

## Artículo Científico

**Evaluación de la calidad del agua de lluvia captada a través de un módulo sanitario familiar de rápida instalación (MOSAFARI)**

Rolando David Aguilar Muñoz

Ingeniero Civil, M.Sc. Ingeniería Sanitaria, ERIS-USAC.

Dirección para recibir correspondencia: investigacionydesarrollo@hydroambiente.com

Recibido 06.03.2017 Aceptado 17.05.2017

**Resumen**

Se evaluó la calidad del agua de lluvia captada y almacenada por el MOSAFARI instalado en la planta piloto de la ERIS "Arturo Pazos" situada en la colonia Aurora II, ciudad de Guatemala. La evaluación presentó que el agua cumple la norma COGUANOR 29 001 de Guatemala cuando se opera apegado a un manual de operación y mantenimiento evitando acumulación de hojas y tierra en los techos y canaletas. Según el límite máximo admisible de la norma COGUANOR 29 001 de Guatemala, el color no cumple desde la primera muestra con un resultado de 25 unidades en la escala de Pt-Co, esto debido a la leve acumulación de hojas y tierra que sufrió el sistema luego de la limpieza inicial, y los resultados posteriores reflejan que este valor sube en la medida que el tiempo sin limpieza de los componentes pertinentes aumente. El resto de parámetros se mantienen en cumplimiento de la norma anterior durante la mayoría del tiempo de muestreo, y solo el manganeso sale del límite máximo admisible desde la séptima muestra con un resultado de 0.1 mg/L.

PALABRAS CLAVE: Análisis del agua de lluvia, instalaciones sanitarias, salud pública, abastecimiento de agua de lluvia

**Abstract**

This article talks about the evaluation of the rain water quality captured and stored by the MOSAFARI (by its acronym in Spanish) installed in ERIS' pilot plant "Arturo Pazos" located in Guatemala City. The evaluation showed that the water quality fulfill COGUANOR 29 001 (as its acronym in Spanish) requirements as long as the cleaning step keep soil and leaves out of the ceiling and channel. According to the maximum admissible limit of COGUANOR 29 001, the color fails since the first sample with a result of 25 units Pt-Co because of the accumulation of leaves and soil that the system had since the initial cleaning step. The next results keep increasing as the time without cleaning does too. The other parameters fulfill COGUANOR 29 001 requirements as almost all the sampling period, and only manganese goes out of the maximum admissible limit in the last sample with a result of 0.1 mg/L.

KEYWORDS: Rain water analysis, sanitary installations, public health, rain water supply service.

**Introducción**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) afirma que todo ser humano debe tener acceso a los servicios básicos de agua y saneamiento por derecho; servicios que lamentablemente tienen una baja cobertura en los países subdesarrollados.

En Guatemala, así como en otros países con condiciones similares, tienen zonas rurales vulnerables y marginadas de las sociedades; que soportan una proporción grande de los problemas sanitarios (Fondo Internacional de Emergencia de las Naciones Unidas para la Infancia, UNICEF en inglés). En respuesta a lo anterior la Organización Panamericana para la Salud (OPS)/OMS desarrolló una tecnología cuya finalidad es dar una alternativa a estas comunidades, de manera que con materiales accesibles se pueda implementar un módulo sanitario familiar de rápida instalación (MOSAFARI) que provee

los servicios básicos, necesarios para la salud de las personas, entre los que están la producción de agua para consumo humano a través de la captación de agua de lluvia, y saneamiento.

Este artículo es acerca de la evaluación de la calidad del agua de lluvia captada y almacenada a través del MOSAFARI instalada en la Planta Piloto de la ERIS en zona 13 de la ciudad de Guatemala (figura 1). Se procedió tomando una muestra inicial en las condiciones en las que se encontró el módulo, el resultado del análisis fisicoquímico y microbiológico reflejó que no cumple la norma COGUANOR 29 001 de Guatemala. Posteriormente se realizó una limpieza del techo de captación, canaleta y tanque de almacenamiento y se procedió con la toma de muestras para llevar a cabo la evaluación pertinente.

Con los resultados se concluye que el agua de lluvia cumple en todos los parámetros establecidos en



Se tomó dos muestras iniciales, una para el análisis fisicoquímico y otra para el examen bacteriológico. Ambas apegadas a los procedimientos anteriormente establecidos. Los parámetros de temperatura y oxígeno disuelto fueron tomados in-situ tal y como se establece en la guía de procedimientos, debido a que estos se pueden modificar durante el transporte de la muestra.

El resto de parámetros se determinaron en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina de la Facultad de Ingeniería USAC, ciudad de Guatemala.

