, evitando la formación de lodos que obstruyen el medio filtrante. No obstante, debido a la elevada velocidad de paso, se proyectó que la eficiencia de filtración podría disminuir, motivo por el cual se realizaron ensayos adicionales utilizando agua de turbidez sintética controlada entre 700 y 800 NTU.

Tabla 8

Filtros con lecho de diatomita activada térmicamente y solución sintética

BATCH de 400 mL (agua turbia)	OBSERVACIONES
F1 (3,15 mm - 2,5 mm) 15 cm de altura de lecho	Se observó que el agua pasó muy rápido y con ligera disminución de la turbidez, pero con el tiempo se va saturando
F2 (2,5 mm - 2,0 mm) 10 cm de altura de lecho	Se observó que el agua pasó rápido y con ligera disminución de la turbidez inicial
F3 (2,5 mm - 2,0 mm) 5 cm de altura de lecho	Se observó que el agua pasó muy rápido y con muy ligera disminución de la turbidez

En la Tabla 8 se muestra las observaciones obtenidas durante la evaluación de los filtros con agua turbia sintética. Se observó que el filtro F2 logró una ligera disminución de la turbidez en comparación con los demás sistemas evaluados; sin embargo, los valores obtenidos permanecieron elevados y por encima de los niveles aceptables. Esta limitación evidenció la necesidad de reducir aún más la granulometría de la diatomita, con el propósito de incrementar la superficie específica y, en consecuencia, mejorar la eficiencia del proceso de filtración.

Figura 32

Primera filtración con agua turbia



En la Figura 32 se aprecia el vaso de la derecha con solución sintética, y en la izquierda el vaso con el agua que pasó por el filtro, se observa casi nula remoción de turbidez. Tras la experimentación, se decide seguir disminuyendo el tamaño de partícula de la diatomita ya que la remoción de la turbidez es casi nula.

3.2.2.2. Segunda parte: tamaños entre 1,0 mm y 2,0 mm

Se prepararon los filtros según lo indicado en la Tabla 9. La primera prueba se realizó con alimentación continua de agua del grifo y con una altura de lecho de 5 cm, con el propósito de observar el comportamiento hidráulico y verificar si se producía contaminación por fraccionamiento del propio medio filtrante. Posteriormente, se efectuó una segunda prueba utilizando una solución sintética alimentada en modo BATCH con un volumen de 400 mL, con la finalidad de evaluar la capacidad del filtro para reducir la turbidez.

Tabla 9

Tamaños de partícula de diatomita entre 1,0 mm y 2,0 mm

FILTROS	Primera prueba	Segunda Prueba
	Altura de lecho de 5 cm (Agua limpia continua por la llave)	Altura de lecho de 15 cm (BATCH de 400 mL de solución sintética)
F1 comprendido entre (1,25 mm – 1,0 mm)	Inicialmente el agua pasó turbia, pero adquiere transparencia con el paso del agua Qprom: 41,7 cm ³ /s	Se observó aun turbidez, pero se apreció la considerable remoción de esta Qprom: 62,5 cm ³ /s
F2 comprendido entre (1,6 mm – 1,25 mm)	El agua adquiere transparencia en menor tiempo que el filtro F1 Qprom: 65 cm ³ /s	El agua pasó aun con turbidez, aunque se redujo ligeramente Qprom: 64,5 cm ³ /s
F3 comprendido entre (2,0 mm – 1,6 mm)	El agua se aclaró en menor tiempo que el filtro F2 Qprom: 70 cm ³ /s	El agua pasó con turbidez, casi nula remoción Qprom: 81,9 cm ³ /s

El agua siguió pasando considerablemente turbia, se proyectó que fue por el poco tiempo de contacto que tiene el agua turbia con la diatomita activada, y esto se apreció más por la velocidad de filtración que tienen los filtros entre 41,7 cm³/s y 81,9 cm³/s, por lo que se decidió seguir reduciendo el tamaño de partícula.

Figura 33

Filtración con tamaños de partícula entre 1,0 mm y 2,0 mm



En la Figura 33 se muestra la alimentación BATCH de 400 mL de agua turbia, a los filtros, se observó mejoría en el color del agua en comparación con las pruebas anteriores, sin embargo, agua el filtrada siguió siendo considerablemente turbia.

3.2.2.3. Tercera parte: tamaños entre 0,5 mm y 1,0 mm

Se alimentó 200 mL de agua turbia sintética en BATCH con altura de lecho de 10 cm.

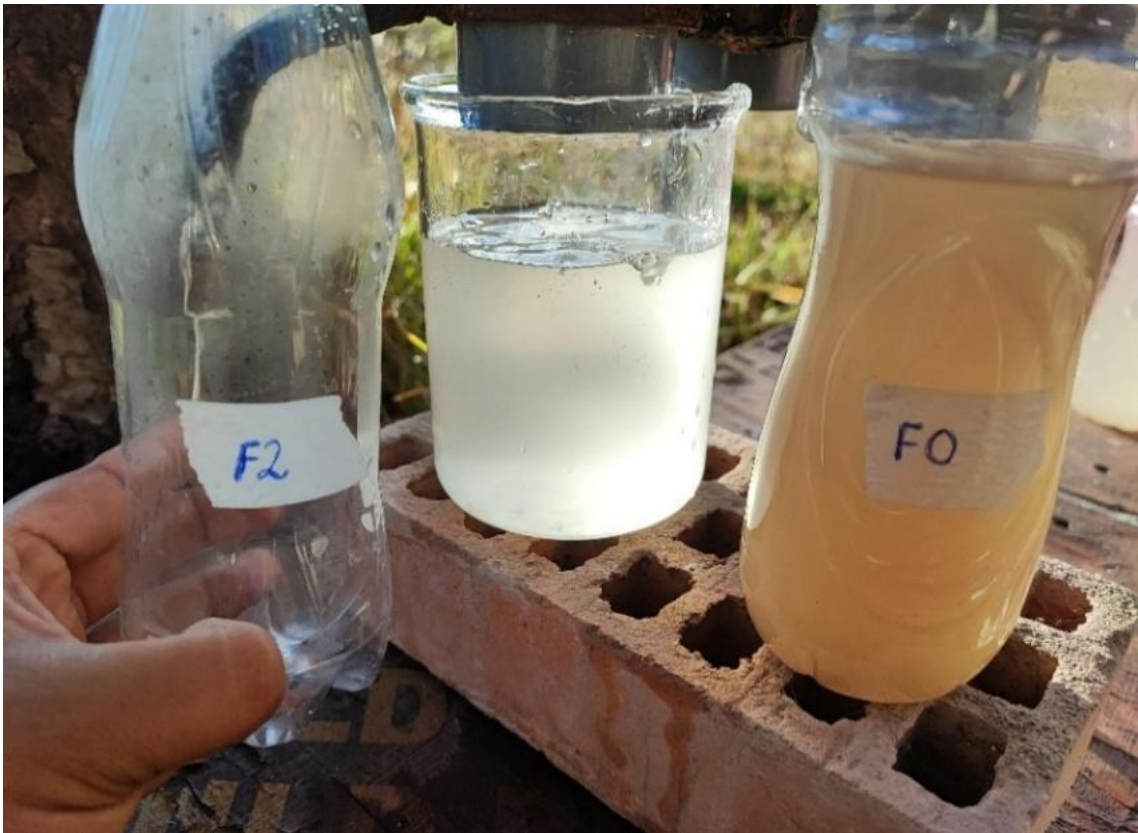
Tabla 10

Tamaños de partícula de diatomita entre 0,5 mm y 1,0 mm

FILTROS	Altura de lecho de 10 cm (BATCH de 200 mL)
F1 comprendido entre (1,0 mm – 0,8 mm)	El agua pasó con menor nubosidad Qprom: 30,2 cm ³ /s
F2 comprendido entre (0,8 mm – 0,63 mm)	El agua no presentó nubosidad, sino transparencia respecto a F1 Qprom: 9,7 cm ³ /s
F3 comprendido entre (0,63 mm – 0,5 mm)	El agua pasó con mayor transparencia que F1 Qprom: 12,7 cm ³ /s

Figura 34

Efluente del filtro F2 (0,8 mm – 0,63 mm)



En la Figura 34 se observó una notable mejora en la claridad del efluente tras la filtración. Sin embargo, la evaluación visual resultó insuficiente para discriminar el rendimiento entre los diferentes filtros. Por ello, se recolectaron muestras de cada filtrado y se determinó cuantitativamente la turbidez residual mediante un turbidímetro, con el fin de comparar objetivamente la eficacia de remoción de cada medio filtrante.

Se etiquetaron de la siguiente manera:

- BKF: Agua de grifo que pasó por el filtro F3 (testigo de contaminación).
- F3: filtro que contiene los tamaños entre (0,63 mm – 0,5 mm).
- F2: filtro que contiene los tamaños entre (0,8 mm – 0,63 mm).
- F1: filtro que contiene los tamaños entre (1,0 mm – 0,8 mm).
- F0: agua turbia sin filtrar.

Figura 35

Efluentes de la última prueba de filtración



Las muestras de efluentes de la filtración recolectadas fueron analizadas con el turbidímetro digital de SEDA Cabrapata.

Tabla 11

Turbidez de muestras de agua tratadas por filtración

ITEM	LECTURAS DE TURBIDEZ SEDA Cabrapata (NTU)
	1,78
BKF	1,63
	1,50
F3 (0,63 mm – 0,5 mm)	53,4
	53,2
	52,9
F2 (0,8 mm – 0,63 mm)	81
	81,2
	81,7
F1 (1,0 mm – 0,8 mm)	262
	263
	261
F0 (agua turbia sin filtrar)	778
	747
	737

Se decidió no continuar reduciendo el tamaño de partícula, debido a que una disminución adicional habría reducido aún más la velocidad de filtración. Asimismo, se observó una marcada disminución de la turbidez en el filtro F3, pasando de un promedio de 754 NTU a 53,2 NTU, lo que representó una remoción del 92,95%. En consecuencia, **se estableció que la granulometría óptima correspondió a la empleada en el filtro F3 (0,50 mm – 0,63 mm).**

3.2.3. Prueba con fundente

Se realizó una prueba con 4,762 % en peso de Na_2CO_3 como fundente, con la finalidad de observar el comportamiento en comparación de la diatomita activada térmicamente sin fundente. Para esta prueba se usó agua turbia sintética entre un rango de 100 – 120 NTU. Se pesó 40 g de Na_2CO_3 y 800 g de diatomita y se activó térmicamente a 800 °C.

Se realizó la prueba de filtración con 5 cm de altura de lecho comparando la diatomita activada térmicamente a 800 °C con y sin fundente generando los siguientes resultados:

Tabla 12

Comparación usando fundente de Na_2CO_3 y sin fundente en la filtración

	Agua turbia sintética	SIN FUNDENTE	CON FUNDENTE
Lectura	116	17	15,3
(NTU)	101	16,7	15,1
	105	16,6	15,3
Promedio			
(NTU)	107,33	16,77	15,23

En la Tabla 12 se observó que la remoción de turbidez alcanzó un 85,8% al emplear fundente, mientras que sin fundente se obtuvo un 84,4%, evidenciándose un incremento ligero en la eficiencia al incorporar el fundente. En función de estos resultados, se decidió **utilizar el fundente** en las siguientes etapas de activación térmica.

3.3. ACTIVACIÓN TÉRMICA DE LA DIATOMITA

Se procedió a activar térmicamente la diatomita con granulometría óptima seleccionada a temperaturas de 700 °C, 800 °C y 900 °C usando 4,762 % en peso de fundente Na_2CO_3 .

Se inició con la temperatura de 800 °C y 30 minutos de activación térmica a esa temperatura, luego 900 °C con solo 10 minutos y finalmente 700 °C con 20 minutos.

3.3.1. Activación térmica a 800 °C

Se activó térmicamente 800 g de la diatomita seleccionada y 40 g de Na₂CO₃ como fundente. Iniciando a las 10:10, llegando a la temperatura de 800 °C a las 12:05, y manteniendo a esta temperatura por 30 minutos hasta las 12:35 para finalmente dejar enfriar por sí solo hasta que sea seguro de manipular el material.

