

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

**USO DE LA RADIACION SOLAR PARA LA DESINFECCION DE
AGUA CONTAMINADA CON EL AGENTE CAUSAL DEL COLERA**

Informe de tesis

Presentado por:

NANCY ELIZABETH QUAN SERRANO

Para optar al título de:

QUIMICO BIOLOGO

Guatemala, octubre de 1994

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
06
T(1651)

JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

DECANO:	Lic. Jorge Rodolfo Perez Folgar
SECRETARIA:	Licda. Eleonora Gaitán
VOCAL I:	Lic. Miguel Angel Herrera
VOCAL II:	Lic. Gerardo Arroyo Catalán
VOCAL III:	Lic. Miguel Orlando Garza Sagastume
VOCAL IV:	Br. Jorge Luis Galindo Arévalo
VOCAL V:	Br. Edgar Antonio García Del Pozo

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

Creador supremo y Luz en mi vida

A LA VIRGEN MARIA

Ejemplo de fe incondicional

A MIS PADRES

Héctor Quan Florian
María Elena Serrano de Quan,
por su amor y guía

A MIS HERMANOS

Héctor Ricardo Quan Serrano
Eddie Quan Serrano,
por su apoyo y cariño

A MI ABUELITA

Sara Serrano Cano
por su amor y compañía

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS,

en especial a mis dos grupos ECO

TESIS QUE DEDICO

A GUATEMALA

por un mañana mejor.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

A LA FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA por mi formación profesional

A la Licenciada Floridalma Cano Granados, por su asesoría en este trabajo de tesis

Al Ing. Otto De León, por su valiosa colaboración en este estudio

Al Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, INCAP

Al personal profesional y técnico del Laboratorio de Microbiología del INCAP, por toda la colaboración en el desarrollo del presente trabajo.

A la Dirección General de Fuentes Nuevas y Renovables de Energía. Ministerio de Energía y Minas

A Dora Inés Mazariegos Cordero, con especial cariño.

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron con la realización de este estudio.

INDICE

Página No.

1.	RESUMEN	1
2.	INTRODUCCION	3
3.	ANTECEDENTES	5
	3.1 COLERA	5
	3.1.1 EPIDEMIOLOGIA	5
	3.1.2 AGENTE CAUSAL	7
	3.1.2.1 EFECTO DE AGENTES FISICOS Y QUIMICOS SOBRE <u>V. CHOLERAE</u>	8
	3.1.3 TRANSMISION	9
	3.1.3.1 TRANSMISION POR AGUA	9
	3.2 DESINFECCION DE AGUA PROVENIENTE DE FUENTES NATURALES ..	10
	3.3 DESINFECCION DE AGUA A NIVEL DOMESTICO	10
	3.4 LA LUZ SOLAR COMO FUENTE DE RADIACION Y ENERGIA	11
	3.4.1 RECURSO SOLAR EN GUATEMALA	12
	3.5 USO DE LA RADIACION Y ENERGIA SOLAR EN LA DESINFECCION DE AGUA	12
	3.6 FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	14
	3.7 SISTEMAS DE CAPTACION DE ENERGIA SOLAR Y SU APLICACION ..	15
	3.7.1 FUNDAMENTOS DE LA CAJA ABSORBEDORA	16
4.	JUSTIFICACIONES	18
5.	OBJETIVOS	19
6.	HIPOTESIS	20
7.	MATERIALES Y METODOS	21
	7.1 UNIVERSO DE TRABAJO	21
	7.2 RECURSOS:	21
	7.3 PROCEDIMIENTO	24
8.	RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS	31
	8.1 SOBREVIVENCIA DE <u>Vibrio cholerae</u> O1 EN AGUA	31
	8.2 SOBREVIVENCIA DE COLIFORMES EN AGUA	34
9.	CONCLUSIONES	36
10.	RECOMENDACIONES	39
11.	REFERENCIAS	40
12.	ANEXOS	47

1. RESUMEN

El cólera continua afectando a países de la región latinoamericana, siendo la principal fuente de transmisión el agua contaminada con heces de personas enfermas o portadores asintomáticos. En Guatemala existen poblaciones que no cuentan con una infraestructura sanitaria adecuada y carecen del servicio de agua potable, por lo que se abastecen de fuentes no seguras como pozos superficiales, arroyos, ríos, lagos y lagunas. Para estas poblaciones se ha recomendado en la prevención del cólera, hervir el agua o la adición de cloro; este estudio evalúa el uso de la radiación solar, como otra alternativa para desinfección de agua.

Tomando en cuenta que Guatemala se localiza en una región tropical donde recibe radiación solar constante durante el año, y que el agente causal del cólera V. cholerae O1 en agua puede ser sensible a la radiación solar y a temperaturas alrededor de los 60°C, se evaluaron dos tratamientos de desinfección de agua por exposición directa a la radiación solar y utilizando una caja absorbidora de energía solar la que alcanza una temperatura de 60°C a 70°C. Para ello, se utilizó agua proveniente de un lago con 4 unidades nefelométricas de turbidez, y contaminación fecal presente. Esta agua fue inoculada experimentalmente con dosis infectivas de Vibrio cholerae O1, biotipo El Tor obteniéndose una concentración final de 10^5 - 10^6 vibrios por ml de agua.

Después de la aplicación de los dos tratamientos mencionados se investigó en el agua la sobrevivencia de Vibrio cholerae O1, coliformes y Escherichia coli. Si los resultados eran negativos a estos agentes, eran buscados de nuevo a las 24 horas para evaluar su posible recuperación. De la exposición directa al sol por 4h (9:00 am-1 pm) del agua contenida en un frasco de vidrio (640 ml), baño plástico (6,500 ml), y doble litro "coca-cola" (2,040 ml); el frasco de vidrio presentó una mayor reducción de V. cholerae O1, coliformes y E. coli, seguido del doble litro y el baño plástico. También, en el frasco de vidrio la mitad de las muestras (50%) fueron negativas a V. cholerae O1;

pero al día siguiente éstas presentaron un aislamiento positivo. Esto indica que el daño por la radiación solar es subletal siendo la bacteria capaz de recuperarse.

En la caja absorbidora de calor que concentra la energía solar, la temperatura del agua se elevó a 60C° a las cuatro horas y se mantuvo así por dos horas más. En estas condiciones, se evaluó agua contenida en 10 envases de vidrio ámbar "cerveza" colocados en el interior de la caja. El efecto de la temperatura alcanzada en el agua (similar a una pasteurización) provocó muerte celular a los microorganismos presentes; el 100% de las muestras analizadas fueron negativas a V. cholerae O1, coliformes y E. coli , después del tratamiento y al día siguiente.

En base a los resultados obtenidos podemos concluir que la desinfección con la caja absorbidora de agua contenida en 10 envases de vidrio ámbar "cerveza" es efectiva y se logra una eliminación completa de Vibrio cholerae O1, coliformes y E.coli; por lo que podrían eliminarse otras bacterias enteropatógenos sensibles a los 60C°.

2. INTRODUCCION

En Guatemala existen muchos problemas en cuanto a infraestructura sanitaria, especialmente en el área rural. No todos gozan de servicio domiciliario de agua potable, unos se abastecen de chorros públicos, pozos y tanques de abastecimiento y otros de fuentes naturales. Además la falta de una adecuada deposición de excretas, falta de drenajes, y letrización, crean un ambiente de condiciones desfavorables para la salud de una gran mayoría de la población.

El agua es fundamental para las actividades diarias en un hogar, pero a su vez, si ésta no es segura - entendiéndose como agua segura la que se puede consumir sin riesgo para la salud - se convierte en un importante vehículo de transmisión de agentes causantes de diarrea, a los que se ha venido a sumar el cólera; siendo Vibrio cholerae O1 toxigénico biotipo El Tor, el agente causal de la epidemia en Guatemala.

La transmisión del cólera es principalmente mediante agua contaminada con heces de personas enfermas o portadores asintomáticos, proveniente de fuentes como pozos superficiales, depósitos intradomiciliarios, tanques de abastecimiento, arroyos, ríos, lagos, y lagunas. La medida más eficaz de erradicación del cólera es fortalecer la infraestructura sanitaria, haciéndola más eficiente y procurando que estas mejoras cubran todo el país. Sin embargo es una medida a largo plazo que conlleva fuertes inversiones y grandes esfuerzos socio-políticos.

Con el apareamiento del cólera se han dado recomendaciones para desinfectar el agua a nivel doméstico, una de ellas es la adición de tres gotas de cloro comercial (concentración \approx 5%) por un galón de agua, y la otra es hervir el agua. La aceptación y aplicación de éstos métodos tienen sus propios inconvenientes. El uso del cloro necesita de un cuentagotas, y es efectivo para aguas claras; y el hervir el agua conlleva el consumo de leña como combustible. Ambos procedimientos le confieren al agua un cambio de sabor.

La energía solar es una fuente limpia, barata, y virtualmente inagotable de energía pero que a su vez es intermitente, variable y poco intensa. Tomando en cuenta que Guatemala se localiza en una región tropical donde recibe radiación solar constante, con pocas variaciones durante el año, este estudio evaluó el uso de la radiación y energía solar en la eliminación de V. cholerae O1, coliformes y E. coli en agua. Se evaluaron dos tratamientos, uno por exposición directa del agua a la acción de la radiación solar, y el otro utilizando una caja que concentra en su interior la energía proveniente del sol, elevándose la temperatura para desinfectar pequeños volúmenes de agua. En ambos tratamientos se utilizó agua ligeramente turbia. (turbidez de 4 unidades nefelométricas), tomando en cuenta que las partículas suspendidas en el agua turbia pueden dispersar la radiación dificultando la muerte de los microorganismos. Además esta agua presentó contaminación fecal y fue inoculada experimentalmente con Vibrio cholerae O1, biotipo El Tor obteniendo una concentración de $10^5 - 10^6$ vibrios por ml de agua.

Se considera importante evaluar tecnologías simples y de bajo costo tal como la desinfección utilizando radiación solar, con el propósito de encontrar alternativas con las que se pueda obtener agua segura a nivel doméstico en lugares donde no se cuenta con ésta, contribuyendo en la prevención de la transmisión del agente causal del cólera.

3. ANTECEDENTES

3.1 COLERA

El cólera es una enfermedad diarreica aguda causada por la bacteria Vibrio cholerae O1 toxigénico. Casos severos se caracterizan por diarrea profusa, vómitos, calambres musculares, y colapso; la excesiva pérdida de líquidos puede provocar la muerte en sólo 12 horas después del apareamiento de los síntomas. La transmisión es principalmente a través de ingerir agua y alimentos contaminados con heces ó vómitos de personas infectadas con el bacilo del cólera (1,2,3).

Hay que considerar que la mayor parte de personas infectadas por V. cholerae O1, biotipo El Tor se quedan como portadores asintomáticos; portan el bacilo en el intestino, y lo excretan en las heces durante períodos variables. El biotipo El Tor, responsable de la actual epidemia, es menos patógeno y también es menos virulento que el biotipo el clásico. Por tal razón, sólo se observan alrededor de dos a cinco casos severos por cada 20 casos de cólera leve o moderado y 75 portadores sanos (2,3).

El tratamiento del cólera consiste principalmente en rehidratación oral ó por vía intravenosa. La administración de antibióticos ayuda a reducir la duración de la diarrea y a la eliminación de los vibriones en 2 a 3 días (1,2,3,4,5,6).

3.1.1 EPIDEMIOLOGIA

Durante los últimos dos siglos, han ocurrido siete pandemias de cólera. La reciente epidemia de cólera en Latinoamérica es parte de la séptima pandemia que inicio en 1961, y se extendió rápidamente de Indonesia a China y Filipinas, y luego a la India, Pakistán del Este, el Medio Oriente, el sur de Europa y Africa Occidental. Tardó 30 años en llegar al continente Americano, apareciendo, en enero de 1991, en el Perú. Luego se dispersó a otros países aproximadamente un nuevo país por

mes (1,2,7).

En julio de 1991 se reporta el primer caso de cólera en Guatemala en el departamento de San Marcos, diseminándose por la zona costera del país hacia la región Metropolitana, para luego extenderse a la región nororiental, llegando a finales de ese mismo año a los veintidós departamentos del país. Según los datos del Ministerio de Salud Pública y Asistencia social, en el año 1992 Guatemala reportó en todo el país un total de 15,861 casos que representa una tasa de incidencia de 162.77 por 100,000 habitantes, con 227 defunciones (tasa de letalidad de 1.18 por 100 habitantes). Los departamentos más afectados fueron Chiquimula, Zacapa, Suchitepequez, Escuintla, Sololá, El Progreso, Jutiapa, Retalhuleu, Guatemala y Santa Rosa. Durante 1993 se reportaron 30,821 casos de cólera (sospechosos y confirmados) presentando un incremento del 94% en relación a los casos de 1992 lo que representa una tasa de incidencia acumulada de 3.16 por 1,000 habitantes. Siendo los departamentos más afectados Escuintla, Suchitepequez, Zacapa, Retalhuleu, Sololá, Chiquimula, Petén, Guatemala, Izabal, y Jutiapa. Comparando la incidencia del cólera en los dos últimos años, en 1992 se notó un incremento a partir de la semana epidemiológica número 16 que correspondió al final del mes de abril, hasta la semana epidemiológica número 34, siendo dicho período el correspondiente al de la migración, así como el período de la época lluviosa en el país, y de igual manera pero con mayor intensidad ha venido sucediendo en 1993, al compararlo con las mismas semanas, notándose un incremento significativo a partir de la semana número 22 hasta la actual (8) (ver anexo no.1).

