

RESUMEN

SODIS es un método de tratamiento de agua que utiliza la energía solar para mejorar su calidad microbiológica. Se utiliza a escala doméstica para purificar pequeñas cantidades de agua.

INFORMACIÓN GENERAL

¿Qué es SODIS?

- Es un método de tratamiento de agua que elimina los patógenos que producen enfermedades transmitidas por el agua.
- Es ideal para desinfectar pequeñas cantidades de agua destinadas a consumo humano.
- Es un proceso de tratamiento de agua que depende solamente de la energía solar.
- Es una alternativa para el tratamiento de agua a nivel casero.
- Es un método de purificación de agua antiguo pero escasamente aplicado.

La situación del agua potable es precaria en numerosos países por cuanto que más de la tercera parte de la población rural no tiene acceso a agua suficiente y limpia.

Las enfermedades diarreicas pueden transmitirse por el agua y son la causa de muerte de más de tres millones de personas cada año. La desinfección solar (SODIS) puede contribuir a mejorar esta precaria situación.

SODIS

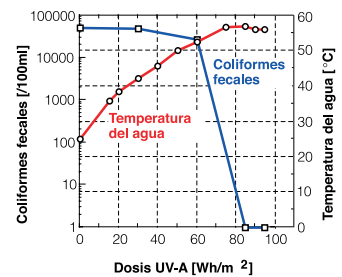
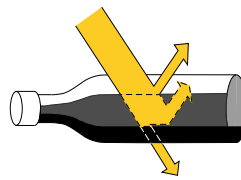
- No cambia la calidad química del agua.
- No altera ni el olor ni el sabor del agua.
- No aumenta la cantidad de agua ni reduce su escasez.

Limitaciones de SODIS

- SODIS no es útil para tratar grandes cantidades de agua.
- SODIS requiere agua relativamente clara (turbidez menor de 30 UNT = Unidades Nefelométricas de Turbiedad).
- SODIS requiere radiación solar (tiempo de exposición: 5 horas bajo cielo despejado o cubierto en un 50% o 2 días consecutivos bajo cielo totalmente cubierto).

¿Cómo funciona SODIS?

El tratamiento es de tecnología simple que usa la radiación solar para inactivar y destruir los microorganismos patógenos presentes en el agua. El sistema consiste básicamente en llenar recipiente transparentes con agua y exponerlos a plena luz del sol durante 5 horas aproximadamente.



Inactivación de Coliformes Fecales con una botella de PET semiennegrecida

REFERENCIAS

SODIS-News No. 3, August 1998. <http://www.sodis.ch>
 Acra, A., Raffoul, Z., Karahagopian, Y., (1984). Solar Disinfection of Drinking Water and Oral Rehydration Solutions. Guidelines for Household Application in Developing Countries. Published for UNICEF by Illustrated Publications S.A.L, Beirut, Lebanon, 1984. [P4]
 Lawand, T.A., et al. (1988). Solar Water Disinfection. Proceedings of a Workshop held at the Brace Research Institute, Montreal,

Que., Canada. IDRC, 1988. [P6]
 Wegelin, M. et al. (1994). Solar water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments. J Water SRT-Aqua, 1994, 43, No. 3, 154-169. [P1]
 Sommer, B., et al. (1997). SODIS-an emerging water treatment process. J Water SRT-Aqua, 1997, 46, No. 3, 127-137. [P2]

RESUMEN

Para SODIS, se recomienda utilizar botellas de plástico transparente hechas con PET porque no contienen sustancias peligrosas para la salud humana. Si se utilizan botellas de vidrio, se necesitan botellas cuyo material presente una buena transmisión de la luz ultravioleta UV-A.

INFORMACIÓN GENERAL

Plástico: preferencia por el PET

El plástico está gradualmente sustituyendo al vidrio en botellas de refrescos y agua mineral o purificada. Las botellas de plástico están hechas de PET (terephthalato de polietileno) o PVC (cloruro de polivinil). Ambos contienen aditivos químicos, como estabilizantes frente a la radiación UV para proteger las botellas y a su contenido de la oxidación y la radiación UV. Los aditivos son moléculas grandes que apenas se difunden por el PET. Sin embargo, estos aditivos pueden representar un riesgo potencial para la salud. En el PET, los aditivos son utilizados en concentraciones mucho más bajas que en el PVC (menos del 1% para el PET), lo que hace al PET más adecuado para el tratamiento con el método SODIS. Existen muchos tipos de plásticos transparentes que son buenos transmisores en el rango de la luz visible y ultravioleta.

¿PET o PVC: Cómo comprobar?

Hay varios métodos simples que permiten determinar si una botella es de PET o PVC. Uno es la apariencia. Las botellas de PVC suelen ser de color azulado brillante, que se marca especialmente en los bordes de la botella cuando se ha hecho un corte. Cuando el PVC se quema tiene un olor picante, mientras que el PET lo tiene dulce. El PET se quema más fácilmente que el PVC.

El vidrio: transmisión de la radiación UV-A

La transmisión de la radiación ultravioleta en el cristal está muy condicionada por el contenido del óxido de hierro. El vidrio ordinario de ventana, de un grosor de 2mm o más, es prácticamente opaco a la radiación ultravioleta. Ciertos vidrios (Pyrex, Corex, Vycor, vidrios de cuarzo) transmiten mucho mejor la radiación ultravioleta que el vidrio ordinario. Sin embargo, para una tecnología apropiada como SODIS, la utilización a gran escala de estos tipos de vidrio no representa una alternativa atractiva debido a su alto costo y la difícil disponibilidad en países en desarrollo.

Ventajas del PET:

- ☺ Bajo peso
- ☺ Relativamente irrompible
- ☺ Transparente
- ☺ Neutro al gusto
- ☺ Químicamente estable

Desventajas del PET:

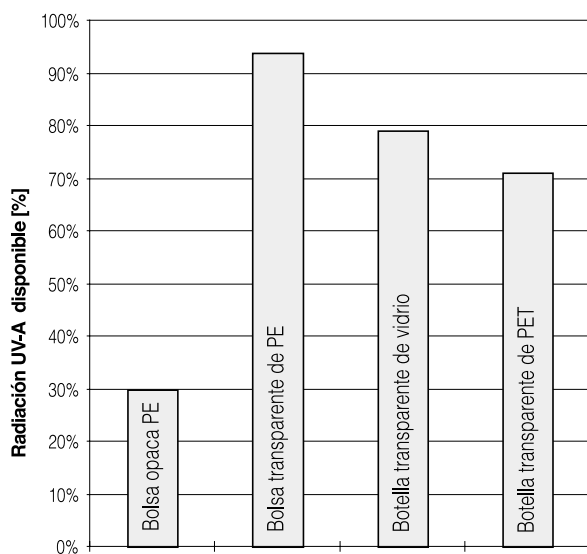
- ☹ Resistencia limitada a la temperatura (deformaciones por encima de los 65°C)
- ☹ Aparición de rayas y otros efectos de envejecimiento

Ventajas del vidrio:

- ☺ No se raya
- ☺ No hay generación de fotoproductos
- ☺ Resistencia al calor

Desventajas del vidrio:

- ☹ Frágil (fácilmente rompible)
- ☹ Costo generalmente mayor
- ☹ Peso alto



Transmisión de UV-A a través el PE, vidrio y PET (ejemplos)

REFERENCIAS

Solar Water Disinfection. Proceedings of a Workshop held at the Brace Research Institute, Montreal, Que., Canada. IDRC, 1988 [P6]
SODIS News No. 2, August 1997

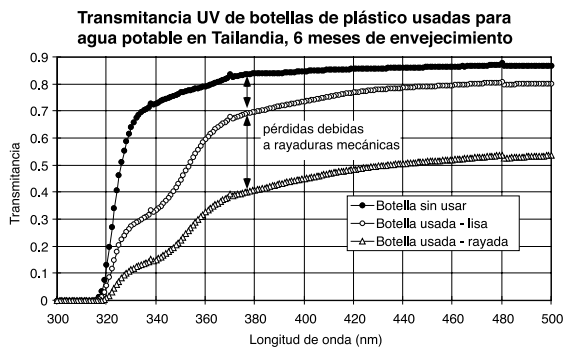
RESUMEN

Las botellas de SODIS se utilizan diariamente por largos periodos de tiempo. El envejecimiento de las botellas de PET produce una reducción en la transmisión de la radiación UV, que lleva consigo una menor eficacia en la inactivación de los microorganismos. Los aditivos presentes en el PET, que sirven para protegerlo de la degradación solar, no tienen influencia en la calidad del agua, ya que no se genera ningún fotoproducto en el interior de la botella.

