

## DESIGN OF A WATER TREATMENT PLANT FOR RURAL COMMUNITIES USING THE COAGULANT COMPOUND FROM MORINGA OLEIFERA SEED

García-Fayos, Beatriz; Rivera Rodríguez, Francisco Jesús; Arnal Arnal, José Miguel;  
Sancho Fernández, María

Universitat Politècnica València

Access to quality drinking water is a global problem that persists in developing countries because of the absence or low efficacy of facilities and infrastructures as well as the lack of chemical products for the proper treatment. This increasing problem is exacerbated in rural areas and forces the population to consume water directly from rivers and lakes without previous treatment which increases epidemic risk. For that reason, more efficient, less expensive and decentralized new strategies to improve the physico-chemical and microbiological quality of drinking water intended for human consumption are needed. It has been shown that Moringa oleifera seeds have important coagulant properties thanks to a cationic protein which reduces microbiological content and suspended matter from water to levels similar to conventional coagulants. In this work, a design of a drinking water treatment plant based on the use of the coagulant compound of Moringa oleifera seed is proposed. For the design, experimental data about the performance of Moringa oleifera coagulant obtained at the laboratory and pilot plant scale test using synthetic water and real water will be used. Designed facility will supply a population of 1000 inhabitants.

**Keywords:** *Drinking water treatment plant; Moringa oleifera; Developing countries; Coagulation*

## DISEÑO DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN PARA COMUNIDADES RURALES UTILIZANDO EL COMPUESTO COAGULANTE DE LA SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA

El acceso a agua potable de calidad es un problema mundial que persiste en países en vías de desarrollo debido a la inexistencia o baja eficacia de instalaciones e infraestructuras así como a la falta de productos químicos para el tratamiento. Este problema se incrementa en zonas rurales provocando que la población consuma agua directamente de ríos y lagos sin tratamiento previo, lo cual incrementa el riesgo de epidemias. Por ello, se necesitan nuevas formas, más eficientes, menos costosas y descentralizadas, de mejorar la calidad fisicoquímica y microbiológica de las aguas potables destinadas a consumo humano. Se ha demostrado que las semillas de Moringa oleifera tienen importantes propiedades coagulantes gracias a una proteína catiónica que permite reducir el contenido microbiológico y la materia en suspensión del agua a niveles similares a los de los coagulantes convencionales. En este trabajo se propone el diseño de una planta potabilizadora basada en el empleo del compuesto coagulante de la semilla de Moringa oleifera. Se utilizarán para el diseño los datos obtenidos a nivel de laboratorio y de planta piloto sobre la eficacia del coagulante de Moringa utilizando agua sintética y agua real. La instalación diseñada permitirá abastecer a una población de 1000 habitantes.

**Palabras clave:** *Planta potabilizadora; Moringa oleifera; Países en vías de desarrollo; Coagulación*

Correspondencia: msanchof@iqn.upv.es

## 1. Introducción

El agua es un recurso esencial para el mantenimiento de la vida en la Tierra y resulta indispensable para garantizar el progreso del ser humano y de las naciones. Sin embargo, el porcentaje de agua útil y fácilmente accesible para el ser humano es muy pequeño, por lo que es necesario establecer políticas adecuadas para la gestión de los recursos hídricos.

No obstante, esta gestión está lejos de ser racional debido a varias circunstancias, entre las que se encuentran el rápido crecimiento de la población, la sobreexplotación de los acuíferos debido a las necesidades de agua para cultivos y ganado, el creciente consumo energético, el desarrollo industrial, la contaminación de las aguas o el cambio climático (UNESCO, 2012).

Por estas razones, se ha producido un descenso acusado en la calidad y cantidad de las reservas de agua. Aunque en los últimos años se han realizado esfuerzos para revertir la situación, la realidad es que la escasez de agua es un problema que continúa estando vigente en casi todos los países, especialmente aquellos que se encuentran en vías de desarrollo donde, además, el agua presenta niveles elevados de contaminación física, química o microbiológica que hacen necesario un tratamiento previo a su consumo.

Sin embargo, la inexistencia o baja eficacia de instalaciones de potabilización e infraestructuras así como la falta de productos químicos para el tratamiento, principalmente en áreas rurales, provocan que la población consuma agua directamente de ríos y lagos, lo cual incrementa el riesgo de contraer enfermedades infecciosas transmitidas por el agua.

En las últimas décadas la Comunidad Internacional ha tomado conciencia acerca de la enorme influencia que tiene la falta de agua potable y de saneamiento adecuado en el desarrollo social y económico de los países en vías de desarrollo. Esta concienciación viene reflejada a través de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de Naciones Unidas, concretamente a través de varias metas específicas contenidas en el Objetivo 7, por las que se pretende reducir a la mitad, en 2015, la proporción de personas que no cuenta con acceso sostenible a servicios seguros de agua potable y saneamiento (Organización Naciones Unidas, 2000). Gracias a ello se han logrado grandes avances en los últimos años, a pesar de lo cual aún existen 768 millones de personas que no tienen acceso a fuentes de agua mejoradas, y el número de muertes anuales asociadas al consumo de agua en mal estado asciende a tres millones, sobre todo en países del África Subsahariana, Oceanía y América Latina (Organización Mundial de la Salud & UNICEF, 2013).

