

CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA PARA ABASTECIMIENTO EN POBLACIONES AISLADAS

Leandro Niebles Puello, Diana Patricia Zaizon Paternina, María Teresa Ramos Gómez, Jorgelina Pasqualino¹

Grupo de Investigación Ambiental (GIA), Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena de Indias, Colombia

46

Actualmente, un gran porcentaje de la población de los países en vías de desarrollo, experimenta a diario la carencia de condiciones sanitarias adecuadas, resaltando la de no contar con agua en cantidad y calidad que satisfaga sus necesidades básicas. Esta situación se presenta especialmente en zonas aisladas como territorios insulares, rurales, montañosos y selváticos. El uso y consumo doméstico agua que no ha sido tratada está asociado con la generación de enfermedades dérmicas, gastrointestinales y en el peor de los casos con la muerte de quienes han consumido o aprovechado dicho recurso hídrico, sobresaliendo estas afectaciones en las poblaciones de menores de edad, tercera edad y mujeres en estado de gestación. La no disponibilidad de agua apta para el consumo humano en poblaciones aisladas, plantea la necesidad de desarrollar sistemas simples, económicos y compactos para su tratamiento. Por este motivo en el presente proyecto se describe la construcción de un prototipo de planta de tratamiento de agua potable para la reducción del contenido de sólidos suspendidos y disueltos. Así mismo en este artículo se describirán los procesos de tratamiento incluidos en el prototipo, a partir del cual se obtiene un agua que podrá ser utilizada para el consumo diario y seguro de muchas familias que se encuentran en sitios alejados de los centros urbanos.

Palabras Claves: Cloración; Coagulación-Floculación; Filtración; Potabilización del agua; Reducción de sólidos suspendidos.

Currently in developing countries a large percentage of population experiences daily lack of adequate sanitation, specifically the lack of water quantity and quality enough to cover their basic needs. This situation is usually frequent in isolated areas such as islands, rural, mountainous and forest territories. The domestic use and consumption of untreated water is related to the development of skin and gastrointestinal diseases and, in the worst situation, the death of those who have consumed that water resource, specially the children, elderly and pregnant women population. The unavailability of water suitable for human consumption in isolated locations suggests the need to develop simple, cheap and compact treatment devices. For this reason we describe here the construction of a water treatment prototype focused on suspended and dissolved solids removal. In addition, the treatment processes included in the prototype are described. The water produced with the device could be used for family daily safe consumption in locations far from urban areas.

Keywords: Chlorination; Coagulation-Flocculation; Filtration; Water purification; Suspended solids removal.

¹ E-mail: jorgelina.pasqualino@gmail.com

1 INTRODUCCIÓN

El acceso a agua potable es una cuestión básica para el desarrollo de la vida. A nivel mundial, una de las mayores necesidades de la población mundial es la disponibilidad de agua potable para tener una óptima calidad de vida, fundamental para un desarrollo justo, sostenible y sano de cualquier país. En los países en desarrollo se manifiesta la carencia de agua potable por varias causas, entre las que se encuentran la falta de recursos hídricos, la contaminación de las fuentes de agua o incluso problemas de orden financiero, que no permiten la implementación de sistemas de tratamiento, potabilización y distribución del agua a la población [1].

Asimismo, muchos países sufren la falta de sistemas de saneamiento básico de aguas residuales, lo que incrementa la contaminación de los recursos hídricos existentes [2]. En los países en vía de desarrollo, se puede afirmar además que son innumerables los problemas que resultan de las deficiencias de saneamiento básico, como la disponibilidad del agua potable, la remoción sanitaria y la disposición de residuos sólidos [3]. Su escasez, en parte debida a los cambios en el ambiente causados por las actividades humanas, se ha convertido en uno de los mayores problemas tecnológicos del siglo XXI [4].

En Colombia, el Segundo Inventario Nacional de la Calidad del Agua, reportó que sólo siete de cada diez municipios a nivel nacional disponían de agua de buena calidad [5], reflejándose esta condición sanitaria en la Situación de Salud en el año 2001, en la que 22 de cada 100.000 niños colombianos menores de cinco años murieron de enfermedad diarreica aguda [6].