La pandemia en las Américas y la epidemia en Guatemala es causada por Vibrio cholerae O1 biotipo El Tor, diseminándose rápidamente por todos los países, a través de un vehículo común predominante, que es el agua de beber. Cabe considerar, que el biotipo El Tor tiene mayor resistencia al medio que el biotipo el clásico, sobrevive en el agua, estanques y en el mar por más

tiempo, lo que le permite extenderse a grandes extensiones (1,2,3).

3.1.2 AGENTE CAUSAL

Vibrio cholerae O1 es el agente causante del cólera y pertenece al género Vibrio. El género Vibrio está clasificado en la familia Vibrionaceae. Las especies del género Vibrio son bacilos gram negativo, aerobios y anaerobios facultativos, no esporoformadores, no encapsulados y poseen un flagelo polar. Fermentan la glucosa, y son oxidasa positivo con excepción de V. metschnikovii. Requieren para su crecimiento de la presencia de sal a diferencia de dos especies V. cholerae y V. mimicus. V. cholerae de cultivos frescos posee microscópicamente, forma curva o de coma. De todas las especies de Vibrio únicamente 12 son reconocidas como patógenas para humanos, causantes de infecciones intestinales y/o extraintestinales (1,2,5,9,10,11,12,13,14,15).

En base a la serotipificación del antígeno somático O, las cepas de V. cholerae se clasifican en serogrupos, los cuáles son bioquímicamente idénticos. De estos serogrupos sólo el grupo O1 que produce una potente enterotoxina llamada colerágeno, causa cólera. El resto de grupos se clasifican como Vibrio cholerae no-O1 debido a que no aglutinan con el suero polivalente "O1". Los vibrios no-O1 se han asociado con algunos casos individuales de diarrea similares al cólera, y con pocos brotes, siendo, desde el punto de vista epidemiológico no tan severo como el V. cholerae O1. Sin embargo, en enero de 1993, en Bangladésh, hubo una epidemia severa de diarrea, causada por una cepa nueva de V. cholerae no-O1 que no corresponde a ningún serogrupo clasificado dentro de los vibrios no-O1, la severidad de la epidemia causada por este nuevo serogrupo puede estar relacionada con las cantidades de toxina producidas por este, que son similares a V. cholerae O1 (1,2,3,5,16,17).

Vibrio cholerae O1 se diferencia en dos biotipos, según sus características bioquímicas y

epidemiológicas, el clásico y El Tor. El Tor es más resistente al medio que el clásico, ya que sobrevive en agua por más tiempo, libre ó asociado a plantas y animales acuáticos lo cual le permite diseminarse sin ser reconocido, y predominar sobre el clásico si este estuviera presente. Cada biotipo se diferencia en tres subtipos serológicos o serotipos, en base a las combinaciones de los antígenos de la proteína somática termoestable "O", éstos son: Ogawa, Inaba y Hikojima (2,3,8,10,14,15) (ver anexo no.2).

3.1.2.1 EFECTO DE AGENTES FISICOS Y QUIMICOS SOBRE V. CHOLERAE

V. cholerae es sumamente sensible al calor, con un efecto evidente a partir de los 60°C. El tiempo de eliminación del vibrión por el calor es de segundos o minutos, dependiendo de la temperatura y del medio en el que se encuentre. Por ejemplo, en 300 ml de agua con una concentración de V. cholerae O1 de 10^5 a 10^7 células/ml, hay una eliminación completa de las bacterias en 30 segundos a 99.5°C. El punto térmico de muerte (TDP) - temperatura requerida para inactivar totalmente a un microorganismo en 10 min -para V. cholerae O1 está entre los 60°C a 62°C. Temperaturas inferiores a 16°C, empiezan a afectarlo, sin embargo, es resistente a la congelación. Es altamente sensible a la desecación ambiental a la luz blanca, rayos ultravioleta, rayos infrarrojos, y microondas. Es altamente susceptible a los ácidos inorgánicos y orgánicos, un pH de 4.5 o menor garantiza la destrucción de los vibrios. Es también sensible al alcohol, ozono y cloro en concentraciones adecuadas (2,10,18,19,20).

3.1.3 TRANSMISION

Existen dos ciclos ó formas de propagación confirmados en el cólera:

- a) Ingestión de agua contaminada con heces de personas enfermas o portadores asintomáticos de V. cholerae O1.
- b) Consumo de alimentos contaminados con V. cholerae O1: si se preparan bajo condiciones de riesgo; si se consumen crudos como las hortalizas que han sido regadas con aguas de desagües y cloacas; ó si se preparan en condiciones no higiénicas (2,3).

La dosis infectiva del biotipo el clásico es de aproximadamente de 10 a 100 millones de bacilos, mientras que la del biotipo El Tor, puede ser de 100,000 a un millón ($10^5 - 10^6$) de bacilos (21).

3.1.3.1 TRANSMISION POR AGUA

La transmisión por agua ha sido el mecanismo más importante y determinante en las epidemias del cólera a través de los siglos, incluyendo la actual pandemia de Latinoamérica. En este ciclo de propagación, el agua de los pozos superficiales, cañerías, depósitos intra-domiciliarios, arroyos, ríos, lagos y lagunas, se contamina con las heces de personas que sufren del cólera o que son portadores asintomáticos (1,2).

El V. cholerae O1 es capaz de sobrevivir en ambientes acuáticos como ríos, arroyos y lagos, por períodos indefinidos y actualmente son considerados como especies autóctonas de estuarios y parte de la microbiota de ecosistemas acuáticos. El agua contaminada puede acarrear miles o cientos de miles de bacilos por mililitro, pudiendo infectar al humano si sobreviven la barrera de de la acidez del jugo gástrico. El agua contaminada es peligrosa cuando se consume en forma de hielo ó en refrescos con pH neutro o alcalino (1,2,5,9,22,23,24,25,26,27).

3.2 DESINFECCION DE AGUA PROVENIENTE DE FUENTES NATURALES

La desinfección de agua es parte fundamental del tratamiento de potabilización que se le da a aguas recolectadas de fuentes naturales. Dependiendo de la calidad de las aguas y de su probabilidad de contaminación, el agua puede requerir de varios procedimientos en su tratamiento; entre ellos: la aireación, sedimentación, filtración, coagulación y desinfección.

Existen varios métodos para desinfectar el agua, pero el más utilizado es la cloración, que es la adición de cloro al agua; que asegura la destrucción de bacterias y virus patógenos presentes en ella. La concentración de cloro residual libre debe ser de 0.5 - 1.0 ppm (mg/Lt). La preminencia del cloro como desinfectante en las plantas de tratamiento de aguas, se explica indudablemente por su disponibilidad, su bajo costo, su confiabilidad y su fácil manejo (30,31,32,33).

3.3 DESINFECCION DE AGUA A NIVEL DOMESTICO

El agua para beber recolectada de fuentes naturales no seguras, tales como pozos superficiales, arroyos, ríos, lagos y lagunas; se recomienda para su desinfección la adición de cloro y hervir el agua (34,35). Estos procedimientos tienen sus propios inconvenientes como son la disponibilidad y el costo. Por ejemplo, en el caso de la ebullición del agua, se necesita de un kilogramo de leña para hervir un litro de agua. El consumo de leña aumenta y con ello la deforestación; por otro lado, el sabor desagradable del agua después de ser hervida, desalienta al consumidor. En lo que respecta a la adición de cloro, el tener que agregar tres gotas de cloro comercial al 5% por galón de agua, requiere el uso de un cuentagotas. También hay que tomar en cuenta que algunas de estas aguas recolectadas de fuentes naturales, generalmente son turbias, y que para poder desinfectarla con cloro la turbidez del agua tiene que ser baja, de preferencia menos de una unidad de turbidez nefelométrica (UTN). En caso contrario si el agua a desinfectar contiene gran cantidad de materia orgánica, el

poder vibriocida del cloro residual disminuye al neutralizarse parte o toda su capacidad al entrar en contacto con la materia orgánica presente en el agua, y no cumple su acción desinfectante (2,30,31,32,34,35,36).

3.4 LA LUZ SOLAR COMO FUENTE DE RADIACION Y ENERGIA

El sol es una esfera de 1,400,000 kms. de diámetro, que irradia alrededor de él una gran cantidad de energía debido a reacciones nucleares en cadena.

La energía proveniente del sol se mueve a través de un fenómeno conocido como transferencia de calor por radiación. La energía viaja en forma de ondas radiantes u ondas electromagnéticas, las cuales se caracterizan por tener diferentes longitudes de onda. Cada una de estas longitudes de onda se asocia con un determinado poder penetrante y portación energética. El sol emite una gama diversa de ondas, las que se clasifican de acuerdo a su longitud de onda, van de los rayos cósmicos con longitudes de onda en un rango de 0 hasta 9×10^{-6} nanómetros (nm.), hasta ondas mayores en un rango de 3,000 nm. en adelante (37,38) (ver anexo no.3).

La cantidad de energía que arriba a la atmósfera exterior de la tierra, se conoce como constante solar. Esta constante expresa el promedio anual, de energía recibida por unidad de tiempo y de área, siendo de $1.94 \text{ cal cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$. De ese valor ingresado a la atmósfera exterior de la tierra, se calcula que un 47-50% llega a nivel del suelo, dependiendo de la altitud del lugar, tipo de superficie, cantidad de cielo cubierto de nubes, contenido de vapor de agua, presencia de aerosoles en la atmósfera, y día del año o posición en la órbita terrestre (39,40,41,42,43,44,45)(ver anexo no.4).

Hay dos parámetros generales para medir la energía incidente, uno es la cantidad de brillo solar o sea el número de horas por día en que se recibe sol directo; el dato obtenido es hora-sol, y el otro es insolación o radiación, que equivale a decir por cuántas horas al día se puede tener una

insolación promedio de 1 Kw/m², el dato obtenido es hora-pico (37).

3.4.1 RECURSO SOLAR EN GUATEMALA

La información sobre el recurso solar en Guatemala no es muy abundante, además posee una diversidad de climas en áreas relativamente cercanas, por otro lado, el hecho que las estaciones no necesariamente se ubican en puntos representativos de regiones de clima definido. Para evaluar la aplicación de la energía solar en Guatemala es importante conocer datos de radiación y lugares más propicios para su uso. De acuerdo a los datos obtenidos en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la USAC, el promedio nacional anual de horas-pico es de 5.33, y horas-sol de 6.47. El lugar más propicio es Huhuetenango en los meses de marzo y abril con 7.67 horas-pico y la mínima radiación en Cobán en el mes de diciembre con 3.39 horas-pico (37) (ver anexo no.5).

3.5 USO DE LA RADIACION Y ENERGIA SOLAR EN LA DESINFECCION DE AGUA

La luz solar con ondas en un campo de 310 nm. a 400 nm., es la región más letal, ya que tiene un potencial de destrucción bacteriana de un 70%; afectando el ADN celular, o dándose una reacción de fotoxidación. Esta banda de ondas es conocida como región ultravioleta cercana (A) del espectro. La luz con ondas que caen en esta región no son visibles por no ser percibidas por el ojo y son frecuentemente referidas como luz negra. Por el contrario, la luz visible se caracteriza por tener ondas entre un campo de 400 nm., a aproximadamente 750 nm., y tiene una capacidad de destrucción bacteriana de más o menos un 30% (46,47,48,49,50) (ver anexo no.6).

Los rayos solares penetran el agua, pero a medida que el trayecto de penetración va aumentando gradualmente, la intensidad de la radiación va decreciendo con el mismo ritmo. Para ondas de longitud entre 300 y 500 nm., la reducción en intensidad no excede el 5% por metro de

profundidad del agua y para el alcance de ondas altas, el valor puede ser hasta del 40% por metro.

Estos hechos indican que la luz ultravioleta puede penetrar el agua clara hasta una profundidad de varios metros antes de disminuir su intensidad, y por ende puede ser fácilmente transmitida a través de volúmenes pequeños de agua clara, contenida en envases transparentes o en recipientes abiertos (34).

La intensidad de las ondas también se ve afectada por la presencia de partículas suspendidas en el agua que dispersan la radiación. El agua turbia tiene alto contenido de partículas suspendidas que tienden a impedir el paso de la radiación, obstruyendo así el paso de la luz y por ende la muerte de microorganismos. Por esto es importante considerar la turbidez del agua al evaluar la desinfección por este método (34).

Un mecanismo de desinfectar el agua es mediante la exposición de agua en recipientes. Mackenzie, TD et al(51,52) colocaron botellas de vidrio y plástico de "coca-cola" con agua inoculada con V. cholerae O1 a exposición al sol, en lugares de diferentes altitudes (Quito y Santo Domingo); reportan que sí hay disminución en el número de bacterias, pero no en todos los casos y que depende en gran parte de la altitud y la intensidad de la luz ultravioleta en ese día. En Guatemala se han hecho estudios, sobre el efecto de la luz solar, y la sobrevivencia de coliformes, mediante la exposición al sol de agua contaminada contenida en bolsas de plástico, reportando disminución en el número de bacterias después de la exposición al sol (53).

En Guatemala se han hechos estudios sobre la utilización de la energía solar para precocimiento de granos, que consiste en el uso de un sistema que absorbe calor y que eleva la temperatura alrededor de unos 60 a 70 C°, de los granos contenidos en los recipientes. Este sistema se puede aplicar para elevar la temperatura de agua contenida en envases de volúmenes pequeños, calentándola. La eficiencia con respecto a las temperaturas alcanzadas depende principalmente de

la intensidad de la luz solar, tiempo de exposición y de las características del sistema absorbente (ver anexo no.7)

Al diseñar un método para elevar la temperatura del sistema, utilizando energía solar es necesario considerar los tipos de onda incidentes, portación energética global, parámetros de medición de radiación y energía, y fundamentos de transferencia de calor.

