



A I C D

Agencia Interamericana
para la Cooperación y el Desarrollo

**Desinfección Solar de Aguas
en Comunidades Rurales
de América Latina
Proyecto OEA AE 141/2001**

**Solar Disinfection of Water in
Rural Communities of Latin America
ASO Project AE 141/2001**

Editores: Marta I. Litter, Héctor D. Mansilla
Colaboró: Raquel Gettar

Argentina – Brasil – Chile – México – Perú – Trinidad & Tobago

Desinfección Solar de Aguas en Comunidades Rurales de América Latina

Proyecto OEA AE 141/2001

Solar Disinfection of Water in Rural Communities of Latin America

ASO Project AE 141/2001

Argentina – Brasil – Chile – México – Perú – Trinidad & Tobago

Editores: Marta I. Litter y Héctor D. Mansilla
Colaboró: Raquel Gettar

Marzo de 2003

ISBN N° 987-43-6942-6

Indice / Contents

Prefacio -----	5
Foreword -----	9

Capitulo 1 / Chapter 1

Desinfección solar de aguas de Los Pereyra (Tucumán) y del Río de La Plata, Argentina -----	13
--	----

Solar disinfection of waters from Los Pereyra (Tucumán) and from the Río de la Plata, Argentina -----	29
--	----

María Laura Gagliano y Marta I. Litter

Capitulo 2 / Chapter 2

Desinfección solar de aguas de represa en Campina Grande, PA, Brasil -----	37
---	----

Solar disinfection of waters from a dam in Campina Grande, PA, Brazil -----	55
--	----

Patrícia Pulcini R. Donaire y Wilson de F. Jardim

Capitulo 3 / Chapter 3

Desinfección solar de aguas en Tambo Pariachi, Huaycán, Lima, Perú -----	63
---	----

Solar water disinfection in Tambo Pariachi, Huaycan, Lima, Perú -----	69
--	----

Patrícia Galarza, Eder Sánchez, Dora Maurtua, Juan Rodríguez y Walter Estrada

Capitulo 4 / Chapter 4

Aplicación de la metodología DSAUI en aguas de lluvia y de llave en Mayaro, Trinidad y Tobago -----	73
--	----

Application of the SODIS methodology to rain and tap waters in Mayaro, Trinidad and Tobago -----	83
---	----

Ramsey Saunders, Winston Mellowes, Ricardo Clarke y Kimberly Kimkeran

Prefacio

Marta I. Litter y Héctor D. Mansilla***

La última Reunión Cumbre sobre Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, realizada en Johannesburgo en 2002, ha calificado de crucial el tema de la gestión racional del agua en todo el planeta. En regiones pobres del Tercer Mundo, la contaminación del agua induce problemas sociales, económicos y de salud, tales como enfermedades endémicas fatales (hepatitis, fiebre tifoidea o cólera). Según datos de la Organización Mundial de la Salud, alrededor de 80.000 niños mueren cada año en América Latina por enfermedades asociadas a las diarreas que, generalmente, son originadas por las condiciones insalubres del agua. En Perú, por ejemplo, la mortalidad infantil alcanza al 42 por mil. La situación más grave se sitúa, actualmente, en las zonas rurales con insuficiente acceso al suministro de agua potable, con alto grado de aislamiento y dispersión, donde las condiciones de vida, prestaciones de salud y prevención de enfermedades son muy inferiores, en comparación con las urbanas. En localidades con menos de 2500 habitantes, vive alrededor del 30% de la población de varios países de América Latina, generalmente con niveles alarmantes de pobreza extrema, desgraciadamente en creciente aumento. Allí, sin recursos económicos ni apoyo tecnológico del estado, los pobladores utilizan agua de ríos, vertientes, pozos

y estanques con un elevado grado de contaminación. La situación se agrava en regiones agrícola-ganaderas, donde se han venido usando desde hace tiempo plaguicidas y fertilizantes químicos de relativa toxicidad. Otro aspecto muy grave del problema es la presencia de arsénico en aguas subterráneas: en Argentina, México y Chile se han detectado altísimos niveles de este peligroso contaminante.

Las metodologías tradicionales de tratamiento de aguas son extraordinariamente caras, por lo que se hace necesario el desarrollo de tecnologías simples, eficientes y de bajo costo para la eliminación in situ de estas sustancias. Por otro lado, para los habitantes por debajo de la línea de pobreza, el tradicional método de hervir el agua para su potabilización puede no ser una solución adecuada por la posibilidad de ocurrencia de incendios y la escasez de energía. Este método tampoco elimina arsénico ni otros metales pesados, así como compuestos orgánicos recalcitrantes.

Por lo hasta aquí mencionado, los problemas relacionados con la gestión del agua en América Latina son muy complejos y se acentúan por la falta de técnicas bien establecidas para desinfección y descontaminación. Por ello, es imprescindible contar con procedimientos innovadores, económicos y socialmente aceptados por la pobla-

* Comisión Nacional de Energía Atómica, Unidad de Actividad Química, Av. General Paz 1499, 1650, Gral. San Martín, Provincia de Buenos Aires, Argentina

** Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción, Chile

ción. Como científicos y tecnólogos de esta región del mundo, pero por sobre todo, como habitantes de la región, entendemos que es crucial prestar atención a los ingentes problemas que padecen una gran parte de nuestros coterráneos. Mediante el empleo de nuestros conocimientos, queremos contribuir con soluciones técnicas y educativas que culminen en una mejora de la calidad de vida de la población de América Latina. No se pretende con esto solucionar el problema del agua – que sería misión de los gobiernos de la región – sino sólo paliar la situación para evitar el agravamiento de la degradación de la calidad de vida.

En el año 2001, un grupo de expertos en tratamiento de efluentes por Tecnologías Avanzadas de Oxidación, presentamos un proyecto a la Organización de Estados Americanos cuyo propósito era aplicar tecnologías de bajo costo para tratar aguas en localidades con escasos recursos hídricos y económicos. Los países participantes eran Argentina, Brasil, Chile, México, Perú y Trinidad & Tobago. En este proyecto, proponíamos un relevamiento y la posterior validación de tecnologías económicas y socialmente aceptadas por la población, para evaluar su posible aplicación en algunas localidades de las distintas subregiones. Las tecnologías propuestas son la Desinfección Solar de Aguas o DSAUI (SODIS, desarrollado por el Instituto EAWAG de Suiza), la Remoción de Arsénico por Oxidación Solar (RAOS, cuyo antecedente es el Proyecto SORAS, también desarrollado por EAWAG) y la fotocatalisis heterogénea (FH). Estas tecnologías pueden usarse solas o en combinación. Los dos primeros méto-

dos han sido aplicados con bastante buen éxito en países como Colombia Tailandia, México y Bangla Desh. Su mayor ventaja es que son dependientes únicamente de la energía solar y aplicables a regiones con alta incidencia de radiación diurna, es decir, más de 3000 horas de sol en promedio por año, como las existentes en regiones de América Latina de climas tropicales (con intensidades luminosas entre los 5 y 6 kW/h/m²). Esta cantidad de luz solar garantizaría la factibilidad de la aplicación de las tecnologías propuestas, ya que ninguna requiere equipamiento o desarrollos tecnológicos sofisticados o caros, ni altos costos de energía. Afortunadamente, el proyecto fue aprobado y comenzamos a trabajar en marzo de 2002. En noviembre de 2002 editamos un libro que contiene un relevamiento de zonas de las subregiones de los países participantes, sus características geográficas, clima y otros aspectos valiosos para la caracterización de la localidad, que hemos realizado como nuestra primera actividad ⁽¹⁾.

En siguientes actividades, hemos intentado validar las tecnologías en las zonas relevadas y éste es el objetivo de los dos volúmenes que aquí se presentan. Próximas etapas del proyecto serán impulsar su aplicación, mediante la disseminación de los métodos y la educación de la población. No será una tarea menor convencer a las autoridades de aplicación, así como un objetivo a más largo alcance: disseminar las tecnologías en otros lugares de América Latina.

La tecnología DSAUI, cuya validación se trata en este primer volumen, se basa en la exposición al sol por al-

gunas horas de botellas de plástico que contienen agua contaminada. Los rayos solares actúan por combinación de la radiación UV-A (315-400 nm) y la radiación infrarroja, que eleva la temperatura del agua a unos 50-55°C. De este modo, pueden destruirse bacterias y virus (incluyendo al *Vibrio cholerae*). El método cumple con excelentes criterios económicos y de factibilidad:

las botellas de plástico son un residuo de consumo habitual, y se encuentran fácilmente en las regiones que padecen el problema; pueden usarse no sólo para el tratamiento sino para el transporte y consumo final del agua. Esto evita, además, el riesgo de recontaminación por transvases, puesto que el método no provee acción residual como la cloración.

Referencias

¹ Relevamiento de comunidades rurales de América Latina para la aplicación de tecnologías económicas para la potabilización de aguas, Informe Proyecto OEA AE 141/2001, Organización de Estados Americanos (AICD), noviembre de 2002. M. Litter (Ed.), Digital Grafic, La Plata, 2002.

Foreword

Marta I. Litter^{} and Héctor D. Mansilla^{**}*

The last Summit on Sustainable Development of the United Nations, held in Johannesburg in 2002, has qualified the rational management of water as a crucial issue in the whole planet. In poor regions of the Third World, water pollution induces social, economical and health problems, such as fatal endemic diseases (hepatitis, typhus or cholera). According to the World Health Organization, almost 80.000 children die every year in Latin America by diseases associated to diarrheas, which are generally originated in the unhealthy conditions of waters. In Peru, for example, children mortality reaches 42 per thousand. The highest problem is localized, presently, in the rural zones with insufficient access to drinking water supply, with a high degree of isolation and dispersion, where the life conditions, health facilities and prevention of diseases are very low in comparison with urban zones. In regions integrated by less of 2500 inhabitants, lives around 30% of the population of Latin American countries, in an alarming extreme poverty, which unfortunately increases daily. There, without economic resources or state technological support, the population consumes high-polluted water of rivers, water-

sheds, wells and ponds. The situation becomes worse in agricultural regions, where toxic chemical pesticides and fertilizers have been used since long time ago. Another very dramatic aspect is the presence of arsenic in groundwaters: in Argentina, Mexico and Chile, very high levels of this hazard pollutant have been detected.

The traditional water treatments are extraordinarily expensive, justifying the need to develop simple, efficient and low-cost technologies for in situ removal of these substances. On the other hand, for the inhabitants under the poverty line, the traditional method of boiling water for drinking purposes can be a non-adequate solution, owing to the possibility of firing occurrence and to the lack of energy. In addition, this method does not eliminate arsenic or other heavy metals, or recalcitrant organic compounds.

By these reasons, in Latin America, the problems related with water management differ in scale and complexity, and are increased by the lack of well-established techniques for disinfection and decontamination. Therefore, it is imperative to have innovative procedures, but, at the same time,

^{*} Comisión Nacional de Energía Atómica, Unidad de Actividad Química, Av. General Paz 1499, 1650, Gral. San Martín, Provincia de Buenos Aires, Argentina

^{**} Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción, Chile

economically and socially accepted by the population. As scientists and technologists belonging to this part of the world, but mainly as inhabitants of the region, we understand that it is crucial to pay attention to the huge problems that suffer a large part of our neighbors. Therefore, using our knowledge, we would like to contribute with technical and educational solutions to improve the quality of life in Latin America. We do not pretend to solve the problem of water –which is a mission of the regional governments –but only to palliate the situation to avoid the increase of the degradation of life quality.

In 2001, a group of experts in treatment of effluents by Advanced Oxidation Technologies, presented a proposal to the Organization of American States with the objective of applying low-cost technologies to treat waters in populations of scarce hydric and economical resources. The participating countries were Argentina, Brazil, Chile, Mexico, Peru and Trinidad & Tobago. In the project, we proposed a prospect and a subsequent validation of low-cost technologies to later assess the possible application in some localities of the different subregions. The proposed technologies are the Solar Disinfection (SODIS, developed by EAWAG, Switzerland), Arsenic Removal by Solar Oxidation (SORAS, from the same Swiss Institute) and heterogeneous photocatalysis (FH). The three technologies can be used alone or combined. The first two methods have been rather successfully applied in countries like Colombia, Thailand, Mexico and Bangladesh. The highest

advantage is that they depend only on solar energy, and can be easily applicable to regions with high radiation incidence, that is to say, more than average 3000 sun hours per year, as those existing in Latin American regions of tropical climates (with light intensities between 5 and 6 kWh/m²). This amount of solar light would warrant the feasibility of application of these technologies, because they do not require sophisticated or expensive equipment, technological developments or high-energy costs. Fortunately, the project has been approved and we began to work in March 2002. In November 2002 we published a book containing a prospect of zones of the subregions of the participating countries, with the geographical features, climate and other valuable aspects for the characterization of the locality. This was our first activity ⁽¹⁾.

In following activities, we have intended to validate the technologies in the prospected zones, and this is the objective of the two volumes here presented. Next stages of the project will be to impulse the application by disseminating of the methods and educating the population. Not a minor objective will be to convince the application authorities; a further objective is the dissemination in other places of Latin America.

The SODIS technology, whose validation is exposed in this first volume, is based on the solar exposure for some hours of plastic bottles containing polluted water. Solar rays act by combination of UV-A radiation (315-400 nm) and infrared radiation, which raises the temperature of water to 50-55°C. Thereby,

bacteria and viruses can be destroyed (including *Vibrio cholerae*). The method accomplishes excellent economic and feasibility criteria: plastic bottles are a daily consumption waste, and can be easily found in the affected regions:

they can be used not only for the treatment but also for the transportation and final consumption. This avoids, in addition, the risk of recontamination, because the method does not provide residual action as chlorination.

References

¹ Relevamiento de comunidades rurales de América Latina para la aplicación de tecnologías económicas para la potabilización de aguas, Informe Proyecto OEA AE 141/2001, Organización de Estados Americanos (AICD), noviembre de 2002. M. Litter (Ed.), Digital Grafic, La Plata, 2002.

Capítulo 1

Desinfección Solar de Aguas de Los Pereyra (Tucumán) y del Río de La Plata, Argentina

María L. Gagliano y Marta I. Litter

Resumen

En este capítulo se resumen los resultados de la aplicación de la tecnología DSAUI, Desinfección Solar de Aguas en Unidades Individuales, a aguas de pozos de Los Pereyra, provincia de Tucumán. Se compararon los resultados con los de muestras de aguas de los lagos de Palermo y del Río de la Plata, en la Ciudad de Buenos Aires, Argentina. La aplicación del método en aguas de tan distinta composición y origen indica que es totalmente aplicable a todas las muestras de agua estudiadas, y que cumple con el objetivo de reducir el contenido microbiano de acuerdo a los límites establecidos para agua potable.

1.1. Introducción

La tecnología DSAUI, Desinfección Solar de Aguas en Unidades Individuales (Solar Water Disinfection, SODIS, desarrollado por el EAWAG –Instituto del Agua– de Zurich⁽¹⁻³⁾), es un método eficiente para la eliminación de microorganismos patógenos presentes en aguas de consumo humano.

El método tiene la ventaja de ser

económico y fácilmente aplicable en cualquier localidad que lo necesite; sólo requiere de la energía solar, apartándose de los métodos convencionales de purificación de agua tales como la cloración, el hervido del agua, etc., cuyo costo es tal vez inaccesible para poblaciones que viven en condiciones precarias.

Los microorganismos patógenos son eliminados por la radiación ultravioleta (UV-A), en sinergia con la radiación infrarroja (IR) a partir de determinada temperatura. Aunque el método no esteriliza el agua, elimina microorganismos causantes de serias enfermedades como diarreas, infecciones intestinales, cólera, etc. La diseminación eficiente del método lograría evitar muchas muertes causadas por el consumo de aguas contaminadas no tratadas, ya sea por falta de información de la población acerca de los potenciales daños o por su imposibilidad para acceder a algún método de purificación.

Los requerimientos para la aplicación de este método son solamente la disponibilidad de luz solar y de botellas de PET (polietiléntereftalato). También

debe promoverse una buena difusión de la metodología, proveyendo instrucciones claras a la población o familia que va a utilizar el método, para su correcta aplicación. El método debe, además, adaptarse al tipo de clima y relieve que posea la región en que se utilice, dado que será más exitoso en climas cálidos y con pocas precipitaciones que en otros de nubosidad elevada y clima frío.

Los límites indicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS)⁽⁴⁾ para el número de organismos coliformes fecales para agua potable indican que un método adecuado debe llegar a 0 UFC (Unidades Formadoras de Colonias)/100 mL de agua (Tabla 1).

En el año 2002, se inició un estudio de aplicabilidad del proceso DSAUI en forma simultánea en Argentina, Brasil, Perú y Trinidad & Tobago, considerando las zonas de relevamiento escogidas en un estudio anterior⁽⁵⁾. El objetivo del presente trabajo fue comprobar la eficiencia del método en aguas provenientes de distintos lugares de la Argentina, realizando tanto el recuento de bacterias totales viables como el de microorganismos coliformes. Se evaluaron distintas variables como intensidad de luz, temperatura y tipo de envase utilizado.

1.2. Área de estudio

La localidad de Los Pereyra se encuentra ubicada 70 km al este de la ciudad de San Miguel de Tucumán. Se trata de una pequeña localidad rural, que cuenta con unos 1000 habitantes, dedicados principalmente a actividades agrícola-ganaderas. El clima en la región es subtropical, con una estación seca que se extiende entre mayo y septiembre. La precipitación media anual es 800 mm/año y la temperatura media 19 °C. No existen cursos de agua superficial destacados en la región, por lo que el abastecimiento de agua de la población se realiza por medio de aguas subterráneas. La caracterización geoquímica de las aguas subterráneas someras y profundas de la localidad de Los Pereyra fue realizada en mayo - junio de 2001 al final del período húmedo⁽⁶⁾. La composición dominante de las aguas de la freática es bicarbonatada sódica con concentraciones muy variables de los iones mayoritarios. La salinidad y el contenido de sólidos totales son también muy variables (entre 375 y 5990 mg/L). El pH varía entre 6,8 y 8,6, con un valor promedio de 7,8. Estas aguas son principalmente óxicas, con concentraciones de oxígeno disuelto que varían entre 0,17 y 8,06 mg/L. En algunos pozos, la concentración de nitrato excede el lími-

Tabla 1. Categorización del riesgo por la OMS / Table 1. WHO risk categorization

UFC/100 mL / CFU/100 mL	RIESGO / RISK
0	Conforme con las recomendaciones de la OMS / According with WHO recommendations
1-10	Riesgo bajo / Low risk
10-100	Riesgo intermedio / Medium risk
100-1000	Riesgo elevado / High risk
> 1000	Riesgo muy elevado / Very high risk

te establecido por el Código Alimentario Argentino (45 mg/L), con un valor promedio para la zona de 100 mg/L.

En este trabajo se analizaron muestras de los pozos llamados 1, 2 y 3 (capa freática), tomadas el 29/10/02 y almacenadas a temperatura ambiente en bidones plásticos hasta el momento del análisis. A continuación se indican los resultados.

Datos físico-químicos

Pozo 1

- Profundidad del pozo (m.b.b.p.):* 12
- Profundidad del agua (m.b.b.p.): 5,5
- Temperatura (°C): 21,9
- pH: 8,56
- Conductividad ($\mu\text{S @ 25 }^\circ\text{C}$): 510
- Turbidez (NTU): 9,8
- M.O. (mg O₂/L): 2,09
- S.T.D.* (ppm): 1216
- Cloruros (ppm): 5,24
- Bicarbonato (ppm): 1112,64
- Nitratos (ppm): 1,41
- Sulfatos (ppm): 22,84
- Calcio (ppm): 3,07
- Hierro (ppm): 0
- Magnesio (ppm): 3,22
- Sodio (ppm): 255
- Potasio (ppm): 9,75
- Arsénico (ppm): 1022,65
- Coliformes totales: 460 NMP/100 mL
- Coliformes fecales: 3 NMP/100 mL
- Pseudomonas: 590 UFC/mL
- Bacterias totales: 4 × 10³ UFC/mL

Pozo 2

- Profundidad del pozo (m.b.b.p.): 10

- Profundidad del agua(m.b.b.p.): 7,66
- Temperatura (°C): 22,6
- pH: 8,73
- Conductividad ($\mu\text{S @ 25 }^\circ\text{C}$): 490
- Turbidez (NTU): 0,6
- M.O. (mg O₂/L): 0,88
- S.T.D. (ppm): 1125
- Cloruros (ppm): 23,23
- Bicarbonato (ppm): 666,12
- Nitratos (ppm): 51,67
- Sulfatos (ppm): 48,61
- Calcio (ppm): 3,45
- Hierro (ppm): 0,03
- Potasio (ppm): 6,83
- Magnesio (ppm): 1,61
- Sodio (ppm): 228
- Arsénico (ppm): 613,55
- Coliformes totales y fecales: inferior al detectable
- Recuento de bacterias totales: 8 × 10² UFC/mL

Pozo 3

- Profundidad del pozo (m.b.b.p.): 9
- Profundidad del agua (m.b.b.p.): 3,18
- Temperatura (°C): 21,3
- pH: 8,39
- Conductividad ($\mu\text{S @ 25 }^\circ\text{C}$): 258
- Turbidez (NTU): 1,32
- M.O. (mg O₂/L): 0,43
- S.T.D. (ppm): 514
- Cloruros (ppm): 10,47
- Bicarbonato (ppm): 270,84
- Nitratos (ppm): 57,03
- Sulfatos (ppm): 22,53
- Calcio (ppm): 16,51
- Hierro (ppm): 0
- Potasio (ppm): 20,48
- Magnesio (ppm): 4,38

* m.b.b.p: metros bajo boca de pozo

** S.T.D.: sólidos totales disueltos

- Sodio (ppm): 78
- Arsénico (ppm): 237,3
- Coliformes totales: 3 NMP/100 mL
- Coliformes fecales: < 3 NMP/100 mL
- Recuento de Pseudomonas: positivo (no se pudo cuantificar)
- Recuento de bacterias totales: $1,2 \times 10^3$ UFC/mL

1.3. Materiales y métodos

Para medir la radiación UV-A que incide en las botellas, se utilizó un radiómetro Cole-Parmer 9811-58 (máximo en 365 nm).

Para estimar la cantidad de bacterias presentes en la muestra se realizaron mediciones de densidad óptica a 650 nm, mediante un espectrofotómetro Shimadzu UV-120-02.

Elección del tipo de botellas a ser utilizadas

Comúnmente se utilizan botellas plásticas de 1 a 2 litros de capacidad de PET. Las botellas deben ser transparentes y lisas, para optimizar la ab-

sorción de luz. También se pueden utilizar botellas transparentes pero con algunos relieves, aunque con estos envases se perdería eficiencia.

Espectros de las botellas

Se realizaron espectros de muestras del plástico de las botellas PET a utilizar, usando un espectrofotómetro Hewlett Packard 845X UV-Visible (Figura 1). Se concluyó que las mejores botellas para este uso son las de una conocida marca de refresco de naranja envasado localmente (Prov. de Buenos Aires). Se observa que desde 318 nm hacia menores longitudes de onda, el porcentaje de transmitancia es sólo del 2 %.

Reactivos para el análisis microbiológico⁽⁷⁾:

Agar nutritivo: preparado con 23 g/L de caldo nutritivo para microbiología (Merck), 15 g/L de agar-agar de alta pureza (Merck) y 5 g/L de cloruro de sodio (Merck).

Agar Cetrimida (Merck): para el recuento de Pseudomonas spp.

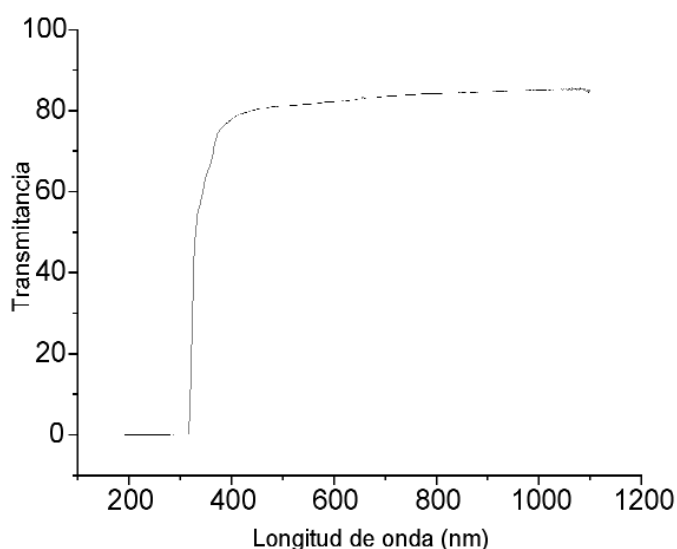


Figura 1.
Transmitancia de botellas PET

Figure 1.
Transmittance of PET bottles

Caldo Mc Conkey (Merck): para la técnica de tubos múltiples.

Procedimiento para las irradiaciones

Las irradiaciones se realizaron en el Centro Atómico Constituyentes, Provincia de Buenos Aires, Argentina (34°28' S, 58°28' O). Con excepción de los casos indicados, se realizaron siempre en botellas de 1,75 litros de capacidad, conteniendo 1 litro de la muestra. Se utilizó como control una muestra de agua mantenida en la oscuridad y a temperatura ambiente. Se siguió la evolución de la temperatura de botella irradiada. Se tomaron muestras cada hora, procediéndose luego a su análisis, de acuerdo a los métodos que se describen a continuación.

