

## DESINFECCIÓN DE AGUA UTILIZANDO $\text{TiO}_2$ BAJO IRRADIACIÓN SOLAR

P. Galarza, E. Sánchez\*, D. Maúrtua, J. Languasco y J. Rodríguez\*

Departamento de Microbiología, Universidad Cayetano Heredia,

\* Laboratorio de Películas Delgadas, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería,

**Resumen:** Se irradió con luz solar agua contaminada recogida en botellas de plástico. Se ha analizado el número más probable por unidad de volumen de Coliformes Fecales y Totales. Los resultados obtenidos muestran que con una irradiación solar promedio de  $700 \text{ W/m}^2$ , la desinfección se logra en pocas horas de tratamiento.

**Palabras Claves:** Coliformes fecales y totales, radiación solar.

**Abstract:** Water contaminated in plastic bottles was radiated with solar light. It has analyzed the probable number by unit of volume of Fecal and Total Coliforms. The obtained results show that with a solar irradiation of average  $700 \text{ W/m}^2$ , the disinfection is obtained in few hours.

**Key words:** Fecal and Total Coliforms, solar irradiation.

### INTRODUCCIÓN

En la descontaminación de aguas se deben eliminar los efectos tóxicos provocados tanto por agentes biológicos, como por elementos químicos: metales pesados, nutrientes fosforados, nitrogenados y los contaminantes orgánicos, que coexisten debido a la falta de medidas de prevención. Como ejemplo de que en ámbitos urbanos existen altos niveles de contaminación hídrica podemos citar el río Rímac, el cual presenta hasta cuatro veces más de la concentración de coliformes permitida por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Sin embargo, el mayor problema persiste en las zonas rurales, ya que a pesar de que la red de desagüe alcanza al 52 % de la población del país, solo un 12 % de los asentamientos rurales se benefician con ella. Además, el problema se acentúa por la falta de técnicas adecuadas para la desinfección y descontaminación del agua. Para los habitantes por debajo de la línea de pobreza, el tradicional mé-

todo de hervir el agua puede no ser una solución adecuada para su potabilización, básicamente por falta de recursos económicos. En ese contexto, son necesarios procedimientos innovadores para enfrentar esta gran variedad de problemas, que difieren tanto en escala como en complejidad. Por esa razón, en el presente trabajo se evalúa la utilización de la técnica de descontaminación de agua en unidades independientes DSAUI<sup>1-6</sup>, que consiste en la irradiación solar de botellas de plástico PET que contienen el agua contaminada, conjuntamente con un proceso fotocatalítico<sup>7,8</sup>, que consiste en la irradiación con luz de una energía mayor al ancho de banda óptico del semiconductor que se utiliza, que en el caso del óxido de titanio es de  $\sim 3.2 \text{ eV}[q]$ , la cual al ser absorbida genera un par electrón / hueco que al contacto con el contaminante, que se encuentra en suspensión en el líquido, lo reduce/oxida, hasta lograr su completa mineralización, descontaminando de esta manera el agua.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para la realización del experimento se eligió el asentamiento humano Tambo Pariachi en Huaycán, situado en la periferia de Lima en el Km 15 de la carretera central. Allí, el agua para el consumo diario se extrae de pozos artesanales. En este lugar, se tomaron las muestras y la metodología fue la siguiente: se realizó la prueba de número más probable de coliformes fecales y totales, antes y después del tratamiento, así mismo, se midieron los parámetros fisicoquímicos de radiación solar, temperatura, turbidez y pH, antes y después del tratamiento.

Se llenaron las muestras en botellas esterilizadas de plástico e inmediatamente fueron lleva-

das a un ambiente esterilizado. Luego de homogeneizar la muestra, se procedió al llenado de 10 botellas de plástico de 500 ml de volumen. Las botellas se colocaron horizontalmente bajo el sol en un sistema reflectante no concentrador de radiación. La radiación solar se midió con un radiómetro construido en nuestro laboratorio y calibrado con un dispositivo Haenni Solar 130. La temperatura se tomó cada 10 minutos con un termómetro de mercurio colocado en una de las muestras. Los experimentos se llevaron a cabo durante cinco horas. Las medidas de radiación solar en  $W/m^2$  y temperatura en grados Celsius de un experimento típico se muestran en la figura 1a.

