

Evaluación del método “SODIS” en la desinfección del agua para abastecimiento en La Guadalupe, Chirgua, municipio Bejuma del estado Carabobo.

Ivomne Garrido^a, Rafael Fernández Da Silva^{*,a}, Vincenzo Storaci^a

^aLaboratorio de Biotecnología Aplicada (LBA), Departamento de Biología, Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología (FACYT), Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

Resumen.-

Esta investigación consistió en evaluar SODIS en la desinfección del agua para abastecimiento en la Hacienda La Guadalupe, municipio Bejuma del Estado Carabobo, cuyos habitantes no tienen acceso al agua potable. Se trataron muestras de 2000 mL de agua del Río Chirgua durante 6 horas aplicando SODIS, guía Meierhofer (2003). Se evaluó la eficiencia del método empleando muestras de 5000mL y un reflector solar. Se determinaron parámetros físico-químicos: pH, temperatura, OD, conductividad, turbidez, sólidos totales, nutrientes y parámetros microbiológicos (coliformes totales y fecales) a muestras de agua natural y tratada. Se emplearon equipos de medición, técnicas analíticas y métodos estándares. Se concluyó que los parámetros físico-químicos de las muestras se encontraron en norma pero reportaron presencia de coliformes totales: 260-760 UFC/100mL y coliformes fecales: 20 UFC/100mL. La eficiencia del método fue del 100 %. Muestras de 5000 mL requieren de 2 días tratamiento para su potabilización, empleando o no reflector solar. El agua de La Guadalupe se clasifican como Tipo 1, Subtipo 1-A. Se recomienda implementar un programa social que permita fomentar la aplicación del método SODIS y comunicar a los habitantes sobre las medidas básicas de recolección y disposición de desechos sólidos a fin de minimizar la contaminación del agua.

Palabras clave: Desinfección solar, Microorganismos patógenos en agua, Potabilización óptimo.

Evaluation of SODIS method in the disinfection of water supplied in Guadalupe, Chirgua, Bejuma municipality of Carabobo state.

Abstract.-

This research was evaluated SODIS on the water supply disinfection in the Hacienda La Guadalupe, Carabobo State Bejuma town whose inhabitants do not have access to drinking water. Water samples of 2000 ml of Chirgua River were treated for 6 hours using SODIS, using Meierhofer guide (2003). The efficiency of the method using 5000 mL samples and solar reflector. Were determined physicochemical parameters: pH, temperature, DO, conductivity, turbidity, total solids, nutrients and microbiological parameters (total and fecal coliforms) in natural water samples and treated. Measurement equipments, analytical techniques and standards methods were used. It was concluded that the physicochemical parameters of the samples were on standard but they reported the presence of total coliforms: 260-760 UFC/100mL and fecal coliforms: 20 UFC/100mL. The efficiency of the method was 100 %. 5000 mL samples require two days for their purification treatment using solar reflector or not. The water of the Guadalupe are classified as Type 1 Subtype 1-A. It is recommended to implement a social program for promoting the application of SODIS and inform residents about the basic measures of collection and disposal of solid waste to minimize water pollution.

Keywords: Solar disinfection, Pathogenic microorganisms in water, Potabilization.

Recibido: Diciembre 2012

Aceptado: Julio 2013

1. Introducción.

El agua, es una sustancia esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de la vida y es el recurso natural más abundante en la tierra, cubre aproximadamente tres cuartas partes de la superficie del planeta. Por consiguiente, el agua es el principal componente del cuerpo humano y de allí la importancia y la razón por la cual debe presentarse libre de patógenos que pudieran poner en riesgo la salud y la vida.

Cabe destacar que la UNICEF y la Organización Mundial de la Salud, OMS, en su informe de abastecimiento y saneamiento de agua del año 2000 estimaron que un billón de personas no tiene acceso a ningún tipo de abastecimiento de agua y que dos billones de personas no tienen acceso al agua potable. El informe expresa que, 2.2 millones de personas en su mayoría niños mueren cada año en los países subdesarrollados por enfermedades asociadas a la contaminación y carencia de agua potable.

Dentro de este marco, el agua es sin duda esencial para la vida y por lo tanto debe ser suficiente y de buena calidad, sin embargo, son muchas las comunidades en el mundo que no tienen acceso al agua potable o simplemente carecen de agua segura. La falta de acceso de un agua de buena calidad provoca un riesgo de enfermedades hídricas como es el caso de la diarrea.

El término potable se refiere a un agua bebible y que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. También se aplica al agua que ha sido tratada para el consumo humano según las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales. El término de desinfección se refiere a la destrucción de organismos patógenos presentes en el agua con la finalidad de impedir la diseminación de enfermedades hídricas.

Es por ello que el propósito de esta investigación consistió en evaluar el uso de la energía solar empleando el método SODIS en la desinfección del agua para abastecimiento en el caserío de la Hacienda de la Guadalupe, municipio Bejuma del Estado Carabobo dicho método se presenta como una versátil e innovadora herramienta de desinfección del agua para una comunidad desprovista de agua potable, basándose en una metodología sencilla, de bajo costo y que está al alcance de todos y cuyo objeto es que pueda ser utilizada como una alternativa para la obtención de agua potable segura.

