

EVALUACION DE PARAMETROS ASOCIADOS AL PROCESO DE DESINFECCION SOLAR DE AGUA*

Oswaldo Blesa y Teresa Lagarde
FACULTAD DE INGENIERIA

Judith Franco[†], Humberto Barcena, Carlos Cadena[‡]
INENCO[§]

Universidad Nacional de Salta
Calle Buenos Aires 177
4400 - Salta

RESUMEN

Mediante experiencias realizadas a nivel de laboratorio donde se controlan los distintos parámetros como la radiación y temperatura y comparando con otras realizadas "en campo", se progresó en el conocimiento de correlaciones entre los parámetros mencionados y la letalidad producida. Estos conocimientos son esenciales en la aplicación práctica de la técnica de saneamiento, que es especialmente útil para poblaciones pequeñas o dispersas

INTRODUCCIÓN

En base a experiencias previas (1) y referencias bibliográficas (2) y (3), se conoce que los parámetros que condicionan la eficacia del proceso de saneamiento bacteriológico del agua mediante la exposición a la luz solar son:

- I. la cantidad y calidad de la radiación recibida,
- II. la geometría y capacidad de captación del dispositivo usado,
- III. la temperatura y el uso de sustancias activadoras (colorantes).

I. Tomando como referencia cultivos de *Escherichia Coli* (2), una enterobacteria, se determinó que para lograr la caída de 3 log en el recuento de los gérmenes viables presentes en una muestra de agua transparente se requiere una fluencia de 2000 kJ/m² o 555 Wh/m² (medidas de la radiación solar integrada en el rango de 350 - 450 nm de longitud de onda), esto corresponde aproximadamente a 5 horas de radiación en un día claro de verano para una latitud media.

II. En el INENCO se realizaron experiencias (1) colocando agua contaminada bacteriológicamente en bolsas de polietileno de 50 micrones de espesor, de manera tal que el espesor de agua dentro de la bolsa no fuese superior a los 2 cm aproximadamente. Con estos requerimientos la cantidad de agua que pueden contener las bolsas de 50 cm x 30 cm es de alrededor de 3 litros. Las bolsas cargadas se colocaron sobre una superficie oscura y se expusieron a la radiación solar durante 7 horas en la ciudad de Salta, en el mes de setiembre y con cielos despejados, y se observó que esta exposición ocasionó una caída en el recuento microbiano total de 3 log.

El material de la bolsa se estudió previamente en lo referente a sus características comparativas de transparencia a la radiación (valores de transmitancia entre 300 nm y 1100 nm). Asimismo se determinaron valores de transmitancia para bolsas del mismo material con distintos espesores de agua (0,5 - 1,0 - 1,5 - 2,0 cm)

En consecuencia se determinó que las bolsas de polietileno de 50 micrones de espesor, colocadas sobre una superficie negra, aparecen como adecuadas para realizar la desinfección solar de agua. Esto permite proveer de agua potable a poblaciones dispersas o pequeñas.

* Trabajo realizado como parte del proyecto N° 481 del Consejo de Investigaciones de la U.N.Salta (CIUNSA) "Estudios de purificación de agua por radiación solar"

[†] Becaria Posdoctoral del CONICET

[‡] Profesional del CONICET

[§] Instituto UNSa- CONICET

Se señala en (2) un umbral de temperatura de 50 °C, por encima del cual la mortalidad bacteriana crece considerablemente por la acción conjunta de la temperatura y la radiación solar. Se recomienda en consecuencia el tratamiento combinado de temperatura y radiación. Además, el azul de metileno y otros colorantes pueden usarse como soporte fotosensibilizador para el proceso de desinfección solar, siendo de especial interés cuando el agua presenta turbidez.

