

# Potabilización del agua empleando tratamientos no convencionales en poblaciones rurales

*Daniel Santiago<sup>1,2</sup>, Nibis Bracho<sup>2</sup>, Daniela Torres<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Movimiento agua y juventud, Capital Federal-Argentina, <sup>2</sup>Centro de Investigación del Agua, Universidad del Zulia-Venezuela

E-mail: dsantiago2002@gmail.com

**RESUMEN:** En diversas zonas rurales se emplea el agua superficial como fuente de abastecimiento primario. Sin embargo, en la mayoría de los casos el agua no presenta un tratamiento que permita su ingesta sin causar daños en la salud, aumentando los índices de muerte por enfermedades hídricas. La investigación tiene como objetivo evaluar el uso de tratamientos no convencionales para la potabilización de agua superficial, cumpliendo con los estándares fisicoquímicos y bacteriológicos requeridos en la norma técnica de Venezuela 36.395. En primera instancia, se realizó una caracterización del agua proveniente del embalse de Tulé a fin de determinar los parámetros en desviación con la normativa. Posteriormente, se seleccionó un tratamiento no convencional constituido por: Filtro de zeolita (Micro Z) + Filtro de carbón activado + microfiltración con lecho de polipropileno y finalizando con una desinfección con UV; la planta fue instalada y se evaluó durante 6 meses. Los resultados revelan que los parámetros en desviación fueron Color: 45 Unidades de Color (UC) y turbidez: 8 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT). Con respecto, a la carga bacteriológica se obtuvieron: coliformes totales, coliformes fecales, Pseudomonas y Heterótrofos, la presencia de este grupo de bacterias en el agua de ingesta ocasionó diversos casos de enfermedades en la comunidad. El uso de la planta instalada, resolvió la problemática existente y generó agua apta para el consumo humano. El rendimiento de la planta en la remoción de color y turbidez fue del 80% ± 6 y 90% ± 4 respectivamente en los primeros 4 meses, mientras que en el 5to mes disminuye el rendimiento debido al ensuciamiento progresivo del lecho de polipropileno, que requirió una sustitución. La eficiencia de la desinfección con UV fue del 99.99%. Estas plantas no convencionales, son una alternativa económica y eficaz para el tratamiento de agua en zonas rurales o con baja población.

## INTRODUCCIÓN

La dotación de agua potable es uno de los principales desafíos que hoy en día los gobiernos a nivel mundial deben cumplir, cuya meta es reducir la proporción de personas sin acceso a agua potable, para el 2015 (Organización Naciones Unidas, 2003). Sin embargo, en diversas zonas rurales especialmente en Latinoamérica, no cuentan con la disponibilidad de agua tratada, empleando como suministro una fuente de agua superficial y/o subterránea cruda; originando la proliferación de enfermedades hídricas (disentería amebiana, cólera, hepatitis, gastritis etc.) la cual ocasiona un promedio de 12 millones de defunciones por año a nivel mundial (CYTED, 2004). En Venezuela, las enfermedades hídricas, se encuentran dentro de las 25 principales causas de muerte desde 1990, donde el índice es de 0.71% anual, según lo reportado por el Ministerio de Salud y asistencia social, 2013.

En Maracaibo-Venezuela, el servicio de dotación de agua lo suministra la empresa municipal HIDROLAGO y es tratada en una planta convencional (clarificación y desinfección) denominada planta Alonso de Ojeda (Planta C), cuya fuente de abastecimiento proviene de los embalses Manuelote y Tulé (Santiago y col., 2012., Castillo y col., 1999). Este servicio no satisface al 100% la demanda, quedando excluidas zonas rurales de la región, donde se han visto en la necesidad de derivar tuberías de agua a la salida del embalse, a fin de satisfacer sus necesidades.

Diversas investigaciones, han propuesto esquemas de plantas potabilizadoras convencionales (Camacho y col., 2012, Chirinos y col., 2012 y Rojas y col., 2008) reduciendo unidades, espacios y empleando materiales reciclados que han resultados técnicamente viables para adaptar estos procesos y abastecer de agua potable a pequeñas comunidades. Sin embargo, los costos de operación y mantenimiento se encarecen al emplear agentes químicos (coagulantes, floculantes, estabilizadores de pH, productos de desinfección) y muchas veces no se cuenta con personas calificadas por parte de la comunidad para la operación de la planta.

