



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

DISEÑO DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DOMÉSTICA FAMILIAR PARA UNA PRODUCCIÓN DE 75 L/DÍA DE IMPLEMENTACIÓN EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO

AUTOR: ANA ISABEL MORATALLA SAIZ

TUTOR: JOSE MIGUEL ARNAL ARNAL

COTUTORA: BEATRIZ GARCÍA FAYOS

Curso Académico: 2018-19

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis padres y a mi hermana, por todos los esfuerzos que han hecho a lo largo de estos años para permitirme elegir este camino, apoyarme en los malos momentos y ayudar a superarme cada día más. "Creo que en lo que nos convertimos depende de lo que nuestros padres nos enseñan en momentos extraños, cuando no están tratando de enseñarnos. Estamos formados de pequeños pedazos de sabiduría."

A mis tutores José Miguel Arnal y Beatriz García, por su dedicación, consejos y paciencia sin los cuales este trabajo no sería ni la mitad de lo que es. Por ser exigentes y capaces de que saquemos todas nuestras habilidades y conocimientos.

A mi familia y amigos, especialmente a Minerva y Marisa, por estar siempre a mi lado a través de la distancia.

A mis inseparables compañeras María y Victoria del Grado de Ingeniería Química, que más que compañeras, se han convertido en amigas imprescindibles donde hemos disfrutado y compartido todos los momentos que este grado nos ha proporcionado.

Muchas gracias a todos.

Diseño de una planta de potabilización doméstica familiar, para una producción de 75L/día de implementación en países en vías de desarrollo.

RESUMEN

Cada día se hace más clara la importancia del agua como un elemento indispensable para la vida. A pesar de ello, alrededor de 663 millones de personas en el mundo no poseen al alcance de sus manos agua potable. Esta escasez ocasiona grandes problemas, sobre todo, en las regiones menos desarrolladas del mundo. Por consiguiente, en el presente Trabajo Final de Grado, se procederá a realizar el diseño de una planta de potabilización doméstica para su implementación en países en vías de desarrollo destinada a una familia de 15 personas para tratar una media de 75 litros/día. Dicha planta de potabilización estará basada en el método de filtración mediante lecho de arena, utilizando para ello un filtro de arena y en la adición de carbón de origen vegetal como agente coadyuvante.

Los pasos a seguir serán los siguientes:

La elaboración del carbón, de la forma más convencional posible, a partir de varias especies vegetales.

Mediante el test de jarras, realizar los ensayos de filtración con agua turbia sintética, y agua natural. Se ensayará el rango de dosificación de los carbones procedentes de distintos tipos de madera, donde se estudiará el rendimiento de eliminación de la turbidez y la variación en la cantidad de materia orgánica.

Se estudia la influencia de la adición de los diferentes tipos de carbones vegetales utilizados en el proceso, estandarizar el funcionamiento y establecer los ciclos de lavado, así como su metodología.

Finalmente, se adecuará el diseño del filtro y su puesta en marcha tanto en el agua turbia sintética como en agua real, para la producción de agua de calidad, que para asegurar su salubridad, los propios beneficiarios dosificarán sobre el agua producto obtenida la concentración de 1 a 1,5 ppm de cloro, de acuerdo con las especificaciones de concentración del desinfectante de partida.

El funcionamiento de la unidad de potabilización se plasmará en el manual de funcionamiento del mismo de esta manera se podrá garantizar, el correcto funcionamiento del filtro, su mantenimiento y la calidad del agua producida, facilitado así la implementación del mismo en países en vías de desarrollo.

Palabras clave: Agua potable; filtro de arena; carbón vegetal; unidad de potabilización.

Diseño de una planta de potabilización doméstica familiar, para una producción de 75L/día de implementación en países en vías de desarrollo.

RESUM

Cada dia es fa més clara la importància de l'aigua com un element indispensable per a la vida. Malgrat això, al voltant de 663 milions de persones en el món no posseeixen a l'abast de les seues mans aigua potable. Aquesta escassetat ocasiona grans problemes, sobretot, a les regions menys desenvolupades del món. Per tant, en el present Treball Final de Grau, es procedirà a realitzar el disseny d'una planta de potabilització domèstica per a la seua implementació en països en vies de desenvolupament destinada a una família de 15 persones per a tractar una mitjana de 75 litres/dia. Aquesta planta de potabilització estarà basada en el mètode de filtració mitjançant llit d'arena, utilitzant per a això un filtre d'arena i en l'addició de carbó d'origen vegetal com agent coadjuvant.

Els passos a seguir seran els següents:

L'elaboració del carbó, de la forma més convencional possible, a partir de diverses espècies vegetals.

Mitjançant el test de pitxers, realitzar els assajos de filtració amb aigua térbola sintètica, i aigua natural. S'assajarà el rang de dosatge dels carbons procedents de diferents tipus de fusta, on s'estudiarà el rendiment d'eliminació de la terbolesa i la variació en la quantitat de matèria orgànica.

S'estudia la influència de l'addició dels diferents tipus de carbons vegetals utilitzats en el procés, estandarditzar el funcionament i establir els cicles de rentada, així com la seua metodologia.

Finalment, s'adequarà el disseny del filtre i la seua posada en marxa tant en l'aigua térbola sintètica com en aigua real, per a la producció d'aigua de qualitat, que per a assegurar la seua salubritat, els propis beneficiaris dosara sobre l'aigua producte obtinguda la concentració d'1 a 1,5 ppm de clor, d'acord amb les especificacions de concentració del desinfectant de partida.

El funcionament de la unitat de potabilització es plasmarà en el manual de funcionament del mateix d'aquesta manera es podrà garantir, el correcte funcionament del filtre, el seu manteniment i la qualitat de l'aigua produïda, facilitat així la implementació del mateix en països en vies a de desenvolupament.

Paraules clau: Aigua potable; filtre d'arena; carbó vegetal; unitat de potabilització.

Diseño de una planta de potabilización doméstica familiar, para una producción de 75L/día de implementación en países en vías de desarrollo.

ABSTRACT

Every day it becomes clearer the importance of water as an element essential for life. Despite this, about 663 million people in the world don't have at your fingertips drinking water. This scarcity causes large problems, especially in the less developed regions of the world. Therefore, in the present Work End-of-Grade, will proceed to make the design of a purification plant domestic to its implementation in developing countries aimed at a family of 15 people to treat an average of 75 litres/day. The purification plant will be based on the method of filtration through sand bed, using a sand filter and the addition of carbon of vegetable origins as an adjunct.

The steps to follow will be the following:

The development of coal, the most conventional way possible, from several plant species. Through the test of jugs, to carry out the testing of seepage with turbid water, synthetic, and natural water. We tested the dosage range of coals from different types of wood, where it will study the performance of elimination of the turbidity and the variation in the amount of organic matter.

We studied the influence of the addition of different types of coal plant used in the process, standardize the operation and set the washing cycles, as well as its methodology. Finally, we tailored the design of the filter and its implementation both in the turbid water synthetic as in real water, for the production of water quality, to ensure its healthiness, the beneficiaries themselves will dispense on-the-water product obtained by the concentration of 1 to 1.5 ppm of chlorine, in accordance with the specifications of the concentration of the sanitizer starting.

The operation of the unit water purification will be presented in the operating manual of the same of this manner it can be ensured, the proper functioning of the filter, its maintenance and the quality of the water produced, facilitated the implementation of the same countries in ways of development.

Keywords: Potable water; sand filter; charcoal; purification unit.

Diseño de una planta de potabilización doméstica familiar, para una producción de 75L/día de implementación en países en vías de desarrollo.

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- Documento 1. Memoria
- Documento 2. Presupuesto
- Documento 3. Planos

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DOMÉSTICA FAMILIAR,
PARA UNA PRODUCCIÓN DE 75L/DÍA DE IMPLEMENTACIÓN EN PAÍSES
EN VÍAS DE DESARROLLO.**

DOCUMENTO 1. MEMORIA

INDICE DE LA MEMORIA

1. Motivación y Justificación.....	11
2. Antecedentes.....	13
2.1. La problemática del agua en el mundo.....	13
2.2. Problema de la escasez de agua en los países en vías de desarrollo.....	13
2.3. Métodos convencionales para el tratamiento de agua.....	16
2.4. Equipos de potabilización familiar enfocados a países en vías de desarrollo.....	17
2.5. Criterios de legislación para el tratamiento de agua destinado a consumo humano.....	18
2.6. Estudio sobre la toxicidad de ciertas maderas.....	25
3. Objetivos.....	25
3.1. Objetivo principal.....	25
3.2. Objetivos específicos.....	25
4. Metodología.....	27
4.1. Elaboración del carbón vegetal.....	27
4.2. Análisis de carbones mediante microscopía	29
4.3. Preparación de agua turbia sintética.....	31
4.4. Ensayo Jar Test	32
4.5. Ensayo de filtración	35
5. Resultados.....	37
5.1. Resultados de Jar Test para cada tipo de carbón vegetal.....	37
5.1.1. Resultados de Jar Test usando como coagulante carbón vegetal de olivo.....	37
5.1.2. Resultados de Jar Test usando como coagulante carbón vegetal de acacia.....	41
5.1.3. Resultados de Jar Test usando como coagulante carbón vegetal de cerezo.....	44
5.1.4. Resultados de Jar Test usando como coagulante carbón vegetal de olmo.....	48
5.1.5. Resultados de Jar Test usando como coagulante carbón vegetal de almendra.....	51
5.1.6. Resultados de Jar Test usando como coagulante carbón vegetal de noguera.....	54
5.1.7. Resultados de Jar Test usando como coagulante carbón vegetal de carrasca.....	57
5.1.8. Resultados de Jar Test usando como coagulante carbón vegetal de pino.....	60
5.1.9. Conclusiones parciales correspondiente a los ensayos de Jar Test.....	63

5.2. Resultados de los ensayos de filtración.....	64
5.2.1. Ensayo de filtración con blanco.....	64
5.2.2. Ensayo de filtración dosificando carbón de acacia.....	66
5.2.3. Ensayo de filtración dosificando carbón de noguera.....	67
5.2.4. Ensayo de filtración dosificando carbón de pino.....	70
5.2.5. Conclusiones parciales de filtración.....	72
6. Manual de fabricación y funcionamiento del filtro.....	73
6.1. Diseño y características técnicas.....	73
6.2. Principios de funcionamiento.....	75
6.3. Instalación.....	75
6.4. Filtración y lavado.....	76
6.5. Mantenimiento.....	78
7. Conclusiones.	79
8. Bibliografía.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistemas de potabilización de agua enfocados a países en desarrollo.....	18
Tabla 2. Parámetros microbiológicos	19
Tabla 3. Parámetros químicos.....	19
Tabla 4. Sustancias destinadas al tratamiento del agua de consumo humano, excepto biocidas notificados para tipo de producto 5.....	21
Tabla 5. Daños para la salud relacionados con varios tipos de árboles.....	23
Tabla 6. Condiciones físicas de operación en el ensayo de Jar Test.....	37
Tabla 7. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de olivo.....	39
Tabla 8. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de olivo.....	39
Tabla 9. Ensayo 3 y 4 de Jar Test usando carbón de olivo.....	40
Tabla 10. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de acacia.....	42
Tabla 11. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de acacia.....	43
Tabla 12. Ensayo 3 de Jar Test usando carbón de acacia.....	43
Tabla 13. Ensayo 4 de Jar Test usando carbón de acacia.....	43
Tabla 14. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de cerezo.....	46
Tabla 15. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de cerezo.....	46
Tabla 16. Ensayo 3 de Jar Test usando carbón de cerezo.....	46
Tabla 17. Ensayo 4 de Jar Test usando carbón de cerezo.....	47
Tabla 18. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de olmo.....	49
Tabla 19. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de olmo.....	49
Tabla 20. Ensayo 3 de Jar Test usando carbón de olmo.....	49
Tabla 21. Ensayo 4 de Jar Test usando carbón de olmo.....	50
Tabla 22. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de almendro.....	52
Tabla 23. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de almendro.....	53
Tabla 24. Ensayo 3 de Jar Test usando carbón de almendro.....	53
Tabla 25. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de noguera.....	55
Tabla 26. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de noguera.....	56
Tabla 27. Ensayo 3 de Jar Test usando carbón de noguera.....	56
Tabla 28. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de carrasca.....	58

Tabla 29. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de carrasca.....	59
Tabla 30. Ensayo 3 de Jar Test usando carbón de carrasca.....	59
Tabla 31. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de pino.....	61
Tabla 32. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de pino.....	62
Tabla 33. Ensayo 3 de Jar Test usando carbón de pino.....	62
Tabla 34. Grupos de coagulantes en función del rendimiento obtenido en el Jar Test.....	63
Tabla 35. Condiciones de trabajo para los ensayos de filtración.....	64
Tabla 36. Ensayo de filtración con blanco.....	65
Tabla 37. Ensayo de filtración dosificando con carbón de acacia.....	66
Tabla 38. Ensayo 1 de filtración dosificando con carbón de noguera.....	68
Tabla 39. Ensayo 2 de filtración dosificando con carbón de noguera.....	69
Tabla 40. Ensayo de filtración dosificando con carbón de pino.....	71
Tabla 41. Características técnicas.....	73
Tabla 42. Dosificación de lejía para desinfección del agua.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución porcentual de hogares por persona responsable de ir a buscar agua, por región y por área urbana o rural.....	14
Figura 2. Objetivos de desarrollo sostenible.....	16
Figura 3. Diagrama de Bloques de la elaboración del carbón.....	27
Figura 4. Imágenes de las variedades olivo, acacia y cerezo.....	28
Figura 5. Elaboración del carbón vegetal.....	28
Figura 6. Trituración del carbón vegetal mediante un mortero cerámico.....	29
Figura 7. Diagrama de bloques del análisis mediante microscopía	29
Figura 8. Preparación de muestras para SEM2.....	30
Figura 9. Metalización de muestras	30
Figura 10. Microscopio Electrónico de Barrido (SEM2).....	31
Figura 11. Diagrama de Bloques para la preparación de Agua Turbia Sintética	31
Figura 12. Disolución de agua turbia sintética en proceso de sedimentación	32
Figura 13. Diagrama de Bloques del ensayo del Jar Test	33
Figura 14. Ensayo de Jar Test	33
Figura 15. Sedimentación de las muestras tras el Jar Test	34
Figura 16. Medida de la turbidez tras el ensayo de Jar Test	34
Figura 17. Montaje del sistema de filtrado	35
Figura 18. Estructura carbón de olivo a 250 aumentos	38
Figura 19. Estructura carbón de olivo a 2000 aumentos.....	38
Figura 20. Estructura carbón de acacia a 250 aumentos.....	41
Figura 21. Estructura carbón de acacia a 2000 aumentos.....	42
Figura 22. Estructura carbón de cerezo a 250 aumentos.....	45
Figura 23. Estructura carbón de cerezo a 2000 aumentos.....	45
Figura 24. Estructura carbón de olmo a 250 aumentos.....	48
Figura 25. Estructura carbón de olmo a 2000 aumentos.....	48

Figura 26. Estructura carbón de almendro a 250 aumentos.....	51
Figura 27. Estructura carbón de almendro a 2000 aumentos.....	52
Figura 28. Estructura carbón de noguera a 250 aumentos.....	54
Figura 29. Estructura carbón de noguera a 2000 aumentos.....	55
Figura 30. Estructura carbón de carrasca a 250 aumentos.....	57
Figura 31. Estructura carbón de carrasca a 2000 aumentos.....	58
Figura 32. Estructura carbón de pino a 250 aumentos.....	60
Figura 33. Estructura carbón de pino a 2000 aumentos.....	61
Figura 34. Dimensiones generales del filtro de arena.....	73
Figura 35. Tipos de relleno para el filtro.....	74
Figura 36. Colocación de los dos dipos de rellenos al filtro.....	75

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resultados del Jar Test usando carbón de olivo.....40

Gráfico 2. Resultados del Jar Test usando carbón de acacia.....44

Gráfico 3. Resultados del Jar Test usando carbón de cerezo.....47

Gráfico 4. Resultados del Jar Test usando carbón de olmo.....50

Gráfico 5. Resultados del Jar Test usando carbón de almendro.....53

Gráfico 6. Resultados del Jar Test usando carbón de noguera.....56

Gráfico 7. Resultados del Jar Test usando carbón de carrasca.....59

Gráfico 8. Resultados del Jar Test usando carbón de pino.....62

Gráfico 9. Representación de los resultados de filtración con blanco65

Gráfico 10. Representación de los ensayos de filtración con carbón de acacia.....67

Gráfico 11. Representación del primer ensayo de filtración con carbón de noguera.....68

Gráfico 12. Representación del segundo ensayo de filtración con carbón de noguera.....70

Gráfico 13. Representación de los ensayos de filtración con carbón de pino.....71

1. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

Cada día se hace más clara la importancia del agua, elemento indispensable para la vida. A pesar de ello, alrededor de 663 millones de personas carecen del acceso a un agua potable. Zonas como África, Asia o Sudamérica no poseen acceso directo a agua potable, sino que estos habitantes deben recorrer kilómetros hasta alcanzar un punto donde recolectar agua sin tener la seguridad de que sea potable y de calidad.

Los problemas que genera la escasez de agua son extremadamente graves y variados, desde un freno del desarrollo de la industria local y una escasez en la producción de alimentos, hasta graves problemas de salud donde el consumo de aguas estancadas desemboca en la aparición de enfermedades, a partir de las cuales se explica las elevadas tasas de mortalidad infantil en esas zonas tan desfavorecidas.

Es por todo esto, que se concentra mucho esfuerzo para promover el desarrollo de tecnologías sencillas, de bajo coste, innovadoras y abiertas a comunidades con escasos recursos, donde puedan obtener un agua de calidad sin acceso a cierta tecnología, ni a la corriente eléctrica.

El presente trabajo propone el uso de carbón vegetal como coagulante natural a partir de varias especies vegetales y la utilización de un lecho de arena como método de filtrado. Esta alternativa tiene como objetivo la eliminación de la turbidez y, por lo tanto, mejorar la calidad del agua para su posterior consumo.

Para ello se estudia mediante el test de jarras y un agua turbia sintética el comportamiento de los diferentes tipos de carbón y determinar así su dosis óptima. Seguidamente, se realiza el diseño del filtro de arena y su puesta en marcha tanto en agua turbia sintética como en agua real. Todo el trabajo de la unidad de potabilización se plasmará en el manual de funcionamiento para poder garantizar su modo de empleo, la calidad de agua tratada y su posterior mantenimiento, facilitando así su implementación en zonas de bajos recursos.

Este Trabajo Final de Grado tiene como objetivo la finalización del Grado de Ingeniería Química en la Escuela Técnica de Ingenieros Industriales de la Universitat Politècnica de València.

A través de él se afronta un reto profesional donde se desarrollan los conocimientos y métodos impartidos durante toda la titulación con el propósito de demostrar su adquisición como ingeniero.

2. ANTECEDENTES

2.1. LA PROBLEMÁTICA DEL AGUA EN EL MUNDO

El agua es un elemento esencial para la vida y fundamental para unos ecosistemas saludables y un desarrollo socio-económico y sanitario.

Sin embargo, la disponibilidad de agua va disminuyendo, por lo que zonas enteras tienen que enfrentar la falta total o parcial de este recurso. Los países más afectados por la escasez son los países en vías de desarrollo, principalmente en Oriente Medio y el Norte de África. [1]

La escasez de agua se debe principalmente a grandes problemas como el creciente consumo, la contaminación y degradación de reservas hídricas, degradación de los recursos naturales, cambio climático y una falta de infraestructura básica (principalmente por razones económicas). [2]

2.2. PROBLEMA DE LA ESCASEZ DE AGUA EN LOS PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO

El 28 de julio de 2010, la Asamblea General de Naciones Unidas reconoció el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos. [3]

Sin embargo, según datos de la OMS y UNICEF, 2.100 millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable y 4.500 millones carecen de servicios de saneamiento gestionados de forma segura. Esto hace que estas personas se vean obligadas a consumir agua de ciertas fuentes sin ni siquiera conocer el estado de calidad de esta. [4]

El consumo de agua no potable puede conllevar enfermedades, algunas de ellas mortales. Además, las mujeres y las niñas son las más afectadas en países en vías de desarrollo, encargándose de buscar agua lejos de sus hogares. En estos países en desarrollo apenas utilizan de dos a cinco litros al día por persona, mientras que en los países desarrollados usamos alrededor de 350 litros al día por persona. [5]

Distribución porcentual de hogares por persona responsable de ir a buscar agua, por región y por área urbana o rural (2005-2007)

		Agua en las casas	Mujer de 15 años o más	Hombre de 15 años o más	Niña menor de 15 años	Niño menor de 15 años
Región Subsahariana África (18 países)	Áreas rurales (%)	11,9	62,9	11,2	7,0	4,1
	Áreas urbanas (%)	51,5	29,0	10,2	4,3	3,1
Asia (18 países)	Áreas rurales (%)	52,3	30,0	12,9	2,5	1,7
	Áreas urbanas (%)	83,9	8,7	5,3	0,8	1,0
América Latina y el Caribe (6 países)	Áreas rurales (%)	74,2	10,5	12,7	1,0	0,7
	Áreas urbanas (%)	90,8	3,1	4,9	0,2	0,4
Europa del Este (6 países)	Áreas rurales (%)	75,5	11,7	9,2	0,1	0,2
	Áreas urbanas (%)	95,6	2,0	2,3	0,1	0,1

Figura 1. Distribución porcentual de hogares por persona responsable de ir a buscar agua, por región y por área urbana o rural

Fuente: unesco.org

La problemática de la escasez de agua está directa e indirectamente relacionada con muchos de los objetivos de desarrollo sostenible. A continuación, se muestran algunos de los objetivos que se podrían alcanzar si se lograra superar esa barrera:

- ❖ **Fin de la pobreza.** Si no existieran problemas de falta de agua podría darse un desarrollo de la industria local y no depender tanto de la importación de otros países que lo único que hace es aumentar la deuda externa.
- ❖ **Hambre cero.** Terminar con el hambre, la inseguridad alimentaria y proponer una mejora de la nutrición. Al mismo tiempo se fomentarían los sectores de ganadería y agricultura sostenibles que podrían disponer de ciertas cantidades de agua para una elevada producción de alimentos y convertirse así, en poblaciones más autosuficientes.
- ❖ **Salud y bienestar.** Los habitantes de estas zonas dejarían de consumir agua en malas condiciones procedentes de aguas estancadas y contaminadas disminuyendo así, la aparición de enfermedades y mejorando la salud y el bienestar de la población. Además, bajarían las tasas de mortalidad infantil, ya que son los niños los más débiles y por lo tanto lo más perjudicados en este ámbito.
- ❖ **Educación de calidad.** Si la población no está enferma o encargada de buscar agua u otras formas para poder sobrevivir tendrían la oportunidad optar a una educación inclusiva y equitativa, promoviendo así oportunidades de aprendizaje durante todo el periodo de vida para toda la población. Todos saldrían ganando, pues surgirían personas más cualificadas capaz de participar en proyectos e idea que sigan mejorando sus formas de vida.

- ❖ **Igualdad de género.** La falta de agua y alimentos termina generando problemas sociales donde al final, como se puede apreciar en la Figura 1 que se ha visto anteriormente, son sobre todo las mujeres las encargadas de recorrer kilómetros para poder encontrar cualquier tipo de agua. De esta forma, 1 de cada 3 han experimentado violencia física o sexual y son obligadas a encargarse de ciertas tareas y privadas de muchas otras como son los derechos económicos (como tierras y propiedades) y laborales obligándoles a encargarse solamente de tareas relacionadas con el hogar. Si no existieran tantas tensiones sociales debido a problemas de escasez de agua o alimentos se podría mejorar la igualdad entre los géneros y empoderar a mujeres y niñas para luchar contra la discriminación y conseguir sus derechos básicos.
- ❖ **Agua limpia y saneamiento.** Garantizar el derecho de la disponibilidad de agua y servicios de saneamiento para todos junto con una gestión y tratamiento sostenible. De esta manera también se contribuye a crear un buen ambiente igualitario sin conflictos, ya que es cierto países los sistemas de saneamiento son muy escasos y con distribución muy disímil. Estas malas distribuciones acaban provocando migraciones forzosas y problemas entre diferentes zonas.
- ❖ **Trabajo decente y crecimiento económico.** Promover un crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible junto con un empleo pleno y productivo decente para toda la población. Esto sería totalmente capaz de hacerse gracias a varios de los puntos anteriores al fomentar y desarrollar la industria, la educación y formación de todas las personas y con la inclusión de las mujeres en el mundo laboral.
- ❖ **Reducción de las desigualdades.** Reducir la desigualdad tanto en y entre países. Como se acaba de comentar anteriormente, si todas las personas tuvieran derecho a recursos básicos como los que se están nombrando, no se generarían tantos conflictos y tensiones sociales acabadas en guerras entre países o incluso luchas prolongadas entre varios bandos de una misma nación desembocadas en guerras civiles. [6]
- ❖ **Producción y consumo responsables.** Enseñar, promover y llevar a cabo modalidades de consumo y producción sostenibles. Para este objetivo es vital ejecutar una gestión eficiente de los recursos naturales y la forma en que se eliminan desechos tóxicos y contaminantes. Al establecer este sistema, se contaminarían menos zonas naturales y con ello menos cantidad de agua que podría ser destinada al consumo humano.
- ❖ **Acción por el clima.** Adoptar medidas urgentes para poder luchar contra el cambio climático y todos sus posibles efectos, que cada día se vuelven más notorios. Por ejemplo, las zonas afectadas por la falta de agua se ven relacionadas con fuertes temporadas de sequía por la falta de lluvias y con la aparición de un mayor número de incendios y pérdidas de recursos naturales. [7] [8][9]

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Figura 2. Objetivos de desarrollo sostenible

Fuente: www.undp.org (Programa de Naciones Unidas para el desarrollo)

De aquí se puede observar la importancia del consumo de agua potable y de unos buenos sistemas de saneamiento para conseguir llevar una vida digna y conseguir un desarrollo sostenible, ya que, de los 17 objetivos que propone el programa de las Naciones Unidas para el desarrollo este problema está directa e indirectamente relacionado como mínimo, en diez de ellos.