Cada hora se recogieron dos muestras y se procedió en cada una al análisis del número más

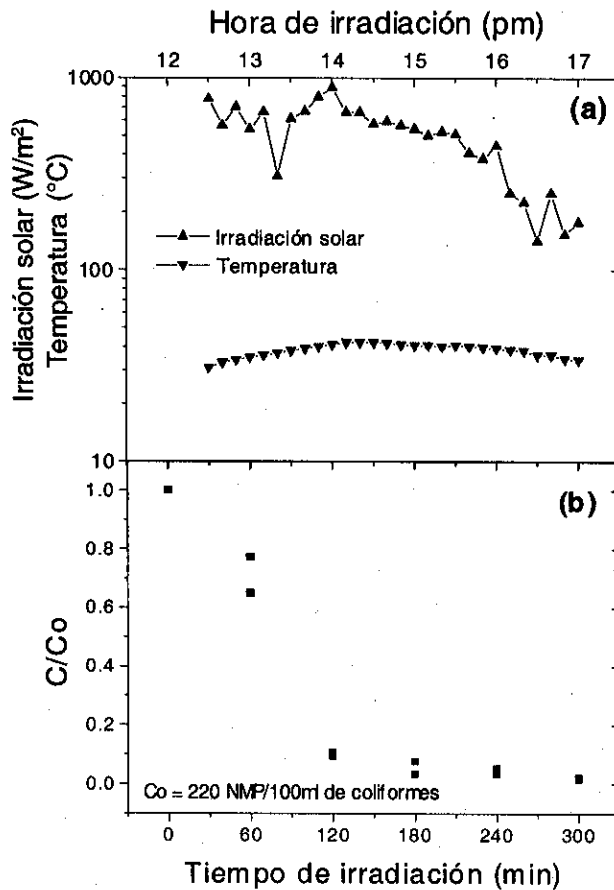


Figura N.º 1. (a) Irradiación solar ( $W/m^2$ ) y Temperatura de una muestra ( $^{\circ}C$ ), durante un experimento típico de descontaminación de agua. (b) Concentración de coliformes normalizada con respecto a la concentración inicial  $Co$ , durante un experimento típico de descontaminación de agua

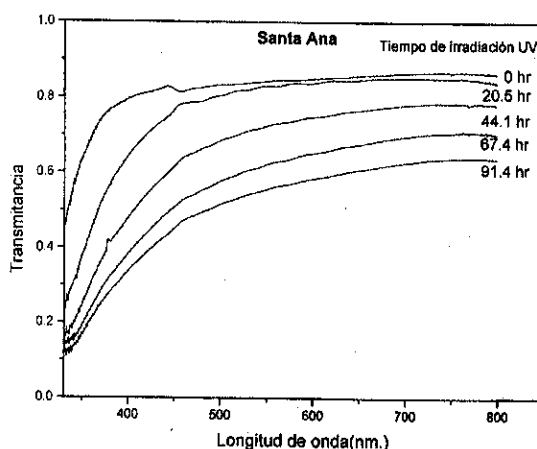
probable de coliformes totales, mediante los procedimientos de tubos múltiples con sulfato de caldo Lauril para la determinación y con caldo Brila para la cuantificación. Ambos procesos se llevaron a cabo por incubación a 37 °C durante 48 h para Coliformes Totales y para determinar la presencia de Coliformes Fecales, se incubó durante 48 h en caldo Ec a 44 °C. Pasado el tiempo de incubación, se procedió a la lectura de los coliformes o E-colis, según sea el caso<sup>10,11</sup>.

En la figura 1b se presentan los resultados de desinfección de los coliformes asociados a los datos de radiación y temperatura medida en la figura 1a. Se puede observar que aproximadamente a las dos horas de irradiación, se ha destruido aproximadamente el 90 % del total de coliformes, llegándose a la total desinfección del agua en aproximadamente cinco horas de irradiación.

Las medidas de pH se realizaron con un pHmetro Orion 520 A y las de turbidez con un sistema portátil Hach. Así, en la tabla 1, se muestran las medidas de pH y turbidez de los experimentos de desinfección reportados en la figura 1.

Para estudiar el envejecimiento de las botellas PET frente a la irradiación ultravioleta, se experimentó con una lámpara de mercurio de 250 W, colocada a 15 cm de distancia de la muestra. Los resultados de transmitancia espectral en el rango UV-visible obtenida con un espectrofotómetro Optometrics RS-350 se muestran en la figura 2.

