

## Uso de la radiación solar (UV-A y temperatura) en la inactivación del *Vibrio cholerae* en agua para consumo humano. Factores que condicionan la eficiencia del proceso

Yezid Solarte<sup>1</sup>, Martha Lucía Salas<sup>1</sup>, Bernhard Sommer<sup>2</sup>, Carlos Dierolf<sup>1</sup>, Martin Wegelin<sup>2</sup>

### RESUMEN

Se inoculó *Vibrio cholerae* en botellas de vidrio, en botellas de plástico y en bolsas plásticas que contenían agua; se expusieron al sol durante 6 horas y se midió la temperatura y la radiación UV-A. Al alcanzar 30°, 35°, 40° y 45° C se tomaron muestras para determinar el nivel de los vibrios y de los coliformes termotolerantes. Se determinaron los impactos de temperatura, turbiedad, recipiente y concentración de los vibrios. Esta bacteria se logró inactivar al alcanzar gradualmente 45° C y 6 horas de exposición al sol; con temperatura constante de 30° C se necesitaron 100 Wh/m<sup>2</sup>; y con 50° C sólo 10 Wh/m<sup>2</sup>. La turbiedad es un factor que interfiere con el proceso de SODIS; con 40 UNT se necesitaron 105 Wh/m<sup>2</sup>, con 23 UNT, 91 Wh/m<sup>2</sup> y con 5 UNT, 36 Wh/m<sup>2</sup> de UV-A para lograr 100% de mortalidad. No se encontraron diferencias con el tipo de recipiente usado, siempre se logró 100% de inactivación; tampoco se observaron diferencias en la inactivación con diferentes concentraciones del vibrio. Se lograron altas correlaciones entre la inactivación de coliformes termotolerantes y vibrios (0.86 y 0.99).

Palabras claves: *Vibrio cholerae*. Coliformes termotolerantes. Agua potable. Desinfección solar. Radiación solar. Luz ultravioleta.

El cólera ha tomado importancia en América, pues se estableció desde 1991 y al final del mismo año se extendió por 16 países<sup>1</sup>. En Colombia, ha causado varias epidemias con pérdidas humanas y económicas; el grupo humano más afectado está entre 15-44 años<sup>2</sup>.

El cólera, enfermedad que causa diarreas muy intensas y se considera como una de las infecciones intestinales más severas<sup>1,3</sup>, es producida por el *Vibrio cholerae* que presenta dos biotipos: El clásico y El Tor. En Colombia se encontró que 99.1% de los aislados corresponden al subtipo Inaba y el restante al subtipo Ogawa<sup>2</sup>. El biotipo El Tor es mucho más resistente a las condiciones ambientales y sobrevive más tiempo en el agua. Se ha visto que estas bacterias pueden sobrevivir en el agua entre 2 y 20 días, a temperaturas entre 20° y 30° C,

aunque esto depende de la presencia de otros microorganismos y de la composición química del agua.

Casi todas las bacterias son sensibles a la aplicación combinada de radiación y calor debido a los efectos sinérgicos que ofrecen ambas medidas<sup>4</sup>. Por tanto, una aplicación combinada de estos dos procesos en el tratamiento del agua, permite una alternativa nueva para desinfectar el agua, sobre todo en zonas remotas de difícil acceso<sup>4,5</sup>.

La desinfección solar (SODIS) se basa en el uso de botellas de dos litros o bolsas plásticas de 3 litros que se llenan con agua y se exponen durante 6 horas a la radiación directa del sol. Con este tiempo de exposición se lograron reducciones entre 92% y 99% de coliformes termotolerantes<sup>6,7</sup> que son indicadores de contaminación fecal. Por tanto, y si se considera

el nivel de bacterias patógenas que es mucho menor, se podría lograr una reducción hasta niveles insignificantes para la salud humana.

En la estación de campo del Instituto de Investigación y Desarrollo de Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA), se han hecho pruebas de laboratorio y de campo, con los coliformes termotolerantes como indicadores de eficiencia en la SODIS, con lo que se determinaron la tasa de mortalidad, los niveles de radiación solar necesarios para inactivar esos gérmenes y la temperatura crítica que puede causar la mayor mortalidad de bacterias<sup>7-9</sup>.

Con los resultados obtenidos, se decidió investigar algunos factores que interfieren en la inactivación del *V. cholerae* y determinar el uso potencial de la SODIS en el control del cólera, pues este tipo de tecnología es universalmente disponible, de costo y sostenimiento bajos, y se emplea en cualquier sitio, aunque presenta algunas limitaciones debidas a las condi-

1. Instituto de Investigación y Desarrollo de Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA). Universidad del Valle, A.A. 25157. e-mail yezidart@cinara.univalle.edu.co
2. Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG), CH-8600, Dübendorf, Switzerland.

ciones atmosféricas, la turbiedad del agua, el color, el espesor de las paredes y la forma del recipiente<sup>10</sup>.

