



**APPLICATION OF MEMBRANE FILTRATION TECHNOLOGY
AS A WATER SUPPLY SOLUTION IN RURAL COMMUNITIES
OF
DEVELOPING COUNTRIES. LEARNED LESSONS USING
THE WATERBACKPACK PAUL IN COLOMBIA,
CHALLENGES FOR FURTHER APPLICATIONS**

**APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE FILTRACIÓN POR
MEMBRANAS COMO SOLUCIÓN PARA EL ABASTECIMIENTO
DE AGUA POTABLE EN COMUNIDADES RURALES DE PAÍSES
EN
DESARROLLO. LECCIONES APRENDIDAS CON EL USO DEL
FILTRO “WATERBACKPACK PAUL” EN COLOMBIA, RETOS
Y DESAFÍOS**

Ordonez, J. A. , Frechen F.B.** ,*

**Msc. Jose Abdón Ordoñez. Doctorando en Ingeniería,*

***Professor Dr.-Ing. Franz Bernd Frechen. Jefe de Departamento de
Ingeniería Sanitaria y Ambiental*

Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Kassel, Alemania

*Tel: * +49 561 804 3539 ** +49 561 8042795 e-Mail: ***

*jose.ordonez@uni-kassel.de ** frechen@uni-kassel.de*

Universität Kassel, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft

Kurt-Wolters-Straße 3, Raum 3108 (Sekretariat), 34125 Kassel, Deutschland.

Tel: +49-561-8042869, Fax: +49-561-8043642

Abstract

This paper deals with the use of PAUL (Ultra Low Pressure Ultrafiltration Technology) as a decentralized system for drinking water treatment in rural areas. Six waterbackpacks were tested with unimproved water-source for a minimum of 12 months in realistic usage scenarios in different regions in Colombia. Each PAUL units supplied either rural housing clusters or small institutional settings (e.g. a rural school) with filtrated water for human consume

Resumen

En el siguiente trabajo se presentan los resultados del uso del WaterBackpack PAUL (unidad de tratamiento de agua basada en ultrafiltración), como sistema descentralizado de tratamiento de agua en zonas rurales. Seis PAUL fueron puestos a prueba con agua cruda de diferentes fuentes por un mínimo de 12 meses.





Keywords: pathogen removal, decentralized water supply systems, ULP-UF (ultra low pressure - Ultrafiltration), water supply in emergencies

Palabras Claves: remoción de patógenos, sistemas descentralizados de abastecimiento de agua, ultrafiltración a muy bajas presiones, abastecimiento de agua en situaciones de emergencia

1. INTRODUCCIÓN

El agua potable es indispensable para la salud, el crecimiento y desarrollo del ser humano. Sin embargo, su acceso es aún un lujo para muchas personas de escasos recursos o que viven en la miseria (WHO & Unicef, 2006). Esta situación se acrecenta más en zonas rurales de países en vías de desarrollo, donde una gran proporción de la población no tiene acceso a agua potable o microbiológicamente segura para consumo humano (Peter-Varbanets, Zurbrügg, et al., 2009). Una planta de tratamiento centralizada es a veces la solución para el abastecimiento de agua potable a varias comunidades rurales. Sin embargo, en muchos casos esta opción es económica u operativamente inviable. La gente se ve forzada a usar “directamente” las fuentes de agua más cercanas para abastecerse, exponiéndose al contagio de múltiples enfermedades transmitidas por el consumo de agua no segura. Un sistema descentralizado de tratamiento de agua potable puede ser una solución apropiada para incrementar la cobertura en zonas rurales, y disminuir así la brecha existente con las zonas urbanas (WHO & Unicef, 2006).

La filtración por membranas es una tecnología ya aplicada en el área de potabilización de agua a nivel mundial debido a su alta eficiencia en remoción de patógenos en el agua (Guo, et al., 2010).