De los resultados obtenidos se observa que en 100 h de irradiación ultravioleta la transmitancia a 500 nm decrece del 85 % al 55 %, mientras que en rango ultravioleta, a 370 nm,



**Figura N.º 2.** Transmitancia espectral en el rango entre 330-800 nm de las botellas de plástico PET, sometidas a irradiación UV provista por una lámpara de Hg de 250 Watts a 15 cm de distancia

la transmitancia decrece del 75 % al 25 %. Estos cambios van a reducir la eficiencia de la lámpara para la desinfección de contaminantes y denotan un cambio en esta por efectos de la luz ultravioleta. Estos cambios han sido observados en el rango infrarrojo con un espectrofotómetro Shimadzu 650 en el que los principales cambios se observaron en los picos de absorción de los plásticos entre 3400 y 3700  $\text{cm}^{-1}$ , a 2300  $\text{cm}^{-1}$  y a 600  $\text{cm}^{-1}$ . Esto indica que los enlaces moleculares del polímero se están rompiendo, igualmente que la botella está cambiando, sin embargo, un mayor análisis es necesario.

Durante los experimentos realizados, se observó en el agua estudiada, una variación en la concentración de coliformes de 2400 NMP/(100 ml) a 220 NMP/(100 ml). Esta fluctuación es asociada a variaciones estacionales en el grado de

**TABLA N.º 1**

**MEDIDAS DE PH Y TURBIDEZ PARA LOS EXPERIMENTOS DE DESINFECCIÓN DE AGUA CONTAMINADA CON COLIFORMES**

Tiempo de irradiación (min)	0	60	120	360
PH	7,47	7,50	7,70	7,78
Turbidez	13,7	13,15	13,5	13,15

contaminación del río Rímac que está cercano a los pozos artesianos estudiados. Esta concentración de contaminantes es alta y no apta para el consumo humano, lo cual es desconocido por los habitantes de la zona, incluso la llegan a beber directamente.

### INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

Del total de pruebas efectuadas, se observa una relación directa entre la radiación solar y el grado de contaminación, obteniéndose mejores resultados en los días más soleados. Con el objetivo de analizar la influencia de la temperatura

en el proceso, se procedió a calentar una muestra a los niveles obtenidos durante el experimento y se obtuvo un decrecimiento de los coliformes de ~30 %. Considerando este hecho, se pintó con negro mate la parte externa la mitad inferior de las botellas y se realizó el experimento como en el caso anterior, con las botellas colocadas horizontalmente sobre el sistema reflector no concentrador. Los resultados de desinfección de agua con E-coli se observan en la figura 3.

En la figura 2a se puede ver la influencia positiva del pintado externo de la mitad inferior de la botella con pintura negra, con un aumento de la

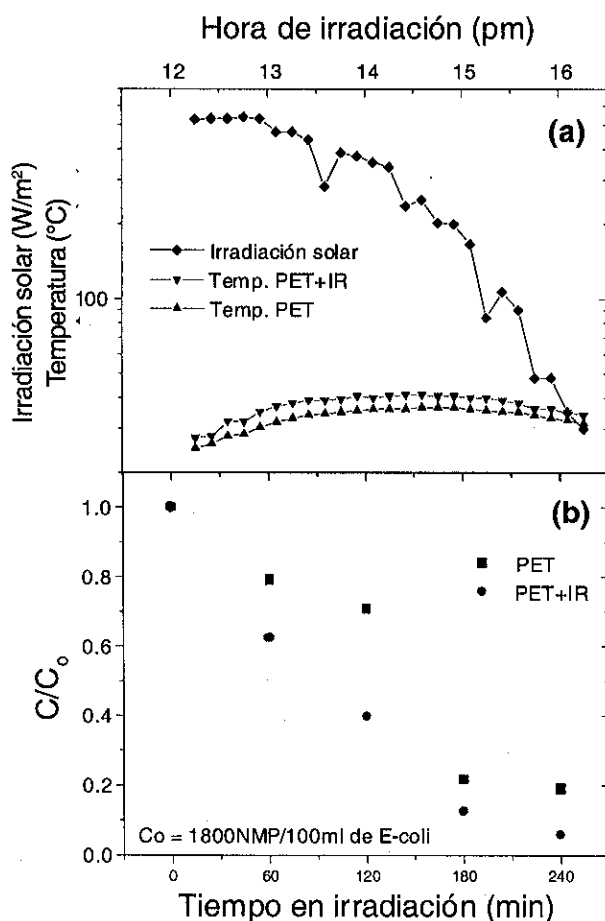


Figura N.º 3. (a) Irradiación solar (W/m<sup>2</sup>) y temperatura durante un experimento típico de descontaminación de agua llevado a cabo con: (▲) botellas transparente y (▼) botellas pintadas externamente de negro en su mitad inferior. (b) Concentración de E-coli normalizada respecto de la concentración inicial Co, durante un experimento típico de descontaminación de agua.

temperatura de  $\sim 5^{\circ}\text{C}$ , respecto de la temperatura cuando solo se utilizó la botella de plástico transparente; asimismo, en la figura 2b se observa un aumento en la eficiencia de la destrucción de E-coli de  $\sim 20\%$ .