Por todo ello, es necesario desarrollar tecnologías menos costosas, más eficientes y descentralizadas que permitan reducir la contaminación fisicoquímica y microbiológica del agua antes de ser consumida por la población. En este contexto, ya se han diseñado y desarrollado diferentes unidades potabilizadoras basadas en distintas tecnologías baratas y de bajo impacto ambiental y social, principalmente las apoyadas en tecnologías de membranas (Arnal et al., 2010).

Sin embargo, el desarrollo de unidades descentralizadas basadas en el proceso tradicional de coagulación-floculación-sedimentación-filtración es menos habitual debido, entre otras cosas, a la necesidad de utilizar grandes equipos que requieren realizar obra civil y al uso de compuestos químicos de elevado coste y difícil acceso. Ahora bien, en los últimos años, se han desarrollado diversas investigaciones para determinar el rendimiento de diferentes sustancias naturales de fácil acceso como coagulantes.

Las semillas de *Moringa oleifera* se han utilizado tradicionalmente como coagulante natural en varias comunidades rurales del África Subsahariana, gracias a sus importantes propiedades coagulantes debidas a una proteína catiónica que permite reducir el contenido microbiológico y la materia en suspensión del agua, a niveles similares a los de los coagulantes convencionales (Jahn, 1988). Varios estudios han constatado que se trata de

un coagulante muy efectivo capaz de eliminar hasta el 99% de la turbidez de las aguas superficiales, produciendo menos lodos que el sulfato de aluminio (Ndabigengesere & Narasiah, 1996 y Pritchard et al., 2010). Otras ventajas de su uso son la biodegradabilidad de los lodos producidos, su bajo coste y la estabilidad del pH del agua tratada.

El Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM) de la Universidad Politécnica de Valencia, ha dedicado, en los últimos años, varias líneas de investigación al desarrollo e implementación de tecnologías de bajo coste para la potabilización del agua (Arnal et al., 2007a). Una de estas líneas de investigación se ha centrado en el diseño y optimización de un procedimiento para la extracción y conservación del compuesto activo coagulante de las semillas de *Moringa oleifera*, de modo que ha sido posible lograr altos porcentajes de reducción de turbidez (entre el 90 y el 99%) minimizando la cantidad de materia orgánica que se adiciona al agua (Arnal et al., 2006 y García-Fayos, 2010). Por ello, en este artículo se propone el diseño de una unidad de potabilización modular, con capacidad para abastecer a una población de 1.000 habitantes, basada en el empleo del compuesto activo coagulante de las semillas de *Moringa oleifera*.

## 2. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es garantizar el abastecimiento sostenible de agua potable de calidad a la población, especialmente a aquella que reside en áreas rurales de países en vías de desarrollo. Para alcanzar este objetivo general se plantean una serie de objetivos específicos como son el diseño de un proceso de tratamiento de agua superficial basado en tecnologías limpias, eficientes y de bajo coste; y el diseño de una unidad potabilizadora modular y transportable basada en dicho proceso.

## 3. Metodología

### 3.1. Características del Sistema y Bases del Diseño

La planta potabilizadora se va a diseñar para abastecer a una población de 1.000 habitantes, con el objetivo de cubrir las necesidades diarias de consumo de agua para hidratarse y cocinar. Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud, las necesidades medias de agua para hidratación y cocina oscilan entre 2 y 5 litros por persona y día. No obstante, esta cantidad puede verse incrementada en el caso de que las condiciones ambientales sean más rigurosas, como en zonas de clima tropical o subtropical, en mujeres embarazadas o en período de lactancia, y en situaciones de actividad intensa, pudiendo llegar a los 7,5 litros por persona y día (Howard & Bartram, 2003).

Por lo tanto, el volumen mínimo de agua que se debe producir diariamente en la planta potabilizadora es de 7.500 litros/día. Se añadirá un volumen extra de 2.500 litros/día para tener en cuenta posibles imprevistos como averías del sistema, dificultades en la captación o situaciones meteorológicas adversas. Así, el caudal de diseño será de 10.000 litros/día.

Además, el sistema y el proceso a diseñar deben ser adecuados para producir agua apta para el consumo humano mediante el empleo de equipos y tecnologías eficientes, seguras y fáciles de manipular y controlar por parte del personal residente en la comunidad. Se debe favorecer el uso de sustancias naturales y materiales de bajo coste y fácil acceso, de modo que el impacto ambiental derivado de su utilización sea mínimo. Otras características deseables en la instalación son un bajo consumo energético, mayor grado de autonomía en su funcionamiento, alto grado de compactidad, flexibilidad en cuanto a condiciones de operación se refiere y reducido impacto visual.

