

06-012

DESIGN OF A HOUSEHOLD WATER TREATMENT PLANT, FOR PRODUCTION OF 75 L / DAY AND ITS IMPLEMENTATION IN DEVELOPING COUNTRIES

Moratalla Saiz, Ana Isabel ⁽¹⁾; *Arnal Arnal, José Miguel* ⁽¹⁾; *García Fayos, Beatriz* ⁽²⁾; *Sancho Fernández, María* ⁽¹⁾

⁽¹⁾ UPV, ⁽²⁾ Universitat Politècnica de València (UPV)

Every day we can see more of the importance of water as an essential element for life and fundamental to healthy ecosystems and socio-economic development of population. Access to clean water is now one of the United Nations' sustainable development goals. This work proposes the design of a water treatment plant based on coagulation and filtration treatments to produce purified water, using simple, low-cost and globally accessible elements. The design has been based on the experimental results obtained from both treatments. With this purpose, coal has been prepared from wood from various plants species that have been used as coadjuvant for coagulation-flocculation. After, jar test and synthetic turbid water has been used to test the optimal amount of carbon need to achieve the minimum turbidity of the water to be treated. Finally, coagulated water filtration tests have been performed to determine its yield, as well as an economic assessment of the designed plant. The designed plant has a capacity of 75 L/day, and represents an innovative, economical and viable alternative to improve water quality in poor areas of developing countries.

Keywords: water; potable; filtration; charcoal; performance; turbidity

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

El agua es un elemento esencial para la vida y fundamental para unos ecosistemas saludables y para el desarrollo socioeconómico de la población. En la actualidad, el acceso a agua limpia constituye uno de los objetivos de desarrollo sostenible de Naciones Unidas. Este trabajo plantea el diseño de una planta de potabilización basada en los tratamientos de coagulación y filtración para la obtención de agua purificada, utilizando elementos constructivos sencillos, de bajo coste y accesibles a nivel mundial. El diseño se ha basado en los resultados experimentales obtenidos de ambos tratamientos. En primer lugar, se ha elaborado carbón a partir de maderas de varias especies vegetales para ser utilizado como coadyuvante en la coagulación-floculación. Seguidamente, se ha determinado experimentalmente en agua turbia sintética la cantidad óptima de carbón a añadir para lograr la mínima turbidez del agua a tratar. Por último, se han realizado ensayos de filtración del agua coagulada para determinar su rendimiento, así como una valoración económica de la planta diseñada. La planta diseñada tiene una capacidad de 75 L/día, y representa una alternativa innovadora, económica y viable para la mejora de la calidad del agua en zonas de recursos limitados de países en vías de desarrollo.

Palabras clave: agua; potabilización; filtración; carbón; rendimiento; turbidez

Correspondencia: Beatriz García Fayos beagarfa@iqn.upv.es



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

1.1. 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 socioeconómico y sanitario adecuado. 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 África. (ONU, Naciones Unidas, 2014)

La escasez de agua se debe principalmente a grandes problemas como el creciente consumo, la contaminación y degradación de reservas hídricas, degradación de recursos naturales, cambio climático y falta de infraestructura básica de captación, tratamiento o distribución (principalmente por razones económicas). (ACNUR, 2019)

1.2. 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. (ONU, Naciones Unidas, 2014)

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 la población se vea obligada a consumir agua de ciertas fuentes sin ni siquiera conocer el estado de calidad de esta. (Gabaldón Alcudia, Garach Serrano, García de Frutos, Díaz, & Ramajo Juan, 2018)

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. (Benito, 2017)

1.3. 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. El método empleado dependerá de la calidad de agua a tratar y de su uso final.

Si lo que se quiere eliminar son sólidos o partículas en suspensión existentes en el agua tenemos alternativas como:

- **Filtración convencional.** El proceso se basa en que la filtración física retiene los sólidos en suspensión atrapándolos 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 (Leal Ascendio, s.f.)
- **Coagulación-floculación.** Con este método se consigue desestabilizar los coloides y sólidos en suspensión consiguiendo que formen masas más grandes denominadas flóculos que sedimentan, reduciendo la turbidez del agua. (SUEZ, s.f.)
- **Filtración por membranas.** Consiste en materiales porosos o no capaces de separar ciertas sustancias aplicando presión como fuerza impulsora. Es un proceso físico de

separación a través del cual el agua atraviesa la estructura de la membrana (que pueden ser de material variable variable) separándose del resto de sustancias. (Leal Ascendio)