**Análisis Bacteriológico Inicial**

Los parámetros de coliformes fecales y coliformes totales se determinaron por medio de tubos múltiples de fermentación llevando a cabo la prueba presuntiva y luego la confirmativa.

En la prueba presuntiva se dejó incubar por 48 horas a 120 °C la muestra. Todos los tubos dieron resultado positivo. Luego se procedió a confirmar sembrando en medio nutritivo verde brillante y medio nutritivo EC. En lo que a los tubos con medio nutritivo verde brillante respecta, todos los resultados fueron positivos, y en el medio EC, más del 50% de los resultados fueron negativos.

**Fase de limpieza**

Preparación y limpieza del MOSAFARI para la realización del estudio

Previo a comenzar con el estudio y luego de hacer un muestreo inicial para argumentar el problema, se procedió a hacer una limpieza de los componentes de captación y almacenamiento del MOSAFARI.

Se limpió los techos que proveen el área que tributa escorrentía hacia la canaleta recolectora que luego conduce el agua al tanque de almacenamiento. La canaleta estaba saturada de hojas, ramas, etc., producto de los árboles que circundan el MOSAFARI, éstas se retiraron ya que se determinó que son las causantes de proveer de color el agua, parámetro que según el análisis fisicoquímico, es el único que puede causar rechazo por parte del consumidor. Finalmente se lavó el tanque de almacenamiento con hipoclorito de sodio para desinfectarlo.

Ya con los elementos del MOSAFARI de captación y almacenamiento en condiciones adecuadas se procede a realizar el estudio por medio de muestreos a lo largo del periodo de lluvias. Las muestras fueron tomadas según indica la tabla 2.

**Resultados**

A continuación se presentan los resultados tabulados del análisis fisicoquímico y microbiológico hecho en la fase inicial, tabla 1, y en la fase de limpieza, tabla 2l.

**Tabulación de Resultados**

**Tabla 1. Resultado de análisis fisicoquímico y microbiológico en fase inicial**

Parámetro fisicoquímico	Valores
Temperatura (C)	23
pH	6.4
Conductividad (Ms/cm)	83
TDS (mg/L)	44
Color (unidades en la escala Pt-Co)	300
Turbiedad (UNT)	3
Alcalinidad por bicarbonatos (mg/L)	60
Dureza total (mg/L)	32
Calcio (mg/L)	13
Magnesio (mg/L)	0
Cloruros (mg/L)	35
Parámetro microbiológico	Resultado
Coliformes Totales NMP/100ml	≥ 1,600
Coliformes Fecales NMP/100ml	≥ 1,600

**Tabla 2. Resultados de laboratorio en fase de limpieza**

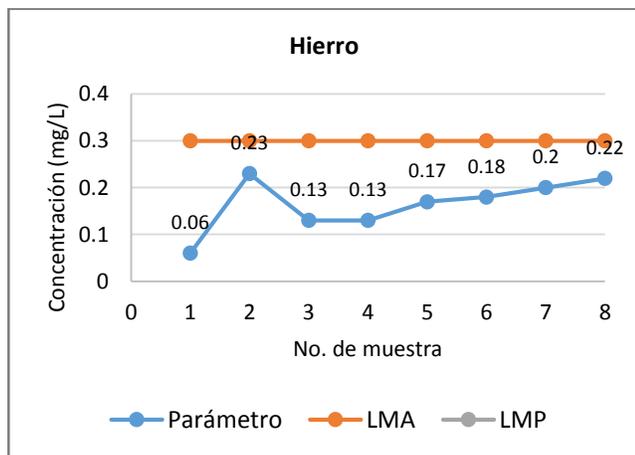
RESULTADOS DE EXÁMENES DE LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA																
		Lugar: Planta Piloto ERIS - USAC, Colonia Aurora II, zona 13, Guatemala.														
		Fecha: 27/08/2012 03/09/2012 04/09/2012 18/09/2012 24/06/2012 25/09/2012 01/10/2012 02/10/2012										Indicadores estadísticos				
FÍSICO QUÍMICO																
no.	Análisis	Unidades	LMP	LMA	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
1	Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>			8	10	12	14	12	16	20	20	14	20	8	4.41
2	Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	500	100	4	6	10	14	14	16	16	16	12	16	4	4.78
3	Cloruros	mg/L Cl <sup>-</sup>	250	100	5	6	6	8	7	6	7	8	6	8	5	1.00
4	Fluoruros	mg/L F <sup>-</sup>	1,7	---	0.1	0.1	0.1	0.4	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.4	0.1	0.12
5	Nitratos	mg/L NO <sub>3</sub>	50	---	10	7	5	3	4	11	15	14	8	15	3	4.50
6	Nitritos	mg/L NO <sub>2</sub>	3	---	0.04	0.03	0.03	0.1	0.03	0.03	0.1	0.1	0.05	0.1	0.03	0.03
7	Hierro	mg/L Fe	---	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.06
8	Manganeso	mg/L Mn	0.4	0.1	0.03	0.1	0.04	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.03	0.03
9	Color	unidades	35	5	25	34	31	45	38	55	45	59	42	59	25	11.74
10	Turbiedad	NTU	15	5	2	2	2	2	2	3	3	6	3	6	2	1.51
11	Olor		no rechazable	no rechazable	materia orgánica	---	---	---	---							
12	Conductividad	µS/cm	1 500	750	15	27	27	41	38	50	56	56	39	56	15	14.78
13	Sólidos Disueltos	mg/L	1 000	500	8	15	15	22	20	26	32	32	21	32	8	8.53
14	pH	unidades	6,5-8,5	7,0-7,5	5,4	5,4	5,7	5,6	5,6	5,7	6,2	6,2	5,7	6,2	5,4	0,31
15	Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub>	250	100	1	1	2	4	2	1	2	3	2	4	0,5	1,15
16	Temperatura	°C	34	15-25	23	23	22	22	23	22	22	21	22	23	21	0,67
MICROBIOLÓGICO																
17	Coliformes fecales	NMP en 100 ml	0	500	4	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	65	500	2	175.97
18	Coliformes totales	NMP en 100 ml	0	≥1 600	350	≥1 600	600	17	≥1 600	26	≥1 600	924	1 600	17	745.60	