OBJETIVOS DEL PRESENTE TRABAJO

El objetivo general del Proyecto de Saneamiento de Agua por Radiación Solar, es el de asistir a la población dispersa de la provincia de Salta para la obtención de agua potable. En el presente trabajo se describen las experiencias realizadas para la evaluación de parámetros físicos y químicos que intervienen en el proceso de saneamiento bacteriológico de recursos hídricos (principalmente aguas superficiales), tendientes a lograr el conocimiento adecuado para su aplicación en las operaciones de potabilización.

MATERIALES Y METODOS

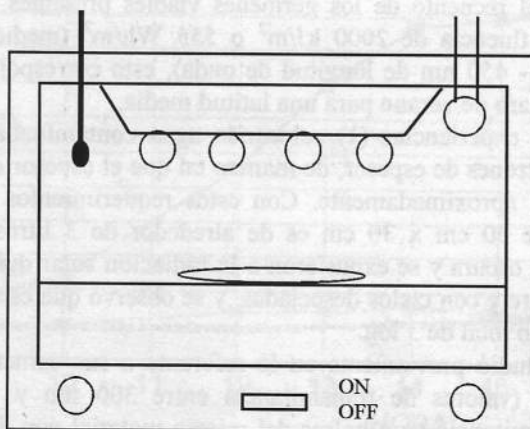
Se utilizó agua proveniente de los ríos de Vaqueros y Wierna extraída de lugares cercanos al predio del campus universitario de la UNSa, ubicado en Campo Castañares, con una contaminación moderada, para la realización de dos clases de experiencias:

1- Experiencia controlada en laboratorio

2- Experiencia en campo

1- En las experiencias de laboratorio se utilizó el dispositivo experimental que se esquematiza en la figura 1. Se acondicionó una estufa de cultivo instalando un juego de cuatro lámparas de radiación UV-A y un ventilador para hacer circular el aire.

Las bolsas de polietileno cargadas con las muestras de agua se colocaron a 10 cm de las lámparas, de manera tal que la radiación fuese aproximadamente uniforme sobre las mismas y tratando de mantener uniforme la temperatura del recinto. El ventilador se utilizó para evacuar el calor de las lámparas y mantener una temperatura lo más constante posible. Se midió la radiación UV-A que llegó a la muestra. Se tomaron muestras de agua al iniciar la exposición, y después de un período determinado de tiempo, para su posterior análisis bacteriológico.



Características de los ensayos de laboratorio:

Tipo de lámparas: fluorescente Philips modelo TA 20W/05. El espectro de radiación de la lámpara se muestra en la figura 2.

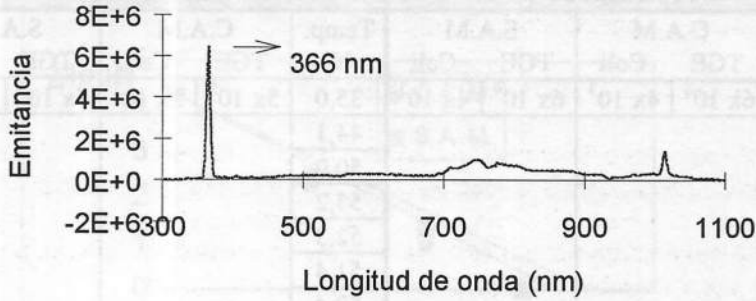
Medición de la fluencia: radiación sobre el plano de exposición: de 20 a 35 W/m²,

Pico de emisión: 370nm

Medición de la temperatura: con termómetro electrónico

Bolsa de polietileno sobre bandeja de superficie negra, capacidad de 2 litros.

Espectro de la Lampara de UV



2- Las experiencias de campo se realizaron en la azotea del INENCO colocando las bolsas de polietileno con las muestras de agua sobre una superficie negra. Se midió periódicamente radiación total, UV-A, UV-B y temperatura de la muestra. Se tomaron muestras de agua al iniciar la exposición y después de un período determinado de tiempo para su posterior análisis bacteriológico.