3.6 FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

El diseño de un eficiente sistema de captación de energía solar depende del conocimiento de las propiedades, atributos, y efectos del calor. El calor fluye de un lugar a otro como resultado de un gradiente de temperaturas, y lo hace de una región de alta temperatura hacia una región de baja temperatura. Existen tres formas de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. - Conducción, proceso por el cual el calor fluye, a través de un medio sólido, líquido, o gas, o entre diferentes medios que estén en contacto directo. - Convección es el proceso en el cual el calor se transfiere de una región a otra por medio del movimiento de un fluido que puede ser un líquido o un gas.

- Radiación es el proceso por el cual el calor fluye de un cuerpo que está a alta temperatura a otro que está a baja temperatura cuando estos cuerpos están separados o cuando existe un vacío entre ellos. El término radiación es generalmente aplicado a todos los fenómenos de ondas electromagnéticas, pero en transferencia de calor sólo interesan los que se dan a partir de un gradiente de temperatura y que pueden transportar energía. La energía transmitida se le da el nombre de calor radiante, que es el proceso más importante de transferencia de calor, y es la forma de como el sol transfiere energía a la tierra. La energía radiante se transporta en forma de ondas electromagnéticas, cuando una onda incide sobre un cuerpo (gas, líquido, o sólido) puede atravesarlo,

ser absorbida o bien ser reflejada; dependiendo si el cuerpo es transparente, un alto porcentaje de la radiación (90% ó más) lo atravieza. En general no existe un cuerpo 100% trasparente, excepto el vacío absoluto. Un cuerpo opaco se caracteriza por no dejarse atravezar por el rayo incidente, absorbiendo y reflejando casi el 100%. Y el cuerpo traslúcido es intermedio entre el transparente y el opaco. A la capacidad de un rayo de pasar a través de un cuerpo se le llama transmitancia (T) y depende de la naturaleza del cuerpo, de su espesor y del ángulo de incidencia del rayo sobre el cuerpo; al evaluar el vacío absoluto tendría un valor de $T= 1.0$ y un cuerpo opaco valor de $T=0.0$. A la capacidad de atrapar energía por un cuerpo, de un rayo se le conoce como absorbancia (A) y su valor depende del color, la textura superficial y el ángulo de incidencia del rayo. A un cuerpo hipotético que absorbe 100% de la energía incidente se le conoce como cuerpo negro y su absorbancia sería de $A=1.0$. A la capacidad de un cuerpo de reflejar o no la radiación incidente se le conoce como reflectancia (R), y sería función del pulido superficial, del color y naturaleza del cuerpo. A la capacidad de un cuerpo de emitir energía a una temperatura dada a la cual esta dicho cuerpo se le conoce como emitancia (E), y depende del color, y textura del cuerpo (37,54,55,56,57,58,59).

3.7 SISTEMAS DE CAPTACION DE ENERGIA SOLAR Y SU APLICACION

La energía solar se puede aprovechar por medios pasivos y activos. Los medios pasivos carecen de agitación mecánica interna, por lo que la convección o mezclado interno se origina por gradientes de temperatura dentro del recipiente, debido a lo cual se ocasionan diferentes densidades en las diferentes capas de fluido y por tanto las más densas tienden a descender y las menos densas a ascender (58, 59, 60).

Los sistemas activos cuentan con algún sistema de agitación interna artificial (ventilación,

mezclador, etc.). Desde el punto de vista térmico los sistemas activos generalmente se calientan o enfrían con más facilidad, pero la energía que mueve el elemento de agitación debe recibirse de un mecanismo adicional al calentador, y por lo tanto técnicamente el calentamiento activo conlleva un costo monetario mayor (58,59,60,61,62,63).

En Guatemala, se han desarrollado cajas absorbedoras como precedores de granos, siendo una aplicación de estos colectores solares pasivos. Estos son cajas con una plancha absorbidora pintada de negro, y con un cobertor de plástico que impide la pérdida de calor, concentrándolo hasta llevar los recipientes con los granos a temperaturas de hasta los 62°C. Estas cajas se pueden utilizar para elevar la temperatura de líquidos o compuestos semisólidos contenidos en recipientes, incluyendo agua.

Las temperaturas necesarias para la pasteurización del agua son alrededor de los 55 °C en adelante dependiendo el tiempo de pasteurización, y son fácilmente alcanzadas con un colector solar de plancha plana ó caja absorbidora (64,65)(ver anexo no. 7).

3.7.1 FUNDAMENTOS DE LA CAJA ABSORBEDORA

La caja absorbidora atrapa parte de la energía radiante interponiendo un cuerpo opaco (negro) al paso de ésta, provocando la vibración de los átomos ó moléculas de dicho cuerpo y logrando que éste se energice más, calentándose. Al calentarse dicho cuerpo emite un porcentaje de energía hacia el medio, pero a una longitud de onda mayor que aquella que incidió originalmente sobre el cuerpo. De no aislar dicho "cuerpo opaco" o absorbedor térmico, éste perderá el calor ganado, por emitancia, o sea por transferencia radiativa de calor y también por transferencia conductiva y convectiva de calor. Al aislador se le protege con un aislamiento térmico en su parte no expuesta al sol, evitando las pérdidas por conducción. Para reducir las pérdidas convectivas se debe encerrar una capa de aire,

De manera que la parte superior del absorbedor quede cubierta de aire inmóvil y caliente. Esto se logra ubicando un medio sólido transparente o traslúcido como plástico o vidrio que permita el ingreso del rayo solar, pero que inmovilice el aire contenido. A ésta estructura se le conoce como cubierta transparente, actúa además como válvula de paso óptica; debido a que la mayoría de cuerpos tienen alta transmitancia a las ondas U.V. y de luz visible, pero mucho más baja transmitancia y elevada reflectancia a las ondas infrarrojas del espectro solar, que es precisamente el tipo de ondas emitidas por el absorbedor. Así buen porcentaje de radiación infrarroja retorna al cuerpo negro o absorbedor aumentando la capacidad de este y calentando el aire que lo recubre, provocándose un fenómeno conocido como "efecto de invernadero". La energía atrapada puede ser transferida a un líquido o a un gas elevando la temperatura de estos (37,43,55,56,57,58,59) (ver anexos nos.8 y 9).

Existen muchos diseños en la fabricación de cajas absorbedoras, que van desde estructuras sencillas a estructuras más complejas, el diseño se basa fundamentalmente, en la aplicación que se le quiera dar, la eficiencia de captación de calor que se quiera obtener, y los recursos económicos que se tengan.

4. JUSTIFICACIONES

El agua es un factor importante pues además de servir para las actividades diarias puede ser un vehículo en la transmisión de enfermedades diarreicas, entre ellas el cólera. El cólera seguirá afectando a la población guatemalteca hasta que se hagan mejoras en la infraestructura sanitaria que hagan cambiar las deficientes condiciones de salud. Mientras estos cambios de infraestructura no ocurran, gran parte de la población seguirá abasteciéndose con agua no segura, que es un factor determinante en la transmisión de enfermedades diarreicas.

Se han dado recomendaciones a nivel doméstico para evitar la transmisión del cólera por agua. Una de ellas es agregar tres gotas de cloro comercial al 5% a un galón de agua, - concentración suficiente para eliminar las bacterias -, la otra es hervir el agua. Sin embargo estas medidas no siempre son aplicadas, por lo que es importante evaluar métodos alternativos y de bajo costo, tal como la desinfección por medio de la radiación solar.

El uso de la radiación solar para desinfectar el agua puede ser de dos formas; por exposición directa al sol, donde la radiación provoca la muerte de bacterias; y la otra forma es absorber radiación solar y concentrar la energía en una caja absorbidora de calor elevando la temperatura de pequeños volúmenes de agua en recipientes colocados en el interior de ésta, logrando la pasteurización del agua. Considerando estas alternativas es importante investigar el efecto de la radiación solar y la elevación de la temperatura del agua en la caja absorbidora sobre las bacterias.

Esta investigación se justifica en la búsqueda de alternativas para obtener agua segura, libre de Vibrio cholerae O1, para consumo humano, utilizando una fuente natural y de bajo costo tal como la radiación solar.

5. OBJETIVOS

Evaluar el efecto de la radiación solar en la sobrevivencia de Vibrio cholerae O1 biotipo El Tor; en agua contaminada experimentalmente, después de 4 horas de exposición al sol (9:00-1:00pm).

Evaluar la desinfección del agua contaminada experimentalmente con Vibrio cholerae O1 biotipo El Tor, usando una caja absorbadora de energía solar; cuando el agua dentro de los recipientes utilizados de vidrio ámbar (cerveza) alcancen los 60C°, por dos horas.

Evaluar la sobrevivencia de indicadores de contaminación fecal (coliformes y Escherichia coli) en agua, aplicando ambos tratamientos.

6. HIPOTESIS

La radiación solar en forma directa, reduce la cantidad de Vibrio cholerae O1 biotipo El Tor en agua, después de cuatro horas de exposición al sol (9:00-1:00).

Vibrio cholerae O1 se elimina totalmente del agua contenida en los envases de vidrio ámbar (cerveza), al desinfectarla utilizando la caja absorbadora de energía solar, por dos horas a 60C°.

Si se elimina del agua, Vibrio cholerae O1 biotipo El Tor, al realizar la desinfección directamente mediante radiación solar y utilizando la caja absorbadora, se eliminan también los coliformes y Escherichia coli que estén presentes.

7. MATERIALES Y METODOS

7.1 UNIVERSO DE TRABAJO

Fuente de agua:

Agua no clara proveniente del lago de Amatitlán.

Características del agua:

- Inoculada con cepa de Vibrio cholerae O1 biotipo El Tor, INCAP-VC-910070.
- Contaminación fecal presente.
- pH: 8.6
- Turbidez: 4 UTN unidades nefelométricas de turbidez.

7.2 RECURSOS:

7.2.1 Humanos:

Br. Nancy Elizabeth Quan Serrano

Asesor: Licda. Floridalma Cano

Co-asesor: Ing. Otto de León

Equipo técnico que labora en el laboratorio de Bacteriología del programa de Nutrición, Infección, e Inmunología.

7.2.2 Institucionales:

Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá - INCAP

División de Nutrición e Infección.

Laboratorios Dr. Leonardo Matta.

7.2.3 Físicos:

7.2.3.1 Materiales:

7.2.3.1.1 Equipo de laboratorio:

- Agitador simple Precision Scientific, co. 65904
- Agitador con regulador de temperatura Fisher Scientific 210T
- Autoclave Castle Sybron
- Balanza electrónica A&D, co. Lt. 5308287
- Baño de maría Precision Scientific, co. 66634
- Campana Labconco.
- Contador de colonias Quebec de campo oscuro American optical Co. cat.no. 3330
- Espectrofotómetro Perkin-Elmer coleman 295-215
- Horno Will, co.
- Incubadora Thelco 32M Precision Scientific, co.
- Lámpara de luz U.V., UVL-21 UVP
- Pipetor automático Pipet-aid # 26828
- Potenciómetro Beckman Zeromatic SS-3
- Termómetros de carátula Taylor No. 5989
- Termómetro de prueba VWR Scientific No. 61010 -041
- Turbidímetro Ajust Abott Laboratories 2973
- Turbidímetro Haake
- Vortex

7.2.3.1.2 Cristaleria:

- Beakers 50, 100, 500, 1,000 ml.
- Cajas de petri descartables
- Campanas de Durham
- Canastas
- Erlenmeyers 1,000 y 2,000 ml.
- Gradillas
- Frascos de vidrio
- Pipetas de 1, 2, 5, 10 ml.
- Pissetas
- Tubos con rosca 16 x 125 ml.

7.2.3.1.3 Medios y Reactivos:

- Agar con tiosulfato, citrato, sales biliares, y sacarosa, TCBS BBL.
- Agar Mueller Hinton.
- Agua peptonada AP al 0.1%.
- Agua peptonada alcalina APW al 1%, 10%.
- Antisuero para Vibrio cholerae Poly, Inaba, Ogawa INCAP.
- Caldo Bilis verde brillante Oxoid
- Caldo Lauril Triptosa BBL.
- Caldo E. coli E.C. BBL.
- Reactivos para prueba de oxidasa.
- Solución buffer PH= 7 Fisher Scientific sb- 107B.

7.3 PROCEDIMIENTO

7.3.1 Caracterización del agua

Parámetros:

- Recuento de coliformes generales: > 1,600 NMP¹/por 100 ml.
- Recuento de coliformes fecales: > 1,600 NMP/por 100 ml.
- E. coli : > 1,600 NMP/ por 100 ml.
- Turbidez: 4 unidades nefelométricas de turbidez.
- pH: 8.6

7.3.2 Preparación del inóculo de V. cholerae O1 y contaminación del agua

El inóculo de contaminación se preparó con la cepa de V. cholerae O1, biotipo El Tor, (INCAP-VC-910070). A partir del cultivo de 24 h en agar Mueller-Hinton, se hizo una suspensión en agua peptonada alcalina (APA, pH 9.2). Esta suspensión se ajustó a una transmitancia del 80% (espectrofotómetro Coleman 295) a una longitud de onda de 640 nanómetros (nm) que correspondía a una concentración de 10^7 - 10^8 células/ml, la cual se verificó mediante la siembra de 0.1 ml de las diluciones 10^{-2} a 10^{-6} en cajas de agar TCBS (Tiosulfato, Citrato, sales Biliares, Sucrosa). Luego se contaron las colonias en las cajas, y se seleccionaron las cajas de 30-300 colonias amarillas (sucrosa positivo); el número de colonias se multiplicó por el factor de dilución para obtener el recuento de vibrios por ml de inóculo.