Los tratamientos básicos de desinfección son:

- **Ebullición.** El agua hierve a 100 °C 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. No tiene efecto residual por lo que el agua así tratada puede volver a contaminarse.
- Adición de cloro (**cloración**). Es verdaderamente efectivo para mohos, algas, bacterias y otros microorganismos. El compuesto añadido es hipoclorito sódico. Tiene efecto residual. (SMART Fertilizer Management, s.f.)
- **Luz ultravioleta.** La radiación ultravioleta atraviesa la pared celular de los organismos modificando su material genético y volviéndolos incapaces de reproducirse. No tiene efecto residual.

1.4. 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 los países en vías de desarrollo, y se reúnen esfuerzos para el desarrollo la adaptación de tecnologías sencillas y económicas enfocadas 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	Capacidad/Eficacia	Coste	Vida útil
<i>Solvatten</i> (Solvatten, s.f.)	Basado en la radiación UV del sol	Es capaz de tratar 10 L de agua en unas 3-5 horas	8 €/ud.	7-10 años
<i>Filtro de Bioarena (FBA)</i> (FUNIBLOGS, s.f.)	Basado en una capa de arena fina de filtración, una de arena gruesa para separación y un drenaje	Eficacia de eliminación de patógenos del 99%	20€/ud.	20 años
<i>LifeStraw</i> (twenergy, s.f.)	Basado en una membrana de filtración con forma de pajita	Es capaz de filtrar 100 litros con una eficacia del 99.9%	17.77€/ud.	Filtrado de 100 litros (por uso)
<i>Sobres Instantáneos</i> (CDC: Centers for Disease Control and Prevention)	Se basa en la adición de un floculante y un desinfectante para la eliminación de partículas y su desinfección	Capaz de tratar 10 L de agua sucia en agua limpia lista para su consumo en un proceso de una media hora de duración.	0.03€/ud.	Sobres de un solo uso
<i>Aquapot</i> (Arnal, Sancho, & Verdú, 2004)	Basado en membranas de UF	Capaz de tratar 2500L/h de agua con una eficacia de 99.9 %	25000€/ud	15 años

2. Objetivos

2.1. Objetivo Principal

El objetivo principal de este trabajo es 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) basada en tecnologías de coagulación-floculación y filtración convencional con materiales sencillos y de bajo coste.

2.2. Objetivos Secundarios

Para llevar a cabo el objetivo principal, será necesario cumplir unos determinados objetivos previos. Son los siguientes:

- OE-1. Elaboración del carbón a partir de diferentes especies vegetales.
- OE-2. Estudiar el comportamiento de los distintos 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. Valoración económica del sistema diseñado.

3. Metodología

3.1. Elaboración del Carbón Vegetal

En este primer apartado, se explican todos los pasos necesarios para cumplir el primer objetivo específico de este trabajo, el proceso de elaboración del carbón vegetal a partir de diferentes especies vegetales.

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 tamaño 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.

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 llegue a consumirse en cenizas.

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.

Una vez elaborado el carbón, se procede al proceso de trituración de forma sencilla. En este caso, se utiliza un mortero cerámico para machacar y triturar los trozos de carbón hasta conseguir una granulometría lo más pequeña posible. Finalmente, se almacena cada tipo de carbón granulado hasta su uso.

3.2. Análisis de Carbones mediante Microscopía

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

En primer lugar, se sigue el procedimiento habitual para la preparación de muestras. Después, se les realiza un recubrimiento de estas bajo vacío para convertir las muestras en

conductoras. Como el análisis solo fue de imagen el recubrimiento que se realizó fue solamente “sputtering” de oro para obtener unas mejores condiciones de imagen.

Una vez convertidas en conductoras, sólo queda introducir las 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. (Universidad Politécnica de Valencia, s.f.)

3.3. Preparación de Agua Turbia Sintética

Para cumplir el objetivo específico dos, se necesitará elaborar un agua turbia sintética, la cual se utilizará para simular un agua turbia real.

En su elaboración se necesita agua desmineralizada procedente de un proceso de ósmosis inversa y de intercambio iónico. Seguidamente, por cada litro de agua, se añaden 5 g de caolín blanco. Se mantiene en una fuerte agitación durante 1 hora y se deja reposar durante 24 horas para su sedimentación.

