



Diciembre/29/2016

Informe final de actividades

Análisis de la calidad del agua en sistemas de captación de agua de lluvia

Programa de Manejo Uso y Reúso del Agua en la UNAM

Isla Urbana

Participantes PUMAGUA

M. en C. Cecilia Lartigue Baca

Biól. Carlos Kegel Pacheco

Participantes Isla Urbana

Enrique Lomnitz

Niall Nolan



Contenido

Informe final de actividades.....	1
Actividades desarrolladas	3
Área de estudio	4
San Miguel Topilejo	4
Pedregal de San Nicolás	4
Paraje Quiltepec	4
Objetivo	4
Método.....	4
Toma de muestras.....	4
Parámetros analizados	5
Tratamiento de datos.....	6
Resultados	7
Resultados por casa.....	9
Casas condiciones deficientes	9
Casas condiciones óptimas.....	15
Resultados investigaciones	21
Investigación b:	21
Investigación c	21
Discusión	21
Conclusiones	22
Principales problemas observados.....	23
Recomendaciones	23
Bibliografía	25

Actividades desarrolladas

- Se visitaron y seleccionaron 6 casas de acuerdo a dos criterios: condiciones óptimas y deficientes, cuatro de ellas ubicadas en San Miguel Topilejo, una en Pedregal de San Nicolás 2ª sección y la última localizada en San Andrés Totoltepec, además de seleccionar 4 puntos de monitoreo para cada una de ellas.
 - 1) Condiciones óptimas (mejor grupo): se identificó que los componentes de los sistemas de captación presentaran buena higiene, se tomó en cuenta el estado del techo, cisterna y tinaco.
 - 2) Condiciones deficientes (peor grupo): se siguió el mismo procedimiento que para el mejor grupo, únicamente que en este se buscaba que presentaran deficiencias en la higiene general del sistema.
- Para cada grupo se seleccionó una casa con un tipo de techo:
 - 1) lamina
 - 2) loza
 - 3) loza impermeabilizada
- Los puntos de toma de muestra seleccionados en cada casa fueron:
 - 1) Tambo (agua captada directa del techo, antes de pasar por el tlaloque (separador de primeras lluvias)).
 - 2) Cisterna de almacenamiento.
 - 3) Después de filtros (posterior al paso de los filtros de hilos y carbón activado).
 - 4) Tinaco.
- Se aplicaron cuestionarios para conocer el estado y condiciones de los sistemas de captación (periodicidad de la limpieza del techo, cisterna, tinacos y el estado de los componentes de los sistemas: filtro de hojas, tlaloque, filtros de hilos y de carbón activado).
- Se realizó limpieza en caso de que lo requirieran (condiciones óptimas), se cambió el filtro de hojas, se adicionaron pastillas de hipoclorito de calcio (20-24 a cada clorador), se cambiaron los filtros de hilo y de carbón activado y se realizó la instalación del tornillo para el drenado automático del tlaloque.
- Se colocó la desviación “Y” y el tambo para recolección del agua directa del techo.
- Se realizó la toma de muestras con frecuencia semanal o quincenal, esto dependió de la intensidad de las lluvias y de la disponibilidad de las personas para recibarnos.
- Al finalizar el estudio, se conectaron los sistemas como se encontraban antes de la investigación.

Área de estudio

El estudio se desarrolló en tres zonas de la delegación Tlalpan en la Ciudad de México:

San Miguel Topilejo

- Cerrada de Juvija S/N, San Miguel Topilejo.
- Cerrada Magnolias #45 y #46
- Cerrada de Margaritas #46

Pedregal de San Nicolás

- Tinum #174, Pedregal de San Nicolás 2ª. Sección, Tlalpan, Ciudad de México.

Paraje Quiltepec

- Paraje Quiltepec S/N, San Andrés Totoltepec, Tlalpan, Ciudad de México.

Objetivo

Evaluar la calidad del agua de lluvia a través de las diferentes etapas del sistema de captación propuesto por Isla Urbana (kit plata) e identificar si existen diferencias significativas entre las diferentes etapas y los tipos de techo.

Método

Toma de muestras

La toma de muestras se realizó con una frecuencia semanal y quincenal, esto dependió de la intensidad de las lluvias y de la disponibilidad de las personas, en total se realizaron 12 muestreos en un periodo de tres meses.

Tabla 1. Calendario de muestreos, las casillas indicadas de color verde señalan los días en que se realizó la toma de muestras.

Agosto 2016							Septiembre 2016							Octubre 2016						
Do	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa
	1	2	3	4	5	6					1	2	3							1
7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10	2	3	4	5	6	7	8
14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17	9	10	11	12	13	14	15
21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24	16	17	18	19	20	21	22
28	29	30	31				25	26	27	28	29	30		23	24	25	26	27	28	29
														30	31					

Para todos los sitios se siguió el mismo procedimiento, primero se tomaron las muestras microbiológicas y posteriormente las fisicoquímicas. Las muestras se tomaron de acuerdo a los procedimientos sanitarios establecidos en la NOM-230-SSA1-2002.

A continuación se describe el proceso de toma de muestras para cada sitio:

- 1) ****Tambo:** se utilizó un muestreador destinado únicamente para esta etapa, esto con el objetivo de evitar contaminación cruzada, la muestra se tomó a una profundidad media del volumen que presentara el tambo en ese momento.
- 2) ***Cisterna:** se tomó directamente a una profundidad media del volumen registrado en ese momento, utilizando el muestreador destinado para esta etapa.
- 3) ***Después de filtros:** para la toma de muestras era necesario encender la bomba que subía el agua de la cisterna hacia el tinaco, esta tenía que ser tomada antes de que el agua se mezclara con la del tinaco.
- 4) ***Tinaco:** se tomó a una profundidad media del volumen que presente en ese momento.

***Dispositivo para muestreo utilizado únicamente en esta etapa.*

** Dispositivo utilizado para el resto de las etapas.*

Parámetros analizados

Los parámetros analizados al igual que los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, (2000), se muestran en la Tabla 2, esta norma se utilizó como referencia para el análisis de los resultados. Los parámetros de pH, temperatura y cloro residual se analizaron en campo, mientras que los coliformes, nitratos y sulfatos se conservaron y transportaron para su posterior análisis en laboratorio.

Tabla 2. Parámetros analizados y límites permisibles.

Parámetros	Límites establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, (2000)
1. Cloro residual libre	0.2 mg/L-1.5 mg/L
2. Coliformes fecales	Ausentes (UFC)
3. Coliformes totales	Ausentes (UFC)
4. Sulfatos	400 mg/L
5. Nitratos	10 mg/L
6. pH	6.5-8.5
7. Sólidos disueltos totales	1000 mg/L
8. Turbiedad	5 UTN
9. Temperatura	No normada

Tratamiento de datos

Los resultados obtenidos, se analizaron de acuerdo a lo establecido en la Tabla 3, esto mediante análisis estadísticos (gráficos (barras, caja y bigote), t de students, regresión lineal y ANOVAS).

Tabla 3. Investigaciones realizadas.