A continuación se presentan los gráficos, de figura 2 a figura 16, en donde se reflejan gráficamente los resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico hecho en la fase de limpieza.

**Gráficos de Resultados**

**Gráficos de parámetros físico-químicos**

**Figura 2. Hierro**



**Figura 3. Manganeso**

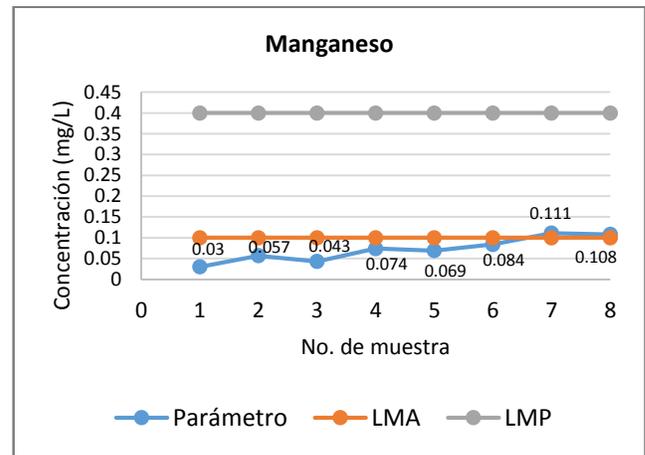