2. Metodología.

2.1. Muestreo.

Se recolectaron manualmente muestras por triplicado de 2000 mL de agua del río, dos muestras una vez al mes por un período de seis meses, durante los meses de julio de 2011 hasta enero de 2012. Los puntos de muestreo se denominaron: Hacienda la Guadalupe 10°17'27" de latitud Norte y 68°10'26" de longitud Oeste a una altura de 822 msnm., Hacienda Los Ochoas a 10°15'21" de latitud Norte y 68°10'53" de longitud Oeste a una altura de 699 msnm. y El Dique a 10°16'56" de latitud Norte y 68°10'30" de longitud Oeste a una altura de 662 msnm., estos dos últimos puntos aguas abajo.

2.2. Materiales y métodos.

La recolección se llevó a cabo en recipientes de plástico PET (politereftalato de etileno) limpios y transparentes los cuales se rotularon con los siguientes aspectos: identificación de la muestra, fecha de recolección, temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto; se preservaron en una cava con hielo y se trasladaron al Laboratorio de Biotecnología Aplicada (LBA) de la Universidad de Carabobo, se resguardaron en una nevera hasta que se analizaron de acuerdo al tiempo establecido en la norma COVENIN 2709:2002.

Los análisis para la caracterización físico-química y microbiológica del agua cruda y tratada se hicieron de acuerdo a las normas venezolanas y a las técnicas de medición analíticas estándar. Para

*Autor para correspondencia

Correo-e: rfernandez2@uc.edu.ve (Rafael Fernández Da Silva)

analizar los límites permitidos y la clasificación del agua se siguió lo estipulado en las Normas sanitarias de calidad del agua potable en Venezuela (Gaceta 36.395) y las Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos (Decreto 883). Los análisis físicos, temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto se realizaron *in situ*. La turbidez se midió empleando el método nefelométrico. La cuantificación de nutrientes (fosfato, nitrato, nitrato y sulfato), se realizó a partir de 1000 mL de agua del río tomando en consideración las curvas de calibración obtenidas a partir de soluciones patrones; para la estimación de sólidos totales se utilizó el método de evaporación hasta sequedad a 100°C.

Por otra parte, se cuantificó el número de unidades formadoras de colonias (UFC) del grupo de coliformes totales y coliformes fecales. Se realizaron siembras por incorporación de 0,05 mL de la muestra de agua del río, en placas con agar MacConkey, y se incubaron a 37°C (coliformes totales) y a 44°C (coliformes fecales), cuantificándose las UFC a las 24 horas.

2.3. Aplicación del método SODIS.

Para la aplicación del método SODIS se expusieron las muestras de agua a los rayos solares durante 6 horas, siguiendo lo expresado en la guía de aplicación de desinfección solar del agua de Meierhofer [1]. Durante cada hora y después haber alcanzado el tiempo descrito, se realizó la medición de temperatura del agua y se procedió a determinar los parámetros microbiológicos respectivos.

3. Análisis y discusión de resultados.

Los valores correspondientes a los parámetros físicos de las muestras *in situ* en la Tabla 1, arrojaron la siguiente información: El pH de las muestras de La Hacienda La Guadalupe y Los Ochoas (1-7) reveló ser de neutro a ligeramente alcalino, mientras que las muestras del Dique (8-12) revelaron un pH ácido. Las muestras (1 – 7) cumplieron con el requisito exigido por la Norma Sanitaria (Gaceta 36.395). Ahora bien,

Tabla 1: Parámetros físicos de muestras de agua natural para las zonas de estudio.

Muestras	pH	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad (mS/cm)
1	7,91	21,00	6,73	0,19
2	8,38	21,90	7,19	0,21
3	8,33	22,00	7,21	0,22
4	8,33	22,00	7,21	0,22
5	7,13	22,30	6,81	0,26
6	7,13	22,30	6,81	0,26
7	7,20	22,30	6,80	0,26
8	5,39	23,00	5,59	0,36
9	5,36	23,00	5,60	0,34
10	5,29	23,00	5,57	0,33
11	5,12	23,00	5,39	0,33
12	5,18	23,00	5,43	0,33

Muestras: 1-4 La Guadalupe, 5-7 Los Ochoas y 8-12 El Dique.

Tabla 2: Parámetros físicos-químicos de muestras de agua natural para las zonas de estudio.

Muestra	Turbidez (NTU)	Sólidos totales (ppm)	Nitratos (ppm)	Nitritos (ppm)	Fosfatos (ppm)	Sulfatos (ppm)
1	1,5	416	3,6989	0,0050	0,2029	0,1471
2	5,8	320	2,9182	0,0043	0,2512	0,4412
3	15,3	328	2,7323	0,0014	0,9275	0,4412
4	1,6	192	8,4201	0,0017	0,2512	1,0294
5	7,8	244	2,3234	0,0037	0,2029	1,0294
6	8,1	252	2,1375	0,0076	0,4928	1,0294
7	5,2	240	1,9145	0,0033	3,1981	1,0294
8	58,6	160	12,0260	0,0222	1,8937	24,2308
9	63	156	12,9554	0,0222	1,8454	25,7692
10	64,1	188	14,1078	0,0212	1,8454	29,6154
11	65,3	188	13,4015	0,0205	1,9903	28,5897
12	75,4	196	13,6617	0,0228	1,8937	26,0256

Muestras: 1-4 La Guadalupe, 5-7 Los Ochoas y 8-12 El Dique.

Tabla 3: Parámetros microbiológicos de muestras de agua natural para las zonas de estudio.