Investigación (a)			Investigación (b)			Investigación (c)	Investigación (d)		
Condiciones óptimas									
Casa: A ₁	B ₁	C ₁	Casa: A	B	C	A ₁ M ₁ vsB ₁ M ₁ vsC ₁ M ₁	Casa: A ₁	B ₁	C ₁
M ₁ vs M ₁	M ₁ vs M ₁	M ₁ vs M ₁	A ₁ M ₁ vsA ₂ M ₁	B ₁ M ₁ vsB ₂ M ₁	C ₁ M ₁ vsC ₂ M ₁		M ₁₋₁ vs M ₁₋₂ vs M ₁₋₃	M ₁₋₁ vs M ₁₋₂ vs M ₁₋₃	M ₁₋₁ vs M ₁₋₂ vs M ₁₋₃
M ₁ vs M ₂	M ₁ vs M ₂	M ₁ vs M ₂	A ₁ M ₂ vsA ₂ M ₂	B ₁ M ₂ vsB ₂ M ₂	C ₁ M ₂ vsC ₂ M ₂		M ₂₋₁ vs M ₂₋₂ vs M ₂₋₃	M ₁₋₁ vs M ₁₋₂ vs M ₁₋₃	M ₁₋₁ vs M ₁₋₂ vs M ₁₋₃
M ₁ vs M ₃	M ₁ vs M ₃	M ₁ vs M ₃	A ₁ M ₃ vsA ₂ M ₃	B ₁ M ₃ vsB ₂ M ₃	C ₁ M ₃ vsC ₂ M ₃		M ₃₋₁ vs M ₃₋₂ vs M ₃₋₃	M ₁₋₁ vs M ₁₋₂ vs M ₁₋₃	M ₁₋₁ vs M ₁₋₂ vs M ₁₋₃
M ₁ vs M ₄	M ₁ vs M ₄	M ₁ vs M ₄	A ₁ M ₄ vsA ₂ M ₄	B ₁ M ₄ vsB ₂ M ₄	C ₁ M ₄ vsC ₂ M ₄		M ₄₋₁ vs M ₄₋₂ vs M ₄₋₃	M ₄₋₁ vs M ₄₋₂ vs M ₄₋₃	M ₄₋₁ vs M ₄₋₂ vs M ₄₋₃
Condiciones deficientes									
Casa: A ₂	B ₂	C ₂				A ₂ M ₁ vsB ₂ M ₁ vsC ₂ M ₁	Casa: A ₂	B ₂	C ₂
M ₁ vs M ₁	M ₁ vs M ₁	M ₁ vs M ₁				M ₁₋₁ vs M ₁₋₂ vs M ₁₋₃	M ₁₋₁ vs M ₁₋₂ vs M ₁₋₃	M ₁₋₁ vs M ₁₋₂ vs M ₁₋₃	
M ₁ vs M ₂	M ₁ vs M ₂	M ₁ vs M ₂				M ₂₋₁ vs M ₂₋₂ vs M ₂₋₃	M ₁₋₁ vs M ₁₋₂ vs M ₁₋₃	M ₁₋₁ vs M ₁₋₂ vs M ₁₋₃	
M ₁ vs M ₃	M ₁ vs M ₃	M ₁ vs M ₃				M ₃₋₁ vs M ₃₋₂ vs M ₃₋₃	M ₁₋₁ vs M ₁₋₂ vs M ₁₋₃	M ₁₋₁ vs M ₁₋₂ vs M ₁₋₃	
M ₁ vs M ₄	M ₁ vs M ₄	M ₁ vs M ₄				M ₄₋₁ vs M ₄₋₂ vs M ₄₋₃	M ₄₋₁ vs M ₄₋₂ vs M ₄₋₃	M ₄₋₁ vs M ₄₋₂ vs M ₄₋₃	
Llave									
A ₁ – Loza (la mejor condición - MC)									
A ₂ – Loza (la peor condición - PC)									
B ₁ – Lámina (MC)									
B ₂ – Lámina (PC)									
C ₁ - Loza impermeabilizada (MC)									
C ₂ - Loza impermeabilizada (PC)									
M ₁₋₄ – Puntos de muestra 1-4 (donde M ₁ = Medición de referencia: la calidad del agua del techo sin tratamiento)									

Resultados

Los parámetros fisicoquímicos (nitratos, sulfatos, turbiedad y sólidos disueltos totales) cumplieron en todo momento con lo establecido en la normatividad. Los parámetros de pH, cloro residual libre, coliformes totales y coliformes fecales, han incumplido al menos una vez con lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994, (2000). Todas las muestras obtenidas del tambo (directas del techo), presentan contaminación microbiológica por coliformes fecales y/o totales, además de otros microorganismos (Fig. 2), en el Gráfico 1 podemos observar que si bien los tres tipos de techo presentaron contaminación microbiológica, el techo de lámina muestra la menor concentración de coliformes fecales, siendo la superficie más recomendable para realizar la captación de agua de lluvia, por otra parte, el techo de loza registró la mayor concentración de coliformes fecales, por lo cual sería el menos indicado para la captación, esto debido a su alta porosidad que aumenta la capacidad de retención de contaminantes.

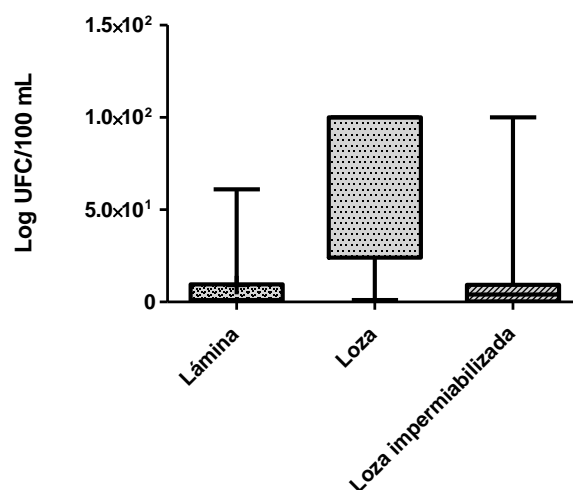


Gráfico 1. Gráfico de caja y bigote, comparativa entre los distintos materiales de techo y las concentraciones de coliformes fecales.

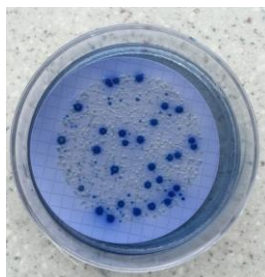


Fig. 1- Muestra obtenida directamente del techo de loza (Magnolias #45), cada punto azul representa una Unidad Formadora de Colonias (UFC/100 mL) de coliformes fecales.

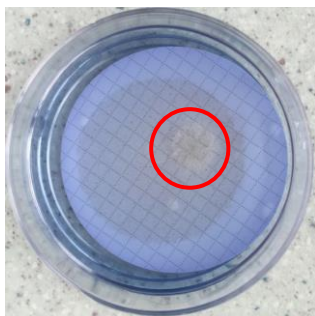


Fig. 2- Muestra obtenida después de filtros (cda. de Juvija), no se observa contaminación por coliformes fecales, sin embargo, se presenta crecimiento de lo que parece ser un hongo filamentoso (no identificado).

En el Gráfico 2, se observa la diferencia entre los casas con condiciones óptimas y deficientes, las primeras mostraron una concentración de coliformes mayor, con respecto a las segundas, encontrando que las condiciones de higiene no son determinantes sobre la presencia o ausencia de microorganismos coliformes.

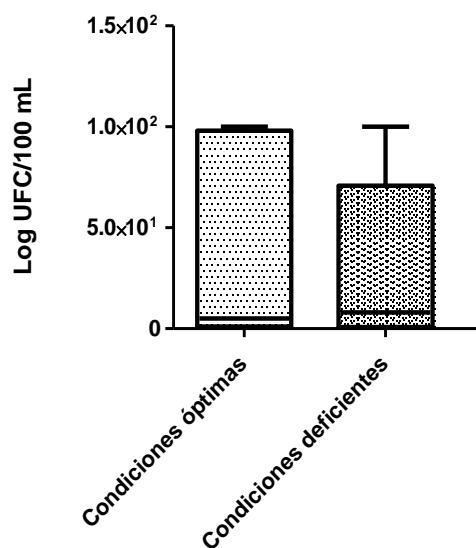


Gráfico 2. Gráfico de caja y bigote, comparativa entre condiciones de higiene y la concentración de coliformes fecales.

También se encontraron otros tipos de contaminantes que no se encuentran normados, como: materia orgánica (hojas e insectos) y materia inorgánica (polvo y restos de techo en el caso de la loza y loza impermeabilizada).

La temperatura de todas las muestras oscilo entre los 12°C y 33°C, los registros más bajos se reportaron para el sitio de muestreo del tambo (directa del techo), mientras las más elevadas para después de filtros, esto debido a que el la luz calienta los tubos o mangueras por donde se transporta el agua, incrementando de esta manera la temperatura.

Resultados por casa

Casas condiciones deficientes

Cda. Magnolias 45 (loza)

Se encontró que los parámetros de nitratos, sulfatos, solidos disueltos totales y turbiedad, cumplieron con lo establecido en la normatividad en todas las muestras. Por otra parte, el cloro residual, pH y coliformes fecales y totales, incumplieron al menos una vez con lo establecido en la normatividad.