Transcurrido el tiempo de sedimentación, se decanta la disolución y el sobrenadante (que debe tener alrededor de unos 500 NTU) se mantiene en una constante agitación convirtiéndose en la disolución madre a partir de la cual se prepararán diluciones para los ensayos.

3.4. Ensayo de 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 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 adaptado con 6 palas metálicas, donde en cada una se pondrá un vaso con una muestra de 100 ml.

En cada serie de ensayos debe trabajarse siempre con un blanco al cual no se le añade ninguna cantidad de coagulante-floculante. El resto de los vasos se dosifican con la cantidad correspondiente de carbón (de 0 a 0.5 gramos de carbón) y, una vez añadido el coagulante-floculante, se pone en marcha el proceso de agitación rápido a 100 rpm durante 2 minutos y, seguidamente, en una agitación lenta a 30 rpm durante 15 minutos.

Cuando termina el proceso, se retiran los vasos de Jar Test y se dejan sedimentar durante 20 minutos. Tras pasar ese tiempo, se mide la turbidez de cada una de las muestras y se calcula así, su rendimiento de eliminación (η) con la ecuación 1.

$$\eta_{eliminación} (\%) = \frac{Turbidez\ inicial - Turbid\ final}{Turbidez\ inicial} * 100 \quad (1)$$

Una vez calculado el rendimiento, se representan dichos datos para su posterior tratamiento con el propósito de determinar la dosis óptima de carbón para la cual se alcanza el máximo rendimiento. Las condiciones a las que se han realizado los ensayos son: Temperatura 25°C, Presión 1 atm, y Humedad relativa 60 %.

3.5. Ensayo de Filtración

En este apartado se realizará el diseño del sistema de filtrado y su correspondiente puesta en marcha realizando varios ensayos de filtración usando la arena del filtro y añadiendo también distintos coagulantes.

Primero, se monta el filtro correctamente como se detalla en el manual de funcionamiento. Después, se realizará en primer lugar un ensayo llamado “Blanco” donde simplemente se realizará una disolución turbia sintética de unos 20-25 litros y se pondrá en marcha el filtro para el proceso de filtración. Cuando este proceso esté en funcionamiento y gracias a un conjunto de tubos de ensayo se irán cogiendo muestras del permeado con intervalos de 5 minutos, y se irá midiendo la turbidez. Una vez reconocida 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.

Por último, se procesan los datos y se compara el rendimiento de los obtenidos sin coagulante y los realizados con coagulante.

Tras el estudio del comportamiento del filtro se realiza un apartado correspondiente al manual de fabricación y funcionamiento de este. Aquí quedará reflejado todo su diseño, funcionamiento y mantenimiento.

4. Resultados

4.1. Resultado de los ensayos de Jar Test

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 y agrupar en varios grupos los diferentes coagulantes en función de su rendimiento de eliminación.

La tabla 2 muestra una agrupación de todos los carbones en base al rango de rendimiento máximo de eliminación.

Tabla 2. Grupos de coagulantes en función del rendimiento obtenido en el Jar Test

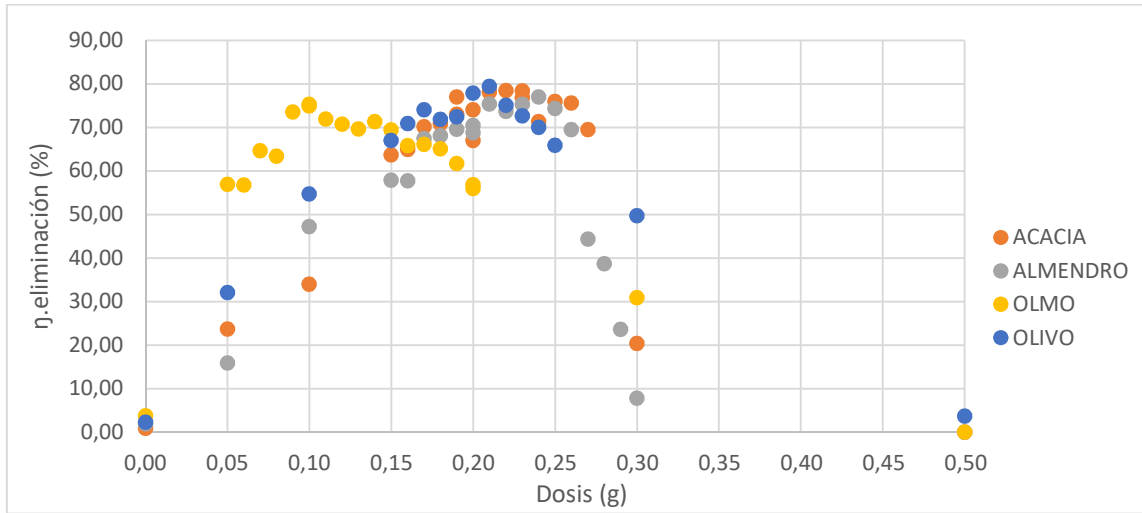
Grupo 1 (η. max 75-80%)	Grupo 2 (η. max 65-75%)	Grupo 3 (η. max 50-60%)
Acacia	Cerezo	
Olivo	Noguera	Pino
Olmo	Carrasca	
Almendro		