Muestra	Coliformes totales (UFC/100mL)	Coliformes fecales (UFC/100mL)
1	260	0
2	400	20
3	760	20
4	400	0
5	2460	60
6	400	20
7	660	20
8	2900	0
9	6000	2800
10	5680	0
11	1520	400
12	1140	0

Muestras: 1-4 La Guadalupe, 5-7 Los Ochoas y 8-12 El Dique.

las muestras 8-12 no cumplieron con la Norma

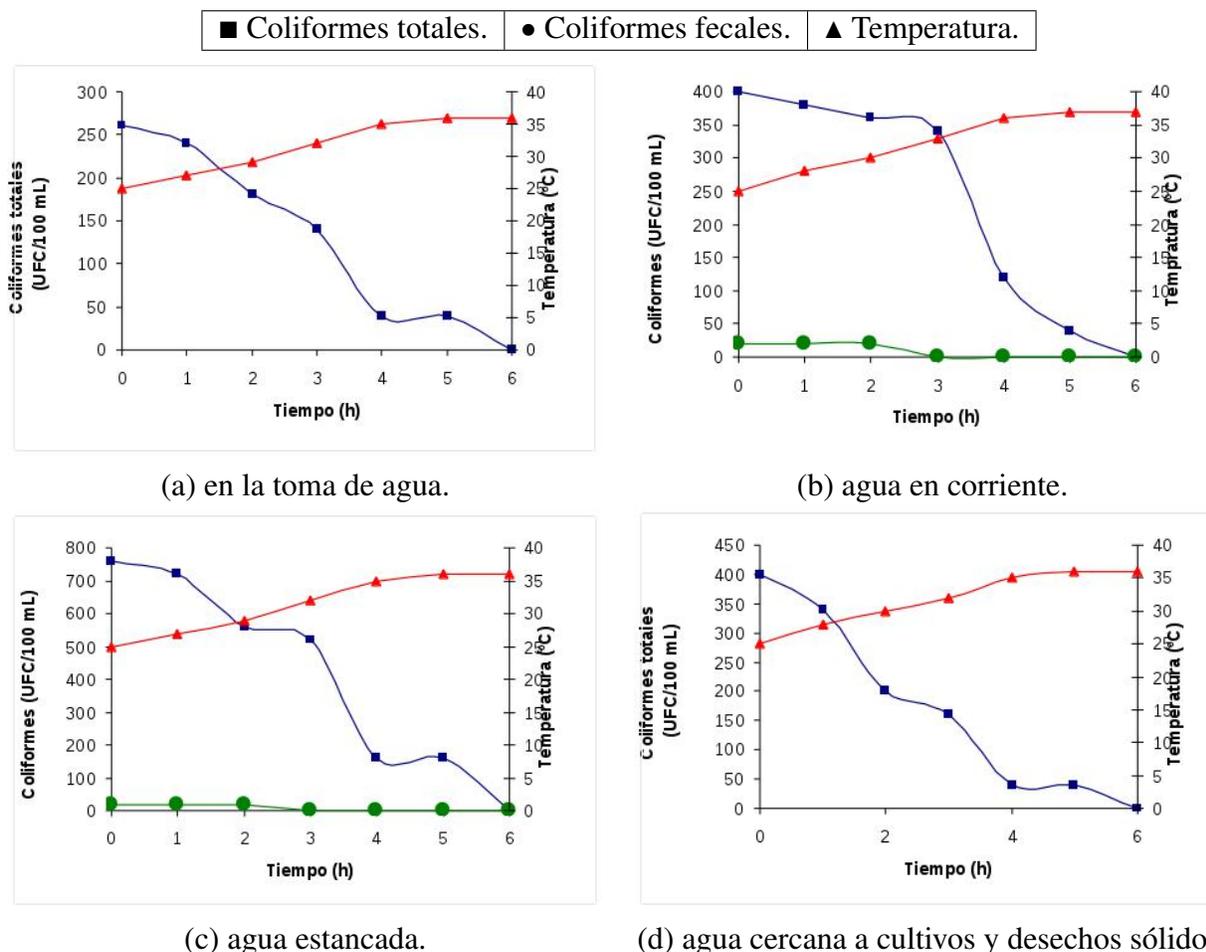


Figura 1: Disminución de coliformes totales y coliformes fecales aplicando el Método SODIS a muestras de agua de la Comunidad La Guadalupe.

puesto que el pH se encuentra por debajo de 6,5, de acuerdo a este valor Chirinos [2] sostiene que estas aguas se consideran corrosivas debido al anhídrido carbónico, ácidos o sales ácidas que tienen en disolución y no es aceptable para la salud. Por otro lado, desde el punto de vista del Decreto 883 [3] los valores de pH de las muestras (1-7) se consideran aceptables, esto favorece la absorción de nutrientes de plantas y la vida de posibles especies acuáticas existentes en el río. Sin embargo, es importante resaltar que si el valor de pH para el Dique sigue descendiendo pudiera poner en riesgo la vida de especies acuáticas existentes ya que Guevara [4] sostiene que valores de pH menores que 4.8 se consideran como límites tóxicos.

En cuanto a los valores de temperatura, este parámetro físico, para la Gaceta 36.395 [5] no

es considerado como indicador de calidad del agua y según el Decreto 883 [3] los valores de temperatura del agua en el río no presentaron valores extremos, es decir, no se reportaron en la zona variaciones por encima a 3°C ya que no se llevan a cabo actividades económicas que pudieran generar líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta al río.