Figura 4. Turbiedad

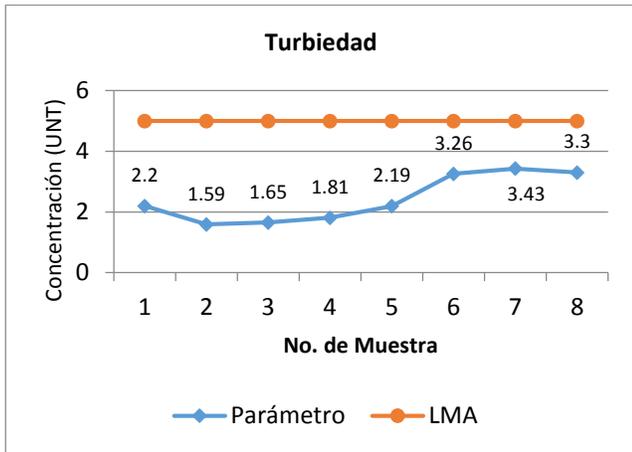


Figura 7. Alcalinidad

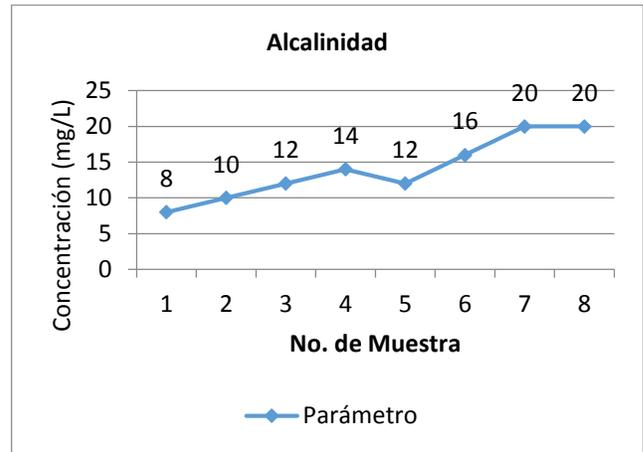


Figura 5. Conductividad

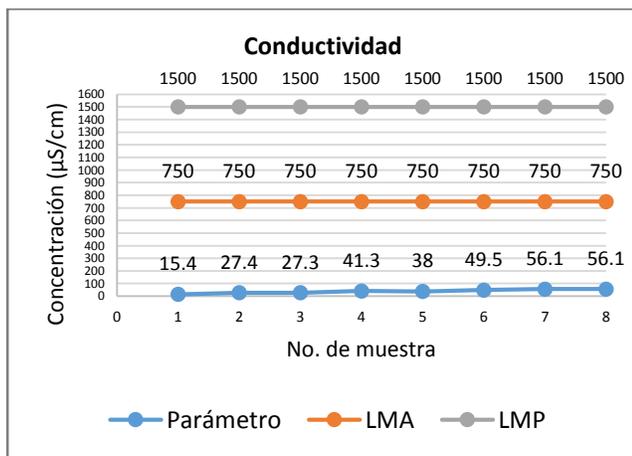


Figura 8. Color

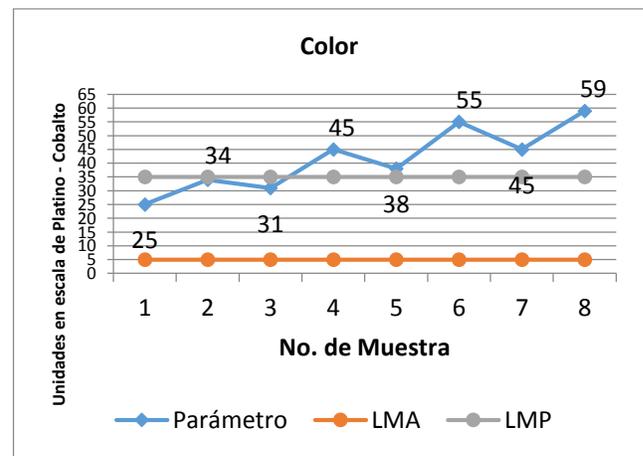


Figura 6. pH

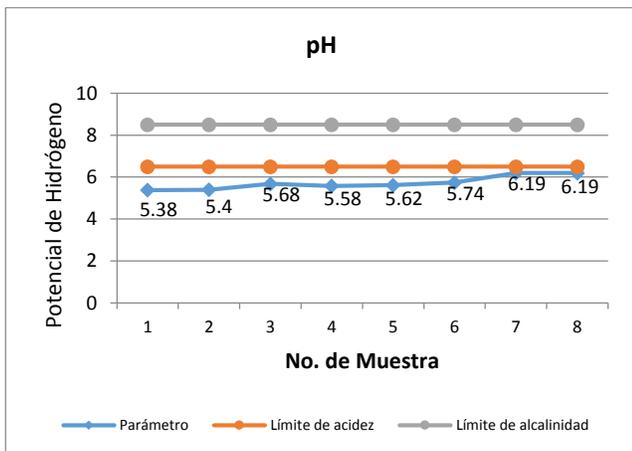


Figura 9. Dureza