En el gráfico que viene a continuación, podemos ver el desarrollo de los coagulantes-floculantes pertenecientes al Grupo 1.

En la Figura 1, se puede observar como los cuatro tipos de carbones (acacia, almendro, olmo y olivo) alcanzan un rendimiento de máximo muy similar, en torno al 75-80%. Sin embargo, esos rendimientos se consiguen a diferentes dosis de carbón vegetal.

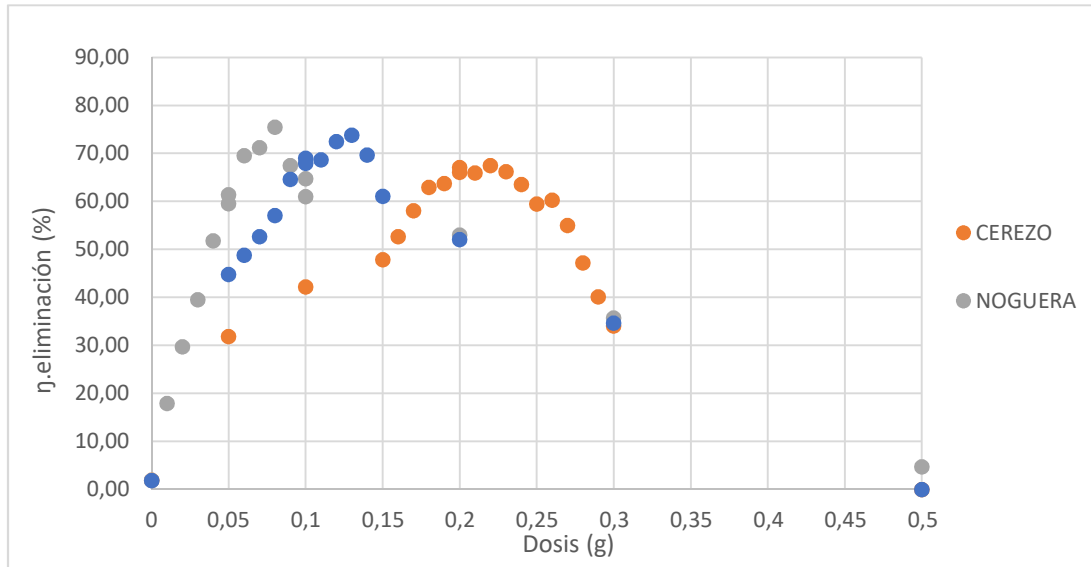
Por ejemplo, en el caso del olmo, se consigue alcanzar un rendimiento del 75% aproximadamente dosificando solo 0.10 gramos de carbón por 100 ml de disolución. Por otro lado, con las variedades de almendro y olivo se alcanza un rendimiento del 77-80% utilizando una dosis de carbón superior al anterior, en este caso 0.22 gramos por cada 100 ml.

Figura 1: Comportamiento de los carbones del grupo 1 en disolución de agua turbia sintética



En último lugar se encuentra la acacia, con valores de rendimiento máximo prácticamente iguales a la variedad del olivo, pero con una dosis algo mayor, unos 0.24 gramos por cada 100 ml de disolución. Los resultados para Grupo 2 se muestran en la Figura 2.