La búsqueda de reducir espacios, costos y mantenimiento es lo que ha originado alternativas de tratamiento no convencionales. En el caso de la filtración, los filtros por membrana han contribuido a reducir significativamente la materia orgánica en aguas superficiales, según lo demuestran investigaciones realizadas por Podaru y col; 2008; Lin y col; 2000; Carroll y col; 2000, cuyas eficiencias dependen en gran medida del material de las membranas. Los estudios llevados a cabo por Park y col; 2008; Lee y col; 2004; Fan y col; 2001 establecen que los lechos deben ser de base poliméricas debido a la gran cantidad de grupos y sitios funcionales activos que permiten adsorber los constituyentes orgánicos e inorgánicos presentes en la materia orgánica.

En el caso de la desinfección, se ha empleado los rayos ultravioleta, la cual actúa directamente sobre el ADN de la bacteria causando su inactivación. Se ha demostrado que el uso de UV no produce compuestos cancerígenos (Lyon y col; 2012 ; Sommer y col; 1997). Sin embargo, su principal limitante es que no genera una acción residual lo cual no permite proteger el agua en la red de distribución.

Con base a lo expuesto, la presente investigación tiene como objetivo Evaluar el uso de tratamientos no convencionales para la potabilización de agua superficial en una comunidad rural de Maracaibo, mediante la instalación y puesta en marcha de una planta de tratamiento, cuyos parámetros son: caudal: 27,28 l/min, dotación de agua: 250 l/p y población beneficiada: 500 personas; a fin cumplir con los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, exigida en la normativa de calidad de agua (36.395) en Venezuela.

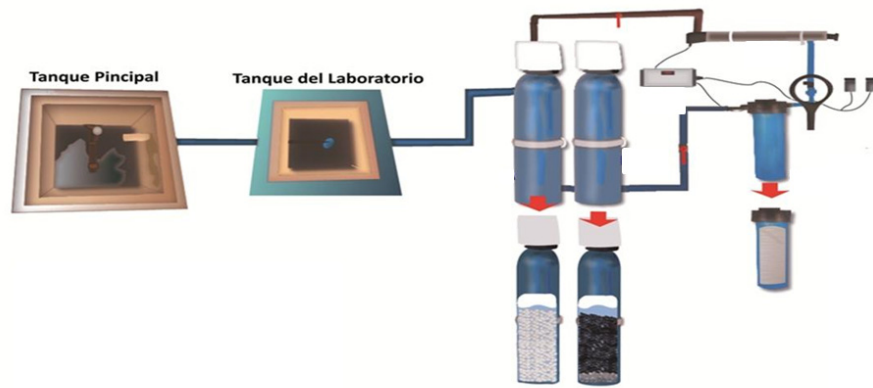
## METODOLOGÍA.

### *Diagnóstico del agua cruda*

En primera instancia, se llevó a cabo un diagnóstico del agua cruda proveniente del embalse de Tulé y Manuelote (agua superficial), por un periodo de 12 meses. La comunidad almacena el agua en un tanque subterráneo de 24000 litros, la cual distribuye internamente. Los resultados de la calidad del agua obtenida en esta fase, fueron comparados con los niveles máximos permisibles del decreto Venezolano de agua potable. Los parámetros fisicoquímicos analizados fueron: color (UC), turbidez (UNT), conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pH, alcalinidad total (mg/l), cloruros (mg/l), dureza total (mg/l), dureza magnésica (mg/l), dureza cálcica (mg/l), sulfatos (mg/l), sílices (mg/l), nitratos(mg/l), nitritos (mg/l), solidos totales (mg/l), solidos suspendidos totales (mg/l), solidos disueltos (mg/l), fenoles (mg/l), fluoruros (mg/l), en el caso de los microbiológicos se analizaron: coliformes totales (UFC/ ml), fecales ((UFC/ ml), *Pseudomonas* (NMP/ml) y heterótrofos (UFC/ml). La muestras se recolectaron de acuerdo a lo establecido en el Standard Methods for Water and Wastewater.

### *Selección e instalación del tratamiento de potabilización*

El esquema de potabilización seleccionado, correspondió a un tratamiento no convencional constituido por: Filtro a presión de zeolita (Micro Z) + Filtro a presión de Carbón activado + Filtro con lecho de polipropileno + Desinfección con UV (Figura 1). Previo a la instalación de la planta, se llevó a cabo una pre-cloración en el tanque de almacenamiento, dosificando cloro líquido con una descarga puntual fin de reducir la carga bacteriana y permitir la limpieza en las tuberías, para evitar contaminación en todo el sistema. Posteriormente, la planta fue instalada adyacente al tanque de almacenamiento, en un depósito existente, el cual fue acondicionado para tal fin. Por otra parte, los filtros a presión (zeolita y carbón activado) son de limpieza automática con una frecuencia de retrolavado de cada tres (3) días, el efluente generado es descargado en una tanquilla de aguas residuales ubicada a 3,5 mts; posteriormente se lleva a cabo un tratamiento biológico por parte de la empresa Municipal de agua residuales y finalmente se descarga en el Lago de Maracaibo.