INFORMACIÓN GENERAL

Périodo de la transmisión

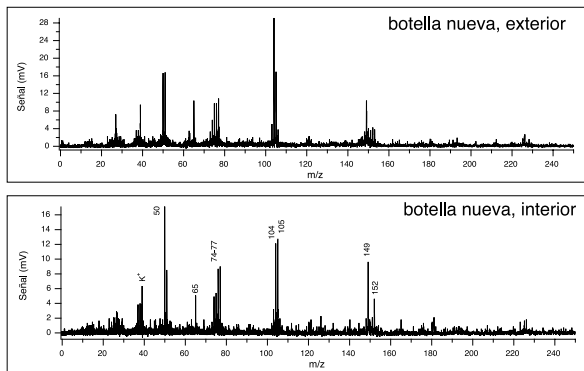
El envejecimiento de las botellas de PET produce una reducción en la transmitancia UV, que lleva consigo una menor eficacia en la inactivación de microorganismos. Las figuras de abajo ilustran la transmisión de la radiación UV en botellas nuevas y usadas. La figura a la izquierda muestra las pérdidas de transmitancia debidas a rayaduras mientras que la figura a la derecha ilustra las pérdidas debidas a la generación de fotoproductos. Para evitar dichas rayaduras, es necesario proceder con



mucho cuidado cuando se limpian las botellas.

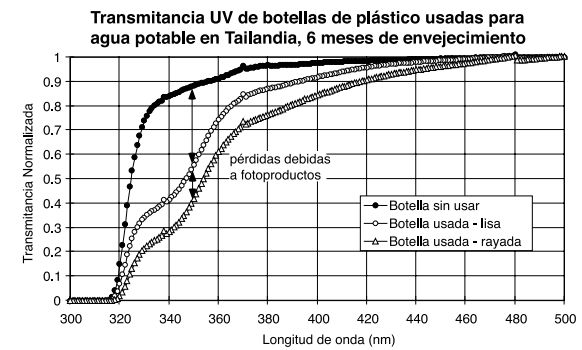
Fotoproductos

El PET, como todos los polímeros, está sujeto a reacciones con el oxígeno y degradación bajo la luz solar. Las componentes UV-A y UV-B de la radiación solar (con longitudes de onda entre 290 y 400 nm) inducen reacciones fotoquímicas que afectan a las propiedades mecánicas y ópticas de los materiales. Para mejorar la estabilidad del PET, se utilizan aditivos

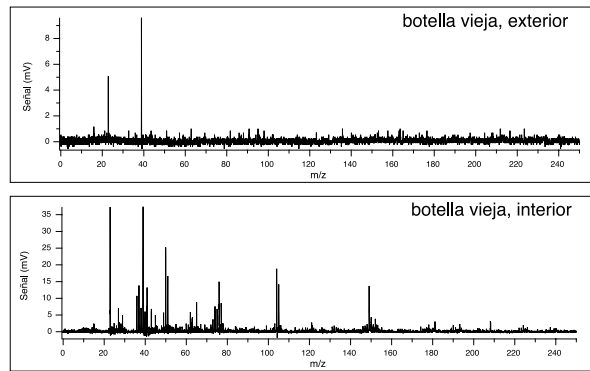


que lo protegen de la oxidación, de los efectos de la radiación UV, del ambiente y de otros factores agresivos. A lo largo de la vida del polímero, los aditivos se reducen en el material por reacciones fotoquímicas y/o difusión. Esto puede afectar en gran medida a las propiedades del material. Las figuras de abajo ilustran las diferencias entre las botellas nuevas y otras expuestas a la luz solar durante 6 meses.

El análisis de la superficie externa muestra claramente la diferencia entre una botella nueva y otra vieja. En



cambio, el análisis por espectrometría de masa no muestra una diferencia significativa entre la superficie interna de una botella nueva y la de una botella usada. Como la superficie interna de la botella no parece ser afectada por la radiación ultravioleta, es muy improbable que los fotoproductos de los aditivos del polímero contaminen el agua tratada y causen problemas de salud.



REFERENCIAS

SODIS News No. 3, October 1998. p. 13-14
<http://www.sodis.ch> [R13]
 Zahn, Q., et al. (1996). Spatially Resolved in-Situ Analysis of Polymer Additives by Two-Step Laser Mass Spectrometry. *Macromolecules*, 1996, 29, 7865-7871. [P7]

RESUMEN

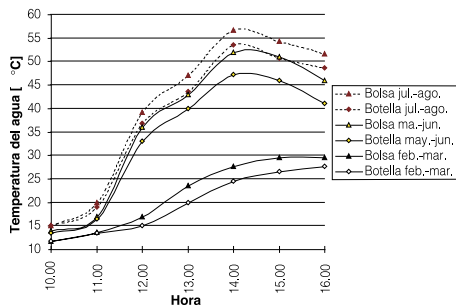
Las botellas de plástico hechas con PET son adecuadas para su utilización en el método SODIS. Se pueden conseguir mayores eficiencias de desinfección con bolsas de plástico debido a su mayor área de exposición al sol y su menor profundidad de agua. Sin embargo, el manejo de las botellas plásticas es más sencillo y más conveniente para los usuarios.

INFORMACIÓN GENERAL

El método de desinfección SODIS se basa en la sinergia de los efectos de la temperatura y de la radiación UV-A (longitud de onda: 320-400 nm). La radiación con mayor longitud de onda (>400 nm) no elimina las bacterias con suficiente efectividad y la UV-B (280-320 nm) sólo se transmite a través de un vidrio especial (Pyrex) y llega a la superficie de la tierra con muy baja intensidad. El PET (terephtalato de polietileno) presenta una buena transmitancia frente a la radiación UV-A, por lo que las botellas de PET, que son difundidas en gran parte del mundo, son adecuadas para su utilización con SODIS.

Desde un punto de vista técnico, las botellas no son los recipientes más eficientes ya que presentan un área de exposición pequeña y una profundidad de agua relativamente alta (6-10 cm). Como consecuencia de esto, la relación área de exposición / volumen de agua es bastante baja, lo que significa que el agua no calentará hasta la mayor temperatura posible y la intensidad de radiación UV-A se verá muy reducida en la parte baja de la botella.

Como alternativa, se han producido unas bolsas (bolsas SODIS) hechas de PET transparente (parte superior) y de color negro (parte inferior), con una mayor área de exposición y una profundidad de agua de menos de 6 cm. Esto incrementa la relación área de exposición / volumen de agua y por lo tanto mejora el proceso de inactivación.



Curvas de Temperatura del agua en botellas y bolsas. La diferencia promedio de temperatura es de aprox. 2-3 °C.

Ventajas de las bolsas SODIS

- ☺ Calentamiento más rápido y temperaturas máximas mayores en comparación con las botellas
- ☺ Eficiencia mayor en la inactivación de bacterias y virus en comparación con las botellas

Inconvenientes de las bolsas SODIS

- ☹ El agua tratada en las bolsas SODIS huele a plástico
- ☹ Dificil manejo (llenado y vaciado del agua)
- ☹ Las bolsas de plástico no son duraderas (sólo 3-6 meses)
- ☹ Se necesita otro recipiente para consumir el agua
- ☹ Las bolsas SODIS no son disponibles en el mercado
- ☹ El plástico es un problema medioambiental

Ventajas de las botellas SODIS

- ☺ Son prácticas y pueden utilizarse directamente en la mesa sin necesidad de otro recipiente
- ☺ Fácil manejo (llenado, transporte, vaciado del agua)
- ☺ Las botellas son más duraderas. Aun después de varios meses, las botellas se encuentran en buenas condiciones
- ☺ Las botellas son fácilmente disponibles y su costo es bajo

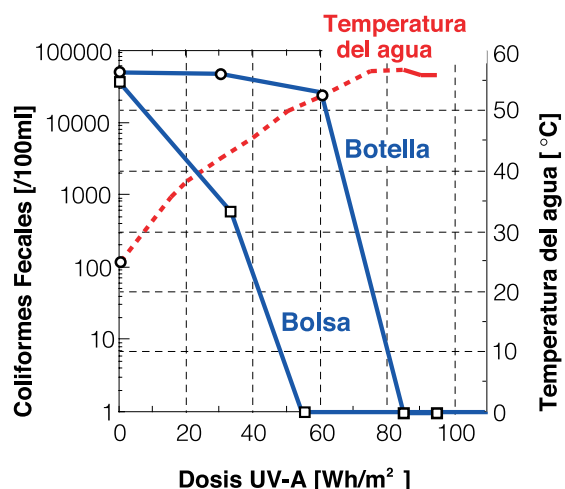
Desventajas de las botellas SODIS

- ☹ El plástico es un problema medioambiental
- ☹ Se necesitan varias botellas para tratar el agua de consumo de una familia entera

REFERENCIAS

SODIS News N° 1, February 1997, internal report.
 SODIS News N° 3, August 1998, Internal report
 Acra, A., Jurdi, M., Mu'alleem, H., Karahagopian, Y., Raffoul, Z., (1989). Water Disinfection by Solar Radiation - Assessment and Application. Technical Study 66e IDRC, 1989, ISBN 0-88936-555-5. [P5]

Curvas de inactivación para botellas y bolsas SODIS



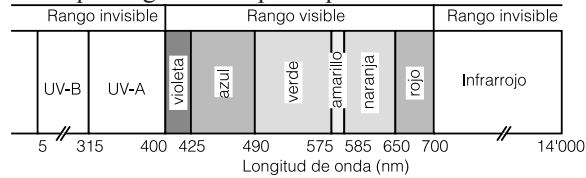
RESUMEN

La radiación solar llegando a nivel de la tierra se compone de diferentes tipos de luz: UV-B, UV-A, visible e infrarroja. Generalmente, la intensidad de la radiación solar es alta en la gran mayoría de los países en desarrollo, especialmente en los que se encuentran alrededor de la línea del Ecuador. La radiación ultravioleta UV-A es el espectro más importante para SODIS.