Al inicio del experimento, el pH de las muestras -como se observa en la Tabla 1- era neutro, pero al someterse al tratamiento con radiación solar el pH aumenta, esto se debe posiblemente a la destrucción de ácidos nucleicos y proteínas<sup>12</sup>, lo cual la basifica ligeramente.

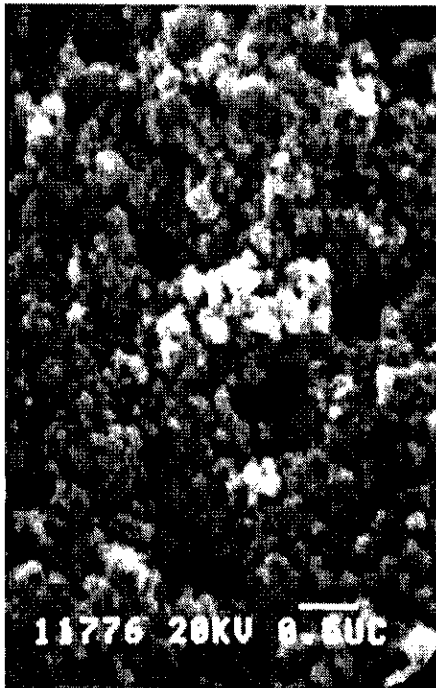
De las medidas de turbidez mostradas en la tabla 1, se observó un ligero decrecimiento a medida que el tiempo de irradiación aumenta, esta es asociada también a los cambios estacionales. Aunque su influencia en el presente trabajo es despreciable.

#### INFLUENCIA DEL $\text{TiO}_2$

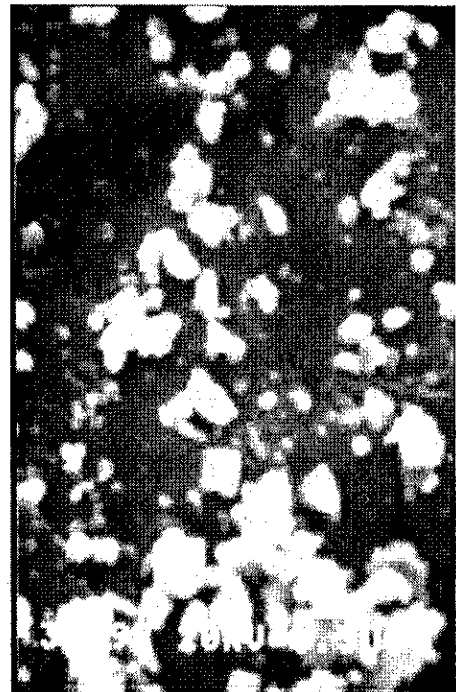
Con el objetivo de observar la influencia fotocatalítica en la desinfección del agua, se uti-

lizó nanopartículas de óxido de titanio degussa P25 de aproximadamente  $50\mu\text{m}$  de diámetro y con un área superficial de  $30\text{ m}^2/\text{g}$ . Para el análisis dichas partículas fueron utilizadas tal como se obtuvieron o fueron fijadas sobre sustratos milimétricos de  $\text{SiO}_2$ , las cuales son transparentes a la luz visible. El depósito sobre  $\text{SiO}_2$  fue realizado por inmersión en una solución de 1 en 100 partes en peso de etanol y combinado con agua en una proporción de 3 partes a uno, para luego ser sujeto a tratamiento térmico de  $450^{\circ}\text{C}$  por una hora. La figura 4, muestra una micrografía obtenida por microscopía electrónica de barrido del sustrato de  $\text{SiO}_2$  (parte a) y de la superficie con  $\text{TiO}_2$  depositada sobre dicho sustrato (parte b). Es importante notar la gran superficie interna de la capa de óxido de titanio, la cual presenta una gran área de interacción con el líquido.