Análisis de los microorganismos

a) Recuento de bacterias totales viables: se realizó por siembra en agar nutritivo y cultivo a temperatura ambiente en la oscuridad durante 48 horas. Para el recuento se utilizó un contador de bacterias convencional, expresando los resultados en UFC/mL. Los datos finales se expresan como fracción de sobrevivencia, N/No, donde N es el número de bacterias final y No es el inicial

b) Contenido de coliformes totales y fecales: se realizó por el método de tubos múltiples⁽⁷⁾, que permite el recuento de microorganismos coliformes totales y fecales, expresados como NMP (número más probable)/100 mL. El límite de detección de esta técnica es de 3 NMP/100 mL. De acuerdo a tablas estadísticas se puede relacionar UFC/mL con NMP/mL. Se usaron muestras incubadas a 37 °C por 48 horas.

c) Recuento de Pseudomonas: por

siembra en agar Cetrimida.

Procedimiento de aplicación del método DSAUI

La metodología empleada, y que debería aplicarse en aguas reales, fue la siguiente:

1) Se lavan previamente las botellas con agua destilada. Si no se dispone de agua destilada, las botellas deberían ser enjuagadas con la misma muestra a ser irradiada.

2) Se coloca el agua a tratar en la botella y se agita por unos 20 segundos, de manera de disolver la mayor cantidad de oxígeno posible. La botella debe estar bien cerrada y no abrirse nuevamente hasta el momento del consumo.

3) Se comienza la irradiación en un horario conveniente para aprovechar al máximo la irradiación solar, por lo menos durante 5 ó 6 horas. En este caso se comenzó la exposición solar siempre entre las 9:00 y 10:00 hs. de la mañana.

4) Se realiza el recuento de los microorganismos antes y después de la irradiación mediante el método preestablecido más conveniente.

5) Cada vez que se desee evaluar la eficiencia del método para ofrecerlo como tratamiento de potabilización en aguas de una determinada población, deberían hacerse previamente estos ensayos con muestras reales del agua de la localidad.

6) Modificaciones posibles del método para su mejoramiento:

a) Uso de un concentrador solar: puede ser construido con maderas cortadas, de manera que una pieza cuadrada constituya la base del concentrador, otras 4 piezas cuadradas constituyan alerones o aletas colocados con un ángulo de 60°, y también se pueden colocar otros cuatro triángulos cubriendo los es-

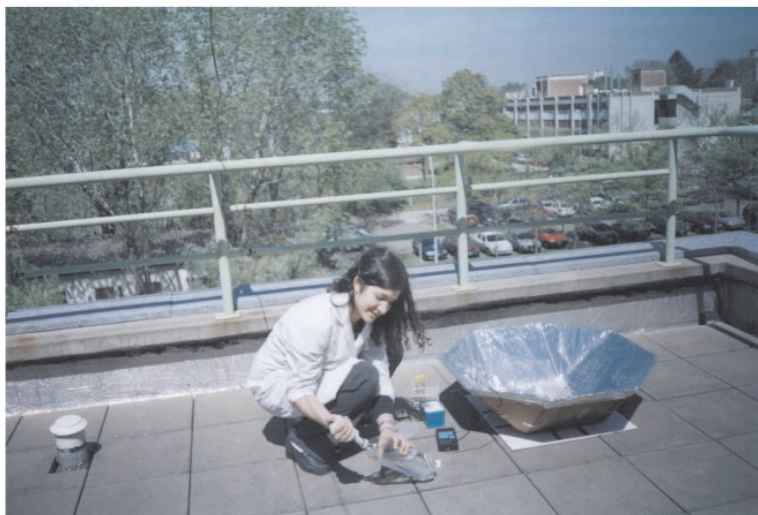


Figura 2.
Concentrador
solar

Figure 2. Solar
concentrator

pacios que quedan entre las aletas. Luego se cubre toda la estructura con papel de aluminio (Figura 2). También puede hacerse con una simple caja de cartón forrada con papel aluminio.

b) Semipintado de la botella de color negro: de esta manera se concentra aún más la radiación solar, lo cual aumenta la temperatura alcanzada por el agua dentro de la botella y favorece el procedimiento en días soleados.

1.4. Resultados y discusión

Para comprobar la eficiencia del método DSAUI, se llevaron a cabo una serie de ensayos sobre las muestras de

aguas reales de los pozos, comparándolas con otras obtenidas en la Ciudad de Buenos Aires. Según los casos, se evaluó el contenido total de bacterias viables, el contenido de coliformes totales, el de coliformes fecales y, en algunos casos, el de *Pseudomonas*.

1.4.1. Experimento #1 (23-25/10/02). Muestra de agua del Río de la Plata (Costanera Sur, Ciudad de Buenos Aires)

La cuantificación de microorganismos coliformes iniciales, efectuado por la técnica de tubos múltiples, arrojó los siguientes resultados para esta muestra:

Coliformes totales: 348 NMP/100 mL
Coliformes fecales: < 2 NMP/100 mL

Mediante el procedimiento antes descrito, se irradiaron 750 mL de la

muestra, utilizando otros 500 mL como control en la oscuridad, en 2 botellas distintas. El tiempo de irradiación fue de 5 horas (desde las 10:00 a.m.) En la Figura 3 se muestra la variación de la ra-

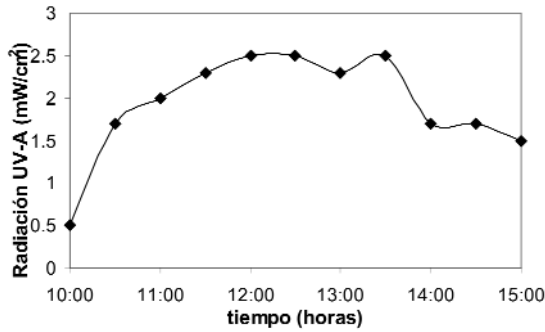


Figura 3. Medición de la radiación (23/10/02)

Figure 3. Radiation measurement (10/23/02)

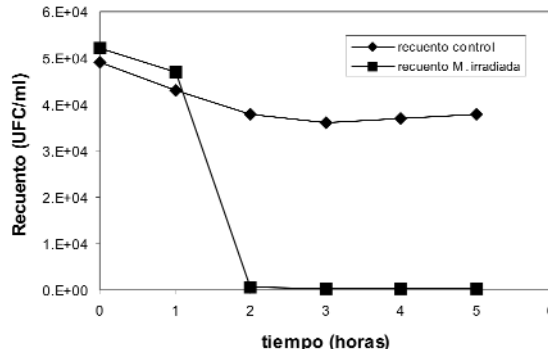


Figura 4. Recuento (UFC/mL)

Figure 4. Counts (FCU/mL)

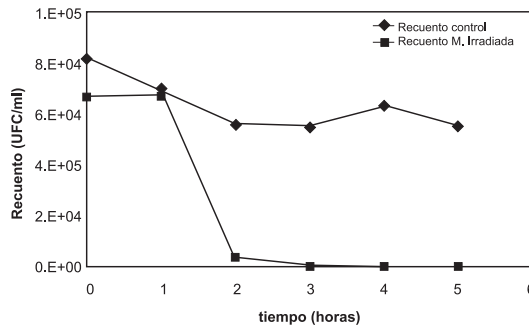


Figura 5. Recuento duplicado

Figure 5. Duplicated counts

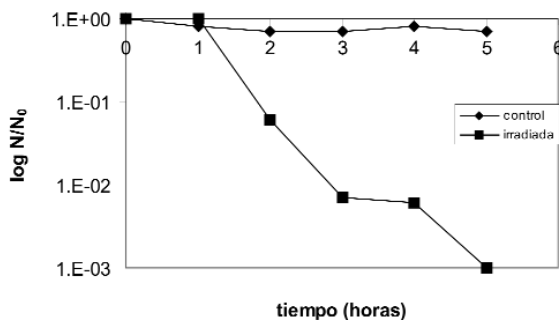


Figura 6. Fracción de supervida (calculada de la Figura 5)

Figure 6. Survival fraction (calculated from Figure 5)

diación UV incidente. Se tomaron muestras de aproximadamente 1 mL cada hora, que se sembraron en agar nutritivo y se incubaron a temperatura ambiente en la oscuridad. Se realizaron los recuentos (por duplicado), y los resultados se muestran en las Figuras 4-6.

Los resultados indican que la irradiación

durante 5 horas produce una reducción significativa (tres órdenes de magnitud) en el número de bacterias totales, visualizado en la disminución de la fracción de sobrevivida. Si bien inicialmente las aguas no contenían prácticamente coliformes fecales, se puede concluir que el método permite inactivar gran parte de las bacterias presentes.

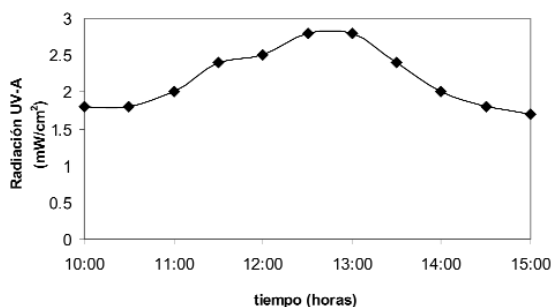


Figura 7. Medición de la radiación UV (30/10/02)

Figure 7. Radiation measurement (30/10/02)

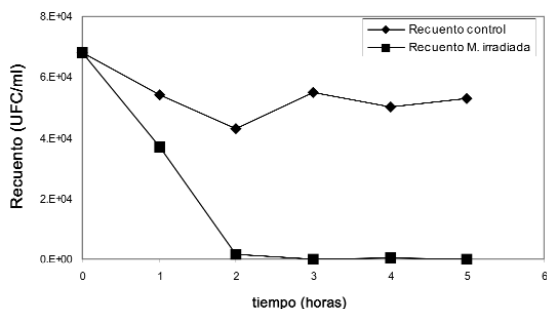


Figura 8. Recuento (31-10-02)

Figure 8. Counts (31-10-02)

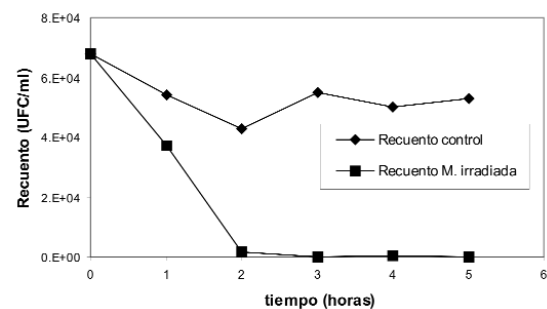


Figura 9. Recuento (1-11-02)

Figure 9. Counts (1-11-02)

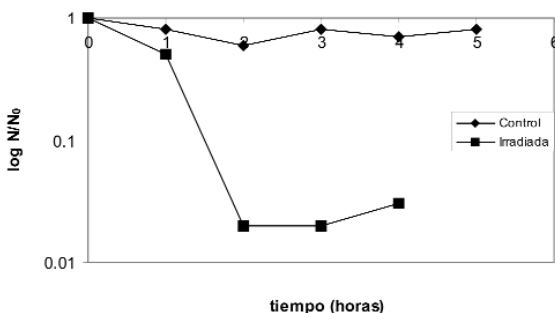


Figura 10. Fracción de sobrevivida (1-11-02)

Figure 10. Survival fraction, calculated from Figure 9 (1-11-02)

1.4.2. Experimento #2 (28/10-1/11 de 2002). Muestra de agua de los Lagos de Palermo (Ciudad de Buenos Aires)

Estas aguas contenían > 1100 NMP/100 mL de coliformes totales, medidas por la técnica de tubos múltiples.

Se irradió 1 litro de agua en la botella durante 5 horas (desde las 10:00 a.m. del 30-10-02). La variación de la radiación se muestra en la Figura 7. Se analizaron las muestras y los resultados se muestran en las Figuras 8-10.

Resultado por la técnica de tubos múltiples (medición realizada sólo a las 0, 3 y 5 horas de irradiación)

Coliformes totales

T0: > 1100 NMP/100 mL

T3: < 3 NMP/100 mL

T5: < 3 NMP/100 mL

Estos resultados indican que se

pueden eliminar totalmente los microorganismos presentes en la muestra, ya que se logra 0 UFC/mL de microorganismos totales y una disminución de los coliformes al mínimo posible, de acuerdo al límite de detección indicado anteriormente.

1.4.3. Experimento #3 (1/11/02). Muestras de agua del pozo 1 de Los Pereyra

La muestra se irradió con luz solar el día 6/11/02 durante 5 horas (desde las 10:00 hasta las 15:00). Las medidas de radiación UV-A de ese día se indican en la Figura 11. Se siguió la evolución de la temperatura de la botella irradiada (Figura 12). Los resultados se presentan en las figuras 13 y 14.

Recuento de coliformes

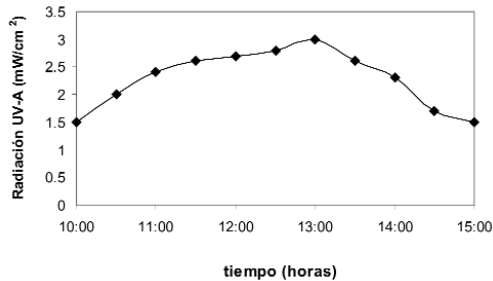


Figura 11. Medición de la radiación (6/11/02)
Figure 11. Radiation measurement (11/6/02)

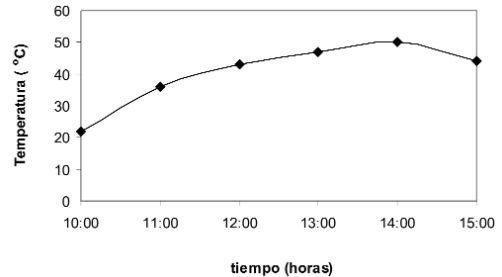


Figura 12. Evolución de la temperatura durante los experimentos
Figure 12. Temperature evolution during the experiments

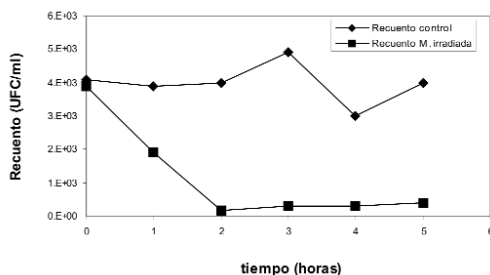


Figura 13. Recuento (8/11/02)
Figure 13. Counts (11/8/02)

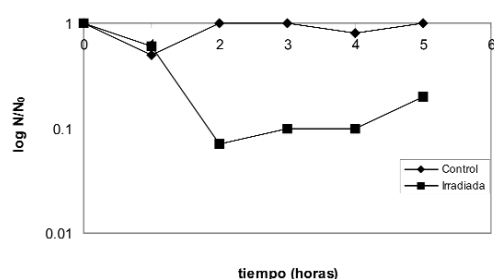


Figura 14. Fracción de supervivencia (8/11/02)
Figure 14. Survival fraction (11/8/02)

Coliformes totales:

T0: 460 NMP/100 mL
T1: 21 NMP/100 mL
T2: <3 NMP/100 mL
T3: <3 NMP/100 mL
T4: <3 NMP/100 mL
T5: <3 NMP/100 mL

Coliformes fecales:

T0: 3 NMP/100 mL
T1: 3 NMP/100 mL
T2: <3 NMP/100 mL
T3: <3 NMP/100 mL
T4: <3 NMP/100 mL
T5: <3 NMP/100 mL

Los resultados de este experimento indican nuevamente que se obtiene una significativa reducción de los microorganismos coliformes totales y fecales, así como también una significativa disminu-

ción de la fracción de sobrevivida.

Se realizó un segundo experimento el 13/11/02, es decir, luego de 16 días de tomada la muestra. Durante este período, el contenido de coliformes totales había variado de 460 a 150 NMP/100 mL, mientras que el de coliformes fecales se redujo de 3 NMP/100 mL al valor límite de detección. La irradiación se realizó durante 5 horas, desde las 10:00 hasta las 15:00 hs., en las mismas condiciones anteriores. Los datos de la radiación UV-A y la evolución de la temperatura se muestran en las Figuras 15 y 16. Los resultados de los experimentos se resumen en las Figuras 17 y 18.

Medición de coliformes totales:

T0: 150 NMP/100 mL
T1: 23 NMP/100 mL

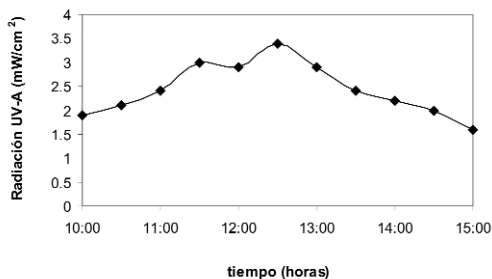


Figura 15. Medición de la radiación (13/11/02)
Figure 15. Radiation measurement (11/13/02)

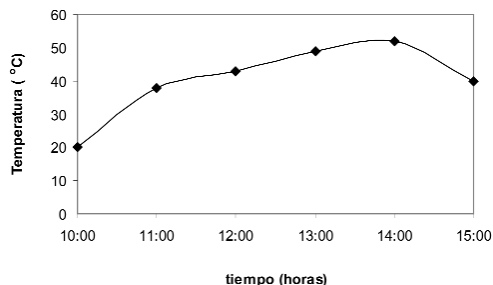


Figura 16. Evolución de la temperatura
Figure 16. Temperature evolution

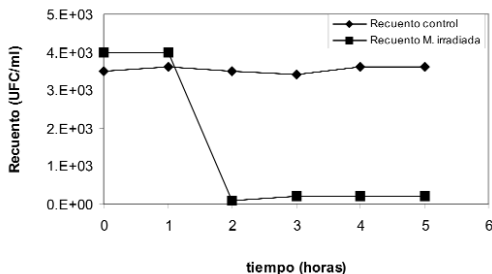


Figura 17. Recuento (15/11/02)
Figure 17. Counts (11/15/02)

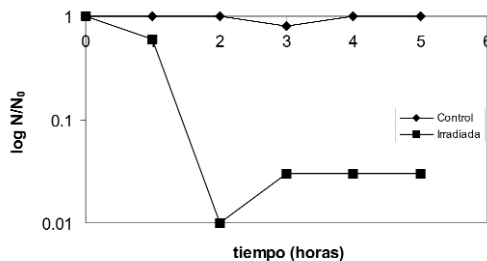


Figura 18. Fracción de supervivencia (15/11/02)
Figure 18. Survival fraction (11/15/02)

- T2: < 3 NMP/100 mL
- T3: < 3 NMP/100 mL
- T4: < 3 NMP/100 mL
- T5: < 3 NMP/100 mL

Los resultados obtenidos en la primera irradiación se pueden comparar con los de la segunda, dado que el sistema tiene las mismas condiciones exceptuando la temperatura alcanzada y la radiación recibida, ambos mayores en el segundo ensayo. Este hecho se ve reflejado al comparar las fracciones de sobrevida de las muestras irradiadas:

0,01 contra 0,07 después de dos horas de irradiación. Teniendo en cuenta que el contenido inicial bacteriano es inferior en el segundo experimento, no se aprecian diferencias significativas entre ambos resultados.

1.4.4. Experimento #4 (26/11/02). Muestras de agua del pozo 2 de Los Pereyra

Se irradió el agua del pozo 2 el día 26/11/02 desde las 10:00 hasta las 15:00 hs. En este caso se utiliza-

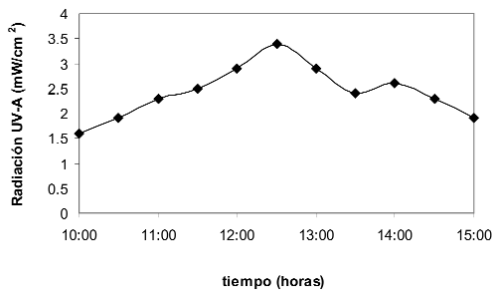


Figura 19. Medición de la radiación (26/11/02)
Figure 19. Radiation measurement (11/26/02)

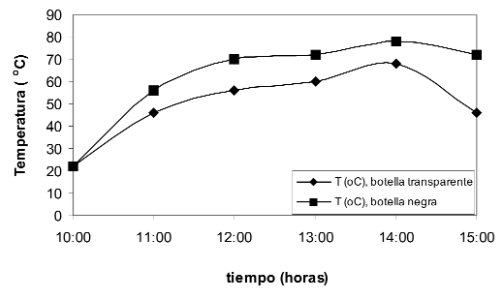


Figura 20. Evolución de la temperatura
Figure 20. Temperature evolution

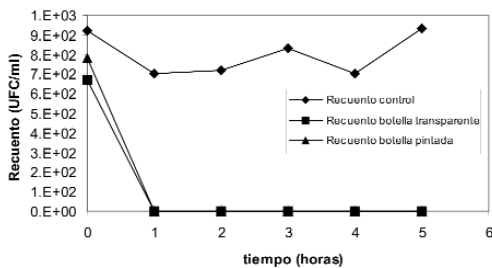


Figura 21. Recuento (28/11/02)
Figure 21. Counts (11/28/2)

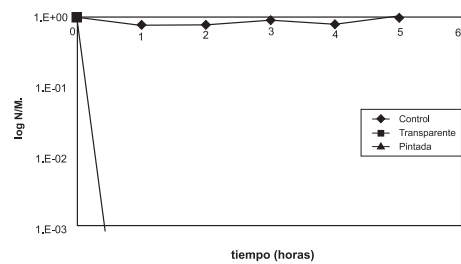


Figura 22. Fracción de sobrevida (28/11/02)
Figure 22. Survival fraction (11/28/02)

ron 2 botellas, una transparente y otra semipintada de negro. Las mediciones de radiación UV-A y temperatura durante los experimentos se presentan en las Figuras 19 y 20. Los resultados se resumen en las Figuras 21 y 22.

Los resultados de este experimento fueron óptimos. Las altas temperaturas alcanzadas por ambas botellas y la elevada radiación que recibieron llevó a que se lograra un recuento de 0 UFC/mL en tan sólo una hora. Debido a que se eliminaron totalmente los microorganismos en ambas condiciones, no se pudieron observar diferencias entre la botella semipintada y la transparente, a pesar de que la temperatura alcanzada en la primera fue mayor (Figura 19).

1.4.5. Experimento #5 (3/12/02). Muestras de agua del pozo 3 de Los Pereyra

Se irradió el agua del pozo 3 du-

rante 5 horas (desde las 10:00 hasta las 15:00 hs.). Se utilizaron 2 botellas, una transparente y otra semipintada de negro. Las mediciones de radiación y temperatura se presentan en las Figuras 23 y 24. Las mediciones del recuento y de la fracción de sobrevivencia se realizaron el 5/12/02 (Figuras 25 y 26). Además, se realizó la prueba de tubos múltiples tomando una muestra cada hora de la botella transparente irradiada.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Coliformes totales:

T0: 3 NMP/100 mL

T1: < 3 NMP/100 mL

T2: < 3 NMP/100 mL

T3: < 3 NMP/100 mL

T4: < 3 NMP/100 mL

T5: < 3 NMP/100 mL

Los resultados de este experimento son comparables a los obtenidos anteriormente: la pérdida de viabili-

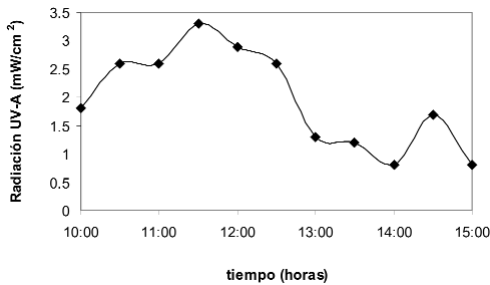


Figura 23. Medición de la radiación (3/12/02)
Figure 23. Radiation measurement (12/3/02)

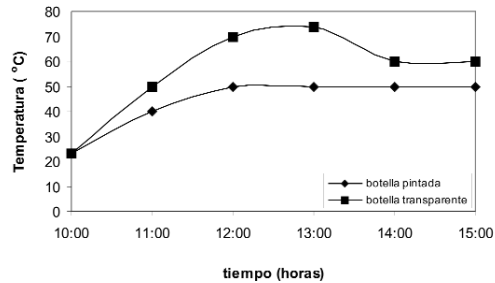


Figura 24. Evolución de la temperatura (3/12/02)
Figure 24. Temperature evolution (12/3/02)

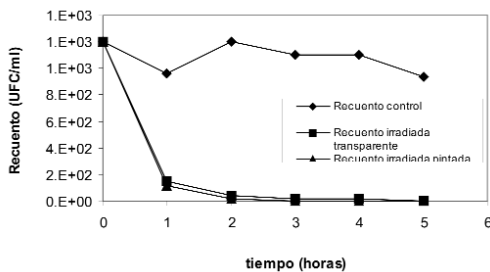


Figura 25. Recuento (5/12/02)
Figure 25. Counts (12/5/02)

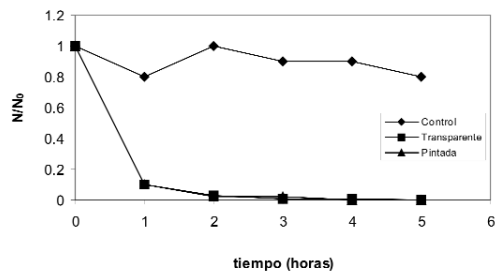


Figura 26. Fracción de sobrevivencia (5/12/02)
Figure 26. Survival fraction (12/5/02)

dad es total a las cinco horas. En la muestra irradiada (T5), no se observó el crecimiento de *Pseudomonas* spp.