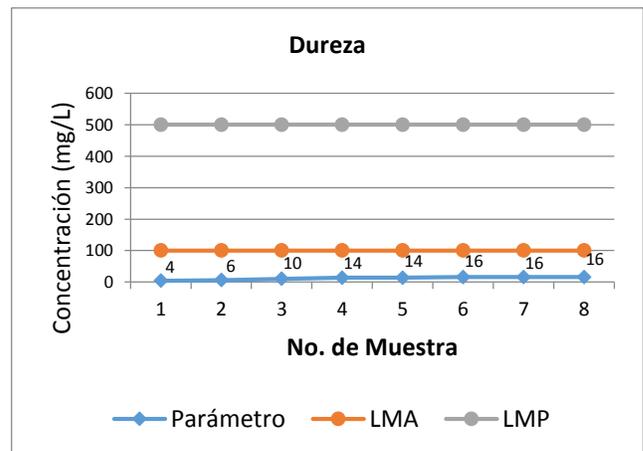


Figura 10. Nitratos

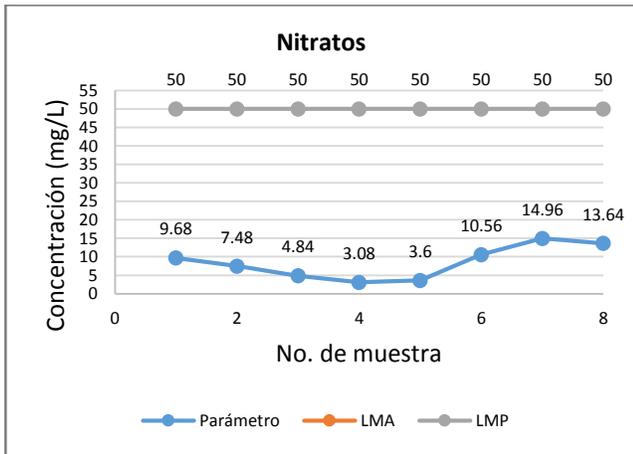


Figura 13. Sulfatos

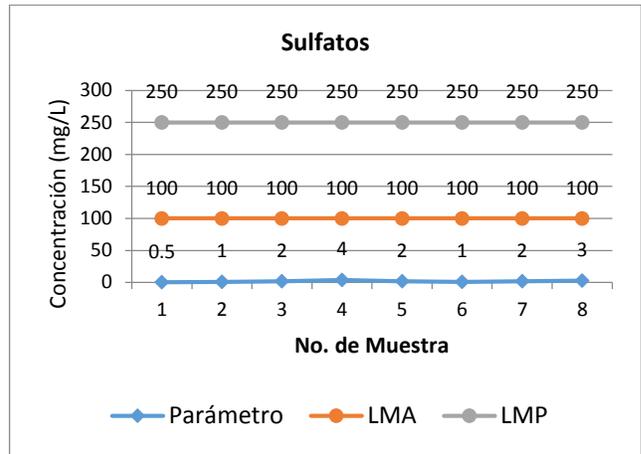


Figura 11. Nitritos

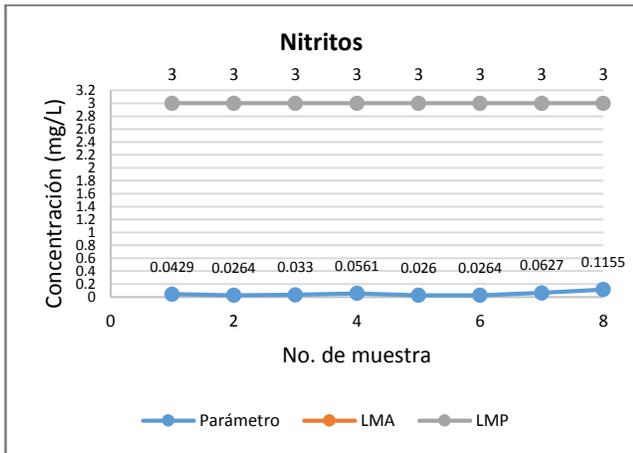


Figura 14. Temperatura

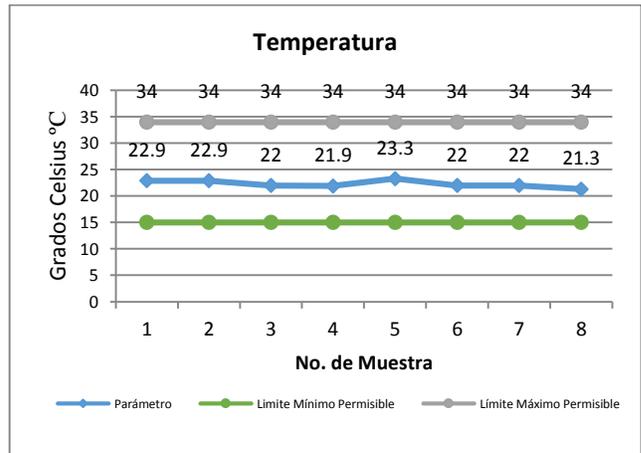
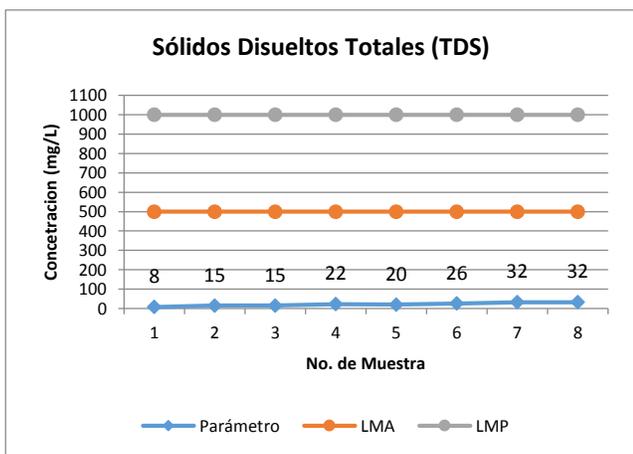