Con respecto al oxígeno disuelto, la Norma Sanitaria [5] no considera este parámetro como un indicador de calidad. Según el Decreto 883 [3], el oxígeno disuelto debe ser mayor a 4 mg/L, encontrándose en este estudio superior a 5,12 mg/L. El análisis de oxígeno disuelto es una prueba importante en la determinación de la contaminación del agua, Chirinos [2] sostienen que en muchas ocasiones la falta de oxígeno es la causa de la muerte de especies acuáticas más que la existencia

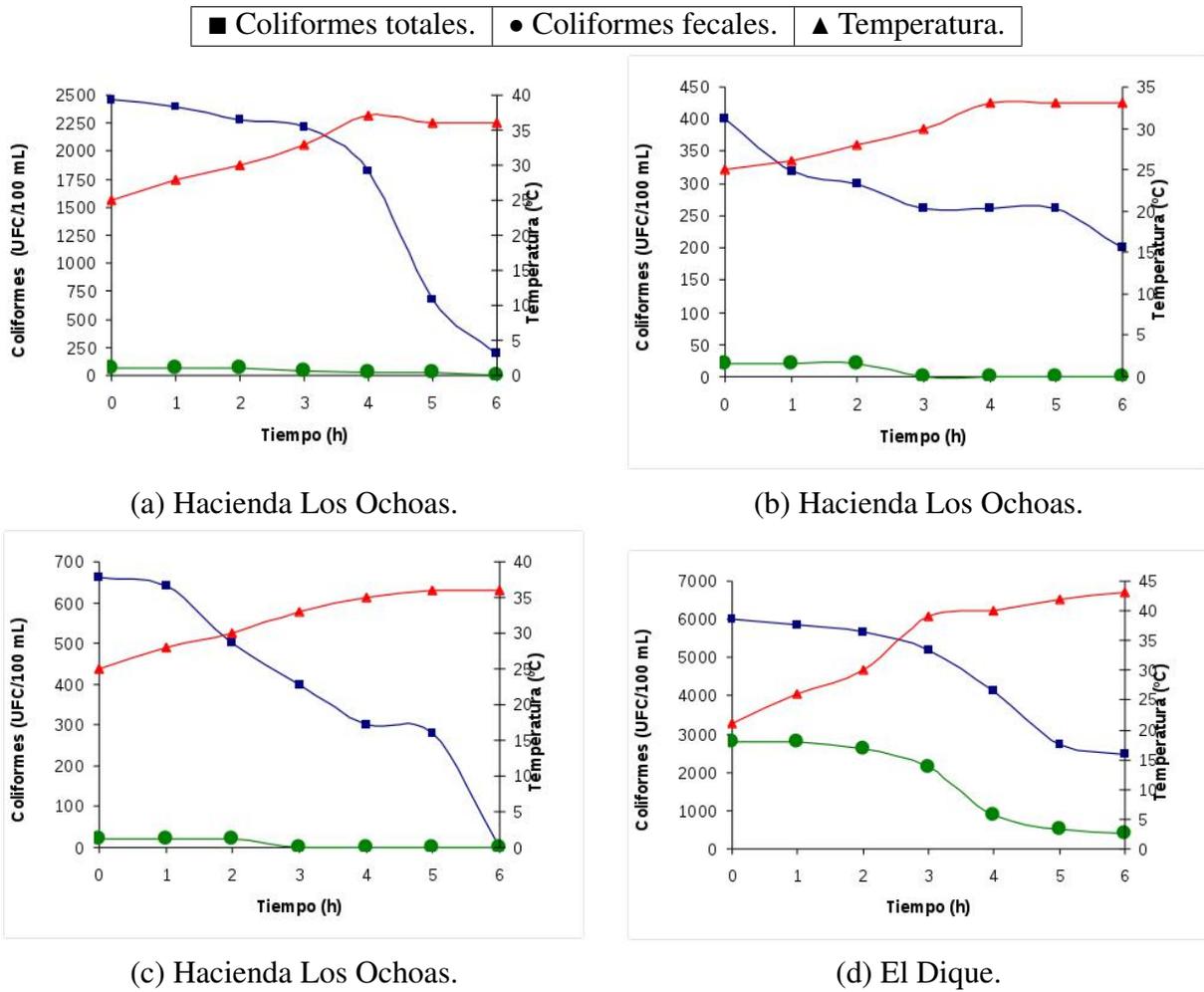


Figura 2: Disminución de coliformes totales y coliformes fecales aplicando el Método SODIS a muestras de agua de la Hacienda Los Ochoas (a, b, c) y El Dique (d).