En ambos tipos de experiencias se determinó la letalidad en función del recuento en placas de cultivo de gérmenes mesófilos totales (TGE) y de coliformes totales (ENDO). Se utilizó el método de filtración por membranas de acetato de celulosa con diámetro de poros de $0,45 \mu$ de 100 ml de la muestra o sus diluciones. Las membranas luego se colocan sobre el medio de cultivo en cajas de Petri, se incuban a 37°C durante 24 - 48 horas y se cuenta el número total de colonias, (4) y (5).

RESULTADOS Y DISCUSION

En los Cuadros 1 y 2 se presentan los datos de tres experiencias de laboratorio realizadas con el equipo descrito anteriormente.

Cuadro 1: Experiencia de laboratorio irradiando la muestra con UV-A

Experiencia 1				
Tiempo hs	Temp °C	TGE	Coli	Fluencia kJ/m ²
0	12,7	1×10^5	2×10^3	
1	19,0			
2	22,0			
3	25,6			
4	28,2			
5	29,7			
6	31,3			
7	32,5	7×10^3	0	700
$\Delta \log N$		1,2		

Cuadro 2: Experiencias de laboratorio irradiando la muestra con UV-A comparativo con Azul de Metileno

Tiemp Hs	Experiencia 2					Experiencia 3					Fluenc ia kJ/m ²
	Temp. °C	C.A.M TGE Coli		S.A.M TGE Coli		Temp. °C	C.A.M TGE Coli		S.A.M TGE Coli		
0	23,5	6x 10 ⁶	4x 10 ³	6x 10 ⁶	4x 10 ³	35,0	5x 10 ³	3x 10 ²	5x 10 ³	3x 10 ²	
1	25,4					44,1					
2	28,1					50,0					
3	29,2					55,2					
4	31,8					52,3					
5	32,4					51,4					
6	33,2					50,4					
7	35,0	3x 10 ³	0	4x 10 ³	0	50,6	8	0	16	0	700
ΔlogN		3,3		3,0			2,8		2,5		

Todas las experiencias se realizaron con una fluencia promedio de 700 kJ/m²
C.A. M. y S.A.M. significa con y sin azul de metileno respectivamente.

De los valores obtenidos en estas experiencias, se infiere que es difícil obtener relaciones cuantitativas entre los parámetros en estudio. No se pudo mantener constante la temperatura de la muestra debido a que el calor generado por las lámparas de UV provoca un aumento de temperatura, y dentro de la estufa es difícil termostatar para bajas temperaturas.

La carga microbiana del agua del río tiene una gran variabilidad, con lo cual la carga inicial no se pudo mantener constante. No obstante se dan valores indicativos de Δlog N como para asociar a cada experiencia un número que represente la letalidad. Todas las muestras presentan recuentos iniciales de coliformes del orden de 10³ y en todos los casos el cultivo final, después de siete horas de tratamiento, es negativo.

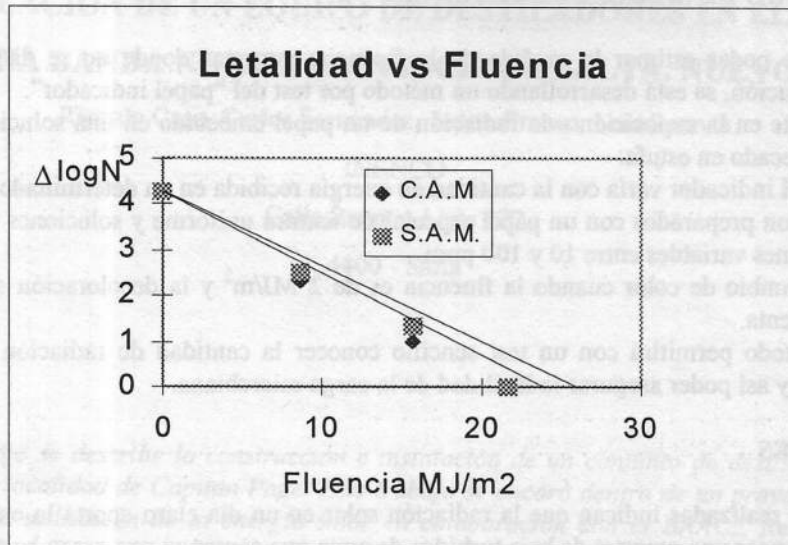
El Cuadro N° 3 presenta los datos de una de las experiencias a “cielo abierto” donde se mide la temperatura y la intensidad de la radiación correspondiente al espectro visible, UV-A, UV-B, que incide sobre una muestra de agua de río contenida en dos bolsas de polietileno. A una de las bolsas se le agregó el colorante Azul de Metileno en la proporción de 1 p.p.m. Se presentan los valores de 0, 3, 5, y 7 horas a partir del comienzo de la experiencia, aunque las medidas se realizaron cada media hora, se presentan estos tiempos que son en los cuales se tomaron las muestras de agua. Se determinó la cantidad de gérmenes mesófilos totales (TGE) y Coliformes (Coli en 100 mililitros). Se integró la intensidad de radiación para calcular la fluencia (energía recibida por unidad de superficie) asociada a cada determinación.