Tabla 13

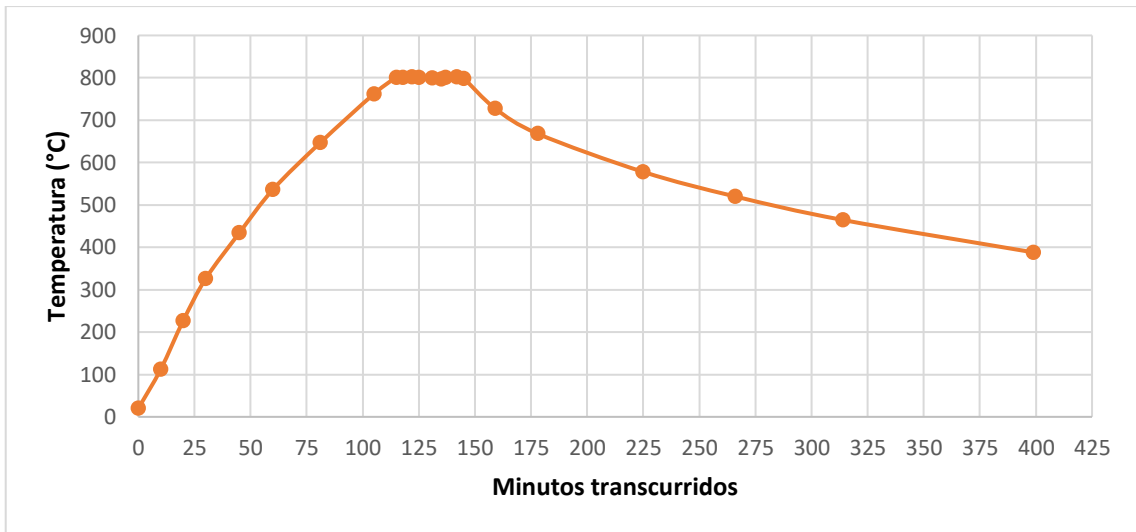
Temperatura en la activación térmica de la diatomita a 800 °C

HORA	Minutos transcurridos	T1 (horno) (°C)	T2 (termocupla) (°C)	T Promedio (°C)
Inicio: 10:10	0	20	20	20
10:20	10	109	116	112,5
10:30	20	227	227	227
10:40	30	336	316	326
10:55	45	452	416	434
11:10	60	554	519	536,5
11:31	81	663	630	646,5
11:55	105	777	747	762
Set: 12:05	115	816	786	801
12:08	118	816	785	800,5
12:12	122	817	786	801,5
12:15	125	816	786	801
12:21	131	814	784	799
12:25	135	812	782	797
12:27	137	815	785	800
12:32	142	816	787	801,5
Fin: 12:35	145	813	784	798,5
12:49	159	741	714	727,5
13:08	178	680	656	668
13:55	225	588	568	578
14:36	266	531	509	520
15:24	314	475	454	464,5
16:49	399	398	378	388

La Tabla 13 muestra el tiempo y la temperatura del horno en la activación térmica de la diatomita a 800 °C con fundente. Para el control de esta y las posteriores activaciones térmicas se realizó el promedio de las dos temperaturas tanto de la temperatura que indicaba el tablero de control del horno y de la temperatura de la termocupla.

Figura 36

Perfil térmico de activación a 800 °C en función del tiempo (min)



La Figura 36 presenta la evolución térmica del proceso de activación, en el cual se alcanzó una temperatura de 800 °C tras 115 minutos de calentamiento. Posteriormente, se mantuvo dicha temperatura de forma controlada durante 30 minutos. Finalizado este periodo, se procedió al apagado del horno para permitir el enfriamiento progresivo hasta alcanzar una temperatura segura.

Figura 37

Registro de la temperatura de 800 °C según la termocupla



3.3.2. Activación térmica a 900 °C

Se activó térmicamente 800 g de la diatomita seleccionada y 40 g de Na₂CO₃ como fundente. Iniciando a las 11:32, llegando a la temperatura de 900 °C a las 13:49, y manteniendo a esta temperatura por 10 minutos hasta las 13:59 para finalmente dejar enfriar por sí solo hasta que sea seguro de manipular el material.

Tabla 14

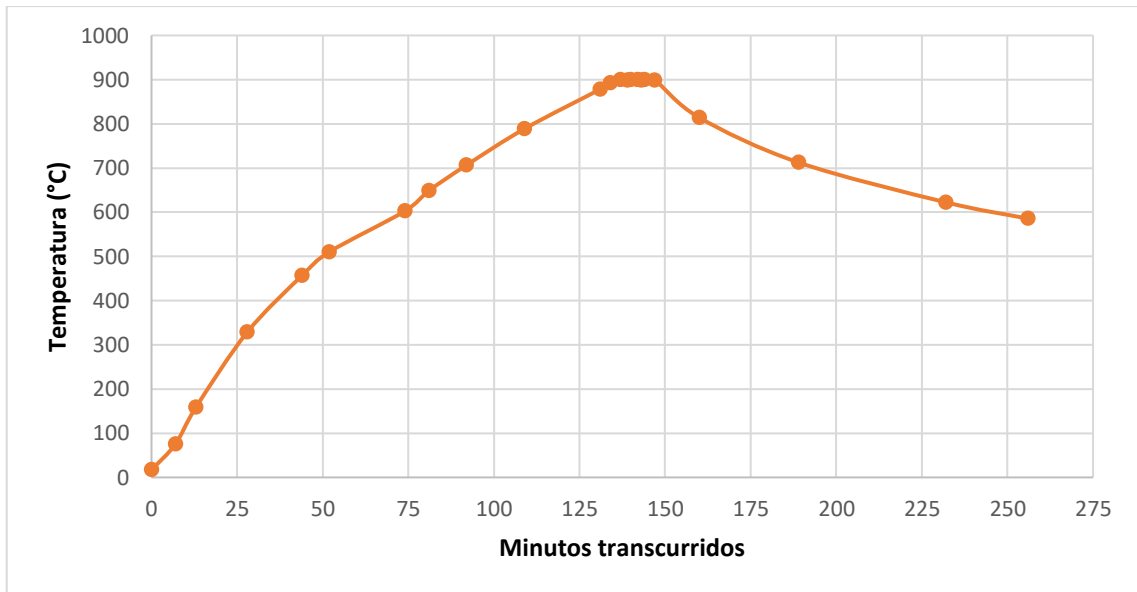
Temperatura en la activación térmica de la diatomita a 900 °C

HORA	Minutos transcurridos	T1 (horno) (°C)	T2 (termocupla) (°C)	T Promedio (°C)
Inicio: 11:32	0	17	17	17
11:39	7	72	79	75,5
11:45	13	152	166	159
12:00	28	326	332	329
12:16	44	466	448	457
12:24	52	521	500	510,5
12:46	74	610	595	602,5
12:53	81	656	641	648,5
13:04	92	714	699	706,5
13:21	109	797	781	789
13:43	131	887	869	878
13:46	134	901	883	892
Set: 13:49	137	909	891	900
13:51	139	908	888	898
13:52	140	909	891	900
13:54	142	909	891	900
13:55	143	908	889	898,5
13:56	144	909	891	900
Fin: 13:59	147	908	890	899
14:12	160	822	806	814
14:41	189	718	707	712,5
15:24	232	627	618	622,5
15:48	256	590	581	585,5

La Tabla 14 muestra el tiempo y la temperatura del horno en la activación térmica de la diatomita a 900 °C con fundente. Se controló solo por 10 minutos a 900 °C, es decir menos tiempo que en los demás casos, esto debido a que mientras más tiempo está a esta temperatura la diatomita se va cristalizando y aglomerando al fondo del recipiente.

Figura 38

Perfil térmico de activación a 900 °C en función del tiempo (min)



La Figura 38 muestra el tiempo transcurrido en minutos, alcanzando la temperatura de 900 °C luego de 137 minutos, se controló a temperatura constante de 900 °C por 10 minutos, finalmente se apagó el horno para así enfriar hasta una temperatura segura.

Figura 39

Registro de la temperatura de 900 °C según la termocupla



3.3.3. Activación térmica a 700 °C

Se activó térmicamente 800 g de la diatomita seleccionada y 40 g de Na₂CO₃ como fundente. Iniciando a las 10:08, llegando a la temperatura de 700 °C a las 11:34, y manteniendo a esta temperatura por 20 minutos hasta las 11:54 para finalmente dejar enfriar por sí solo hasta que sea seguro de manipular el material.

Tabla 15

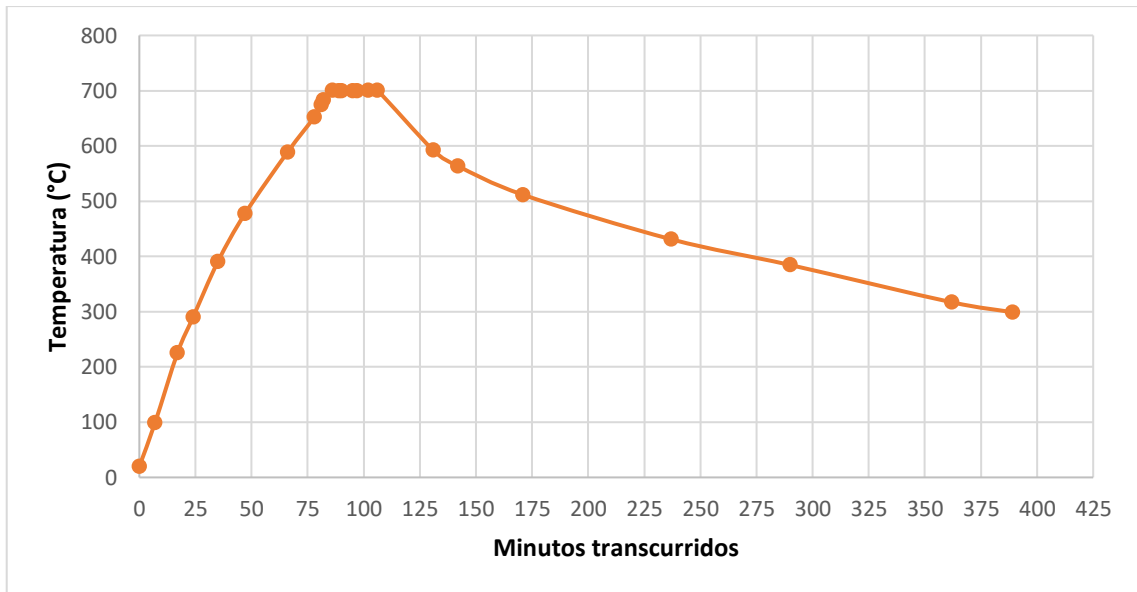
Temperatura en la activación térmica de la diatomita a 700 °C

HORA	Minutos transcurridos	T1 (horno) (°C)	T2 (termocupla) (°C)	T Promedio (°C)
Inicio: 10:08	0	19	21	20
10:15	7	100	98	99
10:25	17	221	230	225,5
10:32	24	292	289	290,5
10:43	35	402	379	390,5
10:55	47	491	463	477
11:14	66	605	572	588,5
11:26	78	669	636	652,5
11:29	81	685	663	674
11:30	82	691	675	683
Set: 11:34	86	707	694	700,5
11:37	89	708	691	699,5
11:38	90	709	691	700
11:43	95	707	692	699,5
11:45	97	708	692	700
11:50	102	708	694	701
Fin: 11:54	106	708	693	700,5
12:19	131	601	583	592
12:30	142	572	555	563,5
12:59	171	520	503	511,5
14:05	237	439	423	431
14:58	290	392	377	384,5
16:09	362	337	297	317
16:36	389	318	280	299

La Tabla 15 muestra el tiempo y la temperatura del horno en la activación térmica de la diatomita a 700 °C con fundente. Se promedió las temperaturas tanto del tablero de control del horno y de la temperatura de la termocupla.

Figura 40

Perfil térmico de activación a 700 °C en función del Tiempo (min)



La Figura 40 muestra el tiempo transcurrido en minutos, alcanzando la temperatura de 700 °C luego de 86 minutos, se controló a temperatura constante de 700 °C por 20 minutos, finalmente se apagó el horno para así enfriar hasta una temperatura segura.