INFORMACIÓN GENERAL

Espectro de la radiación solar

El sol irradia continuamente cantidades enormes de energía con longitudes de onda que cubren el rango ultravioleta, visible e infrarrojo. No toda la radiación solar que llega a las capas superiores de la atmósfera

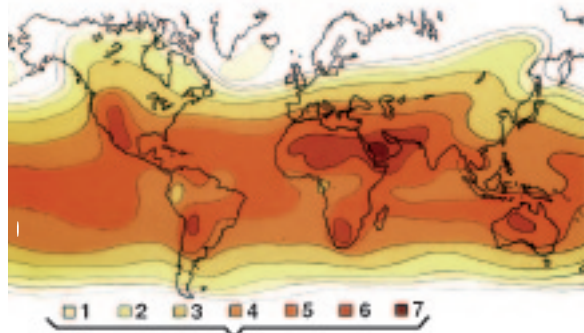


alcanza la superficie de nuestro planeta. La atmósfera terrestre actúa como un filtro selectivo de las diferentes componentes de la radiación solar en su trayectoria hacia la superficie terrestre. Gases atmosféricos y partículas cuyo tamaño es inferior a la longitud de onda de una radiación específica dispersan preferencialmente radiaciones con longitudes de onda cortas en comparación con las de longitud mas larga. Asimismo la mayor parte de la radiación con un rango de longitudes de onda entre 200 y 300 nm es absorbida por la capa de ozono (O₃) en la atmósfera superior.

Distribución global de la energía solar

La intensidad de la radiación solar no está distribuida uniformemente en la superficie terrestre y varia en función de la latitud, altitud, estación y hora del día. El área geográfica más favorable para SODIS se encuentra entre 15° y 35° de latitud Norte y Sur y corresponde a las regiones del planeta más favorables para la implementación de tecnologías solares. Estas regiones generalmente semiáridas se caracterizan por recibir mayor cantidad de radiación solar, de la cual más del 90% llega como radiación directa debido a la baja nebulosidad y escasez de lluvias (menos de 250 mm por año y generalmente más de 3000 horas de sol al año).

La segunda zona más favorable se encuentra entre la línea del Ecuador y 15° de latitud (N y S). Estas regiones se caracterizan por su alta humedad y frecuente nubosidad, por lo cual la proporción de radiación dispersa es alta. En promedio, estas áreas se



Radiación total (kwh/m²/día)

benefician con unas 2500 horas de sol al año. Es importante destacar que la mayor parte de los países en desarrollo se encuentran dentro de las zonas más favorables entre 35°S y 35°N*. Por esta razón, pueden contar con la radiación solar como fuente constante de energía, la cual puede ser explotada a bajo costo para numerosas aplicaciones, incluso la desinfección solar del agua de consumo humano.

Los UV-A como radiación más importante para SODIS

La tasa de inactivación de los microorganismos aumenta con el decrecimiento de las longitudes de onda, es decir la eficiencia de la desinfección aumenta cuando se recorre el espectro de la radiación solar hacia las ondas cortas: luz visible ⇔ UV-A ⇔ UV-B ⇔ UV-C (<260 nm). La máxima absorción del ADN (ácido desoxirribonucleico) corresponde a una longitud de onda de la radiación UV-C. Comparando la radiación UV-A con la luz visible por ejemplo, más del doble de luz será necesaria cuando se utilice solamente la luz visible para la inactivación de microorganismos.

REFERENCIAS

Acra, A., Raffoul, Z., Karahagopian, Y., (1984). Solar Disinfection of Drinking Water and Oral Rehydration Solutions. Guidelines for Household Application in Developing Countries. Published for UNICEF by Illustrated Publications S.A.L, Beirut, Lebanon, 1984. [P4]
Wegelin, M. et al. (1994). Solar water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments. J Water SRT-Aqua, 1994, 43, No. 3, 154-169. [P1]

* En el caso específico de Bolivia, se debe tomar en cuenta que el clima semiárido de las zonas andinas (Altiplano y Valle) proporciona condiciones muy favorables para la implementación de tecnologías solares. Además, la radiación ultravioleta, cuya importancia es fundamental en el proceso de inactivación de los microorganismos del agua, aumenta significativamente con la altura sobre el nivel del mar.

RESUMEN

La intensidad de la radiación solar varía en función de la hora del día, de la fecha, de la ubicación geográfica y clima. En días nublados a 100%, la intensidad de la radiación ultravioleta UV-A se reduce a un tercio de la radiación medida en días completamente despejados.

INFORMACIÓN GENERAL

En los países occidentales, la radiación solar recibida en la superficie terrestre ha sido medida en las estaciones meteorológicas desde hace muchos años. Lastimosamente los datos disponibles son mucho más escasos en los países en desarrollo donde los potenciales y necesidades para la utilización de la radiación solar como fuente alternativa de energía son aún mayores.

Variación estacional

La intensidad de la radiación ultravioleta UV-A varía tanto en función de la estación (por los cambios en la inclinación terrestre) como de la hora del día. Esta variación depende de la latitud y constituye el parámetro principal para la determinación del clima en una zona. En comparación con regiones del hemisferio sud o norte, la variación estacional de la intensidad

de la radiación solar es menor en regiones cercanas al ecuador. En Beirut Líbano por ejemplo (latitud de 35° N), la intensidad de la radiación sobre una superficie horizontal alcanza un nivel máximo de 18 W/m² en junio y disminuye hasta un mínimo de aproximadamente 5 W/m² en diciembre (figura 1). La diferencia entre estos dos extremos (13 W/m²) es importante.

Variación diaria (cambio del clima)

La figura 2 muestra como ejemplo la variación de la radiación UV-A en función de la hora del día con tiempo despejado y cubierto en Beirut (octubre y abril de 1985). La radiación disponible disminuye con el aumento de la nubosidad. La reducción depende ligeramente de la longitud de onda como lo ilustra la figura 3.

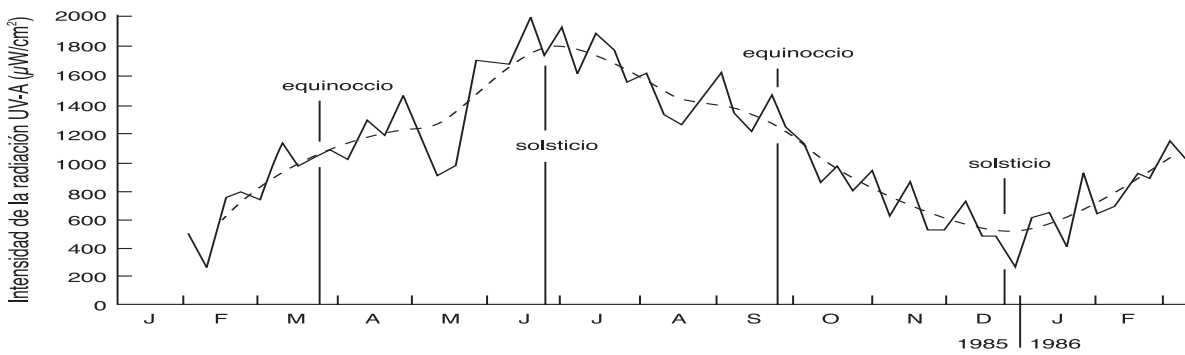


Figura 1: Intensidad de la radiación UV-A incidente sobre una superficie horizontal al mediodía. La curva continua representa el valor semanal promedio medido, mientras la línea discontinua es un valor extrapolado