Cuadro 3: Experiencias con irradiación solar, comparativo con muestras con azul de metileno

Tiempo hs.	0	3	5	7
Temp. °C	22,0	46,1	53,5	49,4
Radiación Tot MJ/m ²	0	8,62	15,70	21,58
UV-A MJ/m ²	0	0,42	0,77	1,04
UV-B kJ/m ²	0	5,9	12,2	16,0
* T.G.E. col/100 ml	18000	200	10	0
*log N	4,25	2,30	1,00	0
T.G.E. col/100 ml	18000	300	20	0
log N	4,25	2,48	1,30	0
*Coli col/100 ml	2300	40	0	0
Coli col/100 ml	2300	40	0	0

* C.A.M. con azul de metileno (1 p.p.m.)

En la figura 2 se representa el log N (N = número de gérmenes mesófilos totales en 100 ml) en función de la fluencia medida de radiación visible.



No se observa la meseta inicial, ya que hay que tomar la muestra para su análisis microbiológico con periodos de tiempo más pequeños; en periodos más cortos la fluencia es menor y se podría observar este fenómeno. Sin embargo, el decrecimiento logarítmico de la población microbiana es evidente.

El Cuadro 3 es una síntesis de datos de cuatro experiencias de letalidad realizadas con agua de río en días en que las condiciones ambientales reflejan valores diversos para la fluencia y para la temperatura. A esta diversidad se suma la variabilidad de la carga microbiana inicial por lo que se hace difícil establecer relaciones cuantitativas entre la letalidad y las variables que la condicionan. Pero sí es posible establecer conclusiones fundamentales para la utilización de la técnica de saneamiento de agua por radiación solar.

Cuadro 4: Valores medidos en distintas experiencias con irradiación solar

Experiencia	No	1	2	3	4
Temperatura	Inicial	13,5	12,3	25,2	22,0
Temperatura	Maxima	42,5	42,5	39,6	53,5
Temperatura	Final	40,6	37,8	27,7	49,4
Rad. Total	MJ/m ²	11,9	12,1	5,8	21,6
UV-A	MJ/m ²	0,89	0,88	0,68	1,04
UV-B	kJ/m ²	5,8	6,1	5,5	16,0
TGE	Inicial	1 x 10 ⁶	1,5 x 10 ⁴	1,2 x 10 ⁴	1,8 x 10 ⁴
col/100 ml	final	86	11	6x10 ³	0
Coliformes	Inicial	6,8 x 10 ⁴	3,6 x 10 ³	4,3 x 10 ³	2,3 x 10 ³
col/100ml	Final	0	0	0	0
* TGE	Inicial	1 x 10 ⁶	1,5 x 10 ⁴	1,2 x 10 ⁴	1,8 x 10 ⁴
col/100 ml	Final	22	0	2 x 10 ²	0
* Coliformes	Inicial	6,8 x 10 ⁴	3,6 x 10 ³	4,3 x 10 ³	2,3 x 10 ³
col/100ml	Final	0	0	0	0

* C.A.M. con azul de metileno (1 p.p.m.)