Figura 41

Registro de la temperatura de 900 °C según la termocupla



3.3.4. Comparación de la diatomita tras la activación térmica

Tabla 16

Cuadro comparativo de la activación térmica a 3 temperaturas de la diatomita

	Activación térmica a 800 °C	Activación térmica a 900 °C	Activación térmica a 700 °C
Tiempo de activación térmica	30 minutos	10 minutos	20 minutos
Relación peso/volumen	0,368 g/cm ³	0,37 g/cm ³	0,37 g/cm ³
Color	Naranja terroso	Naranja	Levemente naranja
Masa inicial	840 gramos	840 gramos	840 gramos
Masa final	730,8 gramos	727,0 gramos	744,5 gramos
% de pérdida	13 %	13,45 %	11,36 %
Observación	Se observó algo de aglomeración de la diatomita pegadas en la base del recipiente	Se observó mucha más aglomeración pegada en la base del recipiente	Se observó mucho menos aglomeración de diatomita

Figura 42

Diatomita tras el proceso de activación térmica



En la Figura 42 se muestra la diatomita activada a tres las temperaturas.

3.4. EVALUACION DE LOS FILTROS

Se realizaron pruebas con tres muestras de agua del ingreso al STPACH del C.P de Intay de diferente turbidez, previamente recolectadas en diferentes días. Las pruebas se realizaron por triplicado obteniéndose tres lecturas de turbidez.

Para mayor simplicidad, los códigos de las muestras RLUR_M01_(A, B, C) se denominarán solo (muestra A, muestra B y muestra C) respectivamente.

3.4.1. Prueba de filtrado con diatomita activada a 700 °C

Se presentan las lecturas de turbidez de las filtraciones de las muestras A, B y C con 10, 20 y 30 cm de altura de lecho y 700 °C de diatomita activada con fundente.

3.4.1.1. Prueba de filtrado con la muestra A y 700 °C

Tabla 17

Turbidez del filtrado de la muestra A evaluada con diatomita activada a 700 °C

Muestra A							
Ensayo	Código	Día	Altura (cm)	Lectura inicial (NTU)	Lectura del filtrado (NTU)		
1	F1_700_10_M01_A	18/02/2025	10	441	4,05	3,84	4,64
2	F1_700_20_M01_A	18/02/2025	20	413	3,01	3,55	3,00
3	F1_700_30_M01_A	18/02/2025	30	434	8,39	8,39	8,30

Nota: El código F1_700_10_M01_A significa: Muestra de agua "A" de fecha 18/02/2025 que pasó por el Filtro 1 que contiene de 10 cm de lecho de diatomita activada a 700 °C.

Según la Tabla 17, se tiene que:

- La turbidez inicial fue en promedio 429,33 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 10 cm de altura y 700 °C de diatomita activada fue en promedio de 4,18 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 20 cm de altura y 700 °C de diatomita activada fue en promedio de **3,19 NTU**.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 30 cm de altura y 700 °C de diatomita activada fue en promedio de 8,36 NTU.

Entonces el arreglo de 20 cm de altura y 700 °C de diatomita activada fue el que mejor remoción tuvo (**3,19 NTU**) con respecto a la turbidez inicial que fue de 429,33 NTU.

3.4.1.2. Prueba de filtrado con la muestra B y 700 °C

Tabla 18

Turbidez del filtrado de la muestra B evaluada con diatomita activada a 700 °C

Muestra B							
Ensayo	Código	Día	Altura (cm)	Lectura inicial (NTU)	Lectura del filtrado (NTU)		
1	F1_700_10_M01_B	21/02/2025	10	542,00	6,78	6,94	6,83
2	F1_700_20_M01_B	21/02/2025	20	550,00	5,14	5,08	4,95
3	F1_700_30_M01_B	21/02/2025	30	539,00	11,03	11,17	11,24

Nota: El código F1_700_20_M01_B significa: Muestra de agua "B" de fecha 21/02/2025 que pasó por el Filtro 1 que contiene de 20 cm de lecho de diatomita activada a 700 °C.

Según la Tabla 18, se tiene que:

- La turbidez inicial fue en promedio 547,67 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 10 cm de altura y 700 °C de diatomita activada fue en promedio de 6,85 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 20 cm de altura y 700 °C de diatomita activada fue en promedio de **5,06 NTU**.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 30 cm de altura y 700 °C de diatomita activada fue en promedio de 11,15 NTU.

Entonces el arreglo de 20 cm de altura y 700 °C de diatomita activada fue el que mejor remoción tuvo (**5,06 NTU**) con respecto a la turbidez inicial que fue de 547,67 NTU.

3.4.1.3. Prueba de filtrado con la muestra C y 700 °C

Tabla 19

Turbidez del filtrado de la muestra C evaluada con diatomita activada a 700 °C

Muestra C							
Ensayo	Código	Día	Altura (cm)	Lectura inicial (NTU)	Lectura del filtrado (NTU)		
1	F1_700_10_M01_C	03/03/2025	10	514,00	5,72	5,55	5,59
2	F1_700_20_M01_C	03/03/2025	20	499,00	4,48	4,24	4,33
3	F1_700_30_M01_C	03/03/2025	30	506,00	10,19	10,05	9,99

Nota: El código F1_700_30_M01_C significa: Muestra de agua "C" de fecha 03/03/2025 que pasó por el Filtro 1 que contiene de 30 cm de lecho de diatomita activada a 700 °C.

Según la Tabla 19, se tiene que:

- La turbidez inicial fue en promedio 506,33 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 10 cm de altura y 700 °C de diatomita activada fue en promedio de 5,62 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 20 cm de altura y 700 °C de diatomita activada fue en promedio de **4,35 NTU**.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 30 cm de altura y 700 °C de diatomita activada fue en promedio de 10,08 NTU.

Entonces el arreglo de 20 cm de altura y 700 °C de diatomita activada fue el que mejor remoción tuvo (**4,35 NTU**) con respecto a la turbidez inicial que fue de 506,33 NTU.

3.4.2. Prueba de filtrado con diatomita activada a 800 °C

3.4.2.1. Prueba de filtrado con la muestra A a 800 °C

Tabla 20

Turbidez del filtrado de la muestra A con diatomita activada a 800 °C

Muestra A							
Ensayo	Código	Día	Altura (cm)	Lectura inicial (NTU)	Lectura del filtrado (NTU)		
1	F2_800_10_M01_A	18/02/2025	10	447,00	1,22	1,29	1,27
2	F2_800_20_M01_A	18/02/2025	20	443,00	2,50	2,28	2,33
3	F2_800_30_M01_A	18/02/2025	30	452,00	5,81	5,81	5,83

Nota: El código F2_800_10_M01_A significa: Muestra de agua "A" de fecha 18/02//2025 que pasó por el Filtro 2 que contiene de 10 cm de lecho de diatomita activada a 800 °C.

Según la Tabla 20, se tiene que:

- La turbidez inicial fue en promedio 447,33 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 10 cm de altura y 800 °C de diatomita activada fue en promedio de **1,26 NTU**.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 20 cm de altura y 800 °C de diatomita activada fue en promedio de 2,37 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 30 cm de altura y 800 °C de diatomita activada fue en promedio de 5,82 NTU.

Entonces el arreglo de 10 cm de altura y 800 °C de diatomita activada fue el que mejor remoción tuvo (**1,26 NTU**) con respecto a la turbidez inicial que fue de 447,33 NTU.

3.4.2.2. Prueba de filtrado con la muestra B a 800 °C

Tabla 21

Turbidez del filtrado de la muestra B evaluada con diatomita activada a 800 °C

Muestra B							
Ensayo	Código	Día	Altura (cm)	Lectura inicial (NTU)	Lectura del filtrado (NTU)		
1	F2_800_10_M01_B	21/02/2025	10	537,00	2,69	2,94	2,86
2	F2_800_20_M01_B	21/02/2025	20	551,00	3,72	3,58	3,81
3	F2_800_30_M01_B	21/02/2025	30	546,00	8,47	8,78	8,59

Nota: El código F2_800_20_M01_B significa: Muestra de agua "B" de fecha 21/02//2025 que pasó por el Filtro 2 que contiene de 20 cm de lecho de diatomita activada a 800 °C.

Según la Tabla 21, se tiene que:

- La turbidez inicial fue en promedio 544,67 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 10 cm de altura y 800 °C de diatomita activada fue en promedio de **2,83 NTU**.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 20 cm de altura y 800 °C de diatomita activada fue en promedio de 3,70 NTU
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 30 cm de altura y 800 °C de diatomita activada fue en promedio de 8,61 NTU

Entonces el arreglo de 10 cm de altura y 800 °C de diatomita activada fue el que mejor remoción tuvo (**2,83 NTU**) con respecto a la turbidez inicial que fue de 544,67 NTU.

3.4.2.3. Prueba de filtrado con la muestra C a 800 °C

Tabla 22

Turbidez del filtrado de la muestra C evaluada con diatomita activada a 800 °C

Muestra C							
Ensayo	Código	Día	Altura (cm)	Lectura inicial (NTU)	Lectura del filtrado (NTU)		
1	F2_800_10_M01_C	03/03/2025	10	508,00	2,11	2,33	2,17
2	F2_800_20_M01_C	03/03/2025	20	497,00	3,17	3,31	2,97
3	F2_800_30_M01_C	03/03/2025	30	495,00	7,02	7,19	6,94

Según la Tabla 22, se tiene que:

- La turbidez inicial fue en promedio 500,0 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 10 cm de altura y 800 °C de diatomita activada fue en promedio de **2,20 NTU**.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 20 cm de altura y 800 °C de diatomita activada fue en promedio de 3,15 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 30 cm de altura y 800 °C de diatomita activada fue en promedio de 7,05 NTU.

Entonces el arreglo de 10 cm de altura y 800 °C de diatomita activada fue el que mejor remoción tuvo (**2,20 NTU**) con respecto a la turbidez inicial que fue de 500,0 NTU.

3.4.3. Prueba de filtrado con diatomita activada a 900 °C

3.4.3.1. Prueba de filtrado con la muestra A a 900 °C

Tabla 23

Turbidez del filtrado de la muestra A evaluada con diatomita activada a 900 °C

Muestra A							
Ensayo	Código	Día	Altura (cm)	Lectura inicial (NTU)	Lectura del filtrado (NTU)		
1	F3_900_10_M01_A	18/02/2025	10	467,00	5,01	4,74	4,80
2	F3_900_20_M01_A	18/02/2025	20	450,00	5,17	5,22	5,18
3	F3_900_30_M01_A	18/02/2025	30	441,00	4,81	5,06	4,89

Nota: El código F3_900_10_M01_A significa: Muestra de agua "A" de fecha 18/02//2025 que pasó por el Filtro 3 que contiene de 10 cm de lecho de diatomita activada a 900 °C.

Según la Tabla 23, se tiene que:

- La turbidez inicial fue en promedio 452,67 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 10 cm de altura y 900 °C de diatomita activada fue en promedio de **4,85 NTU**.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 20 cm de altura y 900 °C de diatomita activada fue en promedio de 5,19 NTU
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 30 cm de altura y 900 °C de diatomita activada fue en promedio de 4,92 NTU.

Entonces el arreglo de 10 cm de altura y 900 °C de diatomita activada fue el que mejor remoción tuvo (**4,85 NTU**) con respecto a la turbidez inicial que fue de 452,67 NTU.

3.4.3.2. Prueba de filtrado con la muestra B a 900 °C

Tabla 24

Turbidez del filtrado de la muestra B evaluada con diatomita activada a 900 °C

Muestra B							
Ensayo	Código	Día	Altura (cm)	Lectura inicial (NTU)	Lectura del filtrado (NTU)		
1	F3_900_10_M01_B	21/02/2025	10	527,00	9,98	10,27	10,16
2	F3_900_20_M01_B	21/02/2025	20	534,00	8,72	8,84	8,81
3	F3_900_30_M01_B	21/02/2025	30	557,00	7,44	7,22	7,34

Nota: El código F3_900_20_M01_B significa: Muestra de agua "B" de fecha 21/02//2025 que pasó por el Filtro 3 que contiene de 20 cm de lecho de diatomita activada a 900 °C.

Según la Tabla 24, se tiene que:

- La turbidez inicial fue en promedio 539,33 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 10 cm de altura y 900 °C de diatomita activada fue en promedio de 10,14 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 20 cm de altura y 900 °C de diatomita activada fue en promedio de 8,79 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 30 cm de altura y 900 °C de diatomita activada fue en promedio de **7,33 NTU**.

Entonces el arreglo de 30 cm de altura y 900 °C de diatomita activada fue el que mejor remoción tuvo (**7,33 NTU**) con respecto a la turbidez inicial que fue de 539,33 NTU.