2.3. MÉTODOS CONVENCIONALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA

Para el tratamiento y potabilización del agua existe una gran diversidad de métodos. Estos tratamientos pueden ser físicos, químicos, biológicos e incluso varias combinaciones de los anteriores.

Sin embargo, dependiendo del tratamiento que el agua requiera se puede aplicar unos tratamientos u otros.

Cuando lo que se quiere es desinfectar el agua de algún tipo de moho o bacteria estos son algunos de los métodos más utilizados:

- Desinfección por **ebullición**. El agua se hierva en un recipiente tapado durante al menos 5 minutos. Después debe dejarse enfriar para poder consumirla. Con este método se elimina toda clase de patógenos (virus, bacterias, hongos...) sin tener gran importancia el grado de turbidez. [10]

- Desinfección a partir de la adición de cloro (**cloración**). Es verdaderamente efectivo para mohos, algas, bacterias y otros microorganismos peligrosos como las trazas fecales, la escherichia coli y la legionela. Su aplicación se hace sobre agua que ya ha sido filtrada de impurezas. [11]
- Desinfección por **luz ultravioleta**. La radiación ultravioleta atraviesa la pared celular de los organismos modificando su material genético y volviéndolos incapaces de reproducirse. Con este método podemos eliminar virus, bacterias. Sin embargo, tras operar con él es necesario una posterior adición de cloro para prevenir el crecimiento de bacterias.

Por otra parte, si lo que se quiere eliminar son sólidos o partículas en suspensión existentes en el agua tenemos alternativas como la utilización de filtros, la adición de compuestos químicos o el uso de membranas. Cada uno de ellos funciona de la siguiente manera:

- **Filtración**. La filtración puede llevarse a cabo a través de filtros de arena rápidos o lentos, filtros de tierras diatomáceas, filtración directa o filtración empacada. Este método es la combinación de procesos químicos y físicos. El proceso se basa en que la filtración mecánica remueve los sólidos en suspensión atrapándolas entre los granos del medio filtrante (como por ejemplo la arena), y, además, la adhesión hace que las partículas en suspensión se adhieran a la superficie de los granos filtrantes o al material previamente depositado. [12]
- **Coagulación-floculación**, que consiste en la adición de coagulantes y floculantes. Con este método se consigue desestabilizar los coloides consiguiendo que formen poco a poco masas más grandes que sedimenten. Es una manera de eliminar los sólidos en suspensión de una disolución. [13]
- Filtración por **membranas**. Este tipo de filtración consiste en materiales finos capaces de separar ciertas sustancias aplicando presión como fuerza impulsora. Este proceso es un proceso físico de separación a través del cual el agua atraviesa los poros de la membrana (que pueden ser de tamaño variable) separándose del resto de sustancias. Dentro de este método podemos encontrar diferentes tipos de filtración por membranas según su tamaño de poro: microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa. [14]

2.4. EQUIPOS DE POTABILIZACIÓN FAMILIAR ENFOCADOS A PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO

Cada día el mundo se encuentra más mentalizado de la problemática del agua, sobre todo en estos países poco desarrollados, y se juntan esfuerzos para el desarrollo de tecnologías fáciles y económicas abiertas para el uso de este tipo de poblaciones.

A continuación, se han recogido algunas de ellas en la Tabla 1:

Tabla 1. Sistemas de potabilización de agua enfocados a países en desarrollo

Sistema	Descripción	Eficacia	Coste	Vida útil
<i>Solvatten</i> [15]	Purificador de agua basado en la radiación UV del sol.	Es capaz de tratar 10 L de agua en unas 3-5 horas.	8 €/unidad	De 7-10 años
<i>Filtro de Bioarena (FBA)</i> [16]	Se basa en una capa de arena fina de filtración, una de arena gruesa para separación y la capa de piedrín de drenaje.	Eficacia de eliminación de patógenos del 99%	20€/unidad	20 años
<i>LifeSraw</i> [17][18][19]	Es un equipo con forma de pajita basado en una membrana de filtración.	Es capaz de filtrar 100 litros con una eficacia del 99.9%	17.77€/unidad	Filtrado de 100 litros (por uso).
<i>Sobres Instantáneos</i> [20][21]	Se basa en la adición de un floculante y un desinfectante para la eliminación de partículas y su desinfección.	Capaz de transformar 10 litros de agua sucia en agua limpia lista para su consumo en un proceso de una media hora de duración.	0.03€/unidad	Sobres de un solo uso.
<i>Aquapot</i> [22]	Tecnología de membranas	potabilización de agua por membranas 2500L/h	25000€/unidad	15 años

2.5. CRITERIOS DE LEGISLACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DESTINADO A CONSUMO HUMANO

Según la legislación española, el agua para consumo humano deberá ser salubre y limpia cumpliendo para ello ciertas condiciones y criterios de calidad de inserción obligada.

Estos criterios aparecen reflejados en el artículo 5 del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

A efectos de este Real Decreto, un agua destinado a consumo humano se considerará salubre y limpia cuando no contenga ningún microorganismo, parásito o sustancia, en una concentración que pueda suponer un riesgo para la salud humana y cumpla los requisitos especificados en las siguientes Tablas 2 y 3. [23]

Tabla 2. Parámetros microbiológicos

Fuente: www.boe.es (Real Decreto 140/2003)

Parámetro	Valor paramétrico	Notas
1. Escherichia coli	0 UFC en 100 ml	
2. Enterococo	0 UFC en 100 ml	
3. Clostridium perfringens (incluidas las esporas)	0 UFC en 100 ml	1 y 2

Notas:

(1) Cuando la determinación sea positiva y exista una turbidez mayor 5 UNF se determinarán, en la salida de Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) o depósito, si la autoridad sanitaria lo considera oportuno, «Cryptosporidium» u otros microorganismos o parásitos.

(2) Hasta el 1 de enero de 2004 se podrá determinar «Clostridium» sulfito reductor en vez de «Clostridium perfringens». Las condiciones descritas en la nota 1 y el valor paramétrico serán los mismos para ambos.

Tabla 3. Parámetros químicos

Fuente: www.boe.es (Real Decreto 140/2003)

Parámetro	Valor paramétrico	Notas
4. Antimonio	5,0 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	10,0 µg/l	
5. Arsénico	10 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	50 µg/l	
6. Benceno	1,0 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	- µg/l	
7. Benzo(a)pireno	0,010 µg/l	
8. Boro	1,0 mg/l	
9. Bromato:		1
A partir de 01/01/2009	10 µg/l	
De 01/01/2004 a 31/12/2008	25 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	- µg/l	
10. Cadmio	5,0 µg/l	
11. Cianuro	50 µg/l	
12. Cobre	2,0 mg/l	
13. Cromo	50 µg/l	
14. 1,2-Dicloroetano	3,0 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	- µg/l	
15. Fluoruro	1,5 mg/l	
16. Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA)	0,10 µg/l	
Suma de:		
Benzo(b)fluoranteno	µg/l	
Benzo(ghi)perileno	µg/l	

Benzo(k)fluoranteno	µg/l	
Indeno(1,2,3-cd)pireno	µg/l	
17. Mercurio	1,0 µg/l	
18. Microcistina	1 µg/l	2
Hasta el 31/12/2003	- µg/l	
19. Níquel	20 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	50 µg/l	
20. Nitrato	50 mg/l	3
21. Nitritos:		3 y 4
Red de distribución	0,5 mg/l	
En la salida de la ETAP/depósito 0,1 mg/l	0,1 mg/l	
22. Total de plaguicidas	0,50 µg/l	5 y 6
23. Plaguicida individual	0,10 µg/l	6
Excepto para los casos de:		
Aldrín	0,03 µg/l	
Dieldrín	0,03 µg/l	
Heptacloro	0,03 µg/l	
Heptacloro epóxido	0,03 µg/l	
24. Plomo:		
A partir de 01/01/2014	10 µg/l	
De 01/01/2004 a 31/12/2013	25 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	50 µg/l	
25. Selenio	10 µg/l	
26. Trihalometanos (THMs): Suma de:		7 y 8
A partir de 01/01/2009	100 µg/l	
De 01/01/2004 a 31/12/2008	150 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	- µg/l	
Bromodiclorometano	µg/l	
Bromoformo	µg/l	
Cloroformo	µg/l	
Dibromoclorometano	µg/l	
27. Tricloroetano + Tetracloroetano	10 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	- µg/l	
Tetracloroetano	µg/l	
Tricloroetano	µg/l	

Notas:

(1) Se determinará cuando se utilice el ozono en el tratamiento de potabilización y se determinará al menos a la salida de la ETAP.

(2) Sólo se determinará cuando exista sospecha de eutrofización en el agua de la captación, se realizará determinación de microcistina a la salida de la ETAP o depósito de cabecera.

(3) Se cumplirá la condición de que $\frac{[\text{nitrato}]}{50} + \frac{[\text{nitrito}]}{3} < 1$. Donde los corchetes significan concentraciones en mg/l para el nitrato (NO₃) y para el nitrito (NO₂).

- (4) Se determinará cuando se utilice la cloraminación como método de desinfección.
- (5) Suma de todos los plaguicidas definidos en el apartado 10 del artículo 2 que se sospeche puedan estar presentes en el agua.
- (6) Las comunidades autónomas velarán para que se adopten las medidas necesarias para poner a disposición de la autoridad sanitaria y de los gestores del abastecimiento el listado de plaguicidas fitosanitarios utilizados mayoritariamente en cada una de las campañas contra plagas del campo y que puedan estar presentes en los recursos hídricos susceptibles de ser utilizados para la producción de agua de consumo humano.
- (7) Se determinará cuando se utilice el cloro o sus derivados en el tratamiento de potabilización. Si se utiliza el dióxido de cloro, se determinarán cloritos a la salida de la ETAP o depósito de cabecera.
- (8) En los casos de que los niveles estén por encima del valor paramétrico, se determinarán: 2,4,6-triclorofenol u otros subproductos de la desinfección a la salida de la ETAP o depósito de cabecera. (formato justificar)

Además, también se asegura el uso adecuado de las sustancias utilizadas en el tratamiento de aguas que son destinadas a la producción de agua para consumo humano. Esto queda recogido en la Orden SSI/304/2013, de 19 de febrero. Aquí, quedan recogidas algunas sustancias que legalmente se pueden utilizar. [24]

Tabla 4. Sustancias destinadas al tratamiento del agua de consumo humano, excepto biocidas notificados para tipo de producto 5.

Fuente: www.boe.es (Orden SSI/304/2013)

UNE-EN	Nombre	Sinónimos	CAS	EINECS	Función principal	Control analítico adicional. Nota 2	Observaciones y condiciones de utilización
12905	Aluminosilicato expandido.	Arcilla expandida, pizarra expandida.	-	-	Filtración.	El aluminio con niveles < VP.	
15795	Aluminosilicatos naturales no expandidos.	Basalto. Arena volcánica. Fonolita.	-	-	Filtración.	El aluminio con niveles < VP.	
12909	Antracita.	Antracita natural.	-	-	Filtración.		También se puede usar en procesos unitarios de tratamiento e instalación interior.
12911	Arena verde de manganeso.	Zeolita de manganeso, arena-hierro, arena verde.	90387-66-9 1313-13-9	291-341-6 215-202-6	Filtración.	El manganeso con niveles < VP.	También se puede usar en procesos unitarios de tratamiento e instalación interior.
12904	Arena y grava de cuarzo.	Sílice, dióxido de silicio.	-	-	Filtración.		También se puede usar en procesos unitarios de tratamiento e instalación interior.
12903	Carbón activo en polvo.	Carbón activo, carbón activado, carbón vegetal activo.	7440-44-0	231-153-3	Adsorbente.		

Diseño de una planta de potabilización doméstica familiar para una producción de 75L/día de implementación en países en vías de desarrollo.

12915-2	Carbón activo granulado reactivado.	Carbón activo reactivado, carbón activo granulado regenerado, carbón activo regenerado, carbón vegetal reactivado, carbón vegetal activo reactivado, carbón vegetal activo regenerado, carbono activo reactivado.	7440-44-0	231-153-3	Adsorbente.		El carbono activo granulado reactivado debe utilizarse en la misma ETAP de donde procede.
12915-1	Carbón activo granulado virgen.	Carbón activo granulado virgen, carbón activo virgen, carbono activado virgen.	7440-44-0	231-153-3	Adsorbente.		
12907	Carbón pirolizado.		-	-	Filtración.	Índice de Langelier.	Nota 1.
936	Dióxido de carbono.	Gas carbónico, ácido carbónico (anhídrido del ácido carbónico).	124-38-9	204-696-9	Corrector de pH. Remineralización. Reducción de la agresividad.	Índice de Langelier.	Nota 1.
12876	Oxígeno.		7782-44-7	231-956-9	Oxigenación. Precursor de la ozonización.		Oxigenación del agua destinada a la producción de agua de consumo. También se puede usar en captaciones y conducciones.
12906	Piedra pómez.		-	-	Filtración.		También se puede usar en procesos unitarios de tratamiento e instalación interior.
1209	Silicato de sodio.	Vidrio soluble.	1344-09-8	215-687-4	Coagulante/floculante. Inhibidor de la corrosión.	El sodio con niveles < VP. Índice de Langelier.	Nota 1. También se puede usar en procesos unitarios de tratamiento e instalación interior.
12913	Tierra de diatomeas en polvo.		61790-53-2 (seca y molida). 90053-39-3 (diatomea calcinada). 68855-54-9 (calcinada con fundente).	293-303-4 (calcinada).	Filtración.		También se puede usar en procesos unitarios de tratamiento e instalación interior.
16070	Zeolita Natural.	Analcima Clinoptilolita. Phillipsita.	1318-02-1 12173-10-3 12271-42-0	215-283-8	Adsorbente.		

2.6. ESTUDIO SOBRE LA TOXICIDAD DE CIERTAS MADERAS

Debido a que este trabajo estudiará el carbón vegetal de varias especies, se ha estudiado la toxicidad todas ellas. En la siguiente tabla se recogen cómo pueden afectar a la salud el polvo o el estar en contacto con algunas de estas maderas. [25]

Tabla 5. Daños para la salud relacionados con varios tipos de árboles

Fuente: www.mitramiss.gob.es

NOMBRE COMÚN	DAÑOS PARA LA SALUD
CEREZO	Dermatitis, conjuntivitis, rinitis, asma
NOGUERA	Dermatitis, conjuntivitis, rinitis, asma
OLMO	Dermatitis
PINO	Conjuntivitis, rinitis, asma
OLIVO	Dermatitis, asma
ACACIA	Dermatitis
CARRASCA	Dermatitis
ALMENDRO	Dermatitis, conjuntivitis

Después de analizar los daños para la salud que pueden desencadenar estas especies, se observa que son todas superficiales y poco graves sin llegar ninguno de ellos a poseer ningún nivel de toxicidad. Además, la mayoría se dan por padecer alergia a estos árboles.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO PRINCIPAL

El objetivo principal de este trabajo final de grado se basa, en el diseño de una planta de potabilización doméstica familiar de implementación en países en vías de desarrollo, capaz de tratar un caudal de agua de 75 litros/día correspondiente a un núcleo familiar de 15 personas.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para llevar a cabo el objetivo principal, diseño de la planta de potabilización, será necesario cumplir unos determinados objetivos previos para completar dicho diseño.

Los objetivos específicos, son los siguientes:

- OE-1-Elaboración del carbón a partir de diferentes especies vegetales.
- OE-2-Estudiar el comportamiento de los distintos tipos de coadyuvantes en base de carbón.
- OE-3-Determinación de la dosis óptima del carbón en la adición al filtro.
- OE-4-Diseño del sistema de filtrado.
- OE-5-Estudio del comportamiento y mantenimiento del filtro.
- OE-6-Control de calidad del agua tratada.
- OE-7-Manual de fabricación y funcionamiento.

4. METODOLOGÍA

4.1. ELABORACIÓN DEL CARBÓN VEGETAL

En este primer apartado, se explica todos los pasos necesarios con el objetivo de cumplir el primer objetivo específico de este trabajo, el proceso de elaboración del carbón vegetal a partir de diferentes especies. En primer lugar, se puede observar en la Figura 3 la secuencia que se sigue mediante un diagrama de bloques y posteriormente la explicación de cada una de las fases.

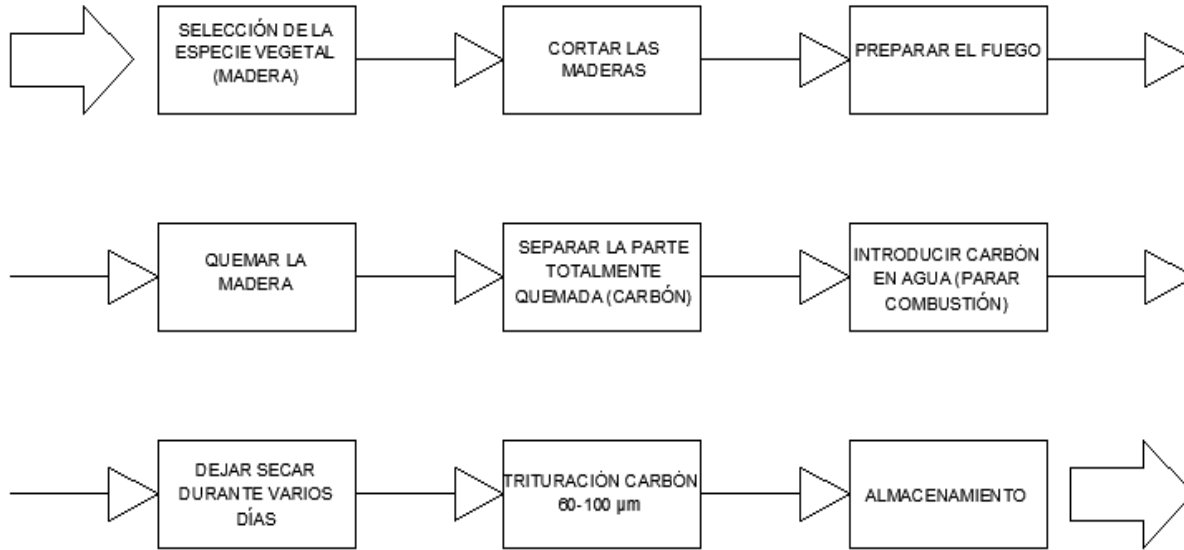


Figura 3. Diagrama de Bloques de la elaboración del carbón

Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, se deben seleccionar varias especies de árboles para la elaboración de diferentes tipos de carbones vegetales. Tras la selección, se cortan ramas de dichos árboles de tamaño no demasiado grande, alrededor de 50 cm de largo y 0.5-1.5 cm de ancho. En este caso se eligieron muestras de los siguientes árboles: olivo, acacia, cerezo, olmo, almendro, noguera, carrasca y pino.



Figura 4. Imágenes de las variedades olivo, acacia y cerezo

Fuente: Google imágenes

Una vez recogidas las maderas de todas las variedades de árboles se dejan secar durante varias semanas. Seguidamente, se hace una hoguera y cuando el fuego está un poco consumido se ponen sobre las brasas de dicha hoguera las ramas de los árboles para así, conseguir que se quemen poco a poco y consigamos transformar la madera en carbón sin que se llegue a convertir en cenizas.



Figura 5. Elaboración del carbón vegetal

Fuente: Elaboración propia

Cuando se observe que la madera está totalmente quemada se retira del fuego y se introduce el agua para que no se siga consumiendo y se deja secar.

Es importante mencionar que para que el proceso sea más sencillo las ramas de los árboles no deben ser demasiado gruesas, ya que podría quemarse bien la parte de fuera, pero la parte interior quedar intacta y, además, no introducir las ramas cuando las llamas de la hoguera estén demasiado vivas, ya que se podrían quemar demasiado rápido y convertirse directamente en cenizas en lugar de carbón, que es el objetivo.

Una vez elaborado el carbón, se procede al proceso de trituración de la forma más convencional posible. En este caso, se utiliza un mortero cerámico para machacar y triturar los trozos de carbón hasta conseguir una granulometría lo más pequeña posible.



Figura 6. Trituración del carbón vegetal mediante un mortero cerámico

Fuente: Elaboración propia

4.2. ANÁLISIS DE CARBONES MEDIANTE MICROSCOPIA

Una vez elaborado los diferentes carbones vegetales y para poder ver su estructura a nivel microscópico se realizó un análisis con el microscopio electrónico de barrido (SEM2).

Antes de introducir las muestras en el microscopio directamente, deben prepararse de una manera determinada. Estos pasos se muestran en la siguiente figura mediante un diagrama de bloques.



Figura 7. Diagrama de bloques del análisis mediante microscopía

Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, se coge una pequeña muestra de carbón triturado y se aplasta entre dos portaobjetos de cristal para extender el carbón todo lo posible. A continuación, se coge una cinta adhesiva de doble cara donde por un lado se adhiere a un porta muestras SEM numerado con la muestra correspondiente y por el otro lado se pega la muestra de carbón del portaobjetos.



Figura 8. Preparación de muestras para SEM2

Fuente: Elaboración propia

Las muestras destinadas al SEM han de ser conductoras, por lo que una vez preparadas las muestras, se realiza un recubrimiento de estas en bajo vacío. En este caso, el análisis será solo de imagen, por lo que solamente hará falta el recubrimiento "sputtering" de oro para obtener las mejores condiciones de imagen. Este proceso se basa en el recubrimiento de las muestras con una fina capa de oro haciendo así que las muestras sean conductoras.



Figura 9. Metalización de muestras

Fuente: Elaboración propia

Al convertir las muestras en conductoras, sólo queda introducirlas en el microscopio y realizar los análisis de imágenes a los aumentos deseados. En este caso, se hicieron cuatro análisis de cada muestra correspondientes a 100, 250, 1000 y 2000 aumentos.



Figura 10. Microscopio Electrónico de Barrido (SEM2)

Fuente: upv.es

4.3. PREPARACIÓN DE AGUA TURBIA SINTÉTICA

Para cumplir el objetivo específico dos y poder así realizar el estudio de comportamiento de los distintos carbonos mediante ensayos de coagulación-floculación, se necesitará elaborar un agua turbia sintética al 5% de caolín blanco, la cual se utilizará para simular un agua turbia real. En la siguiente figura, se puede observar la secuencia de los procesos a seguir para su preparación.

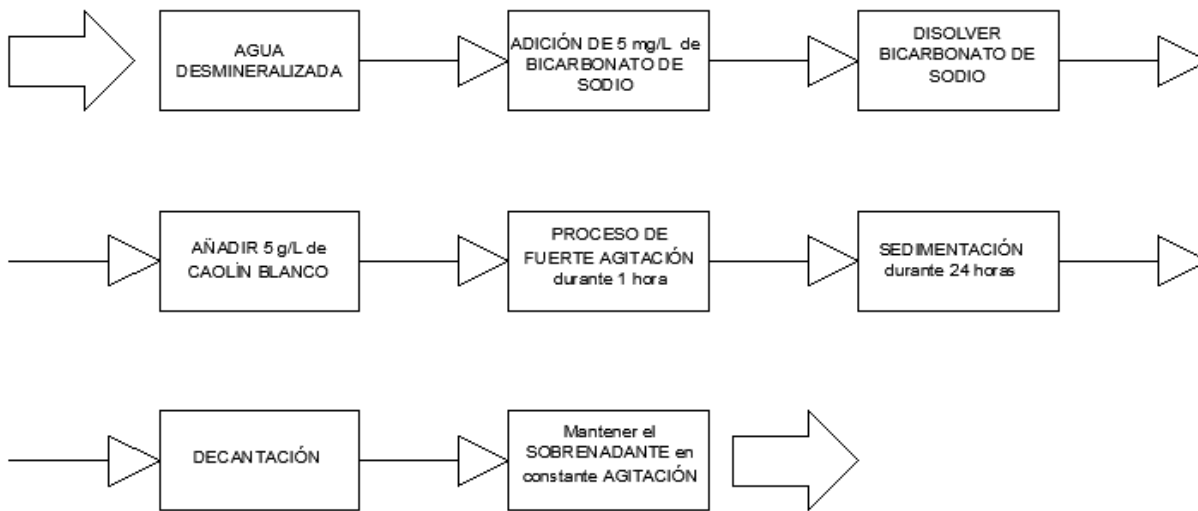


Figura 11. Diagrama de Bloques para la preparación de Agua Turbia Sintética

Fuente: Elaboración propia

En su elaboración se necesita agua desmineralizada por un proceso de ósmosis inversa y de intercambio iónico. Seguidamente, por cada litro de agua, se disuelven 5 mg de bicarbonato de sodio y se añaden 5 g de caolín blanco.