Figura 12. Sólidos disueltos totales



## Gráficos de parámetros microbiológicos

Figura 15. Coliformes fecales

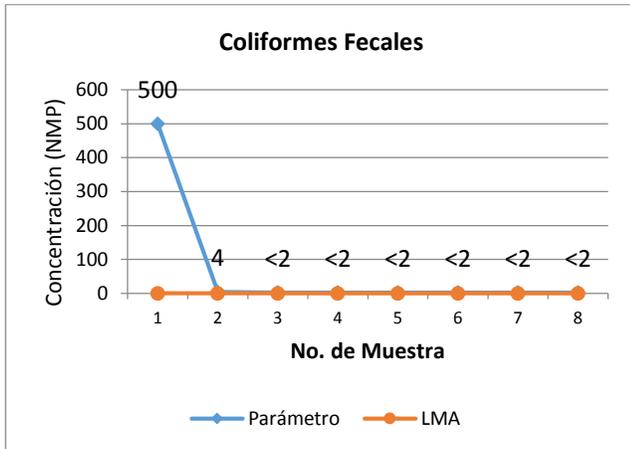
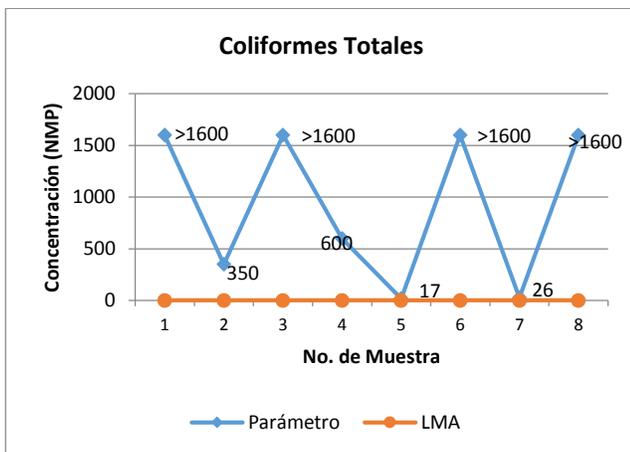


Figura 16. Coliformes totales



## Análisis y discusión de resultados

### Fase inicial

#### Análisis fisicoquímico inicial

De los parámetros determinados en la tabla 1, se puede concluir que desde el punto de vista fisicoquímico, casi todos los resultados indican que el agua es apta para consumo humano según la norma COGUANOR 29 001 de Guatemala, a excepción del color con un resultado de 300 unidades en la escala de Pt-Co. Los demás parámetros cumplen la normativa con los siguientes resultados, la temperatura con 23.C, pH de 6.4, conductividad 83  $\mu$ s/cm, TDS con 44 mg/L, turbiedad de 3 UNT, dureza 32 mg/L, calcio 13 mg/L, magnesio 0 (cero) mg/L, y cloruros con 35 mg/L.

Los parámetros microbiológicos según la tabla 1, no cumplen con la normativa, con un resultado de coliformes totales y fecales de  $\geq 1,600$  NMP/100ml.

En general, el análisis inicial muestra que el agua almacenada en el MOSAFARI no tiene la calidad necesaria para ser utilizada en consumo humano. Esto es resultado de que en un tiempo previo prolongado, el sistema no gozó de un programa de operación y mantenimiento que garantizara un continuo estado de limpieza; de manera que este factor impactó negativamente la calidad del agua captada y almacenada.

### Fase de limpieza

#### Muestreo luego de limpieza

Los resultados de la tabla 2 reflejan los valores de los parámetros luego de la limpieza. Se puede observar como la muestra uno en todos los parámetros, la más próxima al día que se hizo limpieza del sistema, refleja el nivel más bajo, cumpliendo estos con el límite máximo admisible (LMA) ó límite máximo permisible (LMP) de dicha norma según los siguientes resultados: dureza 4 mg/L (figura 9), nitratos 10 mg/L (figura 10), nitritos 0.04 mg/L (figura 11), hierro 0.1 mg/L (figura 2), manganeso 0.03 mg/L (figura 3), color 25 unidades Pt-Co (figura 8), turbiedad 2 UNT (figura 4), conductividad 15  $\mu$ s/cm (figura 5), TDS 8 mg/L (figura 12), sulfatos 1 mg/L (figura 13), temperatura 23 °C (figura 14), coliformes fecales <2 NMP/100ml (figura 15). Los resultados anteriores son los correspondientes a la primera muestra tomada después de la limpieza, y conforme transcurrió el tiempo sin limpieza y se analizaron las siguientes muestras, el color ya no cumple el LMP a partir de la muestra 4 con un resultado de 45 unidades Pt-CO (figura 8), y el manganeso ya no cumple a partir de la muestra 7 con un resultado de 0.1mg/L (figura 3).