3.4.3.3. Prueba de filtrado con la muestra C a 900 °C

Tabla 25

Turbidez del filtrado de la muestra C evaluada con diatomita activada a 900 °C

Muestra C							
Ensayo	Código	Día	Altura (cm)	Lectura inicial (NTU)	Lectura del filtrado (NTU)		
1	F3_900_10_M01_C	03/03/2025	10	497,00	8,61	8,88	8,71
2	F3_900_20_M01_C	03/03/2025	20	510,00	7,72	7,82	7,48
3	F3_900_30_M01_C	03/03/2025	30	503,00	6,29	6,14	6,35

Según la Tabla 25, se tiene que:

- La turbidez inicial fue en promedio 503,33 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 10 cm de altura y 900 °C de diatomita activada fue en promedio de 8,73 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 20 cm de altura y 900 °C de diatomita activada fue en promedio de 7,67 NTU.
- La turbidez tras la filtración en un arreglo del lecho de 30 cm de altura y 900 °C de diatomita activada fue en promedio de **6,26 NTU**.

Entonces el arreglo de 30 cm de altura y 900 °C de diatomita activada fue el que mejor remoción tuvo (**6,26 NTU**) con respecto a la turbidez inicial que fue de 503,33 NTU.

Se adecuaron los filtros con las alturas a evaluar, esto se muestra en la Figura 43.

Figura 43

Preparación de los filtros para la evaluación



Nota: En la Figura 43 se observa el acondicionamiento de los filtros con lechos de diatomita activada térmicamente con fundente.

Figura 44

Recolección de muestras filtradas de agua RLUR_M01_A



Nota: Envases estériles para tomas del filtrado

Figura 45

Muestras filtradas de agua RLUR_M01_A



Nota: Lecturas de las muestras en SEDA Cabrapata

3.5. RESUMEN DE LOS RESULTADOS

3.5.1. Muestra RLUR_M01_A

Tabla 26

Filtración de la muestra A

Muestra A			
Descripción	Código de Muestra	Promedio (NTU)	% de Remoción
Agua turbia usada con la diatomita de 700 °C	RLUR M01_A_700	429,33	
Agua turbia usada con la diatomita de 800 °C	RLUR M01_A_800	447,33	
Agua turbia usada con la diatomita de 900 °C	RLUR M01_A_900	452,67	
Con diatomita a 700 °C y 10 cm de altura de lecho	F1_700_10	4,18	99,03%
Con diatomita a 700 °C y 20 cm de altura de lecho	F1_700_20	3,19	99,26%
Con diatomita a 700 °C y 30 cm de altura de lecho	F1_700_30	8,36	98,05%
Con diatomita a 800 °C y 10 cm de altura de lecho	F2_800_10	1,26	99,72%
Con diatomita a 800 °C y 20 cm de altura de lecho	F2_800_20	2,37	99,47%
Con diatomita a 800 °C y 30 cm de altura de lecho	F2_800_30	5,82	98,70%
Con diatomita a 900 °C y 10 cm de altura de lecho	F3_900_10	4,85	98,93%
Con diatomita a 900 °C y 20 cm de altura de lecho	F3_900_20	5,19	98,85%
Con diatomita a 900 °C y 30 cm de altura de lecho	F3_900_30	4,92	98,91%
Agua de grifo (Agua limpia)	0_BKR	1,43	
Agua de grifo que pasó por el filtro 1 (700 °C)	1_BKR	1,23	
Agua de grifo que pasó por el filtro 2 (800 °C)	2_BKR	1,32	
Agua de grifo que pasó por el filtro 3 (900 °C)	3_BKR	1,43	

Nota: El Filtro 1 (F1) contiene diatomita activada térmicamente a 700 °C, el F2 contiene diatomita activada térmicamente a 800 °C y el F3 contiene diatomita activada térmicamente a 900 °C, los BKR son controles para observar la contaminación del filtro sobre un agua limpia.

Para la determinación del porcentaje de remoción se hizo el siguiente cálculo:

$$\%Remoción = \left(1 - \frac{Turb_1}{Turb_2}\right) * 100$$

Para la muestra: F1_700_20, siendo:

Turb₁: Turbidez del efluente filtrado: F1_700_20 = 3,19

Turb₂: Turbidez de la muestra de agua del STPACH de Intay = **429,33**

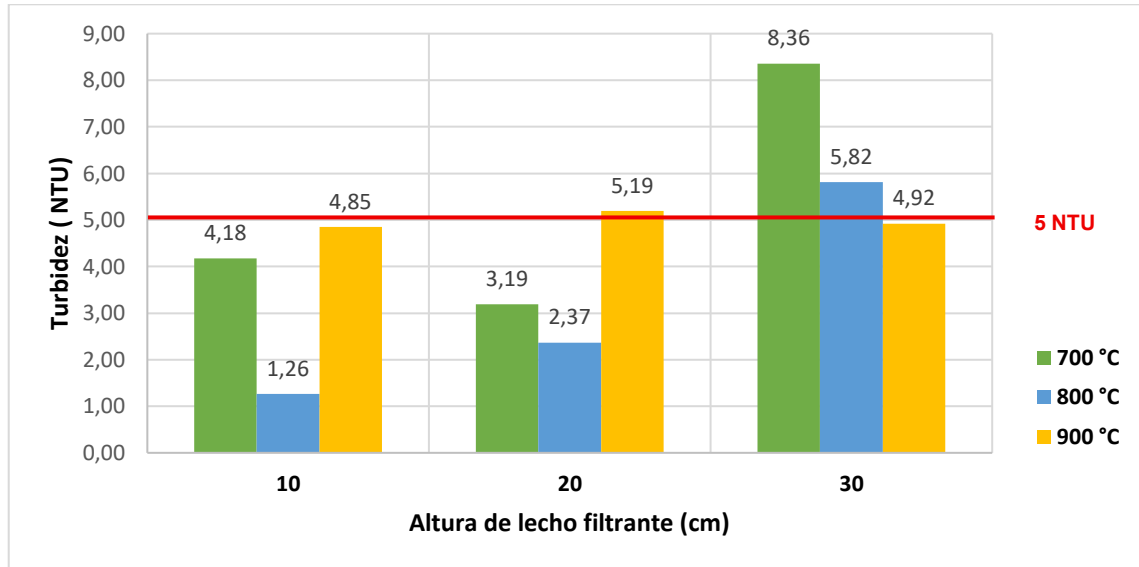
$$\%Remoción = \left(1 - \frac{3,19}{429,33}\right) * 100 \rightarrow \%Remoción = 99,26$$

Obteniéndose así una remoción del 99,26 %

En las siguientes Figuras, las barras de color verde, azul y amarillo representan las temperaturas de activación de 700 °C, 800 °C y 900 °C respectivamente.

Figura 46

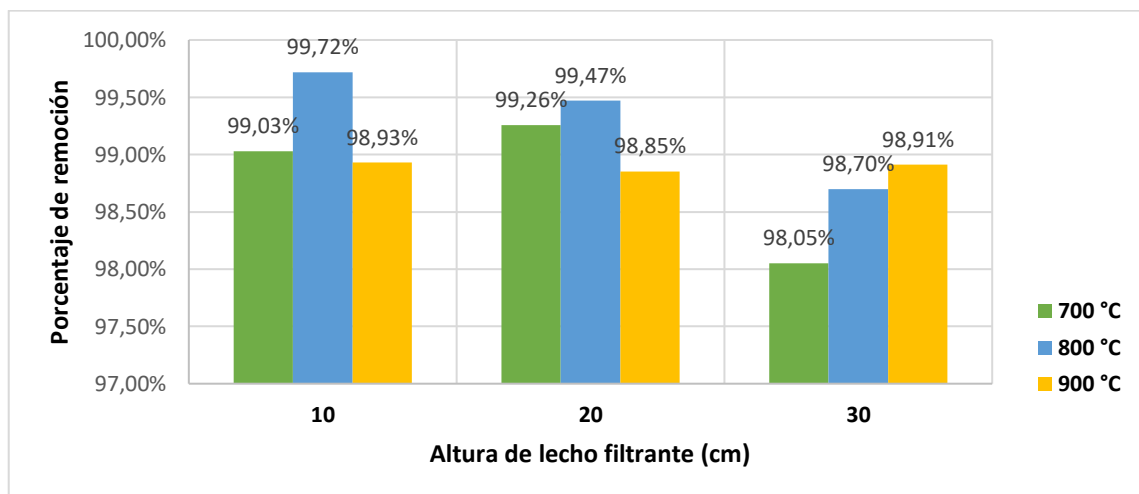
Filtración de la muestra A en función de la altura y temperatura



En la Figura 46 a 10 cm de altura del lecho, todas las pruebas de turbidez estuvieron por debajo de 5 NTU. A 20 cm, solo la evaluación con diatomita activada a 900 °C superó ligeramente este límite. Finalmente, a 30 cm, solo la evaluación a 900 °C estuvo por debajo del LMP de 5 NTU.

Figura 47

Remoción de la turbidez en función de la temperatura y altura del lecho filtrante tras la filtración con la muestra A



En la Figura 47 se muestra que el filtro más eficiente para la muestra A fue del lecho de 10 cm de diatomita activada a 800 °C, con 99,72 % de remoción de turbidez.

3.5.2. Muestra RLUR_M01_B

Tabla 27

Filtración la muestra B

Muestra B			
Descripción	Código de Muestra	Promedio NTU	% de Remoción
Agua turbia usada con la diatomita de 700 °C	RLUR M01_B_700	543,67	
Agua turbia usada con la diatomita de 800 °C	RLUR M01_B_800	544,67	
Agua turbia usada con la diatomita de 900 °C	RLUR M01_B_900	539,33	
Con diatomita a 700 °C y 10 cm de altura de lecho	F1_700_10	6,85	98,74%
Con diatomita a 700 °C y 20 cm de altura de lecho	F1_700_20	5,06	99,07%
Con diatomita a 700 °C y 30 cm de altura de lecho	F1_700_30	11,15	97,95%
Con diatomita a 800 °C y 10 cm de altura de lecho	F2_800_10	2,83	99,48%
Con diatomita a 800 °C y 20 cm de altura de lecho	F2_800_20	3,70	99,32%
Con diatomita a 800 °C y 30 cm de altura de lecho	F2_800_30	8,61	98,42%
Con diatomita a 900 °C y 10 cm de altura de lecho	F3_900_10	10,14	98,12%
Con diatomita a 900 °C y 20 cm de altura de lecho	F3_900_20	8,79	98,37%
Con diatomita a 900 °C y 30 cm de altura de lecho	F3_900_30	7,33	98,64%
Agua de grifo (Agua limpia)	0_BKR	1,47	
Agua de grifo que pasó por el filtro 1 (700 °C)	1_BKR	1,20	
Agua de grifo que pasó por el filtro 2 (800 °C)	2_BKR	1,33	
Agua de grifo que pasó por el filtro 3 (900 °C)	3_BKR	1,50	

Los BKR son controles para observar la contaminación del filtro sobre un agua limpia, siendo 0_BKR el agua del grifo.