En este artículo se presentan los resultados, bajo condiciones de laboratorio y se discute el uso potencial que podría tener la SODIS en la inactivación del *V. cholerae*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos de este documento, hacen parte de un programa de investigación (SODIS) que se realiza simultáneamente en varios países del mundo y es coordinado por el Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG/SANDEC) y donde CINARA participa en la evaluación tanto en el laboratorio como en el campo. La parte experimental se realizó en la Estación de Investigación de CINARA, durante el período de agosto 1995 a abril 1996.

**Medidas físicas.** La turbiedad del agua se midió con el método nefelométrico mediante un turbidímetro Hach 2100A, cuyo valor se da en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Los sólidos suspendidos se midieron con el método gravimétrico (mg/l) y filtros de fibra de vidrio con un tamaño de poro nominal de 1.2  $\mu\text{m}$ <sup>11</sup>. La intensidad de radiación UV-A (Watt.hora/m<sup>2</sup>) se midió cada 10 minutos con un sensor radiométrico tipo Macam SD 104A-Cos, con una respuesta espectral de 320-400 nm (luz ultravioleta A, UV-A), este sensor se conectó a un *data logger* y la temperatura se midió con una *termocouple* tipo J.

**Pruebas microbiológicas.** Se utilizó una cepa del biotipo El Tor de *V. cholerae* aislada en el Departamento de Microbiología de la Universidad del Valle. Esta cepa se mantuvo en caldo nutritivo a 35.5° C durante 24 horas y de este medio se inoculó 1 ml

en cada botella, antes de la exposición a la radiación solar.

Antes y después de la exposición solar se inocularon 5 tubos, para cada concentración de muestra: 0.1, 1.0 y 10 ml que contenían caldo de peptona alcalina, para determinar el número más probable (NMP). Estos tubos se incubaron durante 8 horas a 35.5° C y de los tubos con crecimiento bacteriano, se tomó una muestra con un asa que se inoculó en cajas de Petri con agar TCBS; estas cajas se incubaron por 24 horas a 35.5° C. Algunas colonias típicas para *V. cholerae* de cada caja se identificaron con cinco pruebas bioquímicas estándar: TSI, LIA, úrea, motilidad e indol<sup>11,12</sup>.

Con los resultados de estas pruebas bioquímicas se determinó el número más probable (NMP). Las pruebas se realizaron con aguas de diferentes turbiedades, y en recipientes y condiciones ambientales distintas. Las exposiciones a la radiación solar se hicieron entre las 09:00 y las 17:00 h.

**Impacto de la temperatura.** Una botella de vidrio de 1.5 litros y una botella de 2 litros de plástico se pintaron totalmente de negro para evitar el paso de la luz solar y permitir al mismo tiempo mayor acumulación de la temperatura. A cada botella completamente llena de agua, se adicionó 1 ml de *V. cholerae* lo que arrojó un resultado de 11,000 NMP/100 ml. Cada 15 minutos se midió la temperatura del agua en los recipientes, cuando se alcanzó 35° C, 40° C, 45° C, la temperatura máxima (47° C) y al final de la prueba se tomaron muestras para sembrarlas en tubos con peptona alcalina.

También se determinó el impacto de dos temperaturas constantes (con exposición al sol) en la mortalidad de los vibrios; para esto se usaron tubos de cuarzo de 30 ml y un baño termostato calibrado a 30° ó 50° C.

**Influencia de la turbiedad.** Se realizaron tres pruebas con sus respectivas réplicas, con diferente calidad del agua (nivel de turbiedad y sólidos suspendidos) y en días distintos, lo que resultó en una condición experimental variable. Para las pruebas con agua cruda (40 UNT) y prefiltrada (23 UNT) se usaron cuatro botellas plásticas y cuatro botellas de vidrio, mientras que para agua filtrada (5 UNT) se utilizó sólo una botella de cada tipo para tomar la muestra respectiva. Todas las botellas se pintaron de negro en la parte inferior en un plano longitudinal. Las muestras para las dos primeras pruebas se tomaron al comienzo (22° C), al alcanzar el agua 45° C, al final de la prueba y al día siguiente; una vez que se alcanzó la temperatura deseada, se retiró una botella de cada tipo. Para la última prueba, las muestras se tomaron al comienzo, al alcanzar el agua 30° C, 40° C, 45° C, 50° C y al final del experimento.

**Influencia del tipo de recipiente.** La exposición a la radiación solar se realizó con botellas de vidrio (1.5 litros), plástico (2 litros) y bolsas plásticas (3 litros), con el procedimiento antes descrito.