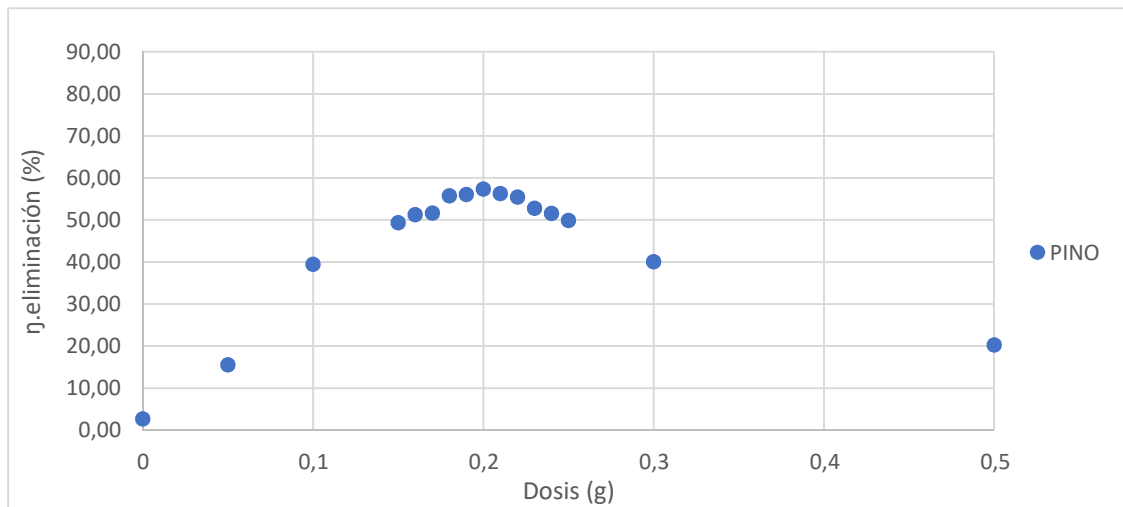
Figura 2: Comportamiento de los carbones del grupo 2 en disolución de agua turbia sintética



En la Figura 2, se puede observar cómo los carbones de cerezo, noguera y olmo alcanzan un rendimiento de máximo en torno al 76, 74, 67% consecutivamente. Sin embargo, esos rendimientos se consiguen a diferentes dosis de carbón vegetal, de 0.22, 0.08 y 0.13 gramos por 100 mL de disolución problema.

Por último, en el Grupo 3, solo se encuentra el pino. La Figura 3 muestra los resultados para esta especie.

Figura 3: Comportamiento de los carbones del grupo 3 en disolución de agua turbia sintética



El máximo rendimiento alcanzado para el pino es de un 58% aplicando una dosis de 0.20 gramos por 100 ml de disolución.

4.2. Diseño, Características y Funcionamiento del Filtro

El diseño del filtro y sus principales características se muestran en la Figura 4 y la Tabla 3.

Figura 4: Dimensiones generales del filtro de Arena

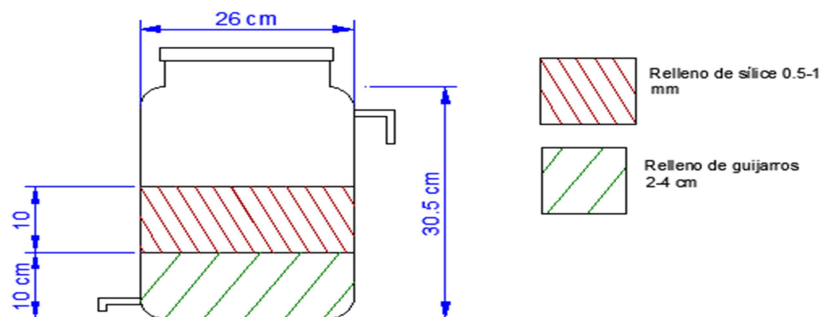
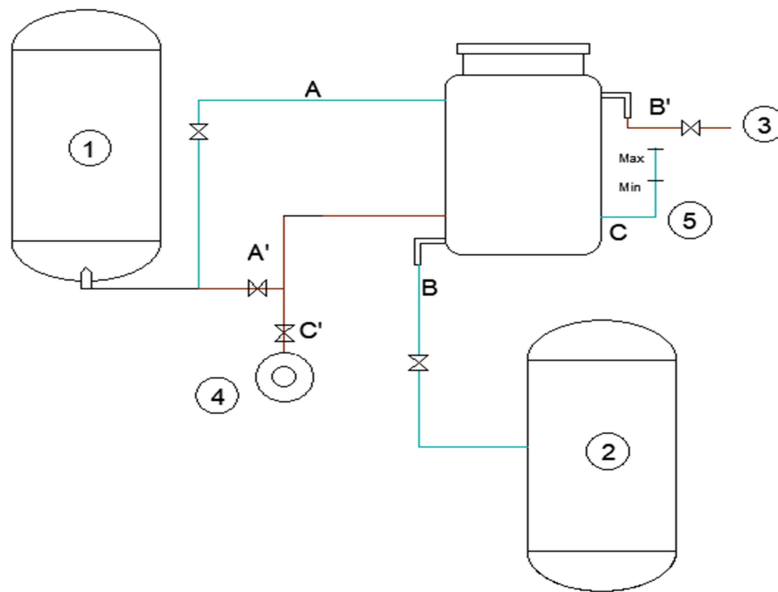