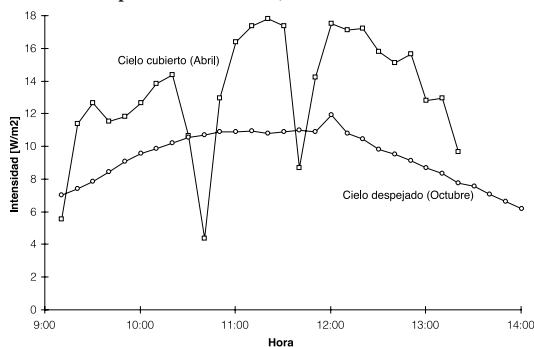


Figura 2: Variación de la intensidad de la radiación UV-A durante el día bajo diferentes condiciones climáticas

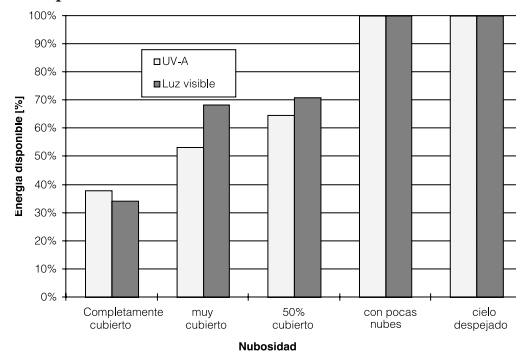


Figura 3: Disminución de la energía solar disponible por efecto de las nubes.

REFERENCIAS

Acra, A., Jurdi, M., Mu'Allem, H., Karahagopian, Y., Raffoul, Z. (1989). Water Disinfection by Solar Radiation - Assessment and Application. Technical Study 66e. IDRC, 1989. ISBN 0-88936-555-5 [P5]
Sommer, B., et al. (1997). SODIS-an emerging water treatment process. J Water SRT-Agua, 1997, 46, N° 3, 127-137. [P2]

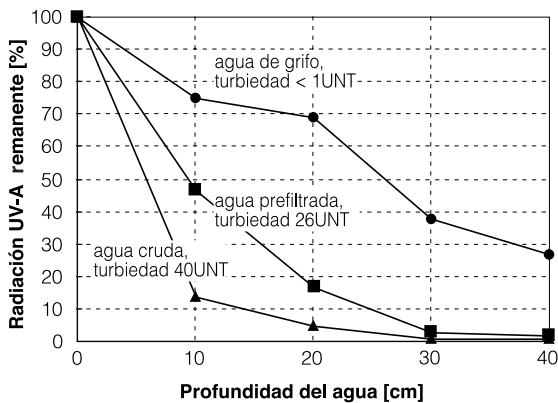
RESUMEN

La intensidad de la radiación disminuye con el aumento de la turbiedad y profundidad del agua. Para SODIS, se debería utilizar agua cruda de baja turbiedad (<30 UNT). De igual manera, la profundidad de la película de agua debe ser baja y no debería superar los 10 cm, para poder permitir el paso de suficiente radiación.

INFORMACIÓN GENERAL

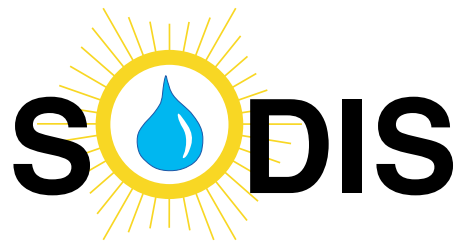
Turbiedad del agua

La turbiedad es utilizada como parámetro para caracterizar las propiedades ópticas de los líquidos que contienen partículas suspendidas que provocan una absorción y desviación de la luz. Como se muestra en la figura 1, turbiedades elevadas reducen substancialmente la penetración de la luz en el agua y por consecuencia reducen la eficiencia de desinfección por el método de tratamiento SODIS. Para asegurar una desinfección suficiente y segura, el agua cruda debe tener una turbiedad baja (menor de 30 UNT = Unidad Nefelométrica de Turbiedad).



Prueba de la turbiedad del agua

Para determinar si el agua necesita ser filtrada previamente, se puede realizar una prueba muy simple para determinar aproximadamente la turbiedad: se pone la botella llena por encima del logo SODIS (figura de abajo) y se mira a través de la botella desde arriba hacia abajo; se recomienda realizar la prueba bajo sombra, en una mesa para evitar interferencia de la luz. Si se puede leer las letras a través del agua, la turbiedad es menor a 30 UNT. Si además se ven los rayos del sol del logo, la turbiedad es menor a 20 UNT.



Logo SODIS para la prueba de la turbiedad. Si las letras son visibles a través de la botella llena de agua, la turbiedad es menor a 30 UNT. Si además se pueden ver los rayos del sol del logo, la turbiedad es menor a 20 UNT.

Profundidad del agua

La radiación ultravioleta disminuye con el aumento de la profundidad del agua. En una profundidad de 10 cm y con una turbiedad moderada de 26 UNT, la radiación UV-A esta reducida a un 50%. La superficie inferior negra de las botellas o de las bolsas SODIS crea un gradiente de temperatura y facilita la circulación del agua por convección, mejorando asimismo la eficiencia de inactivación. En todos los casos, los contenedores utilizados para SODIS deberían ser lo más planos posible y con una profundidad del agua inferior a 10 cm.

Si la turbiedad del agua es mayor de 30 UNT, los sólidos gruesos y sedimentables pueden ser separados por decantación (sedimentación), almacenando el agua cruda durante un día. También se puede reducir la turbiedad por filtración (en arena o con una tela tupida) o por un proceso de floculación-sedimentación (utilizando sulfato de aluminio, semillas molidas de *Moringa oleifera* u otro coagulante natural) o por filtración.

REFERENCIAS

Wegelin, M. et al. (1994). Solar water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments. J Water SRT-Aqua, 1994, 43, No. 3, 154-169. [P1]
SODIS News No. 3, August 1998

RESUMEN

La eficiencia de SODIS puede ser incrementada si el agua expuesta al sol está saturada de oxígeno. Formas reactivas de oxígeno se producen por fotoreacción, las cuales contribuyen a eliminar a los microorganismos.

INFORMACIÓN GENERAL

El rol del oxígeno

La luz solar tiene un impacto directo sobre los microorganismos. La radiación UV-A es directamente absorbida por la materia orgánica. Por otra parte, la radiación solar produce formas altamente reactivas del oxígeno, como radicales libres y peróxido de hidrógeno, los cuales a su vez eliminan a los microorganismos. Estos subproductos agresivos para los microorganismos son formas temporales producidas por la acción del sol en aguas oxigenadas, pero no tienen un efecto residual significativo una vez que la muestra haya sido removida del sol. Este proceso ha sido denominado "desinfección solar foto-oxidativa". Los microbios expuestos a los subproductos reactivos del oxígeno son oxidados durante el tratamiento. La figura 1 muestra resultados representativos para coliformes fecales en aguas contaminadas con aguas servidas. Es de notar que el eje vertical tiene una escala logarítmica, y la figura representa una disminución de bacterias de un factor superior a 1000 en menos de 5 horas de exposición en condiciones saturadas de oxígeno mientras la reducción es aproximadamente un factor 10 durante el mismo periodo bajo condiciones anaerobias (sin oxígeno).

Para evaluar la posibilidad de que la combinación de la radiación solar y del oxígeno haya solamente dañado ligeramente a las bacterias sin producir un efecto letal (mortal) sobre ellas, se realizaron varios análisis bacteriológicos de las muestras 24 horas después de su exposición al sol. Estos análisis han demostrado que no existe un nuevo incremento de las bacterias, lo cual indica que han sido inactivadas de manera irreversible.

Sacudir las botellas para aumentar la eficiencia de SODIS

A nivel práctico, se puede aumentar la aireación y el contenido de oxígeno agitando el agua cruda vigorosamente antes de llenar la bolsa o botella SODIS; también se puede llenar la botella hasta la mitad, sacudirla fuertemente, y finalmente llenarla completamente antes de exponerla al sol; se logrará de esta manera favorecer la inactivación de los microorganismos por el método SODIS. Es particularmente importante proceder a tal aireación para aguas estancadas como las de lagunas, tanques de almacenamiento y pozos.