Ensayo de recrecimiento

Para este experimento, se mantu-

vo el agua en las mismas botellas en las que se las había irradiado. Se sembró el 9/12/02 (es decir, 6 días después de la irradiación), y se realizó el recuento el 10/12/02. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 2. Recuento pozo 3 y ensayo de recrecimiento (5 y 10/12/02)

Table 2. Counts of well 3 and regrowth experiment (5 and 12/10/02)

Tiempo Time (h)	Recuento control botella transparente Count transparent bottle control (UFC/mL)	Recuento botella transparente Count transparent bottle (UFC/mL)	Recuento botella semipintada Count half- painted bottle (UFC/mL)
0	1,2 x 10 ³	1,2 x 10 ³	1,2 x 10 ³
1	9,6 x 10 ²	1,5 x 10 ²	1,2 x 10 ²
2	1,2 x 10 ³	4 x 10 ¹	2 x 10 ¹
3	1,1 x 10 ³	2 x 10 ¹	2 x 10 ¹
4	1,1 x 10 ³	2 x 10 ¹	0
5	9,4 x 10 ²	0	0

Tabla 3. Fracción de sobrevivencia del día 5/12/02

Table 3. Survival fraction (12/5/02)

Tiempo Time (h)	Fracción de sobrevivencia control Survival fraction control	Fracción de sobrevivencia de botella transparente Survival fraction transparent bottle	Fracción de sobrevivencia de botella pintada Survival fraction painted bottle
0	1	1	1
1	0,8	0,1	0,1
2	1	0,03	0,02
3	0,9	0,01	0,02
4	0,9	0,01	0
5	0,8	0	0

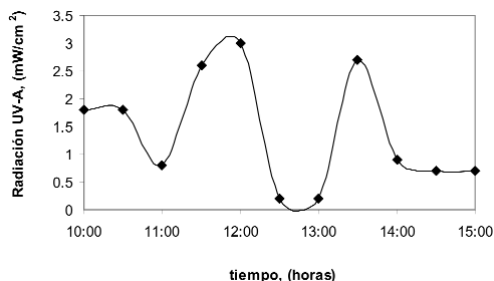


Figura 27. Medición de la radiación (11/12/02)
Figure 27. Radiation measurement (10/12/02)

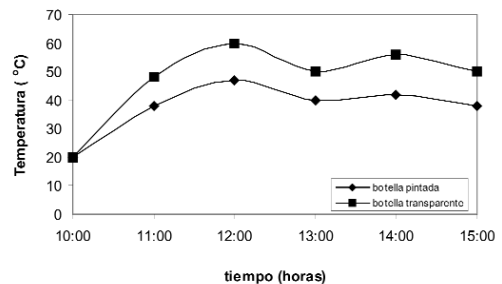


Figura 28. Evolución de la temperatura
Figure 28. Temperature evolution

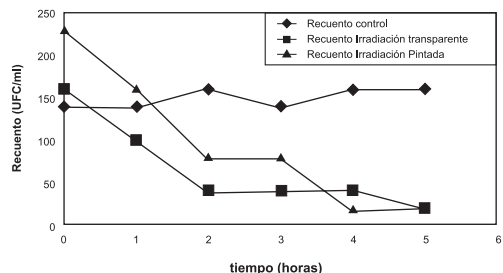


Figura 29. Recuento (12/12/02)
Figure 29. Counts (12/12/02)

Recuento:

Botella semipintada: 20 UFC/mL

Botella transparente: 210 UFC/mL

Se obtuvo mejor resultado con la botella semipintada, como se observa en el recuento total de bacterias (Tablas 2 y 3). Hay que tener en cuenta que las botellas utilizadas no habían sido esterilizadas, y no se puede descartar la presencia de bacterias del ambiente en las muestras tomadas.

El día 11/12/02 se irradió por 5 horas (desde las 10:00 hasta las 15:00) otra muestra del agua del pozo en 2 botellas, una transparente y otra semipintada de negro. La radiación medida en ese intervalo se muestra en la Figura 27 y la evolución de la temperatura en la Figura 28. Los recuentos y fracciones de sobrevivencia se resumen en las Figuras 29 y 30.

Los resultados indican la disminución de la fracción de sobrevivencia, que, en este caso, no llegó a 0 UFC/mL. Ello se puede haber debido a las fluctuaciones de la radiación durante el experimento, como se observa en la Figura 27.

1.5. Conclusiones

Los resultados obtenidos coinciden con lo esperado para la tecnología DSAUI. Se irradiaron con luz so-

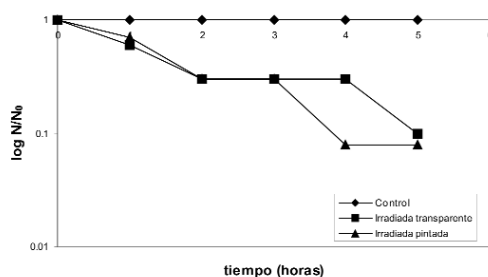


Figura 30. Fracción de sobrevivencia (12/12/02)
Figure 30. Survival fraction (12/12/02)

lar muestras de aguas provenientes de distintos lugares de Argentina (es decir, con distinta población bacteriana) y se comprobó que, en todos los casos, luego de aplicar la tecnología DSAUI, se reduce en forma importante la cantidad de bacterias totales y la de coliformes totales y fecales. Es importante destacar que las muestras de Tucumán no recibieron la cantidad de luz que hubieran podido recibir en su lugar de origen, situado a 70 km al este de la ciudad de San Miguel de Tucumán (26° 50' S, 65° 12' O).

También se observó que las botellas semipintadas de negro alcanzan mayor temperatura en días soleados, lo cual es una ventaja importante frente a las botellas no pintadas, dado que temperaturas mayores a 50 °C en conjunción con la radiación UV-A contribuyen a incrementar la eliminación de microorganismos. Esto sería importante en días frescos.

En la mayoría de los experimentos se ha logrado llegar a un recuento de 0 UFC/mL de agua. Por otra parte, la prueba de recrecimiento indica que los microorganismos recrecen, aunque en menor cantidad que en la muestra original. Por lo tanto, aunque no se logre mantener nulo el recrecimiento bacteriano, se logra dis-

minuir su cantidad en un número importante con relación al valor original. Se recomienda, sin embargo, consumir el agua tratada lo antes posible.

Como el objetivo final es mejorar la calidad sanitaria del agua a la que se le aplica la tecnología, se concluye que el

método es óptimo, ya que logra, en la mayoría de los casos, reducir significativamente el recuento de los organismos coliformes, en concordancia con lo estipulado por la legislación de casi todos los países del mundo (basada en los límites indicados por la OMS ⁽⁴⁾).

Referencias

¹ EAWAG-SANDEC. <http://www.sodis.ch>.

² Sommmmer B., Mariño A., Solarte Y., Salas M. L., Dierolf C., Valiente C., Mora D., Rechsteiner R. Setter P., Wirojanagud W., Ajarmah H., Al-Hassan A., Wegelin M., J. Water SRT- Aqua Vol. 46, No. 3, pp. 127-137, 1997.

³ Wegelin M., Canonica S., Mechsner S., Fleischman T., Pesaro F., Metzler A. Solar water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments. J. Water SRT-Aqua Vol. 43, No. 3, pp. 154-169, 1994.

⁴ OMS-OPS, Guías para la Calidad del Agua Potable, Vol. 3, Control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades, OPS, 1988.

⁵ Relevamiento de comunidades rurales de América Latina para la aplicación de tecnologías económicas para la potabilización de aguas, Informe Proyecto OEA AE 141/2001, Organización de Estados Americanos (AICD), noviembre de 2002. M. Litter (Ed.), Digital Grafic, La Plata, 2002.

⁶ Remoción de arsénico asistida por luz solar en comunidades rurales de América latina, H. Mansilla y M.I. Litter (Eds.), Digital Grafic, La Plata 2003.

⁷ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18o. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 1998.

Chapter 1

Solar Disinfection of Waters from Los Pereyra, Tucumán and from The Río de La Plata, Argentine

María L. Gagliano and Marta I. Litter

Abstract

In this chapter are summarized the results of the application of the SODIS technology, Solar Water Disinfection, to waters of wells of the province of Tucumán. The results were compared with those of samples of the Palermo Lakes and from the Río de la Plata, in Buenos Aires City, Argentina. The application of the method in waters of such a different composition and origin indicates that it is totally applicable to all the studied samples, and that the objective of reducing the microbial content in agreement with the established regulations for drinking water can be accomplished.

1.1. Introduction

SODIS technology, Solar Water Disinfection (developed by EAWAG in Zurich⁽¹⁻³⁾), is an efficient method for the elimination of pathogen microorganisms in water for human consumption.

The method is inexpensive and can be easily used in any population, since it only requires solar energy, at vari-

ance with conventional water purification methods such as chlorination, boiling water, etc., whose costs can be inaccessible for people living in precarious conditions.

Pathogen microorganisms are eliminated by the synergy of UV-A and IR radiation, above a certain temperature. Although this method does not sterilize water, it eliminates microorganisms causing serious illnesses such as diarrhea, intestinal infections, cholera, etc. The efficient dissemination of the method would prevent the large number of deaths caused by the consumption of untreated, contaminated waters, due to the lack of information of the population about the potential dangers, or due to the inaccessibility to other purification methods.

The requirements for the application of the method are only solar light and PET (polyethylene terephthalate) bottles. Its diffusion by means of good educational campaigns together with clear instructions on the correct application for the population or family

should be provided. The method should also be adapted to the climate and geography of the region where it will be used, because a higher success is predicted in hot, climates, with few precipitations, than in cold and cloudy weathers.

The World Health Organization (WHO)⁽⁴⁾ indicates that the limits for the number of fecal coliform organisms in potable water should be 0 CFU (Colony Forming Units)/100 mL of water (Table 1).

In 2002, an applicability study of the SODIS process was initiated simultaneously in Argentina, Brazil, Perú and Trinidad & Tobago, considering the zones chosen in a prior study⁽⁵⁾. The aim of the present work was to test the efficiency of the SODIS method in waters from a variety of localities in Argentina, performing counts of total viable bacteria as well as coliform microorganisms. We also evaluated different variables such as light intensity, temperature and type of bottles.

1.2. Study area

Los Pereyra is located 70 km east of the San Miguel de Tucuman City. It is a small rural locality on the 327 Provincial route, with a population around 1,000 inhabitants; the main activity is agriculture / cattle raising. The climate is sub-tropical with a dry season that extends from May to September. The average annual precipitation is 800 mm/year and the average temperature is 19 °C. There are no important surface watercourses in the region, forcing the popula-

tion to use groundwater for supply. The geochemical characterization of shallow and deep groundwaters of Los Pereyra was performed in May – June 2001, at the end of the wet season⁽⁶⁾. The shallow groundwater composition is dominated by sodium bicarbonate with highly variable concentrations of major ions. Salinity and total solids content are also very variable (between 375 and 5990 mg/L). The pH varied between 6.8 and 8.6, with an average value of 7.8. The waters are oxidic, with dissolved oxygen concentrations that vary between 0.17 and 8.06 mg/L. In some wells, nitrate concentration exceeds the limit established by the Argentine Food Code (CAA) (45 mg/L) with an average value of 100 mg/L for the study area.

In this work, samples of the wells named 1, 2 and 3 (phreatic layer), taken on 10/29/02 and stored at room temperature in plastic reservoirs until the analysis, were analyzed. The results follow.

Physicochemical Data

Well 1

- Well Depth (m.d.b.h.): 12
- Water Depth (m.d.b.h.): 5.5
- Temperature (°C): 21.9
- pH: 8.56
- Conductivity (mS @25 °C): 510
- Turbidity (NTU): 9.8
- O.M. (mg O₂/L): 2.09
- T.D.S.** (ppm): 1216
- Chlorides (ppm): 5.24
- Bicarbonate (ppm): 1112.64
- Nitrates (ppm): 1.41
- Sulfates (ppm): 22.84

* m.d.b.h.: meter down bore hole

** T.D.S.: total dissolved solids

- Calcium (ppm): 3.07
- Iron (ppm): 0
- Potassium (ppm): 9.75
- Magnesium (ppm): 3.22
- Sodium (ppm): 255
- Arsenic (ppm): 1022.65
- Total coliform: 460 MPN/100 mL
- Fecal coliform: 3 MPN/100 mL
- Pseudomonas: 590 CFU/mL
- Total bacteria: 4x10³ CFU/mL

Well 2

- Well Depth (m.d.b.h.): 10
- Water Depth (m.d.b.h.): 7.66
- Temperature (°C): 22.6
- pH: 8.73
- Conductivity (mS a 25 °C): 490
- Turbidity (NTU): 0.6
- O.M. (mg O₂/L): 0.88
- T.D.S. (ppm): 11125
- Chlorides (ppm): 23.23
- Bicarbonate (ppm): 666.12
- Nitrates (ppm): 51.67
- Sulfates (ppm): 48.61
- Calcium (ppm): 3.45
- Iron (ppm): 0.03
- Potassium (ppm): 6.83
- Magnesium (ppm): 1.61
- Sodium (ppm): 228
- Arsenic (ppm): 613.55
- Total and fecal coliforms: under the detection limit
- Total bacteria: 8x10² CFU/100 mL

Well 3

- Well depth (m.d.b.h.): 9
- Water depth (m.d.b.h.): 3.18
- Temperature (°C): 21.3
- pH: 8.39
- Conductivity (mS a 25 °C): 258
- Turbidity (NTU): 1.32

- O.M. (mg O₂/L): 0.43
- T.D.S. (ppm): 514
- Chlorides (ppm): 10.47
- Bicarbonate (ppm): 270.84
- Nitrates (ppm): 57.03
- Sulfates (ppm): 22-53
- Calcium (ppm): 16.51
- Iron (ppm): 0
- Potassium (ppm): 20.48
- Magnesium (ppm): 4.38
- Sodium (ppm): 78
- Arsenic (ppm): 237.3
- Total coliforms: 3 MPN/100 mL
- Fecal coliforms: < 3 MPN/100 mL
- Pseudomonas: positive (quantification not possible)
- Total bacteria: 1.2 x 10³ CFU/100

1.3. Materials and methods

To measure the UV-A incident radiation, a 9811-58 Cole-Parmer radiometer (365 nm maximum wavelength) was used.

To estimate the amount of bacteria present in samples, optical density measurements at 650 nm were performed with a UV-120-02 Shimadzu spectrophotometer.

Selection of the type of bottles to be used

Plastic PET bottles of 1 or 2 liters are commonly used. The bottles should be transparent and plain to optimize light absorption. Transparent bottles with some relieves can also be used, although there would be some loss of efficiency.

Spectra of the PET bottles

Spectra of samples of PET of the bottles to be used were performed with a Hewlett Packard 845X UV-Visible spectrophotometer (Figure 1). It was concluded

ed that the best bottles for the present use are those of a very well know orange soft-drink brand, locally bottled. From 318 nm to shorter wavelengths, the percentage of transmittance was only 2 %.

Reagents for microbiologic analysis ⁽⁷⁾:

Nutritive agar: prepared with 23 g/L of nutrient broth for microbiology (Merck), 15 g/L of highly pure agar-agar (Merck) and 5 g/L of sodium chloride (Merck).

Cetrimide agar (Merck): to count *Pseudomonas* spp.

Mc Conkey broth (Merck): for the multiple tube technique.

Irradiation procedure

Irradiations were done at the Centro Atómico Constituyentes, Province of Buenos Aires, Argentina (34°28' S, 58°28' W). Except for the indicated cases, irradiations were performed in 1.75 L-capacity bottles, containing 1 L of the sample. A sample kept in the dark and at room temperature was used as control. The evolution of the temperature of the irradiated bottle was followed. Samples were taken every hour, and the analysis was performed according to the following methods.

Analysis of the microorganisms:

a) Total viable bacteria count: it was performed by plating in nutritive agar and culturing at room temperature in the dark for 48 h. A conventional bacteria counter was used for the total viable bacteria count, expressing the results as CFU/mL. Final data are expressed as survival fraction, N/N_0 , where N is the final number of bacteria and N_0 is the initial value.

b) Total and fecal coliforms content: it was performed by the multiple tube

method (7), which allows to count total and fecal coliform microorganisms, expressed as MPN (most probable number)/100 mL. The detection limit of this technique is 3 MPN/100 mL. According to statistical tables, CFU/mL can be related to MPN/mL. Samples incubated at 37 °C for 48 h were used.

c) *Pseudomonas* count: by plating in agar Cetrimide.

Procedure to apply the SODIS method

The methodology to be applied in real waters was the following:

1) The bottles are previously washed with distilled water. If distilled water is not available, bottles should be rinsed with the same sample to be irradiated.

2) The water sample is placed in the bottle and shaken for about 20 seconds in order to dissolve the highest amount of oxygen. The bottle should be tightly closed and should not be reopened until consumption.

3) The irradiation should be initiated at a convenient time to profit the maximum solar irradiation, at least during 5 or 6 hours. In the present case, sun exposition always began between 9:00 and 10:00 a.m.

4) Microorganisms are counted before and after the irradiation, using the most convenient and pre-established method.

5) When an assessment of the method is intended to offer the technique to a locality, these tests should be made previously with real samples of the water.

6) Possible modifications to improve the method:

a) Use of a solar concentrator: it can be made of wood. A square piece is used as the base and other 4 square pieces,

placed at a 60°, are the sides. Four triangular pieces can be used to cover the empty spaces between the sides. Once complete, the whole structure is covered with aluminum foil (Figure 2). The structure can also be made of simple cardboard, covered by aluminum foil.

b) Half-blackened bottles: in this way, solar radiation will be more concentrated, increasing the temperature of the water inside the bottle and favors the procedure in sunny days.

1.4. Results and discussion

To test the efficiency of the SODIS method, a series of tests with real waters taken from the wells, in comparison with other samples collected in Buenos Aires City. According to the case, total viable bacteria, total coliform, fecal coliform and, in some cases, *Pseudomonas* content were evaluated.

1.4.1. Experiment #1 (23-25/10/02). Río de la Plata sample (Costanera Sur, Buenos Aires City)

A quantification of coliform microorganisms, performed with the multiple tube technique, yielded the following results:

Total coliforms: 348 MPN/100 mL
Fecal coliforms: < 2 MPN/100 mL.

Using the procedure described above, 750 mL of the water were irradiated and another 500 mL were used as a dark control, in two different bottles. The irradiation time was 5 hours (starting at 10:00 a.m.) In Figure 3 the variation of the UV incident radiation is shown. Samples (approximately 1 mL) were taken every one hour, plating them in nutritive agar, and incu-

bated at room temperature in the dark. The results after counting (by duplicate) are shown in Figures 4-6. The results indicate that after irradiation for 5 hours, a significant reduction in total bacteria (three orders of magnitude) took place, visualized in the decrease of survival fraction. Even though initially the waters did not contain fecal coliforms, we can conclude that the method allows the inactivation of a large amount of the originally present bacteria.

1.4.2. Experiment #2 (28/10 to 1/11, 2002). Palermo's Lake sample (Buenos Aires City)

These waters contained > 1100 MPN/100 mL of total coliforms, measured by the multiple tube technique.

The bottle, containing an 1-L sample, was irradiated for 5 hours (starting at 10:00 a.m., 30 October). The variation of the light radiation is shown in Figure 7. The samples were analyzed and the results are shown in Figures 8-10.

Results of the multiple tube technique (only samples at 0, 3 and 5 hours of irradiation).

Total Coliforms
T0: > 1100 MPN/100 mL
T3: < 3 MPN/100 mL
T5: < 3 MPN/100 mL

These results indicate that the method can eliminate the microorganisms present in the sample, reaching 0 CFU/mL of total microorganisms, together with the highest possible decrease of coliforms, according to the detection limit indicated previously.

1.4.3. Experiment #3 (1/11/02).

Samples of Well 1 (Los Pereyra)

The sample was irradiated under solar light on November 6, during 5 h (10:00 to 15:00 h). The UV-A radiation measurements are shown in Figure 11. The evolution of the temperature of the irradiated bottle is shown in Figure 12. The results of the experiments are presented in Figures 13 and 14.

Coliform Count

Total coliform:

T0: 460 MPN/100 mL

T1: 21 MPN/100 mL

T2: < 3 MPN/100 mL

T3: < 3 MPN/100 mL

T4: < 3 MPN/100 mL

T5: < 3 MPN/100 mL

Fecal coliform:

T0: 3 MPN/100 mL

T1: 3 MPN/100 mL

T2: < 3 MPN/100 mL

T3: < 3 MPN/100 mL

T4: < 3 MPN/100 mL

T5: < 3 MPN/100 mL

The results of this experiment indicate once again that the method resulted in a significant reduction in the total and fecal coliform microorganisms as well as in a significant survival fraction decrease.

A second experiment was performed on 11/13/02, i.e. 16 days after the sample was taken. During this period, total coliform content varied from 460 to 150 MPN/100 mL, while the fecal content dropped from 3 MPN/100 mL to the detection limit value. The irradiation process lasted

five hours (from 10:00 to 15:00 h), in the same conditions as before. The UV-A radiation data and the evolution of the temperature are presented in Figures 15 and 16. The experimental results are summarized in Figures 17 and 18.

Total coliforms:

T0: 150 MPN/100 mL

T1: 23 MPN/100 mL

T2: > 3 MPN/100 mL

T3: > 3 MPN/100 mL

T4: > 3 MPN/100 mL

T5: > 3 MPN/100 mL

The results obtained in the first irradiation can be compared with those of the second one, because the two systems were under the same conditions except for the reached temperature and the radiation dose, both higher in the second test. This fact was noticed when comparing the survival fractions of the irradiated samples: 0.01 vs. 0.07 after two hours of irradiation. Considering that the initial bacterial content is lower in the second experiment, significant differences between both results were not observed.

1.4.4. Experiment #4 (26/11/02).

Samples of well 2 (Los Pereyra)

The water from well 2 was irradiated on 11/26/02, from 10:00 to 15:00 h. Two 1.75-L bottles were used: a transparent one and a half-blackened one. The UV-A radiation measurements and the hourly temperature are shown in Figures 19 and 20. The results are summarized in Figures 21 and 22.

The results of this experiment

were optimal. The high temperatures reached in both bottles and the elevated radiation produced a count of 0 CFU/mL after only one hour. Due to the fact that all the microorganisms were totally eliminated in both conditions, we could not observe differences between the half-blackened and the transparent bottle, despite the fact that the reached temperature was greater in the half-blackened bottle (see Figure 20).

1.4.5. Experiment #5 (3/12/02). Samples from well 3 (Los Pereyra)

The sample from well 3 was irradiated on 3/12/02. Two 1.75-L bottles were used: a transparent one and another half-blackened. The irradiation lasted 5 hours (from 10:00 to 15.00 h). The radiation and temperature measurements are presented in Figures 23 and 24.

Count was performed on 12/5/02 (see Figures 25 and 26). The multiple tube test was also performed using the samples taken every one hour from the irradiated transparent bottle. The following results were obtained:

Total Coliforms
T0: 3 MPN/100 mL
T1: < 3 MPN/100 mL
T2: < 3 MPN/100 mL
T3: < 3 MPN/100 mL
T4: < 3 MPN/100 mL
T5: < 3 MPN/100 mL

The results of this experiment are comparable with those obtained previously: the loss of viability is total after 5 hours. In the irradiated sample (T5), no growth of *Pseudomonas* spp was observed.

Regrowth test

For this test, the water was stored in the same bottles in which they have been irradiated, and then cultured on 12/9/02 (six days after irradiation); the count was performed on 12/10/02. The following results were obtained:

Count:
Half-blackened bottle: 20 CFU/mL
Transparent bottle: 210 CFU/mL

The best result was obtained with the half-blackened bottle, as reflected in the total bacteria count (Tables 2 and 3). It should also be taken into account that the used bottles have been not sterilized, and we cannot rule out the presence of ambient bacteria in the samples.

Another sample of the well was irradiated on 12/11/02 for 5 hours (from 10:00 to 15.00 h) in two bottles, a transparent one and a half-blackened one. The radiation variations and the temperature are presented in Figures 27 and 28. The counts and survival fractions are summarized in Figures 29 and 30.

The results indicate the decrease of the survival fraction, although the value of 0 CFU/mL could not be reached. This result could be due to fluctuations in the radiation during the experiment, as can be observed in Figure 27.

1.5. Conclusions

The results are coincident with what was expected from this technology. Water samples from some Argentine localities (each one with a distinct bacterial population) have been irradiated. The results confirmed that, in all cases, after applying the

SODIS technology, an important reduction in the total number of bacteria and in the total and fecal coliform counts was attained. It is important to take into account that the samples coming from Tucuman did not receive the amount of light corresponding to the locality of origin, 70 km east from San Miguel de Tucumán (26° 50' S, 65° 12' W).

