Validación del Método SODIS como alternativa para la Desinfección del Agua en la Ciudad de Catacamas, Departamento de Olancho

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título
de Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente
en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por:

María Alejandra Claure Oviedo

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2006

La autora concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan lo derechos de autor.

María Alejandra Claure Oviedo

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2006

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia, a mis padres por haber sido consistentes en sus decisiones, por enseñarme a poner empeño a las cosas que hago, a mis tías, tíos y primos por enseñarme a cuidar de los detalles, a ser agradecida con lo que tengo y a luchar por alcanzar mis sueños, a mi abuelitos: Haydeé y Manuel porque siempre están presentes cuidándome, alentándome a no rendirme ante las dificultades, a dar lo mejor. A mis dos fuentes de inspiración: José y Lionel, mis hermanos menores.

A mis familias adoptivas: Murakami, Akisada, Mayumi, Ordoñez, Gálvez, Sanders, Sarmiento por haberme cobijado en su hogar y considerado parte de su familia.

A mis amigos, hermanos del alma: Cindy, Limbania, Jean, Fransen, Cristian, David, Leslie, Bertha y Migueles a quienes debo muchas tardes de alegría, comprensión y aliento.

A la "pequeña" Eliana y a Lena porque siempre me hacen reír con sus locuras.

A mis dos vecinas favoritas María Augusta y María José con quienes compartí momentos muy bellos en estos cuatro años de estadía en Zamorano.

A mis compañeros de trabajo: Teresa, Fernando, Álvaro, Neptalí, Ricardo e Ingenieros por haberme enseñado tanto conocimientos técnicos como valores que me servirán para toda la vida.

A mis profesores por apoyarme y ayudarme a ser una persona de formación íntegra.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por cada salida de sol, porque cada día representa un comienzo nuevo, lleno de hazañas y retos por vencer.

Agradezco a mis seres queridos porque aunque estén lejos o cerca, están siempre conmigo; creciendo, cambiando, adaptándose y disfrutando de la vida.

Agradezco a la Dra. Mily Cortés, por asesorarme en el desarrollo, corrección de la tesis, por sus consejos y su preocupación.

Agradezco a Wilfredo Domínguez, por tenerme paciencia, enseñarme a realizar análisis de agua por el método de filtración de membrana, facilitarme material y bibliografía.

Un agradecimiento especial a Éricka Tenorio, mi asesora, quien me facilitó el material a través del Proyecto USAID/MIRA y estuvo pendiente de mi avance.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

Agradezco a Don Obdulio Montes, Técnico en Salud Ambiental (TSA) del Centro de Salud de Catacamas por permitirme hacer uso de sus equipos (incubadora) durante el tiempo que duró el experimento.

Agradezco a la gente que trabaja en la Planta de Tratamiento de Agua de la Ciudad de Santa María del Real porque me enseñaron como utilizar el potenciómetro (medición de pH) y turbidímetro para realizar los análisis correspondientes a las muestras de agua.

Agradezco al Proyecto USAID/MIRA por el apoyo técnico, económico y por haberme permitido realizar mi tesis en la Sede de Catacamas durante el programa de estudio-trabajo.

A la Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente por haberme brindado la oportunidad de presentar tesis este año, por el financiamiento y material de laboratorio prestado para la realización de la tesis.

RESUMEN

Claure, María. 2006. Validación del Método SODIS como Método para la Desinfección del Agua en la Ciudad de Catacamas, Departamento de Olancho. Tesis de Graduación del Programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Zamorano, Honduras, 81p.

En Honduras tan solo el 14% de la población del área rural tiene acceso a agua potable por lo que las enfermedades gastrointestinales representan la segunda causa de muerte en niños menores de 5 años. Aunado a esto, la falta de higiene o la mala manipulación del agua en el hogar hacen fácil su recontaminación. El método SODIS (Solar Disinfection) surge como una alternativa de bajo costo y fácil aplicación para el tratamiento del agua para consumo en el hogar. La sinergia entre luz y calor conlleva a la desinfección del agua y reduce la propensión a enfermedades causadas por patógenos contenidos en ésta, como ser: bacterias, virus u otros patógenos. La finalidad del estudio consistió en validar la aplicación del método SODIS en la Ciudad de Catacamas, Departamento de Olancho de acuerdo a las condiciones climáticas imperantes en la región. El experimento se realizó en el mes de julio de 2006 en la ciudad de Catacamas. Se utilizaron tres concentraciones diferentes de bacterias coliformes fecales diluidas en botellas de 2 litros PET exponiéndolas al sol por un lapso de 8 horas. Se utilizaron dos métodos de análisis de agua para verificar la disminución de la población de coliformes: Filtración de membrana y placas Petrifilm 3M®. Los resultados para los días completamente despejados fueron de una completa inactivación de bacterias coliformes fecales contabilizadas como UFC (unidades formadoras de colonias/unidad de volumen) es decir una eficiencia del 100%. Para los días nublados fue necesaria la exposición por dos días consecutivos y en algunos casos aún así no se alcanzó el 100% de eficiencia. Se comprobó que la sinergia entre la radiación ultravioleta y temperatura conllevan a la disminución de las poblaciones de bacterias puesto que la temperatura del agua alcanzó como máximo 45°C al medio día, no llegando a 72°C (temperatura óptima para una desinfección al 100% de coliformes fecales). La otra parte de la energía necesaria para la inactivación es posible que haya sido completada a través de la energía lumínica (radiación ultravioleta) demostrando la capacidad del método para la desinfección de agua domiciliar ajustándolo a las condiciones climáticas de Catacamas, Departamento de Olancho.