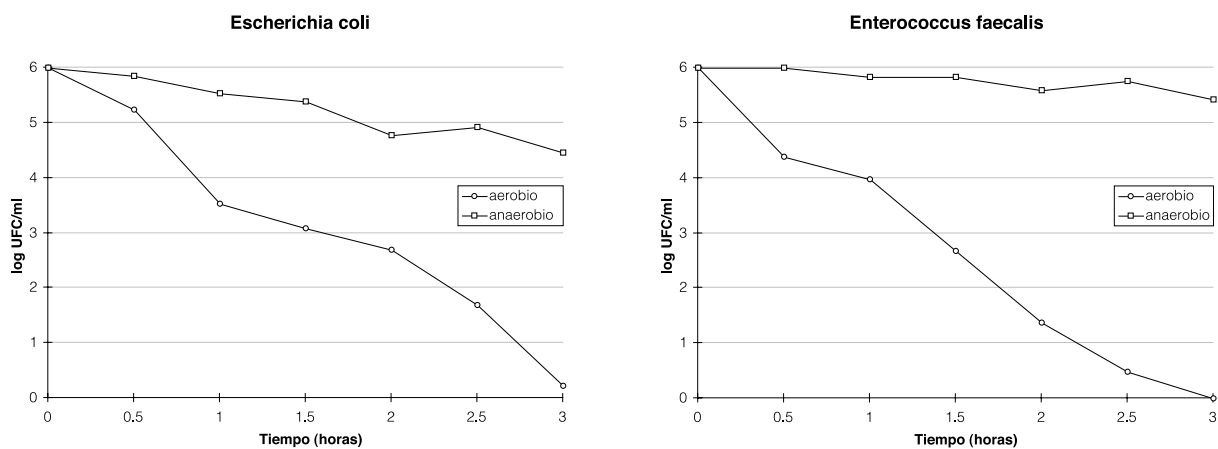


Figura 1: Inactivación bajo condiciones aerobias y anaerobias
Recuperación de las bacterias

REFERENCIAS

Reed, R.H. (1996). Sol-air water treatment. 22nd WEDC Conference: Discussion paper. New Delhi, India, 295-296
 Reed, R.H. (1997). Sunshine and fresh air: A practical approach to combating water-borne disease. Waterlines, 1997, 15, No. 4, 27-29. [P9]

RESUMEN

SODIS utiliza principalmente dos componentes de la luz solar: la luz ultravioleta UV-A para la irradiación de microorganismos y la luz infrarroja para calentar el agua. Esta combinación tiene un efecto sinérgico, incrementando la eficiencia de la inactivación. Para obtener una reducción de 3 unidades logarítmicas de *E. coli*, se requiere una dosis de 555 W·h/m² (dosis de radiación solar integrada en el rango de longitudes de 350 a 450 nm), lo cual corresponde aproximadamente a una exposición de 5 horas (durante el mediodía en latitudes medias en época de verano). Con una temperatura del agua de 50°C, la dosis requerida para obtener el mismo efecto es reducida a 140 W·h/m², lo cual corresponde a un tiempo de exposición de aprox. 1 hora.

INFORMACIÓN GENERAL

Efectos de la radiación

La radiación de ondas cortas induce efectos letales en las bacterias y virus. Cuanto más cortas las ondas, más eficiente resulta la eliminación de los microorganismos. La radiación afecta el ADN, los ácidos nucleicos y las enzimas. La tabla 1 ilustra la resistencia de tres tipos de microorganismos.

Tabla 1: Resistencia a la radiación UV-A de algunos microorganismos (Acra, 1989)

Microorganismos	Dosis (Wh/m ²) requerida para inactivar:		
	90%	99%	99.90%
<i>Streptococcus faecalis</i>	890	1780	26.72
Coliformes	824	1659	24.74
<i>Escherichia coli</i>	6.36	12.72	19.08

Efectos de la temperatura

Los microorganismos son sensibles al calor. En la tabla 2 figuran las temperaturas requeridas para eliminar microorganismos en 1, 6 o 60 minutos. Se destaca que no es necesario hervir el agua para matar el 99.9% de los microorganismos: se obtiene el mismo efecto calentando el agua a 50-60°C durante una hora.

Tabla 2: Termoresistencia de los microorganismos

Efectos sinérgicos en el proceso SODIS

Microorganismos	Temperatura para el 100 % de destrucción		
	1 min.	6 min.	60 min.
Enterovirus			62 °C
Rotavirus	63 °C por 30 min.		
Coliformes Fecales	a 80 °C	destrucción completa	
<i>Salmonella</i>		62 °C	58 °C
<i>Shigella</i>		61 °C	54 °C
<i>Vibrio Cholera</i>			45 °C
Quistes de <i>Entamoeba Histolytica</i>	57 °C	54 °C	50 °C
Quistes de <i>Giardia</i>	57 °C	54 °C	50 °C
Huevo y larva de gusano de gancho		62 °C	51 °C
Huevo de <i>Ascaris</i>	68 °C	62 °C	57 °C
Huevo de <i>Schistosomas</i>	60 °C	55 °C	50 °C
Huevos de <i>Tenias</i>	65 °C	57 °C	51 °C

El método de tratamiento SODIS se basa en el efecto

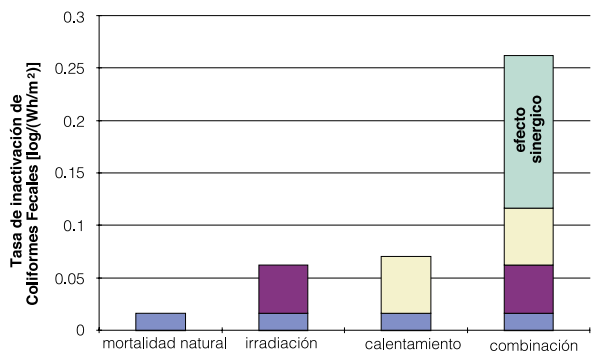
sinérgico de la radiación y temperatura. La tasa de mortalidad de los coliformes fecales expuestos a la radiación y calor aumenta substancialmente cuando ambos factores actúan conjuntamente. La tabla 3 y la figura 1 muestran el efecto sinérgico de la radiación UV y de la temperatura del agua sobre virus y bacterias.

Tabla 3: Inactivación de 3 tipos de virus (coliphage f2 y los virus animales EMCV y Rotavirus) bajo luz solar artificial. La tabla indica los tiempos y dosis requeridos para una reducción de 99.9% a diferentes temperaturas.

Figura 1: Efecto sinérgico de la radiación UV y de la temperatura

f2	Tiempo (h)	Dosis (Wh/m ²)
20 °C	3.3	2502
50 °C	1.3	973
EMCV		
20 °C	12.5	9535
50 °C	1.8	1390
Rotavirus		
20 °C	2.5	1890
40 °C	0.7	528

sobre los Coliformes Fecales en el agua cruda



REFERENCIAS

Acra, A., Jurdi, M., Mu'Allem, H., Karahagopian, Y., Raffoul, Z. (1989). Water Disinfection by Solar Radiation - Assessment and Application. Technical Study 66e. IDRC, ISBN 0-88936-555-5 [P5]
 Wegelin, M. et al. (1994). Solar water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments. *J Water SRT-Aqua*, 1994, 43, No. 3, 154-169. [P1]
 Mariño, A., Wegelin, M. (1995). Solar Water Disinfection:

Evaluation of the Field Tests Carried Out in Khon Kaen, Thailand. Internal Monitoring Report Part I. [R8]

RESUMEN

Un agua turbia protege los microorganismos de la irradiación UV, por lo cual los microorganismos solamente están expuestos a efectos térmicos. El agua cruda utilizada para SODIS debe entonces ser lo más clara posible y no superar una turbiedad de 30 UNT.

INFORMACIÓN GENERAL

Efectos de la turbiedad

Las partículas suspendidas en el agua desvían y dispersan la radiación en todas las direcciones. La turbiedad es un parámetro que es utilizado para caracterizar las propiedades ópticas de los líquidos que contienen sustancias absorbentes y dispersantes. De hecho, la turbiedad

- reduce la intensidad de la radiación solar en el agua (figura 1)
- protege a los microorganismos de ser irradiados (ya que los microorganismos se encuentran por debajo de materiales flotantes o incorporados en sólidos sedimentables)
- reduce la eficiencia del proceso de desinfección SODIS

Influencia de la temperatura

La intensidad de la radiación UV-A disminuye más rápidamente con la profundidad en aguas turbias que en aguas claras, reduciendo de este modo la eficiencia de SODIS. Sin embargo, la temperatura del agua alcanza aproximadamente el mismo nivel en ambos tipos de agua, por lo cual la inactivación de los microorganismos en aguas turbias se debe más al efecto de la temperatura que al de la radiación UV-A. La tabla 1 muestra resultados de pruebas realizadas con botellas y bolsas para diferentes valores de turbiedad. Con turbiedades muy elevadas, no todos los patógenos logran ser eliminados en la botella, por la influencia negativa de la profundidad del agua (8 cm en la botella comparado con 4 cm en la bolsa).