Los sistemas descentralizados de potabilización de agua son un elemento importante para alcanzar los objetivos de desarrollo del milenio, especialmente en países en los cuales los sistemas centralizados son deficientes o inexistentes en determinadas regiones. Los sistemas descentralizados disponibles actualmente incluyen tratamientos térmicos, desinfección mediante UV, y tratamientos fisicoquímicos [7]. Ante la imperante necesidad de agua que tiene la población, en especial las pequeñas comunidades del norte del país, zona que se encuentra en estado de subdesarrollo, se hace necesario recurrir al estudio, planteamiento e incorporación de nuevas alternativas de potabilización de agua para poder disponer de la misma de manera continua y eficiente. Dichas alternativas deben ser además económicamente viables, y capaces de satisfacer la demanda de agua para consumo doméstico, fáciles de utilizar, sostenibles, de bajo mantenimiento e independientes de servicios externos (como fuentes de energía) [7][8][9].

En este proyecto se presenta el diseño, construcción y operación de un prototipo que incluye procesos de remoción de sólidos suspendidos y disueltos por medio de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y posterior desinfección con hipoclorito de sodio. El agua que se tomó para el desarrollo del proyecto fue una mezcla homogénea de agua cruda de distintos orígenes con elevada turbidez.

El prototipo diseñado, además de mejorar las características del agua tratada, tiene como componente de innovación, que es una planta potabilizadora portátil, ligera, de fácil manejo, de fácil transporte y que cumple con todas las exigencias requeridas para obtener un agua de excelentes calidades.

2 METODOLOGÍA

La metodología utilizada para diseñar y construir el prototipo de la planta potabilizadora de agua, constó de las fases descritas a la continuación.

2.1 ADQUISICIÓN DE CONOCIMIENTOS Y BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

En esta etapa se realizó una búsqueda bibliográfica sobre el diseño de dispositivos de tratamiento de agua descentralizados, enfocándose en sistemas de tratamiento fisicoquímico.

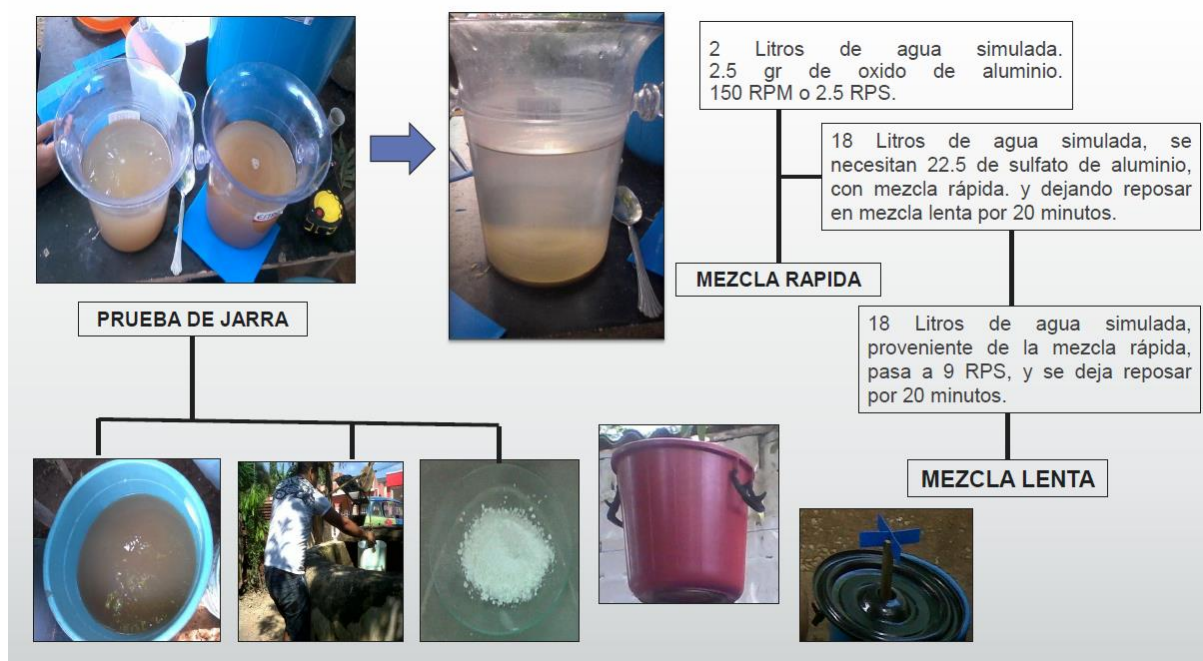
2.2 SELECCIÓN Y PRE-DISEÑO DE LAS ETAPAS DE TRATAMIENTO