Particularmente, módulos de ultrafiltración que operan a muy baja presión (Ultra-Low Pressure Ultrafiltration ULP-UF, por sus siglas en inglés), se han convertido en una opción atractiva para la aplicación en sistemas descentralizados de tratamiento de agua, dado que producen agua de alta calidad (remoción de material particulado, coloidal, materia orgánica, microorganismos patógenos) a bajo costo de operación, fáciles de usar, con mínimo requerimiento en mantenimiento, lo que permite emplearlas en zonas de difícil acceso. Estos sistemas podrían abastecer a pequeños grupos familiares, caseríos, veredas, resguardos indígenas o grupos afrodescendientes en las zonas rurales de Colombia.





2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción del WaterBackpack



PAUL PAUL es una unidad portátil de tratamiento de agua que fue desarrollada en el DESEE - Departamento de Ingeniería

Sanitaria y Ambiental de la Universidad de Kassel (Frechen & Waldhoff, 2005). PAUL fue primeramente

diseñado como un dispositivo para dar una rápida respuesta al abastecimiento de agua para pequeños grupos de personas en emergencias o situaciones de desastres (Exler, Frechen, 2011). Hoy en día cerca de 1.000 PAUL han sido distribuidos alrededor del mundo y son usados como sistemas descentralizados para el abastecimiento de agua, revelando que esta tecnología puede ser una solución sostenible para zonas rurales en Colombia.



El funcionamiento de PAUL se basa en una membrana de ultrafiltración con celdas planas fabricadas de Polietilsulfon (PES), de tamaño de poro

aproximado de 40 nm y un

MWCO (molecular weight cutoff) de 150 KDa. PAUL ha sido diseñado para que filtre el agua usando solamente la gravedad, con una presión de columna de agua de 60-70 cm sobre la membrana.

PAUL cumple con los criterios de un sistema descentralizado. Además, no usa energía ni químicos en su operación, no requiere de personal altamente entrenado, es robusto, no tiene partes móviles y es fácil de transportar.

2.2. Localización de PAUL en Colombia

En Colombia, PAUL se ha puesto a prueba en 6 localidades rurales con diferentes condiciones climáticas, sociales y culturales (Tabla 1). PAUL ha estado en operación al menos por 12 meses.

Tabla 1. Comunidades con PAUL instalado en Colombia

Nr.	Lugar	Nr. Familias	Característica
1	Rutemana, La Guajira	56	indígenas Wayúu, zona semidesértica, 20 msnm
2	Silvania, Cundinamarca	200	campesinos, zona periurbana, 1500 msnm
3	Villamaria, Caldas	25	Escuela zona Nevado del Ruiz, 3000 msnm
4	El Tajo, Cauca	20	Afrodescendientes, zona rural, 990 msnm
5	El Encano, Nariño	57	zona rural, Laguna de La Cocha, 2800 msnm
6	El Charco, Nariño	20	Afrodescendientes, zona costa pacífica, 50 msnm

Las fuentes de abastecimiento usadas en estas comunidades son diversas (Foto 1): reservorios de agua (jagüey) en Rutemana, acueducto comunitario en Silvania, El Tajo y El Encano, recolección directa de río en Villa Maria y recolección de río y agua lluvia en El Charco.





Foto 1. Fuentes de abastecimiento en comunidades

a) Rute mana; b) Silvania; c) El Tajo; d) El Encano; e) Villa Maria; f) El Charco

2.3. Transferencia de tecnología

Con la ayuda de organizaciones socios locales, se realizaron talleres participativos con cada comunidad beneficiada para explicar el funcionamiento operativo de PAUL y su sencillo mantenimiento. Adicionalmente, una persona de la comunidad fue entrenada para hacerle un seguimiento a la producción de agua del filtro en diferentes condiciones de operación.

2.4. Toma de muestras y determinaciones analíticas

Se ejecutaron muestreos de calidad de agua cruda y filtrada en cada uno de los PAUL instalados durante las visitas técnicas y de seguimiento. La caracterización incluyó parámetros medidos in situ (Temperatura, Turbiedad, Color, Conductividad y pH) y medidos en laboratorios locales acreditados. En ambos casos se siguieron los lineamientos establecidos en Standard Methods for the

Examination of Water APHA (1995). Los resultados son presentados en la Tabla 2.

2.5. Mantenimiento realizado a PAUL

El mantenimiento de PAUL consistió en el desalojo de los sedimentos acumulados en su interior, abriendo el desagüe ubicado en la parte inferior. Adicionalmente, con agua filtrada y almacenada en baldes, se procedía a enjuagar la membrana. Cada comunidad se comprometió a llevar un registro de la frecuencia del desagüe de PAUL y la cantidad de agua usada en el enjuague.