Palabras Claves: inactivación, coliformes fecales, UFC, análisis de agua, filtración de membrana, Petrifilm 3M

CONTENIDO

Portada.....i
Portadilla.....ii
Autoría.....iii
Página de Firmas.....iv
Dedicatoria.....v
Agradecimientos.....vi
Agradecimiento a Patrocinadores.....vii
Resumen.....viii
Contenido.....ix
Índice de Figuras.....xi
Índice de Cuadros.....xiii
Índice de Anexos.....xiv
Abreviaturas y Símbolos.....xv

1 INTRODUCCIÓN..... 1
1.1 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO..... 2
1.1.1 Limitantes..... 2
1.1.2 Alcance..... 3
1.2 OBJETIVOS..... 3
1.2.1 General..... 3
1.2.2 Específicos..... 3
1.3 HIPÓTESIS..... 4

2 REVISIÓN DE LITERATURA..... 5
2.1 ACCESO AL AGUA POTABLE EN HONDURAS..... 5
2.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA POTABLE DE CATACAMAS..... 5
2.3 CONTAMINACIÓN..... 6
2.3.1 Tipos de Contaminación..... 6
2.3.2 Contaminación Microbiológica del agua..... 6
2.4 COLIFORMES FECALES Y *ESCHERICHIA COLI*..... 7
2.5 DESINFECCIÓN..... 8
2.6 TECNOLOGÍAS PARA MEJORAR LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA..... 8
2.7 MÉTODOS PARA DESINFECCIÓN DEL AGUA..... 8

CONTINUACIÓN

2.8 MÉTODO SODIS PARA DESINFECCIÓN DEL AGUA..... 9
2.8.1 Ventajas y limitaciones del Método..... 10
2.8.2 Efecto de la aplicación del método SODIS en los patógenos..... 10
2.8.3 El factor Clima: Efecto de la Radiación Solar (radiación UV e infrarroja)... 11
2.8.4 Turbidez del Agua..... 14
2.8.5 Material y Forma de los Recipientes..... 14
2.9 MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUA..... 15
2.9.1 Filtración de Membrana..... 15
2.9.2 Petrifilm..... 16
2.9.3 Intervalo de tiempo entre recolección y tipo de muestras..... 16

3 MATERIALES Y MÉTODOS..... 18
3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO..... 18
3.2 ARMADO DE LA ESTRUCTURA..... 19
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL..... 19
3.4 PREPARACIÓN DE LA SUSPENSIÓN BACTERIANA..... 19
3.4.1 Esterilización..... 19
3.4.2 Inoculación..... 19
3.4.3 Tipo de Agua..... 20
3.4.4 Preparación de las botellas..... 20
3.5 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO..... 21
3.6 PARÁMETROS ANALIZADOS..... 21
3.6.1 Temperatura..... 21
3.6.2 Radiación Solar..... 22
3.6.3 Turbidez..... 22
3.6.4 pH..... 22
3.6.5 Análisis Microbiológico..... 23

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 24
4.1 ÉPOCA DE EXPERIMENTACIÓN..... 24
4.2 PARÁMETROS ANALIZADOS..... 24
4.2.1 Temperatura y Precipitación durante el experimento..... 24
4.2.2 Radiación Solar..... 27
4.2.3 Eficiencia en la inactivación de coliformes fecales vs Radiación Solar..... 28
4.2.4 pH y Turbidez..... 29

5 CONCLUSIONES..... 31

6 RECOMENDACIONES..... 33

7 BIBLIOGRAFÍA..... 35

8 ANEXOS..... 39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1. Exposición de las botellas de 2 litros PET en láminas de zinc. Fuente: Fundación SODIS, 2006. 9

2: Pérdida de energía solar disponible en diferentes condiciones climáticas (Acra, 1989). 12

3. Factores que afectan a la radiación ultravioleta (INM España, 2006) 13

4. Mapa detallando el centro de estudio, el Centro de Salud de Catacamas y la Planta de Tratamiento de Santa María del Real. Fuente: La Autora 18

5. Temperatura Ambiente, del Agua y de la Lámina, y Precipitación en los días de exposición 25

6. Poblaciones iniciales y Finales de las disoluciones A, B y C vs la temperatura ambiente en los primeros 3 días de exposición 26

7. Comparación entre la Población Inicial y Final de UFC en las tres disoluciones vs la Temperatura Ambiente Promedio 27

8. Eficiencia del método SODIS en la inactivación de la población de UFC a diferentes disoluciones vs la Temperatura Ambiente Promedio de cada día. 28