**Influencia de la concentración de V. cholerae.** Se usaron cuatro botellas plásticas (2 litros), a las cuales se les agregó agua y diferentes concentraciones iniciales de *V. cholerae*: 2.5 x 10<sup>6</sup>, 2.5 x 10<sup>5</sup>, 2.5 x 10<sup>4</sup> y 2.5 x 10<sup>3</sup> NMP/100 ml (la concentración final en el volumen total estuvo entre 5 x 10<sup>4</sup> y 5 x 10<sup>7</sup> NMP). Las temperaturas se midieron cada 15 minutos y las muestras se tomaron al comienzo 22° C, a 30° C, 35° C, 40° C, 45° C y al final de la prueba.

## RESULTADOS

**Impacto de la temperatura.** La

concentración inicial que se alcanzó, al inocular con 1 ml del cultivo fue de 16,000 NMP/100 ml de **V. cholerae** (la concentración total en el volumen utilizado, es decir, cantidad de agua que consume una persona al día, fue de 320,000 NMP para botellas de vidrio y de 240,000 NMP para botellas de plástico).

Ambas pruebas mostraron un aumento ligeramente distinto de la temperatura entre los dos tipos de recipientes debido a los distintos volúmenes utilizados en las botellas, pero la inactivación de **V. cholerae** fue similar (Figura 1). La temperatura comenzó a aumentar lenta y constantemente hasta alcanzar más de 50° C primero en las botellas de vidrio (225 minutos) y luego en las botellas plásticas (240 minutos). La reducción de las bacterias fue drástica cuando se alcanzó 40° C (3 log) en el agua, después de los 45° C el nivel de bacterias fue <2 NMP/100 ml (valor mínimo que se puede dar cuando todos los tubos son negativos y según el número de tubos utilizados en la prueba) en ambas botellas.

En la Figura 2 se evidencia de nuevo la importancia de la temperatura en la reducción del **V. cholerae**. Cuando se tiene una temperatura constante de 30° C, se necesitan cerca de 100 Wh/m<sup>2</sup> para alcanzar la inactivación total de los vibrios, en una segunda prueba, con 140 Wh/m<sup>2</sup> de UV-A acumulada, al final del experimento se demostraron 70 NMP/100 ml de vibrios (99.5% de reducción). Al emplear 50° C, se necesitaron menos de 10 Wh/m<sup>2</sup> para obtener 100% de inactivación.

**Influencia de la turbiedad.** Como cada prueba se realizó en días distintos, se obtuvieron diferentes turbiedades, radiación solar, máxima temperatura alcanzada y diferente inóculo inicial de **V. cholerae**. La calidad del agua (turbiedad y sólidos suspendidos) la radiación total de UV-A y la concentración inicial de **V. cholerae** se presentan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1**  
Condiciones Experimentales de las Pruebas Realizadas con Botellas y Tres Tipos de Agua.

|                                    | Tipo de agua |             |          |
|------------------------------------|--------------|-------------|----------|
|                                    | Cruda        | Prefiltrada | Filtrada |
| Turbiedad (UNT)                    | 40           | 23          | 5        |
| Sólidos suspendidos (mg/l)         | 75           | 24          | <0.1     |
| Radiación UV-A (W/m <sup>2</sup> ) | 105          | 91          | 96       |
| Nivel de Vibrio (NMP)              | 1,500        | 11,000      | 11,000   |