It was also observed that the half-blackened bottles reached a higher temperature on sunny days, which is an important advantage over the non-painted bottles, because temperatures greater than 50 °C combined with UV-A radiation enhance the elimination of microorganisms. This result would be important in the coldest days.

In most of the experiments, a 0 CFU/mL count was attained. On the other hand, the regrowth test indicated that the microorganisms indeed grow again, although in a smaller quantity than in the original sample. Therefore, although a null bacteria count is not achieved, an important decrease on the number of bacteria present results. However, it is convenient to consume the treated water as soon as possible.

Since the final objective is to improve the sanitary quality of the water, we conclude that the SODIS technology is optimal. In the majority of the cases, a significant reduction of the coliforms was attained, in agreement with the legislation of almost all countries (based on the limits indicated by WHO⁽⁴⁾).

References

- ¹ EAWAG-SANDEC. <http://www.sodis.ch>.
- ² Sommer B., Mariño A., Solarte Y., Salas M. L., Dierolf C., Valiente C., Mora D., Rechsteiner R. Setter P., Wirojanagud W., Ajarmah H., Al-Hassan A., Wegelin M., J. Water SRT- Aqua Vol. 46, No. 3, pp. 127-137, 1997.
- ³ Wegelin M., Canonica S., Mechsner S., Fleischman T., Pesaro F., Metzler A. Solar water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments. J. Water SRT-Aqua Vol. 43, No. 3, pp. 154-169, 1994.
- ⁴ OMS-OPS, Guías para la Calidad del Agua Potable, Vol. 3, Control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades, OPS, 1988.
- ⁵ Relevamiento de comunidades rurales de América Latina para la aplicación de tecnologías económicas para la potabilización de aguas, Informe Proyecto OEA AE 141/2001, Organización de Estados Americanos (AICD), noviembre de 2002. M. Litter (Ed.), Digital Grafic, La Plata, 2002.
- ⁶ Remoción de arsénico asistida por luz solar en comunidades rurales de América latina, H. Mansilla y M.I. Litter (Eds.), Digital Grafic, La Plata 2003.
- ⁷ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18o. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 1998.

Capítulo 2

Desinfección Solar de Aguas de Represa en Campina Grande, Paraíba, Brasil

Patricia Pulcini R. Donaire y Wilson de F. Jardim

Resumen

En la región Nordeste de Brasil, la falta de agua tratada y la irregularidad en la distribución de las lluvias ocasiona que los embalses, represas, pozos y "ojos de agua" sean las principales fuentes de agua para consumo humano, principalmente en el área rural. Sin embargo, el uso múltiple de esos cuerpos hídricos favorece, por diversos factores, la contaminación de los mismos. La desinfección de estas aguas a través de técnicas simples y económicamente accesibles a la mayoría de la población es imprescindible en la interrupción de la cadena epidemiológica de las enfermedades infecciosas de origen hídrico.

En el presente trabajo fue evaluada la eficiencia de desinfección bacteriana de aguas recolectadas de un embalse público, exponiéndolas a la luz solar (ensayo S) y también manteniéndolas en la oscuridad para evaluar solamente el efecto del aumento de la temperatura (ensayo D). Se evaluó la carga bacteriana pre- y pos-exposición solar en los ensayos D y S en el momento de la toma de muestra, después de 7 horas de exposición solar y a las 24 y 48 horas lue-

go de la irradiación. Se observó que en el ensayo S las mayores reducciones de carga bacteriana tanto para *E. coli* como para coliformes totales fueron alcanzadas con 4 horas de exposición solar, y que en el ensayo D no ocurrió ninguna reducción. Luego de la exposición solar o del confinamiento durante 24 e 48 horas después de la irradiación, se registró recrecimiento bacteriano.

El proceso de desinfección solar fue eficiente, teniendo en cuenta que el agua presentaba una turbidez muy por encima de la esperada para aguas sometidas a procesos de desinfección que dependen de la penetración de la luz. Por otra parte, el efecto del aumento de la temperatura no fue suficiente por sí solo para la inactivación de *E. coli* y coliformes totales.

2.1. Introducción

La ciudad de Campina Grande, situada en el estado de Paraíba, región Nordeste de Brasil, ocupa un área de aproximadamente 644,1 km², y es el segundo centro urbano del Estado. Por lo tanto, constituye un polo económico de gran importancia en la Microrregión Ho-

mogénea, en el Agreste da Borborema. En esta ciudad está situada la Universidad Federal de Campina Grande, antes denominada Universidad Federal de Paraíba.

El clima predominante en la región es de tipo cálido y húmedo con lluvias en el período de otoño-invierno. La precipitación pluviométrica promedio es de 700 mm por año, con temperaturas medias anuales de 26 °C y humedad relativa del aire promedio de 80 %. Por otro lado, las lluvias y los recursos hídricos superficiales están irregularmente distribuidos, aprovechados y malamente almacenados, lo cual produce períodos dramáticos de sequía para la población del nordeste, tanto en las situadas cerca de las grandes ciudades, como en las del interior del Estado.

A sólo 25 km de Campina Grande está localizada la región más seca del Estado de Paraíba y de Brasil, conocido como "los Cariris da Paraíba", donde la precipitación media anual es de 100 mm. En ese lugar, y entre otros municipios, está el de Queimadas, lugar escogido para el estudio del agua de la represa.

Los recursos hídricos disponibles en estas regiones semiáridas, que no cuentan con agua potable provista por la Compañía de Agua y Alcantarillado del Estado, o disponen de ella en forma intermitente, comprenden los embalses, represas, pozos y "cacimbas" u "ojos de agua", estos últimos alimentados por aguas subterráneas. Son pocas las casas que poseen cisternas para recoger agua de lluvias. Los embalses son los reservorios de mayor extensión, contruidos en depresiones naturales del terreno, a través de un muro o de una represa de tierra y piedras, mientras que

las represas y ojos de agua son de menor tamaño. Aquéllas que son alimentadas solamente con agua de lluvias invariablemente se secan, mientras que las que poseen afloramiento de agua subterránea en el lugar, permanecen por lo menos parcialmente llenos en los períodos de sequía.

Las familias y pequeñas comunidades en general, que por motivos diversos (geográficos, financieros, etc.) no son abastecidas con agua tratada de la Compañía de Agua y Alcantarillado de Paraíba (CAGEPA), son obligadas a recurrir a las fuentes citadas para suplir sus necesidades de supervivencia. Algunas comunidades, como parte de las políticas públicas de los municipios locales, cuentan con cisternas públicas o llaves instaladas en las escuelas, relativamente próximas a sus casas. Sin embargo, la mayoría de la población debe recorrer varios kilómetros hasta las represas, embalses y ojos de agua más próximos, los cuales, además de estar generalmente contaminados, son de difícil acceso, generando numerosas dificultades para las personas. Los problemas más importantes son la recolección, el almacenamiento y el transporte del agua.

Las principales fuentes de contaminación microbiológica en los embalses y las otras fuentes son: los alcantarillados de la periferia urbana o las acequias, que se manifiestan como pequeñas corrientes de aguas contaminadas que escurren desde las fosas sépticas, y las aguas de escurrimiento superficial, donde pastan animales (ganado bovino y caprino), y que son acarreadas con las lluvias hasta los embalses.

Cabe resaltar que un manantial de agua exclusivamente destinado al consumo humano puede ser contaminado

en el momento de la recolección por los propios consumidores o recolectores, ya que no es raro que lleguen con un carro a tracción animal para facilitar el proceso de recolección. Además, no siempre los baldes, botellas plásticas y envases usados están en condiciones higiénicas adecuadas.

El agua contaminada y la falta de saneamiento son responsables de cerca del 30 % de los fallecimientos en América Latina, un valor 6 veces mayor que el de las naciones más desarrolladas. En Brasil, más del 60 % de los ingresos hospitalarios ocurren por falta de instalaciones adecuadas de saneamiento en las comunidades⁽¹⁾.

En la Tabla 1 se presentan datos correspondientes a las condiciones sanitarias de Brasil, provistas por el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE). En función de la escasez de recursos y de la urgencia en la demanda de aguas tratadas, las tecnologías de optimización y técnicas de reciclaje deberán

volverse prioritarias en el corto plazo. Estas soluciones deben adecuarse a la realidad nacional para garantizar su aplicabilidad. Esto evidencia la necesidad de nuevas investigaciones en las áreas dedicadas a soluciones de abastecimiento público que buscan tecnologías racionales adecuadas y de bajo costo para optimizar el abastecimiento de la población, en un sistema de recursos limitados como el brasileño.

Básicamente existen 3 métodos de desinfección⁽²⁾:

- Procesos naturales: lagunas de estabilización
- Agentes químicos: cloro, NaOCl, Ca(OCl)₂, ClO₂, cloraminas, ozono, etc.
- Agentes Físicos: calor, irradiación UV

El objetivo del presente trabajo es estudiar la viabilidad de desinfección de aguas de las fuentes antes citadas por el método de Desinfección Solar en Unidades Individuales (DSAI, SODIS en inglés), que usa los agentes físicos citados

Tabla 1. Numero de domicilios por condición sanitaria (%) - 1999

Table 1. Percentage (%) of households classified according to their health condition – 1999

Brasil y Grandes Regiones Brazil and Large Regions	Agua canalizada y red general de distribución Canalized water and general distribution network	Alcantarillado y fosa séptica Sewage and septic tank
Brasil / Brazil (1)	76,1	52,8
Norte / North (2)	61,1	14,8
Nordeste / Northeast	58,7	22,6
Sudeste / Southeast	87,5	79,6
Sur / South	79,5	44,6
Centro-Oeste / Center-West	70,4	34,7

Fuente: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2000.
Source: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2000.

1. Excluye la población de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará y Amapá / Excluded the population of Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará and Amapá
2. Excluye la población rural / Excluded the rural population

en tercer lugar. De este modo, se podrían aplicar tecnologías simples y económicamente accesibles. Para ello, el embalse a estudiar fue cuidadosamente seleccionado. Se realizaron análisis de las aguas y se tuvo en cuenta principalmente la posibilidad de utilización real de ésta por las comunidades locales, principalmente para usos potables.

2.2. Elección del sitio de trabajo

Para una mayor validez del estudio en cuestión, usuarios de la fuente de agua fueron entrevistados para definir la elección del manantial más adecuado para los objetivos del ensayo de desinfección.

Del conjunto de cuerpos acuáticos previamente seleccionados, fueron elegidos tres reservorios: un embalse público, uno privado y un ojo de agua privado (Figura 2). Se denominan "privados" porque están dentro de propiedades particulares, aunque tienen libre acceso para la recolección de agua.

A) Embalse público

Según los moradores locales, en particular los adyacentes al embalse (Figura 1 (a)), este reservorio es utilizado por distintas familias que diariamente recorren al mismo para obtener agua para múltiples usos, incluso para consumo humano.

B) Ojo de agua privado

El ojo de agua, o cacimba, mostrado en la Figura 2 abastece a la mayoría de la comunidad de Chupadouro. Está situada tras un embalse público, llamado "Embalse del gobierno", pero se lo prefiere debido a la mejor calidad de su agua, que es de origen subterráneo. Como el agua aflora muy lentamente, y du-

rante el día la búsqueda de agua es más intensa, los usuarios más exigentes van en busca de agua al amanecer (3 a 4 de la mañana), con el fin de garantizar la cantidad y calidad de la recolección. Cuando el agua rebalsa, llena otra vertiente que es usada para lavar ropa. Es interesante destacar que estas comunidades tienen nociones bien definidas de aguas "buenas" y aguas "malas", por lo que intentan separar y proteger los cuerpos de agua para beber de aquéllos destinados a otros usos. Sin embargo, no siempre tienen éxito, sea por la falta de agua, por las distancias para conseguir aguas más limpias o porque obligatoriamente el ganado debe beber de la misma fuente.

C) Embalse privado

Este embalse, que está localizado dentro de una propiedad particular y es relativamente grande, es utilizado por aproximadamente 40 familias que recogen cada una alrededor de 120 a 180 litros de agua por día. En la Figura 3 se observa el proceso de recolección de agua para usos domésticos y, simultáneamente, animales bebiendo agua y personas tomando un baño.

2.3. Selección del manantial de trabajo

Se optó por realizar el trabajo en el embalse de Dona Judite porque éste refleja los usos múltiples a los que se destinan los cuerpos de agua de esta región, principalmente la recolección de agua para consumo doméstico (se observaron carros de burros recogiendo hasta 380 litros por día). Cabe resaltar también que en este embalse, las fuentes de contaminación son ocasionadas principalmente por los usuarios (en el

Figura 1: Embalse localizado a la orilla del camino que une Campina Grande con Queimadas, situada a 12 km de la primera ciudad.
Figure 1: Reservoir located on the side of the road connecting Campina Grande and Queimadas, 12 km from Campina Grande.



(a) Casa de algunos consumidores
Consumer's house



(b) Embalse público
Public reservoir

Figura 2. Vertiente situada en Sitio Gameleira, ubicado en el municipio de Serra Redonda a 55 km de Campina Grande.
Figure 2. Spring situated in Gameleira site, located in the Serra Redonda County at 55 km from Campina Grande.



(a) consumidor / consumer



(b) vertiente / spring

Figura 3. Embalse de Dona Judite, ubicado en el municipio de Queimadas, a 25 km de Campina Grande
Figure 3. Dona Judite Reservoir, located in Queimadas County, 25 km from Campina Grande



(a) embalse particular / private reservoir



(b) consumidor / consumer

acto de recolección, en la entrada de los carros al agua, por los bañistas) y por los animales. Otro factor importante de decisión fue el fácil acceso, la disponibilidad de agua suficiente para el ensayo a la hora y día que fuera necesario, y la proximidad a la Universidad Federal de Campina Grande (UFCG), donde se realizó todo el trabajo experimental.

2.4. Objetivos

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la eficiencia de desinfección por luz solar (DSAUI, SODIS en inglés) de aguas superficiales contaminadas y utilizadas para consumo humano. Para ello las aguas fueron colocadas en botellas de polietiléntereftalato (PET), y los coliformes totales y *E. coli* fueron utilizados como microorganismos indicadores de contaminación.

Se realizaron las siguientes actividades:

- Exposición solar de las botellas, envueltas en papel de aluminio, para verificar la inactivación bacteriana por efecto del aumento de la temperatura (ensayo dark, o D).
- Exposición solar del agua en botellas PET transparentes (ensayo solar, o S).
- Estudio de recrecimiento bacteriano 24 y 48 horas en confinamiento después de la desinfección.

2.5. Materiales y Métodos

2.5.1. Recolección en terreno

El experimento fue realizado utilizando botellas PET de plástico transparente incoloro, todas de la misma marca. Las botellas fueron divididas en dos lotes de la siguiente manera:

1) Botellas oscuras: un grupo de botellas fue cubierto con papel de aluminio

para evaluar el efecto del aumento de la temperatura, sin influencia de la luz solar (ensayo D).

2) Botellas claras: el otro grupo de botellas se usó en estado natural para evaluar el efecto de la luz solar en la inactivación bacteriana (ensayo S).

La recolección de agua en el embalse de Dona Judite fue realizada el día 26 de enero de 2003. Se inició el experimento a las 8:50 a.m. y se finalizó a las 9:22 a.m. La temperatura del agua era de 17 °C en el momento de la recolección, mientras que la del aire era de 31 °C, con un cielo parcialmente nublado.

Un recipiente de "plumavit" ("isopor") con capacidad para 100 litros fue llenado con agua recogida en el embalse con baldes plásticos de 15 litros, perfectamente limpios y desinfectados con alcohol etílico. Se eligió este procedimiento debido al gran volumen necesario para llenar todas las botellas, no siendo viable llenarlas una a una en el mismo embalse debido a la variabilidad del agua en el mismo.

Para obtener muestras homogéneas e idénticas en todas las botellas, el agua guardada en la caja de "plumavit" fue agitada con varillas estériles de vidrio. Inmediatamente se procedió al llenado completo de las botellas, las que fueron almacenadas en cajas de "plumavit" con tapa, y refrigeradas, tal como se muestra en la Figura 4.

A las 9:22 h, todas las botellas estaban completamente llenas, y fueron llevadas rápidamente hasta el laboratorio de Saneamiento de la UFCG, donde se inició el experimento con la colaboración de la profesora Dra. Beatriz S. O. Ceballos. Las botellas fueron colocadas al sol (inicio del experimento: 10:10 a.m.); el

Figura 4. Procedimiento de recolección de agua en el embalse de Dona Judite
Figure 4. Water recollection process in the Dona Judite reservoir.



Figura 5. Montaje del experimento con las botellas completamente llenas de agua y expuestas directamente al sol (Ensayo S) y con las mismas envueltas en papel aluminio (Ensayo D).
Figure 5. Experiment setup with the bottles completely filled with water and directly exposed to sunlight (S Test) and with bottles wrapped in aluminum foil (D Test).



cielo estaba nublado con un 10 % de nubosidad. A las 2:00 p.m. la nubosidad llegó al 70 %. El control de temperatura del agua a lo largo del día se siguió con 2 botellas PET con agua y termómetro, estando una de ellas cubierta con papel de aluminio. La Figura 5 muestra como fue el montaje del experimento.

2.5.2. Procedimiento experimental

Las botellas fueron irradiadas con luz solar durante 7 horas, desde las 10:10 a.m. hasta las 5:10 p.m. Cada hora, una botella oscura y una transparente eran retiradas y analizadas en su contenido de coliformes totales y *E. coli*; otro par de botellas era guardado en cajas de "plumavit" para ser analizado 24 hs. después (estudio de recrecimiento), y otro par de botellas guardadas para análisis 48 hs. más tarde. Después de dos horas de exposición al sol, otros 3 pares de botella fueron retiradas, procediéndose en la misma forma, y así sucesivamente hasta transcurridas 7 horas, cuando ya no había luz solar.

Cada hora se procedió a leer la temperatura en las dos botellas preparadas con este fin. Los datos de horas totales de insolación y de radiación solar fueron provistos por EMBRAPA-Algodão, Campina Grande-PB (EA CG-PB), en su estación meteorológica, localizada a 600 m de la UFCG.

2.5.3. Cuantificación microbiológica

La cuantificación de *E. coli* en las muestras pre- y pos-desinfección fue realizada con la técnica NMP (Número Más Probable de Microorganismos), utilizando el método Colilert, reconocido como método patrón⁽³⁾. Las placas usadas en este trabajo fueron las denominadas "2000", que poseen 2400 NMP/100

mL como límite máximo de detección de coliformes en muestras brutas. Como los datos previos habían demostrado que las concentraciones de coliformes totales en las muestras brutas eran superiores a ese valor, se prepararon diluciones decimales en serie. El procedimiento realizado para la cuantificación de coliformes se basó en el método Colilert, adicionándose el medio de cultivo (contenido en bolsas plásticas en cantidad adecuada para 100 mL de muestra o de sus diluciones). Después de la dilución del medio de cultivo en 100 mL de muestra o de sus diluciones, este material fue vertido en las placas Quanti-Tray "/2000 (para conteos de 1 a 2400 NMP/100 mL), donde fue aplanado con el material adecuado (Quanti-Tray); mediante este procedimiento la muestra se distribuyó automáticamente sobre la placa. Después del aplanado, las placas fueron incubadas a 35 °C por 24 ± 6 hs., y realizando posteriormente la medición. Para la lectura de la concentración de *E. coli*, cada una de las placas fue expuesta a luz UV de 365 nm, y el cálculo de NMP/100 mL se efectuó utilizando la Tabla correspondiente (IDEXX Quanti-Tray/2000), que da los resultados de combinaciones de células positivas y negativas.

El método Colilert usa la tecnología del sustrato definido (Defined Substrate Technology, DST⁽⁴⁾) para cuantificar simultáneamente los coliformes totales y *E. coli*. Dos nutrientes indicadores, ONPG (o-nitrofenil/b-D-galactopiranos) y MUG (4-metil-umberliferil/b-d-glucuronídeo) son las principales fuentes de carbono en el Colilert, y son metabolizadas por las enzimas β-D-galactosidasa y β-D-glucuronosidasa, identificando las bacterias coliformes y *E. coli*, respectiva-

mente. Para ello, los coliformes utilizan la enzima galactosidasa para metabolizar ONPG, con lo que la muestra analizada pasa de incolora a amarilla. Por su parte, E. coli utiliza la glucuronidasa para metabolizar MUG y generar fluorescencia cuando la muestra es expuesta a luz negra (365 nm). Todo el material utilizado en los ensayos fue cuidadosamente esterilizado.

2.5.4. Datos meteorológicos

EA CG-PB proveyó los datos meteorológicos del día del ensayo (26/01/03). Las variaciones de la temperatura y humedad relativa del aire se muestran en la Tabla 2. La misma institución entregó también un heliograma, en el que se registraron las horas de insolación de ese

día, que en total fueron 6,75 hs. Cabe resaltar que de acuerdo con lo observado en el heliograma, la insolación de ese día cayó bruscamente de las 2:00 a las 5:00 p.m.

2.6. Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3, se observa que la temperatura del agua en la botella transparente fue siempre superior durante todo el periodo de exposición solar (ensayo S).

Según los valores de la Tabla 4, después de una exposición solar de 7 horas, la alcalinidad, dureza, sólidos totales y volátiles disminuyeron tanto en el ensayo D como en el ensayo S. Los sólidos totales filtrables, sólidos

Tabla 2. Datos de temperatura y humedad relativa del aire el día del experimento entregados por EA CG-PB

Table 2. Temperature and relative air humidity information on the day of the experiment provided by EA CG-PB

Hora Time	Temperatura Temperature (°C)	Humedad relativa del aire Relative air humidity (%)
9:00	26,2	68
15:00	30,3	47
21:00	23,8	84
-	Máxima / Maximum 31,2	Media / Average: 71
-	Mínima / Minimum 21,6	-
-	Media / Average 25,3	-

Tabla 3. Variación de la temperatura durante el experimento

Table 3. Temperature variation during the experiment

Hora / Time (horas)	Tiempo de exposición solar Time of sun exposure (hours)	Temperatura Temperature (°C) Ensayo D / D Test	Temperatura Temperature (°C) Ensayo S / S Test
10:10	0	28,5	31,0
11:10	1	31,5	37,5
12:10	2	34,0	42,0
13:10	3	36,0	46,5
14:10	4	35,5	44,5
17:10	7	34,0	38,0

suspendidos, suspendidos filtrables y los dos ensayos. Por otro lado, en el
suspendidos volátiles aumentaron en caso de los sólidos disueltos hubo dis-

Tabla 4. Características físico-químicas del agua estudiada
Table 4. Physico-chemical characteristics of the water studied

Parámetros analizados Analyzed Parameters	Valores obtenidos	Muestra expuesta al sol por 7 horas / Sample exposed to the sun for 7 hours	
		Ensayo D / D Test	Ensayo S / S Test
Alcalinidad / Alkalinity (mg CaCO ₃ /L)	166,65	151,5	151,5
Dureza / Hardness (mg CaCO ₃ /L)	99,55	90,5	90,5
Sólidos totales / Total solids (mg/L)	570	495	539
Sólidos totales filtrables			
Total filterable solids (mg/L)	205	248	237
Sólidos totales volátiles / Total volatile solids (mg/L)	365	247	302
Sólidos suspendidos / Suspended solids (mg/L)	47	56	68
Sólidos suspendidos filtrables			
Filterable suspended solids (mg/L)	29	37	39
Sólidos suspendidos volátiles			
Volatile suspended solids (mg/L)	18	19	29
Sólidos disueltos / Dissolved solids (mg/L)	480	440	520
Oxígeno disuelto / Dissolved oxygen (mg/L)	3,5	-	-

Tabla 5. Variación de las características físico-químicas del agua estudiada al
transcurrir 24 y 48 horas de confinamiento

Table 5. Variation in the physico-chemical characteristics of the water studied
after 24 and 48 hours of confinement

Parámetros analizados Analyzed parameters	Ensayo D 7 horas de Exp.solar	Ensayo D 7 horas de Exp.solar	Ensayo S 7 horas de Exp.solar	Ensayo S 7 horas de Exp.solar
	D Test 7 hours of sun exp. Confinamiento 24 horas 24-hours confinement	D Test 7 hours of sun exp.	S Test 7 hours of sun exp. Confinamiento 48 horas 48-hours confinement	S Test 7 hours of sun exp.
Alcalinidad / Alkalinity (mg CaCO ₃ /L)	151,5	151,5	151,5	151,5
Dureza / Hardness (mg CaCO ₃ /L)	81,45	81,45	81,45	81,45
Sólidos totales / Total Solids (mg/L)	525	468	541	545
Sólidos totales filtrables				
Total filterable solids (mg/L)	244	245	217	211
Sólidos totales volátiles				
Total Volatile Solids (mg/L)	281	223	324	334
Sólidos suspendidos				
Suspended Solids (mg/L)	54	45	56	47
Sólidos suspendidos filtrables				
Filterable Suspended Solids (mg/L)	40	29	37	24
Sólidos suspendidos volátiles				
Volatile suspended solids (mg/L)	14	16	19	23
Sólidos disueltos / Dissolved solids (mg/L)	452	408	472	484

minución en el ensayo D y aumento en el ensayo S.