### 3.2. Calidad del Agua Producida

El agua producida en la unidad potabilizadora debe ser apta para el consumo humano, es decir, no debe contener ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia en concentración que pueda suponer un peligro para la salud humana y, además, debe ser aceptable desde el punto de vista organoléptico. Por ello, se debe realizar, de forma adicional al seguimiento en continuo del sistema, analíticas periódicas que determinen la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua producida.

Los parámetros elegidos para el seguimiento y control de la eficacia de la instalación son la turbidez, la conductividad, el pH, la concentración de cloro residual y la presencia o ausencia de contaminación microbiológica.

### 3.3. Alternativas para la Potabilización del Agua

Para seleccionar el proceso de potabilización se han considerado diferentes alternativas para el tratamiento principal y el de desinfección, se han definido una serie de factores basados en las características que debe poseer la instalación, y se ha evaluado cada alternativa desde el punto de vista de cada factor. Una vez ponderadas las puntuaciones por el peso de cada factor, se ha elegido el tratamiento principal y el de desinfección con mayor puntuación, y se ha diseñado un pretratamiento adecuado para la combinación considerada.

Los factores considerados han sido los siguientes (Peter-Varbanets et al., 2008 y Siew-Leng et al., 2012):

- Rendimiento en cuanto a reducción de la turbidez y de la contaminación microbiológica.
- Necesidades de mantenimiento y explotación: simplicidad de funcionamiento, necesidades de personal, y duración y frecuencia de los controles.
- Coste de inversión.
- Coste de explotación y mantenimiento. Incluye el coste de la energía y de los productos necesarios para su funcionamiento.
- Flexibilidad: superficie necesaria para su instalación, diseño modular, posibilidad de ser transportada, capacidad de adaptación a diferentes necesidades de producción y calidades del agua bruta.
- Impacto visual y ambiental: olores, ruidos, integración en el entorno, seguridad, efectos en el suelo y posibilidad de valorización de los fangos producidos.

En el caso del tratamiento principal se han considerado las siguientes alternativas:

- Coagulación-floculación-sedimentación-filtración con policloruro de aluminio (PAC) como coagulante, debido a que es uno de los métodos más utilizados en la actualidad y que mejor rendimiento presenta en la eliminación de la turbidez y de bacterias (Matilainen et al., 2010).
- Coagulación-floculación-sedimentación-filtración empleando extracto de semillas de *Moringa oleifera* como coagulante, debido a los buenos resultados obtenidos en investigaciones con planta piloto, su bajo coste y fácil acceso (García-Fayos, 2010).
- Procesos de membrana como el de ultrafiltración, debido a que se trata de una tecnología limpia, de fácil manipulación, bajo coste y elevado rendimiento de eliminación de contaminantes microbiológicos (Arnal et al, 2007b y 2010).
- Adsorción con carbón activo, gracias a su gran rendimiento en la eliminación de metales pesados y pesticidas (Mohan & Pittman, 2006 y Foo & Hameed, 2010).

En el caso del tratamiento de desinfección se han considerado los procesos de desinfección química con hipoclorito, oxidación avanzada con ozono, tratamientos térmicos y desinfección mediante radiación ultravioleta. Procesos utilizados habitualmente en sistemas descentralizados de tratamiento de agua potable (Siew-Leng et al., 2012).

#### 4. Resultados: diseño propuesto

##### 4.1. Selección del Proceso de Potabilización

En la Tabla 1 se muestra la evaluación de las diferentes alternativas propuestas respecto de los factores considerados. El criterio que se ha seguido para esta evaluación está adaptado de Siew-Leng et al. (2012). Dado que la potabilizadora va a ser instalada en áreas rurales de países en vías de desarrollo, se ha dado mayor importancia al hecho de que la planta sea sencilla y de escasas necesidades de mantenimiento, de modo que no se necesite personal especializado y sus costes de operación también sean bajos, de ahí que estos factores tengan un peso del 20%.

**Tabla 1. Evaluación de las alternativas de potabilización**

	Criterios de evaluación							Puntuación ponderada
	Rendimiento	Simplicidad de funcionamiento	Necesidad de personal especializado	Coste de inversión	Coste de explotación y mantenimiento	Flexibilidad	Impacto ambiental	
Pesos (%)	15	20	20	5	20	10	10	
Tecnologías								
Coagulación Floculación con PAC	4	4	5	3	4	4	2	<b>3,95</b>
Coagulación Floculación con extracto de <i>Moringa</i>	4	4	5	3	5	4	5	<b>4,45</b>
Adsorción con carbón activo	4	3	3	2	2	1	2	<b>2,60</b>
Ultrafiltración	4	4	5	3	4	4	5	<b>4,25</b>
Desinfección hipoclorito sódico	3	5	5	5	4	4	5	<b>4,40</b>
Ozonización	4	2	2	2	2	2	3	<b>2,40</b>
Tratamientos térmicos	3	4	5	4	4	4	3	<b>3,95</b>
Radiación UV	1	5	5	2	4	4	5	<b>3,95</b>