Tabla 3. Características técnicas

Diámetro (mm.)	26
Velocidad de filtración (m ³ /m ² h)	0.1-0.3
Caudal (l/h)	5-16
Superficie Filtración (m ²)	0.053
Número de conexiones	5
Tiempo de filtrado (horas)	4.5-15

La instalación completa se muestra en la Figura 5.

Figura 5: Diseño de la instalación completa



En la Figura 5, se puede observar un gráfico del sistema de filtrado completo donde podemos ver dos circuitos distintos, uno azul y otro marrón.

El circuito azul representa el circuito para filtrar el agua. El agua se extrae del fondo del depósito (1) hasta llegar a la entrada del filtro (A) mediante tuberías de silicona. Una vez el agua está dentro del filtro atraviesa la capa de arena y después la de guijarros hasta llegar al fondo del depósito, donde desemboca a la salida del permeado (B) y se almacena en otro depósito (2).

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.

Cuando se ejecute dicho ciclo de lavado (circuito de color marrón) se deberán cerrar todas las conexiones del ciclo de filtración (A, B y C). A la vez, se abrirán las conexiones de la entrada y salida del agua lavado (A' y B') y la entrada de aire (C') mediante una recámara de neumático.

Con la entrada de agua, ahora a contracorriente, se va atravesando el filtro de abajo hacia arriba y se expulsa por una salida mediante una tubería de silicona, hasta un desagüe (3) 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.

Por último, una vez almacenada en el tanque (2) el agua limpia que atraviesa el filtro deberá desinfectarse mediante la dosificación de cloro. Para ello, se puede usar 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, ni lejía para ropa de color ni con otros limpiadores añadidos. A continuación, cuando se disponga de la lejía se deberá buscar un gotero o una cuchara y seguir las indicaciones de la siguiente tabla para añadir la dosis.

Tabla 4. Dosificación de lejía para desinfección del agua

Volumen de Agua a tratar	Dosis de lejía del 6% a añadir	Dosis de lejía del 8,25% a añadir
1 cuarto de litro	2 gotas	2 gotas
1 galón	8 gotas	6 gotas
10 litros	21 gotas	16 gotas (1/4 de cucharadita)
75 litros	2.5 cucharaditas	2 cucharaditas

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 minutos 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 consumirla.