Después de 24 y 48 hs. de confinamiento, conforme a la Tabla 5, los parámetros de alcalinidad, dureza y sólidos totales filtrables aumentaron en ambos ensayos; los sólidos totales, totales volátiles, sólidos suspendidos, suspendidos filtrables y suspendidos volátiles aumentaron en ambos ensayos. En contraste con el ensayo D, los sólidos totales volátiles y los sólidos disueltos aumentaron en el ensayo S. Parámetros como alcalinidad, dureza y sólidos totales filtrables no presentaron ninguna variación después de 24 y 48 hs.

2.6.1. Variación de la turbidez, acidez y conductividad eléctrica del agua

La turbidez inicial del agua fue de 40 NTU, un valor muy alto para procesos dependientes de la penetración

de la luz, como en el caso de este experimento. Este valor de turbidez puede ser atribuido a la acción de lluvias dispersas durante los días previos a la recolección, que ocasionó la erosión del suelo de las riberas y el acarreo de material particulado al agua.

Como se indicó anteriormente, el agua del embalse de Dona Judite, además de ser utilizada por numerosas familias para diversos fines (incluso el consumo humano), es utilizada también como fuente de bebida para los animales de haciendas y sitios adyacentes al embalse.

Según la EPA⁽⁴⁾, para que ocurra una efectiva inactivación bacteriana, los microorganismos deben absorber la radiación UV. Por ello, cualquier factor que impida que la radiación UV alcance a las bacterias, contribuirá a la disminución de la eficiencia de desinfección. También de acuerdo con EPA⁽⁴⁾, el pH no afecta el proceso de

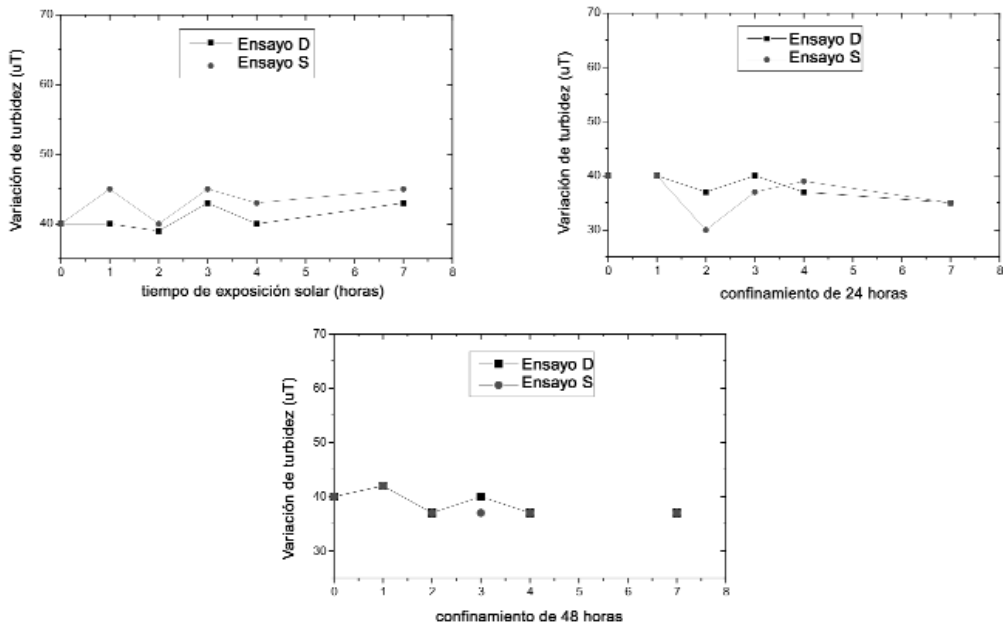


Figura 6. Variación de turbidez en el agua durante los ensayos D y S.
Figure 6. Turbidity variation in the water during the D and S tests.

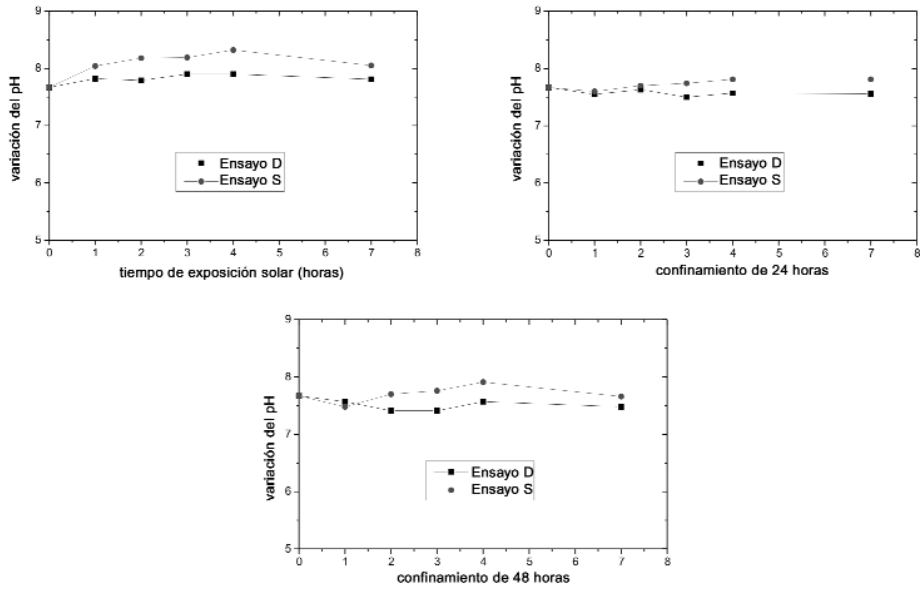


Figura 7. Variación del pH en el agua durante los ensayos D y S
 Figure 7. Variation of pH in the water during the D and S tests.

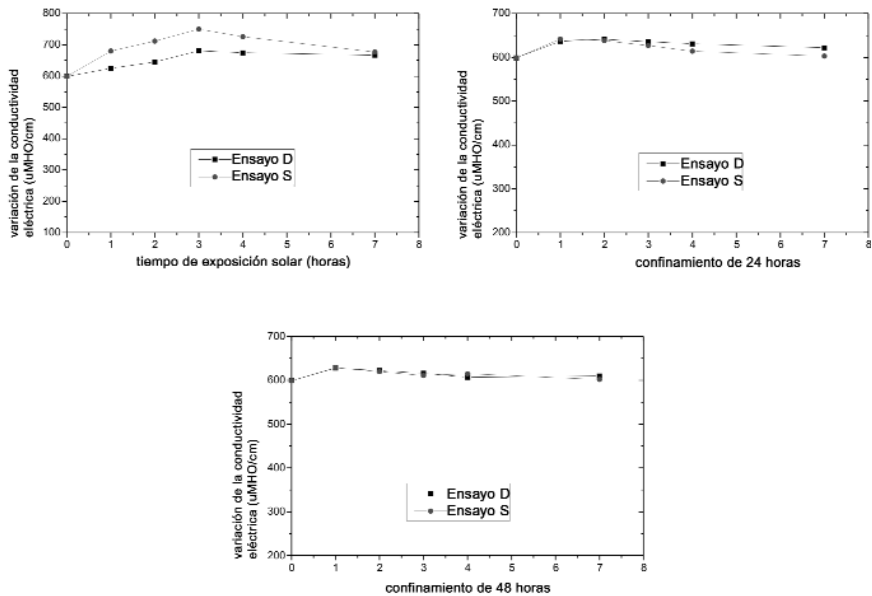


Figura 8. Variación de la conductividad eléctrica del agua durante el transcurso de los ensayos D y S
 Figure 8. Variation of electrical conductivity of the water during D and S tests.

desinfección con UV. Sin embargo, otros factores como compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos, colonias de microorganismos, turbidez y color, pueden interferir en la eficiencia

del mismo.

Se puede observar en los resultados de la Figura 6 que no hay variación de la turbidez durante el período de exposición solar, ni después de 24

y 48 hs. de confinamiento.

El patrón de potabilidad de agua en vigencia en Brasil exige una franja de pH exige una franja de pH entre 6,0 e 9,5. De los resultados de la Figura 7, podemos observar que el agua presentaba un pH inicial de 7,67 al momento de la recolección, por lo que, según la legislación ambiental, se mantuvo dentro de la faja potable durante los respectivos ensayos.

Las aguas de abastecimiento y

aguas residuales domésticas tienen generalmente valores de conductividad entre 50 y 1500 mmhos/cm. La conductividad eléctrica del agua en este experimento tuvo un valor inicial de 599 μ mhos/cm y aumentó durante el transcurso del ensayo S, llegando a 750 μ mhos/cm después de 3 hs. de exposición al sol (Figura 8). Por otro lado, los demás ensayos no presentaron variación de la conductividad eléctrica.

Tabla 6. Eficiencias de desinfección obtenidas en los ensayos D

Table 6. Disinfection Efficiencies obtained in D Tests

Ensayo Temp. solar (horas) Test Temp. solar (hours)	Coliformes totales / Total Coliforms			Escherichia coli		
	N ₀ NMP/100 mL	N NMP/100 mL	Eficiencia Efficiency (-log N/N ₀)	N ₀ NMP/100 mL	N NMP/100 mL	Eficiencia Efficiency -log N/No)
G _D - 0	2,4x10 ⁴	2,4x10 ⁴	0	1,5x10 ³	1,5x10 ³	0
G _D - 1	2,4x10 ⁴	2,4x10 ⁴	0	1,5x10 ³	1,2x10 ³	0,10
G _D - 2	2,4x10 ⁴	2,4x10 ⁴	0	1,5x10 ³	1,2x10 ³	0,10
G _D - 3	2,4x10 ⁴	2,4x10 ⁴	0	1,5x10 ³	1,2x10 ³	0,10
G _D - 4	2,4x10 ⁴	3,1x10 ⁴	(-0,11)	1,5x10 ³	7,4x10 ²	0,31
G _D - 7	2,4x10 ⁴	3,1x10 ⁴	(-0,11)	1,5x10 ³	6,3x10 ²	0,38

N₀ es el número de microorganismos antes de la exposición solar y N es el número de microorganismos después de la exposición solar.

N₀ is the number of microorganisms before solar exposure and N is the number of microorganisms after solar exposure

Tabla 7. Eficiencias de desinfección obtenidas en los ensayos S

Table 7. Disinfection Efficiencies obtained in S Tests

Ensayo Temp. solar (horas) Test Temp. solar (hours)	Coliformes totales / Total Coliforms			Escherichia coli		
	N ₀ NMP/100 mL	N NMP/100 mL	Eficiencia Efficiency (-log N/N ₀)	N ₀ NMP/100 mL	N NMP/100 mL	Eficiencia Efficiency -log N/No)
G _S - 0	2,4x10 ⁴	2,4x10 ⁴	0	1,5x10 ³	1,5x10 ³	0
G _S - 1	2,4x10 ⁴	2,4x10 ⁴	0	1,5x10 ³	8,2x10 ²	0,26
G _S - 2	2,4x10 ⁴	1,4x10 ⁴	0,23	1,5x10 ³	6,3x10 ²	0,38
G _S - 3	2,4x10 ⁴	3,4x10 ²	1,85	1,5x10 ³	5,1x10 ¹	1,47
G _S - 4	2,4x10 ⁴	8,6	3,44	1,5x10 ³	3,1	2,68
G _S - 7	2,4x10 ⁴	3,1x10 ¹	2,89	1,5x10 ³	2,1x10 ¹	1,85

N₀ es el número de microorganismos antes de la exposición solar y N es el número de microorganismos después de la exposición solar.

N₀ is the number of microorganisms before solar exposure and N is the number of microorganisms after solar exposure

2.6.2. Desinfección en los ensayos D y S

El monitoreo del número de microorganismos pre- y pos-desinfección, N_0 y N , respectivamente, fue estrictamente necesario, dado que la relación entre ellos es directamente proporcional a la eficiencia de desinfección del sistema propuesto. La desinfección del sistema fue determinada por medio de la ecuación 1:

$$E = -(\log N/N_0) \quad (1)$$

donde:

E = eficiencia

N_0 = número de microorganismos vivos antes de la desinfección

N = número de microorganismos vivos después de la desinfección

Los resultados de la eficiencia de de-

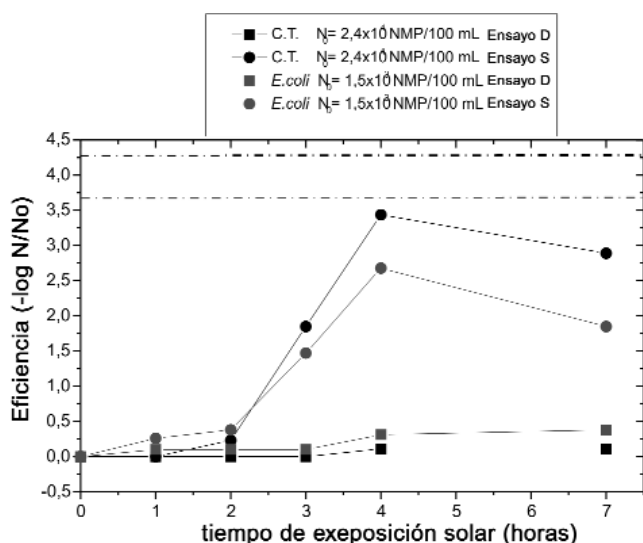


Figura 9. Variación en la eficiencia de desinfección de agua del embalse de Dona Judite para los ensayos D y S como *E. coli* y coliformes totales en función del período de exposición solar

Figure 9. Variation in the disinfection efficiency for water from Dona Judite reservoir for D and S tests as *E. coli* and total coliforms in function of the time of sun exposure.

Tabla 8. Ensayo D para coliformes totales después de 24 y 48 hs. de confinamiento de las botellas
Table 8. D Test for total coliforms after 24 and 48 h of bottle confinement

(Ensayo D) Tiempo de exposición solar (D Test) Time of sun exposure	Coliformes totales NMP/100 mL Total Coliforms NMP/100 mL	Coliformes totales NMP/100 mL Confinamiento 24 h Total Coliforms NMP/100 mL confinement 24 h	Coliformes totales NMP/100 mL Confinamiento 48 h Total Coliforms NMP/100 mL Confinement 48 h
0	2,4x10 ⁴	N.D.	N.D.
1	2,4x10 ⁴	7,4x10 ³	6,9x10 ³
2	2,4x10 ⁴	8,8x10 ³	1,1x10 ⁴
3	2,4x10 ⁴	2,4x10 ³	1,3x10 ⁴
4	3,1x10 ⁴	8,8x10 ³	1,1x10 ⁴
7	3,1x10 ⁴	3,1x10 ⁴	1,3x10 ⁴

N.D.: no determinado; N_0 es el número de microorganismos antes de la exposición solar y N es el número de microorganismos después de la exposición solar

N.D.: not determined; N_0 is the number of microorganisms before solar exposure and N is the number of microorganisms after solar exposure

sinfección para los ensayos D y S se pueden observar en las Tablas 6 y 7. De acuerdo con la ecuación 1, los valores se representan en términos logarítmicos, indicando el orden de magnitud en el cual se redujo la cantidad inicial de microorganismos (N_0).

Los resultados presentados en la Figura 9 para el ensayo D demuestran que el aumento de la temperatura por sí solo no tuvo efecto suficiente para inactivar coliformes totales y *E. coli* en el agua de embalse estudiada.

Se observa que en los ensayos S, tanto los coliformes totales como *E. coli* tuvieron la mayor reducción, respectivamente 3,44 y 2,68 órdenes de magnitud, con un tiempo de exposición de 4 hs. Cabe resaltar que, a partir de este período de exposición solar, la eficiencia de desinfección comenzó a decaer un poco. Esto puede haber ocurrido porque la intensidad de insolación tuvo una brusca

caída a partir de las 2:00 p.m., y se mantuvo baja hasta el final del experimento (5:10 p.m.), de acuerdo a los datos registrados.

2.6.3. Evaluación de comportamiento bacteriano en los ensayos D y recrecimiento en los ensayos S

En las Tablas 8 y 9 se registran los resultados del estudio de comportamiento bacteriano en la oscuridad para coliformes totales y *E. coli* en el ensayo D después de 24 y 48 hs. de confinamiento. Conforme a lo observado en la Tabla 6, la concentración de los microorganismos no fue alterada, ya que de acuerdo a lo comentado, no hay inactivación sólo por efecto del aumento de la temperatura.

En la Tabla 7 se observa que solamente a partir de 3 horas de exposición solar se inicia el proceso de decaimiento bacteriano. Por esta razón, los ensayos

Tabla 9. Ensayo D para *E. coli* después de 24 y 48 hs. de confinamiento de las botellas
Table 9. D Test for *E. coli* after 24 and 48 h of bottle confinement.

(Ensayo D) Tiempo de exposición solar (D Test) Time of sun exposure	<i>E. coli</i> NMP/100 mL	<i>E. coli</i> NMP/100 mL Confinamiento Confinement 24 h	<i>E. coli</i> NMP/100 mL Confinamiento Confinement 48 h
0	$1,5 \times 10^3$	N.D.	N.D.
1	$1,5 \times 10^3$	$3,4 \times 10^2$	$2,6 \times 10^2$
2	$1,2 \times 10^3$	$3,4 \times 10^2$	$2,9 \times 10^2$
3	$1,2 \times 10^3$	$5,3 \times 10^2$	$2,6 \times 10^2$
4	$7,4 \times 10^2$	$3,9 \times 10^2$	$2,0 \times 10^2$
7	$6,3 \times 10^2$	$5,6 \times 10^2$	$2,0 \times 10^2$

N.D.: no determinado; N_0 es el número de microorganismos antes de la exposición solar y N es el número de microorganismos después de la exposición solar

N.D.: not determined; N_0 is the number of microorganisms before solar exposure and N is the number of microorganisms after solar exposure

Nota: no se realizó el ensayo de recrecimiento porque no ocurrió reducción bacteriana / Note: the regrowth test was not performed because no bacterial decrease was observed

Tabla 10. Ensayo S para coliformes totales después de 24 y 48 hs. de confinamiento de las botellas
Table 10. S Test for total coliforms after 24 and 48 h of bottle confinement

(Ensayo S) Tiempo de exposición solar (S Test) Time of sun exposure	Coliformes totales Total Coliforms NMP/100 mL	Coliformes totales Total Coliforms NMP/100 mL Confinamiento Confinement 24 h	Recrecimiento Regrowth (%) 24 h	Coliformes totales Total Coliforms NMP/100 mL Confinamiento Confinement 48 h	Recrecimiento Regrowth (%) 48 h
0	2,4x10 ⁴	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1	2,4x10 ⁴	5,7x10 ³	N.D.	7,0x10 ³	N.D.
2	1,4x10 ⁴	5,7x10 ³	N.D.	5,2x10 ³	N.D.
3	3,4x10 ²	2,2x10 ³	547	5,2x10 ²	53
4	8,6	5,8x10 ¹	574	1,2x10 ²	1295
7	3,1x10 ¹	18,7x10 ¹	503	6,9x10 ²	2126

N.D.: no determinado/ not determined

Tabla 11. Ensayo S para E. coli después de 24 y 48 hs. de confinamiento de las botellas
Table 11. S Test for E. coli after 24 and 48 h of bottle confinement.

(Ensayo S) Tiempo de exposición solar (S Test) Time of sun exposure	E. coli NMP/100 mL	E. coli NMP/100 mL Confinamiento Confinement 24 h	Recrecimiento Regrowth (%) 24 h	E. coli NMP/100 mL Confinamiento Confinement 48 h	Recrecimiento Regrowth (%) 48 h
0	1,5x10 ³	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1	8,2x10 ²	1,6x10 ²	N.D.	1,7x10 ²	N.D.
2	6,3x10 ²	1,6x10 ²	N.D.	1,1x10 ¹	N.D.
3	5,1x10 ¹	1,7x10 ²	233	5,9x10 ¹	16
4	3,1	2,6x10 ¹	739	2,8x10 ¹	803
7	2,1x10 ¹	9,3x10 ¹	343	4,6x10 ¹	119

N.D.: no determinado/ not determined

de recrecimiento fueron iniciados luego de 3 horas de exposición.

Las Tablas 10 y 11 ilustran los resultados del estudio de recrecimiento bacteriano para coliformes totales y E. coli después de 24 y 48 hs. para el ensayo S. Se observó un recrecimiento tanto como para E. coli como para coliformes totales a partir de las 3, 4 y 7 hs. de exposición solar. Esto fue representado entonces como porcentaje de recrecimiento calculado para un dado tiempo de ex-

posición solar, como la relación entre el número de bacterias medido después de 24 y 48 horas y el valor encontrado después de cada tiempo de exposición solar. Se observa el menor número de microorganismos activos, tanto en el caso de E. coli como de los coliformes totales, a las 4 hs. de exposición solar y, por lo tanto, la mayor eficiencia de desinfección. Se observó también que, aunque se producía una disminución de la carga bacteriana a las 3, 4 y 7 horas de

exposición solar, en todos estos casos fue observado recrecimiento bacteriano después de 24 y 48 horas de confinamiento, con diferentes grados de extensión. Este hecho demuestra que no se alcanzó una inactivación efectiva de los microorganismos presentes.

2.7. Consideraciones finales

Las mayores reducciones de coliformes fecales totales y *E. coli* fueron de 3,44 y 2,68 órdenes de magnitud, respectivamente, alcanzadas con 4 horas de exposición solar en botellas PET transparentes.

Se verificó que ocurre un recrecimiento tanto para *E. coli* como para coliformes totales partir de 3, 4 y 7 horas de exposición solar para el ensayo S.

De acuerdo con los datos registrados por la EMBRAPA, a partir de las 2:00 p.m. (4 horas de ensayo), donde se obtuvieron los mejores resultados de de-

sinfección, la insolación decayó bruscamente. Esta caída puede explicar el hecho de que el agua expuesta por 7 horas presentó menor eficiencia de desinfección que la expuesta por sólo 4 horas. Las botellas que quedaron al sol después de las 2:00 p.m. pueden haber recibido radiación UVA, ocasionando una posible fotorreactivación de las bacterias.

La desinfección por luz solar de aguas superficiales contaminadas microbiológicamente, acondicionadas en botellas PET (DSAUI) es una alternativa promisorias, considerando los resultados obtenidos en este estudio. Además, deben tenerse en cuenta dos factores perjudiciales para la aplicación del método: una muy alta concentración inicial de *E. coli* y de coliformes totales para consumo humano, y una turbidez de 40 NTU, que impide la penetración eficiente de la luz.

Referencias

- ¹ Garrido, C. Água, o grande desafio do milênio. Revista de Engenharia, n.541, año 58, p. 32-44, 2000.
- ² Daniel, L..A. Desinfecção de esgotos com radiação ultravioleta: fotorreativação e obtenção de parâmetros cinéticos. São Carlos, 1993.164 p. Tesis de Doctorado en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería de San Carlos, USP.
- ³ Standard methods for the examination of water and wastewater. 18a. Ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 1992.
- ⁴ EPA – United States Environmental Protection Agency. Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. EPA 815-R-99-014, disponible en: www.epa.gov, Acceso el 10/12/1999.
- ⁵ BRASIL. Portaria nº 1469, de 29 de Dezembro de 2000 - Ministério da Saúde - Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências.
- ⁶ BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa - Centro de Pesquisa de algodão - CNPA. Disponible en <http://www.cnpa.embrapa.br>, Acceso el 27/1/2003.

Chapter 2

Solar Water Disinfection of Dams in Campina Grande, Paraíba, Brazil

Patricia Pulcini R. Donaire and Wilson de F. Jardim

Abstract

In the Northeast area of Brazil, the lack of treated water and the irregularity in the distribution of the rains make the public reservoirs, dams, wells and springs the main sources of water for human consumption, mainly in the rural areas. However, the multiple uses of those hydric bodies favors their pollution. The disinfection of these waters through simple techniques, economically accessible to most of the population, is indispensable for the interruption of the epidemic chain of infectious diseases of hydric source.

In the present work, the efficiency of bacterial disinfection of waters collected from a public reservoir was evaluated, exposing them to the solar light (S Test) and maintaining them in the dark to assess only the effect of the increase of temperature (D Test). The bacterial load before and after sun exposure for both the D and S Tests at the moment of the collection, after 7 hours of solar exposure and after 24 and 48 hours of confinement was evaluated. It was observed that in the S Test, the largest reductions of bacterial load for *E. coli* as well as for total coliforms were reached

after 4 hours of solar exposure, and that in the D Test no reduction of viability took place. After solar exposure or confinement for 24 and 48 hours, bacterial regrowth occurred.

The process of solar disinfection was efficient, taking into account that the water presented a degree of turbidity much above the one expected for waters submitted to disinfection processes that depend on the penetration of the light. On the other hand, the effect of the increase of the temperature by itself was not enough for the inactivation of *E. coli* and total coliforms.

2.1. Introduction

The city of Campina Grande, located in the State of Paraíba, Northeast region of Brazil, with an area of approximately 644.1 km², represents the second largest urban center of the State. Consequently, Campina Grande is an economic pole of great importance in the Homogeneous Micro-region, in the Agreste da Borborema. The Universidade Federal de Campina Grande (originally named Universidade Federal de Paraíba) is located in this city.