**Criterios de evaluación:** **Rendimiento:** 1, baja eliminación de microbios y turbidez, 5, eliminación excelente de microbios, turbidez y contaminantes químicos; **Simplicidad de funcionamiento:** 1, diseño complejo, poco automatizado y mantenimiento complejo, continuo y con gran consumo de tiempo, 5, diseño sencillo, alto grado de automatización, mantenimiento ocasional que no consume tiempo; **Personal especializado:** 1, es necesario para garantizar el funcionamiento continuo de la planta, 5, no se necesita personal especializado; **Coste de inversión:** 1, elevado ya que se necesita equipo especializado y realizar obra civil, 5, bajo, no se requiere obra civil y los equipos pueden ser fabricados *in situ*; **Coste de explotación y mantenimiento:** 1, alto, el agua producida tiene un coste superior a 1€/L, 5, muy bajo, el agua producida tiene un coste inferior a 0,01€/L; **Flexibilidad:** 1, el proceso reduce su eficacia en la calidad del agua a tratar, no transportable, dependiente de fuentes de energía externas, 5, el proceso es robusto frente a cambios en la calidad del agua de entrada, transportable, autosuficiente desde el punto de vista energético; **Impacto ambiental:** 1, produce subproductos peligrosos para el ser humano y el medio ambiente en gran cantidad; 5, no produce subproductos peligrosos ni residuos no biodegradables

De acuerdo a dicha evaluación, el tratamiento principal elegido es el de coagulación-floculación empleando un extracto de semillas de *Moringa oleifera* como coagulante mientras que el tratamiento de desinfección elegido es el de hipoclorito sódico.

El tratamiento de coagulación-floculación con PAC se ha descartado debido, fundamentalmente, a la necesidad de incorporar productos químicos de difícil acceso y elevado coste, lo cual incrementaría los costes de explotación. En su lugar, se empleará extracto de semillas de *Moringa oleifera*, puesto que se trata de una especie vegetal muy común en los países en vías de desarrollo y su coste es menor. Además, gracias a su inocuidad, no presenta problemas de almacenamiento y manipulación, a diferencia de los coagulantes químicos. Y se ha demostrado (Ndabigengesere & Narasiah, 1996) que el rendimiento en la eliminación de turbidez de este coagulante natural es equiparable al del PAC, por lo que el rendimiento de la unidad de tratamiento no se verá afectado.

El tratamiento de adsorción con carbón activo ha sido descartado por la elevada dificultad y coste de obtención del carbón activo, pese a ser un buen proceso de eliminación de materia orgánica y metales pesados. Por otra parte, su empleo podría dar lugar a problemas de contaminación en caso de que no se realice una gestión adecuada de los residuos generados en el proceso.

Por último, las tecnologías de membranas son limpias, flexibles y de alto rendimiento en la eliminación de materia orgánica y contaminación microbiológica, por lo que se adaptan muy bien a las características que debe tener el sistema (Arnal et al, 2007b). En este caso, se han descartado frente al proceso de coagulación-floculación con extracto de *Moringa oleifera* debido a la necesidad de emplear productos químicos para su limpieza, y a su mayor consumo energético, lo cual incrementa el coste de explotación.

El tratamiento de desinfección con hipoclorito, aunque menos eficiente, resulta más seguro, más barato y más sencillo de implementar y controlar que el resto de tratamientos de desinfección considerados.

El proceso, cuyo diagrama de bloques se muestra en la Figura 1, se completa con una serie de pretratamientos adecuados a la secuencia elegida como son una reja de gruesos, un proceso de ajuste de pH y una presedimentación en el depósito de agua bruta. El proceso elegido tiene como principales ventajas su escaso impacto ambiental, facilidad de automatización y control, bajo coste, uso de materiales y sustancias accesibles y alta calidad del agua producida. Además, el agua de limpieza de los filtros puede emplearse para otros usos, como por ejemplo para riego; y los lodos pueden utilizarse para alimentación de animales, dado que no contienen sustancias químicas tóxicas.