Aunque la turbiedad tiene solamente un efecto moderado sobre la eficiencia de SODIS, el agua cruda debe ser lo más clara posible y no debería superar una turbiedad de 30 UNT.

Figura 1: Reducción de la radiación UV-A en función de la profundidad del agua y de la turbiedad

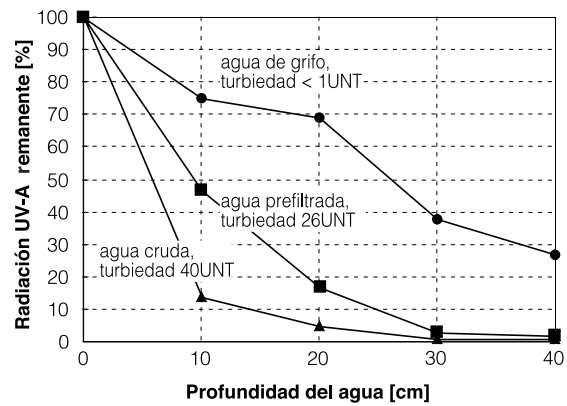


Figura 2: Inactivación de Coliformes Fecales en 15 minutos bajo diferentes condiciones de prueba

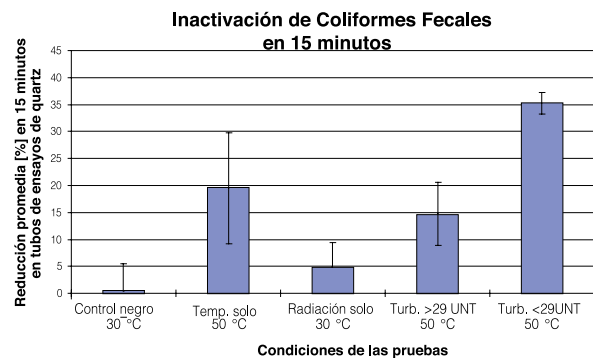


Tabla 1: Inactivación de Coliformes Fecales en bolsas y botellas para diferentes niveles de turbiedad

Turbiedad (UNT)	Coliformes Fecales [UFC/100ml]		
	Inicio	Final (Bolsas)	Final (Botellas)
5-10	290	0	0
10-20	16	0	0
30-40	1950	0	0
250	9050	0	116

REFERENCIAS

Roger Pfammatter and Martin Wegelin (1993). Solar Water Disinfection: Evaluation of Field Tests carried out in Cali, Colombia (16.8.-23.9.93). Internal Monitoring Report. [R1]
Seminario-Taller de Desinfección Solar - SODIS. Informe del evento, 1998. [R15]

RESUMEN

Condiciones climáticas subóptimas como en el caso de un cielo cubierto pueden llevar a la necesidad de exponer las botellas durante dos días consecutivos. La exposición a la radiación solar provoca daños letales a los microorganismos, por lo cual no se observa una recuperación (recrecimiento) de las bacterias o virus.

INFORMACIÓN GENERAL

Condiciones subóptimas en ensayos reales

En el uso diario, no siempre se encuentran condiciones óptimas, por ejemplo el cielo puede estar nublado y no soleado como sería lo ideal (ver Nota Técnica #6). Para estimar el efecto de estos problemas, es importante saber cuales son los diferentes factores que contribuyen a la mortalidad de los microorganismos y patógenos:

- Luz (radiación)
- Temperatura
- Elementos nutritivos
- Humedad
- Tiempo

Los patógenos generalmente no pueden reproducirse afuera del cuerpo humano, existiendo pocas excepciones como las salmonellas.

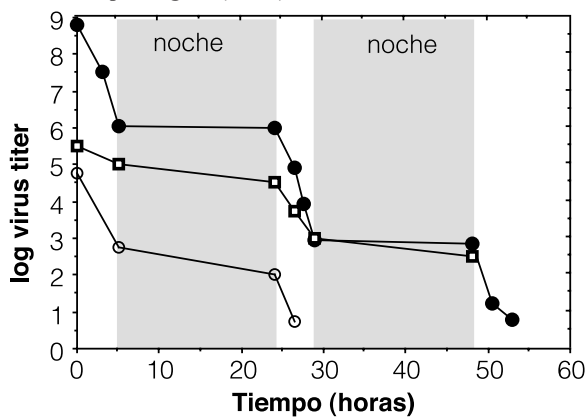
Prolongación del tiempo de exposición

Cuando el cielo está cubierto, dos días consecutivos de exposición son necesarios para alcanzar la dosis requerida de radiación y asegurar una inactivación completa de los patógenos, como lo ilustra la figura 1.

Recuperación de los microorganismos

Suspensiones bacterianas expuestas a radiación UV-C

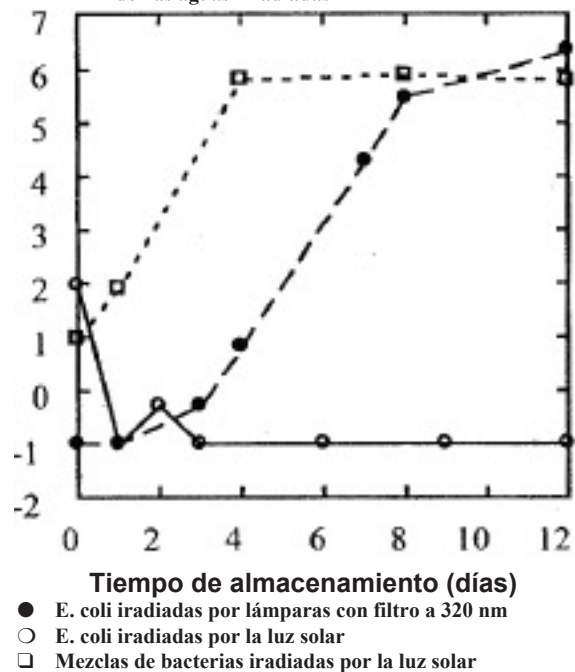
Figura 1: Inactivación de ● colifago f2 y de los virus animales □ EMCV y ○ rotavirus durante una operación SODIS prolongada (3 días)



(artificial) son inactivadas en pocos segundos, sin embargo se observa una recuperación de las mismas bacterias, cuya población vuelve a la densidad original en un periodo de una semana (figura 2). En comparación, suspensiones bacterianas expuestas a la radiación solar por un periodo de tiempo prolongado (varias horas) no presentan un nuevo crecimiento de la población de *E. coli* aún después de un tiempo de almacenamiento superior a dos semanas.

Sin embargo, la botella SODIS expuesta a la radiación solar también constituye un bioreactor en el cual mezclas de bacterias inocuas para el ser humano se pueden reproducir, al igual que lo harían en el medio ambiente. La figura 2 evidencia también el crecimiento de tales bacterias inocuas. En otras palabras, el objetivo de SODIS es de inactivar y matar a los microorganismos patógenos, pero no el de producir un agua estéril.

Figure 2: Recuperación de *E. coli* y de mezclas de bacterias durante un tiempo de almacenamiento prolongado de las aguas irradiadas



REFERENCIAS

Wegelin, M. et al. (1994). Solar water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments. J Water SRT-Aqua, 1994, 43, No. 3, 154-169. [P1]

RESUMEN

El método de tratamiento SODIS es simple y fácil de usar. Sin embargo, la introducción del método requiere una capacitación cuidadosa de los futuros usuarios(as) para un manejo adecuado del mismo.

INFORMACIÓN GENERAL

Pruebas de laboratorio y uso práctico

En la utilización cotidiana de SODIS por parte de los usuarios, las condiciones de aplicación difieren mucho de las encontradas en experimentos realizados en laboratorio y en terreno. El proceso de desinfección no es realizado bajo condiciones controladas, los materiales y métodos utilizados a menudo no son los óptimos y se observa frecuentemente una manipulación inadecuada del agua tratada.

Además, la concentración inicial de coliformes fecales para los experimentos (>10.000/100ml hasta >1.000.000/100ml) es generalmente mucho mayor a las encontradas comúnmente en ríos o lagunas contaminadas (alrededor de 100 o 1.000/100ml).

Manipulación y capacitación

El método de tratamiento del agua SODIS es simple de aplicar. Sin embargo se requiere una intensa y cuidadosa capacitación de los usuarios tanto en la introducción de SODIS como en su manejo cotidiano para que puedan beneficiarse completamente del método.

Hay muchas maneras de exponer las botellas de agua al sol. Por ejemplo los usuarios a menudo no son concientes que el lugar donde se exponen las botellas debe recibir sol directo durante unas 4-5 horas.