Para la determinación del porcentaje de remoción se hizo el siguiente cálculo:

$$\%Remoción = \left(1 - \frac{Turb_1}{Turb_2}\right) * 100$$

Para la muestra: F2_800_10

Siendo:

Turb₁: Turbidez del efluente filtrado: F2_800_10 = 2,83

Turb₂: Turbidez de la muestra de agua del STPACH de Intay = **544,67**

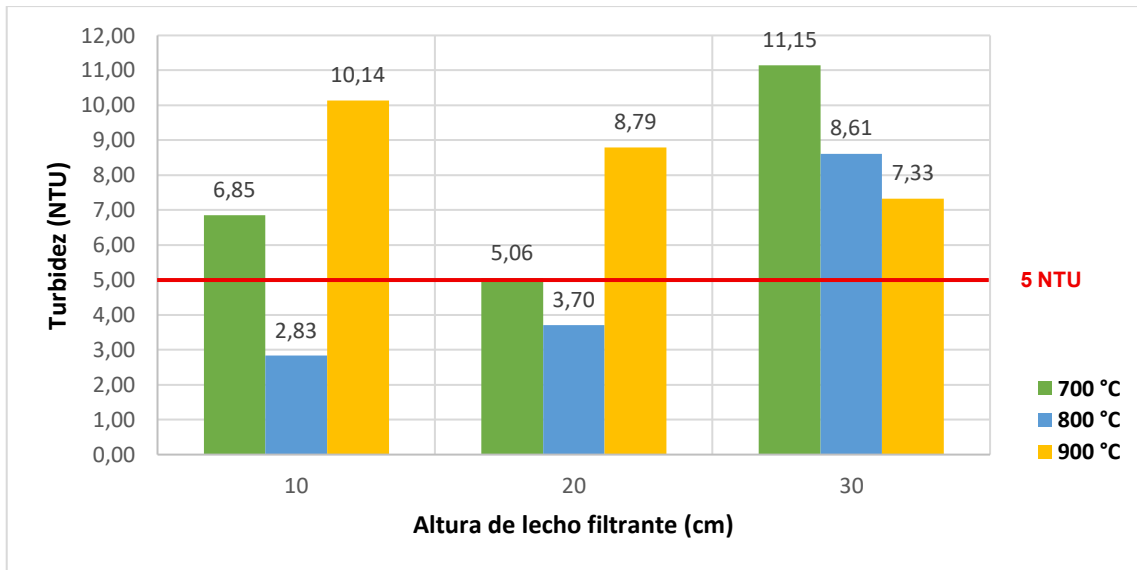
$$\%Remoción = \left(1 - \frac{2,83}{544,67}\right) * 100$$

$$\%Remoción = 99,48$$

Obteniéndose así una remoción del 99,48 %

Figura 48

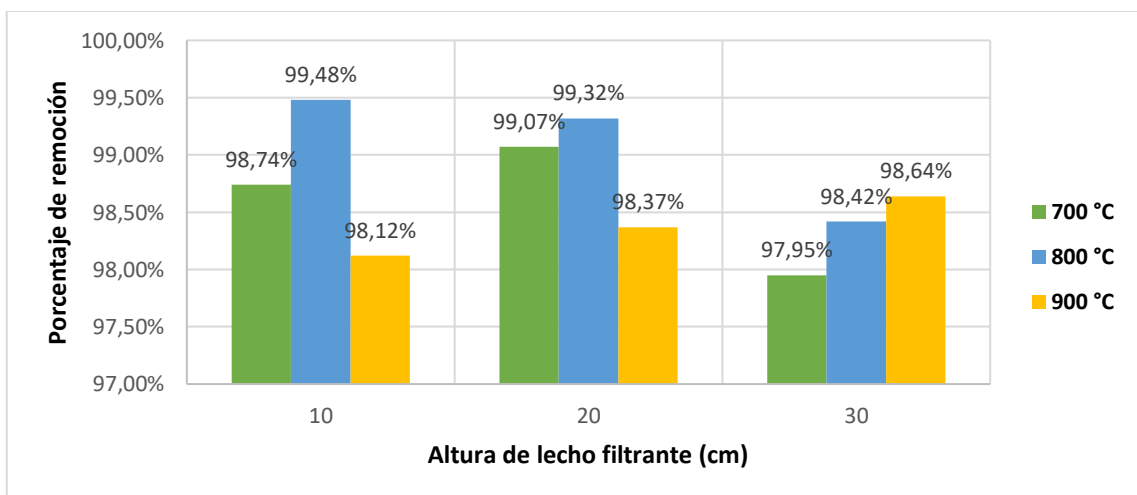
Filtración de la muestra B en función de la altura y temperatura



En la Figura 48 se observa que, a una altura de lecho de 10 cm, solo la evaluación de la turbidez con diatomita activada térmicamente a 800 °C se mantuvo por debajo del LMP. A 20 cm, la prueba con 700 °C superó ligeramente los 5 NTU, mientras que la de 800 °C permaneció dentro del límite. En cambio, a 30 cm de altura todas las evaluaciones de turbidez registraron valores superiores a 5 NTU.

Figura 49

Remoción de la turbidez en función de la temperatura y altura del lecho filtrante tras la filtración con la muestra B



En la Figura 49 se observa que el filtro con mayor eficiencia de remoción de turbidez para la muestra B fue el lecho de 10 cm de diatomita activada a 800 °C, alcanzando un 99,48 % de remoción.

3.5.3. Muestra RLUR_M01_C

Tabla 28

Filtración de la muestra C

Muestra C			
Descripción	Código de Muestra	Promedio (NTU)	% de Remoción
Agua turbia usada con la diatomita de 700 °C	RLUR M01_C_700	506,33	
Agua turbia usada con la diatomita de 800 °C	RLUR M01_C_800	500,00	503,22
Agua turbia usada con la diatomita de 900 °C	RLUR M01_C_900	503,33	
Con diatomita a 700 °C y 10 cm de altura de lecho	F1_700_10	5,62	98,89%
Con diatomita a 700 °C y 20 cm de altura de lecho	F1_700_20	4,35	99,14%
Con diatomita a 700 °C y 30 cm de altura de lecho	F1_700_30	10,08	98,01%
Con diatomita a 800 °C y 10 cm de altura de lecho	F2_800_10	2,20	99,56%
Con diatomita a 800 °C y 20 cm de altura de lecho	F2_800_20	3,15	99,37%
Con diatomita a 800 °C y 30 cm de altura de lecho	F2_800_30	7,05	98,59%
Con diatomita a 900 °C y 10 cm de altura de lecho	F3_900_10	8,73	98,26%
Con diatomita a 900 °C y 20 cm de altura de lecho	F3_900_20	7,67	98,48%
Con diatomita a 900 °C y 30 cm de altura de lecho	F3_900_30	6,26	98,76%
Agua de grifo (Agua limpia)	0_BKR	1,36	
Agua de grifo que pasó por el filtro 1 (700 °C)	1_BKR	1,16	
Agua de grifo que pasó por el filtro 2 (800 °C)	2_BKR	1,55	
Agua de grifo que pasó por el filtro 3 (900 °C)	3_BKR	1,73	

Nota: El código RLUR M01_C_700 significa: muestra "C" de fecha 03/03/2025 del Rio Luricocha usada en el Filtro 1 (F1) el cual contiene lecho de diatomita activada a 700 °C

Para la determinación del porcentaje de remoción se hizo el siguiente cálculo:

$$\%Remoción = \left(1 - \frac{Turb_1}{Turb_2}\right) * 100$$

Para la muestra: F3_900_30, siendo:

Turb₁: Turbidez del efluente filtrado: F3_900_30 = 6,26

Turb₂: Turbidez de la muestra de agua del STPACH de Intay = **503,33**

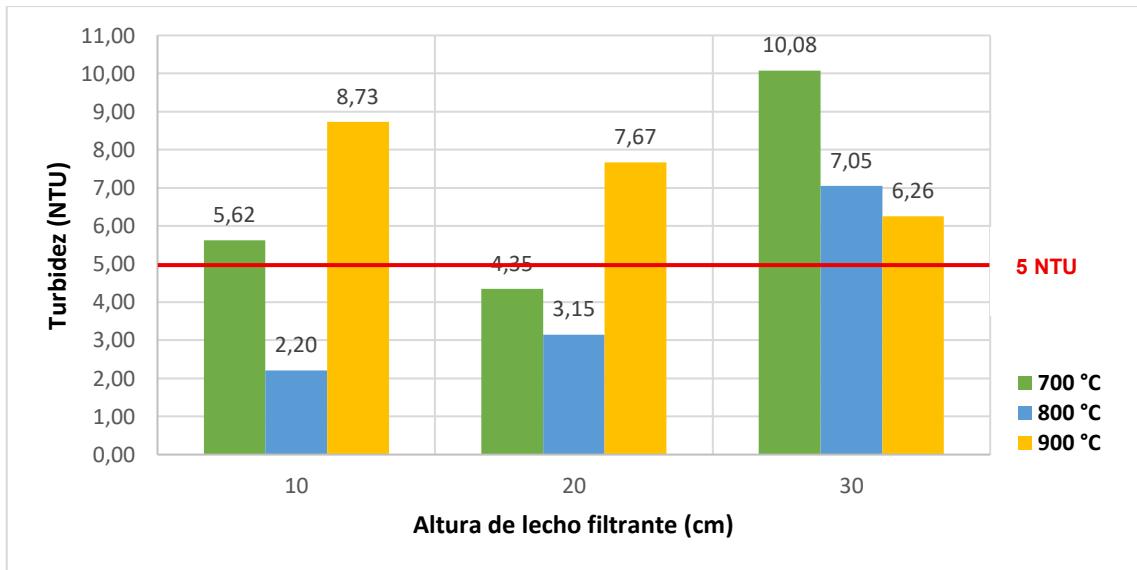
$$\%Remoción = \left(1 - \frac{6,26}{503,33}\right) * 100$$

$$\%Remoción = 98,76$$

Obteniéndose así una remoción del 98,76 %

Figura 50

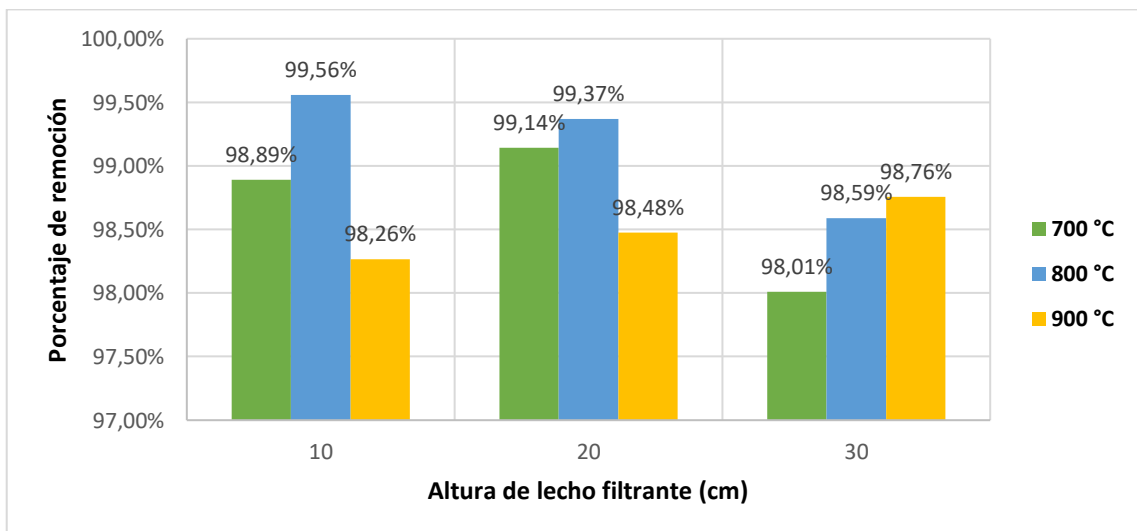
Filtración de la muestra C en función de la altura y temperatura



En la Figura 50, se observó que a 10 cm solo la evaluación de turbidez con diatomita activada a 800 °C presentó valores inferiores a 5 NTU. A 20 cm, únicamente la prueba a 900 °C superó los 5 NTU. Finalmente, a 30 cm de altura todas las evaluaciones registraron valores por encima del límite máximo permisible de 5 NTU.