#### **4.2. Condiciones de Funcionamiento de la Instalación**

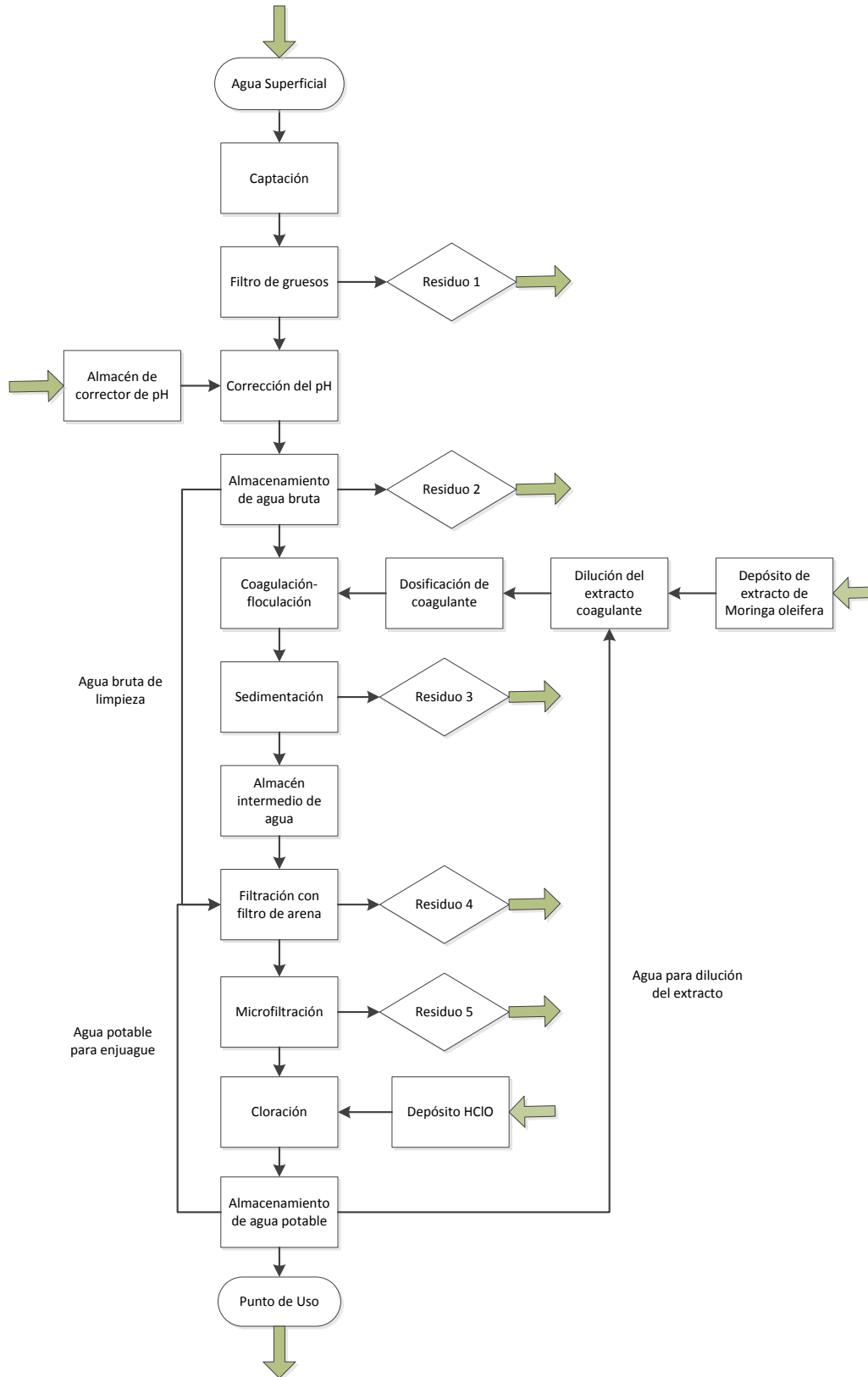
La instalación funcionará durante 20 horas diarias produciendo 0,5 m<sup>3</sup>/hora de agua potable, la cual se almacenará en un depósito de 2.000 litros desde donde se dará servicio a la población a través de un fontanario situado en la parte exterior del contenedor que alberga la planta.

#### **4.3. Selección de los Equipos**

Todos los equipos de la unidad de potabilización, salvo la bomba de captación, el depósito de agua bruta y el fontanario, están instalados dentro de un contenedor marítimo de 40 pies (12,2 x 2,62 x 2,39 m), de modo que el conjunto de la instalación es transportable. La selección de los equipos, y del instrumental de control de la instalación y de la calidad del agua, se realiza a continuación de acuerdo con las principales etapas del proceso (representadas en el diagrama de bloques de la Figura 1): captación, pretratamiento y almacenamiento del agua bruta, tratamiento de coagulación-floculación-sedimentación,

filtración, desinfección, almacenamiento del agua potable, distribución al punto de uso, y equipos de monitorización.

Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de potabilización



#### 4.3.1. Captación, Pretratamiento y Almacenamiento de Agua Bruta

La captación del agua bruta puede realizarse a partir de agua superficial (ríos o lagos) o de agua procedente de acuíferos. En cualquier caso, es necesario tener en cuenta que para el proceso de captación es necesaria una bomba potente y de elevada resistencia, ya que deberá suministrar un caudal suficiente como para que la velocidad de llenado del depósito de alimentación sea mayor que su velocidad de vaciado, y con la presión necesaria para superar la altura de captación, la pérdida de carga del filtro de gruesos, y llegar al depósito de almacenamiento, situado en el techo del contenedor.