Los resultados anteriores demuestran que a medida que transcurre el tiempo sin limpieza, las muestras van incrementando su nivel de contaminación, esto debido a que la superficie de captación así como la canaleta que conduce el agua hacia el depósito de almacenamiento se encuentran bajo zona de ramas debido a la densidad de árboles del lugar; consecuentemente, los componentes anteriores son susceptibles a retener mayor cantidad de polvo, tierra y hojas lo que permite determinar que estos se van acumulando en el componente de almacenamiento del MOSAFARI, haciendo indispensable su limpieza periódica para mantener los niveles en función del límite máximo admisible (LMA) y límite máximo permisible (LMP) de la normativa COGUANOR 29

001 en vigencia en Guatemala. El parámetro más susceptible según el análisis de la desviación estándar en la tabla 2, es el color con una desviación de 11.74, que refleja un valor de 25 unidades Pt-Co (figura 8) a los pocos días de realizada la limpieza, lo cual no cumple con el límite máximo admisible (LMA) de la normativa anterior que determina la aceptabilidad con el consumidor, pero sí cumple el límite máximo permisible (LMP) que es el límite que determina la calidad de sanitariamente seguro para consumo humano. El manganeso dejó de cumplir en la muestra 7 y 8 con 0.1 mg/L en ambas muestras (figura 3).

Según el análisis de la desviación estándar en la tabla 2, otro parámetro susceptible es los coliformes totales (figura 16), ya que el resultado fue impredecible, y se afirma que con la realización de la limpieza periódica del tanque de almacenamiento empleando desinfectante, hipoclorito de sodio, los parámetros se mantendrán controlados.

### Importancia de la operación mantenimiento

Se debe dar operación y mantenimiento a un MOSAFARI para garantizar el resultado deseado en calidad del agua, y los principales criterios enfatizan en la frecuencia de la limpieza de cada uno de los componentes como lo son los techos de captación, la canaleta de conducción, y el tanque de almacenamiento; y hacer uso de un mecanismo para evitar acumulación de hojas y tierra en las canaletas. Lo anterior para mantener controlados los parámetros más susceptibles al cambio por dicha contaminación. También se recomienda utilizar el criterio de ubicación del módulo basado en el principio del pluviómetro, que indica implementar una distancia horizontal entre el MOSAFARI y los árboles de 2 veces la diferencia de alturas entre el techo de captación y la copa del árbol.

Las medidas anteriores ayudan a que los parámetros que son susceptibles a salir de los límites de la norma COGUANOR 29 001; se mantengan en sus niveles aceptables.

Todo lo anterior se debe plasmar en la elaboración de un manual de operación y mantenimiento adaptado a la cultura de la comunidad usuaria del sistema.

### Conclusiones

Los análisis de agua de lluvia realizados al agua almacenada en el MOSAFARI ubicado en la planta piloto de la ERIS/USAC en ciudad de Guatemala, demuestran que se cumple, indicando que el agua de lluvia de escorrentía y luego almacenada, a través de buenas prácticas es apta para consumo humano y

otros usos que requieran calidad de agua potable según la norma COGUANOR 29 001.

De los 17 parámetros evaluados para el estudio de la calidad del agua de lluvia de escorrentía del techo del MOSAFARI, todos cumplen el LMA ó LMP con la norma COGUANOR 29 001 de Guatemala mientras se realice la limpieza del techo, canaletas y tanque de almacenamiento, ya que al abandonar las atribuciones de limpieza, el color es el primer parámetro en no cumplir la norma, y el manganeso no cumple en las últimas dos muestras. Los demás parámetros si cumplen en todas las muestras pero reflejan un aumento conforme transcurre el tiempo de muestreo sin limpieza. Se determinó que implementar medidas de protección para evitar acumulación de hojas y tierra disminuye la contaminación del agua

La muestra del agua de escorrentía almacenada tomada previo a la limpieza, desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico, el parámetro color no cumple con un resultado de 300 unidades en la escala Pt-Co, los coliformes totales y fecales no cumplen con un resultado de  $\geq 1,600$  NMP/100ml. Los demás parámetros cumplen la normativa con los siguientes resultados, la temperatura con 24 °C, pH de 6.4, conductividad 83  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , TDS con 44 mg/L, turbiedad de 3 UNT, dureza 32 mg/L, calcio 13 mg/L, magnesio 0 (cero) mg/L, y cloruros con 35 mg/L.