Para conseguir que el caolín se hidrate y disuelva correctamente se tapa la disolución y se mantiene en una fuerte agitación durante 1 hora. Al pasar el tiempo, se detiene el proceso de agitación y manteniendo la disolución tapada, se deja reposar durante 24 horas para su sedimentación. La necesidad de que la disolución deba mantenerse con la superficie protegida se debe a que puede oxigenarse o permitir la entrada de partículas alterándose así la disolución.

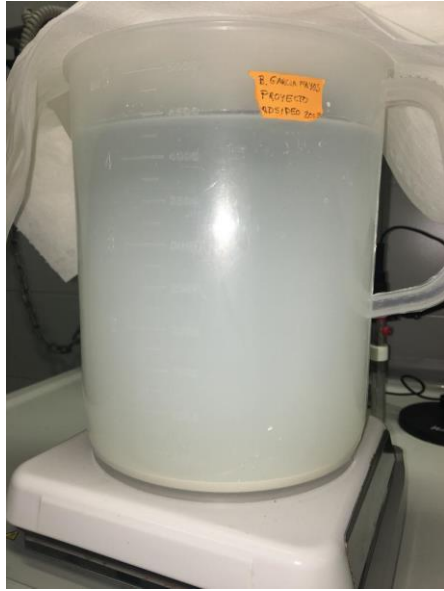


Figura 12. Disolución de agua turbia sintética en proceso de sedimentación

Fuente: Elaboración propia

Transcurrido el tiempo de sedimentación, se decanta la disolución y el sobrenadante se mantiene en una constante agitación convirtiéndose en la disolución madre.

Para comprobar que la disolución ha salido correctamente, el sobrenadante debe estar alrededor de unos 500 NTU. Y, además, la parte sedimentada debe tener un aspecto viscoso y no líquido.

4.4. ENSAYO JAR TEST

Una vez que se dispone del agua turbia sintética y del carbón vegetal como coagulante se llevan a cabo los ensayos de Jar Test con el objetivo de encontrar la dosis óptima de carbón para cada especie vegetal. Para conseguirlo, se deben seguir los pasos representados en el diagrama de bloques de la Figura 8.

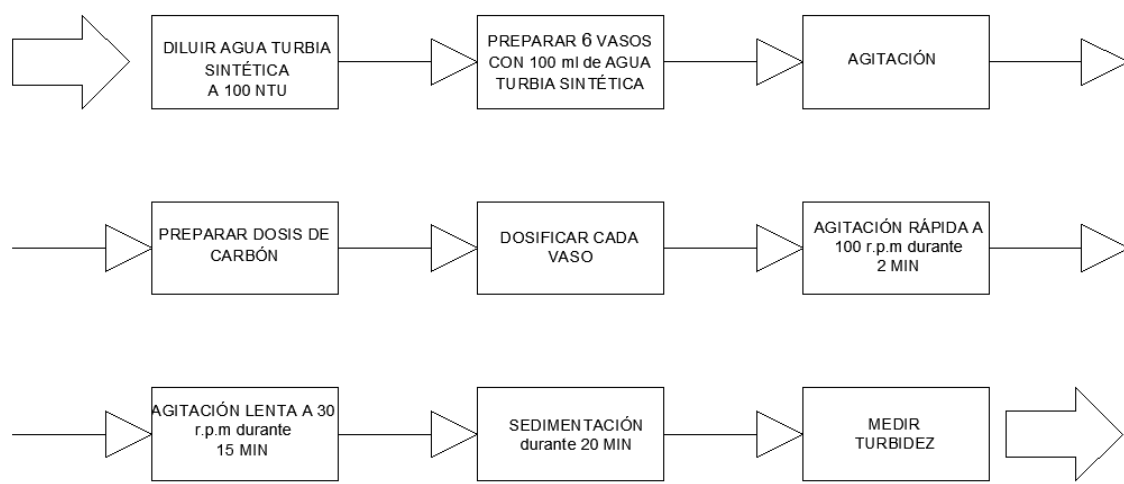


Figura 13. Diagrama de Bloques del ensayo del Jar Test

Fuente: Elaboración propia

Para los ensayos de Jar Test se deberá utilizar como agua a tratar una disolución del agua turbia sintética diluida hasta unos 100 NTU mediante diluciones partiendo de la disolución madre. Para los ensayos se utiliza un floculador con 6 palas metálicas, donde en cada una se pondrá un vaso con una muestra de 100 ml.

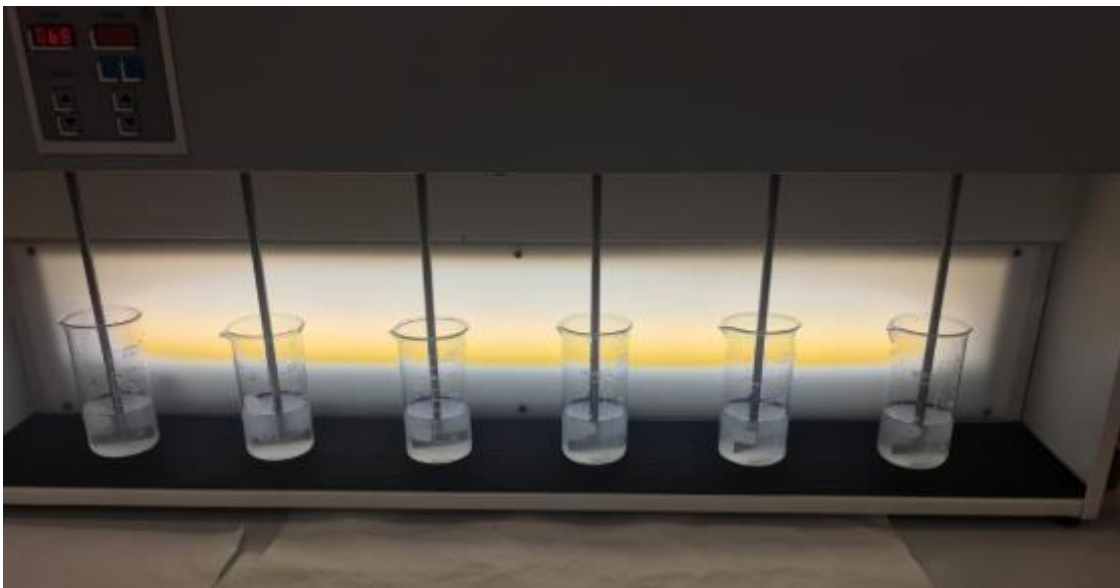


Figura 14. Ensayo de Jar Test

Fuente: Elaboración propia

La disolución de los vasos debe mantenerse siempre en agitación y en cada serie de ensayos debe trabajarse siempre con un blanco al cual no se le añade ninguna cantidad de coagulante-floculante. Cuando se vaya a dosificar cada vaso con la cantidad correspondiente de carbón paramos el proceso de agitación. Una vez añadido el coagulante-floculante se pone el proceso en agitación rápida a 100 rpm durante 2 minutos y seguidamente en una agitación lenta a 30 rpm durante 15 minutos.

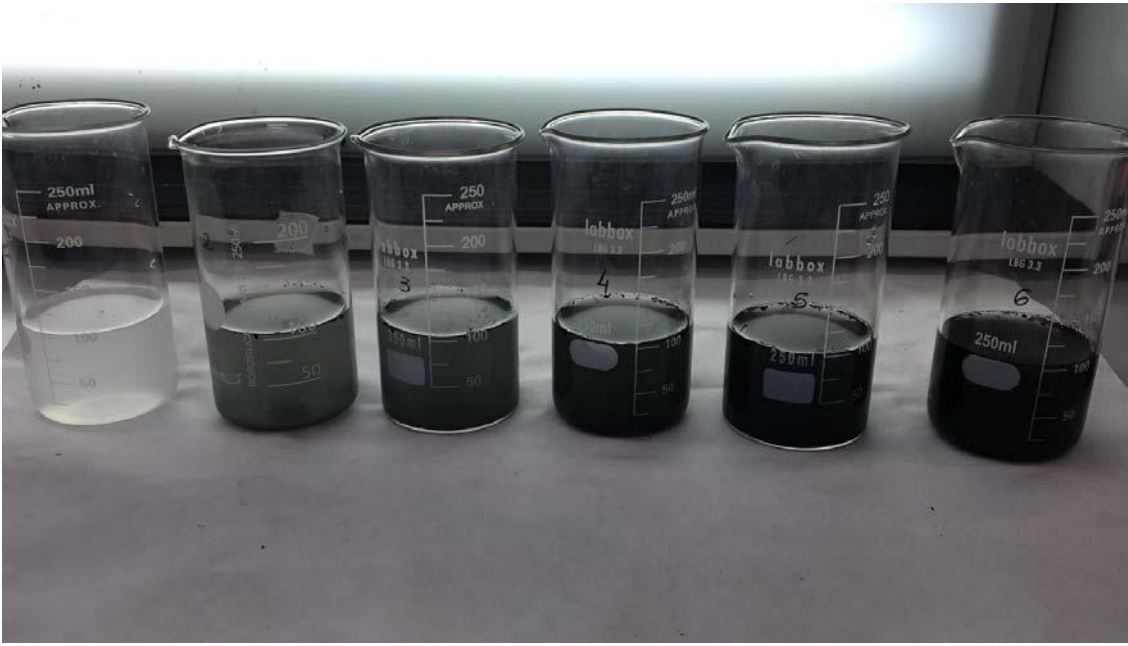


Figura 15. Sedimentación de las muestras tras el Jar Test

Fuente: Elaboración propia

Cuando termina el proceso, se retiran los vasos de Jar Test y colocándolos cerca del turbidímetro dejándolos sedimentar durante 20 minutos. Tras pasar este tiempo, se mide la turbidez de cada una de las muestras y calcular así, su rendimiento de eliminación con la ecuación 1.

$$\eta_{eliminación} = \frac{Turbidez\ inicial - Turbidez\ final}{Turbidez\ inicial} * 100 \quad [1]$$



Figura 16. Medida de la turbidez tras el ensayo de Jar Test

Fuente: Elaboración propia

Una vez calculado el rendimiento correspondiente a cada dosis de carbón vegetal, se representarán dichos datos para su posterior tratamiento con el propósito de determinar la dosis óptima, cantidad de carbón para la cual se alcanza el máximo rendimiento posible y conseguir así el tercer objetivo específico de este trabajo.

4.5. ENSAYO DE FILTRACIÓN

En este apartado se realizará el diseño del sistema de filtrado y su correspondiente puesta en marcha del filtro realizando varios ensayos de filtración usando simplemente la arena del filtro y añadiendo también distintos coagulantes para ver como este reacciona. Este proceso servirá para conseguir realizar un estudio del comportamiento del filtro.

En primer lugar, se monta el filtro correctamente como se detalla en el manual de funcionamiento de este



Figura 17. Montaje del sistema de filtrado

Fuente: Elaboración propia

Después, se realizará primero un ensayo llamado “Blanco” donde simplemente se realizará una disolución turbia sintética de unos 20-25 litros (de la cual se conoce la turbidez inicial) y se pondrá en marcha el filtro para el proceso de filtración. Una vez la filtración esté en marcha, gracias a un conjunto de tubos de ensayo se irán cogiendo muestras del permeado (disolución que consigue traspasar el relleno de arena) cada 5 min, y se irá midiendo la turbidez de las mismas con el objetivo de controlar la calidad del agua tratada. Una vez conocida la turbidez de todas las muestras y gracias a la ecuación 1 se calcula el rendimiento de eliminación del filtro tras aplicar solo el lecho de arena.

Al conocer el rendimiento del propio filtro, se elaborarán nuevas disoluciones turbias sintéticas a las cuales se les añadirá una cierta concentración de carbón y se dejará en agitación durante 15 minutos. Tras pasar este tiempo, se pondrá en marcha el proceso de filtración como se acaba de describir anteriormente siguiendo el mismo proceso.

Al llegar al final de todos estos ensayos se procesan los datos y se compararán los resultados del ensayo de "Blanco" con los resultados obtenidos al añadir diferentes coagulantes a las disoluciones y poder ver si se refleja una mejora en el rendimiento del sistema.

Tras el estudio del comportamiento del filtro se realizará un apartado correspondiente al manual de fabricación y funcionamiento de este. Aquí se recogerá todo su diseño y funcionamiento, así como su mantenimiento para conseguir que cualquier persona sea capaz de montarlo, conseguir ponerlo en marcha y filtra el agua para su consumo sin ningún peligro y, además, conseguir realizar el mantenimiento del mismo de una forma eficaz y fiable.

5. RESULTADOS

5.1. RESULTADOS DE JAR TEST PARA CADA TIPO DE CARBÓN VEGETAL

En este apartado se muestra cómo se comporta cada tipo de carbón vegetal en el agua turbia sintética en los ensayos de Jar Test, para así posteriormente poder determinar la dosis óptima para cada tipo y agrupar en varios grupos los diferentes coagulantes en función de su rendimiento de eliminación.

A continuación, se muestra en la siguiente tabla las condiciones aproximadas de operación con las cuales se han llevado a cabo los experimentos de Jar Test con los distintos tipos de carbón:

Tabla 6. Condiciones físicas de operación en el ensayo de Jar Test

Fuente: Elaboración propia

Temperatura (°C)	Presión (atm)	Humedad relativa (%)
25	1	60

5.1.1. RESULTADO DEL JAR TEST USANDO COMO COAGULANTE CARBÓN VEGETAL DE OLIVO

En este apartado se utilizó carbón vegetal de olivo, correspondiente a la familia de las Oleáceas y posee una distribución geográfica por zonas como Sudáfrica, Argentina, Perú, Chile e Israel.

Se analizó el carbón mediante un análisis microscópico para visualizar su estructura, la cual muestra una estructura desordenada que puede verse a continuación.

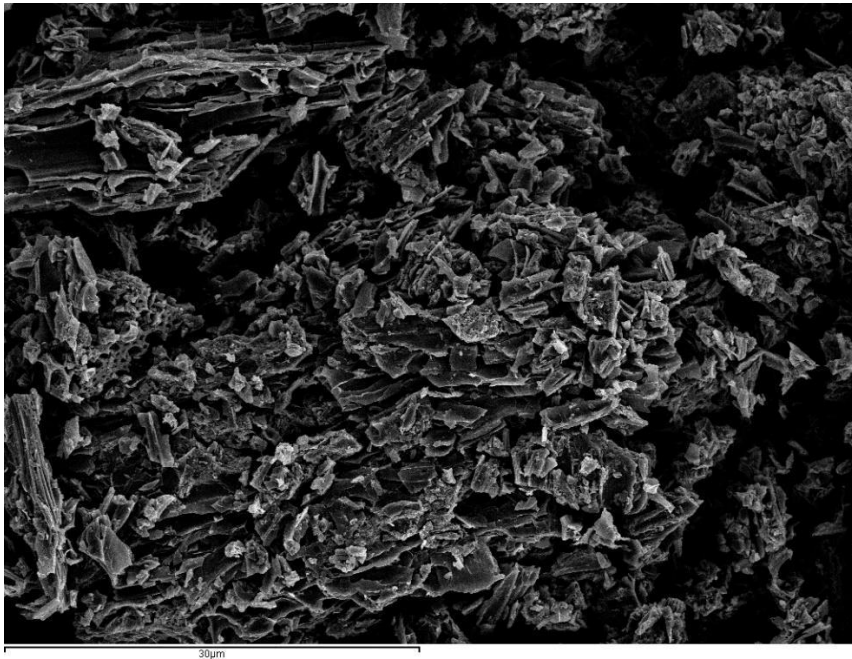


Figura 18. Estructura carbón de olivo a 250 aumentos

Fuente: Elaboración propia

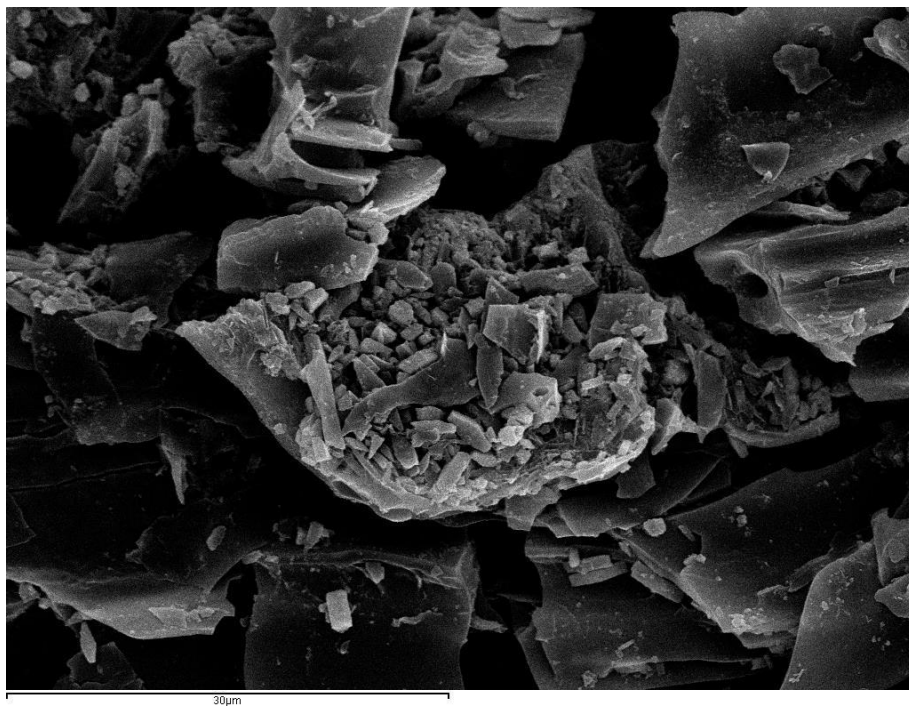


Figura 19. Estructura carbón de olivo a 2000 aumentos.

Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, tras elaborar el agua turbia y diluirla a 100 NTU, se comenzó el ensayo dosificando de 0 a 0.5 gramos de carbón, como puede observarse en la Tabla 2, para encontrar el intervalo donde se obtuviera un mayor rendimiento de eliminación.

La tabla está compuesta por una fila horizontal donde se indica el valor de la turbidez inicial de la disolución a tratar. También consta de 4 filas verticales donde se indica el número de muestra correspondiente a cada dosis añadida en los vasos de precipitados del Jar Test, la dosis en gramos de carbón que se añade a la disolución, la turbidez correspondiente a cada muestra tras acabar el ensayo y por último el rendimiento de eliminación de dicha turbidez, calculado a partir de la ecuación 1, con los valores de turbidez inicial y final. Este modelo de tabla será el que se siga en todas las demás pertenecientes al apartado 5.1.

Tabla 7. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de olivo

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	103	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	102,0	0,97
2	0,05	78,6	23,69
3	0,10	68,0	33,98
4	0,20	34,0	66,99
5	0,30	82,0	20,39
6	0,50	Fuera de rango	0,00

Viendo los resultados, el máximo rendimiento de eliminación se encuentra alrededor de los 0.20 gramos. De esta manera, se procedió a realizar ensayos posteriores intentado afinar todavía más en la dosis a añadir donde se estudió la concentración de 0.15 a 0.20 gramos y de 0.20 a 0.27. gramos para poder observar en qué momento se alcanzaba el máximo rendimiento y en cuál comenzaba la saturación del coagulante provocando un descenso de la eliminación de la turbidez. Estos ensayos son los correspondientes a las Tablas 8 y 9.

Tabla 8. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de olivo

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	110	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	109,0	0,91
2	0,15	39,9	63,73
3	0,16	38,6	64,91
4	0,17	32,8	70,18
5	0,18	32,1	70,82
6	0,19	25,3	77,00

Tabla 9. Ensayo 3 y 4 de Jar Test usando carbón de olivo

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	105	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	104,0	0,95
2	0,19	28,3	73,05
3	0,20	27,2	74,10
4	0,21	23,0	78,10
5	0,22	22,6	78,48
6	0,23	22,7	78,38
1 (Blanco)	0,00	103,0	1,90
2	0,23	24,3	76,86
3	0,24	30,1	71,33
4	0,25	25,2	76,00
5	0,26	25,6	75,62
6	0,27	32,0	69,52

El punto máximo de eliminación (78.48 %) corresponde a la dosis de 0.22 y a partir de ese punto el rendimiento tiende a disminuir. Esto se debe a que hemos saturado la disolución de coagulante y en lugar de aumentar el rendimiento de eliminación, este comienza a descender rápidamente. Por ello, se puede determinar que la dosis óptima para este coagulante corresponde a 0.22 gramos de carbón.

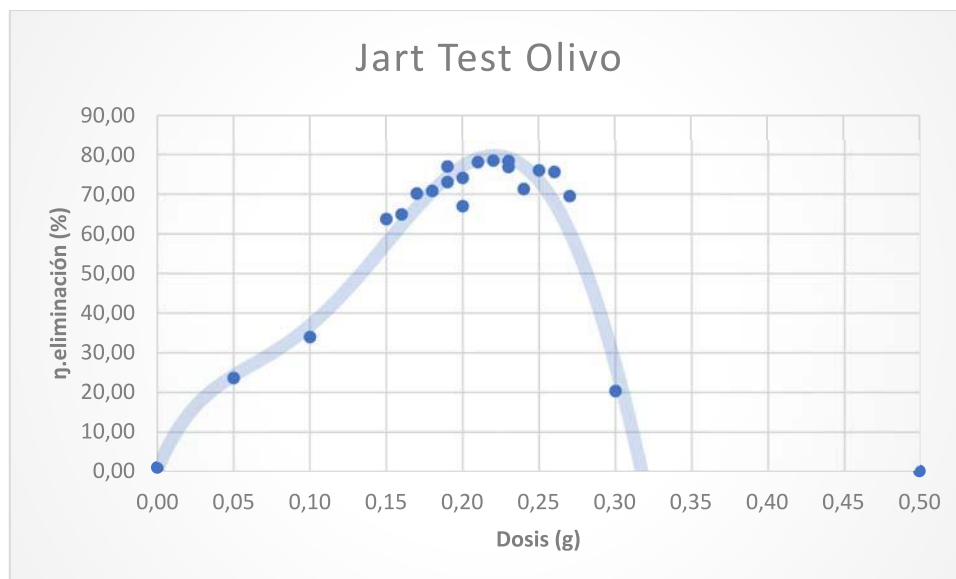


Gráfico 1. Resultados del Jar Test usando carbón de olivo

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 9 se pueden ver los resultados de forma más visual ya que se representan los datos clave de las tablas anteriores (rendimiento de eliminación frente a la dosis a añadir) y se puede comprobar que el máximo rendimiento se encuentra entre 0.21 y 0.23 con diferencias mínimas.

Se ha de tener en cuenta que el valor obtenido de 0.22 gramos se ha obtenido partiendo de 100 mL de disolución, por lo que calculándose en función de cada litro de disolución queda de la siguiente forma:

$$Dosis\ óptima = 0.22 \frac{g}{100\ mL} * \frac{1000\ mL}{1\ L} = 2.2\ g/L$$

$$Dosis\ óptima = 2200\ ppm$$

5.1.2. RESULTADO DEL JAR TEST USANDO COMO COAGULANTE CARBÓN VEGETAL DE ACACIA

El segundo coagulante se trata de carbón vegetal de acacia, correspondiente a la familia Fabáceas y posee una distribución geográfica por zonas como Australia, Tasmania, Asia, África y América. De todas las especies a estudiar, esta es la más común.

Tras el análisis microscópico realizado con el SEM2, este carbón muestra una estructura diferente al caso anterior siendo esta mucho más porosa.