En esta fase se definieron los parámetros a tratar, estableciendo como objetivo del prototipo la reducción de los sólidos suspendidos y disueltos y la eliminación de microorganismos patógenos. Los procesos necesarios para dicho objetivo se definieron como la mezcla rápida (coagulación), mezcla lenta (floculación), sedimentación primaria, filtrado y desinfección. Para cada uno de los procesos se tuvieron en cuenta las dimensiones y características del prototipo de acuerdo con los requerimientos específicos exigidos por el RAS 2000 (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico) [10]. Los parámetros de diseño se determinaron para cada proceso para establecer las condiciones de funcionamiento de la planta.

2.3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO PROPUESTO

A partir de los resultados del pre-diseño, se procedió a la construcción del prototipo. Para ello se utilizaron tres tanques plásticos con capacidad de almacenamiento de 20 L, 30 cm de diámetro interno y 33 cm de alto, los cuales se ubicaron de forma que se asegure el flujo por gravedad entre procesos. El primer recipiente (ROJO) se utilizó para los procesos de coagulación y floculación (mezcla rápida y lenta), utilizando sulfato de aluminio como coagulante, y posterior sedimentación. Se realizaron pruebas de jarra para determinar la dosis de coagulante y los tiempos y velocidades de mezclado rápido, lento y sedimentación (Figura 1).

Figura 1: Proceso de Coagulación y Floculación (mezcla rápida y lenta).



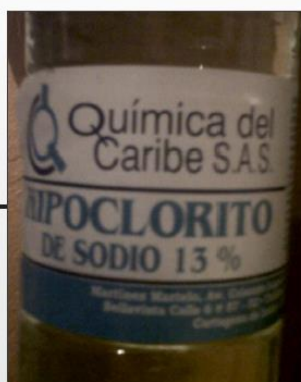
El segundo recipiente (AZUL) se utilizó para el proceso de filtración [11] mediante lecho filtrante en tres capas (Figura 2): una primera capa de grava o canto rodado que actuó como material de soporte (espesor de 3,5 cm), una segunda capa de carbón activado (espesor de 5 cm) y una tercera capa de arena fina (espesor de 6 cm).

Figura 2: Construcción del sistema de filtración



El tercer recipiente (VERDE) se utilizó para llevar a cabo el proceso de desinfección con hipoclorito de sodio (NaClO) al 13% (Figura 3).

Figura 3: Proceso de desinfección por cloración



A los 14 litros de agua que llegan a este tratamiento se le deben agregar 2.5 gotas de hipoclorito de sodio, realizando una mezcla homogénea por dos minutos y queda el agua apta para el consumo humano.

Además de los materiales anteriormente mencionados, se utilizaron otras materias primas y herramientas, tales como: tubos de $\frac{1}{2}$ pulgada, tees, codos y válvulas en PVC, cequeta y taladro, entre otros.

2.4 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE AGUA

Se tomó una mezcla de agua de origen subterráneo y superficial en la localidad de Turbaco (Bolívar), con el fin de simular el agua procedente de ríos, arroyos y lluvias en algunas poblaciones interiores del departamento de Bolívar, como lo es el caso de la poblaciones del corregimiento de Gambote, bordeado por el Canal del Dique y de algunas islas del archipiélago del Rosario y San Bernardo.

2.4 PUESTA EN MARCHA DEL PROTOTIPO

La finalidad de esta etapa (Figura 4) es demostrar el correcto funcionamiento de la infraestructura del prototipo y el cumplimiento de los objetivos del mismo en cuanto a la remoción de sólidos y patógenos del agua.

Figura 4: Diseño final del Prototipo de la Planta Potabilizadora de Agua.



DISEÑO FINAL DEL PROTOTIPO DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA:

- 1: MEZCLA RAPIDA Y MEZCLA LENTA.
- 2: FILTRACION.
- 3: DESINFECCION.
- 4: AGUA POTABLE.

4 RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el diseño y construcción del prototipo de planta potabilizadora. En la tabla 1 se presentan los parámetros de diseño y operación de los procesos de coagulación y floculación, donde V es el volumen útil del tanque, G es el gradiente

de velocidad, K es el factor de forma del agitador, d es su diámetro, N su velocidad de agitación y P la potencia disipada en el agua.

Tabla 1. Parámetros de diseño y operación del proceso de Coagulación o Mezcla rápida y Flocculación o Mezcla lenta.