Además, como no se conoce si el punto de captación estará protegido, debe estar fabricada de un material que resista bien la abrasión provocada por el entorno y por los gruesos bombeados junto con el agua. Por ello, se ha optado por una bomba centrífuga con una altura de entre 6 y 10 metros, y que proporcione un caudal máximo de entre 1.000 y 2.000 litros/hora, con una potencia aproximada de 0,75 CV.

El filtro de gruesos está constituido por una rejilla de acero inoxidable con una luz de malla de 3 mm, que deberá limpiarse diariamente a fin de no introducir excesiva pérdida de carga en el sistema. A continuación, se realiza el ajuste del pH del agua de entrada mediante la adición de carbonato sódico en un mezclador estático de PVC. Para la inyección del corrector de pH se emplea una bomba dosificadora de membrana, que está automatizada para introducir la cantidad adecuada dependiendo del pH de entrada.

El agua bruta bombeada desde el punto de captación se almacena en un depósito de polietileno cuyo volumen es de 5 m<sup>3</sup> y proporciona agua tanto al proceso de potabilización como al sistema de limpieza del filtro de arena. El depósito está situado en la parte superior del contenedor y fijado a éste a través de tensores de acero, de modo que puede alimentar a la instalación por gravedad y, además, posee una válvula de purga de los sólidos sedimentados durante el tiempo que el agua está almacenada.

#### 4.3.2 Coagulación-Floculación-Sedimentación

El tratamiento principal de coagulación-floculación-sedimentación se realiza en un tanque especial de polietileno dividido en tres compartimentos: una cámara de mezcla rápida donde se inyecta el extracto diluido de *Moringa oleifera*, una cámara de mezcla lenta para facilitar la formación de los flóculos, y un sedimentador lamelar, con lamelas inclinadas 60° respecto de la vertical, donde se produce la precipitación de los flóculos formados en las cámaras previas. Las cámaras de mezcla rápida y mezcla lenta poseen agitadores de palas accionados por pequeños motores eléctricos para proporcionar la velocidad adecuada de agitación. El tanque posee una válvula en la parte inferior para purgar los sólidos depositados.

La dosificación del extracto de *Moringa oleifera* se realiza en un mezclador estático de PVC, donde se inyecta la cantidad adecuada del extracto concentrado, que se encuentra almacenado en un depósito de polietileno de 10 litros de capacidad, y se diluye con agua potable procedente del depósito de distribución al punto de uso. El objetivo de esta dilución es doble, por un lado el de conseguir un volumen de inyección de extracto adecuado a las dimensiones del coagulador y, por otra, lograr que la concentración del compuesto activo coagulante sea uniforme. Para ello, se utilizan dos bombas dosificadoras de membrana de pequeño tamaño, una para el extracto concentrado y otra para el agua potable, que actúan de forma automática inyectando la cantidad adecuada de extracto y agua dependiendo de la concentración inicial del extracto de *Moringa oleifera*.



### 4.3.3 Filtración

El agua que sale del sedimentador se almacena en un depósito intermedio de 1 m<sup>3</sup> de capacidad fabricado en polietileno, desde donde se alimenta a la unidad de filtración. Este proceso consta de dos etapas en serie: un filtro rápido de arena y un microfiltro de mangas. El objetivo de las etapas de filtrado es eliminar todas aquellas partículas que queden en suspensión tras el proceso de decantación.

En la etapa de filtrado sobre lecho filtrante, se emplea un filtro de arena capaz de retener partículas de hasta 150 µm, con una velocidad de filtración de entre 15 y 20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h. Esta unidad de filtración está automatizada y dispone de un medidor de caudal que permite determinar en qué momento debe procederse a su lavado, y que está en comunicación con la válvula de distribución que hay a la entrada del filtro. La válvula de distribución tiene como finalidad modificar las corrientes de entrada y salida del filtro dependiendo del proceso que esté teniendo lugar: parada, operación normal, lavado y enjuague. Durante la operación normal, el filtro se alimenta del agua decantada y almacenada en el depósito intermedio. Cuando la pérdida de carga es tal que el caudal de salida desciende por debajo de un valor límite, la válvula de distribución pasa a la posición de lavado y el filtro se lava a contracorriente con agua procedente del depósito de agua bruta. Antes de reanudar el proceso de filtrado normal, se procede al enjuague del filtro con agua potabilizada. El agua de lavado y enjuague puede destinarse a otras funciones como el riego.

La bomba de alimentación es centrífuga con una potencia de 0,5 CV y un caudal máximo de entre 1.000 y 1.500 litros/hora para poder realizar la operación de limpieza del filtro.

La unidad de microfiltración está compuesta por dos filtros de mangas con telas filtrantes de entre 1 y 5 µm dispuestos en paralelo, de modo que siempre haya uno en funcionamiento mientras se producen las operaciones de limpieza. La limpieza de los filtros se realiza manualmente, y consiste en cambiar las telas del filtro y enjuagar el cartucho que lo contiene.