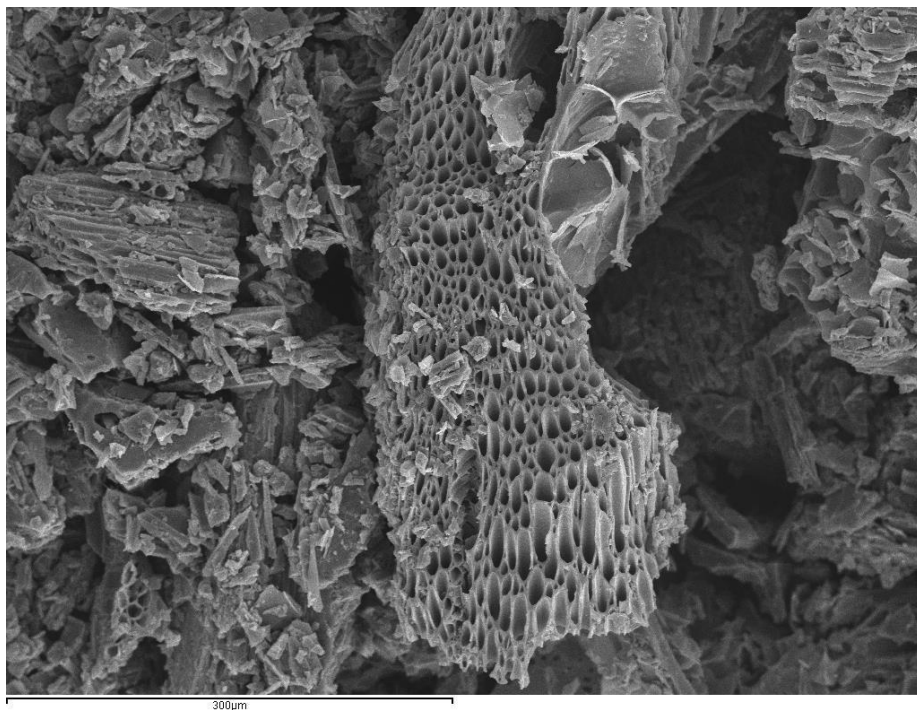


Figura 20. Estructura carbón de acacia a 250 aumentos

Fuente: Elaboración propia

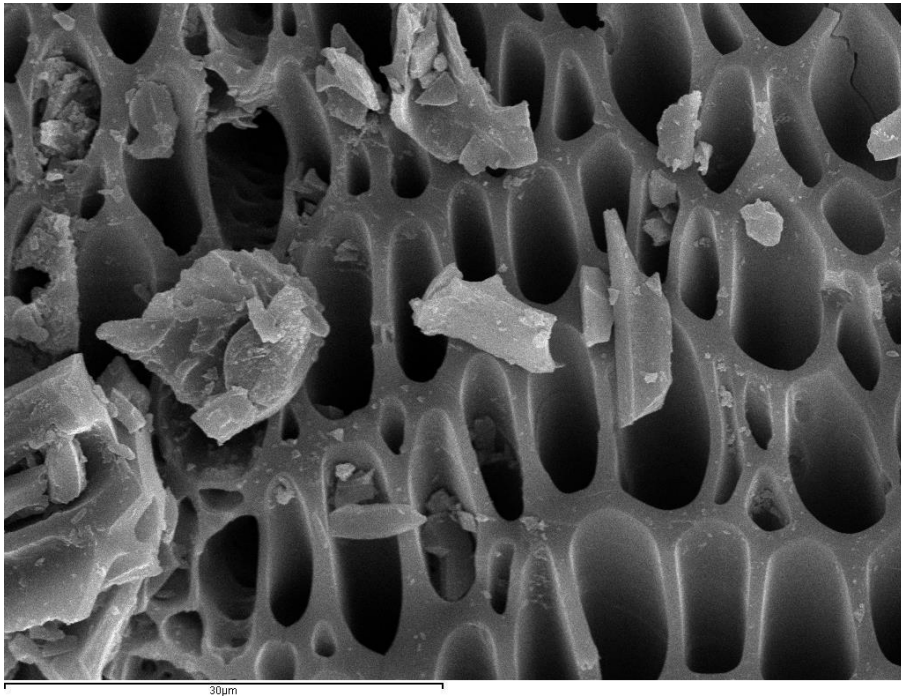


Figura 21. Estructura carbón de acacia a 2000 aumentos

Fuente: Elaboración propia

De igual forma que con el coagulante anterior, se comenzó el ensayo partiendo de la elaboración de 100 ml de agua turbia sintética a 100 NTU y dosificando de 0 a 0.5 gramos como se puede observar en la Tabla 10. Esto se hizo ya que no hay indicios para pensar en que ambos tipos de coagulante se comportarán de la misma forma para obtener la misma dosis óptima.

Tabla 10. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de acacia

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	103	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	101	1,94
2	0,05	86,6	15,92
3	0,10	54,4	47,18
4	0,20	32,2	68,74
5	0,30	95	7,77
6	0,50	Fuera de rango	0,00

Para este caso, se puede observar que el rendimiento máximo de eliminación vuelve a encontrarse alrededor de los 0.20 gramos. Por ello, se afinará la concentración con ensayos que van de 0.15 a 0.20 gramos en la Tabla 11 y de 0.20 a 0.29 gramos en las Tablas 12 y 13.

Tabla 11. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de acacia

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial		112 NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	111,3	0,63
2	0,15	47,2	57,86
3	0,16	47,3	57,77
4	0,17	36,5	67,41
5	0,18	35,7	68,13
6	0,19	34,1	69,55

Tabla 12. Ensayo 3 de Jar Test usando carbón de acacia

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial		111 NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	110	0,90
2	0,20	32,8	70,45
3	0,21	27,3	75,41
4	0,22	29,2	73,69
5	0,23	27,4	75,32
6	0,24	25,5	77,03

Tabla 13. Ensayo 4 de Jar Test usando carbón de acacia

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial		106 NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	104	1,89
2	0,25	27,2	74,34
3	0,26	32,3	69,53
4	0,27	59	44,34
5	0,28	65	38,68
6	0,29	81	23,58

Se ha obtenido el máximo rendimiento (77.03 %) para la concentración de 0.24 gramos en 100 ml de disolución. Superado ese punto, el rendimiento tiende a disminuir rápidamente, sobre todo tras los 0.26 gramos.

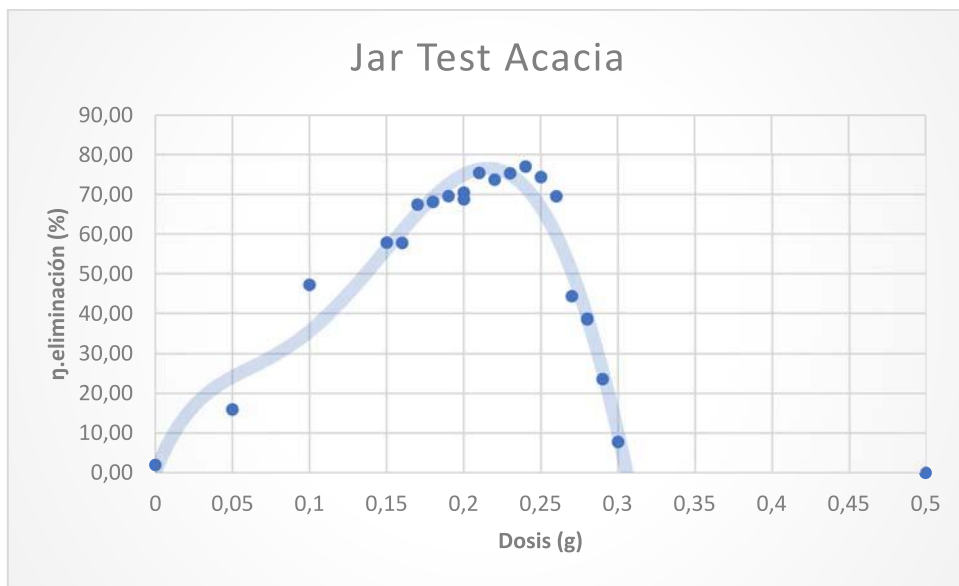


Gráfico 2. Resultados del Jar Test usando carbón de acacia

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 10 se observa la evolución del rendimiento de eliminación (%) con la dosis de coagulante añadida (gramos). Los mejores resultados obtenidos se encuentran en el rango entre 0.21 y 0.25 gramos obteniéndose resultados similares al coagulante anterior.

Basándose en que el valor obtenido de 0.24 gramos se ha obtenido partiendo de 100 ml de disolución, la dosis óptima por litro quedaría de la siguiente forma:

$$Dosis\ óptima = 0.24 \frac{g}{100\ mL} * \frac{1000\ mL}{1\ L} = 2.4\ g/L$$

$$Dosis\ óptima = 2400\ ppm$$

5.1.3. RESULTADO DEL JAR TEST USANDO COMO COAGULANTE CARBÓN VEGETAL DE CEREZO

El tercer coagulante es carbón vegetal de cerezo, correspondiente a la familia Rosáceas y posee una distribución geográfica por zonas como Rusia, Estados Unidos, Italia, Francia, Alemania y España.

A continuación, se puede observar la estructura alargada con pequeños poros obtenida mediante los ensayos de microscopía.

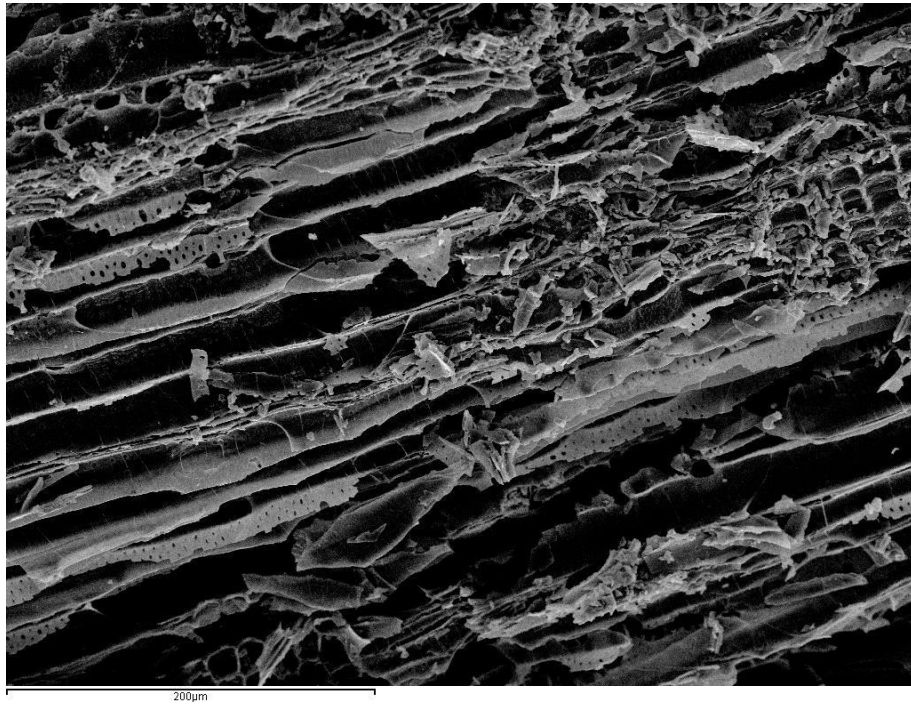


Figura 22. Estructura carbón de cerezo a 250 aumentos

Fuente: Elaboración propia

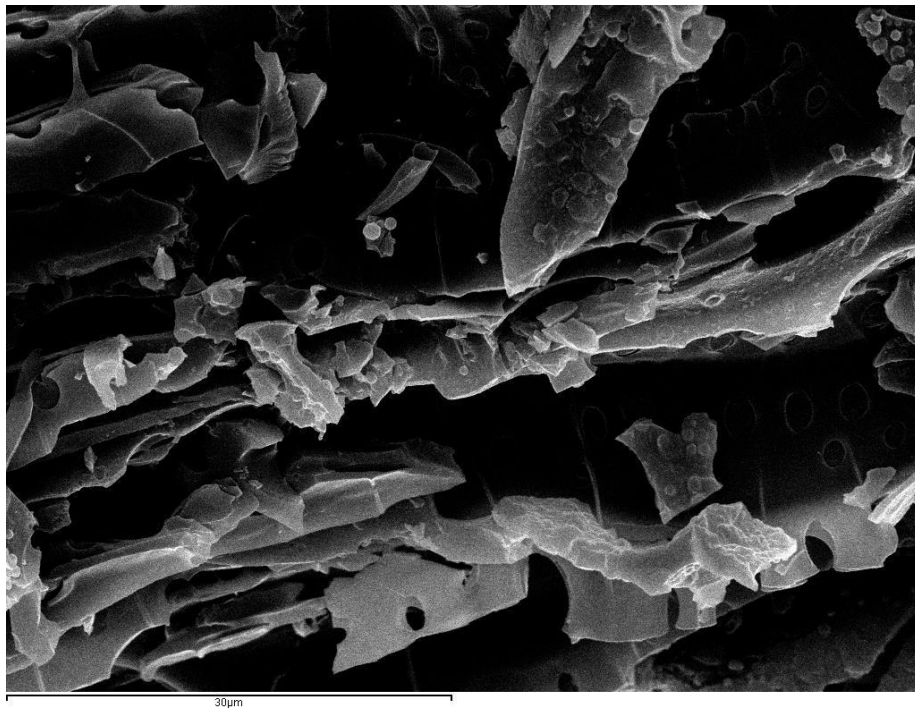


Figura 23. Estructura carbón de cerezo a 2000 aumentos

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo los procedimientos anteriores, se comienza el ensayo de Jar Test dosificando de 0 a 0.5 gramos como se puede observar en la Tabla 14 para ver entre que rango se aprecia un mayor porcentaje de eliminación.

Tabla 14. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de cerezo

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	104	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	102	1,92
2	0,05	70,9	31,83
3	0,10	60,1	42,21
4	0,20	35,3	66,06
5	0,30	68,6	34,04
6	0,50	Fuera de rango	0,00

El máximo se alcanza alrededor de una dosis de 0.20 gramos. A continuación, se estudia el rango de 0.15 a 0.19 gramos en la Tabla 15 y de 0.20 a 0.29 gramos en las Tablas 16 y 17.

Tabla 15. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de cerezo

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	108	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	107	0,93
2	0,15	56,3	47,87
3	0,16	51,1	52,69
4	0,17	45,3	58,06
5	0,18	40	62,96
6	0,19	39,2	63,70

Tabla 16. Ensayo 3 de Jar Test usando carbón de cerezo

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	110	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	108	1,82
2	0,20	36,2	67,09
3	0,21	37,5	65,91
4	0,22	35,8	67,45
5	0,23	37,2	66,18
6	0,24	40,1	63,55

Tabla 17. Ensayo 4 de Jar Test usando carbón de cerezo

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	106	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	103	2,83
2	0,25	43	59,43
3	0,26	42,1	60,28
4	0,27	47,7	55,00
5	0,28	56	47,17
6	0,29	63,5	40,09

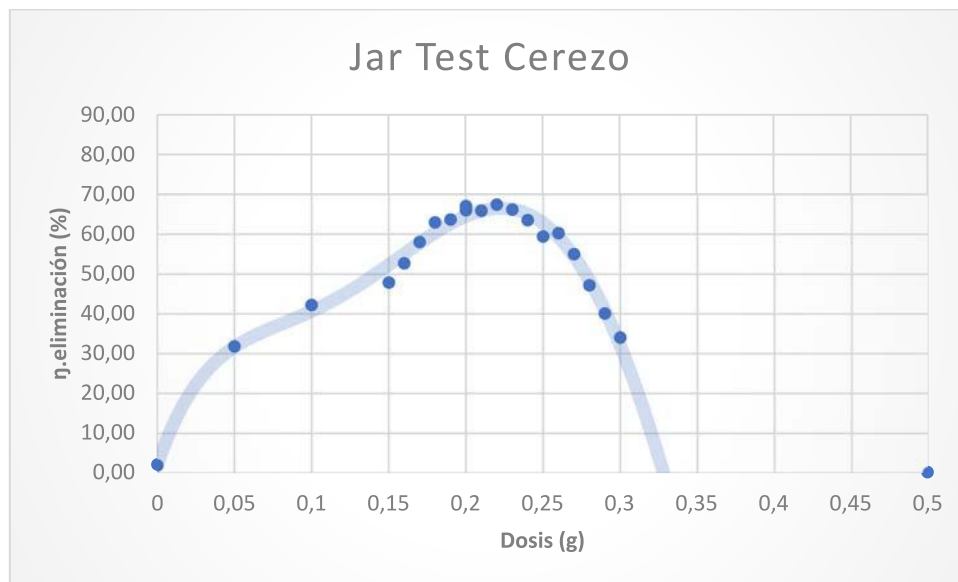


Gráfico 3. Resultados del Jar Test usando carbón de cerezo

Fuente: Elaboración propia

Viendo la evolución de la eliminación de la turbidez en referencia a la dosis suministrada, vemos que los resultados no son tan buenos como con el carbón de olivo o acacia, aunque tampoco puede decirse sean unos pésimos resultados. El máximo porcentaje se encuentra casi al 70% entre los valores de 0.20 a 0.23 gramos.

Como conclusión, y sabiendo que el máximo rendimiento de eliminación alcanzado en 67.45 %, corresponde para el punto de dosificación de 0.22 gramos, se puede determinar la dosis óptima siguiente:

$$Dosis\ óptima = 0.22 \frac{g}{100\ mL} * \frac{1000\ mL}{1\ L} = 2.2\ g/L$$

$$Dosis\ óptima = 2200\ ppm$$

5.1.4. RESULTADO DEL JAR TEST USANDO COMO COAGULANTE CARBÓN VEGETAL DE OLMO

El cuarto coagulante estudiado se trata de carbón vegetal de olmo, correspondiente a la familia Ulmáceas y posee una distribución geográfica por zonas como el sur de Europa, Asia y América del norte.

Se puede observar su estructura gracias al análisis de microscopía con el SEM2 en las siguientes imágenes a dos aumentos diferentes.

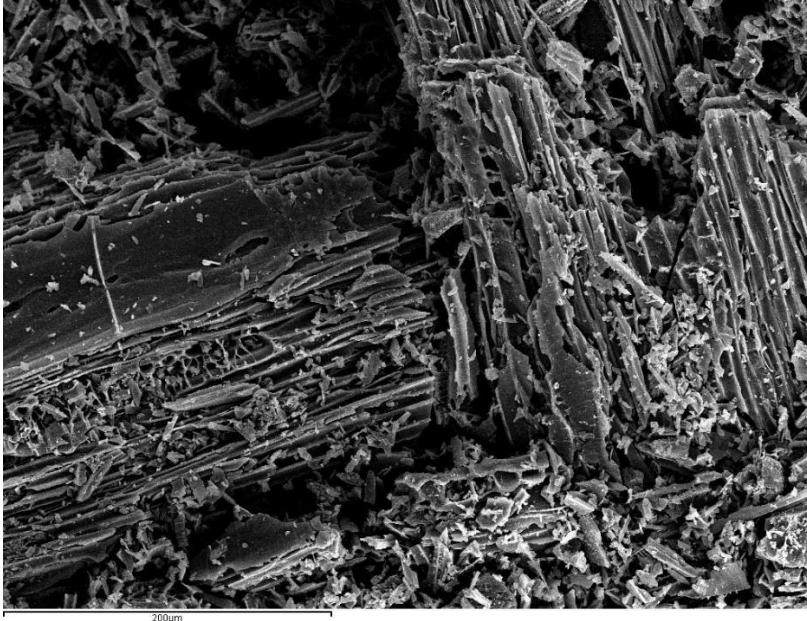


Figura 24. Estructura carbón de olmo a 250 aumentos

Fuente: Elaboración propia

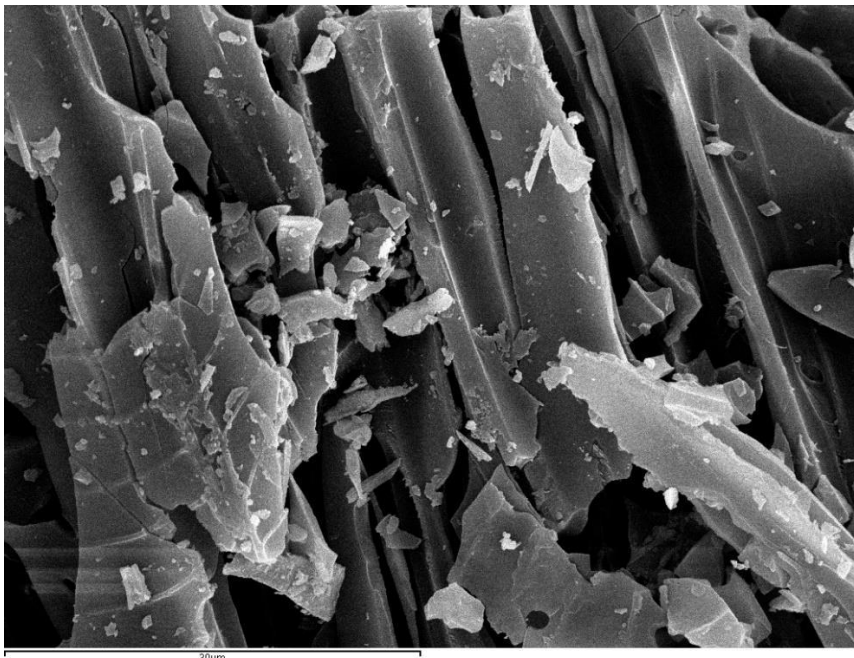


Figura 25. Estructura carbón de olmo a 2000 aumentos

Fuente: Elaboración propia

Se parte dosificando de 0 a 0.5 gramos como se puede observar en la Tabla 18 para ver entre que rango se puede observar un mayor porcentaje de eliminación.

Tabla 18. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de olmo

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	101	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	97,2	3,76
2	0,05	43,5	56,93
3	0,10	24,9	75,35
4	0,20	43,6	56,83
5	0,30	69,8	30,89
6	0,50	Fuera Rango	0,00

En este caso, el mayor porcentaje de eliminación se encuentra en una dosis menor que las anteriores, alrededor de 0.10 gramos. De esta manera se estudian los rangos de 0 a 10 gramos en la Tabla 19 y de 0.11 a 0.15 en la Tabla 20.

Tabla 19. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de olmo

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	99,9	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	97,5	2,40
2	0,06	43,2	56,76
3	0,07	35,3	64,66
4	0,08	36,6	63,36
5	0,09	26,4	73,57
6	0,10	25	74,97

Tabla 20. Ensayo 3 de Jar Test usando carbón de olmo

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	99,5	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	97,4	2,11
2	0,11	27,9	71,96
3	0,12	29,1	70,75
4	0,13	30,2	69,65
5	0,14	28,5	71,36
6	0,15	30,4	69,45

Teniendo en cuenta que hasta el valor de 0.15 gramos los valores de eliminación no disminuyen en gran cantidad, se realiza un cuarto ensayo para visualizar la bajada del rendimiento con la saturación del coagulante en la Tabla 21.

Tabla 21. Ensayo 4 de Jar Test usando carbón de olmo

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	96,7	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	95,2	1,55
2	0,16	34	65,83
3	0,17	33,7	66,13
4	0,18	34,7	65,13
5	0,19	38,1	61,71
6	0,20	43,8	55,98

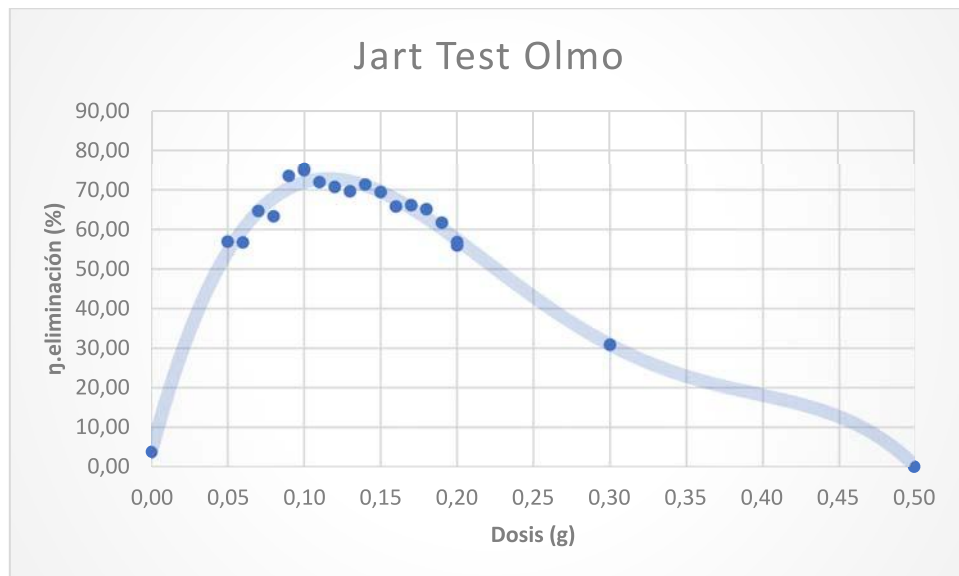


Gráfico 4. Resultados del Jar Test usando carbón de olmo

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 12 se observa la tendencia del rendimiento con la dosis aplicada. Para este tipo de coagulante se presencia una curva un poco distinta, ya que la eliminación de la turbidez aumenta de manera muy rápida pero una vez alcanzada la dosis óptima, la saturación y por consecuencia, la saturación del coagulante se produce de forma mucho más lenta. De esta manera podemos obtener buenos valores de eliminación de la turbidez en un rango más amplio que en los anteriores casos, concretamente entre 0.09 y 0.15 gramos llegando a valores de rendimiento entre el 70-75%.

El mayor valor de eliminación alcanzado (74.97 %) se encuentra para una dosificación de 0.10 gramos, por tanto, se puede determinar la dosis óptima por litro de disolución de la siguiente forma:

$$Dosis\ óptima = 0.10 \frac{g}{100\ mL} * \frac{1000\ mL}{1\ L} = 1\ g/L$$

$$Dosis\ óptima = 1000\ ppm$$

5.1.5. RESULTADO DEL JAR TEST USANDO COMO COAGULANTE CARBÓN VEGETAL DE ALMENDRO

El coagulante número 5 es de carbón vegetal de almendro, correspondiente a la familia Rosáceas y posee una distribución geográfica por zonas como el sureste asiático, el norte de África y América.

Este carbón posee una estructura con cierta porosidad, un poco similar a la estructura del carbón de acacia.