El agua se contaminó con el inóculo de contaminación; cada día se preparó un inóculo fresco agregando 10 ml por cada 1000 ml de agua, para obtener una concentración de 10^5 a 10^6 vibrios por

¹Número más probable.

ml de agua, concentración que fue verificada por la técnica de cuantificación descrita más adelante.

7.3.3 Procedimiento:

La desinfección se llevó a cabo mediante dos procedimientos.

7.3.3.1 Procedimiento No.1 : EXPOSICION DIRECTA AL SOL

Los envases que se llenaron con agua contaminada fueron los siguientes:

Recipientes de agua	Material	Capacidad/Profundidad
Baño plástico	plástico color verde	6,500 ml 15 cm
Envase de Doble litro (Coca - Cola)	plástico transparente	2,040 ml 31 cm
Envase de vidrio INCASA	vidrio claro	640 ml 17.5 cm

A cada envase se le colocó un termómetro y se tapó con plástico transparente, para evitar contaminación con polvo, quedando el plástico en contacto directo con el agua de manera que al producirse vapor, no se empañara el plástico. Los envases conteniendo el agua se dejaron a exposición directa al sol por 4 horas de 9:00 am a 1:00 pm.

A las 2 horas de exposición se cuantificó en el agua de los tres envases V. cholerae O1, y a las 4 horas de exposición se cuantificó V. cholerae O1, coliformes y E. coli. Estos mismos análisis se realizaron al día siguiente a las muestras negativas para determinar la presencia de estos agentes. Lo anterior se hizo con el objetivo de detectar si el efecto de la radiación solar sobre las bacterias era parcial o total, y si hay recuperación de los microorganismos en 24 horas.

7.3.3.1.1 Análisis Microbiológicos del agua:

7.3.3.1.1.1 Recuento de V. cholerae O1 en agua (1,3,29):

1. De la muestra de agua se tomó directamente 1 ml y se plaqueó en 4 cajas de agar TCBS por duplicado, en porciones de 0.1 (para la dilución 1:10), 0.3, 0.3 y 0.3 ml.
2. Con 1.0 ml de muestra y 9.0 ml de agua peptonada alcalina se hizo una dilución 1:10, se plaqueó 0.1 para la dilución 1:100 y con asa calibrada de 0.01 se plaqueó otra caja para obtener la dilución 1:1000. Estas diluciones se sembraron en cajas de agar TCBS por duplicado.
3. Se incubó a 36 °C por 24 h. Luego se contó las colonias de color amarillo intenso. Para confirmar si eran V. cholerae O1, se picó 5 colonias de cada muestra analizada y se prosiguió con las pruebas bioquímicas y de serología correspondientes.

7.3.3.1.1.2 Número más probable NMP (Prueba de cinco tubos) de Doble Enriquecimiento con Agua peptonada alcalina para detección de V. cholerae (1,3,11).

1. Se recolectaron las muestras de agua en frascos estériles de 300 ml. Para la técnica del Número más probable, se inoculó en 5 tubos conteniendo 10 ml de APA 2x cada uno, 10 ml del agua por tubo, quedando un volumen final de 20 ml con una concentración de APA normal.
2. Todos los tubos fueron incubados a 36 °C por 24 h.
3. A partir de los tubos donde se observó crecimiento se hizo un doble enriquecimiento, que consistió en agregar 1 ml del tubo positivo a 9 ml de APA 1x. Después de incubar a 36 °C por 6

horas, se sembró una asada del tubo a una caja de agar TCBS.

4. Se observó el crecimiento para detectar colonias amarillas, sucrosa positivo, confirmando la presencia de V. cholerae O1.

7.3.3.1.1.3 Técnica del Número más probable (Prueba de 15 tubos) para coliformes totales y fecales (28,29):

1. Prueba Presuntiva: Se sembró 10 ml de agua a cada tubo de 5 tubos con 10 ml de caldo Lauril Triptosa de concentración doble, con campana de Durham. De la misma forma se agregó porciones de 1 ml (5 tubos) y 0.1 ml (5 tubos) en tubos del mismo medio de concentración simple. Todos los tubos se incubaron a 36°C por 24-48 h. Se interpretó como resultado positivo la presencia de turbidez y gas.

2. Para la prueba confirmativa: De cada tubo positivo, se sembró una asada a tubos con caldo Bilis Verde Brillante y caldo E.C., ambos con campana de Durham, se incubó a 44.5°C y 36°C por 24-48 h, respectivamente. respectivamente.

3. Se registraron los tubos positivos y se usó la tabla del Número más probable para obtener el resultado.

4. Para confirmar la presencia de E. coli de los tubos de caldo E.C. se sembró una asada, en agar MacConkey para su aislamiento y pruebas bioquímicas de confirmación (TSI, LIA, Indol, Movilidad, urea y citrato).

7.3.3.2 Procedimiento No.2: USANDO LA CAJA ABSORBEDORA DE CALOR²

7.3.3.2.1 Fabricación de la caja absorbedora:

- Materiales

Reglas de madera de 2" x 2" 8 m. de madera aprox.

5 yardas de plástico (polipropileno) transparente de 6-8 milésimas de grosor.

Pegamento

Clavos de 1"

Grapas

Lámina galvanizada calibre 28 ó 30.

Pintura negra de cualquier tipo.

Marco de madera ancho 0.47 m. x largo 1.0 m.

1 bolsa de arena.

Construcción de la caja:

Con reglas de madera de 2 x 2", se fabrica una armazón de una caja de 0.48 m de alto por 0.95 m de largo por 0.45 m de ancho. Los lados de la caja son cubiertos con una doble pared de plástico, una externa y otra externa. El plástico se ajusta con grapas y pegamento a la armazón de madera, para obtener una caja bien sellada. La caja se coloca sobre un marco de madera (0.47 m x 1.0 m), que enmarca una lámina galvanizada y pintada de negro. Abajo de la lámina se coloca como aislante térmico, arena (Ver anexo no. 7)

² Adaptación y diseño por: Ing. Otto De León. USAC-MEM

7.3.3.2.2 Evaluación preliminar

Se hizo una evaluación preliminar para determinar si la caja absorbidora elevaba la temperatura de pequeños volúmenes de agua y si el tamaño de la caja afectaba en la absorción de energía. Se fabricaron 2 cajas de diferente tamaño, una con las siguientes medidas: 0.45 m x 0.95 m x 0.48 m y otra con: 0.45 mt x 0.95 mt x 1.02 mt. Se eligió la más pequeña ya que no hubo diferencia en cuanto al nivel de temperatura alcanzada.

Para determinar que envase era el más adecuado desde el punto de vista de disponibilidad, volumen de agua contenida y temperatura alcanzada en 7 horas de exposición al sol dentro de la caja absorbidora, se evaluaron los 10 recipientes siguientes: Lata grande (5 libras), Lata pequeña (3 libras), Tinaja grande de plástico, Botella de cerveza pequeña, Botella de cerveza grande, Doble litro "coca-cola" de plástico, Doble litro pintado de negro, Galón de plástico, Galón pintado de negro y frasco de vidrio. Estos envases se llenaron con agua del chorro y se les colocó un termómetro. Luego se colocaron en el interior de la caja absorbidora y se dejaron a exposición al sol por 7 horas, se anotaron las temperaturas máximas alcanzadas y los tiempos requeridos.

De todos los envases se seleccionó la botella de cerveza grande de vidrio ámbar (1.023 Lt), ya que fue el envase que llegó a los 60-70 C° en menor tiempo y tiene un volumen considerable de agua. Por otro lado se evaluó el volumen total que podía desinfectar la caja, para esto se colocaron 10 botellas de cerveza llenas con agua del chorro, cada una con un termómetro para controlar la temperatura. Todas llegaron a los 60C° en un tiempo de 4 horas de exposición al sol, todas sobrepasaron los 60C° pero no todas llegaron a los 70C°, y esto dependía del lugar en donde se colocaron dentro de la caja.

7.3.3.2.3 Experimento:

El experimento tuvo un tiempo de duración de 10 días. Dentro de la caja absorbadora se colocaron 10 botellas llenas con agua contaminada, éstas fueron tapadas con plástico transparente y se les colocó un termómetro a cada una. Dentro de la caja se colocó un termómetro para medir la temperatura alcanzada dentro de la misma, y se expuso al sol durante el tiempo necesario (aprox. 4 horas) para que el agua contenida en los envases alcanzara los 60 °C y se mantuviera a esta temperatura por 2 horas más. El tiempo total de exposición fue aproximadamente de las 8:00 am hasta las 3:00 pm. Después de la desinfección se tomaron 2 muestras al azar de las botellas (haciendo un total de 20 muestras en 10 días), para la detección y recuento de V. cholerae O1, coliformes y E. coli. Estos mismos análisis se realizaron al día siguiente a las muestras negativas para determinar la presencia de estos agentes, utilizando las técnicas microbiológicas mencionadas anteriormente.

7.3.4 Controles de V. cholerae O1, coliformes y E. coli

En cada ensayo y en ambos procedimientos de desinfección se contaba con un control que consistía en agua inoculada (la misma que se utilizaba en cada ensayo) a la cual se le hacía un recuento de V. cholerae O1, coliformes y E. coli en el tiempo cero del experimento, y se dejaba en condiciones de laboratorio sin exposición a radiación solar. Al final se realizaba otro recuento en el tiempo en que terminaba la desinfección, siendo para la desinfección directa al sol a las 4 horas y para la desinfección con la caja absorbadora a las 7 horas; con el objeto de verificar si en el transcurso del tiempo en condiciones del laboratorio (sin luz ni calor) cambiaba la concentración de V. cholerae O1, coliformes y E. coli o si permanecía constante, determinando si no existían otras razones que disminuyeran el número de bacterias.

8. RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

8.1 SOBREVIVENCIA DE Vibrio cholerae O1 EN AGUA

8.1.2 DESINFECCION POR EXPOSICION DIRECTA AL SOL

En la exposición directa del agua contenida en los tres envases: doble litro 2,040 ml, frasco de vidrio 640 ml, y baño plástico 6,500 ml; en base a las las comparaciones de contrastes según Scheffé, existe diferencia significativa entre las 2 y 4 horas de exposición al sol. A las cuatro horas de exposición hubo una mayor reducción en el número de vibrios que a las dos horas, independientemente del recipiente utilizado (Gráfica 1). También existe diferencia significativa en la reducción de microorganismos en cada envase. En el envase de vidrio el agua presentó una mayor reducción de V. cholerae O1: de una concentración de 1×10^5 - 1×10^6 (inóculo inicial) bajó hasta 150 vibrios/ml (promedio de los ocho ensayos); en cuatro muestras (50%) no se recuperó el agente contaminante (Tabla 1). Al analizarse estas mismas muestras al día siguiente, se comprobó la recuperación de Vibrio cholerae O1, por lo que el efecto de la radiación sobre este agente fue subletal, y no hubo muerte celular (Tabla 2). El daño provocado por la radiación ultravioleta es a nivel estructural en el ácido desoxiribonucleico (ADN) de las células y cuando el daño provocado excede la capacidad de las células para reponerlo, éstas mueren, de lo contrario sólo se da un daño reversible y por lo tanto el microorganismo es capaz de recuperarse (64).

Es importante considerar que la radiación solar en un campo de 310 nm a 400 nm (región UV cercana, (A) del espectro) tiene un potencial de destrucción bacteriana de un 70%; y la luz visible que se caracteriza por tener ondas entre un campo de 400 y 750 nm, tiene una menor capacidad de destrucción bacteriana (30%) (34).

En el envase de doble litro hubo una reducción de la concentración inicial de 1×10^6 vibrios/ml hasta 3.9×10^3 vibrios/ml, y por último el baño plástico hasta 2.8×10^4 vibrios/ml. La diferencia en

cuanto a desinfección entre el envase de doble litro (2040 ml) y el frasco de vidrio (640 ml) se debe probablemente al volumen, ya que el efecto de la radiación depende del tipo y capacidad del envase, siendo más factible desinfectar un volumen menor de agua (34).

Se observó que el agua dejada en el laboratorio, sin exposición a radiación solar, la concentración de V. cholerae O1 se mantuvo constante desde el tiempo cero del experimento hasta el final, por lo que comprobó que la disminución de microorganismos es por efecto de la radiación.

El agua que se utilizó en este estudio es agua con turbidez de 4 UTN (unidades nefelométricas de turbidez), proveniente del lago de Amatitlán. Los hogares que no cuentan con servicio de agua potable se suministran de fuentes naturales de aguas como lagos, ríos, lagunas y otros, que pueden presentar cierto grado de turbidez. Por lo tanto, es importante considerar la turbidez del agua cuando se determina la efectividad de la desinfección por exposición directa a la radiación solar, pues las partículas suspendidas obstruyen el paso de la radiación, impidiendo la muerte de los microorganismos presentes en el agua (34).

El color del recipiente influye en la penetración de la radiación solar. El baño plástico es de color verde claro, esto impide que la radiación penetre, pues el material la refleja en cierta proporción. Por el contrario el envase de vidrio y doble litro son transparentes, penetrando con más facilidad la radiación (34,37).

Otro factor tomado en cuenta fue la temperatura que alcanza el agua dentro de los recipientes expuestos al sol. En la tabla 3 se observa que el rango de temperatura alcanzada durante las 4 horas de exposición al sol de los 3 recipientes es de 29 - 36°C. Esto demuestra que el daño celular se da por radiación y no por elevación de la temperatura en el agua.

La desinfección se realizó en días soleados, en los meses de marzo - abril.