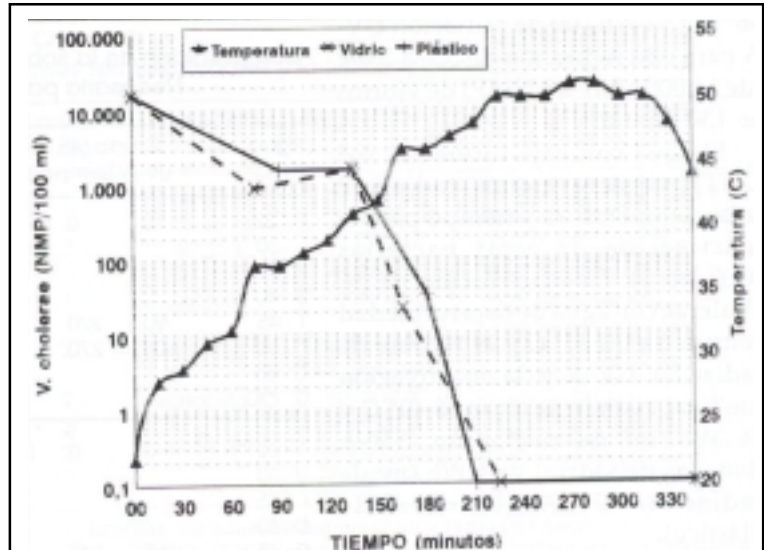


Figura 1. Efecto de la temperatura en la mortalidad del **Vibrio cholerae**

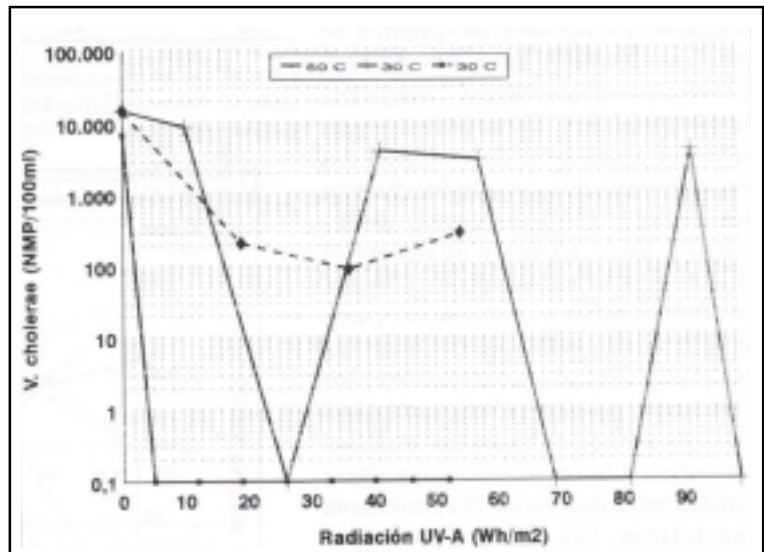


Figura 2. Mortalidad del **Vibrio cholerae** con dos temperaturas constantes

La temperatura en el agua cruda (40 UNT) y prefiltrada (23 UNT) no alcanzó a llegar a 50° C, lo que permitió que al terminar el experimento se presentara una concentración residual de **V. cholerae** (4 NMP/100 ml en botellas plásticas y de vidrio), con agua filtrada (5 UNT) que alcanzó los 50° C; no se encontraron vibrios en ninguna de las botellas inoculadas después de los 35° C.

Las pruebas con agua cruda y prefiltrada fueron positivas para **V. cholerae** a 45° C. Se notaron diferencias apreciables en la radiación y el tiempo necesario para inactivar los vibrios en estos dos tipos de agua. En agua cruda tanto en las botellas de plástico como de vidrio, se necesitaron 105 Wh/m<sup>2</sup> de radiación UV-A

para disminuir 2.6-2.9 log (de 1,500 NMP a 4 NMP) de vibrios en 270 minutos y con agua prefiltrada se necesitaron 46° C y 52 Wh/m<sup>2</sup> de radiación UV-A para una reducción de 3.2-3.7 log (de 11,000 NMP a 4 NMP) de vibrios en 130 minutos.

El agua con baja turbiedad (<5 UNT) requiere menos radiación solar, temperatura y tiempo para la inactivación de estas bacterias (Cuadro 2). La inactivación de **V. cholerae** con agua de baja turbiedad comenzó a los 35° C y 39 Wh/m<sup>2</sup> de radiación UV-A y la inactivación fue total cuando se alcanzó 40° C y 36 Wh/m<sup>2</sup> de radiación UV-A (botellas de vidrio) y 44 Wh/m<sup>2</sup> de radiación UV-A (botellas de plástico).

**Influencia del tipo de recipiente.** Al comparar la mortalidad del **V. cholerae** en los tres recipientes se puede concluir que las bolsas plásticas alcanzaron mayores temperaturas y dan mayor seguridad al proceso SODIS; al final del experimento, los resultados fueron los mismos, 100% reducción de los vibrios. En la Figura 3 se observan diferencias entre la dosis de UV-A y la temperatura necesaria para inactivar los vibrios en los tres recipientes evaluados; estas diferencias se deben al nivel de turbiedad en las muestras de agua. Las botellas de vidrio y plástico contenían agua con turbiedades de 9 UNT, mientras las bolsas 124 UNT (más alta concentración de vibrios) y 14 UNT (más baja concentración de vibrios) (Figura 3).

**Influencia de la concentración de V. cholerae.** Cuando se alcanzó una temperatura de 30° C (18 Wh/m<sup>2</sup> de radiación UV-A), hubo una leve reducción en los recipientes con concentraciones más bajas (2.5 x 10<sup>3</sup> NMP/100 ml) alcanzando a 1,600 NMP/100 ml, mientras que en las concentraciones más altas no se ob-

**Cuadro 2**  
**Comparación de la Sobrevivencia de V. cholerae, Tiempo y Radiación UV-A Necesaria para la Inactivación, con Tres Tipos de Agua.**