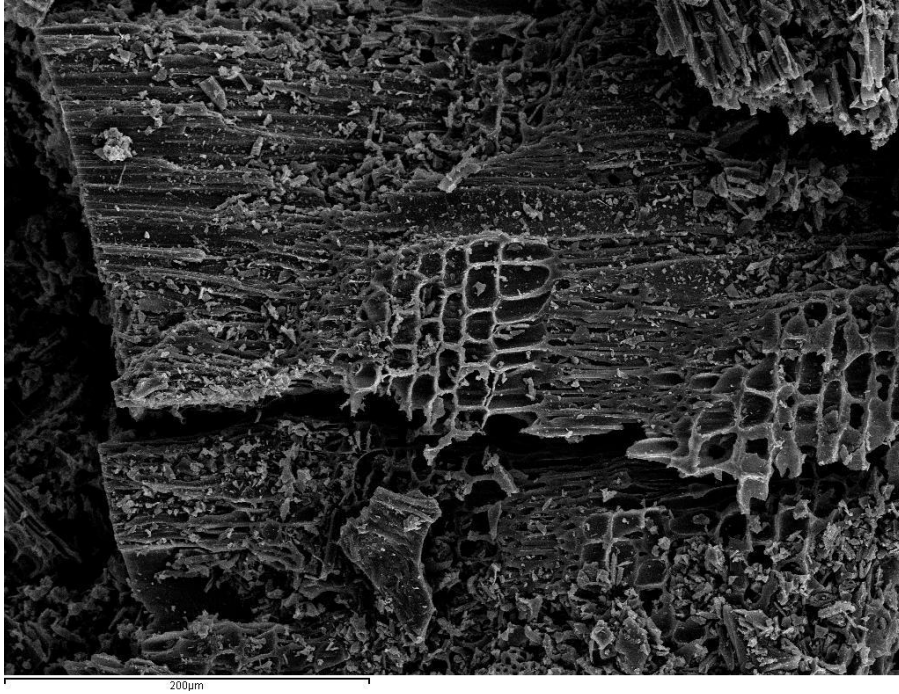


Figura 26. Estructura carbón de almendro a 250 aumentos

Fuente: Elaboración propia

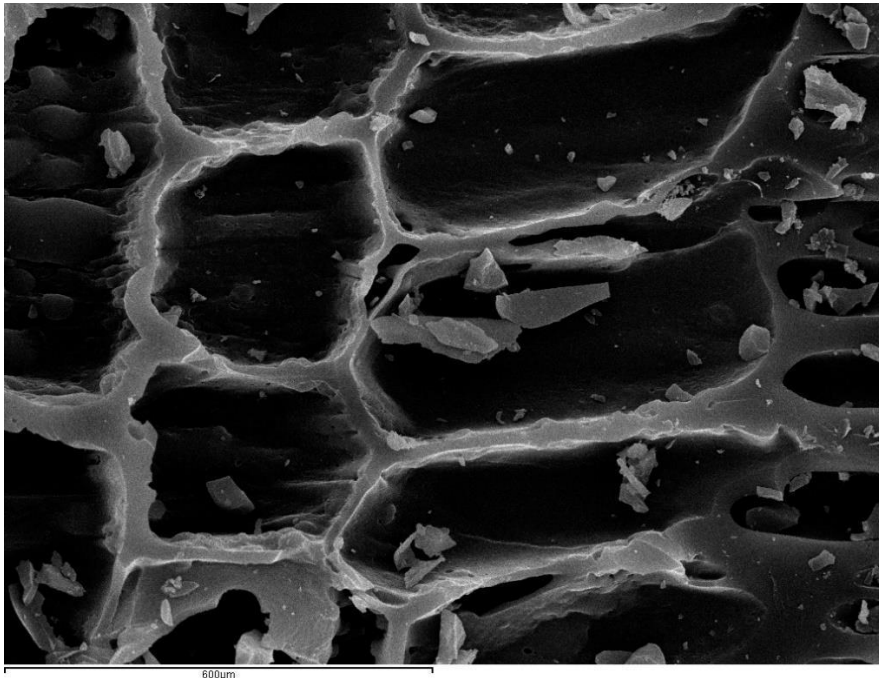


Figura 27. Estructura carbón de almendra a 2000 aumentos

Fuente: Elaboración propia

Se empieza dosificando de 0 a 0.5 gramos como se puede observar en la Tabla 22 para ver entre que rango se encuentra un mayor porcentaje de eliminación.

Tabla 22. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de almendra

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	101	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η.eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	98,7	2,28
2	0,05	68,6	32,08
3	0,10	45,7	54,75
4	0,20	22,3	77,92
5	0,30	50,8	49,70
6	0,50	97,3	3,66

El máximo punto de eliminación se aprecie alrededor de los 0.20 gramos. De esta manera se realizan dos ensayos posteriores de 0.15 a 0.19 gramos en la Tabla 23y de 0.21 a 0.25 en la Tabla 24 para ver el punto exacto en el que se encuentra el máximo punto de eliminación.

Tabla 23. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de almendro

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	101	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	99,8	1,19
2	0,15	33,3	67,03
3	0,16	29,4	70,89
4	0,17	26,2	74,06
5	0,18	28,4	71,88
6	0,19	27,8	72,48

Tabla 24. Ensayo 3 de Jar Test usando carbón de almendro

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	104	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	101	2,88
2	0,21	21,4	79,42
3	0,22	25,9	75,10
4	0,23	28,4	72,69
5	0,24	31,2	70,00
6	0,25	35,5	65,87

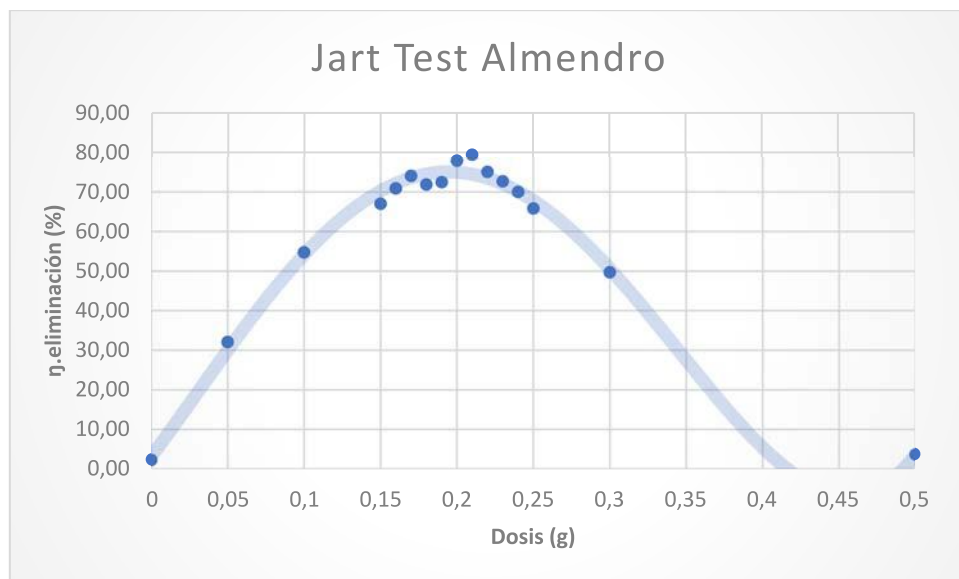


Gráfico 5. Resultados del Jar Test usando carbón de almendro

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 13 se puede observar una curva más o menos simétrica donde los mejores valores de eliminación de la turbidez se obtienen alrededor de 0.17 y 0.23 gramos de coagulante.

Aun así, el mayor porcentaje de rendimiento se encuentra para la dosis de 0.21 gramos de coagulante donde se consigue hasta casi un 80% de eliminación por lo que el punto óptimo se encuentra en este valor:

$$Dosis\ óptima = 0.21 \frac{g}{100\ mL} * \frac{1000\ mL}{1\ L} = 2.1\ g/L$$

$$Dosis\ óptima = 2100\ ppm$$

5.1.6. RESULTADO DEL JAR TEST USANDO COMO COAGULANTE CARBÓN VEGETAL DE NOGUERA

El coagulante número 6 es de carbón vegetal de noguera, correspondiente a la familia Juglandaceae y posee una distribución geográfica por las zonas de Europa y Asia.

Este coagulante posee una constante estructura desordenada, la cual se puede observar a continuación.



Figura 28. Estructura carbón de noguera a 250 aumentos

Fuente: Elaboración propia

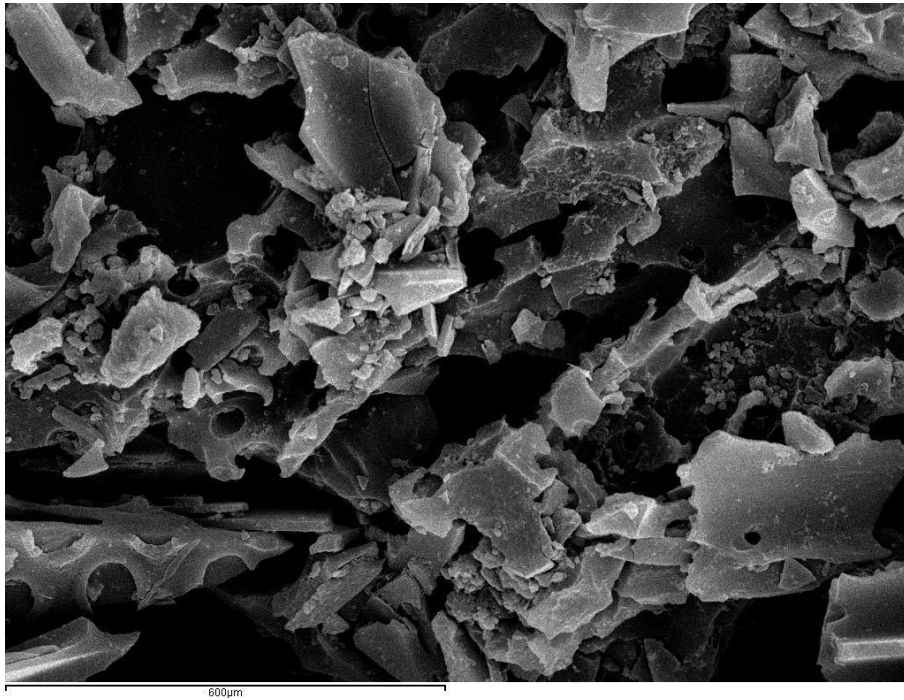


Figura 29. Estructura carbón de noguera a 2000 aumentos

Fuente: Elaboración propia

Se comienza realizando el ensayo mediante una dosificación de 0 a 0.5 gramos al agua turbia sintética de unos 100 NTU como se puede observar en la Tabla 25 con el objetivo de visualizar el rango donde se encuentra un mayor porcentaje de eliminación.

Tabla 25. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de noguera

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	106	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	104	1,89
2	0,05	40,9	61,42
3	0,10	41,33	61,01
4	0,20	49,8	53,02
5	0,30	68,1	35,75
6	0,50	101	4,72

El máximo punto de eliminación se encuentra en la muestra número 2 correspondiente a la dosis de 0.05 gramos. De esta manera se realizan dos ensayos posteriores de 0 a 0.05 gramos en la Tabla 26 y de 0.6 a 0.10 gramos en la Tabla 27 para ver el punto exacto en el que se encuentra el rendimiento máximo del carbón.

Tabla 26. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de noguera

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	106	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	105	0,94
2	0,01	87	17,92
3	0,02	74,5	29,72
4	0,03	64,1	39,53
5	0,04	51,1	51,79
6	0,05	42,9	59,53

Tabla 27. Ensayo 3 de Jar Test usando carbón de noguera

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	101	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	99,3	1,68
2	0,06	30,8	69,50
3	0,07	29,1	71,19
4	0,08	24,8	75,45
5	0,09	32,87	67,46
6	0,10	35,65	64,70

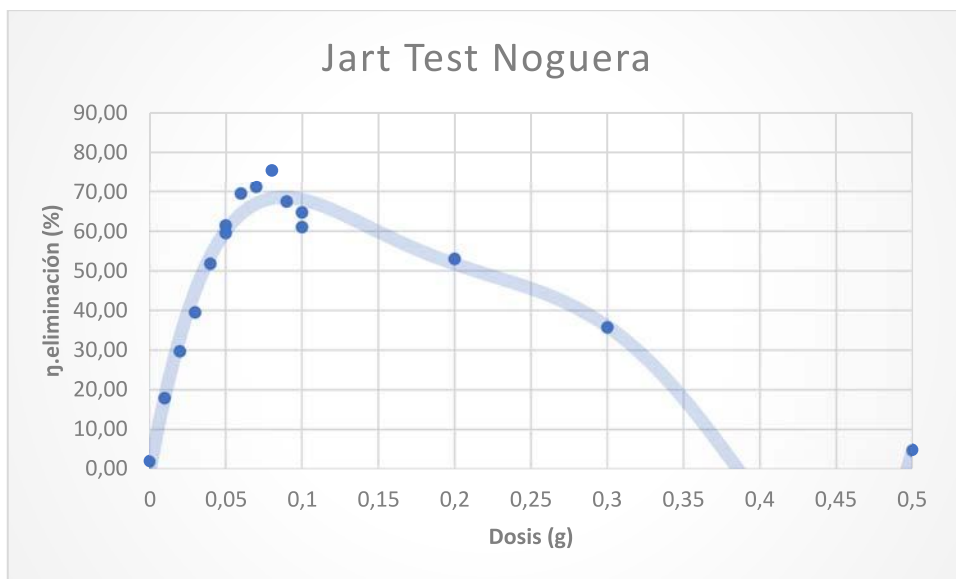


Gráfico 6. Resultados del Jar Test usando carbón de noguera

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 14 se puede observar un alto crecimiento del rendimiento entre los primeros valores de dosificación y una posterior bajada correspondiente al momento de la saturación, la cual sucede de forma más lenta. Los mejores valores de eliminación de la turbidez se obtienen alrededor de 0.05 y 0.10 gramos de coagulante. Pero el máximo porcentaje de rendimiento se alcanza para la dosis de 0.08 gramos de coagulante donde se consigue hasta un 75.45% de eliminación.

Una vez determinado el punto óptimo, se calcula el valor de la concentración en base a litro de disolución:

$$Dosis\ óptima = 0.08 \frac{g}{100\ mL} * \frac{1000\ mL}{1\ L} = 0.8\ g/L$$

$$Dosis\ óptima = 800\ ppm$$

5.1.7. RESULTADO DEL JAR TEST USANDO COMO COAGULANTE CARBÓN VEGETAL DE CARRASCA

El coagulante número 7 es de carbón vegetal de carrasca, correspondiente a la familia Fagáceas y posee una distribución geográfica por todo el mediterráneo.

La estructura de este coagulante se puede observar a continuación, comentándose que posee una distribución muy similar a la del carbón activo.

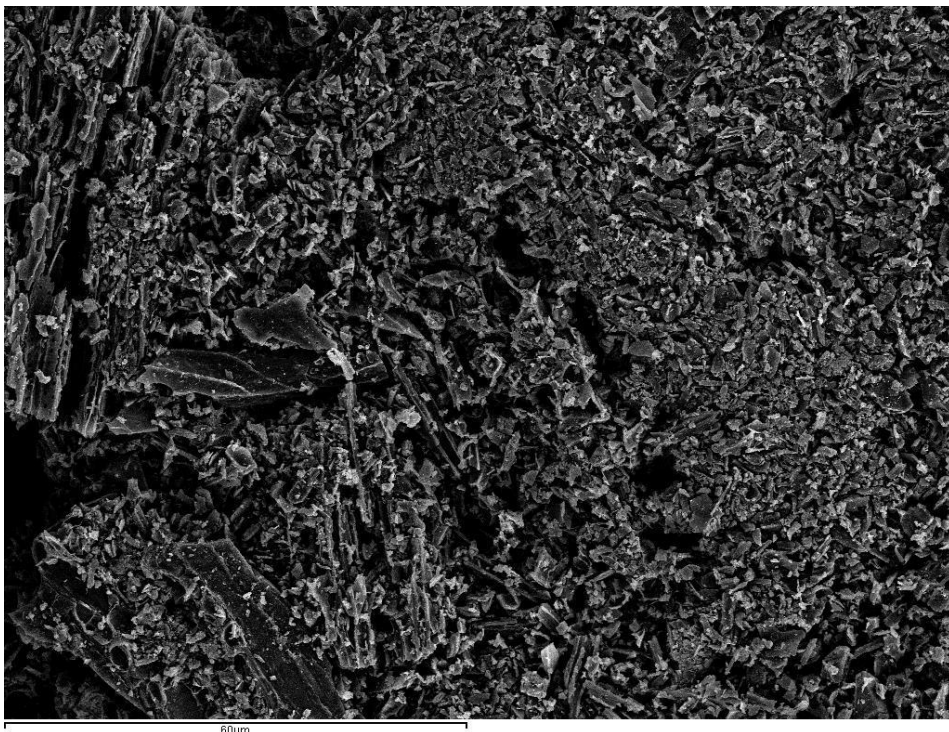


Figura 30. Estructura carbón de carrasca a 250 aumentos

Fuente: Elaboración propia

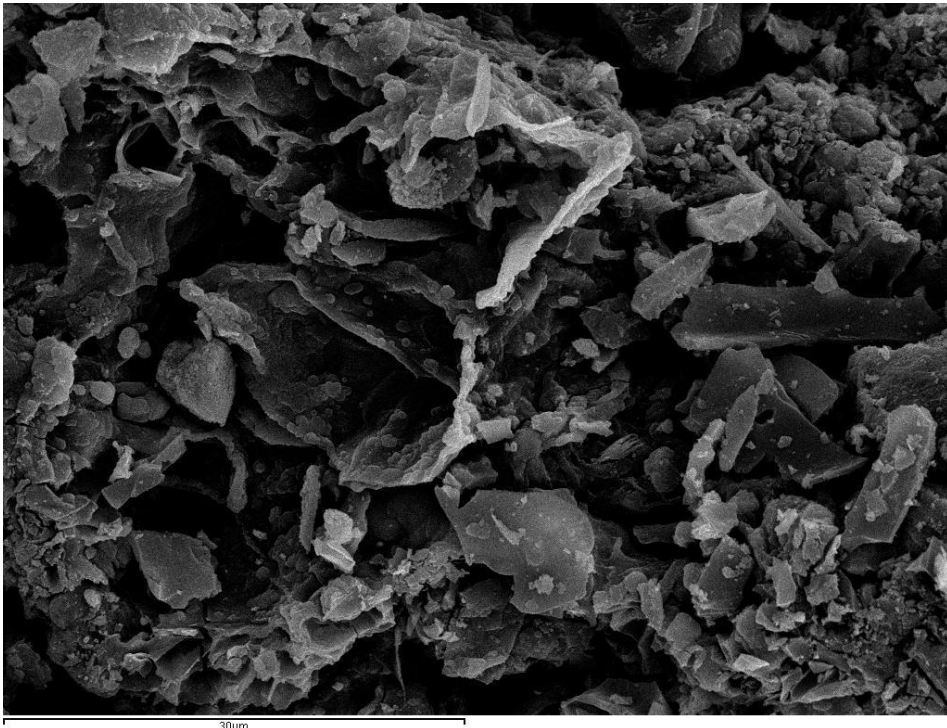


Figura 31. Estructura carbón de carrasca a 2000 aumentos

Fuente: Elaboración propia

Se parte de dosificar mediante un amplio rango de 0 a 0.5 gramos al agua turbia sintética, como se puede observar en la Tabla 28, para poder observar el rango donde se encuentra un mayor porcentaje de eliminación.

Tabla 28. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de carrasca

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	108	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	106	1,85
2	0,05	59,6	44,81
3	0,10	33,5	68,98
4	0,20	51,8	52,04
5	0,30	70,6	34,63
6	0,50	Fuera de rango	0,00

El máximo punto de eliminación se encuentra en la dosis correspondiente a 0.10 gramos. A continuación, se realizaron dos ensayos posteriores de 0.06 a 0.10 gramos en la Tabla 29 y de 0.11 a 0.15 gramos en la Tabla 30 para poder afinar más en dosis que proporcione el mayor rendimiento posible.

Tabla 29. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de carrasca

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial		NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	95,5	1,99
2	0,06	50,8	48,80
3	0,07	47,1	52,67
4	0,08	42,9	57,07
5	0,09	35,7	64,61
6	0,10	32,5	67,96

Tabla 30. Ensayo 3 de Jar Test usando carbón de carrasca

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial		NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	103	2,83
2	0,11	33,2	68,68
3	0,12	29,2	72,45
4	0,13	27,8	73,77
5	0,14	32,12	69,70
6	0,15	41,3	61,04

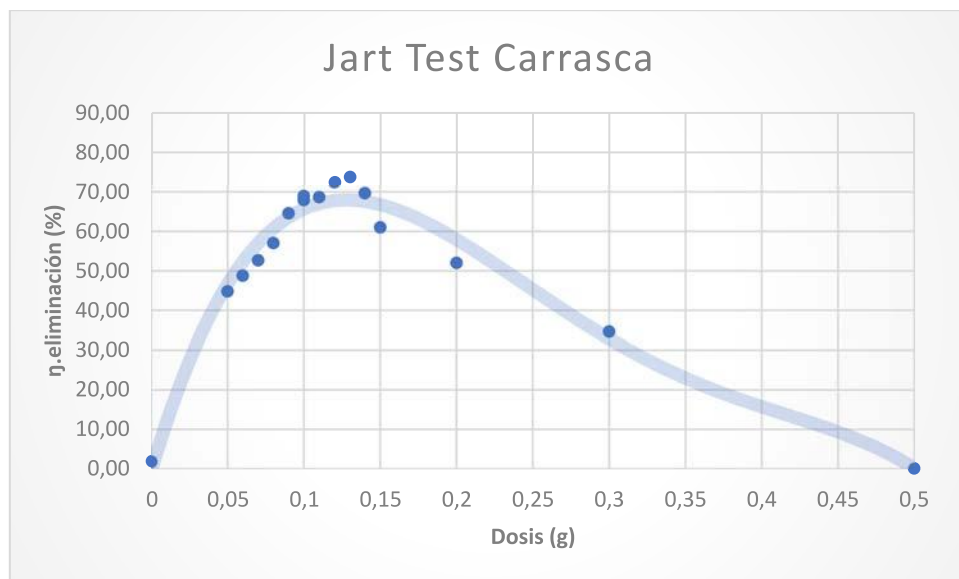


Gráfico 7. Resultados del Jar Test usando carbón de carrasca

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 15 se ve el rápido crecimiento del rendimiento para valores bajos de coagulante hasta alcanzar el punto óptimo y, después, un lento descenso debido a la saturación del coagulante en la disolución turbia. Los mejores valores de eliminación de la turbidez se obtienen alrededor de 0.10 y 0.15 gramos de carbón. Aun así, el punto óptimo se obtiene para la dosis de 0.13 gramos de coagulante donde se alcanza un rendimiento de eliminación del 73.77%.

Una vez determinado el punto óptimo, se calcula el valor de la concentración en base a litro de disolución:

$$Dosis\ óptima = 0.13 \frac{g}{100\ mL} * \frac{1000\ mL}{1\ L} = 1.3\ g/L$$

$$Dosis\ óptima = 1300\ ppm$$

5.1.8. RESULTADO DEL JAR TEST USANDO COMO COAGULANTE CARBÓN VEGETAL DE PINO

El coagulante número 8 es de carbón vegetal de pino, correspondiente a la familia Pináceas y posee una distribución geográfica por zonas como Nueva Zelanda, el norte de América y Europa.

El análisis de su estructura permite observar que posee una distribución desordenada, pero con la aparición de ciertos poros.