8.1.2 DESINFECCION CON LA CAJA ABSORBEDORA

De los 10 días de ensayo se analizaron 20 muestras de agua (2 por día) de envases de cerveza que se colocaron dentro de la caja absorbadora, y que alcanzaron los 60C° manteniéndose así a esta temperatura por 2 horas. En todos los casos (20 muestras) no se obtuvo crecimiento de V. cholerae O1 después de la desinfección ni 24 horas después del tratamiento (tabla 4, gráfica 2). Esto demuestra que la desinfección de agua contenida en el envase de vidrio ámbar (cerveza) en la caja absorbadora es eficaz habiendo una eliminación completa de V. cholerae O1 del agua. El daño provocado por la elevación de la temperatura a 60C° por 2 horas, similar a una pasteurización, provoca muerte celular y el vibrión no es capaz de recuperarse al día siguiente. Estos datos confirman que V. cholerae O1 es un agente sensible al calor con un efecto a partir de los 60C°, y que el tiempo de eliminación del vibrión puede ser de segundos o minutos dependiendo de la temperatura y del medio en que se encuentre (2,10,18).

Otro dato importante es el volumen total de agua desinfectada que podría generar una caja como la utilizada. El volumen total de agua que se puede desinfectar es el contenido en 10 envases ámbar (cerveza), que equivale a 10.23 litros.

La turbidez del agua no impide la elevación de la temperatura en ésta, por lo que la desinfección con la caja absorbadora es efectiva con aguas ligeramente turbias.

Se colocó un termómetro en la caja para medir la temperatura en el interior de ésta, para determinar si existía correlación entre la temperatura alcanzada por la caja y la temperatura alcanzada en el agua. Según los resultados no existe correlación, ya que la temperatura del interior de la caja puede variar mientras que la de los envases de cerveza permanece constante y con una mínima diferencia (1-2C°) entre ellos. Esto puede ser debido a factores ambientales, tales como temperatura ambiental, cantidad de nubes, aire, y radiación solar.

8.2 SOBREVIVENCIA DE COLIFORMES EN AGUA

8.2.1 DESINFECCION POR EXPOSICION DIRECTA AL SOL

De los tres recipientes evaluados (doble litro, envase de vidrio, baño plástico), el envase de vidrio es el que presenta una mayor reducción de coliformes totales y fecales, de una concentración inicial (la misma para todos los envases) de >1,600 NMP/100 ml de coliformes totales y fecales, a 44 NMP/100 ml y 2 NMP/100 ml (promedio de las ocho muestras) respectivamente. Le sigue el baño plástico con una reducción hasta 56 NMP/100 ml totales y 2 NMP/100 ml fecales y por último el doble litro con una reducción hasta 146 NMP/100 ml totales y 24 NMP/100 ml fecales (tabla 5). En relación a E. coli, de las ocho muestras de agua, el envase de vidrio (Incasa) y el baño plástico presentan siete negativas para E. coli y una positiva, el doble litro presenta 5 negativas y 3 positivas para E. coli. En ninguno de los tres recipientes se eliminó por completo el grupo coliforme. De acuerdo a la metodología sólo las muestras que eran negativas a coliformes totales, fecales y E. coli se analizaban al día siguiente para verificar si las bacterias eran capaces de recuperarse, lo que no permitió evaluar si las células dañadas se recuperaron o aumentaron su número (tabla 5).

La combinación más eficaz fue el envase de vidrio con 4 horas de exposición al sol. El rango de temperatura alcanzada en 4 horas de exposición en los tres envases y en todos los ensayos fue de 29°C-36°C, esto demuestra que la reducción bacteriana se da por radiación y no por elevación de la temperatura del agua (tabla 3).

8.2.2 DESINFECCION CON LA CAJA ABSORBEDORA

Según los resultados, en ninguna de las 20 muestras desinfectadas a 2 horas a 60°C en la caja absorbedora hubo crecimiento, siendo negativas para coliformes totales, coliformes fecales y E. coli después de la desinfección y 24 horas después. Esto demuestra que la desinfección con la caja

absorbedora es efectiva, que el daño provocado es muerte celular total y que no hay recuperación de las bacterias en 24 horas. Se asume que si es posible eliminar coliformes con estas condiciones (60 °C, por dos horas), se podrían eliminar otras bacterias enteropatógenas, sensibles a este tratamiento.

Se observó que en el agua dejada en el laboratorio, sin calor ni exposición a radiación solar, la concentración de coliformes y E. coli se mantuvo constante desde el tiempo cero del experimento hasta el final, por lo que comprobó que la eliminación de microorganismos es por efecto de la elevación de la temperatura. Además la turbidez del agua no interviene en la elevación de la temperatura, por lo que la desinfección con la caja absorbadora es efectiva para aguas ligeramente turbias.

9 CONCLUSIONES

- 9.1 El agua contenida en el envase de vidrio (volumen de 640 ml y 17.5 cm de profundidad), expuesto directamente al sol por 4 horas (9:00 - 1:00 pm), presenta mayor reducción en la concentración de Vibrio cholerae O1 seguido del envase doble litro (volumen de 2,040 ml y 31 cm de profundidad), y por último el baño plástico (volumen 6,500 ml y 15 cm de profundidad).
- 9.2 El agua contenida en el envase de vidrio (640 ml y 17.5 cm) expuesto directamente al sol por 4 horas (9:00 - 1:00 pm), presenta mayor reducción del grupo coliforme y Escherichia coli, seguido de el baño plástico (6,500 ml 15 cm), y por último el doble litro (2,040 ml 31 cm).
- 9.3 La reducción de V. cholerae O1, grupo coliforme y E. coli en la desinfección por exposición directa al sol esta relacionada con la radiación solar que recibe y no con la elevación de temperatura del agua, debido a que la temperatura máxima alcanzada fue de 29 - 36 °C.
- 9.4 Se observó que las muestras negativas a la presencia de V. cholerae O1 después de la desinfección por exposición directa al sol del frasco de vidrio, a las 24 horas son positivas recuperándose V. cholerae O1, lo que indica que el daño provocado a este agente por la radiación solar fue subletal.
- 9.5 De la selección de envases introducidos en la caja absorbadora, el envase donde el agua alcanzó una temperatura máxima (60 - 70°C) necesaria para eliminar V. cholerae O1, coliformes y E. coli en la caja absorbadora de calor fue el envase de vidrio ámbar "cerveza"

(1.023 L).

- 9.6 En todas las muestras del agua contenidas en los envases de vidrio ámbar (cerveza) que alcanzaron los 60 °C y permanecieron por dos horas más a esta temperatura, se obtuvo una eliminación total de la concentración V. cholerae O1 (10^5 - 10^6 vibrios/ml), coliformes y E. coli (<1,600 NMP/100 ml).
- 9.7 El efecto de la elevación de la temperatura a 60°C y su mantenimiento a dicha temperatura por 2 horas provoca muerte celular, ya que después de la desinfección la muestra es negativa y luego al día siguiente (tiempo suficiente para que se recupere V. cholerae O1, coliformes y E. coli) la muestra sigue negativa.
- 9.8 No existe correlación entre la temperatura del interior de la caja con la temperatura del agua en los envases, por lo que la temperatura debe ser verificada en el agua, colocando un termómetro en uno de los envases.
- 9.9 La turbidez del agua de 4 UTN (unidades nefelométricas de turbidez) no afecta la eliminación de V. cholerae O1, coliformes y E. coli en la desinfección con la caja absorbadora.
- 9.10 La caja absorbadora se puede utilizar para desinfectar agua en cualquier región de Guatemala, siempre y cuando el agua dentro de los envases de vidrio ámbar "cerveza" llegue a 60 °C y se mantenga a esta temperatura por 2 horas.

- 9.11 El uso de la caja absorbadora en las condiciones evaluadas es más eficaz para desinfección de agua que la exposición directa al sol.
- 9.12 En teoría sería posible la eliminación de otras bacterias enteropatógenas que sean sensibles a los 60C° por dos horas, utilizando la caja absorbadora.

10. RECOMENDACIONES

- 10.1 Se recomienda continuar estudios sobre desinfección de agua por métodos solares, ensayando con otros microorganismos y otros volúmenes de agua.
- 10.2 En los estudios donde se evalúe el efecto de la radiación solar en la sobrevivencia de microorganismos en agua, se recomienda hacer análisis microbiológicos después de las 24 horas del tratamiento para verificar recuperación de los mismos.
- 10.3 En comunidades donde no existe suministro de agua potable, y el abastecimiento de agua proviene de fuentes naturales, se recomienda validar la aceptación y funcionalidad del uso de la caja absorbadora para la desinfección del agua.

11. REFERENCIAS

1. Centers for disease control. A manual for the international training course " Isolation and Identification of Vibrio cholerae". USA: Pan American Health Organization, 1992. 68 p.
2. Mata L. El cólera; historia, prevención y control. Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 1992. XV+366p.
3. Torres MF, et al. Etiología y diagnóstico de laboratorio del cólera. Guatemala: OMS, Doc. tec. No. 1, 1991. 41p.
4. Gudiel MR. Análisis de la situación del cólera a nivel nacional. Boletín Epidemiológico Nacional. Guatemala: Depto. de vigilancia epidemiológica. Vol.7, 1992. 44p. (p.4-10).
5. Scott EG, Fingold SM, Baron EJ. Diagnostic Microbiology. 7a. ed. USA: C.V. Mosby Company, 1986. XVII+914 p.
6. Organización Panamericana de la Salud, Oficina sanitaria panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Programa para el control de enfermedades diarreicas, Guías para el control del cólera. USA: Organización Mundial de la Salud, 1991.
7. Organización Panamericana de la Salud. El cólera en las Américas. Boletín Epidemiológico. USA: Organización Mundial de la Salud. 1993;14:14.
8. Organización Panamericana de la Salud OPS/OMS. Departamento de Vigilancia Epidemiológica, Dirección General de Servicios de Salud. Boletín, Situación epidemiológica del cólera en 1993. Guatemala: Centro de Información y Vigilancia del cólera, 1994;1:3.
9. Balows A, et al. Manual of Clinical Microbiology. 5ta. ed. Washington, DC: American Society for Microbiology, 1991. XVIII+ 1364 p.

10. Burrows W, et al. Tratado de Microbiología. 19 ed. Albert Folch Y Pi, Trad. México: Editorial Interamericana, S.A., 1969. XVI+972 p.
11. Cruz JR, Cano F. Aislamiento de Vibrio cholerae de muestras ambientales: agua. Guatemala: INCAP, 1992. 10p.
12. Elliot EL, Kaysner ChA, Tamplin ML. Metodología para la recuperación, identificación y enumeración de las especies patógenas de Vibrio spp., incluyendo V. cholerae, V. parahaemolyticus, V. vulnificus y otras especies de Vibrio. USA: Food and Drug Administration, 1992. 54p.
13. Chaudhuri K, Bhadra RK, Das J. Cell surface characteristics of environmental and clinical isolates of Vibrio cholerae non-O1. Appl Environ Microbiol. 1992;58:3567-3573.
14. Cruz JR, Cano F. Aislamiento e Identificación de Vibrio cholerae. Guatemala: INCAP, 1992. 6p.
15. Nicoletti G, Nicolosi VM. Diccionario de Bacteriología Humana. Catania: Instituto de Microbiología. Centro de Documentación Científica Menarini. Ediciones Doyma, S.A., 1990. 295p.
16. International Centre for Diarrhoeal Disease Research. Recent Diarrhoea Epidemic in Bangladesh caused by a new strain of Vibrio cholerae non-O1. Glimpse Newsletter, 1993:15 no. 2. 8p.
17. Blake PA. Diseases of humans (other than cholera) caused by vibrios. Ann Rev Microbiol. 1980;34:341-67.
18. Makukutu CA, Guthrie RK. Behavior of Vibrio cholerae in hot foods. Appl Environ Microbiol. 1986;52:824-830.

19. Rice WE, Clifford HJ. Cholera in Peru. *Lancet*. 1991;338:455.
20. Schultz LM, et al. Determination of the Thermal Death Time of Vibrio cholerae in blue crabs (Callinectes sapidus). *J Food Protec*. 1984;47:4-6.
21. Levine MM, et al. Volunteer studies in development of vaccines against cholera and enterotoxigenic Escherichia coli: a review. *Acute Enteric Infections in Children. New Prospects for Treatment and Prevention*. Holland: Biomed Press, 1981;?:443-459p.
22. Collwell RR, et al. Occurrence of V. cholerae serotype O1 in Maryland and Louisiana estuaries. *Appl Environ Microbiol*. 1981; 41:555-558.
23. Hug A, et al. Ecological relationships between Vibrio cholerae and planktonic crustacean copepods. *Appl Environ Microbiol*. 1983;45:275-283.
24. Kaneko T, Collwell RR. The annual cycle of Vibrio parahaemolyticus in Chesapeake Bay. *Microb Ecol*. 4:135-156.
25. Kaper J, et al. Ecology, serology and enterotoxin production of Vibrio cholerae in Chesapeake Bay. *Appl Environ Microbiol*. 37:91-103.
26. Lee J, et al. The incidence of Vibrio cholerae in water, animals and birds in Kent, England. *J Appl Bacteriol*. 1982;52:281-291.
27. Mara D, Cairncross S. Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura. Ginebra: OMS Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente, 1990. VIII+213p.
28. Greenberg AE, Clesceri LS, Eaton Ad. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. 18a ed. USA: APHA-AWWA-WEF, 1992. XXXI+ 1100 p.