### 4.3.4 Desinfección, Almacenamiento del Agua Potable y Distribución al Punto de Uso

El proceso de desinfección consiste en una etapa de cloración empleando hipoclorito sódico como agente desinfectante, el cual se almacena en un depósito de polietileno de 10 litros. La dosificación se realiza mediante una bomba dosificadora de membrana en un mezclador estático de PVC. La cantidad de hipoclorito que se debe inyectar es la adecuada para lograr una concentración de cloro residual de entre 1 y 2 ppm.

El agua tratada y desinfectada se almacena en un depósito de 2.000 litros de capacidad desde donde se abastece a la población a través de un fontanario situado en la parte externa del contenedor. Este depósito debe tener una válvula de toma de muestras para las diferentes analíticas de evaluación de la calidad del agua.

### 4.3.5 Equipos de Monitorización y Control de la Instalación

Además de los equipos de tratamiento, la instalación dispone de diferentes elementos de medida de la calidad del efluente y control de la instalación. Estos instrumentos son los siguientes:

- Medidores de caudal. La instalación cuenta con dos medidores, uno a la entrada de la instalación y otro a la salida del filtro de arena a partir del cual se establecerán los periodos de limpieza del filtro.
- Medidores de presión, situados a la salida de la bomba de captación y de la bomba de alimentación al filtro de arena.

- Medidores de revoluciones, para el control de la velocidad de giro de los agitadores de los compartimentos de coagulación y floculación.
- Sensores de nivel, situados en todos los depósitos y tanques de proceso. Proporcionan información para el arranque o parada de las bombas del proceso, así como para regular la posición de las válvulas de salida del depósito de cabecera y del de agua potabilizada, y las válvulas de entrada al filtro de arena.
- pH-metros. Se dispone de dos unidades, la primera situada antes del punto de ajuste de pH, y la segunda a la salida del depósito de agua bruta.
- Conductímetros, situados en los mismos puntos que los pH-metros.
- Turbidímetro. Se empleará para mediciones regulares de la turbiedad del agua de alimentación de la planta y del agua potable producida.
- Test de presencia/ausencia de contaminación microbiológica. La medida se realiza mediante un kit Colitag que indica la presencia o ausencia de bacterias coliformes totales, bacterias coliformes fecales y *Escherichia Coli*.

#### **4.4. Control y Mantenimiento**

La planta está prácticamente automatizada, por lo que el nivel de mantenimiento es mínimo. No obstante, es necesario realizar una limpieza manual diaria de los microfiltros de mangas y de la reja de desbaste situada a la entrada de la instalación.

La unidad tiene instalados diferentes puntos para la toma de muestras que se utilizarán en la realización de analíticas de calidad del agua producida. Estos puntos se encuentran situados a la entrada de la instalación (justo después de la reja de desbaste), a la salida de la unidad de microfiltración, a la salida de la etapa de cloración y en el depósito de agua potable.

La turbidez se medirá a la entrada de la instalación, a la salida del microfiltro y a la salida del depósito de agua tratada. La calidad microbiológica del agua será medida a la salida del microfiltro y del depósito de agua potable. El control de la cloración se realizará mediante un control visual de las muestras obtenidas a la salida de la etapa. El pH y la conductividad también deberán comprobarse a la salida de la unidad de microfiltración y del depósito de agua potable, además de las medidas en continuo obtenidas a la entrada de la instalación y salida del depósito de agua bruta.

Además, de forma anual, deben realizarse análisis más completos en el punto de captación y en el punto de uso, a fin de confirmar que la unidad funciona de forma adecuada y que no se ha producido la contaminación del acuífero o río desde el que se suministra el agua con metales pesados o pesticidas.

#### **4.5. Ubicación de la Instalación**

De forma previa a la instalación de la unidad de potabilización debe realizarse un examen exhaustivo de la zona en la que se pretende implantar la potabilizadora. En este análisis han de tenerse en cuenta aspectos técnicos, sociales y culturales.

La elección del punto de captación también es importante. Debe seleccionarse el acuífero, río o lago y el punto desde el que se suministrará el agua de modo que se garantice un suministro suficiente que cumpla con unos requerimientos mínimos de calidad para poder ser tratada adecuadamente con el proceso elegido. La zona de captación ha de protegerse de forma adecuada para evitar su contaminación.

La ubicación de la unidad potabilizadora ha de realizarse teniendo en cuenta diferentes factores como son: la distancia entre el punto de captación y la potabilizadora, la distancia al

punto de uso, la facilidad de acceso a la instalación o la integridad de la planta frente a incidentes naturales o humanos.

En el caso de que la zona donde se va a instalar la planta no posea instalaciones eléctricas que garanticen el suministro de energía necesario, se puede contemplar la opción de instalar paneles solares. El objetivo es garantizar la autosuficiencia de la planta desde el punto de vista energético.