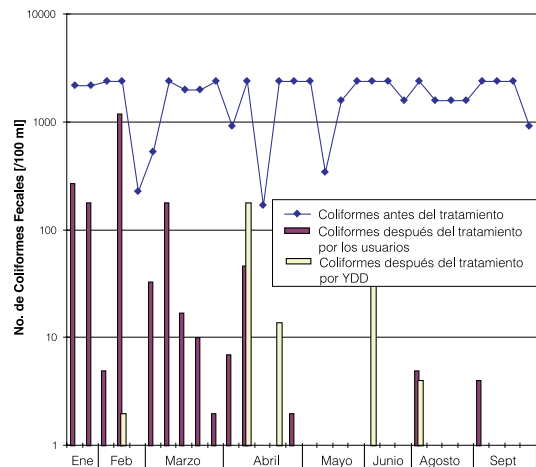
Errores observados

- ⊗ Se pueden observar casos en los cuales las botellas son expuestas al sol en la mañana. Sin embargo después de unas dos horas, la sombra de unos árboles o de la casa le da al lugar donde se encuentran expuestas las botellas.
- ⊗ También se observa que mucha gente pone sus botellas sobre una silla. Después de un cierto tiempo, el respaldar de la silla le da sombra a las botellas.

- ⊗ Algunos usuarios exponen equivocadamente las botellas con la parte negra hacia el sol en vez de la parte transparente.

En la región rural de Melikan en Indonesia, el 40% de los comunarios colocaba en un inicio sus botellas sobre sillas o en un piso de cemento, lo cual no es ideal en comparación con calaminas, techos de tejas o rocas negras. La eficiencia de desinfección es menor, y solamente el 50% de las muestras después de tratamiento se encontraban libres de coliformes fecales. Después de una capacitación adecuada de los usuarios y del cambio de soporte por calaminas corrugadas, el número de aplicaciones inadecuadas se redujo al 3%. El personal de la ONG YDD (Yayasan Dian Desa) promotora del proyecto SODIS realizaba al mismo tiempo y con la misma agua contaminada su tratamiento con SODIS, y obtenía resultados mucho mejores. Esta experiencia ilustra la importancia de una capacitación adecuada y continua a los usuarios.

Progresos en la manipulación de SODIS en Indonesia. Las barras verticales muestran los Coliformes Fecales remanentes en el agua tratada. Con el entrenamiento proporcionado, los usuarios obtuvieron resultados comparables a los del equipo de YDD.



REFERENCIAS

Aristanti, Ch., Wegelin, M. (1998). Solar Water Disinfection. Water Treatment With Solar Energy. Internal Report. [R14]
 SODIS News, No. 1 February 1997. [R11]
 Wegelin, M., Sommer, B. (1998). Solar Water Disinfection (SODIS) - destined for worldwide use? Waterlines, 1998, 16, No. 3, 30-32. [P3]
 Yayasan Dian Desa (1997). Solar Disinfection System - Field Study. Final Report. [FInd3]

RESUMEN

SODIS se basa en el efecto sinérgico de la temperatura del agua y de la radiación UV. Las siguientes recomendaciones permiten optimizar y maximizar la radiación solar recibida y la temperatura del agua. Se alcanzan altas temperaturas del agua usando soportes negros (o pintados de negro) y manteniendo pequeña la relación volumen del agua / área expuesta al sol. La dosis de radiación depende del material del recipiente, del lugar escogido, de la orientación del envase, de la profundidad del agua, de la turbiedad y del tiempo de exposición.

INFORMACIÓN GENERAL

Envases

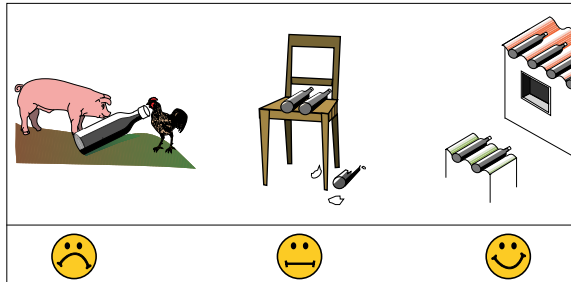
- Recolectar botellas plásticas con un volumen de 1 a 2 litros generalmente muy difundidas como envases de bebidas gaseosas (preferentemente utilizar botellas de PET)
- Medir la transmitancia del material con un espectrofotómetro (lo importante es una buena transmitancia UV-A entre 320 y 400 nm)
- Verificar el buen estado de la botella, incluso de su tapa
- Limpiar cuidadosamente el interior y exterior de la botella
- Pintar longitudinalmente la mitad de la botella cuando se disponga de pintura negra

Pasos para seguir

- Llenar las botellas completamente con el agua cruda a ser tratada
- Cerrar bien las botellas con sus tapas
- Exponer las botellas al sol desde la mañana en un lugar que estará soleado durante todo el día
- Poner las botellas en posición horizontal sobre un soporte negro u oscurecido, de preferencia sobre una calamina o en un techo de tejas
- Recoger las botellas al final de la tarde y dejar enfriar el agua en un lugar adecuado y limpio
- Guardar el agua para su consumo en la misma botella y consumirla utilizando un vaso limpio. Se puede guardar el agua durante la noche para permitir un enfriamiento adicional

- Utilizar agua lo más limpia y con menos sólidos sedimentables posibles, con una turbiedad menor de 30 UNT (ver Nota Técnica # 10 sobre la influencia de la turbiedad para más detalles). Remover los sólidos gruesos y sedimentables almacenando el agua antes de su tratamiento durante un día. Se puede también reducir la turbiedad por filtración o por un proceso de floculación-sedimentación utilizando sulfato de aluminio (alumbre) o semillas molidas de *Moringa oleifera*
- Utilizar agua bien aireada. Aguas estancadas con un contenido bajo de oxígeno disuelto deberían ser aireadas sacudiendo las botellas parcialmente llenas o agitando vigorosamente el agua con un palo limpio antes de llenar los recipientes
- Esperar un tiempo mínimo de exposición al sol de una hora después de haber alcanzado una temperatura de 50°C.
- Exponer las botellas al sol durante al menos cinco horas cuando el tiempo esta soleado en el caso de que no se logra alcanzar una temperatura del agua de 50°C. Si el cielo está cubierto con nubes, exponer las botellas durante dos días consecutivos antes de consumir el agua
- En los días lluviosos, hervir el agua o recolectar agua de lluvia de una superficie limpia (p. ej. desde un techo de teja o de calamina después de haber pasado las primeras lluvias) para cubrir la demanda de agua potable

Recomendaciones adicionales



REFERENCIAS

Wegelin, M., Sommer, B. (1998). Solar Water Disinfection (SODIS) - destined for worldwide use? Waterlines, 1998, 16, No. 3, 30-32. [P3]

RESUMEN

Se registra una muy buena aceptación de SODIS porque los usuarios aprecian la sostenibilidad y sencillez de este método de tratamiento de agua de consumo. Sin embargo, una implementación exitosa de SODIS requiere una cuidadosa y extensa introducción del método por medio de la participación comunitaria desde la fase de planificación.

INFORMACIÓN GENERAL

Introducción de nuevos equipos o facilidades

La salud de la gente no mejorará por el simple hecho de que disponga de nuevos equipos o facilidades, tiene que utilizarlos. Por lo general, cambios menores en las prácticas diarias de abastecimiento del agua son más aceptadas que cambios mayores o repentinos. SODIS será usado y aplicado si la población a la que va dirigida este método está convencida de las ventajas de este con respecto a las formas tradicionales de tratamiento y manipuleo del agua destinada a consumo. Los consumidores necesitan conocer sobre las rutas de transmisión bacteriológica de las enfermedades diarreicas y sobre la estrecha relación entre dichas enfermedades y el consumo de agua de mala calidad; también deberían conocer las posibilidades de reducirlas o evitarlas. Finalmente los usuarios solamente invertirán en un tratamiento de agua si ellos están convencidos que serán directamente beneficiados; como los beneficios son normalmente indirectos, ellos los percibirán posiblemente solamente a largo plazo.

Experiencia de campo

El objetivo de los proyectos demostrativos de SODIS, conducidos por las instituciones locales en siete diferentes países fue el de estudiar la aceptación sociocultural y observar si esta alternativa de tratamiento podía ser costeadada. Las investigaciones recientemente realizadas reflejan que un promedio de 84% de los usuarios tienen la intención de seguir usando SODIS después de la conclusión del proyecto y cerca del 13% considera que tal vez, lo utilice en el futuro. Solamente el 3% se reusa a utilizar SODIS, ya que su salud supuestamente no es afectada por la presente calidad de agua. Los resultados obtenidos en dos países (Burkina Faso y China) difieren sensiblemente con los resultados de los demás países cuando se les preguntó a los participantes si seguirán utilizando el método en el futuro, ya que se recogió un 30% y 45% de respuestas indecisas ("tal vez"). Como posible explicación, se notó que los usuarios en estos dos países no se involucraron mucho con el proyecto.