Cda. Magnolias 45		
Condiciones deficientes		
Parámetro	Número de veces que incumplió	Porcentaje de incumplimiento*
pH	3	12%
Cloro residual libre	10	41%
Coliformes fecales	3	12%
Coliformes totales	3	12%

**Mediciones realizadas: 24 totales y 18 para cloro residual, para calcular el porcentaje de incumplimiento de coliformes se tomaron en cuenta únicamente estas últimas.*

En el Gráfico 3, se observa el comportamiento de las mediciones de pH, estas son ligeramente más alcalinas para las muestras del tambo, y dos de ellas no cumplieron con la normatividad. Posterior a esto se presenta una disminución en las unidades de pH para el resto de las mediciones, encontrándose dentro de la normatividad, a excepción de una medición que registró un valor de 6.1 unidades (después de filtros), en el tinaco los valores oscilaron siempre dentro de los límites establecidos.

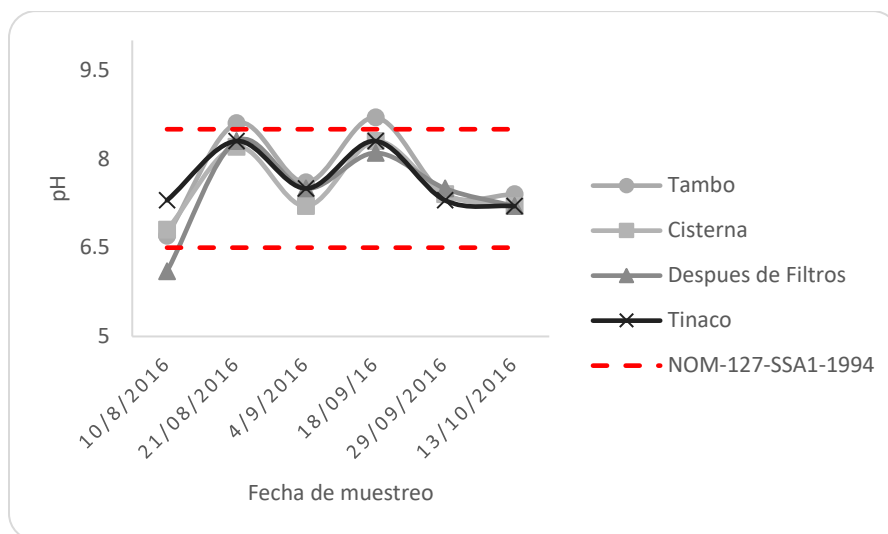


Gráfico 3. Comportamiento pH a lo largo del periodo de muestreo y en cada etapa del sistema.

El comportamiento del cloro residual se observa en el Gráfico 4, donde el valor máximo fue de 8.8 mg/L, y el mínimo de 0 mg/L, el aumento repentino se debe a que previamente se colocaron 10 pastillas de hipoclorito de calcio, ya que en eventos anteriores no se habían registrado cloro residual, sin embargo, el número de pastillas no fue el adecuado, obteniendo concentraciones demasiado elevadas.

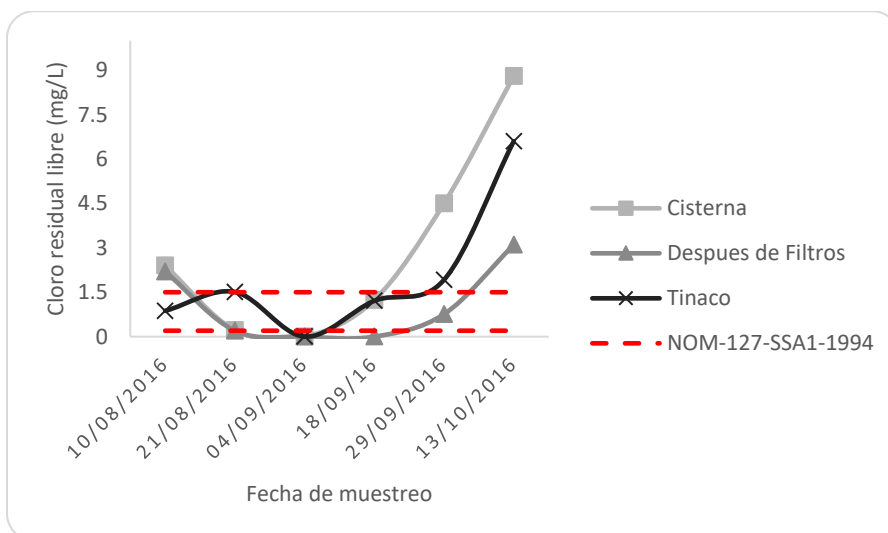


Gráfico 4. Comportamiento cloro residual a lo largo del periodo de muestreo y en cada etapa del sistema.

En el gráfico 5, se observa la distribución de los valores de cloro residual en cada etapa del sistema, correspondiendo con el comportamiento esperado, donde la mayor concentración de cloro residual se encuentra en la cisterna (lugar donde se realiza la desinfección) y la menor en el tinaco (punto de uso).

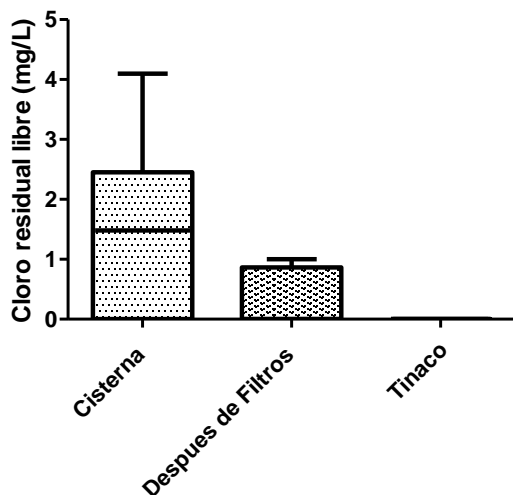


Gráfico 5. Gráfico de caja y bigote, comportamiento observado del cloro residual en cada etapa del sistema de captación.

En el Gráfico 6, se puede observar el comportamiento del cloro residual y de los coliformes, donde se observa que ante la ausencia de cloro se presenta contaminación microbiológica, evidenciado así la importancia del sistema de desinfección.

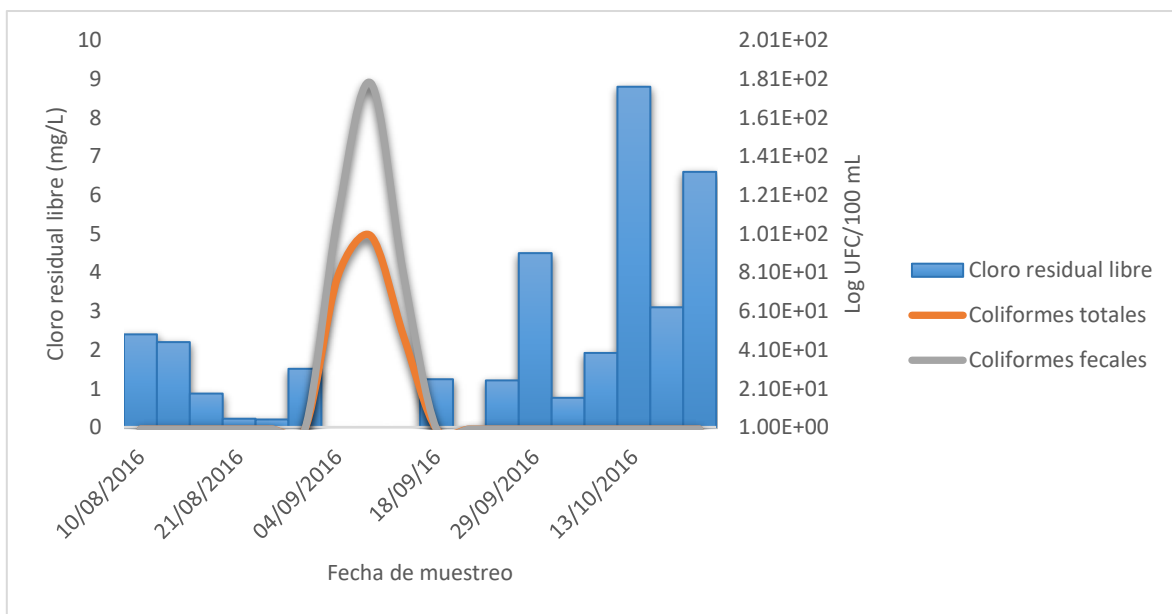


Gráfico 6. Comportamiento cloro residual libre, coliformes totales y fecales.