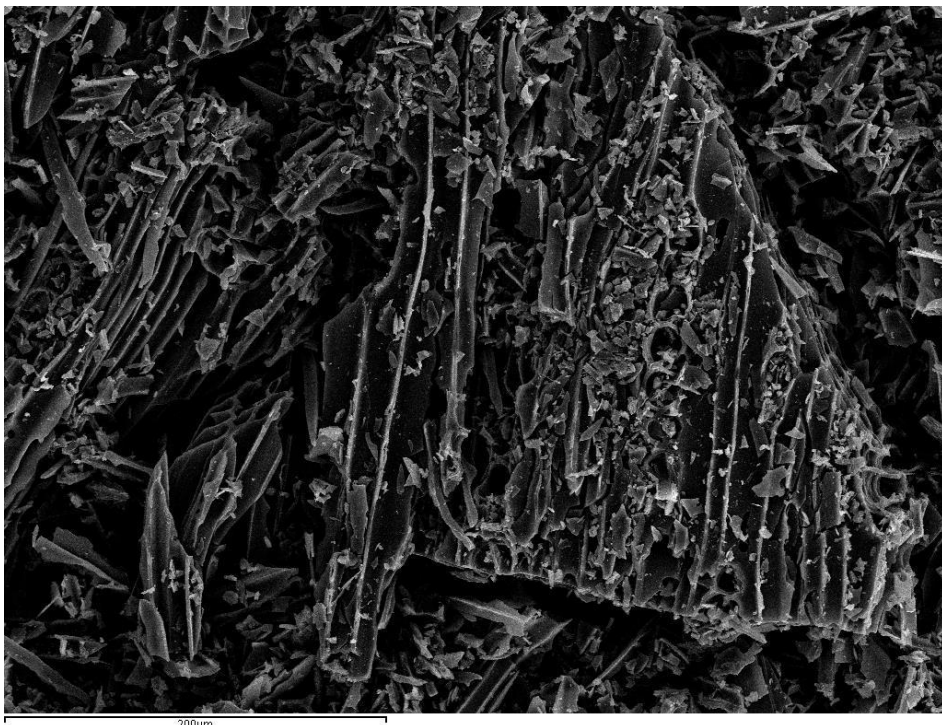


Figura 32. Estructura carbón de pino a 250 aumentos

Fuente: Elaboración propia

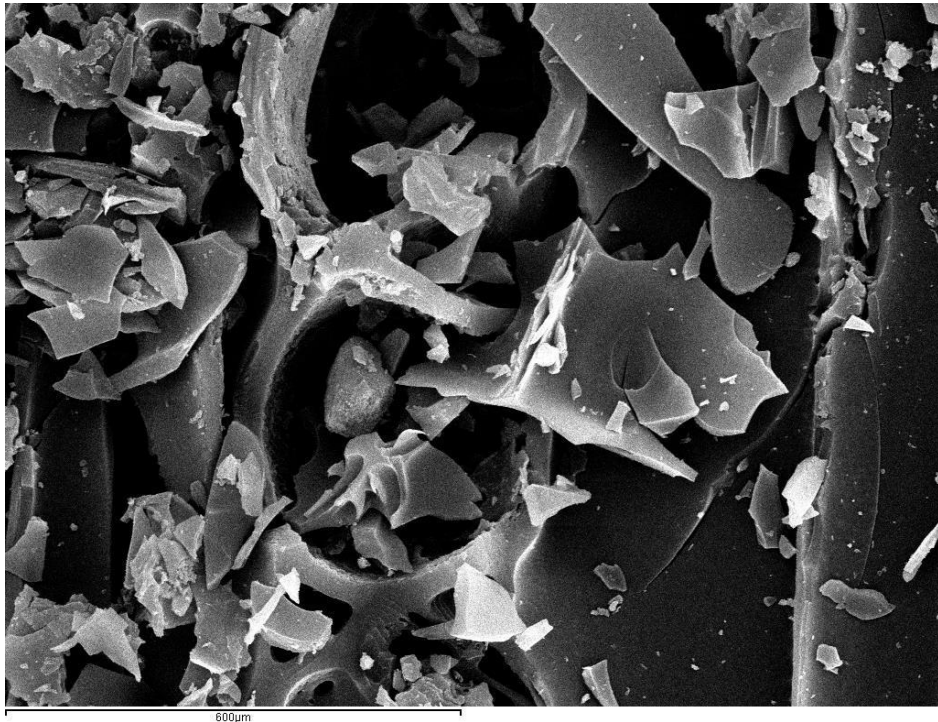


Figura 33. Estructura carbón de pino a 2000 aumentos

Fuente: Elaboración propia

Partiendo de la elaboración del carbón vegetal y del agua turbia sintética de aproximadamente unos 100 NTU, se empieza el ensayo dosificando de 0 a 0.5 gramos como se puede observar en la Tabla 31, para poder observar el punto donde exista mayor porcentaje de eliminación.

Tabla 31. Ensayo 1 de Jar Test usando carbón de pino

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial	112	NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η.eliminación (%)
1 (Blanco)	0,00	109	2,68
2	0,05	94,6	15,54
3	0,10	67,8	39,46
4	0,20	47,7	57,41
5	0,30	67,1	40,09
6	0,50	89,3	20,27

En la muestra 4, dosificando con 0.20 gramos de coagulante se observa el mayor punto de la eliminación de la turbidez. A continuación, se realizan dos ensayos posteriores de 0.15 a 0.19 gramos en la Tabla 32 y de 0.21 a 0.25 gramos en la Tabla 33 para poder encontrar más precisión en la dosis a aplicar y proporcionar así el mayor rendimiento posible.

Tabla 32. Ensayo 2 de Jar Test usando carbón de pino

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial		109		NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)		
1 (Blanco)	0,00	106	2,75		
2	0,15	55,2	49,36		
3	0,16	53,1	51,28		
4	0,17	52,7	51,65		
5	0,18	48,2	55,78		
6	0,19	47,9	56,06		

Tabla 33. Ensayo 3 de Jar Test usando carbón de pino

Fuente: Elaboración propia

Disolución Inicial		108		NTU	
Muestra	Dosis (g)	Turbidez (NTU)	η .eliminación (%)		
1 (Blanco)	0,00	106	1,85		
2	0,21	47,2	56,30		
3	0,22	48,1	55,46		
4	0,23	51	52,78		
5	0,24	52,3	51,57		
6	0,25	54,1	49,91		

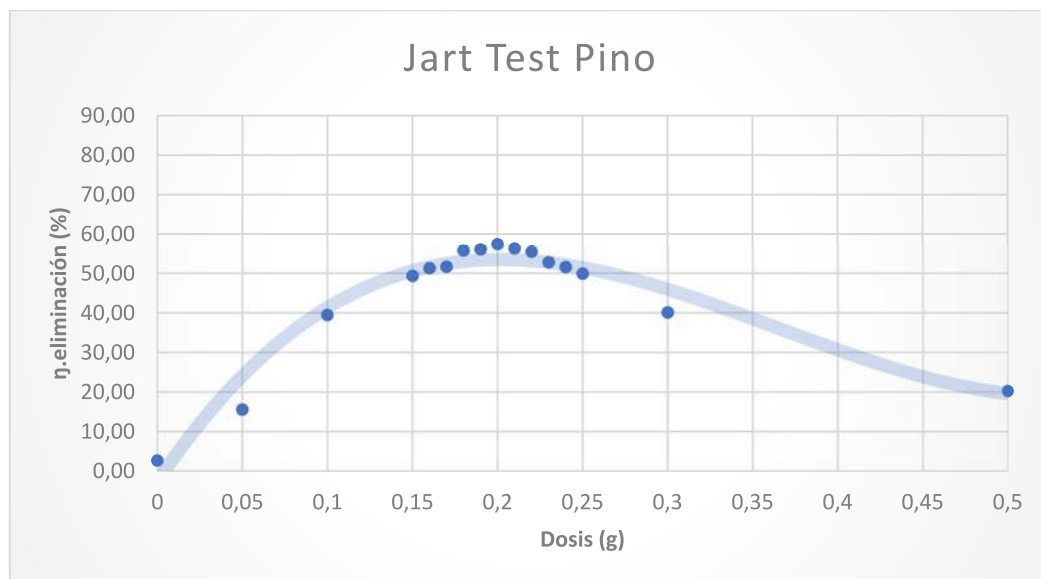


Gráfico 8. Resultados del Jar Test usando carbón de pino

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 16 se observa que el rendimiento que se alcanza es mucho menor al resto de coagulantes estudiados, aunque se consigue valores de eliminación de la turbidez más constante

durante un rango amplio de valores correspondiente a 0.15 y 0.25 gramos. La curva se acerca a ser una parábola más o menos simétrica donde el aumento del rendimiento se lleva a cabo a la misma rapidez con la que se alcanza el descenso del mismo debido a la saturación del carbón en la disolución. Aun así, se puede ver claramente el punto más alto se encuentra alrededor de 0.21 gramos llegando a alcanzar casi el 60%.

Una vez determinado el punto óptimo, se calcula el valor de la concentración en base a litro de disolución:

$$Dosis\ óptima = 0.21 \frac{g}{100\ mL} * \frac{1000\ mL}{1\ L} = 2.1\ g/L$$

$$Dosis\ óptima = 2100\ ppm$$

5.1.9. CONCLUSIONES PARCIALES CORRESPONDIENTE A LOS ENSAYOS DE JAR TEST

El objetivo de este apartado era realizar un estudio del comportamiento de los distintos carbones vegetales y a partir de él, determinar su dosis óptima y elaborar una tabla donde agruparlos en función de su rendimiento.

Respecto al comportamiento general de todos los carbones, se puede decir que poseen un comportamiento similar donde al comienzo de pequeñas dosificaciones, el rendimiento de eliminación de la turbidez va aumentando ligeramente hasta alcanzar el punto óptimo correspondiente tras el cual, la disolución comienza a saturarse y como consecuencia, el rendimiento comienza a disminuir. Aun así, no todos se saturan en los mismos puntos, sino que algunos de ellos necesitan menos concentración de carbón que otros para alcanzar su punto óptimo a partir del cual comienzan a saturar.

Respecto a la dosis óptima, se observa que no todos los carbones se comportan de la misma forma ante el agua turbia sintética, ya que se obtienen rendimientos y dosis óptimas diferentes para cada tipo de carbón estudiado. Por ello, se ha realizado una tabla donde agrupar todos los tipos de carbones utilizados en el ensayo formando tres grupos en base a ciertos rangos de rendimiento de eliminación.

También se observa que no todos los coagulantes se comportan de la misma forma ante el agua turbia sintética, ya que se obtienen rendimientos óptimos distintos a diferentes dosis de carbón aplicadas. Los grupos son los siguientes:

Tabla 34. Grupos de coagulantes en función del rendimiento obtenido en el Jar Test

Fuente: Elaboración propia

Buena Actividad (η .max 75-80%)	Actividad Media (η .max 65-75%)	Mala Actividad (η .max 50-60%)
Acacia	Cerezo	Pino
Olivo	Noguera	
Olmo	Carrasca	
Almendra		

Centrándonos en el grupo denominado como “Buena Actividad”, todos estos carbones servirían para obtener buenos resultados de rendimiento. Aun así, se ha propuesto como mejor carbón el de la variedad acacia, ya que con él se obtiene uno de los mayores rendimientos en el ensayo y, además, posee una muy buena distribución geográfica, por lo que aparte de funcionar favorablemente esta variedad no es compleja de encontrar.

Gracias a los ensayos de Jar Test y a la Tabla 34, se elegirá un coagulante de cada grupo para su posterior análisis en los ensayos de filtración y poder comprobar así, si siguen los mismos patrones de comportamiento y decidir si merece introducir el coagulante en el sistema de filtrado.

5.2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE FILTRACIÓN

En este apartado se desarrollará el montaje del filtro siguiendo el diseño del sistema, y se mostrarán los resultados obtenidos en los ensayos tanto con agua turbia sintética, como dosificando varios tipos de carbón con el objetivo de realizar un estudio del comportamiento del sistema de filtrado y control de calidad del agua tratada. En este caso y gracias a los grupos de coagulantes obtenidos a partir de los ensayos de Jar Test, se probará un carbón de cada grupo de los nombrados anteriormente, los cuales serán acacia, noguera y pino. Tras observar los resultados se obtendrán las conclusiones de si los carbones siguen el mismo comportamiento en la filtración que en los ensayos de Jar Test.

Es necesario poner en marcha el ciclo de lavado cuando se cambie el tipo de carbón a estudiar en los ensayos.

Todos los ensayos se han realizado mediante la filtración de 20 litros de disolución de agua turbia sintética con un caudal de entrada de unos 15 L/s, y tomando muestra de la disolución de permeado en intervalos de 5 minutos. Además, todos ellos se han llevado a cabo bajo las mismas condiciones de trabajo, las cuales se exponen a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 35. Condiciones de trabajo para los ensayos de filtración

Fuente: Elaboración propia

Temperatura (°C)	Presión (atm)	Humedad relativa (%)
29	1	70

5.2.1. ENSAYO DE FILTRACIÓN CON BLANCO

En primer lugar, se realizó un ensayo de filtración usando como disolución agua turbia sintética, sin la adición de ningún tipo de carbón. De esta forma se puede determinar cuál es la capacidad solamente del filtro para la eliminar la turbidez. A este ensayo se le denominó ensayo con disolución blanco.

Tabla 36. Ensayo de filtración con blanco

Fuente: Elaboración propia

Turbidez inicial (NTU)		58,2	
Muestra	Tiempo (min)	Turbidez (NTU)	η eliminación (%)
1	0	23,2	60,14
2	5	28,5	51,03
3	10	26,5	54,47
4	15	26,4	54,64
5	20	26,8	53,95
6	25	25,2	56,70
7	30	23,7	59,28
8	35	23,8	59,11
9	40	23,6	59,45
10	45	23,4	59,79
11	50	22,9	60,65
12	55	22	62,20
13	60	22,2	61,86
14	65	22,4	61,51
15	70	22,1	62,03
16	75	22,2	61,86
17	80	22	62,20

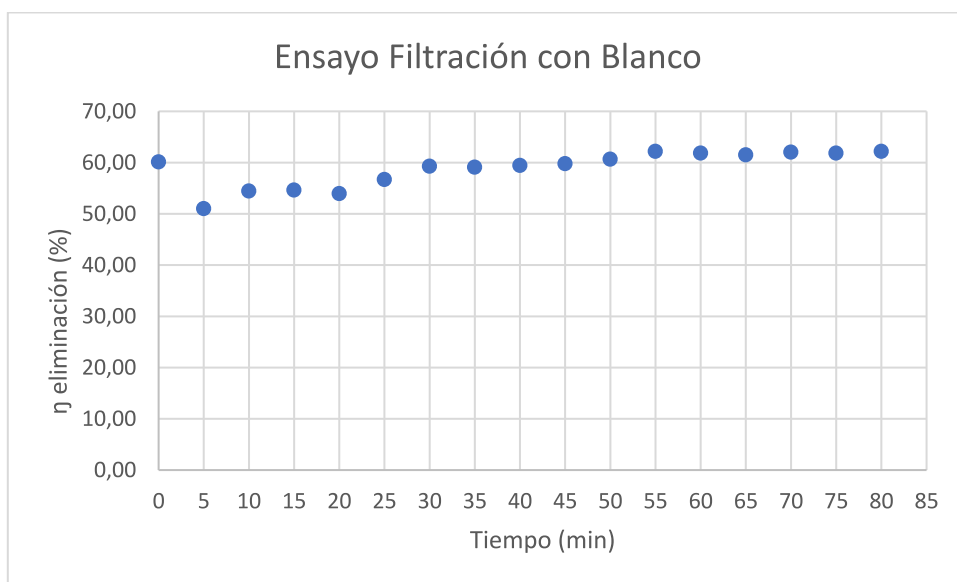


Gráfico 9. Representación de los resultados de filtración con blanco

Fuente: Elaboración propia

Tanto en la tabla como en el gráfico 17 se puede apreciar en el comportamiento del filtro, que, al comienzo del ensayo, el filtro trabajaba bajo un rendimiento del 50% pero que, tras unos minutos en funcionamiento, aumentó alrededor del 60% de la eliminación de la turbidez del agua tratada manteniéndose más o menos constante.

5.2.2. ENSAYO DE FILTRACIÓN DOSIFICANDO CARBÓN DE ACACIA

Dado que los resultados a las dosis óptimas en el Jar Test era valores altos de la concentración de carbón, se optó por trabajar a valores más pequeños. En este caso, se dosificó al agua turbia sintética carbón de acacia a una concentración de 5 ppm. Aun siendo bastante baja el valor de la concentración, el agua se enturbió bastante y cogió un color bastante oscuro.

A continuación, se muestran los valores de turbidez que fueron tomados en el permeado y a partir de los cuales se ha calculado el rendimiento de eliminación.

Tabla 37. Ensayo de filtración dosificando con carbón de acacia

Fuente: Elaboración propia

Turbidez inicial (NTU)		57,7	
Muestra	Tiempo (min)	Turbidez (NTU)	η eliminación (%)
1	0	12,1	79,03
2	5	22,4	61,18
3	10	22,5	61,01
4	15	23,3	59,62
5	20	22,4	61,18
6	25	21,1	63,43
7	30	21,3	63,08
8	35	22,7	60,66
9	40	22,2	61,53
10	45	20,8	63,95
11	50	20	65,34
12	55	20,8	63,95
13	60	19,9	65,51
14	65	19,6	66,03
15	70	19,6	66,03
16	75	19,7	65,86
17	80	19,7	65,86

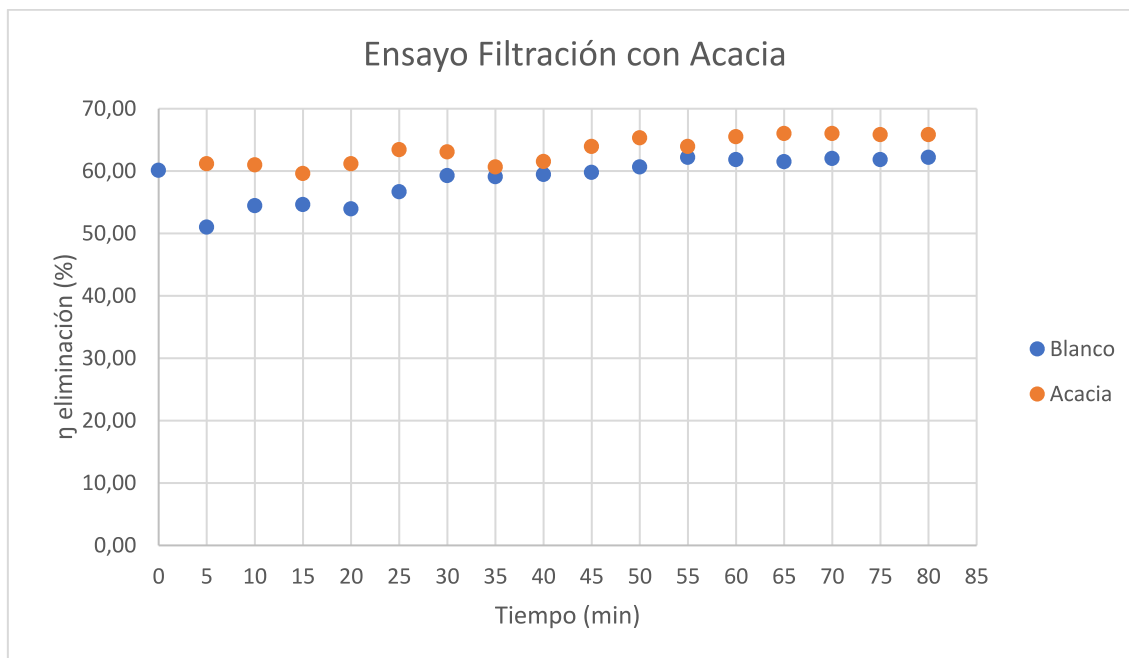


Gráfico 10. Representación de los ensayos de filtración con carbón de acacia

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 18 se han representado los valores del rendimiento de eliminación y se han comparado con los resultados que se obtuvieron simplemente con la aplicación del filtro. La dosificación del carbón de acacia ha aportado beneficios al sistema de filtrado aumentando el rendimiento de eliminación en un 5% y consiguiendo así que la eliminación de la turbidez del agua tratada estuviera alrededor de un 66% y manteniendo el mismo comportamiento que en el caso anterior.

5.2.3. ENSAYO DE FILTRACIÓN DOSIFICANDO CARBÓN DE NOGUERA

Entre el grupo de carbones que tenían un comportamiento regular al ensayo de Jar Test se eligió la variedad de noguera.

Este ensayo se hizo de la misma manera que el anterior dosificando 5 ppm de carbón de noguera donde se obtuvieron los resultados de la turbidez del permeado en función del tiempo y se calculó el rendimiento de eliminación para ver su influencia. Los resultados se recogen en la tabla 38.

Tabla 38. Ensayo 1 de filtración dosificando con carbón de noguera

Fuente: Elaboración propia

Turbidez inicial (NTU)		68	
Muestra	Tiempo (min)	Turbidez (NTU)	η eliminación (%)
1	0	13,7	79,81
2	5	22,2	67,35
3	10	27,3	59,85
4	15	29,9	56,03
5	20	28,5	58,09
6	25	25,6	62,35
7	30	24,5	63,97
8	35	24,2	64,41
9	40	24,3	64,26
10	45	24,0	64,71
11	50	24,2	64,41
12	55	24,2	64,41
13	60	23,9	64,85
14	65	23,8	65,00
15	70	23,8	65,00

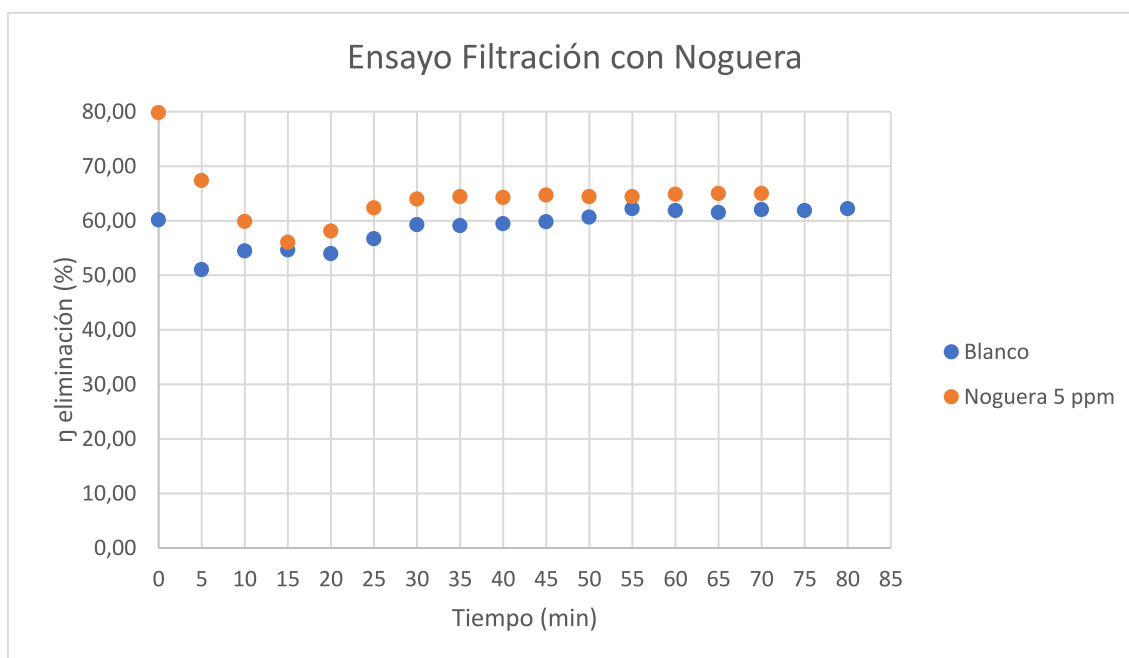


Gráfico 11. Representación del primer ensayo de filtración con carbón de noguera

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 19 se representan los resultados obtenidos del ensayo y se observa que el carbón de noguera actúa de forma similar que, en el caso de la acacia, donde el rendimiento para eliminar la turbidez del agua tratada aumenta y se mantiene constante en un 65%.

Lo que también se puede observar son los altos valores que se ven en los primeros 5 minutos del ensayo y como disminuye hasta el 60% en muy poco tiempo. Esto se debe al volumen muerto del filtro donde los primeros valores que se obtienen se ven influidos por el volumen de agua retenido en el fondo del filtro correspondiente al agua de lavado.

Para ver la influencia de la dosificación del carbón en la eliminación de la turbidez se decidió por hacer un segundo ensayo con el mismo carbón, pero doblando la concentración, por lo que en lugar de 5 se añadieron 10 ppm de este carbón al agua turbia sintética. Los resultados aparecen en la siguiente tabla.

Tabla 39. Ensayo 2 de filtración dosificando con carbón de noguera

Fuente: Elaboración propia

Turbidez inicial (NTU)		72,2	
Muestra	Tiempo (min)	Turbidez (NTU)	η eliminación (%)
1	0	2,73	96,22
2	5	28,2	60,94
3	10	25,4	64,82
4	15	30,3	58,03
5	20	27,7	61,63
6	25	24,5	66,07
7	30	20,6	71,47
8	35	17,4	75,90
9	40	20,2	72,02
10	45	19,7	72,71
11	50	23,2	67,87
12	55	23,5	67,45
13	60	22,3	69,11
14	65	22,2	69,25
15	70	21,8	69,81
16	75	21,8	69,81
17	80	21,9	69,67

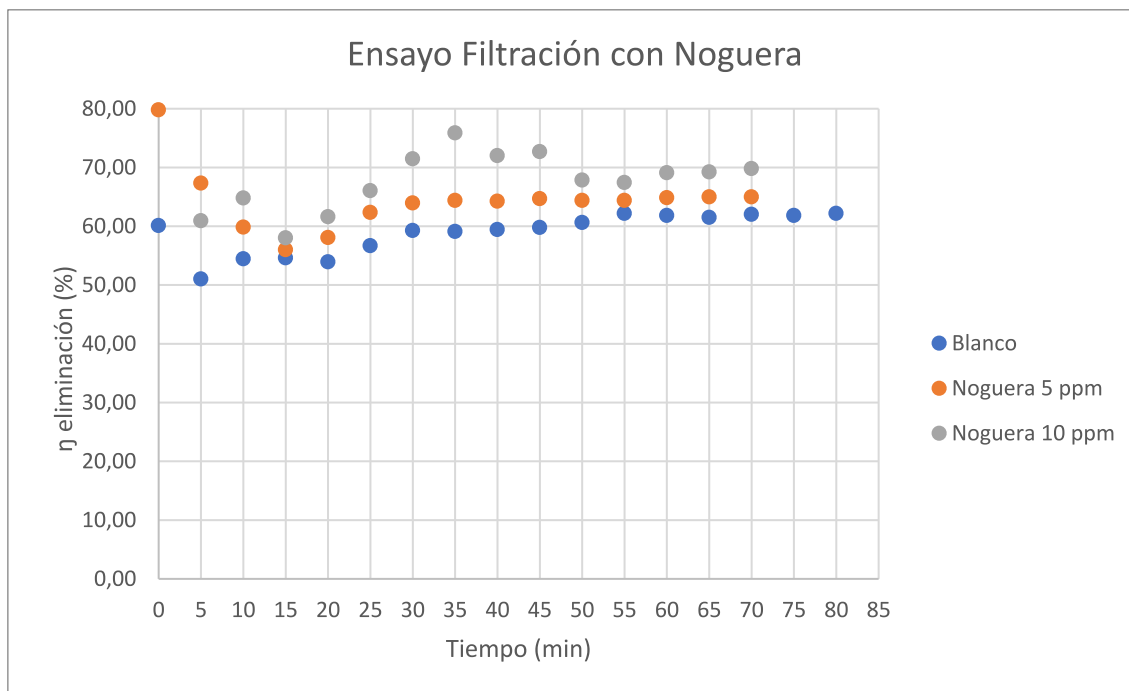


Gráfico 12. Representación del segundo ensayo de filtración con carbón de noguera

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 20 se observa un aumento del rendimiento en la eliminación de la turbidez al dosificar una mayor cantidad del carbón, consiguiéndose hasta un valor del 75%. En este caso el rendimiento no sigue un comportamiento tan lineal, ya que se puede observar un pico entre los intervalos de 30 a 45 minutos, y posteriormente mantenerse constante alrededor del 70%. En este proceso se obtiene un agua tratada con mejores calidades que con la dosificación anterior.