| Agua T. ° C | Cruda (45 UNT)<br>UV-A Tiempo V. ch |     |       | Prefiltrada (23 UNT)<br>UV-A Tiempo V. ch |     |        | Filtrada (<5 UNT)<br>UV-A Tiempo V. ch |     |        |
|-------------|-------------------------------------|-----|-------|---|-----|--------|--|-----|--------|
| P 22        | 0                                   | 0   | 1,500 | 0   | 0   | 11,000 | 0                                      | 0   | 11,00  |
| L 30        |                                     |     |       |   |     |        | 13                                     | 55  | 11,00  |
| Á 35        |                                     |     |       |   |     |        | 27                                     | 100 | 28     |
| S 40        |                                     |     |       |   |     |        | 44                                     | 150 | <2     |
| T 45        | 90                                  | 220 | 75    | 52  | 130 | 2      | 68                                     | 210 | <2     |
| I 50        | 105                                 | 270 | <2    |   |     |        | 92                                     | 210 | <2     |
| C fin       |                                     |     |       | 91  | 310 | 4      | 96                                     | 310 | <2     |
| 0 OD        |                                     |     | <2    |   |     | 4      |  |     |        |
| V 22        | 0                                   | 0   | 1,500 | 0   | 0   | 11,000 | 0                                      | 0   | 11,000 |
| I 30        |                                     |     |       |   |     |        | 13                                     | 55  | 11,000 |
| D 35        |                                     |     |       |   |     |        | 23                                     | 90  | 150    |
| R 40        |                                     |     |       |   |     |        | 36                                     | 130 | <2     |
| I 45        | 58                                  | 140 | 120   | 46  | 110 | 7      | 54                                     | 175 | <2     |
| O 50        |                                     |     |       |   |     |        | 88                                     | 270 | <2     |
| fin         | 105                                 | 270 | 4     | 91  | 310 | <2     | 96                                     | 310 | <2     |
| OD          |                                     |     | <2    |   |     | <2     |  |     |        |

OD: cálculo de la recuperación 24 horas después de la exposición. V ch: **Vibrio cholerae**.  
**Nota.** Como se utilizaron 5 tubos por dilución, cuando todos los tubos son negativos, el valor mínimo estimado es <2 NMP/100 ml.

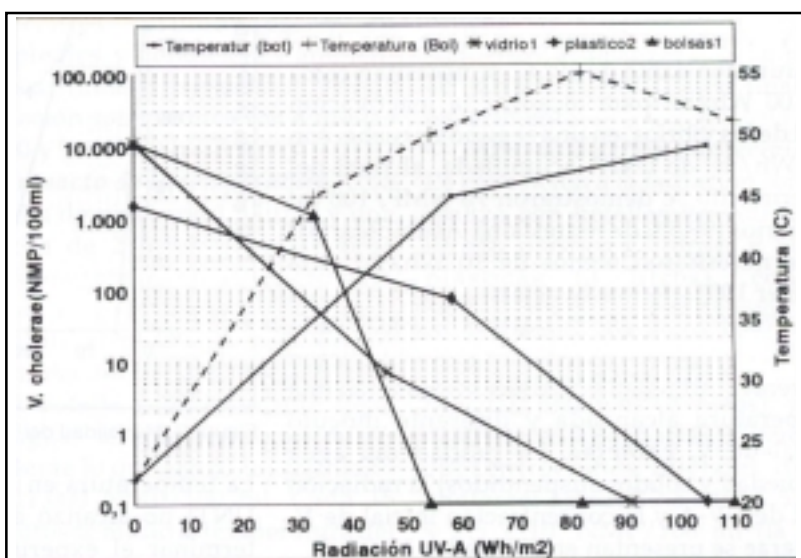


Figura 3. Influencia del tipo de recipiente en la mortalidad del **Vibrio cholerae**.

tuvieron reducciones apreciables (2.5 x 10<sup>6</sup>, 2.5 x 10<sup>5</sup>, 2.5 x 10<sup>4</sup> NMP/100 ml).

A 35° C y 28 Wh/m<sup>2</sup> de radiación UV-A (95 minutos) sólo hubo reducción en las dos concentraciones más bajas, pues llegaron a 16,000 y 350 NMP/100 ml. Cuando la temperatura

alcanzó 40° C y una radiación UV-A de 36 W/m<sup>2</sup> (125 minutos) la concentración de vibrios fue similar para las tres concentraciones llegando a 350 NMP/100 ml.

Con 48° C y 84 W/m<sup>2</sup> de radiación UV-A (305 minutos) no se descubrieron tubos positivos para **V. cholerae**

**Cuadro 3**  
**Correlaciones entre la Inactivación de los Coliformes Termotolerantes y la Inactivación del *Vibrio cholerae*.**