**Figura 1.-** Esquema de tratamiento de potabilización seleccionado.

### *Evaluación del tratamiento de potabilización*

La planta fue evaluada por un periodo de 6 meses, empleando dos (2) monitoreos por semana. Las muestras fueron recolectadas en el siguiente orden: Tanque de almacenamiento, Salida de filtros a presión, salida de filtro de membrana (MF), salida de desinfección UV y en el caño de un centro clínico perteneciente a la comunidad. Se determinaron parámetros físicos tales como: color, turbidez, pH, dureza, alcalinidad y en el caso de los indicadores biológicos: coliformes totales, fecales *Pseudomonas* y heterótrofos. Por otra parte, se determinó el tiempo de reemplazo de la membrana de polipropileno, la cual fue comparada con lo establecido por el proveedor

## RESULTADOS OBTENIDOS

### *Calidad del agua cruda*

Investigaciones desarrolladas por Leal y col., 2008, Beron y col., 2003 y Castillo y col., 2000, en fuentes de agua superficial, concluyen que las épocas de sequía y lluvia influyen en las características fisicoquímicas de las aguas, siendo necesario el análisis en ambas estaciones para determinar los cambios presentes. Debido a estos fundamentos, se evaluó la calidad del agua almacenada en el tanque por todo un año, para el periodo 2012. Los resultados obtenidos en ambas épocas se encuentran reportados en la Tabla 1; observándose principalmente variaciones en el color y la turbidez, siendo Enero-Febrero los meses con los menores nivel de precipitación (10 y 12 mm) y el caso de los meses Junio, Julio y Agosto el incremento de la pluviosidad (60, 50 y 80 mm respectivamente) ocasiona un factor de dilución lo que permite mejorar significativamente la calidad del agua (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

Los metales también fueron analizados en el agua almacenada, realizando tres (3) monitoreos aleatorios durante todo el diagnóstico, debido a los costos que implica la realización de los ensayos. Las concentraciones determinadas para metales pesados (aluminio, cobre, cromo, plomo, mercurio cadmio y molibdeno) fueron bajas y no representan riesgo para la salud de forma general. Esto se encuentra relacionado con la escasez de vertidos industriales a la red fluvial y con el efecto fuertemente diluyente de los aportes naturales exentos de metales, según lo expuestos por Díaz y col., 2005.

Con respecto a los indicadores de contaminación biológica se confirmaron la presencia de coliformes totales ( $227 \pm 85$  UFC/ ml), coliformes fecales ( $131 \pm 85$  UFC/ ml), *Pseudomonas* ( $32 \pm 5$  NMP/ ml) y Heterotofos aerobios ( $313 \pm 34$  UFC/ ml) durante los meses de monitoreo. Estos resultados son congruentes por los obtenidos por Araujo y col., 2012 donde analizó la misma fuente de agua estudiada en la presente investigación.

En vista a los resultados descritos anteriormente, los principales problemas a resolver en el agua son: color, turbidez y los indicadores biológicos.