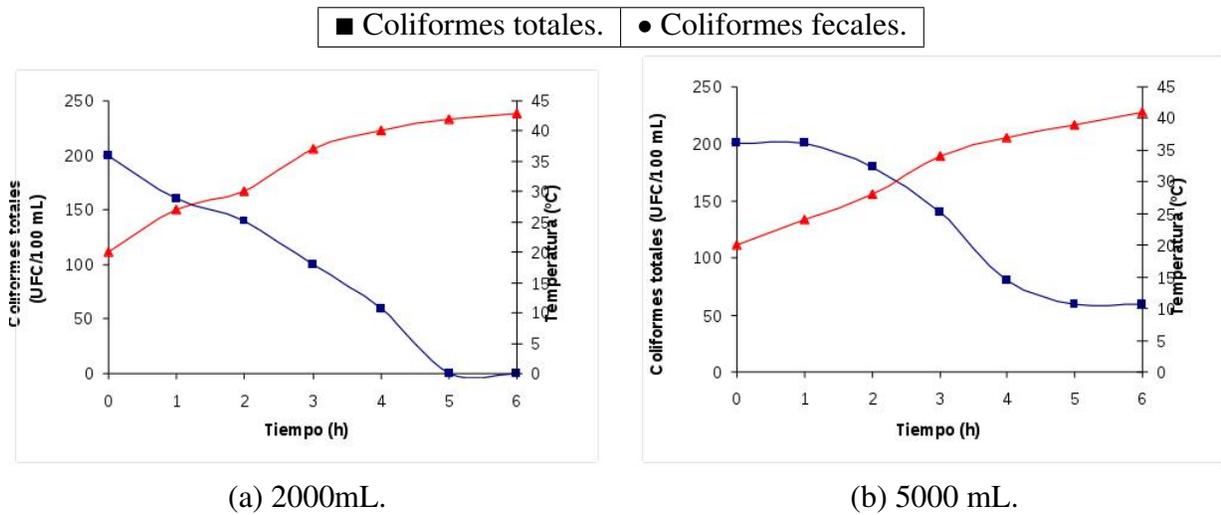


Figura 3: Disminución de coliformes totales y coliformes fecales aplicando re-desinfección a las muestras de agua de la Hacienda Los Ochoas.

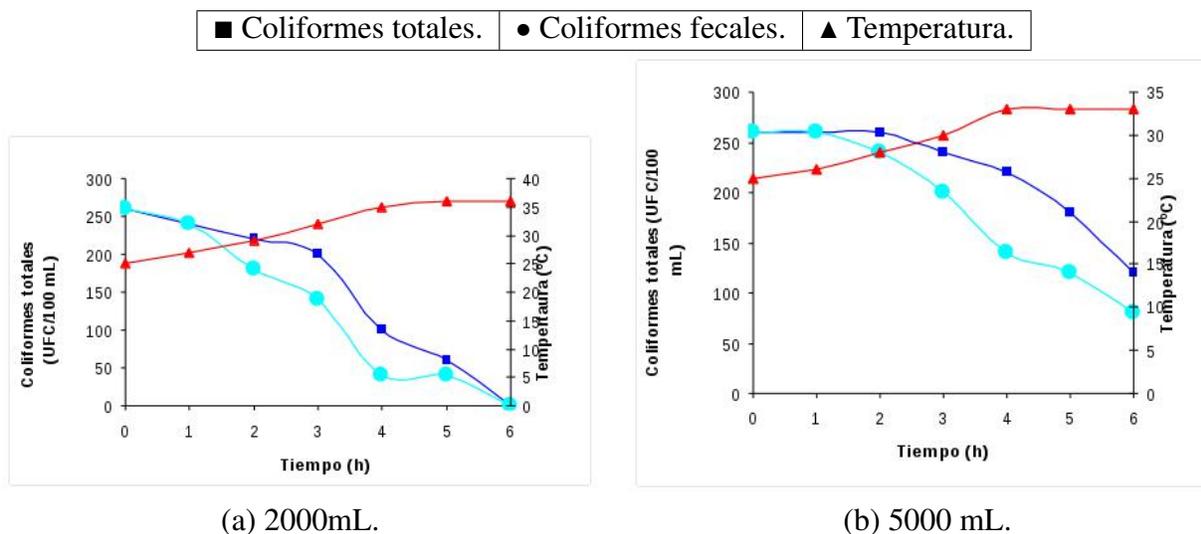


Figura 4: Disminución de coliformes totales aplicando el Método SODIS a muestras de diferentes volúmenes en la toma de agua de la Comunidad La Guadalupe.

de compuestos tóxicos.

En cuanto a la conductividad, en las normas venezolanas no existe un valor reportado como máximo permitido, sin embargo, Lenntech [6] sostiene que para el agua potable los valores de 0.05 a 0.5 mS/cm, por lo tanto los resultados obtenidos se encuentran en el rango reportado por este autor el cual basa sus valores en los estándares europeos de la calidad del agua potable según las directrices de la OMS para la calidad del agua potable, establecidas en Génova, 1993, las cuales son el punto de referencia internacional para el establecimiento de estándares y seguridad del agua potable.

En otro orden de ideas, se muestran los parámetros físicos-químicos en la Tabla 2 determinados a las muestras en estudio. Los valores de turbiedad de las muestras 1-7 cumplen con la Gaceta 36.395 [5], exceptuando el valor de la muestra 3, ya que según la Norma deben tener un valor deseado menor a 1 NTU y un valor máximo aceptable entre 5 y 10 NTU. Para las muestras 8-12 los valores de turbiedad resultaron elevados, superando el máximo permitido por la norma sanitaria [5]. La turbiedad se debe posiblemente a la presencia de partículas suspendidas como arcillas, materias orgánicas o inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados u otros microorganismos, esto de

acuerdo a APHA [7]. Las partículas suspendidas ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos orgánicos tóxicos y pesticidas, nocivos para la salud. Por otra parte, el valor aceptable de turbidez por el Decreto 883 [3] es de 25 NTU, encontrándose las muestras 1-7 dentro de la norma y las muestras 8-12 fuera del rango. El valor elevado de turbidez del Dique es perjudicial para las especies acuáticas presentes debido a que las partículas suspendidas absorben calor de la luz del sol haciendo que las aguas turbias se vuelvan más calientes y reduciendo así la concentración de oxígeno disuelto en el agua. Con respecto a los valores reportados de sólidos totales se encuentran dentro de norma y son aceptables. La Norma Sanitaria [5] indica que el valor deseable menor es de 600 mg/L y el valor máximo aceptable es de 1000 mg/L y para el Decreto 883 [3], los sólidos totales no deben ser mayores a 1500 mg/L.