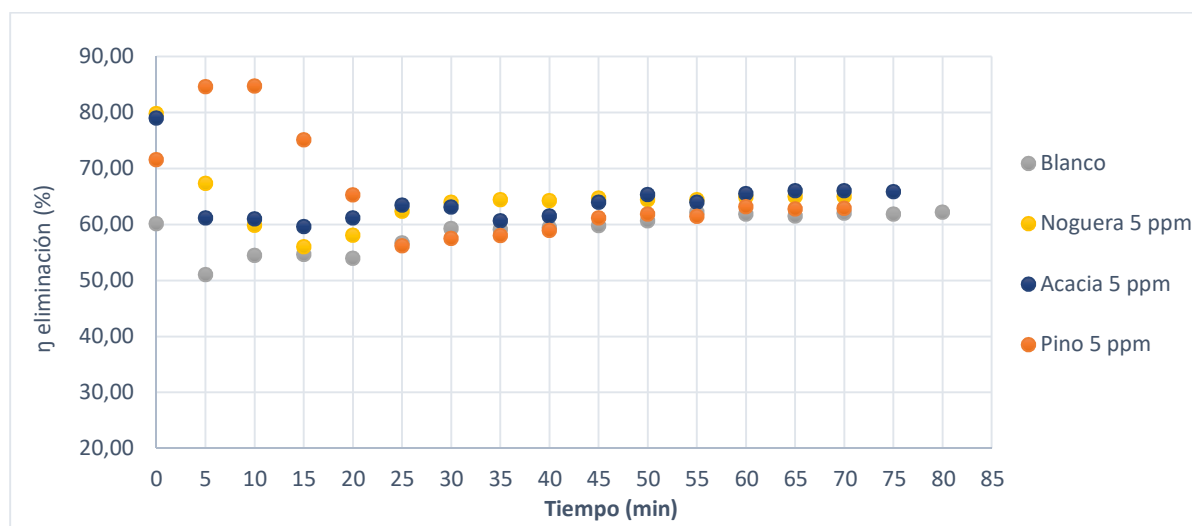
4.3. Resultados de los ensayos de Filtración

El objetivo de este apartado es el estudio del comportamiento del filtro y analizar si la adición del carbón al filtro mejoraba o, por el contrario, empeoraba el rendimiento del mismo.

En la Figura 6 se muestra la evolución del rendimiento del filtro sin adición de coagulante (blanco), como con la adición complementaria de los diferentes tipos de carbón vegetal, seleccionando uno de cada grupo (noguera, acacia y pino) y dosis a lo largo del tiempo. Se escoge la variedad de acacia para trabajar ya que geográficamente se encuentra en una mayor proporción que en el caso del olivo.

En este caso, se optó por trabajar a valores más pequeños de dosificación respecto a los valores de dosis óptima del Jar Test, a unos 5 ppm. Esto se debe con las dosis el agua se enturbió bastante y cogió un color ennegrecido. De ahí que se optara por estudiar el comportamiento a unas dosis más pequeñas donde no afectarían al aspecto del agua.

Figura 6: Evolución del rendimiento en los ensayos de filtración



A partir de esta representación, se puede observar que el filtro sin adición de coagulante es capaz de lograr una reducción de turbidez del 51 al 62 %. La adición del carbón acacia y noguera incrementa el rendimiento de eliminación de la turbidez dando lugar a un agua más clara y limpia, mejorando hasta el 76%. Sin embargo, la adición del carbón de pino no mejora los resultados del blanco, siendo en algún caso incluso peores debido al aporte de

turbidez que supone la adición de carbón. No se debe tener en cuenta los primeros valores de rendimiento del pino, ya que los valores pueden verse influenciados por el volumen muerto del agua de lavado. Por ello, los valores válidos se consideran a partir de los 25 minutos.

De esta manera se comprueba que hay una relación directa del comportamiento que los carbones mantenían en el ensayo de Jar Test con los resultados obtenidos en estos ensayos de filtración.

También se puede comentar que, conforme va pasando el tiempo, el rendimiento va aumentando ligeramente. Esto puede deberse a que, las partículas que se encuentran en la disolución se van quedando retenidas entre los canales de paso de arena, disminuyendo el número de canales libres por donde se desarrolla el paso del agua. Esto hace que las partículas que atraviesan el filtro deban ser cada vez más pequeñas para lograr atravesarlo, y disminuyendo también el caudal del fluido de permeado.

De este estudio, se puede afirmar que la adición de carbón vegetal al agua a tratar en la planta de potabilización consigue mejorar la filtración y la calidad de agua en un 15% (en términos de reducción de turbidez) respecto a solamente utilizar la función del filtro de arena.

Es importante comentar que la secuencia de tratamientos aplicados ha conseguido un alto rendimiento de eliminación de la turbidez, pero el agua final obtenida no alcanza los estándares mínimos de turbidez en agua potable destinada para consumo humano, ya que, la turbidez final no se encuentra por debajo de 1 NTU. Esto implica que para poder cumplir las normativas pertinentes la planta requiera de un tratamiento adicional, mediante por ejemplo la adición de un coagulante natural (García Fayos, Arnal & Sancho, 2018), consiguiendo así una mayor eliminación de partículas en suspensión logrando un agua apta para consumo humano.