| Prueba comparación  | Tipo de recipiente pruebas | Número de prueba | Condiciones % | Reducción                | UV-A             | Tiempo             | CC           |
|---|----------------------------|------------------|---------------|--------------------------|------------------|--------------------|--------------|
| Coliformes termotolerantes/<br>Coliformes termotolerantes | tubos<br>cuarzo            | 2                | 30° C K       | 85.7/89.1<br>99.9/99.0   | 74/74<br>99/99   | 225/225<br>450/450 | 0.95<br>0.99 |
| Coliformes termotolerantes/<br><b>V. cholerae</b>         | tubos<br>cuarzo            | 2                | 30° C K       | 97.5/80.0<br>100/99.4    | 91/91<br>122/122 | 263/263<br>45/23   | 0.86<br>0.98 |
| Coliformes termotolerantes/<br><b>V. cholerae</b>         | tubos<br>cuarzo            | 1                | 50° C K       | 100/100                  | 12/5             | 45/23              | 0.98         |
| Coliformes termotolerantes/<br><b>V. cholerae</b>         | botellas<br>plástico       | 2                | variables     | 79.4/99.98<br>97.2/99.86 | 91/52<br>105/105 | 310/130<br>270/270 | 0.82<br>0.99 |
| Coliformes termotolerantes/<br><b>V. cholerae</b>         | botellas<br>vidrio         | 2                | variables     | 80.0/99.9<br>99.6/99.7   | 91/46<br>105/105 | 310/110<br>270/270 | 0.92<br>0.90 |
| Coliformes termotolerantes/<br><b>V. cholerae</b>         | bolsas<br>plásticas        | 2<br>2           | variable      | 99.99/99.9<br>99.99/99.3 | 54/54<br>78/78   | 140/140<br>250/250 | 0.99<br>0.99 |

K: Temperatura constante y radiación solar variable. Variables: Condiciones variables de temperatura y radiación solar.

UV-A: Radiación luz ultravioleta. A: Tiempo; tiempo de exposición para alcanzar la máxima inactivación. CC: Coeficiente de correlación.

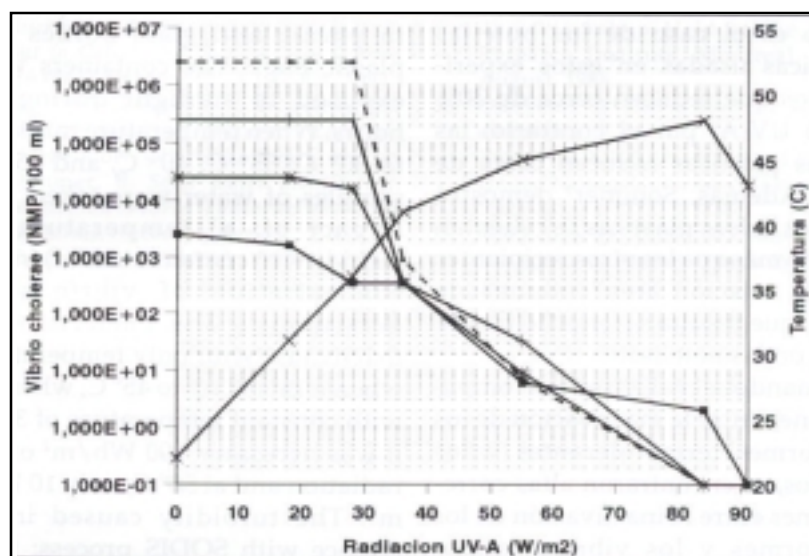


Figura 4. Efecto de la temperatura y la radiación UV-A en la mortalidad del *Vibrio cholerae*, usando diferentes concentraciones iniciales.

(<2 NMP/100 ml) en las diferentes concentraciones, con excepción de la más baja en la que se determinaron 2 NMP/100 ml. Al final de la prueba todas las botellas fueron negativas para los vibrios (345 minutos) (Figura 4).

**Correlación de inactivación entre coliformes termotolerantes y *V. cholerae*.** Se establecieron nueve correlaciones entre la inactivación de los coliformes termotolerantes y *V. cholerae*, con correlaciones entre

0.82 y 0.99 (Cuadro 3).

## DISCUSIÓN

Las diferentes pruebas demostraron que el *V. cholerae* es sensible a las condiciones ambientales; esto se deduce de los resultados. El impacto de sólo aumentar la temperatura causó reducciones drásticas de los vibrios (Figuras 1 y 2). Este mismo fenómeno ya lo observaron Ciochetti y Metcalf<sup>13</sup>. Por el contrario, con los

coliformes termotolerantes, la radiación es mucho más importante que la temperatura; estas bacterias resisten incrementos de la temperatura hasta casi 50° C sin causar mortalidades apreciables<sup>14</sup>.

Cuando se combinan la temperatura y la radiación solar, la reducción comienza a los 35° C (menor turbiedad) y 100 minutos y cuando se exponen los recipientes sólo a la temperatura, la inactivación se inició a los 40° C y 135 minutos. En una prueba similar realizada en Nigeria, se necesitaron cerca de cinco horas y aproximadamente 600 W/m<sup>2</sup> de radiación UV-A para la inactivación completa del *V. cholerae*<sup>13,15</sup>. MacKenzie *et al.*<sup>16</sup> sólo lograron una reducción de 99.9% (3 log) de los vibrios en seis horas de exposición al sol, pero esta exposición comenzó a la mitad del día y no se determinó el nivel de temperatura alcanzado y la radiación UV-A acumulada.