Se encontraron diferencias significativas entre muestreos para las etapas de: cisterna, después de filtros y tinaco, con relación al primer sitio (tambo), esto para los parámetros de nitratos, sulfatos y turbiedad, cabe resaltar que esto se debió al aumento en las concentraciones de estos parámetros. De igual forma se encontró una correlación positiva ($R^2=0.66$) entre el aumento de cloro residual y la concentración de nitratos.

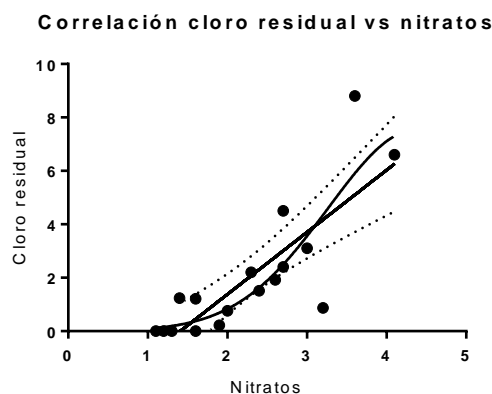


Gráfico 7. Correlación cloro residual vs nitratos, expresado en mg/L.

Paraje Quiltepec (lamina)

Para este sitio únicamente se seleccionaron tres puntos de muestreo, ya que el punto de consumo directo es después de filtros y el agua no se almacena en tinaco. Se encontró que los parámetros de nitratos, sulfatos, sólidos disueltos totales, turbiedad, pH, coliformes totales y fecales, cumplieron con lo establecido en la normatividad en todas las muestras. Por otra parte, el cloro residual libre incumplió 54% con respecto al número total de muestras.

Paraje Quiltepec		
Condiciones deficientes		
Parámetro	Número de veces que incumplió	Porcentaje de incumplimiento*
Cloro residual libre	6	54%

*Mediciones realizadas: 17 totales y 11 para cloro residual.

Como se observa en el Gráfico 8, los valores registrados presentan un máximo de 8.8 mg/L, estas concentraciones ponen en riesgo la salud de los usuarios al no cumplir con los límites establecidos. Las mediciones de después de filtros también registraron valores superiores a los establecidos en la normatividad, encontrando que el filtro de carbón activado no retira de manera correcta el exceso de cloro. La disminución que se observa, ocurrió durante los episodios de más lluvia, presentando una concentración mínima de 0.33 mg/L. El día 18 de septiembre no se pudo obtener la muestra de después de filtros, debido a que no había luz para prender la bomba.

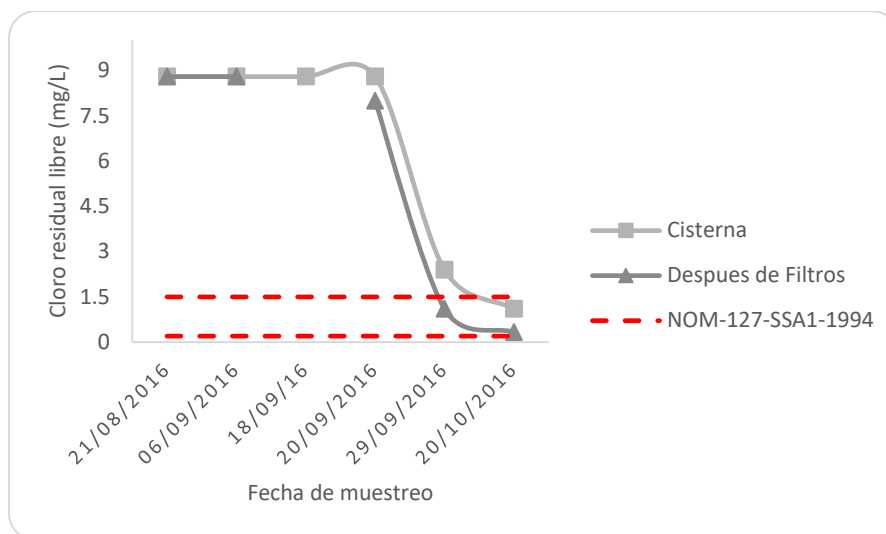


Gráfico 8. Comportamiento cloro residual a lo largo del periodo de muestreo y en cada etapa del sistema.

Se encontraron diferencias significativas entre muestreos para las etapas de cisterna y después de filtros, con relación a la primera etapa (tambo), esto para las mediciones de nitratos y SDT. Ambos parámetros aumentan su concentración.

Se presentaron dos correlaciones con valores significativos: la primera entre nitratos y SDT, a medida que aumentan uno el otro también lo hace ($R^2=0.90$), la segunda se presentó entre el cloro residual y los nitratos ($R^2=0.97$), concentraciones altas de cloro residual (fuera de norma en este caso), se relacionan con un aumento en la concentración de nitratos, sin embargo, estos siempre cumplieron con lo establecido en la normatividad, presentando un valor máximo de 6.6 mg/L.

Cda. de Juvija (loza impermeabilizada)

Se encontró que los parámetros de nitratos, sulfatos, sólidos disueltos totales y turbiedad, cumplieron con lo establecido en la normatividad en todas las muestras. Por otra parte, el cloro residual, pH, coliformes fecales y totales, incumplieron al menos una vez con la normatividad.

Cda. de Juvija		
Condiciones deficientes		
Parámetro	Número de veces que incumplió	Porcentaje de incumplimiento*
Cloro residual libre	14	100%
pH	2	8.6%
Coliformes fecales	7	50%
Coliformes totales	14	100%

Mediciones realizadas: 23 totales y 14 para cloro residual, para calcular el porcentaje de incumplimiento de coliformes se tomaron únicamente estas últimas.

Se encontró que 100% de las mediciones de cloro residual se encontraba fuera de los límites establecidos, presentando concentraciones por debajo del límite mínimo establecido 92% de las veces, la única ocasión que se registró cloro residual este se encontraba por arriba del límite máximo (1.6 mg/L), debido a que en un principio se adicionaron 10 pastillas de hipoclorito de calcio a la cisterna, en ese momento esta contaba con el nivel de agua necesario para que el clorador liberara el producto, sin embargo, el volumen de agua disminuyó, dejando el dispositivo de cloración fuera del agua impidiendo que se realizara la desinfección.

En el Gráfico 9, se observa que las mediciones de pH son alcalinas para los sitios de tambo y cisterna (8.7 y 8.8 respectivamente), encontrándose fuera de los límites establecidos, posterior a esto se presentó una disminución para la etapa de después de filtros. En el tinaco los valores oscilaron siempre dentro de los límites permisibles. La toma de muestra del tinaco del día 4 de septiembre no se pudo realizar, debido a que el volumen de agua era muy bajo.

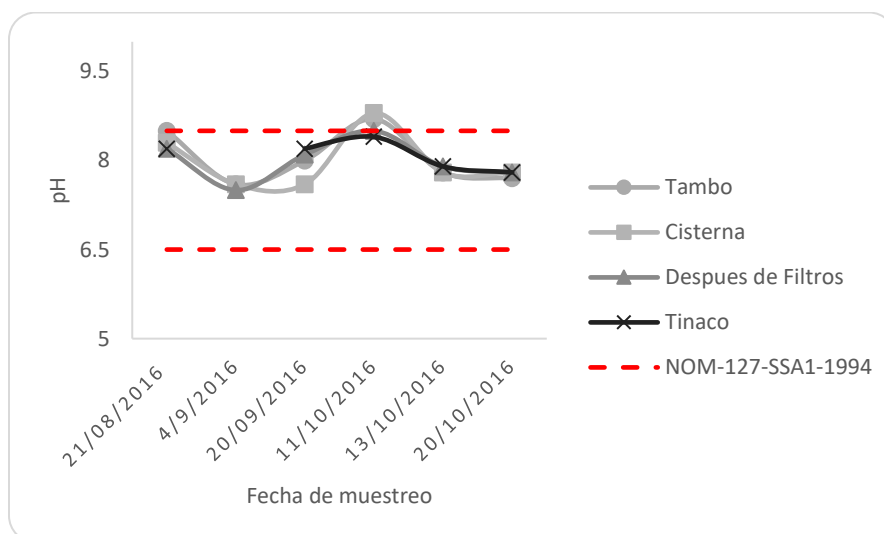


Gráfico 9. Comportamiento pH a lo largo del periodo de monitoreo y en cada etapa del sistema.