Valores de fluencia de radiación total de 12 MJ/m² aseguran una reducción de 3 log en el número de gérmenes mesófilos totales. Con 6 MJ/m² se logra una reducción de 3 log en el número de coliformes totales.

El agregado de 1ppm de Azul de Metileno tiene un efecto sinérgico con la radiación, aumentando la letalidad, siendo su uso de interés para fuentes de agua con niveles de contaminación algo elevados.

Si se ajustan las condiciones de operación del saneamiento del agua para asegurar los valores necesarios de letalidad, se produce con el aumento de temperatura la disminución de la solubilidad de los gases, lo que puede afectar sus caracteres organolépticos.

NUEVO METODO DE MEDIDA DE FLUENCIA

Con el objeto de poder estimar la medida de la fluencia en zonas donde no se dispone de equipos de medición de radiación, se está desarrollando un método por test del "papel indicador".

El mismo consiste en la exposición a la radiación de un papel embebido en una solución fotodegradable y posteriormente secado en estufa.

El color del papel indicador varía con la cantidad de energía recibida en un determinado período de tiempo.

Los mismos fueron preparados con un papel especial de textura uniforme y soluciones de azul de metileno con concentraciones variables entre 10 y 100 ppm.

Se observa un cambio de color cuando la fluencia es de 2 MJ/m^2 y la decoloración se hace más notoria cuando esta aumenta.

Este tipo de método permitirá con un test sencillo conocer la cantidad de radiación que ha recibido la muestra de agua y así poder asegurar la letalidad de la carga microbiana.

CONCLUSIONES

Las experiencias realizadas indican que la radiación solar en un día claro aporta la energía y temperatura suficiente para sanear una muestra de baja turbidez de agua que contenga una carga bacteriana total inferior a 100.000 gérmenes en 100 mililitros. Corresponde a valores de fluencia de radiación total de entre 10 y 15 MJ/m^2 o superiores, con lo que se destruye totalmente las bacterias coliformes cuando su concentración inicial no supera los 20.000 colonias en 1000 ml.

El valor de fluencia de 10 MJ/m^2 es el valor medio de radiación total que llega sobre superficie horizontal en una latitud media en invierno en día claro, esto nos indica que si dejamos expuesto a la radiación solar las bolsas de agua, en días de *cielo claro*, ya sea en invierno o verano entre las 10 y las 17 hs, podemos asegurar que el agua al finalizar la jornada estará saneada.

Entre los gérmenes que aportan a la carga microbiana total, algunas presentan mayor resistencia que los coliformes para su destrucción.

El azul de metileno agregado en la proporción de 1 ppm aumenta la letalidad por absorción de radiación en la zona del visible espectro donde presenta un pico de absorción para 655 nm.

Esta técnica de saneamiento puede aplicarse en forma inmediata, siempre que se asegure que se supera el valor mínimo de fluencia requerido.

BIBLIOGRAFIA

1. Saravia, L.; Franco, J.; Echazú, R.; Cadena, C.; Bárcena, H.; Blesa, O.; *Desinfección Solar de Agua*, 17º Reunión de Trabajo de ASADES, Rosario, 1994.
2. Wegelin, M.; et. al., *Solar Water Disinfection: Scope of the Process and Analysis of Radiation Experiments*, Swis Federal Institute for Enviromental Science Technology (EAWAG), Dübendorf, 1993.
3. Pfammatteer, R.; Wegelin, M.; *Solar Water Disinfection: Evaluation of Field Tests carried out in Cali, Colombia*, EAWAG, Dübendorf, Suiza, 1993.
4. Guinea, Sancho, Parés, *Análisis Microbiológico de Aguas. Aspectos Aplicados*, Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1979.
5. Código Alimentario Nacional, Art. 982 (Res. 1547, 17/8/85)