2.5. Evaluación de cambios en PAUL

Basado en las observaciones hechas en campo, los aportes de cada una de las comunidades en su experiencia con el



uso de PAUL, los resultados de calidad de agua filtrada y una extensa revisión de literatura, se efectuaron recomendaciones en la operación, y mantenimiento actual de PAUL. Para posteriores aplicaciones, se planteó la adición de pre- y/o post-tratamientos para el incremento de la cantidad y mejoramiento de la calidad del agua tratada y la reducción de mantenimiento del módulo de membrana. Experimentos están actualmente siendo evaluados en las instalaciones de la Universidad Kassel.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los resultados experimentales de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el laboratorio como son Turbiedad, Color Real, E. Coli, determinaron la eficiencia de PAUL como única unidad de tratamiento de agua para consumo humano en diferentes condiciones climáticas y con variadas calidades de agua cruda.

Adicionalmente, la eficiencia de PAUL fue evaluada con la medición de la cantidad promedio de agua filtrada, la frecuencia de mantenimiento del filtro (si fue necesaria) y sugerencias recibidas por las comunidades beneficiarias.

4.1. Calidad de agua

En la Tabla 2 se presentan los resultados de calidad de agua cruda y filtrada de tres de las seis localidades donde PAUL se instaló.

Tabla 2. Calidad de agua cruda y filtrada por PAUL

Parámetros	Lugar Nr.		Rutemana ⁽⁵⁾		El Tajo ⁽²⁾		El Encano ⁽³⁾	
	raw	UF	raw	UF	raw	UF	raw	UF
Temperatura [°C]	29	30	23	22	10	11		
Turbiedad [UNT]	43	0,9	11	0,5	3	0,3		
Color [UPC]	125	17	13	5	48	28		
Conductividad [µS/cm]	332	360	62	67	90	92		
pH [unid.]	8,3	7,7	7,2	7,0	7,3	7,4		
Nitrate [mg/l N]	3,2	0,8	0,8	1,3	n.d.	n.d.		
Alcalinidad [mg/l CaCO ₃]	117	109	36	34	47	48		
Dureza Total [mg/l CaCO ₃]	87	85	28	23	46	37		
Hierro Total [mg/l Fe]	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0		
Sulfatos [mg/l]	6,5	6,0	8	8	n.d.	n.d.		
E. Coli [UFC/100 ml]	7E03	0	6E03	0	38	0		

Nota: en paréntesis, número de muestras analizadas

Para los parámetros fisicoquímicos, se encuentra que PAUL alcanza una remoción del 90 al 98% en turbiedad y del 42 al 82% en color real. Sin embargo, puede observarse tanto en la comunidad de Rutemana como en El Encano que los valores aún están por encima del valor máximo aceptable por la Resolución 2115 de 2007 en calidad del agua para consumo humano. En otros parámetros fisicoquímicos evaluados, puede observarse que el agua cruda y filtrada no presenta amenazas contra la salud humana.

Por otro lado, los resultados microbiológicos en E. Coli demuestran una remoción de al menos 4-Log, lo que significa una reducción de 99,99%, validando la recomendación de la OMS





para calidad de agua potable (WHO, 2011).

4.2 Producción de agua

La producción de agua fue medida por método volumétrico con ayuda de un integrante de cada comunidad beneficiada. Se tomaron datos durante la operación normal de PAUL (después de varias semanas de operación) y luego de su limpieza con hipoclorito de sodio (ver mantenimiento de PAUL). Las mediciones fueron luego normalizadas a temperatura ambiente (20°C) usando la ecuación 1 (Ec. 1).

$$J_{SP} = \frac{\left(\frac{Q}{A}\right) \cdot \left(\frac{\mu_{20^{\circ}C}}{\mu_t}\right)}{TMP} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

J_{SP} : flujo específico (20°C)

Q : flujo volumétrico (L/h)

A : área superficial de membrana (9,5 m²)

$\mu_{20^{\circ}C}$: viscosidad absoluta del agua a 20°C

μ_t : viscosidad absoluta a temp. t

TMP : Transmembrane pressure (65 mbar)

Los resultados de producción promedio de agua se presentan en la Tabla 3. Teniendo en cuenta que cada módulo

de membrana tiene una area de 9,5 m², se establece que este podría abastecer de agua a 25 personas con una dotación de 115 L/hab.-d, sin el uso de insumos químicos o energía externa.