En el Gráfico 10, se observa que la ausencia de cloro residual, permite la presencia de coliformes, encontrándose hasta 23 UFC/mL para coliformes fecales y 125 UFC/100mL para coliformes totales, este evento coincide también con la compra de media pipa de agua, se observa que aun cuando se presentó cloro residual existió contaminación microbiológica, esto debido a la formación de biofilms en los tubos que transportan el agua.

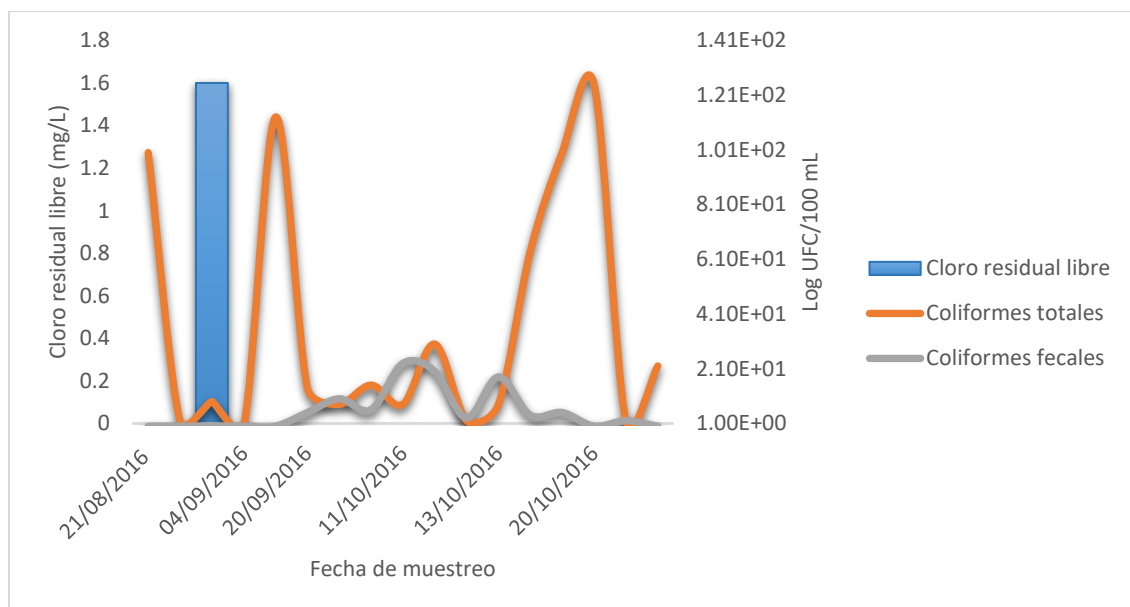


Gráfico 10. Comportamiento cloro residual libre, coliformes totales y fecales.

Se encontraron diferencias significativas entre muestreos para la etapa de la cisterna, con relación a la primera etapa (tambo), esto para las mediciones de turbiedad. La turbiedad disminuye conforme el agua pasa por las el sistema, hasta presentar los valores más bajos en el tinaco, comportamiento que se esperaba en todos los casos por la acción de los filtros de sedimentos y de carbón activado.

Casas condiciones óptimas

Tinum (lamina)

Se encontró que los parámetros de turbiedad, nitratos, sulfatos, solidos disueltos totales y turbiedad cumplieron con lo establecido en la normatividad en todo momento. Por otra parte, el cloro residual, pH, coliformes fecales y totales incumplieron al menos una vez con la normatividad.

Tinim		
Condiciones óptimas		
Parámetro	Número de veces que incumplió	Porcentaje de incumplimiento*
Cloro residual libre	14	93%
pH	3	15%
Coliformes totales	4	26%

*Mediciones realizadas: 20 totales y 15 para cloro residual, para calcular el porcentaje de incumplimiento de coliformes se tomaron únicamente estas últimas.

El cloro residual presentó un incumpliendo del 93%, registrando un máximo de 8.8 mg/L, como se observa en el Gráfico 11, los picos de cloro residual se presentaron después de añadir 8 pastillas de hipoclorito de calcio en la cisterna, posterior a esta etapa las concentraciones disminuyeron hasta los 0 mg/L registrados en el tinaco, haciendo evidente el correcto funcionamiento del filtro de carbón activado.

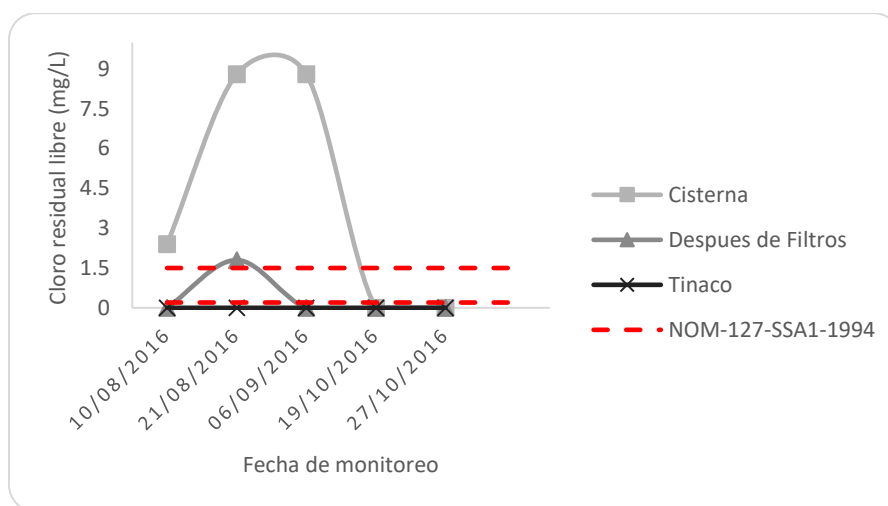


Gráfico 11. Comportamiento cloro residual a lo largo del periodo de muestreo y en cada etapa del sistema.

En el Gráfico 12, se observa que las concentraciones de pH tienden a ser alcalinas, encontrando valores de hasta 9.3 unidades para el tambo, esta tendencia se presenta en todas las etapas. Las mediciones del tinaco oscilaron dentro de los límites establecidos en la normatividad.

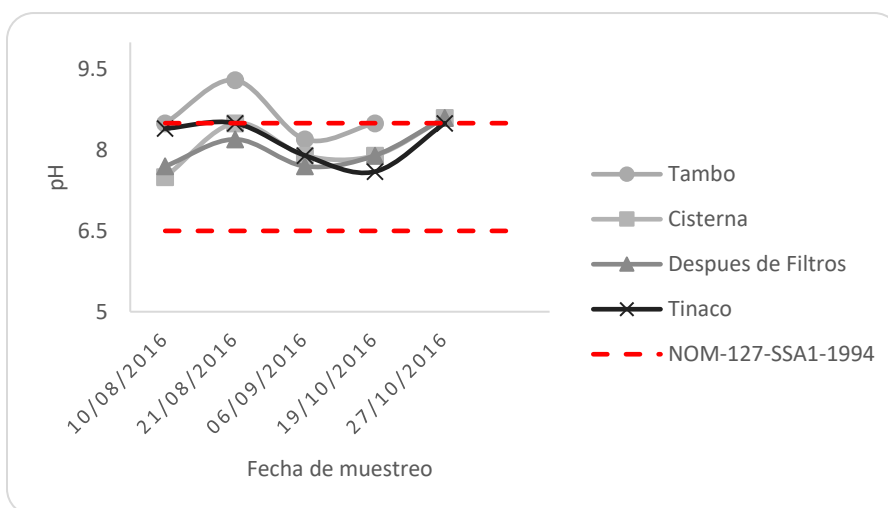


Gráfico 12. Comportamiento pH a lo largo del periodo de muestreo y en cada etapa del sistema.

En el Gráfico 13, se observa el comportamiento antes observado, en ausencia de cloro residual existe la presencia de contaminación microbiológica, este tipo de techo presentó una concentración de coliformes menor en comparativa con los otros tipos de techo.