En cuanto a los valores reportados en este estudio para los nitratos y nitritos son aceptables en vista de que la Norma Sanitaria [5] establece como valores máximos 45,0 y 0,03 ppm respectivamente. La salud humana soporta concentraciones de nitratos en el agua hasta de 45 mg/L; por sobre este límite ocurren cianosis infantil lo que se conoce como bebé azul (methemoglobinemia=blue baby). Por otro lado, los estándares de calidad del agua en los Estados Unidos limitan la concentración de

nitratos a 10 mg/L, por lo que sería conveniente buscar la manera de reducir las concentraciones de nitratos presentes en El Dique en vista de que se encuentran en su máximo valor. Ahora bien, la concentración de nitratos de acuerdo al Decreto 883 [3] se tiene que resultó ser muy alta. Concentraciones mayores a 4,2 mg/L afectan la vida de algunas especies acuáticas como los peces y estimulan el crecimiento de especies como algas. Vale la pena destacar que para lograr un estudio ambiental más riguroso deberían determinarse las concentraciones de nitrógeno ya que el Decreto 883 [3] indica que la suma de concentraciones de nitratos más nitritos, en forma de nitrógeno, no debe superar los 10 mg/L.

En otro contexto, se tuvo que las muestras revelaron valores de fosfatos menores al máximo de 10 ppm fijado por la Norma Sanitaria [5], mientras que para los sulfatos los valores se encuentran por debajo, el valor permitido menor debe ser de 250 mg/L y el mayor aceptable es de 500 mg/L. Es importante mencionar que demasiado fosfato puede causar problemas de salud, por ejemplo, afecciones en los riñones y la osteoporosis mientras que niveles elevados de sulfato ocasionan diarrea y deshidratación siendo los niños más sensibles al sulfato que los adultos; como precaución, no deben ser usadas aguas con un nivel de sulfatos superior a 400 mg/l en la preparación de alimentos para niños. Por otro lado, los valores de fosfato y sulfatos son inferiores a los establecidos en el Decreto 883 [3].

En este sentido y de acuerdo a todo lo expuesto anteriormente, según este Decreto se puede clasificar el agua de La Guadalupe y Los Ochoas como un agua de Tipo 1, Sub Tipo 1-A y el agua del Dique como un agua Tipo 1, Sub Tipo C.

Con respecto a los parámetros microbiológicos reportados en la Tabla 3, indican claramente que las muestras presentan coliformes lo cual señala que el agua es no potable ya que de acuerdo a la Norma Sanitaria [5] ninguna muestra deberá indicar la presencia de organismos coliformes totales ni coliformes fecales o termo resistentes puesto que ponen en riesgo la salud de los individuos.

Para lograr la desinfección de las muestras de agua, éstas se sometieron al método SODIS por

un lapso de seis horas, de 9:00 a.m. a 3:00 p.m. Concluido el procedimiento, se apreció que para la zona de La Guadalupe en la 1, la temperatura mínima promedio del agua al inicio fue de 25,0°C, tiempo cero y la temperatura máxima promedio del agua después de seis horas de exposición a los rayos solares fue de 35,7°C, observándose una disminución de coliformes totales y fecales en función del tiempo debido a la acción en conjunto del aumento de la temperatura del agua en la botella y los efectos de los rayos solares, la disminución fue hasta que la concentración de coliformes se hizo nula.

En las muestras de agua 2 y 3, en la Figura 1 (a) y (b) respectivamente, se logró inactivación de coliformes fecales a las 3 horas de desinfección, este resultado es similar al obtenido por Navarro [8] quienes lograron la completa inactivación de coliformes fecales en 4 horas (de 9:00 a.m. a 1:00 p.m.), en días despejados y días parcialmente nublados alcanzando el agua una temperatura máxima de 41°C.

Los análisis de muestras de agua 2, 3 y 4, Figura 1 (b), (c) y (d) respectivamente, arrojaron que presentan mayor contaminación como era de suponerse ya que están ubicadas aguas abajo del punto principal de toma de agua de la comunidad. La remoción de coliformes se alcanzó en un 100 % en La Guadalupe demostrándose la eficiencia del proceso de desinfección. Primero se alcanzó la completa remoción de coliformes fecales y esto se debe a que son mucho más sensibles a la exposición de la radiación solar con respecto a los coliformes totales tal como lo sostiene Díaz [9] en su investigación. Los coliformes fecales presentes en el agua son sensibles a la radiación solar porque provienen de nuestro estómago e intestinos y no tienen los mecanismos de defensa contra los rayos solares. PROVIDA [10] sostiene que esta es la razón por la que los rayos del sol pueden ocasionar la quema y muerte de estos microorganismos. Es importante señalar que después de siete días de haber aplicado el método SODIS a las muestras de agua, encontrándose éstas a temperatura ambiente, se mantuvieron desinfectadas, el crecimiento bacteriano fue nulo.

Con lo anteriormente expuesto se da cumpli-

miento a la normativa venezolana de que el agua para ingesta humana no debe contener la presencia de coliformes de ninguna naturaleza.