**Tabla 1.-** Diagnóstico de la calidad del agua almacenada en el tanque.

<b>Parámetros Físicoquímicos</b>	<b>ENE</b>	<b>FEBR</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGOS</b>	<b>SEPT</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>Límite de detección</b>
<b>Color (UC Pt-Co)</b>	286	127	100	87	46	36	40	31	67	56	40	78	0,5
<b>Turbidez (UNT)</b>	30,60	20,30	16,20	12,50	8,20	7,80	8,50	4,30	9,20	7,40	6,30	12,30	0,5
<b>Conductividad (µS/ cm)</b>	325	270	280	219,5	218,6	218,6	218,6	293	295	255	264	227,4	0,01
<b>pH</b>	7,18	7,23	7,80	7,70	7,30	7,30	7,30	7,61	6,71	7,00	7,22	7,71	0,01
<b>Alcalinidad Total (mg/l)</b>	78	78	79	80	80	80	80	80	80	81	79	78	0,1
<b>Cloruros (mg/l)</b>	22	22	21	21	20	20	20	13	15	14	15	16	0,1
<b>Dureza Total (mg/l)</b>	92	92	92	90	92	92	92	88	95	90	92	86	0,1
<b>Dureza Ca<sup>+2</sup> (mg/l)</b>	64	68	67	68	64	64	64	71	66	68	64	68	0,1
<b>Dureza Mg<sup>+2</sup> (mg/l)</b>	28	24	25	22	28	28	28	17	29	24	26	18	0,1
<b>Sulfatos (mg/l)</b>	19,20	13,80	16,80	16,70	15,600	15,60	15,60	14,50	18,70	17,60	15,40	31,80	0,5
<b>Sílice (mg/l)</b>	6,91	6,90	9,80	10,10	7,80	7,80	7,80	0,77	1,24	2,56	4,35	3,80	0,5
<b>Nitritos (mg/l)</b>	0,15	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,14	0,14	ND	ND	ND	0,1
<b>Nitratos (mg/l)</b>	ND	0,33	0,20	ND	ND	ND	ND	0,33	0,20	ND	0,30	0,30	0,1
<b>Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)</b>	11	10	12	8	10	10	10	0,5	3,50	4	3	5	0,001
<b>Sólidos Totales (mg/l)</b>	160	122	135	132	120	120	120	149	157	157	126	170	0,001
<b>Sólidos Disueltos Totales (mg/l)</b>	149	112	123	124	110	110	110	148,50	153,50	153	123	165	0,001
<b>Fenoles (mg/l)</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,1
<b>Fluoruros (mg/l)</b>	0,17	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,5

N= 30

### *Pre-cloración del tanque de almacenamiento.*

La pre-cloración fue empleada como un pre-tratamiento previo a la instalación y puesta en marcha de la planta seleccionada. Para ello, se determinó la demanda de cloro del agua, resultando en una dosis de 3 mg/l (Figura 2). Sin embargo, se aplicó una dosis superior directamente en el tanque (descarga tipo puntual) a fin de limpiar y reducir la carga bacteriológica en las tuberías y caños de las casas. Una vez desinfectada las tuberías y el tanque, no se empleó más cloro durante el estudio.

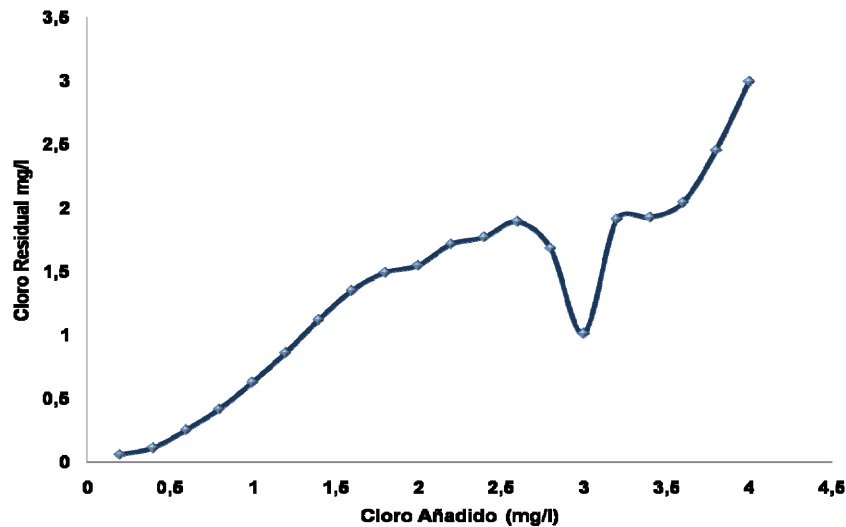


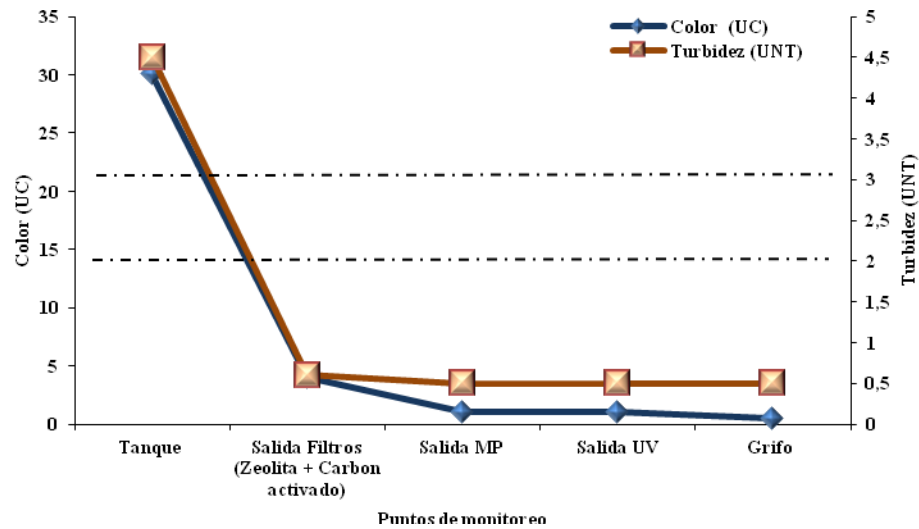
Figura 2.- Demanda de cloro del agua almacenada en el tanque.