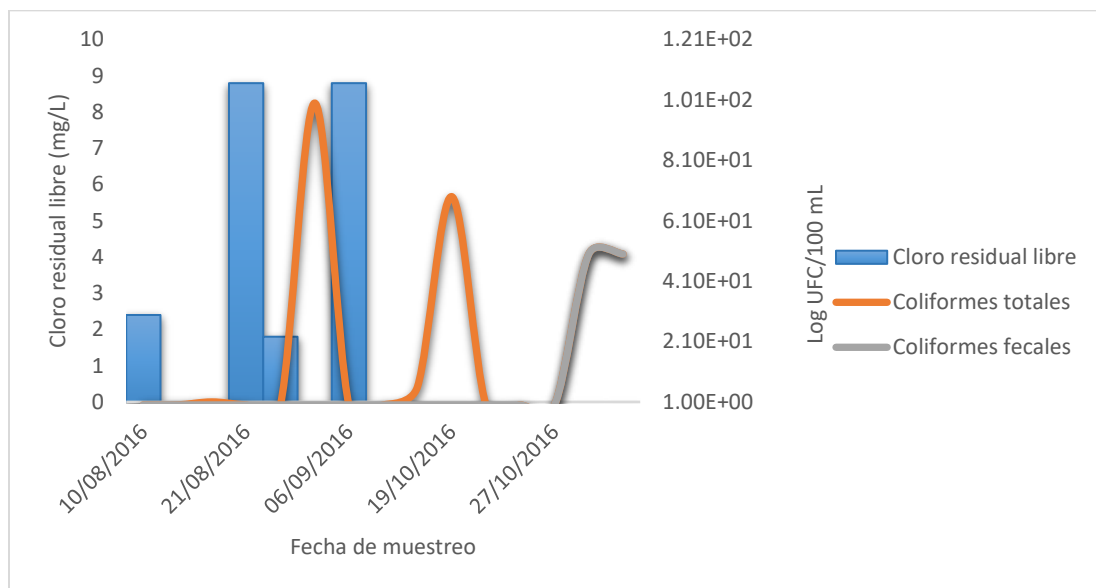


Gráfico 13. Comportamiento cloro residual libre, coliformes totales y fecales.

Se encontraron diferencias significativas entre muestreos para la etapa de cisterna y tinaco, con relación a la primera etapa (tambo), esto para el parámetro de SDT, los cuales aumentan su concentración en cada etapa del sistema, las mediciones más altas se registran en el tinaco (128 mg/L), esto puede deberse al arrastre de partículas a través del sistema.

Cda. Magnolias 46 (loza)

Se encontró que los parámetros de turbiedad, nitratos, sulfatos, sólidos disueltos totales, pH y coliformes fecales cumplieron con lo establecido en la normatividad en todas las muestras. Por otra parte, el cloro residual y coliformes totales incumplieron al menos una vez con la normatividad.

Cda. Magnolias 46		
Condiciones óptimas		
Parámetro	Número de veces que incumplió	Porcentaje de incumplimiento*
Cloro residual libre	11	61%
Coliformes totales	10	55%

*Mediciones realizadas: 24 totales y 18 para cloro residual, para calcular el porcentaje de incumplimiento de coliformes se tomaron únicamente estas últimas.

Como se observa en el Gráfico 14, los valores de cloro residual presentaron un valor máximo de 4.1 mg/L, este pico se presentó debido a que en muestreos anteriores se agregaron 10 pastillas de hipoclorito de calcio, los valores registrados en el tinaco fueron de 0 mg/L para todas las mediciones.

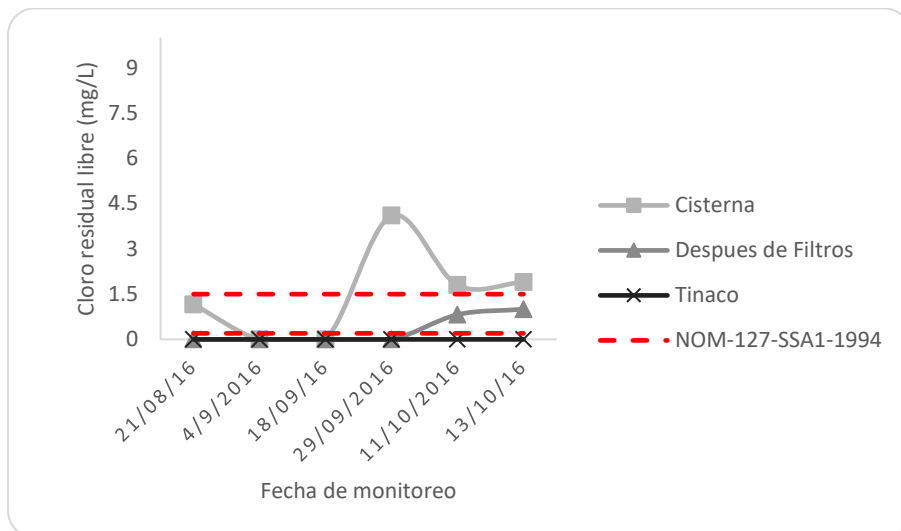


Gráfico 14. Comportamiento cloro residual a lo largo del periodo de muestreo y en cada etapa del sistema.

En el Gráfico 15, se observan picos de contaminación por coliformes totales en las ocasiones donde el cloro residual estuvo ausente, no se presentó contaminación por coliformes fecales.

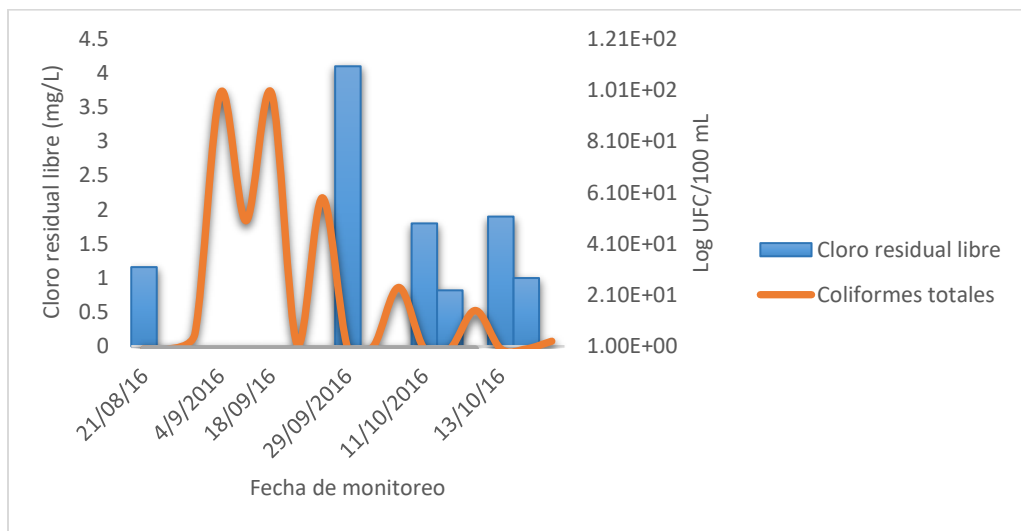


Gráfico 15. Comportamiento cloro residual libre y coliformes totales.

Se encontraron diferencias significativas entre los sitios de cisterna después de filtros y tinaco, con relación al primer sitio de muestreo (tambo), esto para el parámetro de SDT, estos aumentan su concentración, conforme avanzan las etapas, las mediciones más altas se registran en el tinaco.

Margaritas

Se encontró que los parámetros de turbiedad, nitratos, sulfatos, solidos disueltos totales, turbiedad y coliformes fecales cumplieron con lo establecido en la normatividad. Por otra parte, el cloro residual, pH y coliformes totales incumplieron al menos una vez con la normatividad.

Margaritas		
Condiciones óptimas		
Parámetro	Número de veces que incumplió	Porcentaje de incumplimiento *
pH	3	12%
Cloro residual libre	16	66%
Coliformes totales	11	61%

*Mediciones realizadas: 24 totales y 18 para cloro residual, para calcular el porcentaje de incumplimiento de coliformes se tomaron únicamente estas últimas.

En el Gráfico 16, se observa que las concentraciones de pH tienen a ser más alcalinas, encontrando valores de hasta 8.7 unidades para el tambo, esta tendencia se presenta en todas las etapas. Las mediciones del tinaco oscilaron dentro de los límites establecidos en la normatividad.