Figura 51

Remoción de la turbidez en función de la temperatura y altura del lecho filtrante tras la filtración con la muestra C

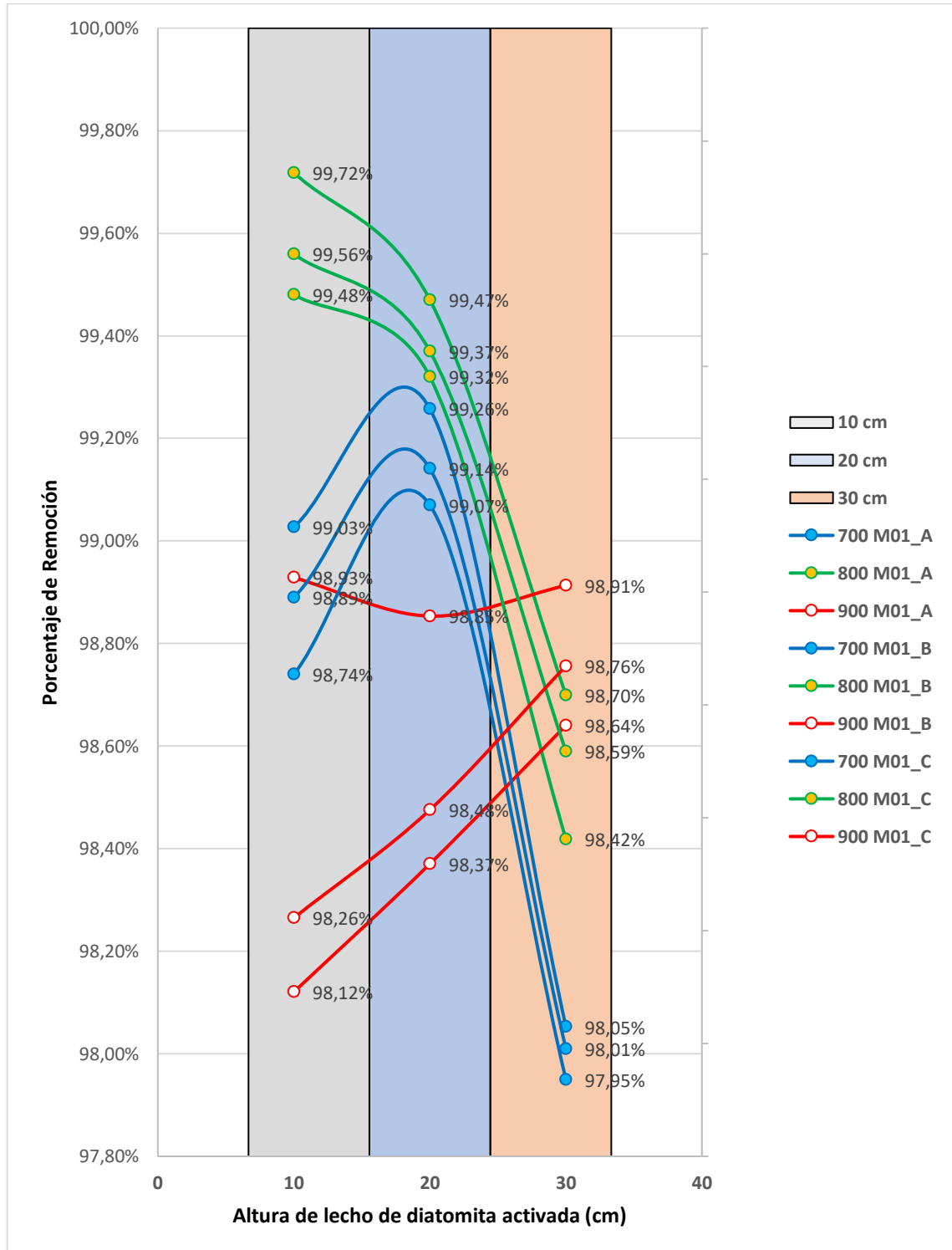


En la Figura 51 se observa que el filtro de mayor remoción de turbidez para la muestra de agua RLUR_M01_C fue del lecho de 10 cm de diatomita activada a 800 °C con un 99,56 % de remoción.

3.6. RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DE LOS FILTROS

Figura 52

Porcentaje de remoción de la turbidez en función de la temperatura de activación y altura de lecho filtrante



Nota: Las líneas de dispersión de color verde, azul y rojo corresponden a las temperaturas de activación de 800 °C, 700 °C y 900 °C respectivamente activadas con fundente.

En la Figura 52 se presentan columnas que representan la altura del lecho: gris para 10 cm, azul claro para 20 cm y naranja claro para 30 cm. Las líneas verdes corresponden a la evaluación con diatomita activada a 800 °C, las azules a 700 °C y las rojas a 900 °C. Cada color incluye tres líneas: la superior corresponde al porcentaje de remoción de la muestra RLUR M01_A, seguida por RLUR M01_C y finalmente RLUR M01_B en orden descendente.

Se observó que la mejor eficiencia de remoción se alcanzó en los tres casos con un lecho de 10 cm de diatomita activada a 800 °C: 99,72 % para la muestra RLUR M01_A, 99,56 % para RLUR M01_B y 99,48 % para RLUR M01_C.

Con la diatomita activada térmicamente a 700 °C, los mejores rendimientos se obtienen a 20 cm de altura de lecho, mientras que los más bajos corresponden a 30 cm (el peor desempeño general). A 800 °C, los mejores resultados se alcanzan entre 10 y 20 cm, siendo 30 cm la condición menos favorable. En cambio, a 900 °C los mayores rendimientos se registran a 30 cm, y los más bajos a 10 cm de altura de lecho.

CONCLUSIONES

La remoción de turbidez mediante filtros de diatomita activada resultó significativa en todas las pruebas, alcanzando eficiencias superiores al 95 %. No obstante, se evidenció que al aumentar la turbidez inicial del agua la eficiencia del filtro disminuye. Asimismo, solo algunos tratamientos lograron reducir la turbidez por debajo de los 5 NTU establecidos como límite máximo permisible en el D.S. 031-2010 del MINSA. Concluyendo que el filtro de 10 cm de altura conformado con diatomita activada térmicamente a 800 °C con 4,762 % en peso de Na_2CO_3 como fundente alcanzó una eficiencia máxima de remoción de turbidez del 99,72 % en la muestra RLUR M01_A, con una turbidez inicial de 429,33 NTU. Este resultado constituye el valor más alto obtenido entre todos los filtros evaluados, evidenciando el potencial de la diatomita activada como medio filtrante para el tratamiento de agua de consumo humano en el centro poblado de Intay.

La granulometría óptima de la diatomita se determinó entre 0,50 mm y 0,63 mm, resultado obtenido tras múltiples pruebas en estado crudo y activado térmicamente. Cabe destacar que, en crudo, esta granulometría genera aglomeración y taponamiento del filtro, lo que imposibilita la filtración. En cambio, al ser activada térmicamente, la diatomita adquiere la resistencia mecánica necesaria, se mantiene estable y permite un proceso de filtración eficiente.

La temperatura óptima de activación térmica de la diatomita se determinó alrededor de 800 °C. A temperaturas inferiores, el material no alcanza la resistencia mecánica ni la sinterización necesarias para un proceso de filtración eficiente. En contraste, a temperaturas superiores la diatomita inicia su cristalización, lo que conlleva pérdida de porosidad y, en consecuencia, una disminución en el porcentaje de remoción.

Se concluye que el incremento de la altura del lecho no generó una mejora significativa en la eficiencia de remoción. En consecuencia, se identificó la necesidad de establecer una altura óptima, la cual, en estas pruebas, se ubicó entre 10 y 20 cm, rango que asegura un desempeño adecuado del sistema de filtración. Asimismo, se determinó que la altura de lecho de 30 cm con diatomita activada no alcanzó los mejores resultados de remoción. Este comportamiento se atribuye a fenómenos de compactación y canalización dentro del filtro, los cuales reducen el tiempo de contacto del agua con el medio filtrante y favorecen su paso acelerado, comprometiendo la eficiencia del proceso.

RECOMENDACIONES

Realizar ensayos para incrementar el área de contacto del lecho de filtración con el fin de optimizar la eficiencia del proceso. Asimismo, se sugiere evaluar la incorporación de materiales complementarios, como antracita o carbón activado, para conformar un filtro mixto que potencie la capacidad de remoción y mejore el desempeño global del sistema.

Se sugiere realizar una evaluación sistemática de los tiempos de activación térmica de la diatomita y de otros fundentes, con el propósito de analizar su influencia en las propiedades del producto final. Este estudio permitiría optimizar las condiciones de activación térmica y mejorar la eficiencia del proceso de filtración.

Efectuar la reducción de tamaño de la diatomita mediante molinos de impacto, específicamente molinos de martillos, ya que permiten conservar mejor sus propiedades. En contraste, el uso de molinos de rodillos o de bolas no es aconsejable, pues compromete la estructura mecánica del material, la cual es intrínsecamente débil.

Evitar la activación de la diatomita a temperaturas superiores a 1000 °C en presencia de fundentes, dado que en estas condiciones el material tiende a cristalizarse y el SiO_2 a fundirse, generando pérdidas por adherencia en el recipiente. Además, se produce una disminución casi total de la porosidad, lo que compromete su capacidad de filtración.

Se recomienda realizar el retro lavado de los filtros empleando un flujo laminar constante, evitando la transición a régimen turbulento. Esto se debe a que la baja densidad de la diatomita favorece su desplazamiento hacia la superficie, lo que puede ocasionar pérdidas de material y afectar la eficiencia del sistema de filtración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Acarapi Tolino, W. H. (2013). *Estudio y aplicación de los recursos diatomáceos de las localidades charaña y bella vista, departamentos de la paz y potosi.* [UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/21262/TESIS DE GRADO W. ACARAPI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Accuaproduct. (2024, November 8). *Planta de tratamiento de agua potable: claves para la salud y desarrollo.* <https://accuaproduct.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable/>
- Acebo, D., & Hernández, A. T. (2012, November 2). *Los métodos Turbidimétricos y sus aplicaciones en las ciencias de la vida.* <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181226886003.pdf>
- Ahuanlla, J. L. (2020). *Diagrama de flujo de la PTAP de la provincia de Espinar.* Scribd. <https://es.scribd.com/document/469969963/diagrama-de-flujo-PTAP-pdf>
- AMES Group Sintering. (2022). *Proceso de sinterizado | Proceso de fabricación básico del sinterizado.* <https://ames-sintering.com/es/proceso-de-sinterizado/>
- ANA (2016) *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.* Autoridad Nacional del Agua. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/209>
- Bilbao, M. L., Olga Mañá, M. S., & Murúa, F. B. (2007). Evaluación del efecto insecticida de tierra de diatomeas sobre *Triatoma infestans* (Hemíptera, Reduviidae). *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 24(2), 179–181. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342007000200012&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Buitrón Pizarro, R. (2013). *Obtención de diatomita activada para usar como ayuda filtrante en el tratamiento de agua potable.* Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Caballero, P., & Zuni, D. (2017). *Elaboración de filtros de diatomita activada con adición de quitosano para la descontaminación de las aguas del Río Chili a nivel de laboratorio* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c4bf47fa-52f4-4579-a848-b81e1fc01f52/content>
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2007). *Biología.* Editorial Médica Panamericana S.A. <https://books.google.es/books?id=QcU0yde9PtkC>
- Carbotecnia. (2024, May 31). *Filtros industriales de agua.* <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/filtros-de-agua-industriales-tipos-y-aplicaciones/>
- Castellar-Ortega, G. C., Espinosa-Montaño, S. C., Cely-Bautista, M. M., Angulo-Mercado, E. R., & Jaramillo-Colpas, J. E. (2025). Termodinámica y cinética de la remoción del colorante cristal violeta sobre diatomita. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 41, 1–16. <https://doi.org/10.20937/RICA.55010>
- Coulson, J. M., Richardson, J. F., & Backhurst, J. R. (2003). *Ingeniería Química* (Issue v. 1). Reverté. <https://books.google.com.ar/books?id=T8lkWly9yDUC>
- CROMTEK. (2018). *Tamices de Laboratorio: Guía Completa para su Uso y Selección.* <https://www.cromtek.cl/2025/02/24/tamices-de-laboratorio-guia-completa-para-su-uso-y-seleccion/>