### *Puesta en Marcha de la planta de potabilización instalada.*

La planta instalada generó con un efluente acorde a los niveles de calidad de agua, obteniendo valores que se encuentra muy por debajo de los niveles máximos permisibles (15 UC y 5 UNT) y alcanzando en algunos casos los valores deseados en la normativa venezolana (2 UC y 1.5 UNT), tal como se puede observar en la Figura 3, la cual representa un promedio de los resultados obtenidos en los meses de evaluación. Estos valores, generalmente se registran en plantas comerciales embotelladoras de agua mineral. En Latinoamérica, las normas para la calidad de agua potable son similares en países, como Colombia, Venezuela y Perú donde los niveles aceptados de color y turbidez son 15 UC y 5 UNT respectivamente, a diferencia de México, Chile y Argentina siendo este último el país con la calidad más exigente (5 UC y 3.0 UNT), en función de esto se deduce que la instalación de los equipos de tratamientos generan un agua con una calidad superior a los estándares internacionales.

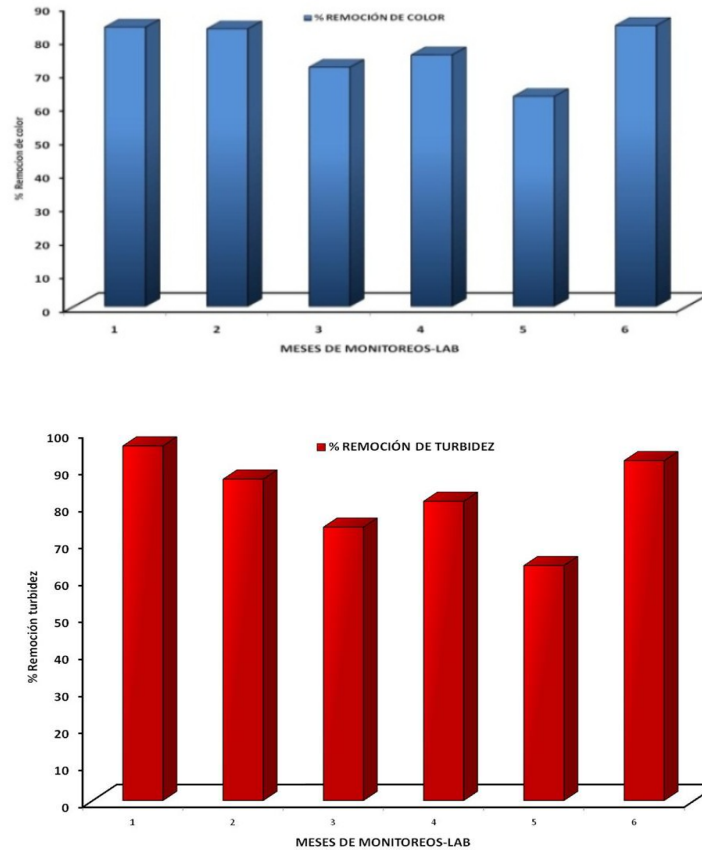
Las eficiencias mensuales del tratamiento aplicado, se observa en la Figura 4. El proceso genera un efluente apto para el consumo humano donde se alcanza una remoción promedio de 83,5% para el color y 84,5% para la

turbidez en los primeros dos (2) meses de monitoreo, cuando la calidad de entrada es 30 UC y 7 UNT; el descenso de la eficiencia en el tercer y cuarto mes se debe al ensuciamiento del lecho de polipropileno y al incremento de la calidad inicial del agua y finalmente en el quinto mes se presenta la menor eficiencia, como resultado de la saturación completa del lecho requiriendo su reemplazo. La empresa estableció que el reemplazo del lecho de polipropileno era en 6 meses, para los resultados demostraron que en 5 meses debe ser cambiados con la calidad de agua estudiada.