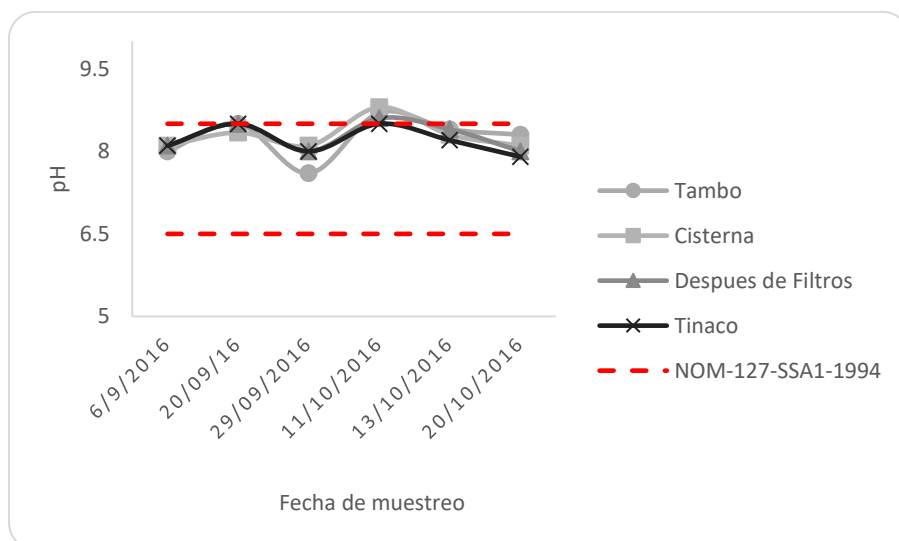


Gráfico 16. Comportamiento pH a lo largo del periodo de monitoreo y en cada etapa del sistema.

En el Gráfico 17, se observa como el cloro residual cumplió únicamente con dos muestras de acuerdo a lo establecido en la normatividad, presentando 66% de incumplimiento, el pico observado se debe a que previamente se le habían colocado 8 pastillas de cloro, lo cual resulto excesivo, elevando así las concentraciones de cloro residual (6.9 mg/L).

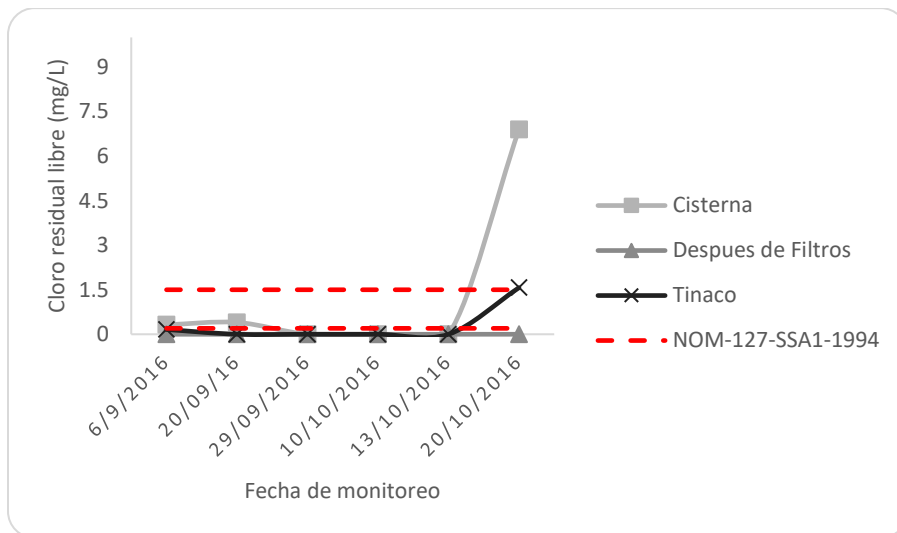


Gráfico 17. Comportamiento cloro residual a lo largo del periodo de monitoreo y en cada etapa del sistema.

En el Gráfico 18, se observan el comportamiento antes descrito, en las ocasiones donde hubo cloro residual no se presentó contaminación microbiológica. No se registraron casos de contaminación por coliformes fecales, aun cuando se observaron restos de heces fecales en el techo.

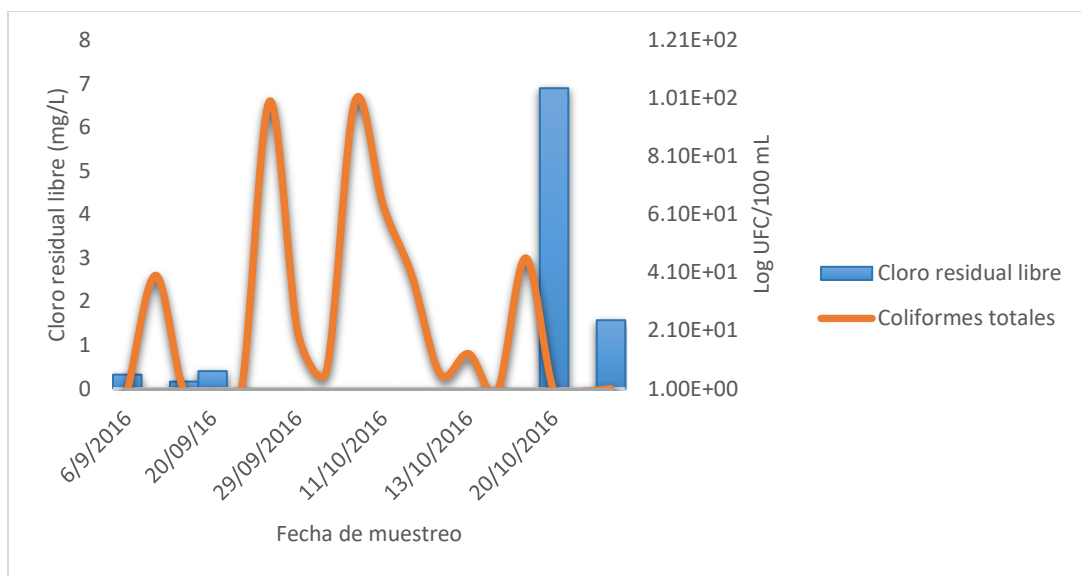


Gráfico 18. Comportamiento cloro residual libre y coliformes totales.

Resultados investigaciones

Los resultados de las diferentes investigaciones establecidas en la [tabla 3](#) indican lo siguiente:

Investigación b:

Se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de nitratos respecto a las casas de techo de lámina, en la de lámina de asbesto correspondiente al grupo de condiciones deficientes, se obtuvo una concentración mayor de nitratos, con respecto a la de lámina de policarbonato.

Investigación c

Se encontraron diferencias significativas en las mediciones de nitratos, sulfatos y SDT, resultando concentraciones más altas para la casa del grupo de condiciones deficientes con techo de loza.

Para las casas de condiciones óptimas se encontró, que existen diferencias significativas en las mediciones de sulfatos y SDT, de igual forma la casa con techo de loza reportó las concentraciones más altas.

No son diferentemente significativos entre los tipos de techos propuestos. Todos los parámetros mencionados anteriormente cumplieron con lo establecido en la normatividad.

Discusión

La contaminación microbiológica por coliformes totales y fecales, así como la ausencia o exceso de cloro residual, fueron los principales problemas detectados en la investigación, representando así un riesgo para las personas que utilizan el agua para sus actividades diarias. En un principio se creía que la recolección de agua de lluvia era más limpia que la de ríos y lagos, ya que esta nunca tocaba el suelo, sin embargo, estudios recientes sugieren, que el agua captada de los techos puede resultar un riesgo a la salud si no recibe un tratamiento previo, arrastrando bacterias que ocasionan enfermedades gastrointestinales como: *Salmonella*, *Campylobacter*, helmintos, protozoarios entre otros (Gwenzi *et al.*, 2015; Ahmed *et al.*, 2010), resaltando así la importancia del correcto funcionamiento del sistema de desinfección y del tratamiento que recibe el agua posterior a este, ya que las personas tienen contacto directo con esta en actividades como: lavado de dientes y manos, bañarse, lavar ropa, etc.

La literatura sugiere que la espacialidad y la temporalidad de la calidad del agua captada va a depender de: 1) material del techo, 2) propiedades de la precipitación, 3) clima local y 4) características químicas de los contaminantes (Abbasi y Abbasi, 2011).

Por otra parte la aparición de *Escherichia coli* puede deberse a la deposición fecal de aves y animales (Ahmed *et al.*, 2012). Gwenzi *et al.*, 2015 resumen que la calidad del agua puede variar de ciudad en ciudad, sin embargo, existe una tendencia, la cual dice que la contaminación microbiana presenta mayor prevalencia en áreas rurales y ciudades en desarrollo que en ciudades desarrolladas, esto puede atribuirse a la actividad de aves y animales así como a contaminación humana. A partir de esto es fundamental la presencia del primer separador de lluvias (Tlaloque), para retirar la mayor concentración de contaminante que el agua arrastre en los primeros minutos de lluvia.