En otro contexto, se tienen que la muestra 7 de la Hacienda Los Ochoas arrojó resultados parecidos a las muestras de La Guadalupe en la Figura 3 (c), esto se debió a que las muestras también poseen baja turbidez y una baja concentración de coliformes totales. Con respecto a los resultados de la muestra 5 en la Figura 2 (a) se aprecia que no se logra la desinfección completa, a pesar de que posee una baja turbidez pero alta concentración de coliformes totales, esto obedeció a que se requiere mucha más radiación solar para remover la gran carga de coliformes totales en un tiempo de 6 horas o bien, utilizar un mayor tiempo de exposición.

Con respecto a la muestra 6, en la Figura 2 (b) cuyo volumen fue de 5000 mL, se puede observar que aunque la muestra posee baja turbidez y bajo contenido de coliformes totales no se logra la desinfección total de la misma debido a que la cantidad de volumen influye en el proceso de desinfección. La intensidad de la radiación UV disminuye con la profundidad y solamente se logra un aumento de temperatura en el volumen de líquido por lo que para lograr una completa desinfección se necesitaría un mayor tiempo de exposición de la muestra al sol. Es por ello que para el empleo del método SODIS bajo condiciones de un día soleado, turbidez menor a 30 NTU y exposición solar de 6 horas se debe emplear un volumen de 500 a 2000 mL de agua. Según Kehoe [11] sostienen que debe usarse un diámetro de profundidad de agua de 6,5 a 11 cm esto con la finalidad de que la radiación solar pueda penetrar y lograr una desinfección completa en conjunto con el aumento de temperatura del líquido.

Por otro lado, la eliminación de coliformes fecales se llevó a cabo en su totalidad para las tres muestras de agua de la Hacienda Los Ochoas (ver Figura 2 (a), (b) y (c)) representando esto una eficiencia del método del 100%. En cuanto a la remoción de coliformes totales se alcanzó un 100% solamente para la muestra 7 mientras que para las muestras 5 y 6 se lograron valores de 92 y 50%, respectivamente. De lo anteriormente expuesto, se hace referencia a un caso parecido

reportado por Encinas [12] quienes sostienen en su investigación que para concentraciones intermedias de coliformes (entre 1050 y 3520 UFC/100 mL) se encontró en algunos casos que después de 7 horas de exposición se llegó a un 100% de eficiencia, en otros casos el porcentaje de eficiencia no fue tan efectivo (entre 42 y 89%). Con esta investigación se pudo llegar a la conclusión que no hay duda de que el método SODIS es muy efectivo, teniendo en cuenta que el éxito depende de la temperatura existente en el ambiente y la radiación solar; Lamb [13] sostienen que por esto se ha visto que el clima juega un papel importante para realizar el método SODIS.

Por otra parte, para las muestras del Sector El Dique, número 9, se puede apreciar en los resultados en la Figura 2 (d), que no ocurre una completa desinfección del agua. Los valores de remoción alcanzados fueron de un 59% para coliformes totales y un 86% para coliformes fecales. La turbidez elevada que presenta la muestra de agua, 63 NTU, actúa como bloqueador de la radiación protegiendo a los microorganismos. Pfammatter [14] sostiene que sólo el efecto térmico actúa en la desinfección ya que los microorganismos se encuentran solapados por materiales flotantes o incorporados en sólidos sedimentables. Por lo tanto, McGuigan [15] sostienen que es necesario filtrar aquellas muestras de aguas turbias antes de aplicar el método SODIS. Por otra parte, Ojo [16] sostienen que altas turbidez ocasionan una disminución en la eficiencia de la radiación solar.

La muestra 5 y 6 se sometieron a un proceso de re-desinfección y se logró la completa desinfección de la muestra 5 en la Figura 3 (a), al cumplirse 5 horas más de exposición para un total de 11 horas de desinfección, es decir, dos días soleados consecutivos de 9:00 a.m. a 3:00 p.m. alcanzándose con esto el 100% de remoción de coliformes. Ahora bien, para la muestra 6 no se logra la remoción total de coliformes en la Figura 3 (b), lo que indicó que para eliminar totalmente estos microorganismos se deberá someter la muestra a un día más de exposición solar. El porcentaje de remoción de coliformes alcanzado para esta muestra en igual tiempo fue de 70%.

En otro contexto, durante la evaluación del método SODIS a diferentes parámetros operacionales para la muestra 1, se obtuvo la disminución de coliformes totales utilizando un volumen de 2000 y 5000 mL de agua respectivamente, sin emplear concentrador solar (ver Figura 4 (a) y (b)). Bajo esas condiciones, se logró obtener para la muestra de 2000 mL una eficiencia del 100 %. El mismo resultado se obtuvo al emplear un concentrador solar (papel de aluminio), la diferencia radicó en que se produjo una caída más pronunciada de microorganismos al utilizar concentrador solar y esto se debe a que se capta mucho mejor la radiación solar produciéndose una concentración de los rayos solares.