**Figura 3.-** Comportamiento del color y la turbidez en la planta instalada.





**Figura 4.-** Eficiencia mensual del tratamiento aplicado en la comunidad.

Con respecto a los indicadores biológicos, durante los 6 meses no se observó crecimiento bacteriológico y las pruebas confirmaron ausencia de coliformes totales, coliformes fecales, *Pseudomonas* y Heterotrofos aerobios; generando de esta forma un efluente apto para el consumo humano y reduciendo los casos de enfermedades hídricas en la comunidad.

#### *Análisis estadístico.*

La Figura 5 es una representación gráfica del grado de dispersión entre las variable color y turbidez en el efluente de la planta instalada. Con respecto al color el 83% de los resultados se encuentra por debajo del límite establecido por la Norma Venezolana (15 UC) y en algunos casos se obtiene los limites deseados (5 UC), esta variación depende principalmente de la calidad inicial del agua; el 17% restante es originado por la saturación del lecho de polipropileno. La turbidez presentó un mejor comportamiento, donde el 100% de los resultados corresponde a por debajo de lo exigido en la normativa venezolana (5 UNT). Estos resultados se fundamentan con lo obtenido por Berón y col., 2004 a trabajar en plantas de potabilización a escala real en Cali-Colombia , donde el tratamiento es mas eficiente para la remoción de turbidez que de color cuando se emplea solo procesos físicos. Por otra parte, Matilainen y col., 2010 concluyen que para obtener una mayor eficiencia en la remoción de color, causada por la presencia de sustancias húmicas, debe aplicarse un tratamiento convencional

(coagulación, floculación y sedimentación) seguido de un proceso de oxidación , filtro de carbón activado o filtración por membrana .

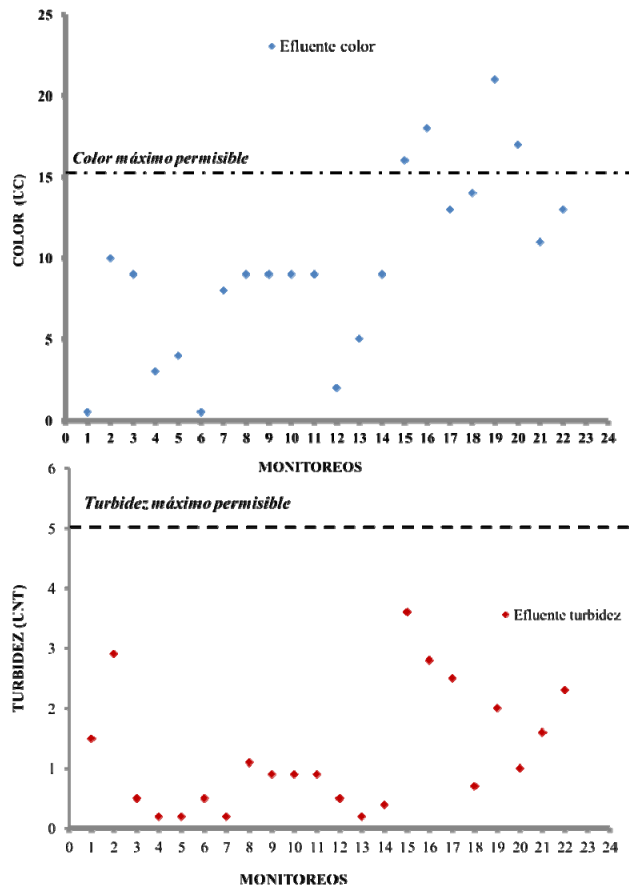
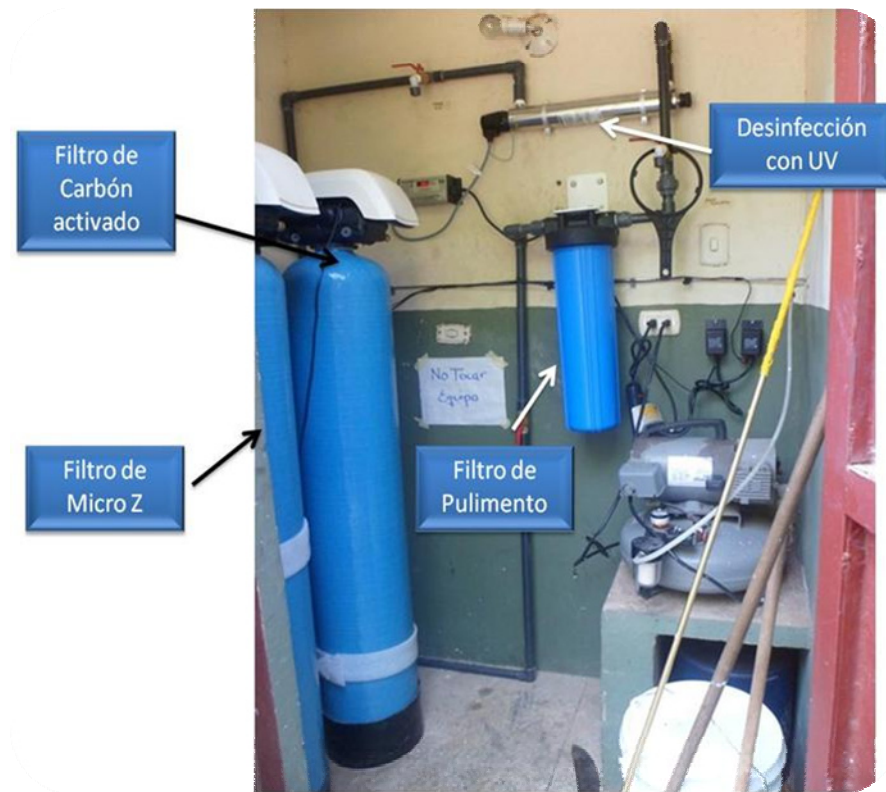