- Díaz Moreno, A. J. (2023). *Determinación del Potencial de Adsorción de las Diatomitas en Estado Natural para Remoción de Manganeso (Mn) Soluble en Agua* [Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. <https://repositorio.uptc.co/server/api/core/bitstreams/30c9ed35-462b-457b-a1de-69962b2ab276/content>
- Díaz Restrepo, K. Y., & Niño Lozada, Y. E. (2018). *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA LECHOS FILTRANTES EN PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA*. KELLY [UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA]. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/538a7bfd-ba7c-4599-b7f9-b1282fa53e70/content>
- Donato-Rondón, J. C. (2019). Diversidad de diatomeas en un sistema fluvial andino: los nutrientes y la conductividad como factores de explicación. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(169), 728–736. <https://doi.org/10.18257/RACCEFYN.939>
- DRME (2021). Dirección de Recursos Minerales y Energéticos. *Diatomitas en el Perú, Características y aplicaciones*. INGEMMET; Ramírez, José. <https://1library.co/document/z150v1py-diatomitas-peru-caracteristicas-aplicaciones-direccion-recursos-minerales-energeticos.html>
- DS N° 031-2010-SA. (2010). http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf
- Ediz, N., Bentli, İ., & Tatar, İ. (2010). Improvement in filtration characteristics of diatomite by calcination. *International Journal of Mineral Processing*, 94(3–4), 129–134. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2010.02.004>
- Feria, J., Bermúdez, S., & Estrada, A. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción + Limpia*, 9(1), 9–22. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552014000100001&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Frazer-Abel, A., Sepiashvili, L., Mbughuni, M. M., & Willrich, M. A. V. (2016). Overview of Laboratory Testing and Clinical Presentations of Complement Deficiencies and Dysregulation. *Advances in Clinical Chemistry*, 77, 1–75. <https://doi.org/10.1016/BS.ACC.2016.06.001>
- Fundación Hidrógeno Aragón. (2023, August 20). *El agua: elemento vital para la obtención de hidrógeno*. Noticias, Sostenibilidad. <https://hidrogenoaragon.org/es/el-agua-elemento-vital-para-la-obtencion-de-hidrogeno/>
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). REDUCCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA USANDO COAGULANTES NATURALES: UNA REVISIÓN. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253–262. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262013000100029&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Hach España. (2020, May 12). *2100Q Turbidímetro portátil (EPA), 0-1000 NTU*. Aspectos Generales | Hach. <https://es.hach.com/2100q-turbidimetro-portatil-epa-0-1000-ntu/product?id=24930077421>
- Huerto es Vida. (2021, July 4). *Protección solar con tierra de Diatomeas*. <https://www.huerto.esvida.com/blog/proteccion-solar-con-tierra-de-diatomeas/>

- Humpston, G., & Jacobson, D. M. (2004). *Principles of Soldering*. ASM International. <https://books.google.com.pe/books?id=cQ6khQScBF4C>
- INGEMMET. (2010). Estudio Geológico-Económico De Rocas Y Minerales Industriales De Arequipa Y Alrededores. *INGEMMET. Boletín, Serie B: Geología Económica; N° 22*, 48.
- Jordan. (2023, December 5). *Revelando las maravillas de la diatomita en Kenia*. Ftmachinery. <https://www.ftmmachinery.com/es/blog/what-is-diatomite-and-how-to-process-it.html>
- Julián Pérez Porto. (2021). *Granulometría - Qué es, utilidad, definición y concepto*. <https://definicion.de/granulometria/>
- Lara Doñate, Y. (2014). *Optimización del aprovechamiento energético del ciclo de carbonatación-calcinación para captura de co2 (optimization of energy use from carbonation-calcination cycle for co2 capture)* [Universidad de Zaragoza]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=203689>
- Lawler, D. . (2016). Turbidity, Turbidimetry, and Nephelometry. In *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.11006-6>
- Loayza Aguilar, N. L. (2019). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN A NIVEL PLANTA PILOTO*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA.
- Macrofilter. (2023, April 10). *Tipos de filtración de líquidos y sus aplicaciones*. <https://filtrosindustrialesmacrofilter.com/tipos-de-filtracion-de-liquidos-y-sus-aplicaciones/>
- Mansilla Rios, G. W., & Pazce Rivera, M. B. (2019). *Filtro basado en césped seco y diatomita para la reducción de contaminantes en las aguas del río Rímac para riego, El Agustino, 2019* [Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/54823/Mansilla_RG-W-Pazce_RMB-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2007). Operaciones unitarias en ingeniería química. In *Operaciones unitarias en ingeniería química (7ª ed)*. McGraw-Hill Interamericana.
- Melo, V., & Cuamatzi, O. (2007). *Bioquímica de los procesos metabólicos*. Editorial Reverte. <https://books.google.es/books?id=KHec9weY8Y0C>
- Méndez Otero, A. C., & Castellanos González, L. (2019). Eficacia de la tierra de diatomeas y la cal sobre ariónidos y agriolimácidos. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(3), 579–593. <https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL20NUM3ART:1587>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2020). *Manual de tratamiento de agua potable para pequeñas comunidades rurales*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/1943850-manual-de-tratamiento-de-agua-potable-para-pequenas-comunidades>
- OMS. (2023). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Organización Mundial de la Salud (OMS), L. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/220.pdf>

- Organización Panamericana de la Salud. (2011). Agua y saneamiento. 525 *Twenty-Third Street, N.W.*
- Ramos H, W., Delgado-Sarmiento, P., & Miranda R, L. (2022). Evaluación de nanofiltros con diatomita para la remoción de cadmio en muestras de agua del río Tambo-Arequipa. *Revista Boliviana de Química*, 39(1), 10–18. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.39.1.2>
- Reglamento de la Calidad del Agua para, & Humano, C. (2010). *DS N° 031-2010-SA*. MINSA. http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf
- Rojas Tamata, K. (2016). *REMOCIÓN DE ARSÉNICO (V) Y CROMO (VI) PRESENTE EN LECHOS ACUÁTICOS MEDIANTE EL USO DE TIERRA DE DIATOMEAS RECUBIERTA CON SALES DE HIERRO, AREQUIPA 2016* [UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA]. <https://repositorio.concytec.gob.pe/server/api/core/bitstreams/f90fc9f0-b964-3dc9-006e-399c502bbb2/content>
- Sandhya, K., Prakash, N. B., & Meunier, J. D. (2018). Diatomaceous earth as source of silicon on the growth and yield of rice in contrasted soils of Southern India. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(2), 344–360. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005001201>
- Siodłak, D. (2015, March 16). *Ziemia okrzemkowa - Diatomita - Wikipedia, la enciclopedia libre*. https://es.wikipedia.org/wiki/Diatomita#/media/Archivo:Ziemia_okrzemkowa.JPG
- Trejo Espinoza, A. F. (2020). Evaluación de la remoción de arsénico del agua con adsorbentes naturales no metálicos en un reactor de lecho fijo a escala semipiloto Ayacucho 2019. *Investigación*, 28(1), 241–248. <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.28.1.2020.377>
- Vázquez, C. J., Moreno Salazar, B., & Cadena Samaniego, D. (2022). Efectividad del uso de diatomeas en la filtración de bacterias de transmisión hídrica. *La Granja*, 36(2), 88–97. <https://doi.org/10.17163/lgr.n36.2022.07>
- Villena Chávez, J. A. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 304–308. <https://doi.org/10.17843/RPMESP.2018.352.3719>

ANEXOS

7.1. APÉNDICE

Escala de tamices Tyler

Escala de tamices estándar Tyler

Esta escala de tamices está basada en una abertura de 0.0029 in., que es la abertura del tamiz estándar de 200 mallas y 0.0021 in. de diámetro de alambre, tal como ha sido adoptada por el National Bureau of Standard.

Mallas	Abertura efectiva, in.	Abertura efectiva, mm	Abertura aproximada, in.	Diámetro del alambre, in.
	1.050	26.67	1	0.148
†	0.883	22.43	$\frac{2}{8}$	0.135
	0.742	18.85	$\frac{3}{4}$	0.135
†	0.624	15.85	$\frac{5}{8}$	0.120
	0.525	13.33	$\frac{1}{2}$	0.105
†	0.441	11.20	$\frac{7}{16}$	0.105
	0.371	9.423	$\frac{3}{8}$	0.092
$2\frac{1}{2}$ †	0.312	7.925	$\frac{5}{16}$	0.088
3	0.263	6.680	$\frac{1}{4}$	0.070
$3\frac{1}{2}$ †	0.221	5.613	$\frac{7}{32}$	0.065
4	0.185	4.699	$\frac{3}{16}$	0.065
5†	0.156	3.962	$\frac{5}{32}$	0.044
6	0.131	3.327	$\frac{1}{8}$	0.036
7†	0.110	2.794	$\frac{7}{64}$	0.0328
8	0.093	2.362	$\frac{3}{32}$	0.032
9†	0.078	1.981	$\frac{5}{64}$	0.033
10	0.065	1.651	$\frac{1}{16}$	0.035
12†	0.055	1.397		0.028
14	0.046	1.168	$\frac{3}{64}$	0.025
16†	0.0390	0.991		0.0235
20	0.0328	0.833	$\frac{1}{32}$	0.0172
24†	0.0276	0.701		0.0141
28	0.0232	0.589		0.0125
32†	0.0195	0.495		0.0118
35	0.0164	0.417	$\frac{1}{64}$ (Ninguna)	0.0122
42†	0.0138	0.351		0.0100
48	0.0116	0.295		0.0092
60†	0.0097	0.246		0.0070
65	0.0082	0.208		0.0072
80†	0.0069	0.175		0.0056
100	0.0058	0.147		0.0042
115†	0.0049	0.124		0.0038
150	0.0041	0.104		0.0026
170†	0.0035	0.088		0.0024
200	0.0029	0.074		0.0021
270	0.0021	0.053		
325	0.0017	0.044		

†Estos tamices se incluyen cuando se desea un intervalo de tamizado más estrecho, completando la serie estándar utilizada habitualmente. Con esta inclusión, la relación de los diámetros de las aberturas entre dos tamices sucesivos es de $1:\sqrt[4]{2}$ en vez de $1:\sqrt{2}$.

Nota: Tomado de (McCabe et al., 2007, p. 1146)

Límites máximos permisibles para la calidad de agua de consumo humano

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ⁼ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoniacó	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeseo	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Nota: Tomado del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano dispuesto por el MINSA (DS N° 031-2010-SA., 2010, p. 39)

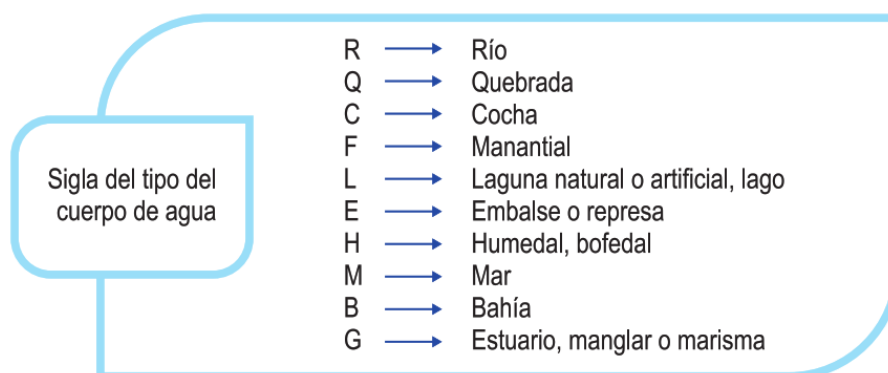
Lineamientos para la recolección y codificación de aguas superficiales

Medios de transporte	Vehículo para transporte terrestre (camioneta) y acuático (embarcación, zodiac, lancha) ¹
Materiales	Cooler grandes y pequeños, frascos de plásticos y vidrio ² , baldes de plástico transparente de primer uso y limpios (4-20 litros de volumen), guantes descartables ³ , mascarillas ³ , pizetas, refrigerantes
Equipos	GPS, correntómetro, multiparámetro ⁴ , cámara fotográfica, botellas hidrográficas, brazo muestreador
Soluciones y reactivos	Agua destilada, preservantes ² , soluciones estándar (pH, conductividad, etc.)
Formatos	Etiquetas (anexo II), registro de datos de campo (anexo I), cadena de custodia (anexo III)
Permisos	Recursos hídricos marinos y lacustres: DICAPI Embalses: operador hidráulico Otros permisos en caso se requieran en la zona de intervención
Material cartográfico	Mapa hidrográfico o marino según corresponda
Indumentaria de protección	Zapatos de seguridad, botas de jebe cortas, botas de jebe musleras, vestimenta de seguridad con cinta reflectiva (pantalón, polo o camisa de manga larga, casaca, chaleco), lentes, casco, gorra, ponchos impermeables, arnés, chaleco salvavidas
Otros	Plumones indelebles, lápices, cinta adhesiva, papel secante, libreta de campo, soga, cinta métrica, linterna de mano, pizarra acrílica o tablero

Todos los puntos de muestreo establecidos por la Autoridad Nacional del Agua en el marco de las actividades de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales deberán poseer un código que será determinado según el siguiente detalle.