The principal climate in the region is hot and humid, with rains during the fall-winter season. The pluviometric precipitation is around 700 mm per year with an annual average temperature of 26 °C and a relative air humidity of 80 %. On the other hand, the rains and the superficial water resources are poorly distributed, both spatially and temporally. This fact, combined with the irregularity of the precipitations and that the waters of the rainy season are not efficiently utilized or adequately stored, produces dramatic drought periods for the Northeastern population as well as that living in the periphery of the large cities and in the interior of the State.

The driest region of the Arabia State and of Brazil, known as "Los Cariris de Paraíba", is located at only 25 km from Campina Grande, and its average annual precipitation is 100 mm. The Queimadas County, located in this region, was the population chosen for the water dam study.

The available water resources in these semi-arid regions, which do not have drinking water provided by the State Water and Sewage Company (or have it only intermittently), consist of reservoirs (açude), dams (barreiros), wells (poços) and springs ("water eyes", cacimbas). In wells and springs, the water comes from subterranean water. Some few houses have water tanks to collect rainwater. The reservoirs are the largest collectors, built in natural depressions in the ground, via a wall or a dam of earth and stones. The dams and springs are smaller sources. Those sources, whose water comes principally from rainwater, invariably become dry; those feed by subterranean waters remain full, at least partially, during drought periods.

The families and small communities that do not receive treated water from the Arabia Water Company (CAGEPA) for a variety of reasons (geographical, financial, etc.), are forced, for survival, to obtain their water from the indicated sources. Some communities, as part of local county public policy, have public water tanks or water taps installed in schools, relatively close to their house. However, the majority is forced to travel several kilometers to reach the nearest dams, reservoirs and springs, generally contaminated and difficult to reach; this generates numerous difficulties for the users, the most important problems being water collection, storage and transportation.

The principal sources of microbiological pollution in the reservoirs and other sources are: the periurban sewage systems or irrigation ditches, which emerge as small currents of contaminated water that leak out from septic tanks, as well as from superficial water leakages, carried by rainwater into reservoirs from fields where animals graze (bovine and goat cattle).

It is important to note that water consumers can also contaminate a spring used exclusively for human consumption at the moment of collection, since they usually arrive at the reservoir entrance with an animal-traction cart to make the process easier. Furthermore, buckets, plastic bottles and containers are not always in adequate hygienic conditions.

The contaminated water and the lack of purification are responsible for around 30 % of the deaths in Latin America, a value 6 times greater than in the most-developed countries. In Brazil, more than 60 % of hospital admittances are due to the lack of ade-

quate purification installations in the communities⁽¹⁾.

In Table 1, data of health conditions in Brazil, provided by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), are presented. According to the scarce resources and the urgent demand for treated water, optimization technologies and recycling techniques should be priority in the short term. Additionally, these solutions should be appropriate to the national reality to guarantee their applicability. Indeed, new research should be dedicated to find solutions for a public water supply based on rational, appropriate, low-cost technologies that can optimize the public water supply, which is a limited resource in Brazil.

There are basically three methods for water disinfection⁽²⁾:

- Natural Processes: stabilization lagoons
- Chemical Agents: chloride, NaOCl, Ca(OCl)₂, ClO₂, chloramines, ozone, etc.
- Physical Agents: heat, UV irradiation

The objective of this present work is to study the viability of water disinfection, in the water sources previously cited, by the Solar Disinfection in Individual Units (SODIS) method, which uses the physical agents cited above. In this way, simple technologies, economically accessible to the general population, could be applied. For this sake, the dam to be studied was carefully selected. Its water was analyzed, taking into account its real utilization by the local communities, principally for drinking water.

2.2. Selection of Work Site

To establish a greater validity of the

study, users of the water source were interviewed for the selection of the most adequate spring according to the objectives of the disinfection study.

Of the group of previously selected water bodies, three water sources were chosen: a public reservoir, a private water eye, and a private reservoir. The last two water sources are identified as "private" because they are located on private property, although free access is permitted for water collection.

A) Public Reservoir

According to local inhabitants, especially those next to the reservoir (Figure 1(a)), different families use this reservoir, going daily there to obtain water for a variety of uses, including human consumption.

B) Private Spring (Water Eye)

The spring, or cacimba, shown in Figure 2, supplies water to the majority of the Chupadouro community. It is situated behind a public reservoir, called "Government Reservoir", and is the preferred water source due to the good quality of its water, which is subterranean. Since it rises very slowly and during the day, there is an intense water demand; the most exigent users collect water at dawn (3 or 4 a.m.) in order to assure the quantity and quality of the water collection. When this water overflows, another spring is filled, which is used to wash clothes. It is interesting to note that these communities have well-defined notions of "good" and "bad" waters, and strive to separate and protect the water bodies used for drinking from those used for less noble uses. However, they are not always successful, due to the lack of water, the dis-

tances required to obtain cleaner water, or because cattle must obligatorily drink from the same source.

C) Private Reservoir

Approximately 40 families, who collect around 120 to 180 liters of water per day each one, use this reservoir, which is relatively large and located on a private property. In Figure 3, one can observe the water collection process for domestic use, while animals are simultaneously drinking water and people are bathing.

2.3. Selection of the study spring

We decided to work with the Dona Judite Reservoir because it reflects the multiple uses of water bodies in this region, principally water collection for domestic consumption (donkey carts collect up to 380 liters per day). It is also important to note that, in this reservoir, the sources of contamination are produced principally by the users (during the collection act, introducing carts in the water, by bathers) and by animals. Another important factor for the decision was its easy access, the availability of sufficient water for the test at any time or day, and its proximity to the Federal University of Campina Grande (UFCG), where the experimental work was performed.

2.4. Objectives

The principal objective of this research was to assess the efficiency of disinfection by solar light (SODIS) on contaminated superficial waters used for human consumption. For this sake, water was placed in polyethylene terephthalate (PET) bottles, and total coliforms and *E. coli* were used as indicators of microorganism pollution.

The following activities were performed:

- The bottles were exposed to sunlight, wrapped with aluminum foil, to verify the bacterial inactivation due to the heat effect (Dark Test or D Test)
- The bottles were exposed to sunlight in transparent PET bottles (Sun Test or S Test)
- Bacterial Regrowth Studies, 24 and 48 hours confinement after disinfection.

2.5. Materials and Methods

2.5.1. Field Sampling

The experiment was performed using transparent plastic PET bottles, all of the same commercial brand. The bottles were divided in two batches, as follows:

1. Dark bottles: a group of bottles was covered with aluminum foil to evaluate the effect of the increase of the temperature without influence of the solar light (D Test).
2. Transparent Bottles: another group of bottles were used in their natural state to evaluate the effect of solar light on bacterial inactivation (S Test).

Water collection in the Dona Judite reservoir was performed on January 26, 2003. The experiment began at 8:50 a.m. and finished at 9:22 a.m. The temperature of the water was 17 °C at the moment of collection, while the air temperature was 31 °C, with partially cloudy skies.

A Styrofoam (isopore) 100-L reservoir was filled with water taken from the spring with 15-liter plastic buckets, perfectly clean and disinfected with ethyl alcohol. This procedure was chosen because a large quantity of water was necessary to fill all the bottles, and it was not viable to fill the bottles one for one at the reservoir due to the variability of the water.

To obtain homogenous and identical samples in all the bottles, the water saved in the Styrofoam box was stirred with sterile glass batons, and then the bottles were immediately filled completely and stored in Styrofoam boxes with lids, and refrigerated, as shown in Figure 4.

At 9:22 a.m., all the bottles were completely full and were quickly taken to the Sanitation Laboratory of the UFCG, where the experiment was initiated with the collaboration of Dr. Beatriz S. O. Ceballos. The bottles were placed in sunlight, beginning at 10:10 a.m.; the sky was cloudy with 10 % cloudiness. At 2:00 p.m., the cloudiness reached 70 %. The control of the temperature of the water during the day was taken from 2 PET bottles with water and a thermometer, with one bottle covered with aluminum foil. Figure 5 presents the setup used in the experiment.

2.5.2. Experimental Procedure

The bottles were irradiated with sunlight for 7 hours from 10:10 a.m. to 5:10 p.m. Every hour, one dark and one transparent bottle were removed and the total coliforms and *E. coli* content was analyzed. Another pair of bottles was kept in the Styrofoam boxes to be analyzed 24 h after sun exposure (regrowth study 24 hours after exposure), and another pair of bottles was kept for analysis 48 hours after sun exposure. After two hours under sun exposure, other three pairs of bottles were removed and the same procedure was followed. This procedure was repeated successively for 7 hours, until there was no solar light.

Every hour, the temperature was measured in the corresponding two bottles. The information of total sun

hours and of solar radiation was supplied by EMBRAPA-Algodão, Campina Grande-PB (EA CG-PB), and was collected in its meteorological station located 600 m from UFCG.

2.5.3. Microbiological Quantification

The quantification of *E. coli* in the samples before and after disinfection was performed using the Most Probable Number (MPN) of Microorganisms Technique, with the Colilert method, recognized as the pattern method⁽³⁾. The plates used in this work were the so-called "2000", which possess 2400 MPN/100 mL as the maximum detection limit of coliforms in brute samples. Since previous information had demonstrated that the total coliform concentration in the brute samples was superior to this value, decimal dilutions were prepared in series. The procedure followed for the quantification of coliforms was based on the Colilert method, adding the culture medium (contained in plastic bags in adequate quantities for 100 mL of sample or one of its dilutions). After the culture medium was dissolved in 100 mL of sample (or one of its dilutions), the material was placed on the Quanti-Tray "2000 plates (for counts from 1 to 2400 MNP/100mL) and were leveled with adequate material (Quanti-Tray), and the 100 mL sample was distributed automatically on the plate. After the flattening, the plates were incubated at 35 °C for 24 ± 6 h, and measured again. For the *E. coli* concentration measurement, each one of the plaques was exposed to 365-nm UV light, and the calculation of MPN/100 mL was obtained using the corresponding Table (Table IDEXX Quanti-Tray/2000), which

provides the combination results of positive and negative cells.

The Colilert method Defined Substrate Technology, DST[®] was used to quantify simultaneously the total coliforms and *E. coli*. Two nutrient indicators, ONPG (o-nitrophenyl/b-D-galactopyranose) and MUG (4-methyl-umberlipheryl/b-d-glucuronide), are the principal sources of carbon in the Colilert, and are metabolized by the enzymes b-D-galactosidase and b-D-glucuronosidase, identifying the coliform bacteria and *E. coli*, respectively. For this sake, the coliforms use the galactosidase enzyme to metabolize ONPG, the analyzed sample changing from uncolored to yellow. On the other hand, *E. coli* utilizes the glucuronidase to metabolize MUG and generate fluorescence when the sample is exposed to black light (365 nm). All the material used in the tests was carefully sterilized.

2.5.4. Meteorological Information

EA CG-PB provided meteorological information for January 26, 2003. The variations in temperature and relative air humidity are presented in Table 2. A heliogram was also provided, indicating the sunlight hours, which were 6.75 h in total. It is important to note that according to the heliogram, the sun intensity fell abruptly from 2:00 p.m. to 5:00 p.m.

2.6. Results and Discussion

According to the results presented in Table 3, the temperature of the water in the transparent bottle was always higher all through the period of solar exposure (S Test).

In Table 4, it can be observed that after a 7-h solar exposure, alkalinity, hardness, total solids and volatiles

decreased in the D as well as in the S Test. Total filterable solids, suspended solids, suspended filterable and suspended volatiles increased in both tests. On the other hand, in the case of dissolved solids, there was a decrease in D Test and an increase in S Test.

After 24 and 48 h confinement, according to Table 5, parameters like alkalinity, hardness and total filterable solids increased in both tests. In contrast with D Test, total volatile and dissolved solids increased in S Test. Parameters such as alkalinity, hardness and total filterable solids did not present any variation after 24 and 48 hours.

2.6.1. Variation of the turbidity, acidity and electrical conductivity of the water

The initial water turbidity was 40 NTU, which is a very high value for processes dependent on light penetration, as in the case of this experiment. This turbidity value can be attributed to the occurrence of disperse rains during several days prior to the recollection, which resulted in soil erosion of the shores, transporting particulate material to the water.

As said before, the waters of Dona Judite Reservoir are not only used by many families for different purposes (including drinking water) but also as a water source for animals belonging to the farms and plots next to the reservoir.

According to EPA⁽⁴⁾, for an effective bacterial deactivation, microorganisms need to absorb UV radiation. This is why any factor hindering UV radiation to reach the bacteria, will contribute to a decrease in the disinfection efficiency. In addition, according to EPA⁽⁴⁾, pH does not affect the UV disinfection process. Other factors that can interfere with the

efficiency of the disinfection process are organic and inorganic dissolved compounds, microorganism colonies, water turbidity and color.

Results in Figure 6 show that there is no variation in the turbidity during the solar exposure period, or after 24 and 48 hours of confinement.

The potable water requirement present in Brazil requires a range of pH between 6.0 and 9.5⁽⁶⁾. From the results of Figure 7, we can observe that the water presented an initial pH of 7.67 at the moment of collection, and according to environmental legislation, remained in the potable range during the respective tests.

The domestic supply and wastewaters have generally conductivity values between 50 and 1500 mmhos/cm. The initial value of electrical conductivity of the water of this experiment was 599 µmhos/cm and this value increased during S Test, reaching a value of 750 µmhos/cm after 3 h of sun exposure (Figure 8). On the other hand, in the other tests, the electrical conductivity did not vary.

2.6.2. Disinfection in D and S Tests

The monitoring of the number of microorganisms pre- and post-disinfection, N_0 and N , respectively, was strictly necessary, because their ratio is directly proportional to the disinfection efficiency of the system, was determined with the eqn. 1:

$$E = -(\log N/N_0) \quad (1)$$

where:

E = efficiency

N_0 = number of live microorganisms before disinfection

N = number of live microorganisms after disinfection

The disinfection efficiency results for D and S Tests are presented in Tables 6 y 7 and, according to equation 1, were represented in logarithmic terms, which expresses how many orders of magnitude was reduced the initial amount of microorganisms (N_0).

The results presented in Figure 9 for D Test demonstrate that the effect of temperature increase by itself was not sufficient to inactivate total coliforms and *E. coli* in the studied dam. It can be observed that for the S Tests, total coliforms and *E. coli* had their greatest decreases, 3.44 and 2.68 orders of magnitude respectively, after 4 h sun exposure. It is important to note that after this sun exposure time, the disinfection efficiency began to fall. The drop in efficiency could be due to the abrupt drop in sun intensity which began at 2:00 p.m., and remained at this low level until the end of the experiment (5:10 p.m.), as indicated by the recorded information.

2.6.3. Bacterial behavior evaluation in D Tests and regrowth evaluation in S Tests

Tables 8 and 9 present the results of the assessment of bacterial dark behavior for total coliforms and *E. coli* in D Test after 24 and 48 h confinement. According to the results in the Table 6, the concentration of microorganisms was not altered, which is explained, as previously mentioned, by the fact that there is no inactivation due only to the effect of temperature increase.

Table 7 shows that the bacterial decay process started only after 3 hours of solar exposure. By this reason, regrowth tests were started after 3 hours of solar irradiation.

Tables 10 and 11 illustrate the results of the bacterial regrowth study for total

coliforms and *E. coli* after 24 and 48 h for the S Test. A regrowth was observed in both *E. coli* and total coliforms after 3, 4 and 7 h of sun exposure. This was displayed then as the regrowth percentage calculated for a particular irradiation time as a ratio between the number of bacteria present after 24 and 48 hours and the value found after each time of irradiation. The lowest number of active microorganisms, *E. coli* as well as total coliforms, was observed after 4 h of sun exposure, indicating the highest disinfection efficiency. It was also observed that, although a decrease in the bacterial charge took place after 3, 4 and 7 hours of sun exposure, in all these cases, bacterial regrowth after 24 and 48 hours of confinement took place. This fact shows that an effective inactivation of the microorganisms present in the water was not achieved.

2.7. Final Considerations

The largest reductions in total fecal coliforms and *E. coli* were 3.44 and 2.68 orders of magnitude, respectively, reached after 4 hours of sun exposure in transparent PET bottles.

It was verified that a regrowth

occurs for *E. coli* as well as for total coliforms after 3, 4 and 7 hours of sun exposure for the S Test. On the other hand, the largest regrowth was registered in bottles exposed for 4 hours.

According to the information recorded by Embrapa, since 2:00 p.m. (after 4 hours of testing), when the best disinfection results were obtained, the sun intensity dropped abruptly. This drop can explain the fact that the water exposed to 7 hours presented less disinfection efficiency than the sample exposed to only 4 hours. The bottles that remained in the sun after 2:00 p.m. could have received UVA radiation, possibly resulting in a photoreactivation of bacteria.

Solar disinfection of microbiologically contaminated superficial waters treated in PET bottles (SODIS) is a promising alternative, considering the results obtained in this study. In this particular case, the following two detrimental factors must be considered: a very high initial concentration of *E. coli* and total coliforms for human consumption and an initial turbidity of 40 NTU, which hinders an efficient light penetration.

References

- ¹ Garrido, C. Água, o grande desafio do milênio. *Revista de Engenharia*, n.541, año 58, p. 32-44, 2000.
- ² Daniel, L..A. Desinfecção de esgotos com radiação ultravioleta: fotorreativação e obtenção de parâmetros cinéticos. São Carlos, 1993.164 p. Tesis de Doctorado en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería de San Carlos, USP.
- ³ Standard methods for the examination of water and wastewater. 18a. Ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 1992.
- ⁴ EPA – United States Environmental Protection Agency. Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. EPA 815-R-99-014, disponible en: www.epa.gov, Acceso el 10/12/1999.
- ⁵ BRASIL. Portaria nº 1469, de 29 de Dezembro de 2000 - Ministério da Saúde - Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências.
- ⁶ BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa - Centro de Pesquisa de algodão - CNPA. Disponible en <http://www.cnpa.embrapa.br>, Acceso el 27/1/2003.

Capítulo 3

Desinfección Solar de Aguas en Tambo Pariachi, Huaycán, Lima, Perú

*Patricia Galarza**, *Eder Sánchez***, *Dora Maurtua**,
*Juan Rodríguez***, ***** *José Solís***, ***** y *Walter Estrada***, *****

Resumen

Se ha aplicado la tecnología de Desinfección Solar en Unidades Individuales (DSAU, SODIS en inglés) a aguas del asentamiento humano Tambo Pariachi en Huaycán. Los valores iniciales de contaminación encontrados (coliformes) reflejan que las aguas no son aptas para el consumo humano, pudiendo causar múltiples enfermedades en la población.

El agua contaminada fue expuesta al sol dentro de botellas de plástico PET. Los resultados 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.

Cuando las botellas de PET fueron sometidas a un envejecimiento acelerado por irradiación con la luz ultravioleta, se observó un cambio en la transmitancia de las mismas, que podría influir directamente sobre la eficiencia de desinfección de las aguas.

El método empleado es sencillo y económico, y podría ser empleado de manera masiva por la población, como una alternativa para obtener agua potable.

3.1. Introducción

En ámbitos urbanos de Perú existen altos niveles de contaminación hídrica. Como ejemplo podemos citar al río Rímac, cuyas aguas presentan cuatro veces la concentración de coliformes permitidos 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, sólo un 12 % de los asentamientos rurales se benefician de ella. Por otro lado, el problema se acentúa por la falta de técnicas bien establecidas para la desinfección y descontaminación del agua. Para los habitantes por debajo de la línea de pobreza, el tradicional método de hervir el agua puede no ser una solución

* Departamento de Microbiología, Universidad Cayetano Heredia, Av. Honorio Delgado 430, Lima, Perú

** Laboratorio de Películas Delgadas, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Tupac Amaru 210, Lima, Perú

*** Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima, Perú

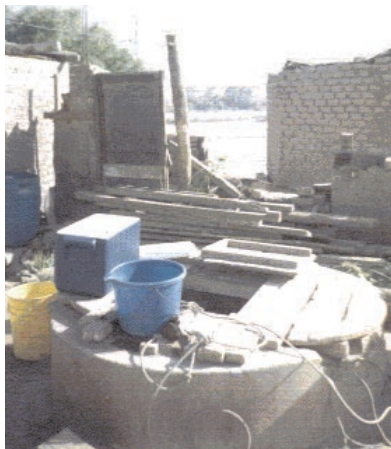
adecuada para su potabilización, básicamente por falta de recursos económicos. En este contexto, son necesarios procedimientos innovadores para enfrentar esta gran variedad de problemas, que difieren tanto en escala como en complejidad. Por esa razón, en el presente trabajo se evalúa la utilización de la tecnología de descontaminación solar de agua (DSAUI)⁽¹⁻³⁾. Esta tecnología consiste en la irradiación solar de agua contaminada contenida en de botellas de plástico (recipientes de bebidas comerciales) que contienen el agua contaminada, obteniéndose al final del proceso agua apta para consumo humano.

3.2. Procedimiento experimental

Para la realización de los ensayos, se eligieron aguas del asentamiento humano Tambo Pariachi, en Huaycán, situado en la periferia de Lima (km 15 de la carretera central). Allí, el agua para el consumo diario se extrae de pozos artesianos, tal como se ve en la Figura 1.

Figura 1. Pozo artesiano en el asentamiento humano Tambo Pariachi en Huaycán. Nótese la cercanía del río Rímac

Figure 1. Artesian well in the human settlement Tambo Pariachi in Huaycán. Note the proximity of the Rímac River.



Se tomaron las muestras en el lugar en botellas esterilizadas de vidrio y fueron llevadas inmediatamente a un ambiente esterilizado. Luego de homogeneizar la muestra, se procedió al llenado de 10 botellas de plástico de polietilentereftalato (PET) de 500 mL. En un grupo de botellas, se pintó la mitad exterior de negro mate. Las botellas se colocaron horizontalmente bajo el sol en un sistema reflectante de radiación. La radiación solar se midió con un radiómetro artesanal calibrado con un radiómetro 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 en las botellas durante cinco horas, como se muestra en detalle en las Figuras 2a y 2b.

Durante la irradiación, se recogieron dos muestras cada hora. Se midió el número más probable (NMP) de coliformes fecales y totales antes y después del tratamiento, utilizando el pro-

Figura 2. (a) Detalle de la botella de plástico PET pintada de negro. (b) Detalle de las muestras durante su irradiación solar

Figure 2. (a) Detail of the plastic PET bottle that was half-blackened. (b) Detail of the samples during solar irradiation.



(a)

(b)

cedimiento de tubos múltiples con caldo de sulfato de laurilo para la identificación y con caldo Brila para la cuantificación. La incubación se llevó a cabo por 37 °C durante 48h. La presencia de E. coli se determinó incubando durante 48 h en caldo Ec a 44 °C. Luego de la incubación, se procedió a la lectura de los coliformes o E. coli, según el caso ^(4, 5). Se midieron los parámetros fisicoquímicos como la radiación solar, temperatura, turbidez (mediante un sistema portátil Hach) y pH (mediante un pHmetro Orion 520 A), durante el tratamiento. Las medidas de radiación solar en W/m² y temperatura (°C) de un experimento típico se muestran en la Figura 3a.

3.3. Resultados y discusión

En la Figura 3 se observa la irradia-

ción solar (a) y la concentración de coliformes normalizada (b) con respecto a la concentración inicial, C₀, durante un experimento típico de descontaminación de agua con radiación solar. Se puede observar que aproximadamente a las dos horas de irradiación se ha destruido cerca del 90 % del total de coliformes, llegando a la desinfección total del agua en unas cinco horas de irradiación.

En la Tabla 1, se muestran las medidas de pH y turbidez del agua del experimento de desinfección reportado en la Figura 3. Al inicio del experimento, las aguas eran neutras, pero el pH se incrementó durante la irradiación solar, debido posiblemente a la destrucción de ácidos nucleicos y proteínas, que basifican ligeramente la solución⁽⁶⁾. En la Tabla 1 se observa un ligero decrecimiento en la turbidez a medida que el tiempo de irra-

Figura 3. (a) Irradiación solar y (b) Concentración de coliformes normalizada para un experimento típico de desinfección

Figure 3. (a) Solar irradiation and (b) normalized coliform concentration for a typical disinfection experiment.

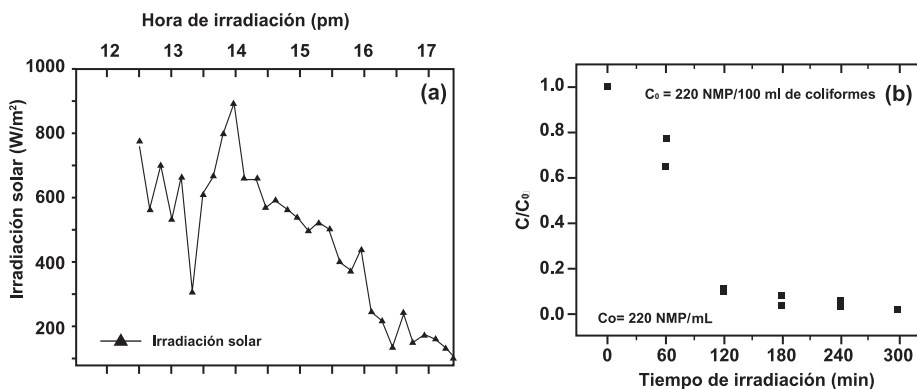


Tabla 1. Medidas de pH y turbidez del agua durante la aplicación del método de desinfección.
Tabla 1. The pH and turbidity for water during the application of the disinfection method.