Figura 5.- Grafico de dispersión de las variables color y turbidez.

Se empleó la micro Z (zeolita) a fin de analizar su comportamiento en agua superficial, resultando un lecho apto y que puede ser empleado sin alterar los iones presentes en el agua, diversas investigaciones llevadas a cabo por: Bracho y col., 2013 y Bektas y Kara (2004) recomiendan el uso de zeolita en aguas con alta presencia de metales debido a su capacidad de intercambio, con base a estos argumentos se puede optar por emplear un lecho más económico en la planta (arena y grava) y disminuir costos.

Haciendo referencia a los resultados expuestos, se obtuvo el mejoramiento del agua superficial empleada en la comunidad, donde se obtuvo un efluente cuyos parámetros bacteriológicos, al igual que sus valores de color y turbidez, resultaron acordes a lo requerido por las normativas Venezolanas. La planta instalada y evaluada en la presente investigación (Figura 6) no requiere de grandes espacios para su montaje; por otra parte, el mantenimiento y la operación es baja, ya que no se adicionan agentes químicos. El reemplazo del lecho de polipropileno es cada 5 meses y la lámpara UV debe ser sustituida al año de operación constante e interrumpida.



**Figura 6.** Sistema instalado en la comunidad.

## CONCLUSIONES

- ✦ El agua empleada por la comunidad (cruda del embalse de Tulé), incumplió con el color, la turbidez y bacterias (coliformes totales, coliformes fecales, *Pseudomonas* y heterótrofos aerobios) durante los meses de monitoreo previos a la puesta en marcha del sistema propuesto.
- ✦ La pre-cloración ayudó a la reducción de la materia orgánica y a la eliminación de la densidad bacteriológica en el tanque de almacenamiento, produciéndose una limpieza a las tuberías previo a la puesta de la planta comercial.
- ✦ El proceso físico evaluado en la investigación (Filtros a presión de Micro Z y carbón activado + Filtro con lecho de polipropileno + desinfección con UV), resultó técnicamente viable para solventar el problema de la ingesta de agua contaminada en la comunidad.
- ✦ Los análisis revelaron que la frecuencia de reemplazo de los lechos de polipropileno se deben realizar cada cinco meses, ocurriendo una desviación de un mes según lo sugerido por la empresa proveedora.

## REFERENCIAS

Araujo, I., Rodríguez, K., Cardenas, C., Angulo, N y Morillo, G. (2012). Variación estacional de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua del embalse de Tulé. XXXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria

y Ambiental (AIDIS). Salvador Bahía-Brasil, pp. 1-6.