Parámetro	Mezcla Rápida	Mezcla Lenta
V	16 L	16 L
G	538 s ⁻¹	1.5 s ⁻¹
K	6.3	6.3
Agitador	4 paletas planas	4 paletas planas
N	150 rpm (2,5 rps)	3 rpm (0.05 rps)
d	14 cm	14 cm
P	5.294 W	4.2.10 ⁻⁵ W

En la tabla 2 se presentan los parámetros de diseño y operación del proceso de sedimentación, donde Cs es la carga hidráulica superficial.

Tabla 2: Parámetros de diseño y operación del proceso de Sedimentación.

Sedimentación	
V	16 L
Cs	0.9 m/día

La tasa de generación de los lodos, generados en la sedimentación, depende del agua problema a tratar, y se determinarán por medio de una serie de pruebas de jarra. El volumen de los lodos generados se acumulará debajo de la válvula de salida del primer tanque. Teniendo en cuenta este volumen, se calculará la frecuencia de vaciado de lodos. La gestión ambiental de estos lodos implica que con la frecuencia calculada anteriormente se extraigan del sistema desmontando el primer tanque y lavándolo con agua limpia.

Para el secado de los lodos extraídos, se propone esparcirlos en un área que tenga gran incidencia de la radiación solar, y disponerlos finalmente como residuos domésticos o utilizarlos como abono orgánico.

En la tabla 3 se presentan los parámetros de diseño y operación del proceso de filtración donde d es el diámetro del lecho filtrante, t es el tiempo de filtración, v la velocidad de paso a través del lecho, Cd el coeficiente de arrastre y h la pérdida de carga total del lecho.

Tabla 3: Parámetros de diseño y operación del proceso de Filtración.

Filtración		
d	33 cm	0.33 m
t	10 min	600 s
v	0, 00055 m/s	
Cd	0.46	
h	$1,12 \cdot 10^{-8} \text{ m}$	
Porosidad del carbón activado	e= 97%	

El sistema de lavado del sistema de filtrado, se podrá realizar mediante un lavado en contracorriente del material filtrante, utilizando un 10% del volumen de agua procesada. Para determinar el tiempo de lavado del sistema de filtrado, se tienen dos opciones: una es utilizando una frecuencia fija, calculada a partir de la pérdida de carga del lecho, y la segunda opción es por medio de la pérdida de caudal, la cual se determinará por medio del uso de un caudalímetro. Adicionalmente se propone realizar el reemplazo de los materiales filtrantes cada 3 meses.

En la tabla 4 se muestran los análisis de costos de la inversión inicial para la construcción del prototipo, obteniendo un costo de \$ 331.400 (pesos colombianos).

Tabla 4: Coste de inversión inicial para montaje del prototipo

Material e insumos	Valor unitario	Valor total
3 tanques plásticos	\$ 10.000	\$ 30.000
1/2 tubo PVC de 1/2"	\$ 4.000	\$ 4.000
3 válvulas de PVC de 1/2"	\$ 3.000	\$ 9.000
1 cruz metálica de 1/2"	\$ 2.500	\$ 2.500
6 codos de PVC de 1/2"	\$ 400	\$ 2.400
2 tees de PVC de 1/2"	\$ 500	\$ 1.000
1 goma para PVC	\$ 2.500	\$ 2.500
Test de jarra	\$ 80.000	\$ 80.000
Ensayos de laboratorio	\$ 200.000	\$ 200.000
Total		\$ 331.400

Los datos de la calidad fisicoquímica del agua de entrada y salida, se obtendrán a partir de una serie de análisis de laboratorio que se le deben realizar al agua problema a tratar, y que se incluyen entre los costos de instalación, entre los que se encuentran: análisis fisicoquímico (turbiedad, pruebas de jarra, sólidos suspendidos, cloro residual), microbiológicos (coliformes), análisis organolépticos (olor, sabor). Finalmente en la tabla 5 se presentan los gastos de insumos por tratamiento obteniendo un gasto de \$ 3,17 por litro, \$ 443,33 por día y \$ 13.300 por mes,

teniendo en cuenta que el prototipo permite obtener 14 L/ciclo, con una producción de 10 ciclos diarios.