Por otro lado, la muestra de 5000 mL mostró el mismo comportamiento de disminución de coliformes, incluyendo con la utilización del concentrador solar en la Figura 4 (b), sin embargo se logró solamente un 54 % y un 69 % de eficiencia en la remoción de microorganismos en 6 horas de exposición solar. Con ello se comprobó una vez más que la radiación disminuye con la profundidad, por lo que la eliminación de los microorganismos se debió principalmente al efecto de la temperatura. Para el logro de una completa desinfección se necesitará un mayor tiempo de exposición de la muestra al sol. Resultados similares obtuvieron Ojo [16], quienes realizaron una desinfección solar del agua con muestras de 2, 3, 4 y 5 litros en recipientes de 7 litros. Los valores indicaron una reducción de coliformes fecales de 98 % al 100 % para las muestras de 2 litros, para las muestras de 3 litros se obtuvo un 99,6 % de remoción mientras que para las de 4 y 5 litros se alcanzó un 98,6 %. El tiempo de exposición de las muestras fue de 8 horas de sometimiento a los rayos solares.

4. Conclusiones.

El agua natural de La Guadalupe reportó presencia de coliformes totales y coliformes fecales mientras que la sometida al método SODIS no indicó presencia de estos microorganismos. Para ambas muestras, los parámetros físico-químicos se encuentran en norma. El agua natural de La Guadalupe representa un riesgo para la salud de

la comunidad mientras que la sometida al método SODIS es apta para el consumo humano. Un volumen de 5000 mL de agua de La Guadalupe requiere de 2 días de exposición solar para alcanzar la potabilidad del líquido con la utilización o no de reflector solar. El agua para la zona de La Guadalupe y Los Ochoas se clasifica como un agua Tipo 1, Sub Tipo 1-A y el agua del Dique entra en la clasificación de un agua Tipo 1, Sub Tipo C. La comunidad La Guadalupe manifestó su interés de poner en práctica el método SODIS para desinfectar el agua, por su sencillez y practicidad y porque no altera el sabor del agua.

Referencias

- [1] Meierhofer, R y Wegelin, M. (2003). "Desinfección Solar del Agua Guía de aplicación". Guía SODIS aspectos técnicos, aplicación en campo y metodología. Segunda edición, apoyado por UNICEF, AIDIS, PAS-BM, COSUDE, RRAS-CA. Manual. Fundación SODIS. 84 pp.
- [2] Chirinos, A., Guarenas, A. y Sánchez, M. (2006). Estudio preliminar de los parámetros físicos y químicos del agua cruda del río San Antonio del municipio Miranda del Estado Falcón. Calidad de Agua. Laboratorio de Análisis de Agua. Departamento de Química. Instituto Universitario de Tecnología Alonso Gamero. Coro, Edo. Falcón, Venezuela. 12pp.
- [3] Decreto N° 883. (1995). Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Gaceta 5.021. Gaceta Oficial Extraordinaria de la República de Venezuela.
- [4] Guevara, E. y Cartaya, H. (2004). Hidrología Ambiental. Primera Edición. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. Venezuela.
- [5] Gaceta 36.395. (1998). Normas sanitarias de calidad del agua potable. Gaceta Oficial de la República de Venezuela.
- [6] Lenntech B.V., (2011). Water Treatment Solutions. Holanda. Disponible en <http://www.lenntech.es>. [Consulta 02/02/2011].
- [7] APHA – AWWA – WPCF. (1992). Métodos normalizados para el análisis del agua potable y residual. Volumen I. 17° Edición. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España. 1715 pp.
- [8] Navarro, L. e Iriarte, M. (2004). Evaluación de la eficiencia de SODIS en la inactivación de *E. coli* y colifagos frna Macho específicos. Dirección de Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad Mayor San Simón. Cochabamba. Bolivia.
- [9] Díaz, D. (2003). Desinfección solar de agua de consumo humano usando un concentrador solar de paredes planas y botellas de plástico transparentes,

validado en laboratorio y comunidades rurales de los estados de Oaxaca y Chiapas. México. 11pp.

- [10] PROVIDA, (2011). Reubicación integral de 93 familias afectadas por la tormenta Stan en el Departamento de Santa Ana. El Salvador. 23 pp.
- [11] Kehoe, S., Joyce, T., Ibrahim, P., Gillespie, J., Shahar, R., and McGuigan. (2001). Effect of agitation, turbidity, aluminum foils reflectors and container volumen on the inactivation efficiency of batch-process solar disinfectors. Elsevier Science Ltd. Pergamon. Great Britain. Wat. Res. Vol 35, N° 4, pp. 1061-1066.
- [12] Encinas, J. e Iriarte, M. (2005). Evaluación de la eficiencia del método SODIS en la inactivación de coliformes termo-tolerantes en tres regiones de Bolivia (valle, trópico y altiplano). Dirección de investigación científica y tecnológica de la Universidad Mayor San Simón. Cochabamba. Bolivia.
- [13] Lamb, S., Pérez, J., Londoñez, C. (2011). Usos y aplicaciones del método de desinfección solar del agua. Fragua, Medellín, Colombia. Vol. 4, No. 7, pp. 77-88 – 146 p.
- [14] Pfammatter, R. (1993). Solar Water Disinfection: Evaluation of field tests carried out in Cali. Colombia (16.8-23.9.93). Internal Monitoring Report.
- [15] McGuigan, K., Joyce, T., Conroy, R., (1999). Solar disinfection: use of sunlight to decontaminate drinking water in developvent countries The Pathological Society of Great Britain and Ireland. Dublin 2, Ireland. J Med. Microbid. Vol 48, pp 475-787.
- [16] Ojo, O., Ogedengbe, K., and Ochieng, G. (2011). Efficacy of solar water disinfection for well waters: Case study of Ibadan slums, Nigeria. Nigeria. International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(5), pp. 1059-1067, 4 March, 2011.