29. APHA. Technical Committee on Microbiological Methods for Foods. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. 3a. ed. USA: APHA, 1992. XL+219 p.
30. Organización Panamericana de la Salud, Oficina sanitaria panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. Criterios relativos a la salud y otra información base. Publicación científica No. 506. Vols.3, vol.2, 1987. 349p.
31. Organización Panamericana de la Salud, Oficina sanitaria panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. Control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades. Publicación científica No. 506. Vols.3, vol.3, 1987. 131p.
32. American Water Works Association. Agua su calidad y tratamiento. trad. Jack M. Verrey. México: Centro Regional de ayuda técnica Agencia para el desarrollo internacional (A.I.D) 1968. IX+564p.
33. Wong CS. Investigación del Vibrión cholerae en aguas crudas y tratadas por cloración de las plantas potabilizadoras de la ciudad de Guatemala. Guatemala: USAC, (Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería), 1993. 40p.
34. Departamento de salud ambiental. Desinfección solar de agua potable y soluciones de rehidratación oral. Libre trad. Beirut: UNICEF, 1992. 24p.
35. Organización panamericana de la salud, Organización mundial de la salud. Programa regional de control de enfermedades diarreicas. Putas para el control del cólera. Boletín informativo. Guatemala: Ministerio de salud pública y asistencia social. DGSS/ División de vigilancia de enfermedades, 1991;4:32.

36. ICAITI. Conferencia Centroamericana sobre energía y desarrollo. Honduras: ROCAP, 1981. VI+195p. (p.21-46).
37. Departamento de Desarrollo Energético de la Dirección General de Fuentes Nuevas y Renovables de Energía. Fundamentos sobre el aprovechamiento solar en Guatemala. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas, 1992. 44p.
38. McVeigh JC. Sun power and introduction to the applications of solar energy. England: Pergamon press, 1977. X+208p.
39. Wright J. Radiación solar en superficies horizontales e inclinadas y turbiedad atmosférica en Costa Rica. Costa Rica: Depto. de Física. Universidad Nac. de Heredia, 1992. 13p.
40. Horn M. Basic concepts on solar radiation. Proceedings of the first Latin American school and third International symposium on Non-conventional energy sources. Colombia: World Scientific Publising Co., 1984. 590p. (p.97-113).
41. Programa regional de energía solar. Solarimetría y Evaluación energética solar. Métodos solarimétricos. Quito: OLADE. Vols.2, vol.1, 1983. 98p.
42. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Possibilites for the utilization of solar energy in underdeveloped rural areas. Informal working. Rome: FAO. Bulletin No. 16, ? . II+75p.
43. Howell Y, Bereny JA. Engineer's guide to solar energy. USA: Solar Energy Information Services, 1979. VII+323p.
44. Eggers-Lura A. Solar energy in developing countries. Oxford: The Pergamon European heliostudies, 1979. VII+205p.
45. Ambach W, Blumthaler M, Wendler G. A comparison of ultraviolet radiation measured at an artic and an alpine site. Solar energy. 1991;47:121-126.

46. Block SS. Disinfection, Sterilization and Preservation. 2da. ed., Great Britain: Lea & Febiger, 1977. XV+1049p.
47. Agricultural Research Organization. Peri News, no.5, 1992. 10p.
48. Curtis TP, Duncan M, Silva SA. Influence of pH, oxigen, and humic substances on ability of sunlight to damage fecal coliformes in waste stabilization pond water. *Appl Environ Microbiol.* 1992;58:1335-1343.
49. Puskeppeleit M, et al. Long-term dosimetry of solar UV. radiation in Antartica with spores of Bacillus subtilis. *Appl Environ Microbiol.* 1992;58:2355-2359.
50. Acra A, et al. Sunlighth as disinfectant. *Lancet*, 1989;4:280.
51. Mackenzie T, Ellison RT, Mostow SR. Sunlight and colera. *Lancet.* 1992;340:367.
52. Acra A, et al. Desinfection of oral rehydration solutions by sunlight. *Lancet.* 1980;2:1257-1258.
53. Mendoza MG. Desinfección de agua de bebida a través de su exposición a los rayos solares. Guatemala: USAC, (Tesis de graduación, Facultad de CC.QQ. y Farmacia),1992. 70p.
54. Kreith F, West RE. Economics of solar energy and conservation systems. General principles. USA: CRC Press, Inc. Vols.3, vol.1, 1981. 291p.
55. Duffie JA, Beckman WA. Solar energy thermal processes. USA: John Wiley and Sons Inc., 1974. XVII+386p.
56. Kreider JF, Kreith F. Solar heating and cooling engineering, practical design and economics. USA: Mc GraHill Book Co., 1975.IX+342p.
57. Denton JC, Afgan NH. Future energy production systems, Heat and Mass transfer processes. USA: Academic Press. Vols.2, vol.1, 1976. XI+378.

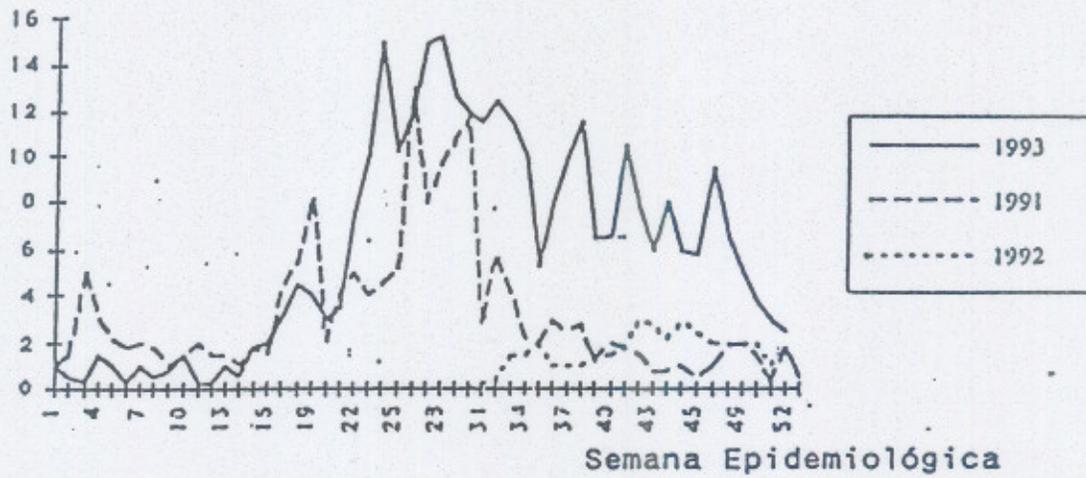
58. Harris NC, Miller CE, Thomas IE. Solar Energy Systems Desing. USA: John Wiley & Sons, Inc.,1985. IX+774p.
59. ICAITI. Aplicaciones de energía solar. Proyecto de leña y fuentes alternas de energía. Honduras: ROCAP, 1981. III+92p.
60. Edwards DK. Solar collector design. USA: The Franklin Institute Press, 1977. VII+64p. (p.31-34).
61. Grupp M, Montagne P, Wackernagel M. A novel advanced box-type solar cooker. Solar energy. 1991;47:107-113.
62. Harder EL. Fundamentals of Energy production. USA: John & and sons, Inc., 1982. XVI+368p.
63. International Development Research Center/Swedish Agency for Research Cooperation with Developing Countries. Research, knowledge in tehe pursuit of change. Canada:IDRC/SAREC, 1991. I+79p.
64. Departamento de Desarrollo Energético de la Dirección General de Fuentes Nuevas y Renovables de Energía. Precocedor solar de granos de caja caliente. Revista de Naciones. 1993;122:13-14.
65. National academy of sciences. Supplement energy form rural development. Renewable resources and alternative technologies for developing countries. Washington: National academy press, 1981. XII+238p.
66. Block SS. Disinfection, sterilization, and preservation. USA:Lea &Febiger. 1977 1049p.

12. ANEXOS

Anexo No. 1

COLERA: TASAS DE INCIDENCIA SEGUN SEMANA EPIDEMIOLOGICA
REPUBLICA DE GUATEMALA 1991-1993.

Tasas de incidencia



Ref. 8

Anexo No. 2
CARACTERISTICAS Y DIFERENCIACION DE Vibrio cholerae O1
BIOTIPOS EL CLASICO Y EL TOR.

Prueba o propiedad	Biotipo	
	el Clásico	El Tor
Aislado en la India	ocasional	común
Aislado en el resto del mundo	muy raro	común
Análisis diferenciales		
Hemólisis de eritrocitos	-	+
Voges Proskauer	-	+
Inhibición de polimixina B (50-U)	+	-
Aglutinación de eritrocitos de pollo	-	+
Lisis por bacteriófagos		
Clásico IV	+	-
FK	+	-
El Tor 5	-	+

SEROTIPOS DE Vibrio cholerae O1.

Serotipo	Antígenos somáticos presentes	Aglutinación en suero absorbido	
		anti- Ogawa	anti- Inaba
OGAWA	A, B	+	-
INABA	A, C	-	+
HIKOSHIMA	A, B, C	+	+

Ref.14.

Anexo No. 3

LONGITUDES DE ONDA ELECTROMAGNETICAS.

Tipo de onda	Longitud (nm)
Cósmica	$0.00 - 9 \times 10^{-6}$
Gamma	$9 \times 10^{-6} - 0.006$
Rayos X	0.006 - 12
Ultravioleta	12 - 380
Luz Visible	380 - 760
Infrarojo	760 - 3000
Ondas mayores	> 3000

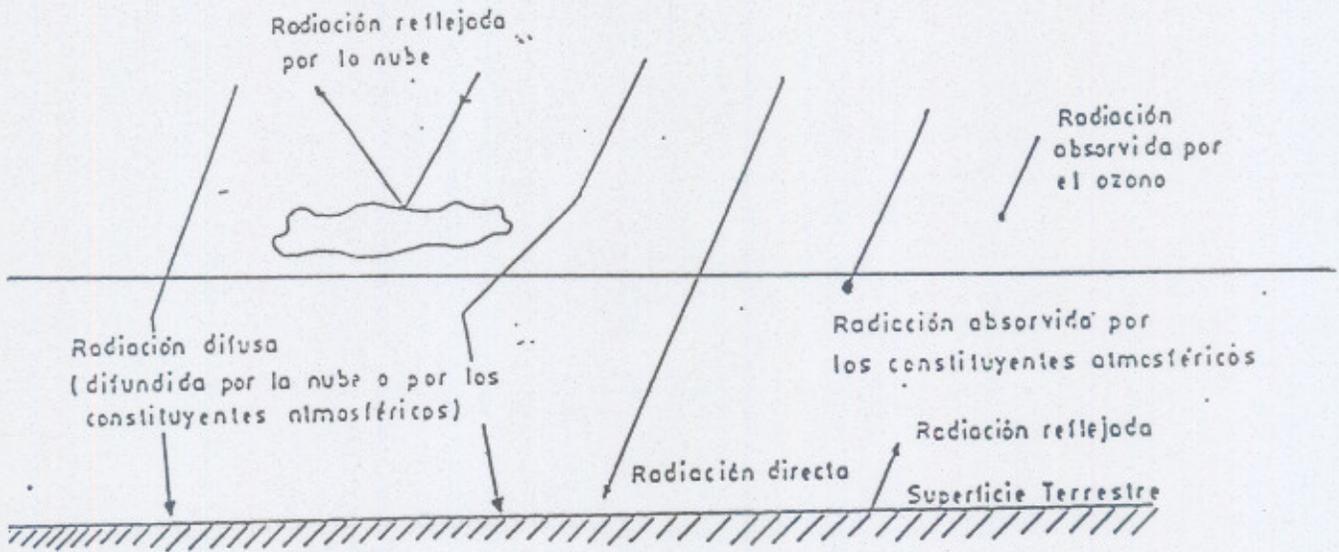
PORTACION ENERGETICA

Tipo de ondas	Porcentaje (%)
Ondas menores	07
Luz visible	48
Infrarojo	29
Ondas mayores	06

Ref.37.

Anexo No. 4

INTERACCION DE LA RADLACION INCIDENTE
EN LA ATMOSFERA



Ref.39.

Anexo No. 5

DATOS PROMEDIO MENSUALES DE HORAS-LUZ, HORAS-SOL,
HORAS-PICO, EN 6 PUNTOS GEOGRAFICOS
DE GUATEMALA.

LUGAR CIUDAD DE GUATEMALA (TEMPLADO-SECO)

E (11.2,8,5.75)	F (11.5,8.1,6.2)	M (11.9,8.28,6.8)
A (12.3,8,6.97)	M (12.7,6.45,6.29)	J (12.85,5.15,5.66)
J (12.77,6.25,6.14)	A (12.47,5.93,6.02)	S (12.07,4.8,5.3)
O (11.65,5.75,5.41)	N (11.1,7.3,5.13)	D (11.1,7.3,5.3)
AÑO (12,6.8,5.96)		

LUGAR LLANOS DE LA FRAGUA (CALIDO- SECO)

E (11.22,7.5,5.1)	F (11.5,8.2,5.8)	M (11.9,9.03,6.52)
A (12.2,8.5,6.6)	M (12.7,7.8,6.4)	J (12.9,6.76,6.0)
J (12.79,7.72,6.35)	A (12.48,7.67,6.34)	S (12.6,85,5.91)
O (11.6,6.9,5.5)	N (11.3,7.3,5.1)	D (11.1,6.92,4.8)
AÑO (12,7.6,5.88)		

LUGAR COBAN (TEMPLADO- HUMEDO)

E (11.19,5.18,3.7)	F (11.5,5.5,4.2)	M (11.9,7.28,5.3)
A (12.35,6.9,5.37)	M (12.72,6.62,5.22)	J (12.9,4.94,4.39)
J (12.81,5.4,4.6)	A (12.5,5.2,4.5)	S (12.0,4.6,4.1)
O (11.6,4.1,3.6)	N (11.27,4.5,3.5)	D (11.1,4.7,3.3,4)
AÑO (12,5.44,4.34)		

LUGAR HUEHUETENANGO (FRIO- SECO)

E (11.2,8,6.1)	F (11.5,8.,5,6.8)	M (11.9,9,7.7)
A (12.3,8.1,7.7)	M (12.7,6,6,7)	J (12.9,5,7,6,7)
J (12.8,7,1,7,2)	N (11.28,6,7,5,8)	D (11.1,7,8,5,9)
AÑO (12,7,17,6,73)		

(continuación)

LUGAR QUETZALTENANGO (FRIO- HUMEDO)

E (11.23,8.3,5.7)	F (11.5,8,6.1)	M (11.9,8.2,6.7)
A (12.34,7.6,6.6)	M (12.7,5.9,5.8)	J (12.87,4.9,5.2)
J (12.78,6.3,5.9)	A (12.48,5.8,5.7)	S (12.4.5,4.9)
O (11.65,5.5,5.08)	N (11.3,6.8,5.2)	D (11.13,7.4,5.4)
AÑO (12,6.67,5.57).		