- Beron, F., Idrobo, J., Latorre, J. (2004). Optimización del funcionamiento de plantas de potabilización mediante la utilización de cloruro férrico. Instituto Cinara. Universidad Javeriana. Cali, pp. 1-9. version disponible en: <http://ebookbrowse.com/optimizacion-del-funcionamiento-de-plantas-de-potabilizacion-de-agua-pdf-d105260637>. Fecha de consulta: 20/01/2013.
- Bektas, N., Kara, S. (2004). Biosorption of Heavy Metals from Aqueous Solutions Using Water Hyacinth as a Low Cost Biosorbent. *Revista Sep. Purif. Technology*. Vol. 39, pp. 189-200.
- Bracho N. (2013). Optimización de las condiciones operativas de una embotelladora de agua Mineral. Proyecto abalado por el Consejo de desarrollo técnico y humanístico de la universidad del Zulia (CONDES).
- Castillo. J., Bracho. N., Vargas. L., Romero. N., y Aldana. G. (1999). Selección del coagulante para el proceso de clarificación de las aguas de la planta C de Maracaibo. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia*. Vol. 23. N0 3, pp. 169-178.
- Camacho, N., Lorenzo, N., Romero, R y Fleitas, J. (2012). Cobertura de servicios de agua potable en comunidades indígenas de bajos ingresos con una población de 250 habitantes. XXXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). Salvador Bahía-Brasil, pp. 1-6.
- Carroll, T., King, S., Gary, R., Bolto, B., Booker, N. (2000). The Fouling of Microfiltration Membranes by Nom AFTER coagulation treatment. *Water Research*. Vol. 34. No 11, pp. 2861-2868.
- Chirinos, M., Alvarado, R. (2012). "Evaluación de la aireación y filtración en el tratamiento de agua subterránea a escala piloto". Trabajo especial de grado. Facultad de Ingeniería. La Universidad del Zulia, pp. 102.
- CYTED. (2004). Riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales. *Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua*. Capítulo 13., pp 155-167.
- Fan, J., Harris, F., Roddick N. (2001) Influence of the characteristics of natural organic matter on the fouling of microfiltration membranes. *Water Research*. Vol. 35. No 18, pp. 4455-4463.
- Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. (1998) Número 36.395. p. 1-8
- Leal, A. (2008). Evaluación de la afectación de la calidad del agua en cuerpos de agua superficiales y subterráneos por efecto de la variabilidad y el cambio climático y su impacto en la biodiversidad, agricultura, salud, turismo e industria. Proyecto del Instituto Mexicano de tecnología de agua. México, pp. 108.
- Lee, G., Amy, J., Yoon y Moon, S. (2001). Cleaning strategies for flux recovery of an ultrafiltration membrane fouled by natural organic matter. *Water Research*. Vol. 35, pp. 3301-3308.
- Lin, C., Lin, T y Hao, O. (2000). Effects of Humic substance characteristics on UF performance. *Water Research*. Vol. 34. No 4, pp. 1106-2000.
- Ministerio del Poder Popular para la salud. Reportes epidemiológicos. 2013. Venezuela. Disponible en línea en: [http://www.mpps.gob.ve/index.php?option=com\\_phocadownload&view=sections&Itemid=949](http://www.mpps.gob.ve/index.php?option=com_phocadownload&view=sections&Itemid=949)
- Naciones Unidas. (2003). Objetivos del desarrollo del milenio: Una mirada desde América Latina y el Caribe. Capítulo VI, pp. 195-198
- Park, C., Lee, S; Choi, K y Choo, S. (2002). Effect of the removal of DOMs on the performance of a coagulation-UF membrane system for drinking water production. *Desalination*. Vol. 145, pp. 237-245.
- Lyon, B; Dotson, A., Linden, K y Weinberg, H. (2012). The effect of inorganic precursors on disinfection by product formation during UV-chlorine/chloramine drinking water treatment. *Water Research*. Vol. 46. No 15, pp. 4653-4664.
- Podaru, C., Manea, F., Vlaicu., Patriescu, V., Danielescu, C y Burtica, G; (2008). Studies regarding surface water treatment using a microfiltration-ultrafiltration pilot plant. *Environmental Engineering and Management Journal*. Vol. 7. No. 6, pp. 711-715.
- Rojas, M., Orta, M y Franco, V. (2008). Comparación de mecanismos de acción de desinfectantes aplicados en aguas residuales. *Aquaforum*. Vol. 12. No 49, pp. 19-22.
- Santiago, D., Bracho, N., Tapia, I., Saules, L y Trujillo, A. (2012). Evaluación del cloruro férrico como coagulante en el proceso de potabilización. *Revista Ciencia*. Vol. 20. No 1, pp. 43-52.
- Sommer, R., Cabaj, A., Pribil, W y Haider, T. (1997). Influence of lamp intensity and water transmittance on the UV disinfection of water. *Water Science and technology*. Vol 35. No 11, pp. 113-118.