4.4. Presupuesto de Ejecución del Proyecto

El presupuesto para la fabricación de este filtro reúne todos los costes asociados a materiales para que cualquier persona sea capaz de llevar a cabo la correcta puesta en marcha del filtro.

Estos costes se reflejan en la Tabla 5.

Tabla 5. Cálculo del presupuesto de ejecución

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

5. Conclusiones

En este trabajo, el objetivo principal era el diseño, construcción y análisis del funcionamiento 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, por lo que se ha construido con materiales sencillos y de bajo coste.

El carbón de acacia es el que mejor comportamiento como coagulante, no solo por su capacidad para eliminar la turbidez, sino también por su amplia distribución geográfica de este árbol por todo el mundo. El carbón de olivo, almendro u olmo también presentan un buen resultado como coagulante.

El filtro diseñado es capaz de reducir la turbidez en 60 %. La adición de carbón de acacia logra mejorar el rendimiento de eliminación del filtro hasta el 65.5 % con tan sólo la adición de 5 ppm de carbón, permitiendo obtener un agua clara y de mejor calidad.

El coste final del dispositivo es de 146 €/unidad, y se estima una vida útil de al menos 5 años capaz de producir 75 L/día de agua. Es un resultado muy satisfactorio y competitivo con los sistemas de bajo coste actuales, teniendo como principal ventaja que su fabricación es posible a partir de elementos y procesos sencillos.

Para aguas de elevada turbidez, sería necesario complementar el tratamiento de potabilización con la adición de un coagulante natural que permita reducir la turbidez a valores por debajo de 1 NTU.

Referencias

- ACNUR, C. (Febrero de 2019). *Agencia de la ONU para los Refugiados: ACNUR*. Obtenido de https://eacnur.org/blog/escasez-agua-en-el-mundo-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst/
- Arnal, J., Sancho, M., & Verdú, G. (2004). *Proyecto de cooperación AQUAPOT para la potabilización de agua por membranas en países en vías de desarrollo*. Murcia, España: 2º Congreso Nacional Universidad y Cooperación al Desarrollo.
- Benito, N. (19 de Diciembre de 2017). *Ayuda en Acción*. Obtenido de La escasez de agua, un problema mundial: <https://ayudaenaccion.org/ong/blog/sostenibilidad/escasez-de-agua-problema-mundial/>
- CDC: *Centers for Disease Control and Prevention*. (s.f.). Obtenido de Household Water Treatment: https://www.cdc.gov/safewater/PDF/PUR_2011-final.pdf
- FUNIBLOGS. (s.f.). Obtenido de Sistema purificador de agua para países del tercer mundo: <https://blogs.funiber.org/medio-ambiente/2017/01/27/funiber-purificador-agua-tercer-mundo>
- Gabaldón Alcudia, Y., Garach Serrano, G., García de Frutos, H., Díaz, J., & Ramajo Juan, Á. (03 de Diciembre de 2018). *iagua*. Obtenido de Posibilidades para la potabilización del agua en países en vías de desarrollo: <https://www.iagua.es/noticias/gestion-agua-etsii-upm/posibilidades-potabilizacion-agua-paises-vias-desarrollo>
- García-Fayos, B., Arnal, J.M., & Sancho, M. (2018). Natural coagulants: analysis of potential use for drinking water treatment in developed and developing countries. *Desalination and Water Treatment*, 103, 307-314.
- Leal Ascendio, M. (s.f.). *Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones*. México.

ONU. (7 de Febrero de 2014). *Naciones Unidas*. Obtenido de El derecho humano al agua y el saneamiento:
https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml

ONU. (Febrero de 2014). *Naciones Unidas*. Obtenido de
https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml

SMART Fertilizer Management. (s.f.). Obtenido de Desinfección del agua con cloro:
<https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/chlorine-water-disinfection/>

Solvatten. (s.f.). Obtenido de <https://solvatten.org/>

SUEZ. (s.f.). *Water Technologies & Solutions*. Obtenido de Coagulantes y floculantes para el tratamiento: <https://www.suezwatertechnologies.mx/products/wastewater-treatments/coagulants-and-flocculants>

twenergy. (s.f.). Obtenido de LifeStraw: del agua contaminada al agua pura en un solo trago.

Universidad Politécnica de Valencia. (s.f.). Obtenido de Microscopio Electrónico de Barrido (SEM): <http://www.upv.es/entidades/SME/info/753713normalc.html>

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