En China cerca de la mitad de la gente entrevistada dijo que ellos siguen tomando agua no tratada pese a que saben que la calidad del agua es mala.

Razones por las que la gente aceptó y continuará utilizando SODIS

- Es sencillo y práctico
- Provee agua limpia y buena para tomar
- Se emplea menor tiempo y menor trabajo para las actividades diarias (el no tener que hacer hervir el agua implica no tener que prender fuego, no necesitar combustible y no necesitar lavar la caldera)
- El agua está libre de patógenos, por eso habrá menos enfermedades, menos diarrea y menos dolores de estómago
- Ayuda a ahorrar (leña, combustible)
- Ahorra tiempo
- Da status
- Provee a los comunarios de una mejor calidad de vida

**Tabla 1: Resultados de la encuesta sobre la aceptación de
Voy a seguir utilizando SODIS**

País	sí		probablemente	
	posiblemente	no	no	definitivamente
Colombia	90	8	0	2
Bolivia	93	0	0	7
Burkina Faso	70	30	0	0
Togo	93	0	0	7
Indonesia	90	5	03	2
Tailandia	97	0	0	3
China	55	45	0	0
Promedio	84	12.6	0.4	3

SODIS

Razones dadas por aquellos que no continuarán utilizando SODIS

- No tienen confianza en los resultados, en que las bacterias pueden ser destruidas solo por la exposición al sol
- Demasiado largo, no tiene suficiente paciencia
- El agua sabe y huele a plástico (especialmente cuando se usaron bolsas plásticas)
- Falta de materiales.

REFERENCIAS

Aristanti, Ch., Wegelin, M. (1998). Solar Water Disinfection. Water Treatment With Solar Energy.. Internal Report. [R14]
 Environmental Concern (EC) Khon Kaen (1997). SODIS Demonstration Projects. Khon Kaen, Thailand. Final evaluation. [FTha3]

RESUMEN

SODIS es una tecnología de bajo costo. El costo del capital anual requerido es de aproximadamente 2 a 5 US\$ por familia. Los costos de operación son prácticamente cero. Los beneficios esperados son la reducción de gastos en energía y en servicios médicos.

INFORMACIÓN GENERAL

Disposición a pagar

Los factores que influyen en la disposición a pagar son bastante complejos y múltiples. Sin embargo la disposición a pagar por un servicio o una comodidad es esencialmente determinada por la demanda. La capacidad de pago es dependiente del nivel de ingresos y del costo del servicio o de la comodidad ofrecida. El tener acceso a agua de buena calidad, especialmente en términos de calidad bacteriológica, a menudo no es percibido como una necesidad, particularmente cuando la gente entiende que bajo sus condiciones de salud "normales" , el tener índices altos de diarrea al año es normal. Por lo tanto la predisposición a pagar para mejorar la calidad del agua es en general baja.

Consideraciones económicas

Los costos están divididos en costos de inversión (costos de las botellas) y costos de operación y mantenimiento. Estos últimos son despreciables, ya que la energía solar no tiene costo. El costo de las botellas de PET varía de un país al otro pero generalmente es menor a 0.5 US\$ por botella:

China	0.14 US\$
Tailandia	0.3 US\$
Colombia	0.4-0.6 US\$
Indonesia	0.07 US\$ (Rp. 500)

El costo anual para una familia de 5 personas estará alrededor de 3 US\$ solamente (2 botellas por persona al precio de 0.3 US\$ por persona). El costo total de las botellas deberá ser cubierto por el usuario de SODIS para alcanzar de este modo una sostenibilidad económica real.

Costos del proyecto

SODIS debe ser introducido y diseminado por las instituciones locales (gubernamentales, ONGs). Estos costos no pueden ser pagados por los usuarios pero sí por fondos públicos (donaciones, servicios gubernamentales).

Beneficios

Los beneficios asociados a la salud, son difíciles de ser cuantificados. A través del mejoramiento de la calidad de la salud se tendrá mayor productividad y además se reducirán los costos asociados a tratamientos médicos.

Un otro beneficio es la reducción de los costos de energía.

En Melikan (Indonesia) por ejemplo, cerca del 50% del consumo de leña es utilizado para la desinfección del agua (hacer hervir). En promedio cada familia gasta más de 600 Rp. por día para tener la cantidad de leña necesaria, mientras que el costo para una botella SODIS (que puede ser usada por un periodo de tiempo largo) es de solamente 500 Rp. Pese a que el agua es comprada de un pozo que pertenece al gobierno o a una compañía privada, aun así el agua necesita ser hervida para ser utilizada para consumo.

REFERENCIAS

Yayasan Dian Desa (1997). Solar Disinfection System - Field Study. Final Report. [FInd3]
SODIS News No. 2, August 1997. [R12].

RESUMEN

SANDEC desarrolló diferentes prototipos de materiales, los cuales han sido probados en los proyectos demostrativos de SODIS. Las bolsas plásticas SODIS fueron utilizadas para atraer a la gente interesada en una nueva manera de tratar el agua. Los sensores de temperatura han sido distribuidos con el fin de poder medir si la temperatura recomendada de 50 °C en el agua fue alcanzada o no.

INFORMACIÓN GENERAL



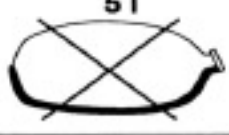
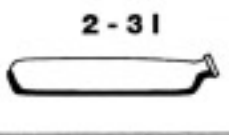


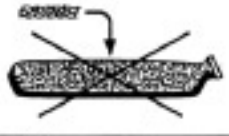
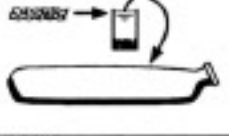

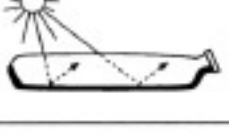


Uso de las bolsas SODIS

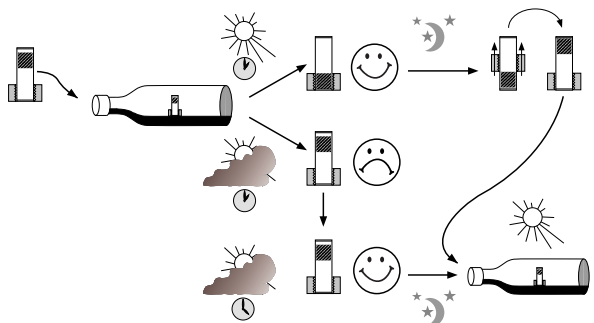
- Llenar las bolsas hasta la mitad con agua cruda
- Eliminar el aire contenido en las bolsas y cerrarlas
- Colocar las bolsas en la mañana en un lugar que reciba luz directa del sol durante todo el día
- Colocar las botellas horizontalmente sobre un soporte rígido ennegrecido, preferiblemente sobre un techo o base de calamina, o sobre un techo de teja
- Recoger las bolsas al final de la tarde y guardarlas en un lugar seguro para su enfriamiento
- Consumir el agua tratada directamente de la bolsa utilizando un vaso limpio para tomar; se puede también guardar el agua durante la noche para que se enfríe más

Uso de los sensores de temperatura

Los sensores de temperatura SODIS constituyen una ayuda para los usuarios. No tienen influencia en el proceso SODIS, pero son un indicador de la eficiencia esperada del proceso de desinfección. Si la temperatura del agua en las bolsas alcanza la temperatura de 50°C, la parafina del sensor se derrite y cae hasta el fondo del sensor. A esta temperatura, SODIS necesita solamente una hora para inactivar a los patógenos. Al día siguiente, los sensores de temperatura pueden ser reutilizados simplemente moviendo la tuerca al lado opuesto de la parafina y colocando de nuevo el sensor de temperatura en el interior de la bolsa o botella (ver figura abajo).

Si el agua no alcanza la temperatura de 50 °C, la parafina no funde. En este caso, la bolsa o botella SODIS deber ser expuesta al sol durante al menos 5 horas para permitir la inactivación de los patógenos. En días muy nublados y/o con temperaturas ambientes muy bajas, se debe considerar la necesidad de exponer los recipientes durante dos días consecutivos (ver también Nota Técnica 11, Influencia de la nubosidad).

	
5 l 	2 - 3 l 
	
	
	
	



Uso de los sensores de temperatura. Si la parafina se funde, se debe cambiar la posición de la tuerca al otro extremo, de tal manera que el sensor es listo para un nuevo uso.

REFERENCIAS