La Organización Mundial de la Salud recomienda el mantenimiento regular y limpieza de los componentes en los sistemas de captación como los son: el techo, los sistemas de transporte y almacenamiento del agua y la prevención de contaminación en el punto de consumo (WHO, 2011). Mendez *et al.*, 2010 indican que el tipo de techo no es el único factor que afecta la calidad del agua captada, si no que la localización geográfica también puede tener influencia en esta, posible explicación por la cual la concentración de nitratos fue mayor en la casa del Paraje Quiltepec, sitio donde es un área principalmente rural, con presencia de abundante vegetación y de animales de ganadería (borregos y pollos) cercanos al área de captación y al sistema en general.

Para el caso de las muestras que presentaron contaminación microbiológica, aun cuando se registró cloro residual, se debe principalmente a la formación de biofilms, los cuales se forman por la unión de microorganismos, que quedan adheridos a las superficies a través de fibras de polisacáridos, esto para maximizar su habilidad de extraer nutrientes y otros microorganismos del agua circundante, los coliformes son comúnmente encontrados en los biofilms. La formación de estos, hace que los microorganismos se vuelvan resistentes a sustancias como el cloro, lo que significa que estas pueden ser removidas del agua y poner en riesgo la salud de las personas (Pathak y Heijnen, 2010).

Conclusiones

- El agua proveniente directa de los techos contiene una alta carga de contaminación microbiológica, la cual disminuye conforme pasa a través de las etapas del sistema y/o cuando ésta se encuentra en contacto con cloro residual libre, sin embargo, si alguna de las etapas del sistema se encuentra en mal estado o con mala higiene, se puede presentar un recrecimiento de microorganismos. Resaltando así la importancia del separador de primeras lluvias y de la presencia del cloro residual, que asegura una buena calidad microbiológica, sin embargo, este parámetro también debe de mantenerse en los límites establecidos en la normatividad (0.2 mg/L a 1.5 mg/L).
- Los niveles de cloro residual libre a partir del número de pastillas colocadas resultaron ser superiores a los límites establecidos en la norma, se reportan valores máximos de más de 8.8 mg/L para los sitios de Paraje Quiltepec y Tinum y valores de 4.1 mg/L y 4.5 mg/L para el caso de Magnolias 46 y 45 respectivamente. También se han registrado niveles de cloro residual por debajo del límite mínimo, lo cual deja el agua vulnerable a contaminación por microorganismos.
- Los valores observados de pH tienden a ser alcalinos para todas las muestras.
- Los filtros de carbón activado no retiran el cloro residual como deberían, esto es probablemente a los altos niveles de cloro residual. Se ha encontrado contaminación microbiológica después de filtros, esto aun cuando existe la presencia de cloro, probablemente debido a que el agua se distribuye por mangueras o tubos de plástico que en combinación con otros factores ambientales como la temperatura, promueven el crecimiento de microorganismos y la formación de biofilms.
- Se registra presencia de coliformes totales y/o fecales en el agua del tinaco en todas las muestras, esto puede deberse a la ausencia de cloro residual libre y/o a la falta de higiene.

- Los parámetros de turbiedad, sólidos disueltos totales, nitratos y sulfatos han cumplido con lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994, (2000), en todas las muestras.
- El agua debe de cumplir con lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994, (2000), para poder ser utilizada sin riesgo alguno.
- El techo de lámina es el que presenta una concentración menor de contaminantes microbiológicos, por el contrario el techo de loza es el que presenta la mayor concentración.

Principales problemas observados

- Las familias que cuentan con sistemas pueden realizar modificaciones de manera sencilla, afectando así el correcto funcionamiento de los sistemas.
- Las personas no tienen información suficiente de donde o como adquirir los repuestos de los filtros y de las pastillas de hipoclorito, por lo que muchas veces estos no reciben el mantenimiento necesario.
- Localizar a las personas fue complicado y dificultó las labores de muestreo.
- Se observó que en hogares con más de 4 integrantes el agua captada no es suficiente, por lo que cuando necesitan agua optan por la compra de pipas, la cual no puede garantizar que es de buena calidad.

Recomendaciones

- Al realizar la cloración dejar pasar un tiempo de aproximadamente 24 horas, antes de hacer uso del agua, esto para asegurar que los microorganismos han sido eliminados completamente.
- La higiene de todos los componentes del sistema es esencial para mantener el agua con calidad microbiológica adecuada.
- Se requiere verificar que haya la cantidad adecuada de cloro residual, para prevenir contaminación microbiológica por coliformes.
- Es indispensable verificar la limpieza de las mangueras o tubos por donde se transporta el agua, para evitar el crecimiento de microorganismos.
- Se pueden utilizar elementos que evalúen el riesgo y las acciones requeridas, como se muestra en la Figura 3.

		Sanitary Inspection Risk Score (Susceptibility of rainwater to contamination by human and animal faeces)			
		0-2	3-5	6-8	9-10
E. Coli Classification (counts/100 ml)	<1				
	1-10				
	11-100				
	>100				

Key:

Low Risk: No action required	Intermediate risk: Low action priority	High Risk: High action priority	Very High Risk: Urgent action required
------------------------------------	--	---------------------------------------	--

Fig. 3- Inspección sanitaria y evaluación de riesgo; medidas de control sobre las acciones a tomar en la captación de agua de lluvia proveniente de los techos de hogares. Tomada de Gwenzi *et al.*, 2015.

- Es necesario investigar a detalle el número de personas que se puede abastecer haciendo uso del sistema de captación (kit plata) propuesto por Isla Urbana.
- Estudiar la posibilidad de almacenar el agua de pipas en otro dispositivo distinto a la cisterna principal, esto para evitar la contaminación del agua de lluvia.
- Al seleccionar los sistemas de captación deben asegurarse que los techos no estén expuestos de preferencia a la caída de hojas o de heces de aves, de igual forma los roedores no deberán tener acceso a estos, así como animales caseros como: perros y gatos.
- Realizar una investigación a cerca de la formación de compuestos orgánicos, como son los trihalometanos (resultantes de la combinación de cloro residual y materia orgánica), ya que estos compuestos pueden llegar a ser carcinógenos.
- Homogeneizar los materiales utilizados para transportar el agua durante todo el proceso de captación y evitar materiales que promuevan el crecimiento de microorganismos.
- Medir la profundidad total de la cisterna, para a partir de esto colocar la longitud suficiente de hilo que se sujeta el clorador, esto en caso de que el agua de la cisterna descienda hasta el nivel mínimo se realice la desinfección de manera adecuada.

Bibliografía

1. Abbasi, T. and Abbasi, S. (2011). Sources of Pollution in Rooftop Rainwater Harvesting Systems and Their Control. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(23), pp.2097-2167.
2. Ahmed, W., Goonetilleke, A. and Gardner, T. (2010). Implications of faecal indicator bacteria for the microbiological assessment of roof-harvested rainwater quality in southeast Queensland, Australia. *Canadian Journal of Microbiology*, 56(6), pp.471-479.
3. Ahmed, W., Sidhu, J. and Toze, S. (2012). An Attempt to Identify the Likely Sources of *Escherichia coli* Harboring Toxin Genes in Rainwater Tanks. *Environmental Science & Technology*, 46(9), pp.5193-5197.
4. DOF (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 modificada en el 2000. Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano, Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México, D.F., 22 de noviembre.
5. DOF (2000). Norma Oficial Mexicana, NOM-179-SSA1-1998. Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público. México, D.F. 19 de junio.
6. DOF (2003). Norma Oficial Mexicana, NOM-230-SSA1-2002. Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano, Requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua, procedimientos sanitarios para el muestreo. México, D.F., 1 de agosto.
7. Gwenzi, W., Dunjana, N., Pisa, C., Tauro, T. and Nyamadzawo, G. (2015). Water quality and public health risks associated with roof rainwater harvesting systems for potable supply: Review and perspectives. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 6, pp.107-118.
8. Mendez, C., Afshar, B., Kinney, K. Barret, M. y Kirisits, M. (2010). Effect of Roof Material on Water Quality for Rainwater Harvesting Systems. Texas Water Development Board.
9. Pathak, N. y Heijnen, H. (2007). Rainwater Harvesting and Health Aspects Working on WHO guidance.
10. WHO, 2011. Guidelines for drinking-water quality.