Tiempo de irradiación / Irradiation time (min)	0	60	120	360
pH	7.47	7.50	7.70	7.78
Turbidez / Turbidity	13.7	13.15	13.5	13.15

diación aumenta, debido a que se produce una decantación.

Durante los experimentos realizados, se observó en el agua estudiada una variación en la concentración de coliformes de 2400 a 220 NMP/(100 mL). Esta fluctuación es asociada a variaciones estacionales en el grado de contaminación del río Rímac, que está cercano a los pozos artesianos estudiados. Esta concentración de conta-

minantes es alta, por lo que el agua no es apta para el consumo humano. Sin embargo, esto es ignorado por las personas de estos lugares, las cuales incluso la llegan a beber directamente luego de ser extraída de los pozos.

3.3.1. Influencia de la temperatura

De acuerdo con las pruebas efectuadas, se observó una relación directa entre la radiación solar y el grado de contaminación remanente, 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 las temperaturas alcanzadas durante el experimento; en este caso, se obtuvo un decrecimiento de los coliformes de aproximadamente 30 %. Considerando este hecho, se pintó externamente la mitad inferior de las botellas con pintura negro mate, y se realizó el experimento como en el caso anterior, con las botellas colocadas horizontalmente sobre el sistema reflectante. Los resultados de *E. coli* se observan en la Figura 4.

En la Figura 4a se presenta la variación de la irradiación solar durante el tratamiento, y en la Figura 4b se puede ver la influencia positiva del pintado externo de la mitad inferior de la botella con pintura negra, que provoca un aumento de la temperatura de ~5 °C respecto de la temperatura de la botella sin pintar. Por otro lado, en la Figura 4c

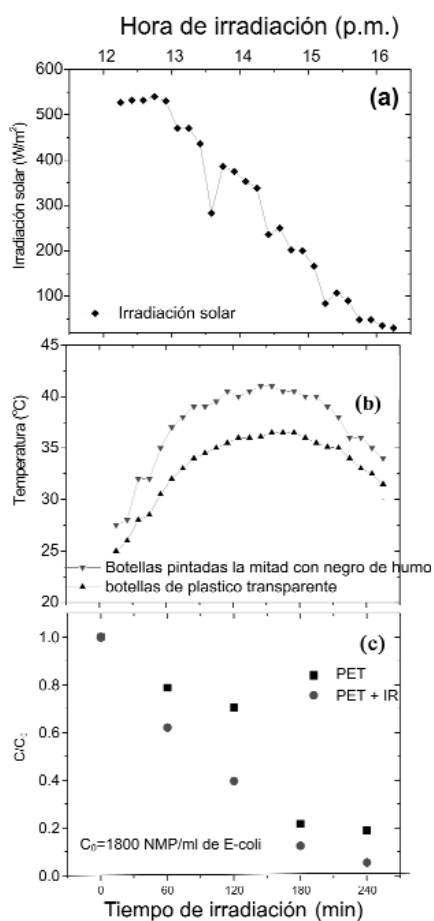


Figura 4. (a) Variación en irradiación solar, (b) variación en temperatura medida en botellas transparentes (▲) y en botellas pintadas externamente en su mitad inferior de negro (▼), (c) concentración de *E. coli* normalizada, C/C_0 , en botellas transparentes (■) y botellas pintadas de negro en la mitad inferior (●) durante un experimento típico de descontaminación de agua. C_0 es la concentración inicial de *E. coli*.

Figure 4. (a) Solar irradiation variation, (b) temperature variation measured in transparent bottles (▲) and in half-blackened bottles (▼), (c) normalized *E. coli* concentration, C/C_0 , in transparent (■) and painted bottles (●) during a typical experiment of water decontamination. C_0 is the initial *E. coli* concentration

se observa un aumento en la eficiencia de la destrucción de *E. coli* del orden de 20 % en las botellas pintadas respecto de las botellas sin pintar.

3.3.2. Envejecimiento de las botellas PET

Para la elección de las botellas de plástico comerciales con mejor transmitancia de luz y mejor estabilidad frente a la irradiación ultravioleta, se escogieron diferentes botellas de refrescos de cola de marcas conocidas, embotellados en el Perú. Las denominaremos botellas A, B y C. La Figura 5 muestra los espectros UV-visible de muestras de plástico de las tres bote-

llas, obtenidos con espectrofotómetro Optometrics RS-350. Todas las muestras presentaron una transmitancia espectral aproximada de 0,85 entre 300 y 800 nm. Las muestras fueron sometidas luego a un proceso de envejecimiento acelerado por irradiación con una lámpara de mercurio de alta presión de 250 W, colocada a 12 cm de distancia de la muestra.

El efecto de la radiación se muestra en la Figura 6, donde se observa que, aunque todas las muestras presentan una transmitancia inicial similar, la muestra de la botella C fue la que mejor se comportó frente a la irradiación ultravioleta. Después de 91 horas de

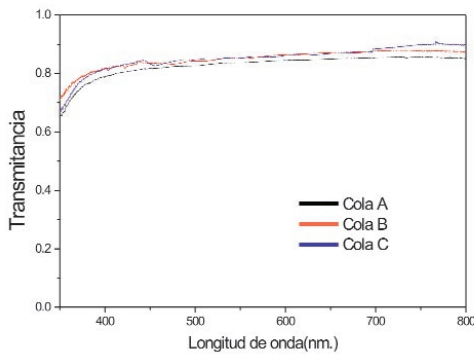


Figura 5. Espectro de transmitancia en el rango UV-visible de las diferentes botellas de plástico de bebidas comerciales.
Figure 5. Spectral transmittance in the UV-visible range of the different commercial soft drink plastic bottles.

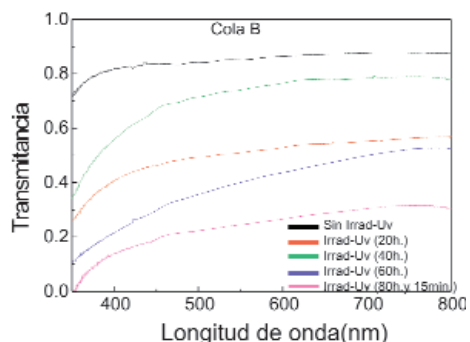
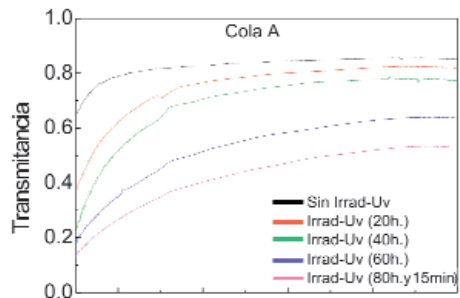
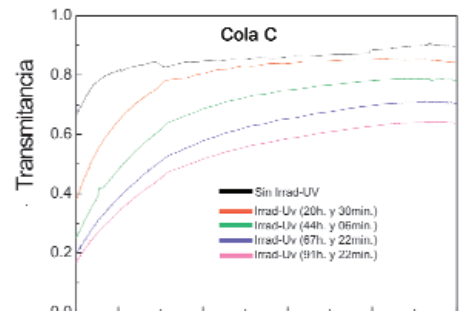


Figura 6. Transmitancia UV-visible de diferentes botellas de plástico PET de bebidas gaseosas comerciales (a) Cola C, (b) Cola A, (c) Cola B, después de haber sido sometidas a envejecimiento ultravioleta a diferentes tiempos de irradiación.
Figure 6. UV-visible transmittance of different commercial soft-drink bottles (a) Cola C, (b) Cola A, (c) Cola B, after being submitted to ultraviolet aging at different irradiation times.

irradiación, la transmitancia a 500 nm disminuyó de 0,85 a 0,52, de 0,82 a 0,40 y de 0,84 a 0,22, para las botellas de C, A y B, respectivamente. En el rango UV (370 nm), la transmitancia de las botellas C, A y B, disminuye de 0,76 a 0,25, de 0,74 a 0,20 y de 0,78 a 0,08, respectivamente. Este efecto de envejecimiento producido por la luz ultravioleta, que puede producirse al cabo de cierto tiempo de irradiación con luz solar, podría reducir la eficiencia de las botellas para la desinfección.

3.4. Conclusiones

Se han irradiado con luz solar botellas de PET conteniendo agua de la zona de Huaycán, contaminada con coliformes. Los valores de contaminación encontrados reflejan que las aguas antes del tratamiento no son aptas para el consumo humano, pudiendo causar múltiples enfermedades en la población. Los resultados obtenidos luego

de los ensayos indican que se ha llegado a un buen grado de descontaminación y que el efecto se debe a una sinergia entre la temperatura dentro de la botella de plástico y la componente ultravioleta de la radiación solar.

Se evaluó el comportamiento de las botellas comerciales frente a un envejecimiento acelerado producido por la irradiación con luz ultravioleta. Se ensayaron muestras de botellas de plástico de tres populares marcas de refrescos de cola envasados en Perú, encontrándose una disminución de la transmitancia al cabo de la irradiación en las tres muestras, con diferencias entre las mismas. La disminución de la transmitancia podría influir negativamente sobre la eficiencia de desinfección.

El método empleado es sencillo y económico, y podría ser empleado de manera masiva por la población, como alternativa para obtener agua potable.

Referencias

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

Chapter 3

Solar Water Disinfection in Tambo Pariachi, Huaycán, Lima, Perú

*Patricia Galarza**, *Eder Sánchez***, *Dora Maurtua**,
*Juan Rodríguez***, **** José Solís***, **** and Walter Estrada***, *****

Abstract

The Solar Water Disinfection technology (SODIS) has been applied in waters from the Tambo Pariachi human settlement, in Huaycán. The initial contamination values showed that water is not apt for human consumption and can produce several diseases in the population.

The polluted water was exposed to solar light in PET plastic bottles. The results indicate that the decontamination arises from a synergy between the temperature inside the plastic bottle and the ultraviolet component of the solar radiation.

When PET bottles were submitted to an accelerated aging produced by UV light irradiation, a change in light transmission was observed, which could influence directly on the disinfection efficiency.

The method is very simple and economical, and it could be used by the population as an alternative to obtain drinking water.

3.1. Introduction

In urban areas of Peru, there are high levels of hydric contamination. One example is the Rímac River, whose water contains four times the coliform concentration permitted by the World Health Organization (WHO). However, the problem is even greater in rural areas where, even though 52 % of the total country population has access to a sewage system, only 12 % of rural settlements have access to this treatment. Furthermore, the problem is even more serious due to the lack of well-established water disinfection and decontamination techniques.

Especially for those individuals living below the poverty line, the traditional method of boiling the water may be not an appropriate potabilization solution, primarily due to lack of economic resources. In this context, innovative procedures are necessary to face this large variety of problems, which differ in their scale as well as in

* Departamento de Microbiología, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Av. Honorio Delgado 430, Lima, Perú.

** Laboratorio de Películas Delgadas, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Tupac Amaru 210, Lima, Perú.

*** Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima, Perú

their complexity. By this reason, the present work evaluates the utilization of the Solar Water Disinfection technology (SODIS)⁽¹⁻³⁾. This technology consists in the solar irradiation of plastic bottles (commercial soft-drink bottles), which contain the contaminated water; at the end of the process, water for human consumption can be obtained.

3.2. Experimental methodology

To perform the experiments, waters from the human settlement Tambo Pariachi in Huaycán, situated in the periphery of Lima (15 km from the central highway) were chosen. There, the water for daily consumption is obtained from artesian wells, as shown in Figure 1. Water samples were collected in sterilized glass bottles, and immediately placed in a central sterilized environment. After homogenizing the sample, ten 500-mL plastic polyethylene terephthalate (PET) bottles were filled. A group of bottles was half-blackened. The bottles were placed horizontally and exposed to solar radiation in a reflecting system. The solar radiation was measured with a hand-made radiometer calibrated with a Haenni Solar 130 radiometer. The temperature was taken every 10 minutes with a mercury thermometer placed in one of the samples. The experiments were performed in bottles for five hours, as shown in detail in Figures 2a and 2b. During irradiation, two samples every hour were collected. The most probable number (MPN) of fecal and total coliforms before and after exposure was determined using the multiple tube procedure with lauril

sulfate broth for identification and with Brila broth for quantification. Incubation was performed at 37 °C during 48 h. To determine *E. coli* presence, the sample was incubated for 48 h in *Ec* broth at 44°C. After incubation, readings for coliforms or *E. coli*, depending on the case, were performed^(4, 5). Physical-chemical parameters, such as solar radiation, temperature, turbidity (using a portable Hach system) and pH (using an Orion 520 pH-meter), were also measured during the treatment. Solar radiation (W/m^2) and temperature (°C) measurement data of a typical experiment are shown in Figure 3a.

3.3. Results y discussion

Figure 3 shows the solar irradiation (a) and the normalized coliform concentration (b) with respect to the initial coliform concentration, C_0 , during a typical experiment of water decontamination by solar radiation. It can be observed that after approximately two hours of irradiation, around 90 % of the total coliforms were destroyed, reaching total water disinfection after approximately five hours.

Table 1 presents the pH and turbidity measurements for the disinfection experiment reported in Figure 3. At the beginning of the experiment, water was neutral, but during the solar radiation, treatment the pH increased, due possibly to the destruction of nucleic acids and proteins, which produce a slight basification of the solution⁽⁶⁾. A slight decrease in turbidity (Table 1) was observed as the irradiation proceeds, due to a decantation.

During the experiments, a variation in coliform concentration from 2400 to

220 MPN/(100 mL) was observed in the studied water. This fluctuation is associated with seasonal variations in the degree of contamination of the Rímac River, which is close to the studied artesian wells. The concentration of contaminants is high, making the water not apt for human consumption. However, people living in these places ignore this fact and even drink the water directly after the extraction from the wells.

3.3.1. Influence of temperature

From the performed tests, a direct relationship was extracted between solar radiation and the degree remaining contamination, obtaining the best results in the sunniest days. In order to analyze the influence of the temperature on the process, the sample was heated to the temperature attained during the experiment; in this case, an approximately 30 % decrease in coliforms was obtained. Based on this result, the bottom half of the bottles were externally black-painted and the experiment was performed in the same conditions, with the bottles placed horizontally on the reflecting system. The results for *E. coli* are presented in Figure 4. Figure 4a presents the solar irradiation variations during the treatment, and in Figure 4b, the positive influence of the black-painting of the bottles can be seen, which provokes an increase of the temperature in ~5 °C with respect to the temperature of the unpainted bottle. Additionally, in Figure 4c a ca. 20 % increase in the efficiency of *E. coli* destruction, due to the use of black-painted bottles can be seen.

3.3.2. Aging of the PET bottles

To select the commercial plastic bottles presenting the best light transmittance and the greatest stability against ultraviolet irradiation, different cola soft-drink bottles, bottled in Peru, were chosen. We will call them A, B and C bottles. The results of spectral transmittance of plastic samples of the three bottles in the UV-visible range, obtained with an Optometrics RS-350 spectrophotometer, are presented in Figure 5. All samples presented a spectral transmittance around 0.85 between 300 and 800 nm. The samples were submitted then to an accelerated aging process under irradiation from a high-pressure 250 W mercury lamp, placed at 12 cm from the sample. The effect of the irradiation is presented in Figure 6, where it can be observed that, although all samples present an approximately similar initial transmittance, C bottle displayed a better performance against ultraviolet irradiation. After 91 hours of irradiation, the transmittance at 500 nm decreased from 0.85 to 0.52, from 0.82 to 0.40, and from 0.84 to 0.22, for bottles C, A and B, respectively. In the ultraviolet range (370 nm), the transmittance for C, A and B bottles decreased from 0.76 to 0.25, from 0.74 to 0.20, and from 0.78 to 0.08, respectively. This aging effect produced by UV light, which can be produced after some time of sunlight irradiation, could reduce the disinfection efficiency of the bottles.

3.4. Conclusions

PET bottles containing water from the region of Huaycán, contaminated with coliforms was irradiated with solar light. Values of contamination found

before treatment showed that water is not apt for human consumption, and can cause several diseases in the population. The results obtained after the tests indicate a good disinfection degree, coming from a synergy between the temperature inside the plastic bottle and the ultraviolet component of solar radiation.

The behavior of commercial bottles against an accelerated aging by ultraviolet light was evaluated. Plastic bottle

samples of three popular cola soft-drink brands, bottled in Peru, were essayed; a decrease in the transmittance after irradiation was found in the three samples, with differences among them. The decrease in the transmittance could influence negatively in the disinfection efficiency.

The method is very simple and economical, and could be used by the population as an alternative to get drinking water.

References

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

Capítulo 4

Aplicación de la Tecnología DSAUI en Agua de Lluvia y Agua de Llave en Mayaro, Trinidad & Tobago

Ramsey Saunders, Winston Mellowest*, Ricardo Clarke* y Kimberly Kimkeran+*

Resumen

Se ha evaluado la metodología DSAUI (en inglés SODIS) en aguas de lluvia y de llave de una localidad en el sudeste de la Isla de Trinidad, donde la radiación diaria promedio es de 7 kWh/m² en la estación seca y 4 kWh/m² en la estación húmeda. En Trinidad y Tobago existen comunidades en las cuales el agua de lluvia de los techos de las casas se recogen en barriles. Debido a los escasos medios de suministro de agua en estas comunidades, el agua de lluvia recogida en esta forma se usa para beber sin ningún proceso de purificación. La presencia de coliformes fecales y de otras bacterias en el agua recogida de esta forma puede ser un serio peligro para estas comunidades.

Los resultados indican que la tecnología DSAUI es un posible método casero de tratamiento de agua para reducir la contaminación fecal y potabilizar el agua. Las muestras de agua de lluvia antes del tratamiento mostraron valores sorprendentemente altos en el contenido de coliformes fecales y totales. Por su parte, el agua de llave tiene una muy

buena calidad inicial, debido a que es tratada normalmente con cloro. En todos los casos, se llegó a la ausencia total en el contenido de coliformes fecales después de 4 horas de irradiación y a valores muy bajos para las coliformes totales después de 6 horas.

4.1. Introducción

En Trinidad y Tobago existen comunidades rurales donde el agua de lluvia de los techos de las casas es recogida en barriles para su uso doméstico. Debido al pobre suministro de agua en estas comunidades, el agua de lluvia recogida de esta forma se usa para beber, sin ningún proceso de purificación. La presencia de coliformes fecales así como de otras bacterias en estas aguas constituyen un serio riesgo para la salud de estas comunidades. La bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*, coliforme fecal) es un buen organismo indicador para evaluar contaminación fecal en agua para beber cuando existen limitaciones de recursos para el examen microbiológico⁽¹⁾. La tecnología DSAUI ha sido aplicada en varios países en vías de desarrollo para purificar agua contaminada

*Departamento de Física, Universidad de West Indies, St. Augustine, Trinidad, W.I.

+Departamento de Ingeniería Química, Universidad de West Indies, St. Augustine, Trinidad, W.I.

con bacterias, haciéndola segura para beber⁽²⁾. En su forma más simple, esta tecnología involucra la exposición del agua contaminada a la luz del sol por períodos de tiempo variables, y la determinación de la población bacteriana después de los diferentes tiempos de exposición. Las bacterias son destruidas por el efecto sinérgico de las componentes de la radiación solar en las regiones infrarrojo y ultravioleta (UV-A). La radiación infrarroja (longitud de onda mayor a 700 nm) conduce al aumento de la temperatura del agua y desnaturaliza la actividad enzimática. La radiación UV-A, en el rango de longitudes de onda de 320 nm a 400 nm, actúa directamente sobre el ADN, ácidos nucleicos y enzimas de las células vivas, cambiando la estructura molecular de las bacterias presentes en el agua y conduciendo a la muerte celular. La radiación UV-A también reacciona con el oxígeno disuelto en el agua, produciendo especies altamente reactivas de oxígeno (radicales libres de oxígeno y peróxido de hidrógeno). Estas moléculas reactivas también interfieren con las estructuras de la célula y matan los organismos patógenos. Por lo tanto, la tecnología proporciona un método simple y barato para purificar aguas contaminadas en las comunidades rurales en los países en vías de desarrollo. Las variaciones estacionales y diarias dependen de la latitud y clima de cada región. Dado que la radiación y las condiciones solares pueden variar de país en país, es esencial determinar las condiciones apropiadas para aplicar la metodología en cada país o región.

Los objetivos de este proyecto, financiado por la Organización de Estados Americanos (OEA), fueron adaptar la tecnología DSAUI para su uso en dis-

tintas regiones latinoamericanas, teniendo en cuenta factores climáticos y geográficos locales, así como condiciones socioeconómicas de las regiones. En 2002, se inició un estudio de aplicabilidad del proceso en forma simultánea en Argentina, Brasil, Perú y Trinidad & Tobago, considerando las zonas de relevamiento escogidas en un estudio anterior⁽³⁾. En el presente caso, se aplicó la tecnología DSAUI tanto en muestras de agua de llave como en muestras de agua de lluvia obtenidas en Mayaro, un pequeño pueblo situado en el sudeste de Trinidad y Tobago, y que había sido relevado en el estudio citado. Se determinó el grado de disminución de la concentración bacteriana total y de coliformes fecales luego de aplicar el método durante diferentes períodos de tiempo.

4.1.1. Fisiografía general de Trinidad y Tobago

En la Figura 1 se muestra un mapa de Trinidad y Tobago que muestra el área rural seleccionada, Mayaro-Guayaguayare. Trinidad y Tobago se localizan aproximadamente en 10° N y 61° E. La temperatura media máxima es de 29-31°C. La población (datos de 1990) es de 1,24 millones y su superficie territorial es de 5164 km², dando una densidad de población global de 242 personas por km². Aproximadamente el 40% de la población vive en el área urbana y el resto se localiza en áreas rurales. En Tobago y Trinidad hay dos estaciones climáticas distintas, la estación seca, que se extiende de enero a mayo, y la estación lluviosa, de junio a diciembre. La radiación solar diaria para la región caribeña es 7 kWh/m² durante la estación seca y 4 kWh/m² durante la estación lluviosa⁽⁴⁾. La región de

Mayaro-Guayaguayare tiene una densidad de población de 20-100 personas por km². Esta región es mayoritariamente llana con áreas pantanosas, las cuales se están convirtiendo en populares áreas de eco-turismo. Las actividades económicas principales de esta región son la pesca y la agricultura. El uso de la tierra y el mapa de agricultura se muestran en Figura 2.

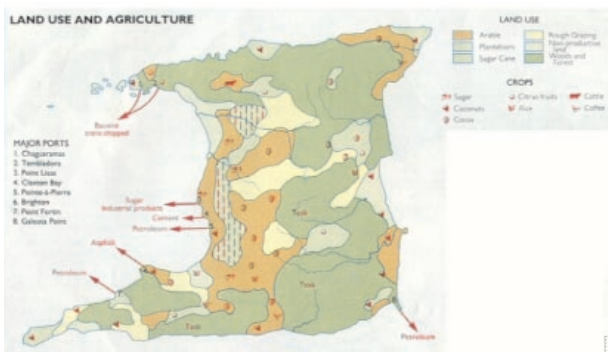


Figura 2. Uso de la tierra y mapa agrícola de Trinidad y Tobago
Figure 2. Land Use and Agricultural map of Trinidad & Tobago

4.2. Materiales y métodos

4.2.1. Equipamiento

El equipamiento utilizado consistió en un enfriador con hielo para el almacenamiento de las muestras después de la recolección, botellas plásticas de 2 L para recolección de las muestras, botellas de 600 mL de polietilentereftalato (PET) transparentes a la radiación solar⁽⁶⁾, pintura al aceite negra, equipamiento para medir radiación y tempera-

Figura 1. Mapa de Trinidad & Tobago mostrando el área rural seleccionada, Mayaro-Guayaguayare
Figure 1. Map of Trinidad & Tobago showing the selected rural area of Mayaro-Guayaguayare



Figura 3. Recolección típica de agua de lluvia para el uso doméstico en el área rural de Mayaro
Figure 3. Typical rainwater collection for domestic use in the rural area of Mayaro



Figura 4. Aguas de lluvia almacenadas en barriles plásticos descubiertos para uso doméstico
Figure 4. Rainwater stored in uncovered plastic barrels for domestic use



tura del aire, termómetro para medir la temperatura del agua, sistemas para el recuento de bacterias totales y coliformes fecales y una incubadora que podía ser mantenida a varias temperaturas.

4.2.2. Recolección y preparación de la muestra

Los medios típicos de recolección de agua de lluvia para uso doméstico en el área de Mayaro se muestran en Figura 3. El agua de lluvia recogida se almacena luego en barriles plásticos abiertos (Figura 4).

Para la aplicación de la tecnología DSAUI, se recogieron muestras de agua de lluvia y muestras de agua de llave del área de Mayaro en botellas plásticas esterilizadas de 2 L y guardadas en hielo hasta aproximadamente dos horas antes del inicio de los experimentos. Las botellas PET de 600 mL (botellas desechables de bebidas a las que se les removió la etiqueta) fueron lavadas con agua destilada. En la Figura 5 se muestra una botella transparente de 600 mL usada en este experimento. Para aumentar la absorción solar, la mitad de cada botella se pintó de negro, como se muestra en Figura 6.