El código de cada punto de muestreo ubicado en cuerpos naturales de agua continental estará conformado por los siguientes elementos:

[Sigla del tipo de cuerpo de agua] [Sigla del nombre del cuerpo de agua] [Numeración continua]



Nota: Tomado Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (ANA, 2016, pp. 35, 39)

7.2. PANEL FOTOGRAFICO

Figura 53

Lectura de parámetros insitu, antes de las lluvias



Figura 54

Recolección de diatomita en el yacimiento de Moya



Figura 55

Recolección de muestras de agua turbia en temporada de lluvia



Figura 56

Reducción de tamaño de la diatomita



Figura 57

Tamizado de diatomita en el CEC



Figura 58

Pesando diatomita cruda



Figura 59

Comparación en color de la diatomita cruda vs activada térmicamente



Figura 60

Pruebas de retro lavado



Figura 61

Retro lavado de la diatomita activada térmicamente



Figura 62

Lecturas en el laboratorio de instrumental



Figura 63

Lecturas en SEDA Cabrapata



Figura 64

Lecturas en SEDA Huanta



Figura 65

Pesado de diatomita y fundente

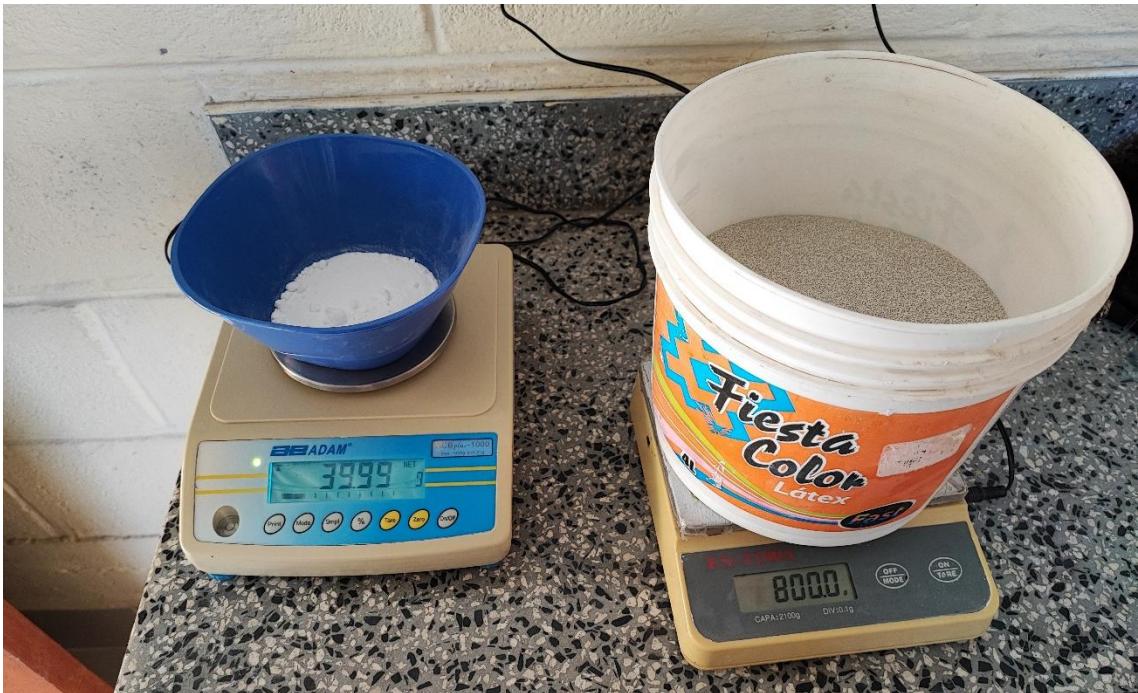


Figura 66

Diatomita y fundente combinados listos para activar térmicamente



Figura 67

Lecturas de temperaturas del tablero de control y la termocupla



Figura 68

Comparación de textura y color entre 700 °C y 900 °C



Figura 69

Perdidas de diatomita pegadas en la base del recipiente



Figura 70

Envasado de las diatomitas activadas térmicamente



Figura 71

Compilación de todas las granulometrías activadas térmicamente



Figura 72

Preparación de los lechos de diatomita en los filtros



7.3. Matriz de consistencia para el proyecto de tesis

Presentado por: Karnol Crhistian Ruiz Barboza

Asesora: Mtra. Ingrid Landeo Garay

REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO DEL CENTRO POBLADO DE INTAY USANDO FILTROS DE DIATOMITA ACTIVADA TERMICAMENTE – LURICOCHA – HUANTA - 2025				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Formulación del problema</p> <p>1) Problema principal ¿Cuánto será el porcentaje de remoción de la turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay usando filtros de diatomita activada térmicamente?</p> <p>2) Problemas secundarios</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál será la granulometría de la diatomita para lograr un óptimo filtrado y buenos resultados con respecto a la turbidez del agua a tratar? ¿Cuál será la temperatura de activación adecuada de la diatomita que se utilizará para remover la turbidez del agua a tratar? ¿Cuál será la altura del lecho de filtrado óptimo para lograr buenos resultados con respecto a la turbidez del agua a tratar? 	<p>Objetivos</p> <p>1) Objetivo general Determinar el porcentaje de remoción de la turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay usando filtros de diatomita activada térmicamente.</p> <p>2) Objetivos secundarios</p> <ul style="list-style-type: none"> Obtener la granulometría correcta para la óptima filtración del agua. Determinar la óptima temperatura de activación de la diatomita. Determinar la altura óptima del lecho filtrante. 	<p>Hipótesis</p> <p>1) Hipótesis Principal El filtro de diatomita activada térmicamente remueve un 85% de la turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay.</p> <p>2) Hipótesis secundarias</p> <ul style="list-style-type: none"> A una menor granulometría de la diatomita existe mayor remoción de la turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay. A una mayor temperatura de activación de la diatomita, mayor es la remoción de la turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay. Existe mayor remoción de la turbidez en el agua de consumo humano a mayor altura del lecho filtrante. 	<p>1) Variable Independiente</p> <p>X1 = Filtro de diatomita</p> <p>Indicadores</p> <p>IX1 = Granulometría IX2 = Temperatura IX3 = Altura</p> <p>2) Variable Dependiente</p> <p>Y1 = Remoción de la turbidez del agua</p> <p>Indicadores</p> <p>IY1 = Turbidez inicial de la muestra de agua (NTU) IY2 = Turbidez final de la muestra de agua (NTU)</p>	<p>1) Tipo de investigación Investigación de tipo aplicada</p> <p>2) Nivel de investigación Explicativo – Analítico</p> <p>3) Diseño de la investigación Experimental</p> <p>4) Población y muestra Población: Fuente de agua del centro poblado de Intay. Muestra: 3 muestras de agua en temporada de lluvia de la tubería de ingreso al STPACH del centro poblado.</p> <p>5) Técnicas e instrumentos de recolección de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> Formato de recolección de datos de ensayos de laboratorio. <p>6) Técnicas de procesamiento y análisis de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> Observación. Evaluación estadística de los resultados obtenidos con ayuda de software computacional como Excel.

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y
METALURGIA**ACTA DE SUSTENCIÓN DE LA TESIS:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Remoción de la turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay usando filtros de diatomita activada térmicamente-Luricocha-Huanta-2025**Expositor: Karnol Crhistian Ruiz Barboza****Bachiller en Ingeniería Química**

Expediente N° 2570039 Resolución Decanal N° 188-2025-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 05-12-2025

En la Sala de Conferencia "Pedro Villena Hidalgo" de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las once de la mañana con cinco minutos del día viernes doce de diciembre del año dos mil veinticinco, se reunieron el Bachiller en Ingeniería Química **Karnol Crhistian Ruiz Barboza**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Mg. Tarcila ALCARRAZ ALFARO, Mg. Gloria Ines BARBOZA PALOMINO (Miembros) y Mg. Ingrid LANDEO GARAY (Miembro-Asesor), bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la FIQM), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente).

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Remoción de la turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay usando filtros de diatomita activada térmicamente-Luricocha-Huanta-2025**, presentado por el Bachiller **Karnol Crhistian Ruiz Barboza**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 188-2025-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó al Bachiller **Karnol Crhistian Ruiz Barboza**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de treinta y cinco minutos.

Finalizado la exposición del Bachiller, el presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Ingrid LANDEO GARAY (Miembro-Asesor), Mg. Gloria Inés BARBOZA PALOMINO y Mg. Tarcila ALCARRAZ ALFARO (Miembros).

A continuación, el presidente del jurado invito al sustentante y al público para que se sirva abandonar la sala de conferencia con la finalidad de permitir al jurado de sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADO POR UNANIMIDAD PROMEDIO DIECISEIS (16)**.



UNSCH

FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y
METALURGIA

ACTA DE SUSTENCIÓN DE LA TESIS:

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Remoción de la turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay usando filtros de diatomita activada térmicamente-Luricocha-Huanta-2025

Expositor: Karnol Crhistian Ruiz Barboza
Bachiller en Ingeniería Química

Expediente N° 2570039

Resolución Decanal N° 188-2025-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 05-12-2025

Finalmente, el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la sala de conferencias y anunció que, el Bachiller **Karnol Crhistian Ruiz Barboza**, ha resultado **APROBADO POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con un flamante **INGENIERO QUIMICO** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo la una de la tarde con cinco minutos se dio por finalizado este acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:

.....
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Presidente

.....
Mg. Tarcila ALCARRAZ ALFARO
Miembro

.....
Mg. Gloria Inés BARBOZA PALOMINO
Miembro

.....
Mg. Ingrid LANDEO GARAY
(Miembro-Asesor)

.....
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE
(Secretario Docente)

FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y METALURGIA
Av. Independencia s/n
Ciudad Universitaria



UNSCH

**FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA Y
METALURGIA**

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA QUÍMICA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 013-2025-UNSCH-FIQM/EPIQ

El que suscribe, Director de la **Escuela Profesional de Ingeniería Química** de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, emite la siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Que, habiendo recibido el requerimiento de Constancia de Originalidad por parte del Bachiller **Karnol Crhistian RUIZ BARBOZA**, se procedió a la evaluación y regularización de originalidad del archivo adjunto con el **TURNITIN - UNSCH**, de acuerdo a los criterios establecidos en el **Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH**, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU; cuyos resultados son:

Remoción de la turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay usando filtros de diatomita activada térmicamente – Luricocha – Huanta - 2025

Autor Bach. : Karnol Crhistian RUIZ BARBOZA
Identificador : 2850969409
Fecha : 23 de diciembre de 2025
Archivo : Tesis

Se expide la presente constancia de originalidad, con reporte del **6 (seis) % de ÍNDICE DE SIMILITUD** realizado con **Depósito de trabajos estándar**, a fin de proseguir con los trámites pertinentes; cabe señalar que, los documentos del procedimiento se archivan en el repositorio documental de la Escuela.

Ayacucho, 29 de diciembre de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA E.P.
INGENIERÍA QUÍMICA

Alfredo **ARIAS JARA**
Director de Escuelas

Adjunto Reporte de Índice de Similitud
cc. archivo

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA QUÍMICA
Av. Independencia S/N - Ayacucho
Telf. 086-312510 Anexo. 152
Correo:
ep.quimica@unsch.edu.pe

Remoción de la turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay usando filtros de diatomita activada térmicamente – Luricocha – Huanta – 2025

por Karnol Crhistian RUIZ BARBOZA

Fecha de entrega: 23-dic-2025 07:02p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2850969409

Nombre del archivo:

TESIS_Remoción_de_la_turbidez_del_agua_de_consumo_humano_del_centro_poblado_de.pdf (11.37M)

Total de palabras: 19045

Total de caracteres: 89855

Remoción de la turbidez del agua de consumo humano del centro poblado de Intay usando filtros de diatomita activada térmicamente – Luricocha – Huanta – 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	revistas.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	vsip.info Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
5	dspace.utpl.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1%
7	theses.hal.science Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Privada Boliviana Trabajo del estudiante	<1%
9	Calvino, Natalia Otero. "Filtración de aguas residuales para reutilización", Universidad de La Laguna (Canary Islands, Spain), 2022 Publicación	<1%
10	Submitted to Universidad Europea de Madrid Trabajo del estudiante	<1%

11 wiki2.org Fuente de Internet <1 %

12 idoc.pub Fuente de Internet <1 %

13 repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet <1 %

14 Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante <1 %

15 Velasquez Zúñiga, Yessenia. "Evaluación de la electrocoagulación en la remoción de manganeso de las aguas del Río Chacapalca, Ocuvi - Puno", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación <1 %

16 repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet <1 %

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía Activo