Para la desinfección se realizó una prueba con botellas de plástico PET como las utilizadas en la parte 3, es decir botellas colocadas horizontalmente presentan su mitad inferior pintadas con negro mate y a las que se les ha adicionado



(a)



(b)

Figura N.º 4. Micrografía por microscopía electrónica de barrido obtenida sobre partículas milimétricas de  $\text{SiO}_2$  (parte a) y sobre las películas de Óxido de titanio P-25 depositadas sobre  $\text{SiO}_2$  (parte b)

TABLA N.º 2

EXPERIMENTOS DE DESINFECCIÓN UTILIZANDO BOTELLAS PET PINTADAS EN SU MITAD INFERIOR CON NEGRO MATE (PARTE A), PARTE (B) IGUAL QUE EN (A) PERO ADICIONANDO 0.5 G DE NANOPARTÍCULAS DE  $TiO_2$  DEGUSSA P-25 Y (PARTE C) IGUAL QUE EN (A) PERO ADICIONANDO 0.5 G DE NANOPARTÍCULAS DE  $TiO_2$  FIJAS SOBRE  $SiO_2$

Muestra	Coliformes termotolerantes		Coliformes fecales	
	Conc. inicial	Conc. 30 min	Conc. inicial	Conc. 30 min
Botella PET + negro mate	920	920	920	920
Botella PET + negro mate + $TiO_2$	920	540	920	540
Botella PET + negro mate + $TiO_2/SiO_2$	920	350	920	240

0.5 g de nanopartículas de óxido de titanio degussa P-25, mientras que en el caso final se tiene 50 g de Partículas milimétricas de  $SiO_2$  cubiertas por una fina capa de óxido de titanio degussa P-25. Los resultados se muestran en la tabla 2. De los resultados se puede observar que en el caso de las nanopartículas de  $TiO_2$  depositadas sobre  $SiO_2$ , se llegó en solo 30 min de irradiación al 38 % de la concentración inicial. Los resultados fueron mejores que el caso en que solo se utilizó la botella PET pintada de negro y que en el caso en que utilizó solamente las partículas suspendidas de  $TiO_2$ , en el que además había la dificultad adicional que es la de tener que filtrar el  $TiO_2$  del líquido luego de la prueba.

## CONCLUSIONES

Se ha desinfectado agua contaminada con coliformes y E-colis utilizando radiación solar. Los resultados obtenidos indican que la descontaminación se debe a una sinergia entre la temperatura dentro de la botella de plástico y la componente ultravioleta de la radiación solar. La adición de nanopartículas de  $TiO_2$  sujetas sobre substratos milimétricos de  $SiO_2$  han mostrado de manera preliminar que incrementan la cinética de la degradación

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Peruana Cayetano Heredia, a la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería y al International Science Program de la Universidad de Uppsala en Suecia por el apoyo recibido para la realización del presente trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Acra, Z. Raffoul y Y. Karahagopian, *Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solutions*, UNICEF, S.A.L, Beirut, Lebanon, 1984.
- [2] S. Arafa y M.C. Cotis, *Solar disinfection for rural communities*, Taller en Brace Research Institute, 15-27 de Agosto, Quebec, Canadá, 1988.
- [3] B. Sommer, *Solar water disinfection: impact on vibrio cholerae and faecal coliforms*, Taller CINARA, Universidad del Valle, Cali, Colombia y EAWAG/SANDEC, Duebendorf, Switzerland, 1995.
- [4] EAWAG-SANDEC, *Water & sanitation in developing countries*, <http://www.sodis.ch>.
- [5] M. Wegelin, EAWAG News, 48, 11-12, Setiembre 2000.
- [6] S. Hug, EAWAG News, 49, 18-20, Diciembre 2000.

- [7] D. F. Ollis and H. Al-Ekabi (eds.), *Purification and Treatment of Water and Air* (Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1993).
- [8] D. M. Blake, Bibliography of Work on the Heterogeneous Photocatalytic Removal of Hazardous Compounds from Water and Air, NREL/TP-570-26797, 1999.
- [9] J. Rodríguez, M. Gómez, G. A. Niklasson, C.G. Granqvist, *Thickness Dependence of the Optical Properties of Sputter Deposited Ti Oxide Films*, Thin Solid Films, 365 (2000) 120.
- [10] APHA, AWWA, WPCF, *Metodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*, Ed. Días de Santos. S:A, 1992.
- [11] *Guías para la calidad del agua potable*, 2da. Ed. Vol 1, OMS, 1995.
- [12] W. Stumm y J. Morgan, *Aquatic Chemistry*, John Willey and Sons Inc., NY. (1981).