Posteriormente, y antes del experimento, las botellas fueron esterilizadas. Tres de estas botellas se llenaron con agua de llave y tres con agua de lluvia, de las muestras previamente colectadas en las botellas de 2 litros. Las botellas se colocaron en la plataforma del Laboratorio de Energía Solar, en el techo del edificio de Ciencias Naturales de la Universidad de West Indies, donde fueron expuestas a la luz del sol, tal como se muestra en la Figura 7.

Las botellas se pusieron horizontal-

mente con la mitad negra descansando sobre la plataforma, en una alineación norte-sur, y se fueron girando durante el día para minimizar la sombra. Se registró la radiación solar y la temperatura ambiente. Además, se colocó una botella provista con un termómetro, como se muestra en la Figura 8.

La temperatura del agua se registró a intervalos de 10 minutos. También se colocaron en la incubadora a 20 °C una botella llena con la muestra de agua de llave y otra con la muestra de agua de lluvia, que fueron utilizadas como controles. Cada dos horas, dos botellas PET, una con el agua de la llave y otra con el agua de lluvia, fueron removidas de la incubadora y colocadas en un refrigerador hasta realizar los ensayos microbiológicos.

4.2.3 Ensayos bacteriológicos

Para la cuantificación de coliformes fecales, se usó un proceso de filtración por membrana en condiciones estériles. 1 mL de la muestra pura no tratada se filtró por un filtro de membrana bajo vacío. El mismo proceso se aplicó a 1 mL de muestras de agua de llave y de agua de lluvia que habían sido expuestas a dos horas de luz solar. Después de la filtración, cada filtro de membrana se colocó por separado en placas de Petri esterilizadas, conteniendo un preparado de agar mFC, utilizado para la confirmación de coliformes fecales. La presencia de coliformes fecales se evidencia por la aparición de colonias azules luminosas que crecen en el filtro. El proceso fue repetido utilizando muestras expuestas a la luz solar durante 4 y 6 horas. Para cada botella sometida a diferentes exposiciones se prepararon cinco placas de Petri. Las

placas de Petri fueron rotuladas y se incubaron a 37 °C durante 24 horas. Después del período de incubación, las placas fueron sacadas de la incubadora y examinadas para registrar las colonias de coliformes fecales. En cada caso, se contó sólo la placa que

presentó mayor crecimiento de las colonias, y el resto de las placas fue desechado.

La cuenta bacteriana total se realizó utilizando la técnica de recuento en placa: un volumen conocido de muestra se colocó en una placa de Petri es-

Figura 5. Botella PET transparente de 600 mL usada en el experimento SODIS

Figure 5. A 600 mL transparent PET bottle used in the SODIS experiment



Figura 6. Botella PET de 600 mL pintada de negro hasta la mitad

Figure 6. Half black painted 600 mL PET bottle



Figura 7. Botellas llenas colocadas horizontalmente y expuestas a la luz solar en la azotea del edificio de Ciencias Naturales, UWI, Trinidad

Figure 7. Water-filled bottles placed horizontally and exposed to sunlight on the rooftop of the Natural Sciences Building, UWI, Trinidad

Figura 8. Medida de la temperatura del agua
Figure 8. Measurement of water temperature

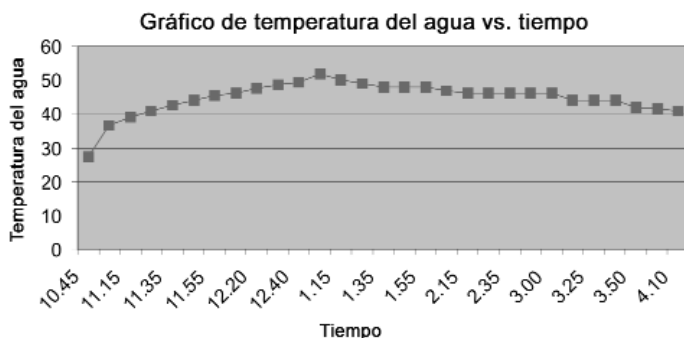


Figura 9. Temperatura del agua durante los experimentos SODIS

Figure 9. Water temperature during SODIS experiments

Tabla 1. Medidas de temperatura del agua durante el experimento de SODIS
 Table 1. Measurements of water temperature during the SODIS experiment

Tiempo Time	Temperatura del agua Water temperature (°C)	Tiempo Time	Temperatura del agua Water temperature (°C)
10.45 a.m.	27.5	1.45 p.m.	48.0
11.05 a.m.	36.5	1.55 p.m.	48.0
11.15 a.m.	39.0	2.05 p.m.	47.0
11.25 a.m.	41.0	2.15 p.m.	46.0
11.35 a.m.	42.5	2.25 p.m.	46.0
11.45 a.m.	44.0	2.35 p.m.	46.0
11.55 a.m.	45.5	2.50 p.m.	46.0
12.05 p.m.	46.0	3.00 p.m.	46.0
12.20 p.m.	47.5	3.15 p.m.	44.0
12.30 p.m.	48.5	3.25 p.m.	44.0
12.40 p.m.	49.5	3.40 p.m.	44.0
1.00 p.m.	52.0	3.50 p.m.	42.0
1.15 p.m.	50	4.00 p.m.	41.5
1.25 p.m.	49.0	4.10 p.m.	41.0
1.35 p.m.	48.0		

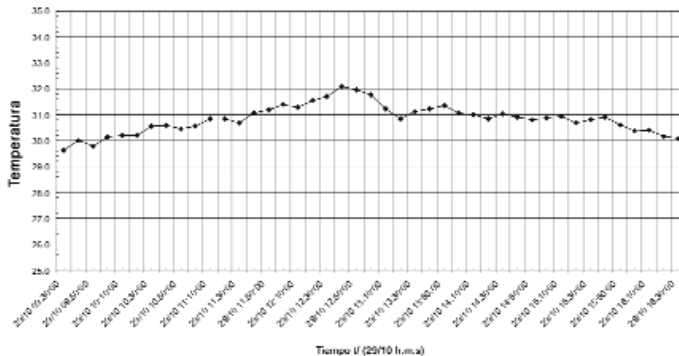


Figura 10. Temperatura del aire durante la aplicación de SODIS

Figure 10. Air temperature during the application of SODIS

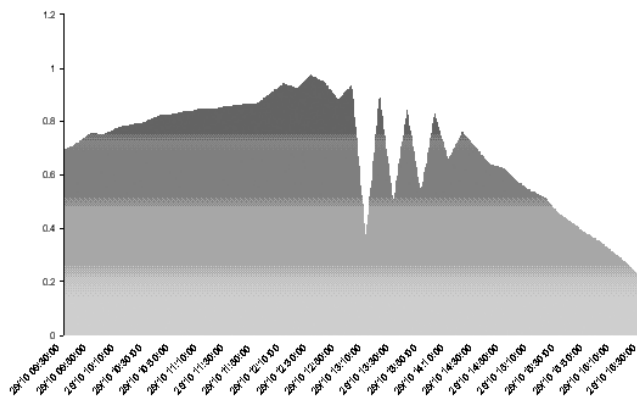


Figura 11. Radiación solar medida durante el período del experimento

Figure 11. Measured solar radiation over the experimental period

terilizada y se vertió encima el agar-nutriente fundido. Las placas se incubaron durante 48 horas a 30 °C. La cuenta de bacterias se hizo de una manera similar a la cuenta fecal. Las colonias fueron contadas usando un contador de colonias convencional, obteniéndose la cuenta bacteriana total.

4.3. Resultados y discusión

4.3.1. Temperatura del agua

Los resultados de temperatura del agua durante el tiempo de la exposición para la botella PET provista con el termómetro se muestran en la Tabla 1 y en la Figura 9. La temperatura del agua estaba inicialmente 27,5 °C, a las 10:45 a.m, aumentó gradualmente hasta 52 °C a la 1:00 p.m., y luego

descendió lentamente, alcanzándose un valor de 41 °C a las 4:10 p.m.

4.3.2. Temperatura ambiente y radiación

El experimento DSAUI se realizó durante la estación lluviosa en el mes de octubre. La variación de la temperatura ambiente se muestra en la Figura 10. La temperatura del aire varió entre un mínimo de aproximadamente 30 °C y un máximo de aproximadamente 32 °C. La radiación solar recibida durante el experimento se muestra en la Figura 11. La radiación solar medida fue de alrededor de 800 W m⁻² al inicio del experimento, aumentó a un máximo cercano a 950 W m⁻² a las 12:30 p.m., y luego decreció a cerca de 400 W m⁻² a las 4:10 p.m.

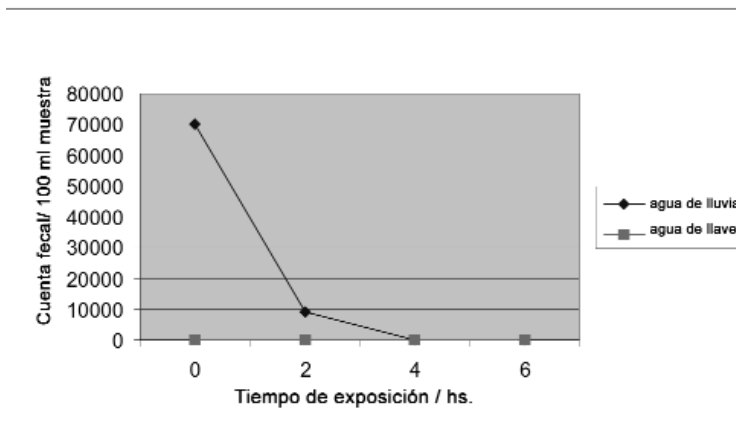


Figura 12. Decaimiento de la cuenta fecal debido a la exposición a la luz solar

Figure 12. Fecal count decay due to exposure to sunlight

Tabla 2. Resultados del análisis microbiológico en agua de lluvia y agua de llave
Table 2. Results of microbiological analyses on the rainwater and the tap water

Tiempo de exposición Exposure time (h)	Agua de lluvia Rainwater	Agua de llave Tap water
	No. de colonias/100 mL No. colonies/100 mL	No. de colonias/100 mL No. colonies/100 mL
0	7 x 10 ⁴	0
2	9 x 10 ³	0
4	2 x 10 ²	0
6	0	0

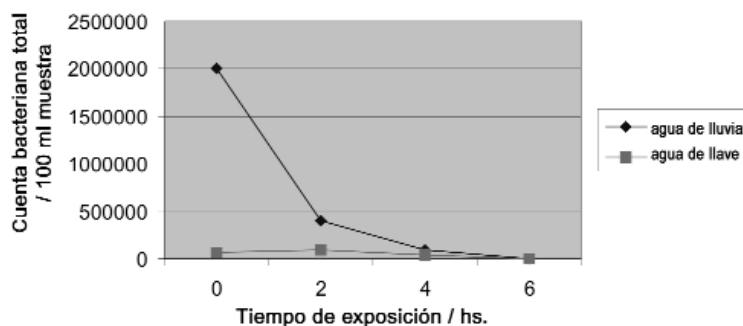


Figura 13. Reducción de cuenta bacteriana total de agua de lluvia y agua de la llave por exposición a la luz solar

Figure 13. Reduction of total bacterial count of rainwater and tap water from exposure to sunlight

Tabla 3. Resultados de reducción de cuenta bacteriana total por la exposición a la luz solar

Table 3. Results of reduction of total bacterial due to sunlight exposure

Tiempo de exposición Exposure time (h)	Agua de lluvia Rainwater	Agua de llave Tap water
	No. de colonias/100 mL No. colonies/100 mL	No. de colonias/100 mL No. colonies/100 mL
0	2 x 10 ⁶	6.5 x 10 ⁴
2	4 x 10 ⁵	1.0 x 10 ⁵ (*)
4	1 x 10 ⁵	3.5 x 10 ⁴
6	5 x 10 ³	0

(*) Se confirmó contaminación aérea / Airborne contamination confirmed

4.3.3. Análisis microbiológico

4.3.3.1. Recuento bacteriano fecal

El recuento de las bacterias fecales para el agua de lluvia y de la llave se muestra en la Tabla 2. Estos datos se presentan gráficamente en Figura 12. Mientras el recuento fue de cero para el agua de la llave a las 0, 2, 4 y 6 horas, el agua sin tratar presenta inicialmente un valor de 7×10^4 y decrece a cero en forma exponencial después de 4 horas.

4.3.3.2. Recuento bacteriano total

Estos resultados se presentan tanto en la Tabla 3 como en la Figura 13. El recuento fue de 2×10^6 para la muestra de agua de lluvia no tratada y disminuyó a 5×10^3 después de 6 horas de tratamiento. Para el agua de

llave se inició con una cuenta de $6,5 \times 10^4$, y disminuyó a cero después de 6 horas.

4.4. Conclusiones

En este trabajo hemos evaluado la metodología DSAUI en nuestras condiciones locales. Trinidad y Tobago son islas tropicales situadas a una latitud baja (10° N) y con baja nubosidad. Los resultados indican que la tecnología DSAUI es un posible método de tratamiento de agua en el ámbito casero para reducir la contaminación fecal y potabilizar el agua. Las muestras de agua de lluvia antes del tratamiento mostraron valores sorprendentemente altos en el contenido de coliformes fecales y totales. El agua de llave se trata normalmente con cloro para

su potabilización, por lo cual presenta baja contaminación. El contenido de coliformes fecales disminuyó a cero

después de 4 horas de irradiación y el de coliformes totales a valores muy bajos después de 6 horas.

Referencias

¹ WHO: Guidelines for Drinking Water Quality. 2nd ed. Vol.1, Ginebra. 1993.

² EAWAG-SANDEC. <http://www.sodis.ch>.

³ Relevamiento de comunidades rurales de América Latina para la aplicación de tecnologías económicas para la potabilización de aguas, Informe Proyecto OEA/AE 141/2001, Organización de Estados Americanos (OEA), noviembre de 2002. M. Litter (Ed.), Digital Grafic, La Plata, 2002.

⁴ Headley O. Renewable Energy Technologies In The Caribbean. Solar Energy, 59, 1-9. 1997.

⁵ Wegelin M., Canonica S., Marazuela D., Suter M., Bucheli Th.D., Haefliger O. P., Zenobi R., McGuigan K. G., Kelly M. T., Ibrahim P., Larroque. Does sunlight change the material and content of polyethylene terephthalate (PET) bottles? IWA Publishing, Journal of Water Supply: Research and Technology, Aqua No. 1, 2000.

Chapter 4

Application of SODIS Technology to Rain and Tap Water Samples from Mayaro, Trinidad & Tobago

Ramsey Saunders, Winston Mellowes+, Ricardo Clarke* and Kimberly Kimkeran+*

Abstract

The SODIS methodology has been evaluated in rain and tap waters of a locality in the South East of the Trinidad Island, where average daily solar radiation is 7 kWh/sq.m in the dry season and 4 kWh/sq.m in the wet season. In Trinidad and Tobago, there are several rural communities in which rainwater from the roofs of homes is collected in barrels for domestic use. Because of the poor mains water supply in these communities, rainwater collected in this manner is used for drinking without any purification process. The presence of fecal coliform as well as other bacteria in the rainwater collected can be a serious health hazard to these communities.

The results support the application of SODIS as a water treatment method at the household level to reduce fecal contamination of drinking water. The rainwater samples before the treatment surprisingly demonstrated high fecal coliform and total bacterial values. On the other hand, tap water is normally treated with chlorine, and presents a very good initial quality. In all cases, the counts decreased

achieving a value of zero after 4 hours for the fecal coliform bacteria and very low values for the total bacterial counts after 6 hours.

4.1. Introduction

In Trinidad and Tobago, there are several rural communities in which rainwater from the roofs of homes is collected in barrels for domestic use. Because of the poor means for water supply in these communities, rainwater collected in this manner is used for drinking without any purification process. The presence of fecal coliforms as well as other bacteria in the rainwater supply can be a serious health hazard for these communities. *Escherichia coli* (*E. coli*, a fecal coliform) is a good indicator organism to assess fecal contamination of drinking water if the resources for microbiological examination are limited⁽¹⁾. The SODIS technology has been applied in several developing countries to purify water that has been contaminated with bacteria, thereby making it safe for drinking⁽²⁾. In its simplest form, this technology involves placing the contaminated water in sunlight for

*Physics Department, University of West Indies, St. Augustine, Trinidad, W.I.

+Chemical Engineering Department, University of West Indies, St. Augustine, Trinidad, W.I.

varying times and determining the bacterial counts after the various exposure times. Bacteria are destroyed by the synergetic effect of infrared and ultraviolet (UV-A) components of solar radiation. Infrared radiation (light of wavelength beyond 700 nm) increases the temperature of the water and denatures enzyme activity. Ultraviolet radiation in the wavelength range of 320 nm – 400 nm reaching the surface of the earth, directly interacts with the DNA, nucleic acids and enzymes of the living cells, and changes the molecular structure of bacteria in water, which leads to cell death. UV-A radiation also reacts with the oxygen dissolved in the water and produces highly reactive forms of oxygen (oxygen free radicals and hydrogen peroxide). These reactive molecules also interfere with cell structures and kill the pathogens. The SODIS technology therefore provides a simple and inexpensive method of purifying contaminated water in rural communities in developing countries. The seasonal and daily variations depend on the latitude and climate of the region. Because the irradiation power and solar conditions may vary from country to country, it is essential to determine the conditions appropriate to each country or region.

The objectives of this project, funded by the Organization of American States (OAS), were to adapt the technology SODIS for using in different Latin-American regions, considering weather and geographic local factors as well as socioeconomic conditions of the regions. In 2002, an applicability study of the process was initiated simultaneously in Argentina, Brazil, Peru and

Trinidad & Tobago, taking into account the prospect zones chosen in a previous study⁽³⁾. In the present case, the SODIS technology was applied to tap water samples as well as rainwater samples obtained in Mayaro, a small village in the South East of Trinidad and Tobago, which has been investigated in the cited study. The extent to which the total bacterial count as well as the fecal coliform count could be reduced by applying the method for different times was determined.

4.2. Brief general physiography of Trinidad and Tobago

A map of Trinidad and Tobago showing the selected rural area, Mayaro- Guayaguayare, is shown in Figure 1. Trinidad and Tobago are located at approximately 10° N and 61° W. The average maximum temperature is 29-31 °C. The population (1990 data) is 1.24 million. The land area is 5164 sq. km, which gives an overall population density of 242 persons per sq. km. About 40 % of the population lives in urban and 60 % in rural areas. There are two distinct seasons: the dry season, which occurs during the period January to May, and the rainy season, which occurs during the period June to December. The daily solar irradiation for the Caribbean region is 7 kWh/sq. m. for the dry season and 4 kWh/sq. m. during the rainy season⁽⁴⁾. The Mayaro-Guayaguayare region in which this study was carried out has a population density of 20-100 persons per sq. km. This region is generally flat, with areas of swampland, which are now becoming a popular eco-tourism area. The main economic

activities of this region consist of fishing and agriculture. A land usage and agriculture map is shown in Figure 2.

4.2. Apparatus and methods

4.2.1. Apparatus

The apparatus consisted of a cooler with ice for sample storage after collection, 2 L plastic bottles for collecting samples, 600 mL transparent bottles made of polyethylene terephthalate (PET) for optimal transmittance for solar radiation⁽⁶⁾, black oil paint, weather station for measuring solar radiation and air temperature, thermometer for measuring water temperature, systems for total bacteria and fecal coliform counts and an incubator which could be maintained at various temperatures.

4.2.2. Collection and sample preparation

The typical means of collecting rainwater for domestic use in the Mayaro area are shown in Figure 3. Rainwater stored in uncovered plastic barrels for domestic use is shown in Figure 4.

To apply the SODIS technology, rain and tap water samples were collected in the Mayaro area in sterilized 2 L plastic bottles and stored on ice for about two hours prior to beginning experiments. The 600 mL PET bottles, which were discarded soft drink bottles, were de-labeled and washed with distilled water. Figure 5 shows a 600 mL transparent PET bottle used in this experiment. Half of each bottle was painted black, as shown in Figure 6, to increase solar absorption. The bottles were sterilized before the experiment. Three 600 mL PET bottles were filled with tap water and three with rainwater from the samples collected in the 2 L bottles.

These bottles were placed on the platform of the Solar Energy Laboratory, on the roof of the Natural Sciences Building of the W.I. University, where they were exposed to sunlight as shown in Figure 7. The bottles were placed horizontally with the black half of the bottle resting on the platform, in a north-south alignment, and rotated during the day to minimize shadowing. An online weather station servicing the solar laboratory recorded the solar radiation and the ambient temperature. In addition, one PET bottle was fitted with a thermometer, as shown in Figure 8, to record the water temperature at 10 minute intervals. In addition, one PET bottle was filled with the tap water sample and another with the rainwater sample and placed in the incubator at 20 °C, as controls. Every two hours, two PET bottles, one with tap water and the other with rainwater, were removed from the incubator and placed in a refrigerator until microbiological testing.

4.2.3. Bacteria testing

For the fecal count, a membrane filtration process under sterile conditions was performed. 1 mL of the pure untreated sample was filtered by a membrane filter under vacuum conditions. The same process was applied to 1 mL of the tap water and rainwater samples that were exposed to two hours of sunlight. After filtration, each membrane filter was placed in a separate sterile Petri plate containing prepared mFC agar, which is used for confirmation of the fecal coliform bacteria. Fecal coliform is confirmed by the presence of bright blue colonies growing on the membrane filter paper. The process was repeated using sam-

ples exposed to four (4) and six (6) hours of sunlight. For each PET bottle submitted to different exposure, five Petri plates were prepared. The Petri plates were labeled and incubated at 37 °C for 24 hours. After the incubation period, the plates were removed from the incubator and examined for fecal coliform colonies. In each case, the plate yielding the best colony growth was counted and the rest discarded.

The total bacterial count was carried out by a "Pour Plate" technique, whereby a known volume of sample was placed in a sterile Petri plate and molten nutrient agar poured on top. This was incubated for 48 hours at 30 °C. Bacteria count was done in a similar manner to the fecal count. Colonies were counted using a conventional colony counter and the total bacterial count obtained.

4.3. Results and discussion

4.3.1. Water Temperature

The results of water temperature over the exposure time for the PET bottle fitted with the thermometer are given in Table 1 and Figure 9. The water temperature was initially 27.5 °C at 10.45 a.m. This increased gradually to 52 °C at 1:00 p.m. and then decreased slowly to 41 °C at 4:10 p.m.

4.3.2. Ambient temperature and solar radiation

The SODIS experiment was run during the rainy season in the month of October. The ambient temperatures measured are shown Figure 10. The air temperatures varied between a minimum of about 30 °C to a maxi-

mum of about 32°C. The solar radiation received during the experiment is shown in Figure 11. The measured solar radiation was about 800 W m⁻² at the start of the experiment. This increased to a maximum of about 950 W m⁻² at 12:30 p.m., and then decreased to about 400 W m⁻² at 4:10 p.m.

4.3.3. Microbiological analysis

4.3.3.1. Fecal count

Fecal counts are shown in Table 2 for both rainwater and tap water. In Figure 12, the data are plotted graphically. While the fecal count is zero for tap water at 0, 2, 4 and 6 hours, it begins at a value of 7×10^4 for the untreated sample and decreases to zero in an exponential-like manner after 4 hours.

4.3.3.2. Total bacterial count

These results are displayed in tabular and graphical forms in Table 3 and Figure 13 respectively. The total bacterial count is 2×10^6 for the untreated rainwater sample and decreased to 5×10^3 after 6 hours. The tap water count started at a count of 6.5×10^4 and decreased to zero after 6 hours.

4.4. Conclusion

We have evaluated the SODIS methodology under our local conditions. Trinidad and Tobago are tropical islands situated at a low latitude (10° N) with a fair amount of cloud cover. The results support the application of SODIS as a water treatment method at the household level to reduce fecal contamination of drinking water. The rainwater samples sur-

prisingly demonstrated high fecal coliform and total bacterial counts when untreated by SODIS. The tap water is normally treated with chlorine, presenting a low contamination degree.

The counts decreased achieving a value of zero after 4 hours for the fecal coliform bacteria and very low values for the total bacterial counts after 6 hours.

References

- ¹. WHO: Guidelines for Drinking Water Quality. 2nd ed. Vol.1, Ginebra. 1993.
- ². EAWAG-SANDEC. <http://www.sodis.ch>.
- ³. Relevamiento de comunidades rurales de América Latina para la aplicación de tecnologías económicas para la potabilización de aguas, Informe Proyecto OEA/AE 141/2001, Organización de Estados Americanos (AICD), noviembre de 2002. M. Litter (Ed.), Digital Grafic, La Plata, 2002.
- ⁴. Headley O. Renewable Energy Technologies In The Caribbean. Solar Energy, 59, 1-9. 1997.
- ⁵. Wegelin M., Canonica S., Marazuela D., Suter M., Bucheli Th.D., Haefliger O. P., Zenobi R., McGuigan K. G., Kelly M. T., Ibrahim P., Larroque. Does sunlight change the material and content of polyethylene terephthalate (PET) bottles? IWA Publishing, Journal of Water Supply: Research and Technology, Aqua No. 1, 2000.

Este libro se terminó de imprimir
en el mes de agosto de 2003
en Digital Grafic, La Plata