El aumento de la temperatura causa importantes cambios en algunos parámetros físicos y químicos del agua, eleva la tasa de reacciones químicas y bioquímicas, decrece la solubilidad de los gases y se aumenta la tasa metabólica de los microorga-

nismos<sup>17</sup>. Estos cambios podrían ser los causantes de la destrucción de la integridad celular, mientras que la radiación UV-A afecta la respiración, el transporte a través de la membrana, la duplicación del ácido nucleico y la síntesis de proteínas<sup>18</sup> y junto con el O<sub>2</sub> disuelto produce compuestos tóxicos<sup>19</sup>, por esta razón la temperatura y la radiación son sinérgicos.

La influencia de la turbiedad en la inactivación de *V. cholerae* fue similar a la encontrada en la inactivación de los coliformes termotolerantes<sup>8</sup>, pues con altos niveles de turbiedad en el agua se necesitaron más altas dosis de radiación UV-A y temperatura (más tiempo de exposición) para inactivar completamente los vibrios. Alward<sup>14</sup> y Odeyemi<sup>15</sup> demostraron que las bacterias se inactivan más rápidamente por la radiación solar en aguas con turbiedad baja, que en aguas con turbiedad alta.

La comparación de los resultados obtenidos con diferentes turbiedades indica, que con agua cruda (turbiedad alta) se necesitó casi el doble de la radiación que la necesaria con agua prefiltrada (turbiedad media) para causar una reducción pequeña en los niveles de los vibrios. Esto aunque cuando se realizó la prueba con agua cruda se alcanzaron los 50° C y se tuvo una baja concentración inicial de vibrios.

También se pudo observar que con agua prefiltrada se logró llegar más rápido a 45° C (110 minutos vs. 140 minutos). Esto sugiere que las turbiedades altas (y los sólidos suspendidos) reducen la eficiencia de la SODIS; por tanto, se recomienda reducir la turbiedad antes de exponer el agua a la radiación solar<sup>20,21</sup>.

Generalmente, a menor densidad de bacterias la tasa de inactivación es mayor. Odeyemi<sup>22</sup> encontró altas reducciones de bacterias con bajas den-

sidades. El mismo autor propone que esto se debe a la fácil penetración e inactivación que causan los rayos solares a las bacterias cuando están dispersas y en forma individual en el agua, lo opuesto se encuentra en aguas con altas densidades, pues las células se pueden encontrar aglomeradas, protegiéndose muchas bacterias de la radiación UV-A. Sin embargo, en la presente investigación con *V. cholerae* la inactivación parece que no es influida por la densidad de bacterias (Figura 1), pues si la UV-A no llega hasta las bacterias, la temperatura sería la encargada de inactivarlas.

Otro factor importante para la SODIS adecuada es el tipo de recipiente<sup>7,9,10</sup>. Las paredes del recipiente sirven como filtro a la radiación UV-A: Si el recipiente causa reducciones altas es necesario emplear más tiempo de exposición, como es el caso de las botellas plásticas usadas en estos experimentos que reducen cerca de 30% de la UV-A; por el contrario, las bolsas plásticas reducen cerca de 10%. Además, Sommer<sup>9</sup> demostró que las bolsas plásticas se calientan mucho más que los otros recipientes por la relación área/columna de agua, que resulta ser mucho mayor que con las botellas.

Cuando se realizaron las comparaciones entre la inactivación de los coliformes termotolerantes y los vibrios, se encontraron altas correlaciones entre la inactivación de los coliformes y los vibrios termotolerantes (entre 0.86 y 0.99). Las correlaciones más bajas se presentaron con botellas de plástico y las más altas con bolsas plásticas. La diferencia entre estos recipientes pudo ser el nivel de temperaturas que siempre fue mayor en el agua de las bolsas plásticas.

Esto permite evidenciar que el impacto de SODIS sobre los vibrios

es mucho más alto que para los coliformes termotolerantes<sup>9</sup>. Con estos resultados se deduce la utilidad de los coliformes termotolerantes como indicadores de la mortalidad de los vibrios. Estos resultados son importantes debido a los costos de los métodos que se usan para el aislamiento y la identificación del *V. cholerae*, con respecto a los que se emplean para los coliformes termotolerantes.

Las pruebas preliminares demuestran que existe un potencial para SODIS en el control de este tipo de infección. Estas consideraciones se basan también en los resultados obtenidos por otros investigadores en Canadá<sup>14</sup>, Suiza<sup>5</sup> y el Líbano<sup>4</sup> con la inactivación de los coliformes termotolerantes.