Cuando se llevan a cabo las actividades de limpieza, todos los parámetros cumplen el LMA ó LMP de dicha norma según los siguientes resultados, dureza 4 mg/L, cloruros 5 mg/L, fluoruros 0.1 mg/L, nitratos 10 mg/L, nitritos 0.04 mg/L, hierro 0.1 mg/L, manganeso 0.03 mg/L, color 25 unidades en la escala de Pt-Co, turbiedad 2 NUT, conductividad 15  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , TDS 8mg/L, sulfatos 1 mg/L, temperatura 23 °C, coliformes <2 NMP/100ml. Los resultados anteriores son los correspondientes a la primera muestra tomada después de la limpieza, y conforme transcurrió el tiempo sin limpieza y se analizaron las siguientes muestras, el color ya no cumple el LMP a partir de la muestra 4 con un resultado de 45 unidades en la escala Pt-Co, y el manganeso ya no cumple a partir de la muestra 7 con un resultado de 0.1mg/L.

Al implementar medidas de limpieza en el techo de captación, tanque de almacenamiento y canaletas, así como medidas de protección que disminuyan la acumulación de tierra y hojas; se mejora la calidad del agua de lluvia almacenada como lo demuestran los parámetros de color y coliformes, cuyo resultado para el color en el análisis inicial en donde se encontró el MOSAFARI en condiciones sin mantenimiento; fue de

300 UDC y luego de la limpieza tuvo un resultado de 25 unidades en la escala Pt-Co. El valor de los coliformes inicialmente fue mayor a 1,600 NMP/100 ml contra cero después de la limpieza. Los demás parámetros se encontraron en cumplimiento con la norma en ambos escenarios, pero más elevados previo a la limpieza.

El MOSAFARI evaluado no contaba con manual de operación y mantenimiento. Según el estudio especial "Captación de Agua de Lluvia (Almacenamiento y Calidad), por Medio de un Módulo Sanitario Familiar de Rápida Instalación" (Aguilar Muñoz) se realizó el manual de operación y mantenimiento, indicando los principales criterios trabajados en este artículo, enfatizando en la frecuencia de la limpieza de cada uno de los componentes del MOSAFARI, uso de mecanismo para evitar acumulación de hojas y tierra, y criterio de ubicación del módulo basado en el principio del pluviómetro, que indica implementar una distancia horizontal igual a 2 veces la diferencia de alturas entre el techo de captación y la copa del árbol.

Se debe de incluir en las actividades de mantenimiento el monitoreo del mecanismo de descarte de primeras lluvias, ya que estas lluvias hacen una limpieza inicial de la atmósfera, y el agua tiende a ser ácida y con alta concentración de sólidos en suspensión.

Se debe de emplear un mecanismo que no permita que las hojas de los árboles circundantes se acumulen dentro de la canaleta recolectora, ya que estas aportan al agua de un color que en función de la Norma Coguarnor 29 001 no cumple el límite máximo admisible y permisible para consumo humano.

Es necesario dejar previsto un mecanismo de acceso para alcanzar las áreas de captación que tributen caudal hacia la canaleta recolectora que va hacia el tanque de almacenamiento del MOSAFARI, ya que de lo contrario no será de común práctica la limpieza de este elemento por su dificultad de acceso a ellas.

Considerando que la calidad de agua de lluvia obtenida en el tanque de almacenamiento es bastante buena pero susceptible en algunos parámetros, se recomienda la instalación de un mecanismo de filtración, tipo filtro casero de arena y carbón activado para asegurar la calidad del agua para consumo humano.

## Referencias

Aguilar Muñoz, Rolando David. "Captación de Agua de Lluvia (Almacenamiento y Calidad), por Medio de un Módulo Sanitario Familiar de Rápida

Instalación". Estudio Especial. USAC, ERIS. Guatemala 2017.

Flores Aceda, Carlos David. "Evaluación de la Calidad del Agua de Lluvia e Infraestructura de Cisternas Rurales, para Diferentes Usos". Estudio Especial. USAC, ERIS. Guatemala 1996.

OPS/OMS. Guatemala. Enero de 2013. <[http://www.paho.org/gut/index.php?option=com\\_content&view=article&id=530&Itemid=216](http://www.paho.org/gut/index.php?option=com_content&view=article&id=530&Itemid=216)>

OPS/OMS. Guatemala. Enero de 2013. <[http://www.paho.org/gut/index.php?option=com\\_content&view=article&id=543](http://www.paho.org/gut/index.php?option=com_content&view=article&id=543)>

UNICEF. Sistema de captación y almacenamiento de Agua de lluvia para abastecimiento a comunidades rurales. Guatemala, 1997.

## Información del Autor

Ingeniero civil, Rolando David Aguilar Muñoz, graduado de ingeniero civil en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar de Guatemala (URL) en el año 2010, con experiencia en el área de tratamiento de aguas residuales por 5 años.

M.Sc. en Ingeniería Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS de la Universidad de San Carlos de Guatemala.