LUGAR PUERTO SAN JOSE (LITORAL)

E (11.28,9.35,4.95)	F (11.55,9,5.3)	M (11.9,8.9,5.7)
A (12.32,7.7,5.6)	M (12.65,6,5.2)	J (12.8,6,5.1)
J (12.73,7.1,5.4)	A (12.45,7.22,5.4)	S (12.6.3,5.1)
O (11.67,7.4,5)	N (11.3,9,4.9)	D (11.19,9.3,4.8)
AÑO (12,7.8,5.22)		

LUGAR CIUDAD DE GUATEMALA (TEMPLADO-SECO)

PROMEDIO NACIONAL ANUAL

HORAS PICO= 5.33

HORAS SOL= 6.47

LUGAR MAS PROPICIO= HUEHUETENANGO

LUGAR MENOS PROPICIO= COBAN

MEJOR MES= MARZO, ABRIL

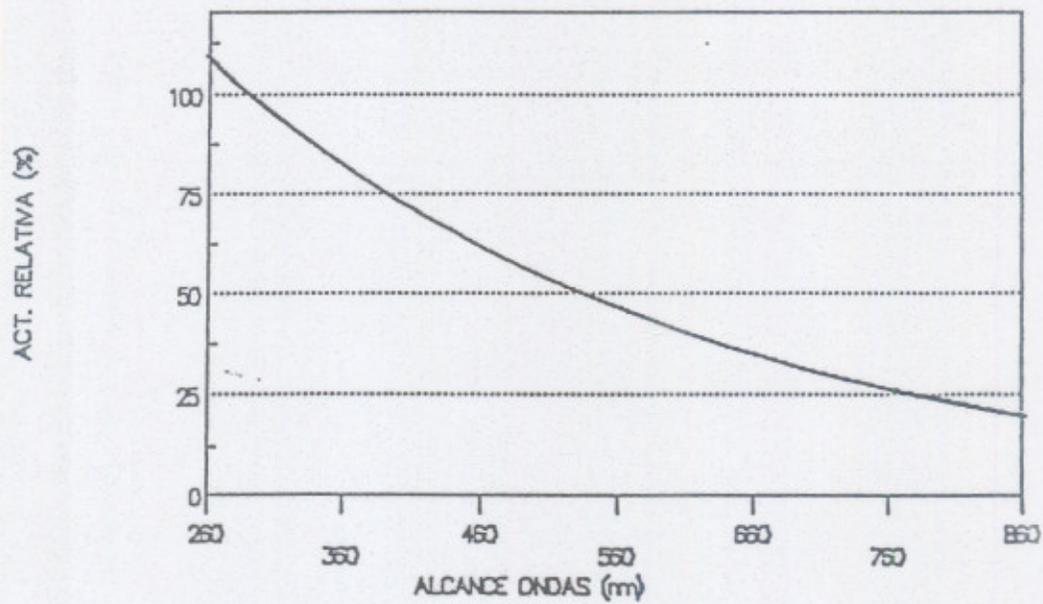
PEOR MES= SEPTIEMBRE Y OCTUBRE

MAXIMA RADIACION= HUEHUETENANGO, MARZO Y ABRIL
7.67 HORAS PICO

MINIMA RADIACION= COBAN, DICIEMBRE 3.39 HORAS PICO

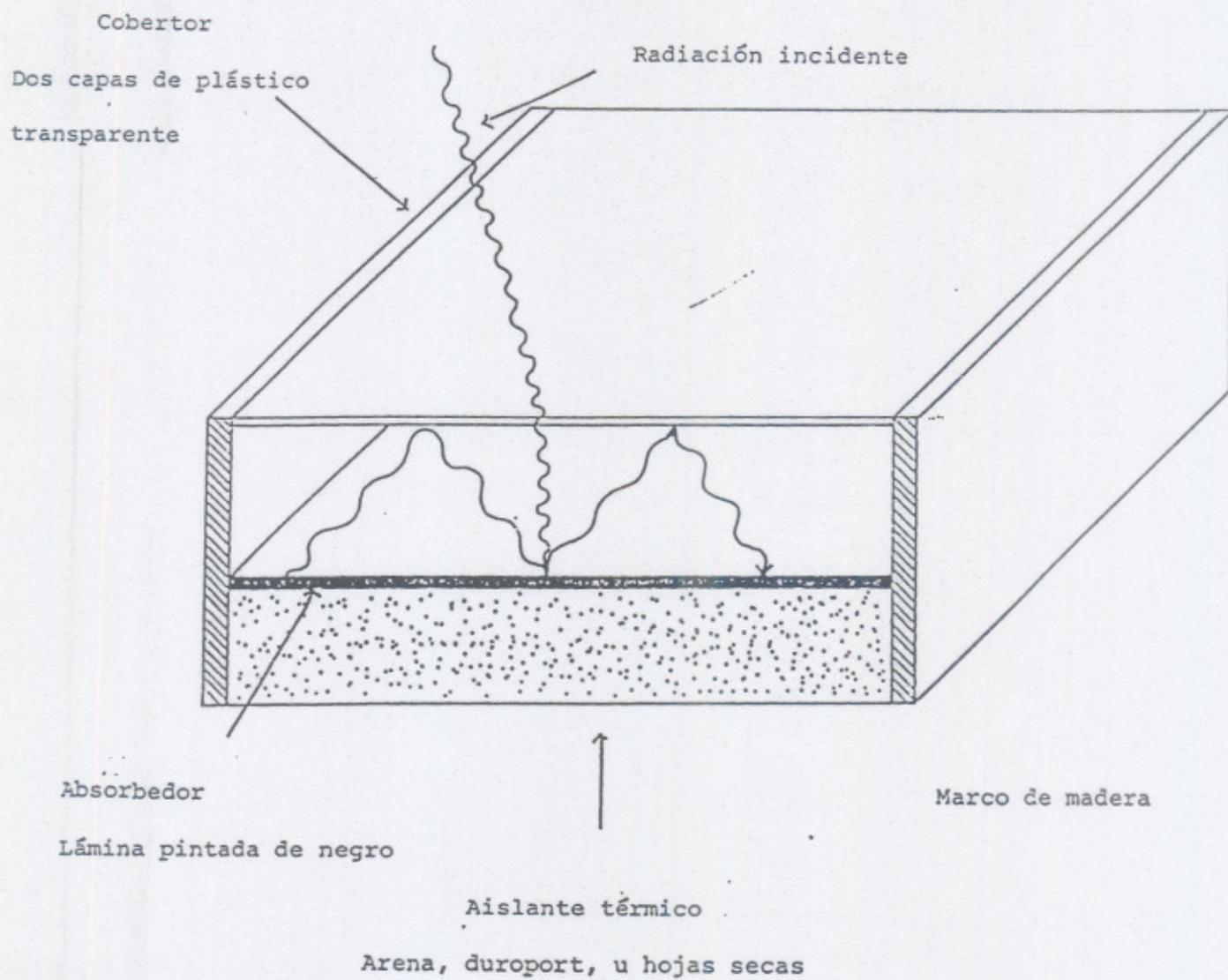
Ref.37.

EFFECTO GERMICIDA RELATIVO DE RADIACION SOLAR EN BACTERIAS COLIFORMES



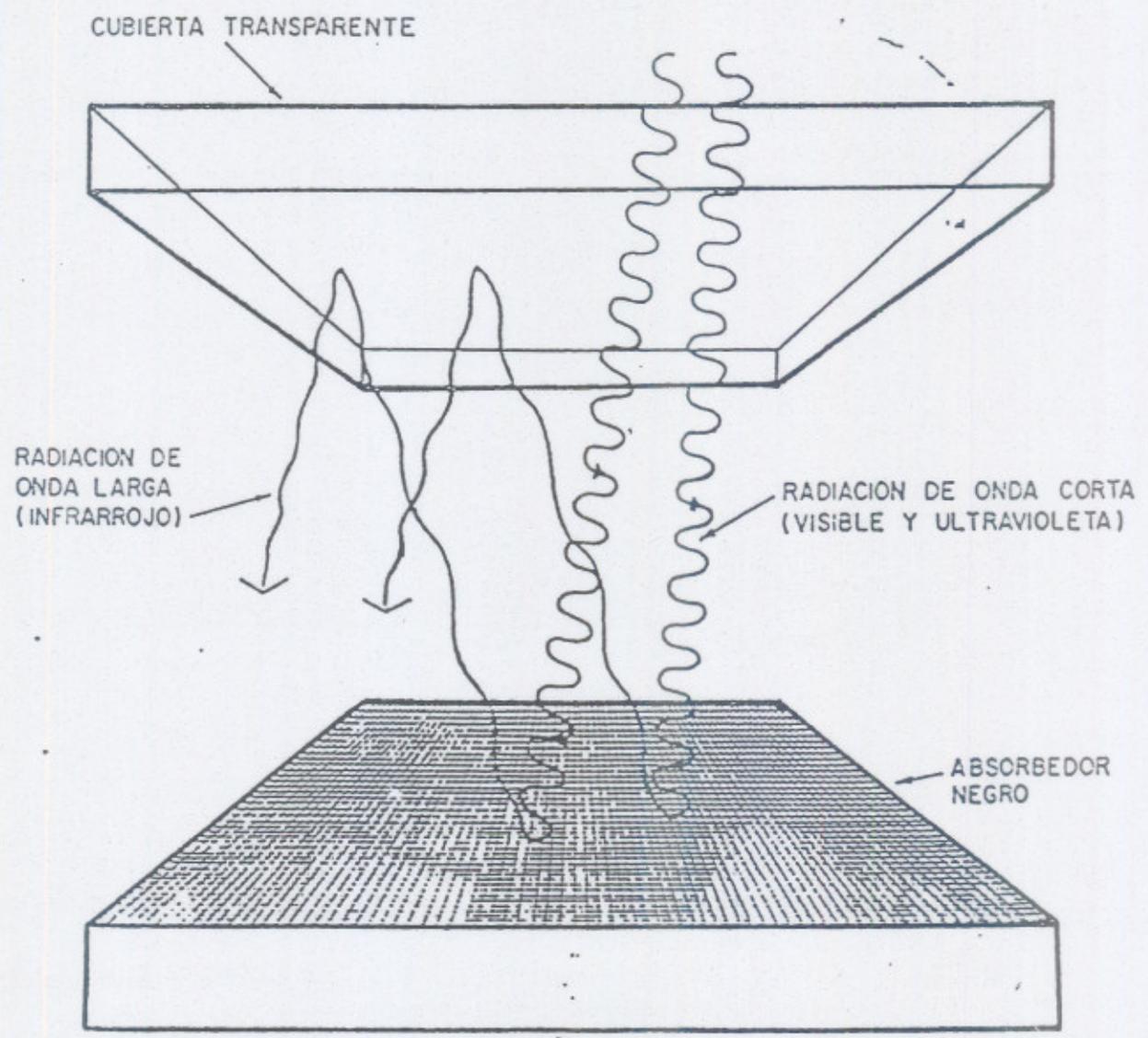
Ref.34.

Anexo No. 7
DISEÑO DE LA CAJA ABSORBEDORA



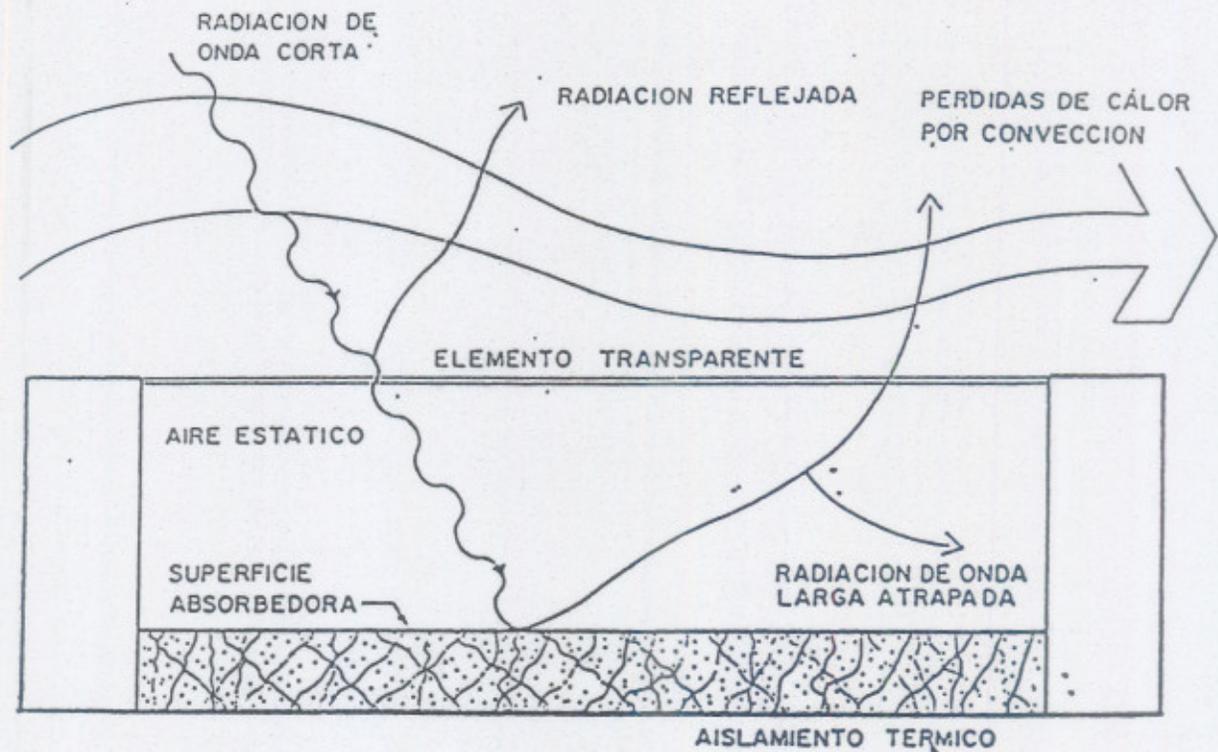
Ref.59.