## SUMMARY

*Vibrio cholerae* was inoculated in plastic and glass bottles and plastic bags. The containers were exposed to sunlight during six hours. When temperature raised up to 30° C, 35° C, 40° C, and 45° C, samples of water were taken. The impact of: a) temperature, b) turbidity, c) container and d) initial concentration of vibrio were determined. The bacteria were inactivated with only temperature, when it raised up to 45° C, whereas, with constant temperature of 30° C it was necessary 100 Wh/m<sup>2</sup> of the radiation and at 50° C, only 10 Wh/m<sup>2</sup>. The turbidity caused interference with SODIS process: total inactivation was achieved with different levels: 105 Wh/m<sup>2</sup>(40 TNU), 91 Wh/m<sup>2</sup> (23 TNU) and 36 Wh/m<sup>2</sup> (5 TNU). The container type and initial different concentration of vibrio did not have influence on the SODIS process. Full correlation among thermotolerant coliforms and *V. cholerae* inacti-

vation was always high (0.86 and 0.99).

## REFERENCIAS

1. Ministerio de Salud. DIGESA. Recopilación y sistematización de las condiciones ambientales y actividades desarrolladas en el control de la epidemia del cólera. Ministerio de Salud del Perú. Tomo V, 1994; 297 pp.
2. Agudelo CCA. Cólera en Colombia. *Ciencia y Tecnología* 1994; 12: 3-5.
3. DNP. Plan Nacional de Prevención. *Control y erradicación del cólera*. Documento DNP-2527. UDS-UDV, Minsalud. Bogotá, 1991; 27 pp.
4. Acra A, Jurdi M, Muallem H, Karahagopian Y, Raffoul Z. *Water disinfection by solar radiation. Assessment and application*. Technical Study 66e. Ottawa, Ont., IDRC, 1990; 75 pp.
5. Wegelin M, Canonica S, Mechsner K, Pesaro F, Metzler A. Solar water disinfection: Scope of the process and analysis of radiation experiments *Aqua* 1994; 43: 154-69.
6. Sabbadini F. *Evaluation of field tests carried out in Cali, Colombia*. Internal Report, EAWAG Duebendorf/CINARA, 1994.
7. Pfammatter R, Wegelin M. *Solar water disinfection: Evaluation of field tests carried out in Cali, Colombia*. Internal Report, EAWAG Duebendorf/CINARA, 1993.
8. Solarte Y, Dierolf C. *Sodis reactor test report*. Internal Report, EAWAG Duebendorf/CINARA. 1994.
9. Sommer, B. *Solar water disinfection: Impact on Vibrio cholerae and fecal coliforms*. Internal Report, EAWAG Duebendorf/CINARA. 1995.
10. Lawand TA. *Opening remarks*. In Solar water disinfection. Proceedings of a Workshop Held at the Brace Research Institute, Montreal, 15-17 August. 1988; 13-9 pp.
11. APHA-AWWA-WPCF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18th ed. 1992.
12. Sandoval AM. *Identificación y cuantificación del Vibrio cholerae*. Manual 8. Adiestramiento para la prevención y control de las enfermedades gastrointestinales en el sector agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. IMTA. 1991; 50 pp.
13. Ciochetti D, Metcalf R. Pasteurization of naturally contaminated water with solar energy. *Appl Env Microbiol* 1984; 47: 223-28.
14. Alward R. *Summary of activities of INRESA network on simple solar water disinfection system testing and evaluation*. In Solar water disinfection. Proceedings of a Workshop Held at the Brace Research Institute, Montreal, 15-17 August. 1988.
15. Odeyemi O. *An assessment of solar disinfection of drinking water in Nigeria*. Report of MRP No ICA 86/120. The United Nations University, Tokyo. 1987. Pp. 1-34.
16. MacKenzie TD, Ellison RT, Mostow SR. Sunlight and cholera. *Lancet* 1992; 340: 367.
17. Tchobanoglous G, Schroeder ED. *Water quality management. Water quality. Characteristics, modeling and modifications*. University of California at Davis. Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company. 1985; 768 pp.
18. Peak JG, Peak MG, Tuveson RW. Ultraviolet action spectrum for aerobic and anaerobic inactivation of *Escherichia coli* strains specially sensitive and resistant to near ultraviolet radiations. *Photochemis Photobiol* 1983; 38: 541-43.
19. Reed RH. Solar inactivation of faecal bacteria in water: The critical role of oxygen. *Appl Microbiol* 1997; 24: 276-80.
20. Odeyemi O. *Guidelines for the study of solar disinfection of drinking waters in developing areas of the world*. Publication N° u/86/24, INRESA Secretariat, Brace Research Institute, Ste. Anne de Bellevue, Quebec, 1986.
21. Odeyemi O. *Use of solar radiation for water disinfection*. Publication of INRESA Secretariat, Brace Research Institute, Ste. Anne de Bellevue, Quebec, 1986.
22. Odeyemi O. *Prospect and limitation of using solar energy for water disinfection*. In Solar water disinfection. Proceedings of a Workshop Held at the Brace Research Institute, Montreal, 15-17 August, 1988.