## 5. Conclusiones

En el presente artículo se ha propuesto el diseño de una unidad potabilizadora modular basada en un tratamiento de coagulación-floculación-sedimentación, que incluye las siguientes novedades:

- El empleo de extracto de *Moringa oleifera* como agente coagulante y floculante, el cual proporciona rendimientos similares a los coagulantes químicos y permite obtener lodos biodegradables. Gracias a ello, se conseguirá reducir el impacto ambiental de la instalación y los costes de operación, ya que no es necesario un tratamiento de residuos.
- El diseño de una instalación de coagulación-floculación modular y transportable, a diferencia de los procesos convencionales que requieren grandes equipos y realizar obra civil.

Por otra parte, la instalación dispone de un alto grado de automatización, bajo consumo energético y bajas necesidades de mantenimiento, lo cual la convierte en idónea para solucionar el problema de abastecimiento de agua a pequeñas poblaciones rurales de países en vías de desarrollo, donde la ausencia de instalaciones adecuadas de tratamiento de aguas y saneamiento provoca numerosas infecciones y muertes anuales.

## 6. Referencias

- Arnal, J.M., García-Fayos, B., Sancho, M., Verdú, G., & Lora, J. (2006). *AQUAPOT: Estudio de la utilización de coagulantes naturales extraídos de semillas como método de clarificación del agua para países en vías de desarrollo*. Madrid. Universidad Complutense de Madrid.
- Arnal, J.M., García-Fayos, B., Martínez Herranz, M., Sarabia Vicente, S., & Berenguer Llopis, V. (2007a). *El agua como fuente de vida y motor de desarrollo sostenible. Proyecto AQUAPOT*. Valencia. Universidad Politécnica.
- Arnal, J.M., Sancho, M., García Fayos, B., Lora, J., Verdú, G., (2007b). AQUAPOT: UF real applications for water potabilization in developing countries. Problems, location and solutions adopted. *Desalination* 204 (1-3), 316–321.
- Arnal, J.M., García-Fayos, B., Sancho, M., Verdú, G., & Lora, J. (2010). Design and installation of a decentralized drinking water system based on ultrafiltration in Mozambique. *Desalination*, 250, 613-617.
- Foo, K.Y., & Hameed, B.H., (2009). An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process. *Journal of Hazardous Materials*, 171, 1-11.
- García-Fayos, B. (2010). *Optimización del proceso de extracción y caracterización del compuesto activo obtenido a partir de coagulantes naturales de origen vegetal. Aplicación en la potabilización de agua para países en vías de desarrollo*. Tesis doctoral no publicada. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Howard, G., & Bartram, J. (2003). *Domestic Water Quantity, Service Level and Health*. World Health Organization, WHO Press. Obtenido en marzo de 2014, desde [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/WSH03.02.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf)

- Jahn, S.A.A. (1988). Using *Moringa* seeds as coagulants in developing countries. *Journal of American Water Works Association*, 80, 43-50.
- Matilainen, A., Vepsäläinen, M., & Sillanpää, M. (2010). Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 159, 189-197.
- Mohan, D., & Pittman Jr., C.U., (2006). Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from water. *Journal of Hazardous Materials*, 137, 762-811.
- Ndabigengesere, A., & Narasiah, K. S. (1996). Influence of operating parameters on turbidity removal by coagulation with *Moringa oleifera* seeds. *Environmental Technology*, 17, 1103-1112.
- Organización Mundial de la Salud & UNICEF. (2013). *Progress on Sanitation and Drinking-water: 2013 Update*. World Health Organization and UNICEF, WHO Press. Obtenido en marzo de 2014, desde:  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2013/jmp\\_report/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2013/jmp_report/en/)
- Organización Naciones Unidas. (2000). *Objetivos de Desarrollo para el Milenio*. Obtenido en marzo de 2014, desde <http://www.un.org/millenniumgoals>
- Peter-Varbanets, M., Zurbrügg, C., Swartz, C., & Pronk, W. (2008). Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Research*, 43, 245-265.
- Pritchard, M., Craven, T., Mkandawire, T., Edmondson, A.S., & O'Neill, J.G. (2010). A comparison between *Moringa oleifera* and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, 798-835.
- Siew-Leng, L., Fane, A.G., Krantz, W.B., & Lim, T. (2012). Emergency water supply: A review of potential technologies and selection criteria. *Water Research*, 46, 3125-3151.
- UNESCO. (2012). *The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Volumen 1*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Obtenido en marzo de 2014, desde <http://www.unwater.org/documents.html>
- Organización Mundial de la Salud & UNICEF. (2013). *Progress on Sanitation and Drinking-water: 2013 Update*. World Health Organization and UNICEF, WHO Press. Obtenido en marzo de 2014, desde:  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2013/jmp\\_report/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2013/jmp_report/en/)
- Organización Naciones Unidas. (2000). *Objetivos de Desarrollo para el Milenio*. Obtenido en marzo de 2014, desde <http://www.un.org/millenniumgoals>
- UNESCO. (2012). *The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Volumen 1*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Obtenido en marzo de 2014, desde <http://www.unwater.org/documents.html>