5.2.4. ENSAYO DE FILTRACIÓN DOSIFICANDO CARBÓN DE PINO

El carbón de pino fue el que peor reaccionó al ensayo de Jar Test, y para ver su comportamiento en la filtración se siguieron los mismos pasos que en los casos anteriores con acacia y noguera, dosificando 5 ppm de este carbón a la disolución turbia.

Los resultados de la turbidez del permeado y el cálculo de su correspondiente eliminación aparecen reflejados en la Tabla 40.

Tabla 40. Ensayo de filtración dosificando con carbón de pino

Fuente: Elaboración propia

Turbidez inicial (NTU)		76	
Muestra	Tiempo (min)	Turbidez (NTU)	η eliminación (%)
1	0	21,6	71,58
2	5	11,7	84,61
3	10	11,6	84,74
4	15	18,9	75,13
5	20	26,4	65,26
6	25	33,3	56,18
7	30	32,3	57,50
8	35	31,9	58,03
9	40	31,2	58,95
10	45	29,5	61,18
11	50	29	61,84
12	55	29,3	61,45
13	60	28	63,16
14	65	28,3	62,76
15	70	28,2	62,89
16	75	28,2	62,89
17	80	28,7	62,24

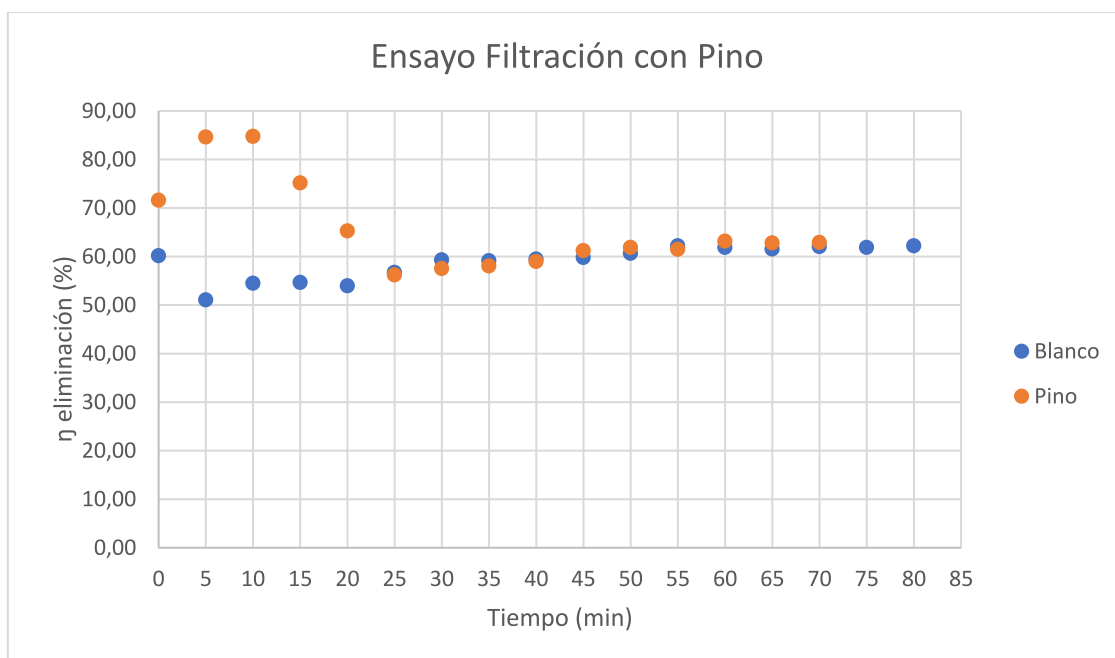


Gráfico 13. Representación de los ensayos de filtración con carbón de pino

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 21 se representan los resultados obtenidos del ensayo, donde se puede observar que este tipo de carbón no mejora la eliminación de la turbidez, ya que los resultados que se

obtienen son prácticamente iguales a los obtenidos mediante el blanco. La única diferencia se debe a los primeros 15 minutos donde los valores pueden verse influenciados por el volumen muerto del agua de lavado o por una mala disolución de este carbón con la disolución de agua turbia sintética.

5.2.5. CONCLUSIONES PARCIALES DE FILTRACIÓN

El objetivo del apartado era realizar el montaje y puesta en marcha del filtro con la intención de realizar un estudio del comportamiento del mismo y realizar un control de calidad del agua tratada para ver si la adición de carbón al filtro mejoraba o, por el contrario, empeoraba el rendimiento del filtro.

A lo largo de los ensayos se ha observado que la adición del carbón acacia y noguera a beneficiado el rendimiento de eliminación de la turbidez dando lugar a un agua más clara y limpia, mejorando hasta en un 76%. Sin embargo, la adición del carbón de pino no es que solamente no mejorara el sistema, sino que en algún punto a lo largo del ensayo se obtuvieron valores más bajos de rendimiento de eliminación que en el caso del blanco. De esta manera se ha comprobado una relación directa del comportamiento que los carbones mantenían en el ensayo de Jar Test con los resultados obtenidos en estos ensayos de filtración.

Pero no solo ha influenciado el tipo de carbón añadido a la disolución, sino también su dosis. En el ensayo con el carbón de noguera se estudiaron dos dosis distintas adicionadas al agua turbia sintética del mismo carbón, y se comprobó, que al aumentar la dosis el rendimiento de eliminación mejoraba notablemente. Esto hace reflexionar sobre si con una dosis un poco mayor, se lograría un mejor rendimiento.

Como conclusión general de este apartado, se puede afirmar que la opción de añadir carbón vegetal a la disolución de agua a tratar en la planta de potabilización consigue mejorar el sistema y la calidad de agua en un 15% respecto a solamente utilizar la función del filtro de arena.

6. MANUAL DE FABRICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO **DEL FILTRO**

6.1. DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS

DIMENSIONES GENERALES

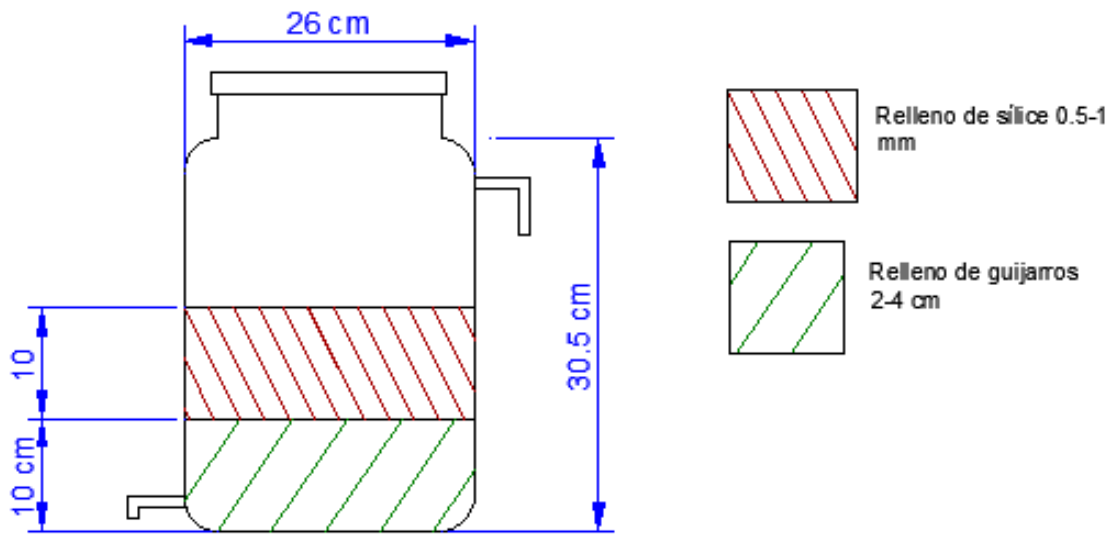


Figura 34. Dimensiones generales del filtro de arena

Fuente: Elaboración propia

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tabla 41. Características técnicas

Fuente: Elaboración propia

DIÁMETRO (MM)	26
VELOCIDAD DE FILTRACIÓN (M³/M²H)	0.1-0.3
CAUDAL (L/H)	5-16
SUPERFICIE FILTRACIÓN (M²)	0.053
NÚMERO DE CONEXIONES	5
TIEMPO DE FILTRADO (HORAS)	4.5-15

El filtro se basa en un pequeño depósito de plástico de PVC con 26 cm de diámetro, cerrado con cinco conexiones de entradas y salidas.

Posee dos superficies de filtración diferentes, una de piedras más grandes como por ejemplo cantos que tienen un tamaño alrededor de 2-4 cm y una segunda capa de arena sílex con una granulometría entre 0.5-1 mm. Ambas superficies poseen una altura dentro del filtro de 10 cm.



Figura 35. Tipos de relleno para el filtro

Fuente: Elaboración propia

El rango de valores de caudal bajo los que se puede trabajar se ha calculado a partir del diámetro del filtro y de la velocidad de filtración a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Superficie de filtración} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0.26^2}{4} = 0.053 \text{ m}^2 \quad [2]$$

$$\text{Rango de velocidad de filtración} = [0.1 - 0.3] \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{h}} \quad [3]$$

$$Q = 0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{h}} * 0.053 \text{ m}^2 = 0.0053 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = \mathbf{5.3 \text{ L/h}} \quad [4]$$

$$Q = 0.3 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{h}} * 0.053 \text{ m}^2 = 0.0159 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = \mathbf{15.9 \text{ L/h}} \quad [5]$$

De esta manera tenemos un rango de caudales de trabajo que oscila aproximadamente entre [5-16] L/h.

Teniendo en cuenta que el diseño de nuestro filtro se basa en la capacidad de filtrar 75 L/d se puede calcular cuánto tiempo tardará el filtro en tratar toda esa agua.

$$75 \text{ L} * \frac{1 \text{ hora}}{5 \text{ L}} = \mathbf{15 \text{ horas}} \quad (\text{Caudal} = 5 \frac{\text{L}}{\text{h}}) \quad [6]$$

$$75 \text{ L} * \frac{1 \text{ hora}}{16 \text{ L}} = \mathbf{4.7 \text{ horas}} \quad (\text{Caudal} = 16 \frac{\text{L}}{\text{h}}) \quad [7]$$

Aparte, se usará una recámara de neumático como válvula de inyección de aire, conexiones de plástico y pinzas Hoffman para hacer el papel de válvulas.

6.2. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

El agua se extrae del fondo del depósito donde atraviesa una válvula para regular el caudal hasta llegar a la entrada del filtro mediante unas tuberías de silicona. Una vez el agua está dentro del filtro atraviesa tanto la capa de arena como la de guijarros hasta llegar al fondo del depósito donde desemboca a la salida del permeado y se almacena en otro depósito.

Una vez finalizado el ciclo de filtración, disminuirá ligeramente el rendimiento del filtro y será necesario ejecutar el ciclo de lavado, ya que los huecos entre las partículas de arena estarán obstruidos por la suciedad de la disolución turbia disminuyendo así el rendimiento del filtro.

Cuando se vaya a ejecutar el ciclo de lavado se deberán cerrar las conexiones del depósito a la entrada del filtro y la salida del permeado, es decir, todas las conexiones del ciclo de filtrado. A la vez se abrirán las conexiones de la entrada y salida del agua de lavado y la entrada de aire mediante una recámara de neumático. Se recomienda leer el manual ojeando los planos propuestos simultáneamente.

Con la entrada de agua que entra, ahora a contracorriente, atraviesa el filtro desde abajo hacia arriba y se expulsa por una salida mediante una tubería de silicona hasta un desagüe toda la suciedad retenida en el filtro y para una mayor eficacia, se inyecta aire a partir de la recámara de neumático para aplicar presión y que el lavado sea más efectivo. Solamente será necesario conectar la recámara al filtro mediante una conducción de silicona y abrir la válvula para dejar paso al aire. Si todo se hace correctamente se deberá escuchar dentro del filtro un burbujeo.

6.3. INSTALACIÓN

CARGA DE ARENA

Para obtener un buen rendimiento del filtro se introducirá como relleno base piedras grandes o guijarros de 2-4 cm de tamaño hasta una altura de 10 cm, y de igual forma, encima de la primera capa, se rellenará con arena sílex de granulometría entre 0.5-1 mm hasta conseguir otros 10 cm de altura.



Figura 36. Colocación de los dos tipos de rellenos al filtro

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la imagen anterior, una de las conexiones al filtro queda casi a la misma altura que donde empieza el lecho de arena, por lo que para evitar que este se obstruya cuando se introduce agua se coloca una especie de maya que deje pasar el agua pero no los granos de arena.

INSTALACIÓN DE TODAS LAS CONEXIONES

Para tener una imagen más visual de este apartado se recomienda visualizar simultáneamente los planos propuestos en el Documento 3 de este trabajo, ya que se usará la misma nomenclatura que aparece en ellos.

Una vez esté listo el relleno de arena se realizarán las siguientes conexiones:

- Conectar la salida del depósito de agua a tratar a la conexión de entrada del filtro (conexión A), por donde entrará la disolución de agua a tratar.
- Conectar la salida del permeado (conexión B) a otro depósito donde se almacenará el agua limpia.
- Conectar la salida del agua de lavado (conexión B') a un desagüe o cualquier otro sitio donde deshacerse del agua de lavado.
- Conectar la "conexión C" a un tubo de cristal transparente que nos servirá como medidor de caudal.
- Por último, formando una bifurcación, se conectará por un lado el depósito donde se almacena el agua de lavado a la entrada inferior por donde pasará esta agua recorriendo ahora a contracorriente el lecho de arena (conexión A') y, a su vez, la bomba de inyección de aire (conexión C') que no será más que una recámara de neumático.

Todas estas conexiones se realizan por medio de tuberías de silicona transparentes y con caudales regulados mediante pinzas Hoffman.

6.4. FILTRACIÓN Y LAVADO

FILTRACIÓN

En este sistema, el proceso de filtración deberá ir acompañado de la adición de carbón vegetal como coagulante en la disolución a tratar. De esta forma, se conseguirá mejor rendimiento que si solamente se utilizara el filtro.

Asegurando que las entradas y salidas del ciclo de lavado permanecen cerradas, regulamos las pizas Hoffman del ciclo de filtrado para regular el caudal dentro de los límites especificados en las características técnicas.

Cuando se consigue regular el caudal en el ciclo, se debe asegurar que el depósito donde se encuentra la disolución a filtrar se encuentra cerrado y, con la adición de la correspondiente dosis de carbón vegetal debe mantenerse en agitación unos 15 min. Tras ese tiempo, se abre la salida del permeado (conexión B) y el depósito donde se encuentra la disolución con el carbón (conexión A) para que ambos entren en el filtro. Tras atravesar el relleno de arena, el permeado fluye por la salida del filtro almacenándose en un nuevo depósito.

Es recomendable durante el funcionamiento observar periódicamente el sistema de filtrado y controlar el medidor de nivel. Durante todo este proceso la tapa del filtro deberá mantenerse cerrada.

Tras acabar todo el ciclo de filtrado, se cierran las conexiones pertinentes del mismo (conexión A y B) y posteriormente se ejecuta el ciclo de lavado.

DESINFECCIÓN DEL AGUA

Cuando se ha filtrado el agua y se ha almacenado el permeado en otro depósito deberá desinfectarse mediante la dosificación de cloro. Para ello, se puede desinfectar el agua con lejía de uso doméstico. Solo se deberán usar productos en base de lejía de cloro sin ningún olor que sean aptos para la desinfección e higiene, propiamente reflejado en la etiqueta del producto. Esta etiqueta deberá mostrar que el contenido de hipoclorito que contiene sea de 6 u 8.25%. No deberá usarse lejías con aromas (como por ejemplo limón o pino), ni lejías para ropa de color ni con otros limpiadores añadidos. A continuación, cuando se disponga ya del lejía pertinente se deberá buscar un gotero o una cuchara y seguir las indicaciones de la siguiente tabla para añadir la dosis.

Tabla 42. Dosificación de lejía para desinfección del agua

Fuente: Elaboración propia

Volumen de Agua	Dosis de lejía de 6% a añadir	Dosis de lejía de 8,25% a añadir
1 cuarto/litro	2 gotas	2 gotas
1 galón	8 gotas	6 gotas
10 litros	21 gotas	16 gotas (14 de cucharadita)
75 litros	2.5 cucharadita	2 cucharadita

1 galón = 7.89 litros

Una vez añadida la dosis correspondiente, mezclar y dejar reposar durante media hora. Tras ese tiempo el agua debería tener un ligero aroma a cloro. De lo contrario, repetir la dosis y dejar en reposo otros 15 min antes de consumir.

Si el sabor a cloro fuera demasiado fuerte, pasar el agua a otro recipiente limpio y dejar reposar durante varias horas antes de usarla.

LAVADO

Todo el relleno de arena forma miles de canales de paso, en los cuales se retienen todas las partículas que se encuentran en la disolución. De esta forma conforme va aumentando el tiempo de filtrado son menos los canales libres por donde se desarrolla el paso del agua. Esto hace que baje el caudal de permeado y el rendimiento del filtro, de esta forma será necesaria la limpieza del filtro mediante el ciclo de lavado.

Asegurando que todas las conexiones del ciclo de filtrado permanecen cerradas (conexiones A y B), se abren las conexiones pertinentes a la limpieza del filtro (conexiones A', B' y C'). Entonces se abre el depósito donde se almacena el agua de lavado y la entrada de aire a través de la recámara. Tras este paso, comienza a introducirse poco a poco agua a contracorriente y una inyección de aire para introducir presión, provocando cierto burbujeo y mejorando así la limpieza de los canales de paso. Esto se mantendrá hasta que el agua de salida directo al alcantarillado tenga un aspecto aceptable, por lo que deberá estar lo más transparente posible.

Cuando haya terminado el ciclo, se cierran todas las conexiones de la limpieza del filtro y se abre la conexión correspondiente a la salida del permeado para llevar a cabo el completo vaciado del filtro.

El agua utilizada en el ciclo para el lavado deberá ser un agua limpia y apta para consumo ya que, además de que así se realizará una mejor limpieza, quedará retenida algo de ella en el volumen muerto del depósito del filtro saliendo más tarde cuando se vuelva a realizar el filtrado por la salida del permeado.

6.5. MANTENIMIENTO

Para la limpieza del filtro tan solo es necesario la introducción de agua a contracorriente y la inyección de aire para la mejora de este mediante la ejecución del ciclo de lavado como se ha indicado anteriormente en el apartado de filtración y lavado.

Todas las piezas deterioradas deberán sustituirse cuando se precise, generalmente en cuanto, por ejemplo, las tuberías de silicona comiencen a desgastarse o las pinzas Hoffman dejen de abrir y cerrar de forma apropiada.

Los ciclos de lavado y enjuague se realizarán cuando sean necesarios según se indican en los principios de funcionamiento.

La arena se va deteriorando y es necesario cambiarla. Se recomienda realizar este cambio en periodos de aproximadamente 2 años.

Cuando el filtro se encuentre en periodo de inactividad deberán desmontarse todas las conexiones realizando el proceso inverso al montaje de las conexiones, vaciarse por completo y mantenerlo abierto hasta que su interior queda totalmente seco. Posteriormente colocar la tapa. Cuando vuelva a ponerse en funcionamiento, se deben seguir las instrucciones de instalación y los principios de funcionamiento propiamente explicados al comienzo del manual.

7. CONCLUSIONES

Este Trabajo Final de Grado tiene como objetivo académico la finalización del Grado de Ingeniería Química donde, a través de él, se afronta un reto profesional donde se desarrollan los conocimientos y métodos impartidos durante toda la titulación con el propósito de demostrar su adquisición como ingeniero.

Por otro lado, dentro del propio trabajo, el objetivo era la realización y estudio del diseño de una planta de potabilización de agua con la intervención de un coagulante a base de carbón vegetal. Este sistema se ha enfocado en países en vías de desarrollo.

Se ha podido observar que tras todos los ensayos de Jar Test existen algunos carbones mejores que otros, aunque no debe ser el único factor a tener en cuenta. De ahí que se considere el carbón de acacia como el mejor coagulante a trabajar en este trabajo, no solo por su buena reacción a la hora de eliminar la turbidez, sino también por su amplia distribución geográfica de este árbol por todo el mundo. Esto hace que el carbón de acacia no oponga demasiados problemas a la hora de encontrarlo y aplicarlo. Todo esto no debe descartar al resto de coagulantes como el olivo, almendro u olmo que funcionan perfectamente en la misma medida que el carbón de acacia.

De los ensayos de filtración, se destaca la influencia que tiene el tipo de carbón a utilizar, encontrándose similitud en el comportamiento de los carbones en el Jar Test y en los ensayos de filtración. En este caso los mejores resultados se obtuvieron con los carbones cuyos rendimientos habían oscilado entre un 65-80% en los ensayos de coagulación-floculación. También influye en gran medida la dosis a añadir ya que, al aumentarla, se obtuvo una mejora del rendimiento de hasta un 15%. De esta forma se obtuvo como producto final de permeado un agua más clara y limpia de mejor calidad eliminando globalmente entre el filtro y el coagulante la turbidez en hasta un 75%.