Anexo No.8
TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA CAJA ABSORBEDORA.



Ref.59.

Anexo No. 9
CAPTACION DE ENERGIA RADIANTE Y EFECTO
DE INVERNADERO EN LA CAJA ABSORBEDORA.



La radiación solar de onda corta penetra el plástico y calienta la superficie oscura del absorbedor, al calentarse dicho cuerpo emite energía pero a una longitud de onda mayor, ésta no puede atravesar el plástico, rebotando de nuevo hacia el absorbedor, quedando atrapada entre el plástico y el absorbedor o cuerpo negro.

Ref.59.

Tabla No. 1
CONCENTRACION DE VIBRIO CHOLERAE O1 EN EL AGUA DE LOS
RECIPIENTES DOBLE LITRO, ENVASE DE VIDRIO, Y BAÑO PLASTICO
EN LOS DIFERENTES TIEMPOS DE EXPOSICION AL SOL.

No M U E S T R A	Concentración inicial <u>V. cholerae</u> O1 * UFC/ml	RECIPIENTES					
		Concentración de <u>V. cholerae</u> O1 UFC/ml Después del Tratamiento					
		DOBLE LITRO		VIDRIO INCASA		BAÑO PLASTICO	
		horas		horas		horas	
		2	4	2	4	2	4
1	1.8×10^6	1×10^2	1×10^2	2×10^3	1×10^2	4×10^3	1×10^2
2	3.0×10^5	7×10^3	1×10^2	7×10^2	6×10^2	2×10^3	3×10^4
3	1.9×10^6	2×10^4	1×10^3	1×10^3	0	2×10^5	6×10^4
4	5.7×10^5	2×10^4	30	1×10^2	0	1×10^5	10
5	4.0×10^4	2×10^4	5×10^3	7×10^2	1×10^2	6×10^4	1×10^3
6	2.0×10^5	4×10^4	2×10^4	2×10^4	2×10^2	2×10^5	7×10^4
7	5.0×10^6	1×10^4	5×10^3	1×10^2	0	9×10^4	6×10^4
8	2.8×10^5	1×10^4	1×10^2	2×10^2	0	3×10^3	1×10^3

* UFC/ml = Unidades formadoras de colonia por mililitro.

2 = Recuento de V. cholerae O1 por mililitro, con horas de exposición al sol.

4 = Recuento de V. cholerae O1 por mililitro, con 4 horas de exposición al sol.

Tabla No. 2

CONCENTRACION DE VIBRIO CHOLERAE O1 EN AGUA DEL ENVASE DE VIDRIO EXPUESTO DIRECTAMENTE AL SOL A LAS 2 Y 4 HORAS DE DESINFECCION Y RECUPERACION AL DIA SIGUIENTE.

Concentración de <u>V. cholerae</u> O1 * UFC/ml en 2 horas de exposición al sol	Concentración de <u>V. cholerae</u> O1 UFC/ml en 4 horas de exposición al sol	Recuperación al día siguiente Presencia de <u>V. cholerae</u> O1
1700	136	
690	600	
1000	0	+
100	0	+
710	150	
21000	267	
100	0	+
2000	0	+

* UFC/ml = Unidades formadoras de colonia por mililitro.

Tabla No. 3

**TEMPERATURAS MAXIMAS ALCANZADAS EN EL AGUA EN LA
DESINFECCION POR EXPOSICION DIRECTA AL SOL EN LOS
ENVASES DOBLE LITRO, ENVASE DE VIDRIO Y BAÑO PLASTICO.**

No. ENSAYO	TEMPERATURAS MAXIMAS ALCANZADAS GRADOS C°		
	Doble litro	Envase de vidrio	Baño plástico
1	32	36	32
2	30	35	31
3	29	32	31
4	30	33	33
5	30	33	32
6	34	33	32
7	30	33	32
8	31	33	32

Tabla No. 4

CONCENTRACION DE DE VIBRIO CHOLERAE O1 EN EL AGUA DE LOS
 RECIPIENTES DE CERVEZA EN LA DESINFECCION CON LA CAJA
 ABSORBEDORA (2 HORAS A 60C°).

No. de muestra	Concentración <u>V.cholerae</u> O1 * UFC/ml antes del tratamiento	Concentración <u>V.cholerae</u> O1 UFC/ml después del tratamiento	Presencia <u>V.cholerae</u> UFC/ml día siguiente	Control <u>V.cholerae</u> UFC/ml
1 y 1a	2.8x10 ⁵	0	0	1.0x10 ⁵
2 y 2a	2.5x10 ⁵	0	0	1.0x10 ⁵
3 y 3a	4.0x10 ⁴	0	0	1.0x10 ⁴
4 y 4a	9.0x10 ⁴	0	0	7.0x10 ⁴
5 y 5a	1.7x10 ⁵	0	0	8.0x10 ⁴
6 y 6a	1.3x10 ⁵	0	0	9.0x10 ⁴
7 y 7a	2.0x10 ⁵	0	0	1.8x10 ⁵
8 y 8a	3.9x10 ⁵	0	0	1.6x10 ⁵
9 y 9a	1.0x10 ⁵	0	0	8.0x10 ⁴
10 y 10a	1.5x10 ⁵	0	0	9.0x10 ⁴

* UFC/ml = Unidades formadoras de colonia por mililitro.

Tabla No. 5
CONCENTRACION DE COLIFORMES Y PRESENCIA DE E. COLI EN AGUA
ANTES Y DESPUES DE LA DESINFECCION POR EXPOSICION DIRECTA AL
SOL DE LOS ENVASES - DOBLE LITRO, ENVASE DE VIDRIO
Y BAÑO PLASTICO.

M	Antes de desinfección			Después de desinfección		
	Coliformes * NMP/100 ml			Coliformes T,F, y <u>E. coli</u> NMP/100 ml		
	Totales	Fecales	<u>E.coli</u>	Doble Litro	Vidrio Incasa	Baño plástico
1	>1600	>1600	+	CT 80 CF < 2 E.c +	CT 30 CF < 2 E.c -	CT 170 CF < 2 E.c -
2	>1600	>1600	+	CT 4 CF < 2 E.c -	CT 4 CF 4 E.c +	CT 9 CF < 2 E.c -
3	>1600	>1600	+	CT 170 CF 170 E.c +	CT 30 CF < 2 E.c-	CT 170 CF 4 E.c-
4	>1600	>1600	+	CT < 2 CF < 2 E.c -	CT < 2 CF < 2 E.c -	CT 4 CF < 2 E.c -
5	>1600	>1600	+	CT 9 CF < 2 E.c -	CT < 2 CF < 2 E.c -	CT 9 CF < 2 E.c -
6	>1600	>1600	+	CT 4 CF < 2 E.c -	CT < 2 CF < 2 E.c -	CT 4 CF < 2 E.c -
7	>1600	>1600	+	CT 4 CF < 2 E.c -	CT 4 CF < 2 E.c -	CT 9 CF < 2 E.c -
8	>1600	>1600	+	CT 900 CF 14 E.c +	CT 280 CF < 2 E.c -	CT 80 CF 4 E.c +

* NMP/ml = Número más probable por 100 mililitros.
 CT = Coliformes totales (NMP/100 ml)
 CF = Coliformes fecales (NMP/100 ml)
 E.c = Presencia de E. coli.

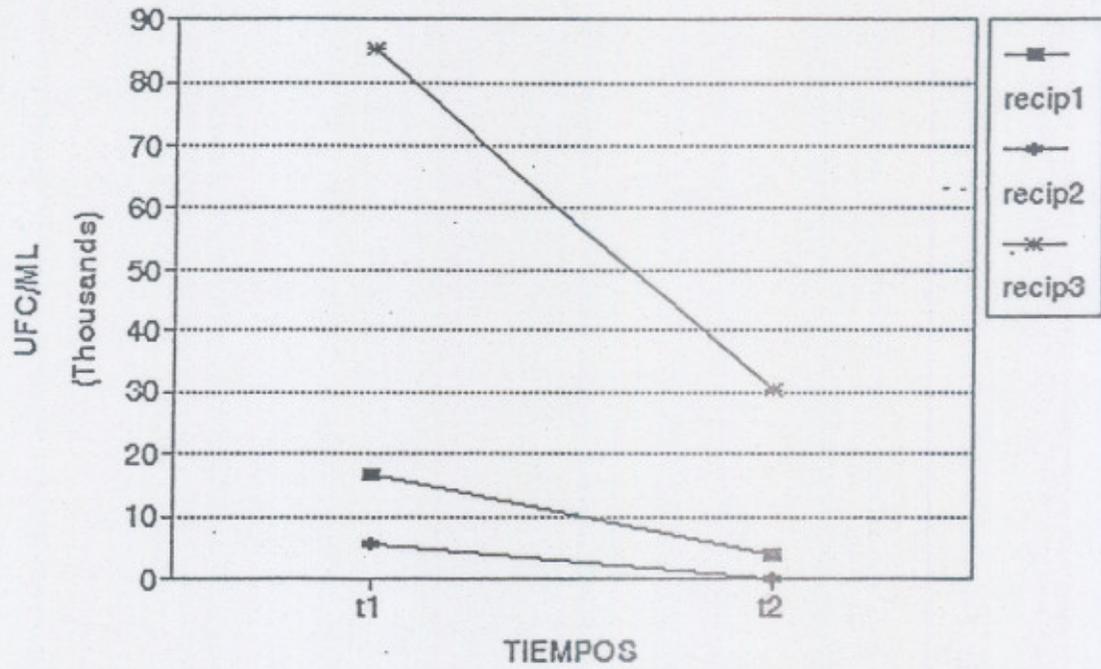
Tabla No. 6

CONCENTRACION DE COLIFORMES Y E. COLI EN AGUA ANTES Y DESPUES DE LA DESINFECCION EN LA CAJA ABSORBEDORA A 60C° POR 2 HORAS.

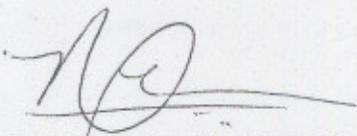
Muestra	Antes de desinfección			Después de desinfección			R
	Coliformes * NMP/100 ml						
	T	Fecales	E coli	T	Fecales	E coli	
1 y 1a	>1600	>1600	+	<2	<2	-	-
2 y 2a	>1600	>1600	+	<2	<2	-	-
3 y 3a	>1600	>1600	+	<2	<2	-	-
4 y 4a	>1600	>1600	+	<2	<2	-	-
5 y 5a	>1600	>1600	+	<2	<2	-	-
6 y 6a	>1600	>1600	+	<2	<2	-	-
7 y 7a	>1600	>1600	+	<2	<2	-	-
8 y 8a	>1600	>1600	+	<2	<2	-	-
9 y 9a	>1600	>1600	+	<2	<2	-	-
10 y 10a	>1600	>1600	+	<2	<2	-	-

* NMP/100 ml = Número más probable por 100 mililitros.
 T = Coliformes totales
 R = Recuperación de los microorganismos al día siguiente.

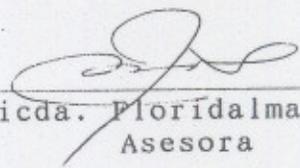
GRAFICA DE INTERACCION TIEMPO-RECIPIENTE



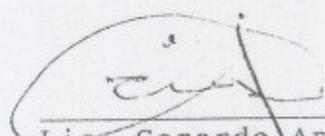
Recipiente 1: Doble litro
Recipiente 2: Frasco de vidrio
Recipiente 3: Baño plástico



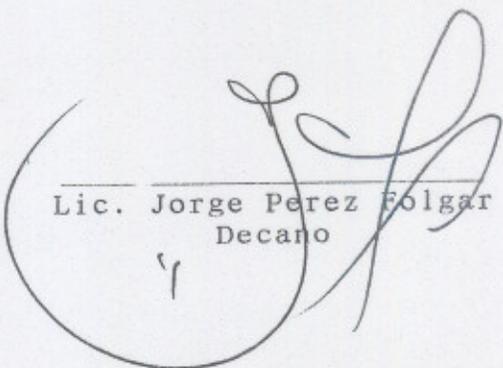
Nancy Elizabeth Quan Serrano
Tesisista



Licda. Floridalma Cano
Asesora



Lic. Gerardo Arroyo
Director



Lic. Jorge Perez Folgar
Decano