Si la membrana se usara sólo para tratar agua de consumo directo y preparación de alimentos, cada módulo podría abastecer a almenos 200 personas (□12 - 15 L/hab.-d).

Estas membranas por ser modulares, pueden ser ensamblados varias en un solo tanque, usando solamente la gravedad como fuerza filtrante. Igualmente, de acuerdo a información del productor, cada módulo puede ser operado con bombas de bajo consumo eléctrico (de acuario), triplicando la producción de agua por módulo sin afectar la calidad.

Tabla 3. Producción de agua filtrada por PAUL

Lugar	caudal medio normalizado (J_{SP})		
	[L, h ⁻¹ m ⁻²]		[L, h ⁻¹ m ⁻²] 2 bar]
	normal	limpio	
Rutemana, La Guajira	15,95 (3,70)	21,14 (0,98)	245,33 (57)
Silvania, Cundinamarca	12,97 (0,10)	20,65 (0,20)	199,65 (15)
El Tajo, Cauca	14,91 (0,58)	21,27 (0,50)	229,58 (8,90)
El Encano, Nariño	10,55 (0,18)	n.d.	166,24 (2,82)
El Charco, Nariño	23,72 (0,01)	n.d.	364,91 (0,22)





4.3 Mantenimiento de PAUL

Al inicio del proyecto, se planteó el desagüe del filtro PAUL una vez por mes, sin embargo esta frecuencia fue cambiando en cada lugar según la condición climática y la calidad del agua cruda. En la comunidad de Rutemana, la frecuencia de mantenimiento se cambió a semanal debido a la generación de malos olores producto de la concentración de material suspendido y disuelto presente en el agua de jagüey, las altas temperaturas de la zona y el potencial crecimiento de algas dentro de PAUL. Se recomendó que cada vez que se dejara de usar el filtro, se hiciera su desagüe y se llenara con al menos 20 litros de agua filtrada. Así el módulo de membrana permanece siempre húmedo y se evita su deterioro.

5. CONCLUSIONES

La filtración por membranas basado en ULP-UF es una tecnología que puede ser usada para el tratamiento de agua potable en comunidades rurales de Colombia. Las experiencias en campo con el filtro PAUL demostraron sus cualidades más importantes:

- alta remoción de patógenos
- robustez
- facilidad de operación y mantenimiento

Es claro que para cuerpos de agua lenticos y en condiciones de altas temperaturas (por ejemplo, La Guajira),

es necesario aumentar la frecuencia de mantenimiento o incluir unidades de pre.tratamiento para la eliminación de sólidos suspendidos y material orgánico. Estas adecuaciones están siendo evaluadas en las instalaciones de la Universidad Kassel.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th edition. American Public Health Association, Washington, D.C:

Exler, H; Frechen, F.B, (2011): Membrane filtration for potable water supply in cases of disasters—Challenging tests with a portable ultrafiltration unit

Frechen, F.-B; Waldhoff, A. (2005): Water supply from surface waters with a small gravity flow membrane filtration unit for use in cases of disasters. Proceedings of the International Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability (WRRS) in Jeju, Korea Nov. 2005

Guo, H., Y. Wyart, et al. (2010). "Lowpressure membrane integrity tests for drinking water treatment: A review." Water Research 44(1): 41-57

Peter-Varbanets, M., C. Zurbrügg, et al. (2009). "Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology." Water Research





43(2): 245-265.
doi:10.1016/j.watres.2008.10.030

WHO & Unicef. (2006). Meeting the MDG Drinking water and sanitation target: the urban and rural challenge of the decade (p. 47). Geneva-New York.

http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2006/en/index.html
WHO. (2011). Guidelines for drink water quality. (WHO, Ed.). 4th ed. Geneva: World Health Organization. Retrieved from

http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/ .