Tras realizar todo el estudio, se puede concluir que este sistema basado en un filtro de arena de con la adición de carbón vegetal como coagulante es capaz de alcanzar un rendimiento del 75%. Es un resultado muy satisfactorio teniendo en cuenta que esta planta de potabilización ha sido elaborada a partir de elementos y procesos sencillos y económicos, que quedan bien detallados a lo largo de todo este trabajo para que, cualquier persona que lea y analice este proyecto sea capaz de llevarlo a cabo sin problemas en cualquier parte del mundo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Naciones Unidas. Decenio Internacional para la Acción “El agua fuente de vida” 2005-2015. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml Fecha de Consulta: 6 Junio 2019.
- [2] UNHCR ACNUR. Escasez de agua en el mundo: causas y consecuencias. <https://eacnur.org/blog/escasez-de-agua-en-el-mundo-causas-y-consecuencias/> Fecha de Consulta: 6 Junio 2019.
- [3] Naciones Unidas. Decenio Internacional para la Acción “El agua fuente de vida” 2005-2015. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml Fecha de Consulta: 6 Junio 2019.
- [4] Iagua. Posibilidades para la potabilización de agua en países en vías de desarrollo. <https://www.iagua.es/noticias/gestion-agua-etsii-upm/posibilidades-potabilizacion-agua-paises-vias-desarrollo/> Fecha de Consulta: 10 Junio 2019
- [5] Ayuda en Acción. La escasez de agua, un problema mundial. <https://ayudaenaccion.org/ong/blog/solidaridad/escasez-de-agua-problema-mundial/> Fecha de Consulta: 10 Junio 2019
- [6] El gran problema al que se enfrenta el planeta es el problema del agua <https://www.xataka.com/medicina-y-salud/el-gran-problema-del-agua> Fecha de Consulta: 10 Junio 2019
- [7] Ayuda en Acción. Las principales consecuencias de la escasez de agua potable en los países en vías de desarrollo. <https://ayudaenaccion.org/ong/blog/solidaridad/importancia-del-agua/> Fecha de Consulta: 10 Junio 2019
- [8] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Objetivos de desarrollo sostenible. <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html> Fecha de Consulta: 10 Julio 2019
- [9] Naciones Unidas. Construyendo nuestro futuro juntos. Agua <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html> Fecha de Consulta: 10 Julio 2019
- [10] Desinfección de agua por medio de ebullición. <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=4037> Fecha de Consulta: 10 Julio 2019
- [11] Desinfección del agua con cloro. <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/chlorine-water-disinfection> Fecha de Consulta: 10 Julio 2019
- [12] El papel de la filtración en el tratamiento del agua. <https://www.fluencecorp.com/es/el-papel-de-la-filtracion-en-el-tratamiento-de-agua/> Fecha de Consulta: 10 Julio 2019

- [13] Coagulantes y floculantes para el tratamiento del agua. <https://www.suezwatertechnologies.mx/products/wastewater-treatments/coagulants-and-flocculants> Fecha de Consulta: 10 Julio 2019
- [14] Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones. Autor: María Teresa LealAscencio. https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/04_Capitulo_04.pdf Fecha de Consulta: 10 Julio 2019
- [15] Solvatten, el purificador solar de agua que ya funciona en 20 países. Autor: Redacción. Web: EcoInventos. <https://solvatten.org/> Fecha: 10 Julio 2019
- [16] FuniBolgs. Sistema de purificador de agua para países del tercer mundo. <https://blogs.funiber.org/medio-ambiente/2017/01/27/funiber-purificador-agua-tercer-mundo> Fecha de consulta: 10 Julio 2019
- [17] Ecoosfera. LifeStraw: purificando el agua del planeta por 20 dólares. <https://ecoosfera.com/2012/09/lifestraw-purificando-el-agua-del-planeta-20-dolares/> Fecha de consulta: 10 Julio 2019
- [18] LifeStraw. <https://www.wkndheroes.com/lifestraw-el-filtro-de-agua-mas-revolucionario-del-mercado/> Fecha de consulta: 12 Mayo 2019
- [19] LifeStraw <https://twenergy.com/a/lifestraw-filtro-agua-personal> Fecha de consulta: 12 Mayor 2019
- [20] Household Water Treatment. Flocculant/Disinfectant Powder. https://www.cdc.gov/safewater/PDF/PUR_2011-final.pdf Fecha de Consulta: 10 Julio 2019
- [21] Household Water Treatment Flocculant. Disinfectant Powder. https://www.cdc.gov/safewater/PDF/PUR_2011-final.pdf Fecha de Consulta: 10 Julio 2019
- [22] Arnal, J.M.; Sancho, M.; Lora, J.; Verdú, G. Proyecto de cooperación AQUAPOT para la potabilización de agua por membranas en países en vías de desarrollo. 2º Congreso Nacional Universidad y Cooperación al Desarrollo, Murcia, España, 2004
- [23] Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. Documento BOE-A-2013-3596. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-3596> Fecha de Consulta: 10 Julio 2019
- [24] Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. Documento BOE-A-2013-2179. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-2179> Fecha de Consulta: 10 Julio 2019
- [25] Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social. Anexo 6. Daños para la salud específicos de algunas variedades de madera de uso más común. <http://stp.insht.es:86/stp/content/anexo-6-da%C3%B1os-para-la-salud-espec%C3%ADficos-de-algunas-variedades-de-madera-de-uso-m%C3%A1s-com%C3%BAn> Fecha de Consulta: 10 Julio 2019

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DOMÉSTICA FAMILIAR,
PARA UNA PRODUCCIÓN DE 75L/DÍA DE IMPLEMENTACIÓN EN PAÍSES
EN VÍAS DE DESARROLLO.**

DOCUMENTO 2. PRESUPUESTO

ÍNDICE

1. Necesidad de presupuesto.....	89
2. Presupuesto de realización del proyecto.....	91
3. Presupuesto de ejecución del proyecto.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 43. Materiales necesarios y algunos gastos auxiliares en la elaboración del carbón vegetal	91
Tabla 44. Materiales y equipos necesarios para llevar a cabo los ensayos de Jar Test	92
Tabla 45. Materiales y equipos necesarios para llevar a cabo los ensayos de filtración	93
Tabla 46. Materiales y equipos necesarios para realizar el análisis de imagen con el SEM2.....	93
Tabla 47. Resumen por capítulos	94
Tabla 48. Presupuesto de inversión	94
Tabla 49. Presupuesto de ejecución del proyecto	95
Tabla 50. Presupuesto de inversión	95

1.NECESIDAD DE PRESUPUESTO

Para ultimar la elaboración de este Trabajo Final de Grado, se ha de realizar una evaluación económica del presente trabajo para comprobar la viabilidad económica de este sistema.

La evaluación económica consistirá en un presupuesto para determinar el coste y la inversión que supone la realización e implementación de esta planta de potabilización doméstica en países en vías de desarrollo.

En este documento, se elaborarán dos presupuestos distintos. El primero el presupuesto de realización del proyecto donde se reflejará los costes de las actividades de investigación junto con los cálculos y ensayos llevado a cabo para realizar este proyecto. Y segundo, el presupuesto de ejecución, donde se agruparán todos los gastos necesarios para poder montar y ejecutar esta planta de potabilización y conseguir su correcto funcionamiento.

2. PRESUPUESTO DE REALIZACIÓN DEL PROYECTO

En el presupuesto para la realización de este Trabajo Final de Grado se han englobado los costes asociados al trabajo de investigación llevado a cabo tanto en el laboratorio como fuera de él. Para ello, se han llevado a cabo cuatro ensayos, los cuales se detallan en los capítulos definidos a continuación.

Capítulo 1. Elaboración del carbón vegetal

Tabla 43. Materiales necesarios y algunos gastos auxiliares en la elaboración del carbón vegetal

Fuente: Elaboración propia

Subcapítulo 1.1. Material y gastos auxiliares					
Código	Ud.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (€)	Total (€)
1	ud	Tijeras de poda ALTUNA 32 cm corte bypass	1	9,99	9,99
2	h	Transporte maderas	1	40	40
3	ud	Mortero cerámico	1	17	17
4	ud	Frasco para muestras 150 ml	8	0,35	2,8
					69,79

Capítulo 2. Realización de los ensayos de Jar Test

Tabla 44. Materiales y equipos necesarios para llevar a cabo los ensayos de Jar Test

Fuente: Elaboración propia

Subcapítulo 2.1. Material y equipos					
Código	Ud.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (€)	Total (€)
1	ud	Jarra medidora de polipropileno 5L transparente	1	10,77	10,77
2	ud	Vidrio de reloj borde esmerilado, 100 mm	6	1,88	11,28
3	ud	Espátula Cuchara de Laboratorio	1	2,20	2,20
4	ud	Vaso de precipitados forma alta, 250 ml	6	1,85	11,10
5	ud	Vaso de precipitados forma alta, 1000 ml	1	5,30	5,30
6	ud	Imán agitador magnético blanco	3	3,53	10,59
7	L	Agua desmineralizada	45	1,72	77,40
8	kg	Bicarbonato de sodio	0,0002	6,90	0,00
9	kg	Caolín blanco (arcilla)	0,2	28,88	5,78
10	mes	Turbidímetro láser de bancada TU5200	1,5	17,98	26,96
11	mes	Floculador Jar Test	1,5	14,44	21,66
12	mes	Agitador magnético de bancada	1,5	1,21	1,82
13	ud	Pipeta automática volumen variable de 1-5 ml	1	195,00	195,00
14	mes	Balanza analítica de 4 dígitos	1,5	10,63	15,95
					395,80

Capítulo 3. Realización de los ensayos de Filtración

Tabla 45. Materiales y equipos necesarios para llevar a cabo los ensayos de filtración

Fuente: Elaboración propia

Subcapítulo 3.1. Material y equipos					
Código	Ud.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (€)	Total (€)
1	ud	Recámara de neumático	1	10,28	10,28
2	ud	Depósito cilíndrico de polietileno de 100 L	2	28,95	57,90
3	m	Tuberías de silicona 15 mm	5	6,98	34,90
4	ud	Pinzas Hoffman para tubos de D<22 mm	8	2,63	21,04
5	ud	Saco de gravilla decorativa de 20-40 mm	1	2,95	2,95
6	ud	Saco de arena AXTON sílice 25kg	1	5,99	5,99
7	ud	Tubo de ensayo en vidrio	25	0,19	4,75
8	ud	Conexión de plástico codo	1	0,32	0,32
9	ud	Conexión de plástico espiga	6	0,40	2,40
10	ud	Conexión de plástico derivación Y tripe	2	1,79	3,58
11	mes	Agitador de hélice 60 L	0,5	6,03	3,02
12	L	Agua desmineralizada	100	1,72	172,00
13	kg	Bicarbonato de sodio	0,0002	6,90	0,00
14	kg	Caolín blanco (arcilla)	0,2	28,88	5,78
15	ud	Adaptador de manguera para bombeo de bicicleta	1	1,27	1,27
16	ud	Bomba de aire de pie para bicicleta	1	2,40	2,40
17	mes	Turbidímetro láser de bancada TU5200	0,5	17,98	8,99
18	mes	Floculador Jar Test	0,5	14,44	7,22
19	mes	Agitador magnético de bancada	0,5	1,21	0,61
20	mes	Balanza analítica de 4 dígitos	0,5	10,63	5,32
					343,48

Capítulo 4. Análisis con microscopio electrónico de barrido (SEM2)

Tabla 46. Materiales y equipos necesarios para realizar el análisis de imagen con el SEM2

Fuente: Elaboración propia

Subcapítulo 3.1. Material y equipos					
Código	Ud.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (€)	Total (€)
1	h	Microscopio electrónico de barrido (SEM2)	2	13	26
					26

Dentro del uso de todos los equipos usados para llevar a cabo el proyecto han sido presupuestados en base a la amortización de los mismo.

El cálculo coste total de cada equipo se ha determinado por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{A}{B} \times C \quad [8]$$

Donde A es el tiempo (en este caso en meses) que se utilizó el equipo, B es el periodo de amortización (equipo científico 10 años) y C es el precio del equipo. De esta manera se ha obtenido el precio unitario de los siguientes equipos:

$$\text{Turbidímetro} \quad \frac{2157,00 \text{ €}}{10 \text{ años}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 19,98 \text{ €/mes}$$

$$\text{Equipo de Floculación (Jar Test)} \quad \frac{1972,30 \text{ €}}{10 \text{ años}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 16,44 \text{ €/mes}$$

$$\text{Agitador magnético} \quad \frac{144,90 \text{ €}}{10 \text{ años}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 1,21 \text{ €/mes}$$

$$\text{Balanza de precisión} \quad \frac{1275 \text{ €}}{10 \text{ años}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 10,63 \text{ €/mes}$$

$$\text{Agitador de hélice} \quad \frac{722,65 \text{ €}}{10 \text{ años}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 6,03 \text{ €/mes}$$

Tabla 47. Resumen por capítulos

Fuente: Elaboración propia

Código	Concepto	Importe (€)
Capítulo 1	Elaboración del carbón vegetal	69,79
Capítulo 2	Realización de los ensayos de Jar Test	395,80
Capítulo 3	Realización de los ensayos de Filtración	343,48
Capítulo 4	Análisis con Microscopio Electrónico de Barrido (SEM2)	26,00
		835,07

Tabla 48. Presupuesto de inversión

Fuente: Elaboración propia

Presupuesto de ejecución material	835,07
Gastos generales (13%)	108,56
Beneficio industrial (6%)	50,10
Presupuesto de ejecución por contrata	993,73
IVA (21%)	208,68
Presupuesto base de licitación	1202,42

El presupuesto base de licitación asciende a la cantidad expresada de **MIL DOSCIENTOS DOS EUROS CON CUARENTA Y DOS CÉNTIMOS**.

3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

El presupuesto para la ejecución de este trabajo reúne todos los costes asociados a materiales y mano de obra (en el caso de que la hubiera) para que cualquier persona sea capaz de llevar a cabo la correcta puesta en marcha del filtro. Estos costes se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla 49. Presupuesto de ejecución del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Subcapítulo 3.1. Material y equipos					
Código	Ud.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (€)	Total (€)
1	ud	Recámara de neumático	1	10,28	10,28
2	ud	Depósito cilíndrico de polietileno de 100 L	2	28,95	57,90
3	m	Tuberías de silicona 15 mm	5	6,98	34,90
4	ud	Pinzas Hoffman para tubos de D<22 mm	8	2,63	21,04
5	ud	Saco de gravilla decorativa de 20-40 mm	1	2,95	2,95
6	ud	Saco de arena AXTON sílice 25kg	1	5,99	5,99
8	ud	Conexión de plástico codo	1	0,32	0,32
9	ud	Conexión de plástico espiga	6	0,40	2,40
10	ud	Conexión de plástico derivación Y tripe	2	1,79	3,58
11	mes	Agitador de hélice 60 L	0,5	6,03	3,02
15	ud	Adaptador de manguera para bombeo de bicicleta	1	1,27	1,27
16	ud	Bomba de aire de pie para bicicleta	1	2,40	2,40
					146,05

Tabla 50. Presupuesto de inversión

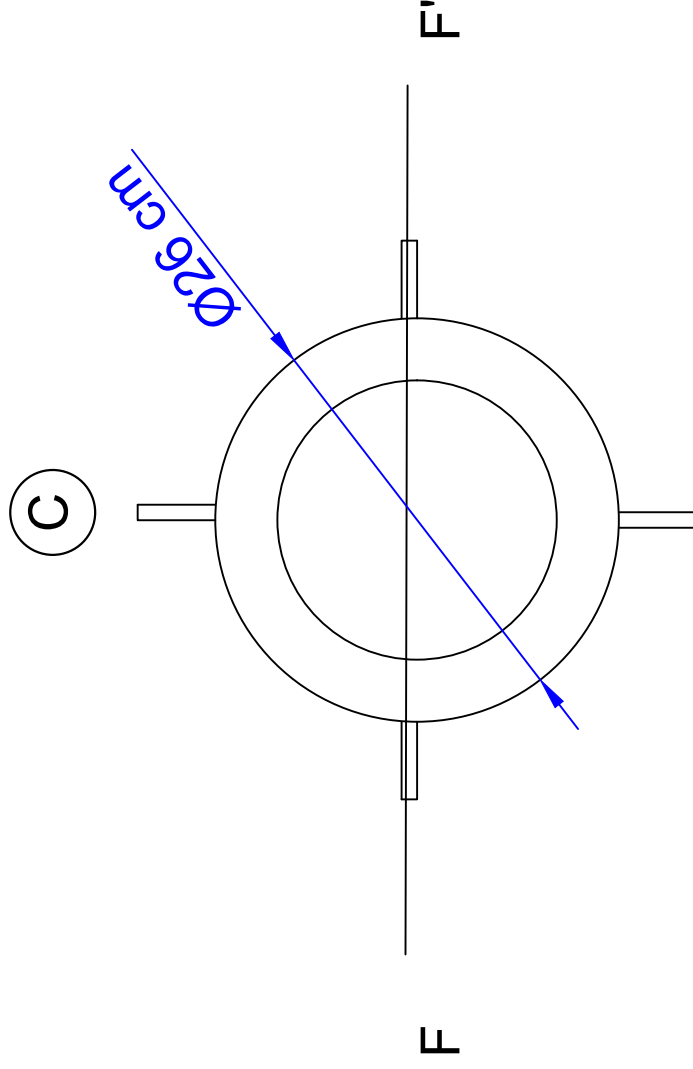
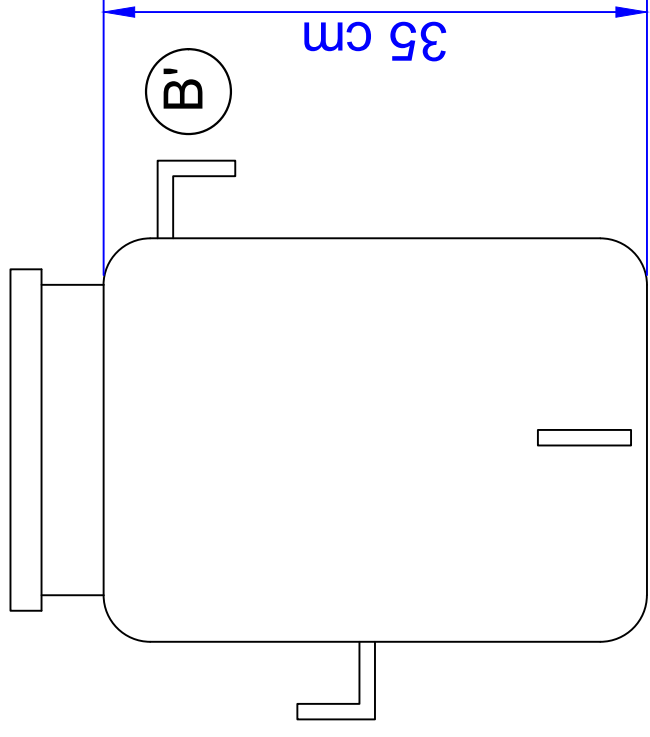
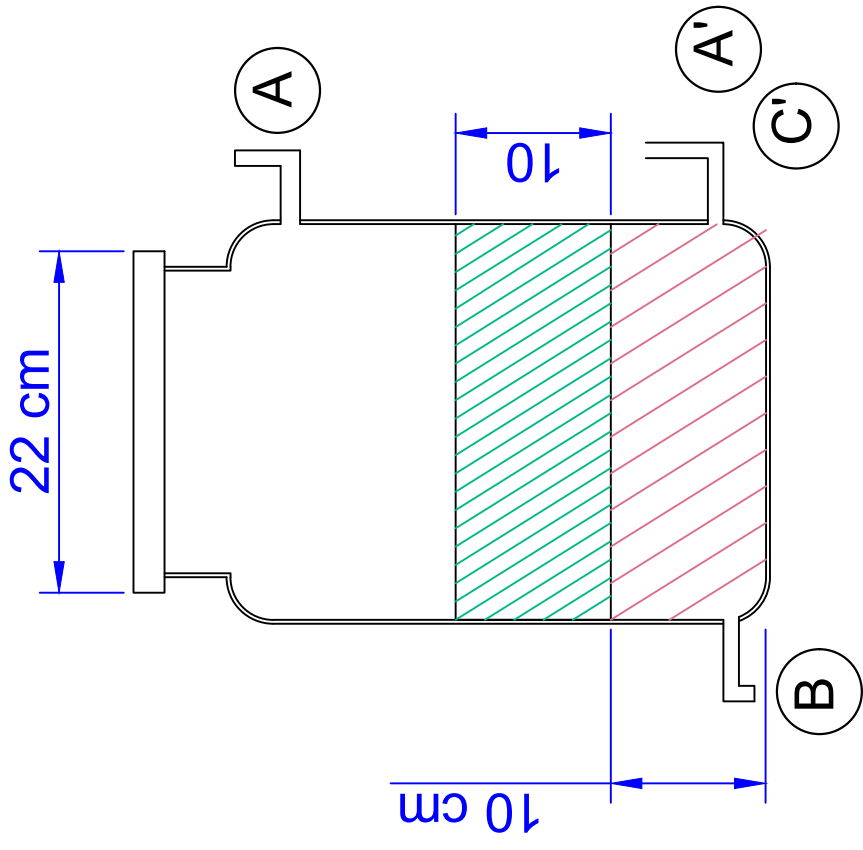
Fuente: Elaboración propia

Presupuesto de ejecución material	146,05
Gastos generales (13%)	18,99
Beneficio industrial (6%)	8,76
Presupuesto de ejecución por contrata	173,79
IVA (21%)	36,50
Presupuesto base de licitación	210,29

El presupuesto base de licitación asciende a la cantidad expresada **DOSCIENTOS DIEZ EUROS CON VEINTE Y NUEVE CÉNTIMOS.**

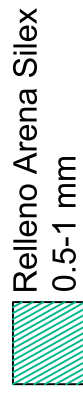
**DISEÑO DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DOMÉSTICA FAMILIAR,
PARA UNA PRODUCCIÓN DE 75L/DÍA DE IMPLEMENTACIÓN EN PAÍSES
EN VÍAS DE DESARROLLO.**

DOCUMENTO 3. PLANOS



Ciclo de Filtrado = A + B + C

- A = Conexión Depósito de agua a filtrar a entrada de filtro
- B = Conexión Salida del permeado a depósito de agua limpia
- C = Conexión del medidor de nivel



Ciclo de Lavado = A' + B' + C'

- A' = Conexión Depósito de agua de lavado a la entrada parte inferior del filtro
- B' = Conexión Salida de agua de lavado del filtro
- C' = Conexión inyección de aire para mejorar el lavado



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

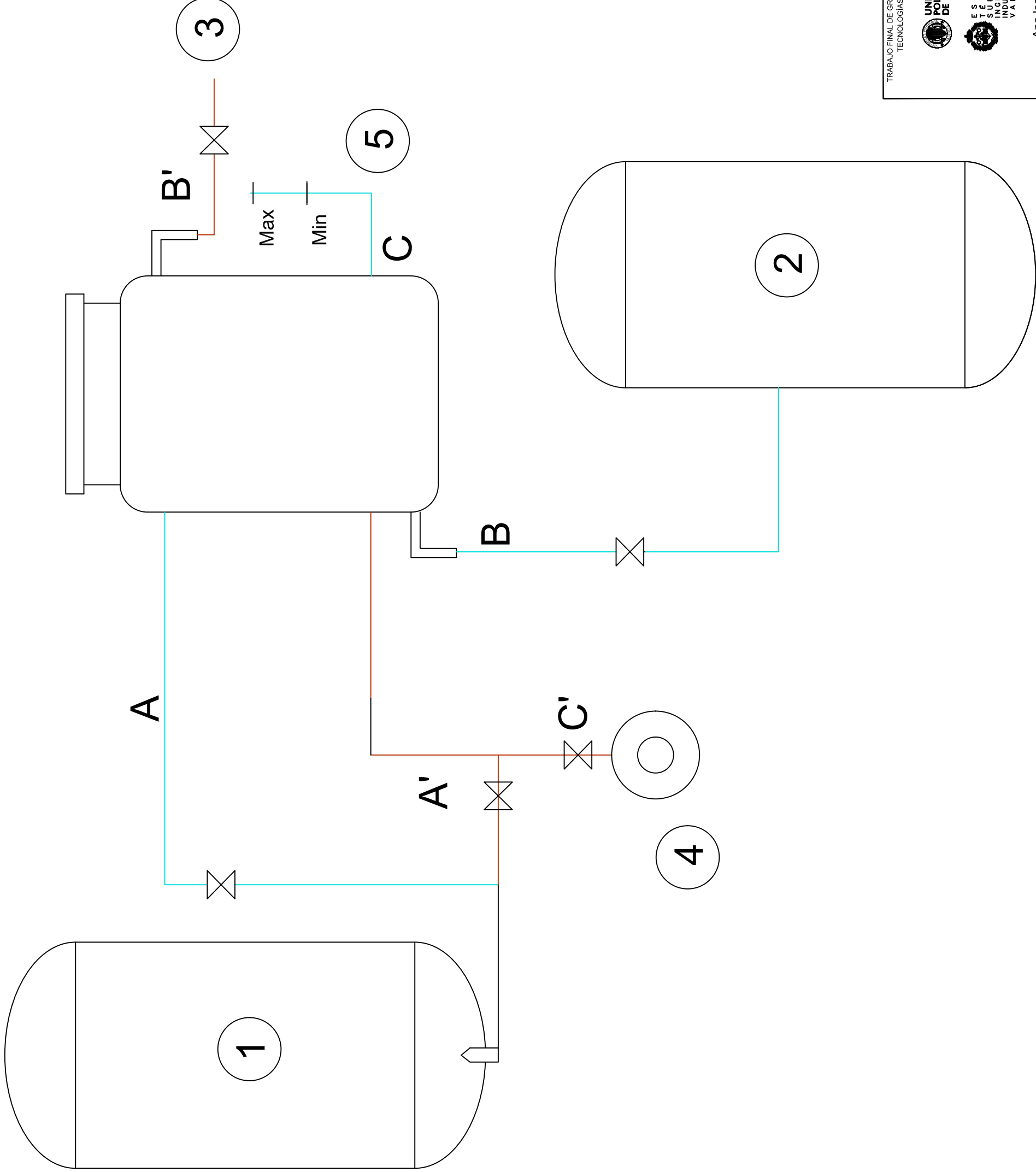


Proyecto: DISEÑO DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DOMÉSTICA FAMILIAR PARA UNA PRODUCCIÓN DE 75L/DÍA DE IMPLEMENTACIÓN EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO

Fecha: JULIO 2019
Escala: 1/1000
Nº Plano: 1

DISEÑO DE FILTRO DE ARENA PARA TRATAMIENTO DE 75L/DÍA

Ana Isabel Moratalla Saiz
Autor proyecto



CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

— Ciclo de Filtrado (A + B + C)
— Ciclo de Lavado (A' + B' + C')

- 1 Tanque Almacenamiento Agua a tratar
- 2 Tanque Almacenamiento Agua limpia
- 3 Salida del Agua de Lavado a desagüe
- 4 Bomba de inyección de aire
- 5 Medidor de Nivel

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA

Proyecto: DISEÑO DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DOMÉSTICA FAMILIAR PARA UNA PRODUCCIÓN DE 75L/DÍA DE IMPLEMENTACIÓN EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO

Fecha: JULIO 2019
Escala: 1/1000
Plano: N° Plano:

Diseño de la Planta de Filtración doméstica familiar para implementación en países en vías de desarrollo

Ana Isabel Moratalla Saiz
Autor proyecto