Tabla 5: Coste de operación del prototipo, basado en la producción de 140 litros/día

Material e insumos	Valor Unitario	Costo \$/litro
500 gr de Sulfato de Aluminio	\$ 4.000	\$ 1,429
3 kg de Arena	\$ 900	\$ 0,071
1 1/4 Kg Carbón Activado	\$ 20.000	\$ 1,524
1 L de Hipoclorito de Sodio al 13%	\$ 2.000	\$ 0,143
Total por litro		\$ 3,17
Total Día		\$ 443,33
Total Mes		\$ 13.300

Finalmente en la Figura 5 se muestra el dispositivo en funcionamiento.

Figura 5: Prototipo de planta potabilizadora, puesto en operación.



OPERACION DEL PROTOTIPO :

- 1: MEZCLA RAPIDA Y MEZCLA LENTA.
- 2: FILTRACION.
- 3: DESINFECCION.

Después de haber calculado los parámetros de diseño y operación, se puede determinar que todos los parámetros se encuentran dentro de los rangos de referencia establecidos por el RAS 2000. El tiempo total del proceso fue de 35 minutos para procesar 16 L de agua de forma discontinua, con lo que se tiene una producción estimada de unos 650 L/día. El funcionamiento del dispositivo en continuo permitiría aumentar esta producción. La Figura 6 presenta los resultados del proceso completo.

Figura 6: Comparación del agua de entrada y salida.



5 CONCLUSIONES

Todos los parámetros de diseño del prototipo se encuentran dentro de los valores recomendados por el RAS 2000. El agua obtenida como producto tuvo una reducción de sólidos elevada que con la adición de desinfectante garantiza además la remoción de los microorganismos patógenos en el agua tratada.

El prototipo diseñado podría emplearse en zonas rurales o insulares donde no se disponga de agua potable corriente, para procesar agua de lluvia, de pozo o agua superficial, optimizando las condiciones de operación a partir de ensayos de laboratorio del agua problema y test de jarras. El usuario final del prototipo recibiría una guía de uso indicando: dosis de coagulante a emplear, tiempo y velocidad de mezclado (en etapas de coagulación y floculación), tiempo de sedimentación, frecuencia de remoción de lodos, frecuencia de lavado de filtro, instrucciones de cambio de lecho filtrante, dosis de desinfectante, recomendaciones de almacenamiento, etc.

6 REFERENCIAS

- [1] WHO & UNICEF. Informe sobre la Evaluación Mundial del Abastecimiento de Agua y el Saneamiento en 2000. s.f.: Organización Mundial de la Salud; Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2000.
- [2] Starkl, M.; Stenstrom, T.A.; Roma, E.; Phansalkar, M. And Srinivasan, R.K. Evaluation of sanitation and wastewater treatment technologies: case studies from India. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development, vol. 3; 2013
- [3] Barrameda Soft Corporation. Informe de Naciones Unidas. Tercera Jornada de la Cumbre Internacional sobre Desarrollo Sustentable, en Johannesburgo. [on line].
- [4] Hussam, Abdul. Monitoring Water Quality. Pollution Assessment, Analysis, and Remediation. Elsevier. Chapter 11 – Potable Water: Nature and Purification. Pp 261–283; 2013

- [5] Colombia. Ministerio de Salud. Segundo Inventario Nacional de la Calidad del Agua. Bogotá: El Ministerio; 1998
- [6] Colombia. Ministerio de Protección Social. Situación de Salud de Colombia. Indicadores básicos 2002. Bogotá: El Ministerio; 2003.
- [7] Peter-Varbanets, Maryna; Zurbrügg, Chris; Swartz, Chris And Pronk, Wouter. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Research* 43(2): 245–265; 2009
- [8] Lozano Rivas, William Antonio. Una nueva manera de potabilizar el agua. *Revista Acodal*, No. 206, agosto 2004, 25-29.
- [9] Ospina Zuñiga, Oscar Efren; Ramirez Arcila, Hildebrando; Guevara Ceron, Diego Octavio; Peña Montaña, Eulises Fernando Y Arias Diaz, Arnulfo. Proyecto Palomar: Potabilización Doméstica de Agua para Localidades Marginadas y Rurales. 56° Congreso Internacional ACODAL. Agua, Saneamiento, Ambiente y Energías Renovables. Santa Marta. Colombia; 2013
- [10] RAS 2000 (Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico). Título C.
- [11] Visscher, J.T.; Paramasivam, R.; Raman, A. And Heijnen, H.A. Filtración lenta en arena, Tratamiento de agua para comunidades: planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento, Cinara. Cali, Colombia, 1992. 163 p.