9. Eficiencia del método SODIS en la inactivación de la población de UFC a diferentes vs la Radiación Incidente de cada día 29

10. Comparación entre el pH inicial y final de las disoluciones frente al pH del testigo durante los días de experimentación 29

11. Turbidez inicial y final de la disolución A 30

12. Comparación entre el pH inicial y final de la disolución B y la muestra testigo. 55

13. Comparación entre el pH final e inicial de la disolución C y la muestra testigo 55

14. Comparación entre la Turbidez inicial y Final en los días de experimentación de las disoluciones B y C 56

15 Comparación entre los niveles de eficiencia alcanzados por las tres disoluciones en el segundo día de exposición al sol vs la Temperatura Ambiente 57

16. Comparación entre los niveles de eficiencia alcanzados por las tres disoluciones en el segundo día de exposición al sol vs la Temperatura Ambiente 58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

1. Síntomas de enfermedades causadas por la presencia de bacterias en el agua..... 6

2. Comparación entre las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de desinfección en el hogar..... 8

3. Resistencia térmica de microorganismos..... 13

4. Fechas de Experimentación..... 24

5. Precipitación en mm del mes de julio de la Ciudad de Catacamas..... 24

6. Nubosidad registrada en los días de experimentación..... 25

7. Cálculo de la Radiación Solar Incidente (Rs)..... 27

8. Datos obtenidos durante el Segundo día de exposición..... 57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo

1. Micrografía electrónica de E. Coli en crecimiento en un medio de cultivo.. 40
2. Descripción de los principales métodos de desinfección de agua en el hogar..... 41
3. Set de filtración para análisis microbiológico por método de filtración de membrana..... 42
4. Armado de la estructura..... 43
5. Cálculo de las disoluciones..... 44
6. Cálculo de la Radiación Solar diaria..... 46
7. Mapa sobre la radiación solar directa a lo largo del año en Honduras..... 50
8. Radiación Solar de Honduras Mensual..... 51
9. Comparación entre pH inicial de la muestra testigo con el pH de las disoluciones B y C..... 55
10. Comparación entre la turbidez inicial y final de las disoluciones B y C vs la muestra testigo..... 56
11. Eficiencia del método en el segundo día de exposición..... 57
12. Análisis de calidad de agua efectuado por USAID/MIRA en Junio de 2006 59
13. Datos obtenidos durante el experimento..... 60
14. Caracterización bacteriológica del agua para consumo a nivel de Cabeceras Municipales..... 62
15. Reportaje de Periódico El Heraldo sobre la utilización del Método..... 65

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

CESAMO	Centro de Salud de Municipios de Olancho
CESCCO	Centro de Estudios y control de Contaminantes
EAWAG/SANDEG	Instituto Federal Suizo de Ciencia Ambiental
INM	Instituto Nacional de Meteorología de España
IRDC	Centro de Investigación para el Desarrollo (International Development Research Center)
MIRA	Manejo Integrado de Recursos Ambientales
NTU	Unidades nefelométricas de turbidez (medida de turbidez del agua)
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PET	Politereftalato de etileno
PVC	Policloruro de Vinilo
SANAA	Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados
SODIS	Solar Disinfection
UFC	Unidades Formadoras de Colonia
UNA	Universidad Nacional de Agricultura
USAID	Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (United States Agency for International Development)
WSP	Water and Sanitation Program

1. INTRODUCCIÓN

En el año 1992 en la Cumbre sobre el Desarrollo Sostenible en Johannesburgo, Sudáfrica, se acordaron los Objetivos del Milenio. Uno de los objetivos específicos propuestos consiste en disminuir a la mitad el número de personas sin acceso al agua segura hasta el 2015. (Sobsey, 2006)

Entre el año 1990 y el año 2000 en varios países de América Latina se han realizado esfuerzos para incrementar la cobertura de acceso al agua segura. Sin embargo, según informes de la OPS/OMS 2000, en América Latina 76 millones de personas carecen de acceso al agua segura y 53 millones se abastecen de sistemas de "fácil acceso", tales como: bombas manuales, piletas públicas y captación de lluvia, que asociado a factores de higiene y educación sanitaria, representan un riesgo significativo en la salud por la recontaminación del agua debido al inadecuado almacenamiento y manipuleo antes de su consumo.

A través de los años, las instituciones encargadas de proveer agua potable a la población hondureña se han avocado principalmente a la construcción de complejos sistemas de agua. Sin embargo, la mayoría de ellos no han logrado abastecer a la mayor parte de las personas que viven en las zonas periféricas o gente que vive en zonas rurales, quienes en su mayoría se abastecen de agua sin ningún tipo de tratamiento. Si bien el gobierno de Honduras triplicó el número de sistemas bajo cloración de 567 a 1,500 para el 2003 esta cifra todavía representa un tercio de los 4,500 sistemas que existen en el país (WSP, 2004). Sumado a esto la falta de higiene en el hogar, como lavarse las manos antes de manipular cualquier alimento o como el hecho de depositar el agua en recipientes sin previa limpieza hacen fácil la proliferación de enfermedades gastrointestinales (Trevett *et al.*, 2004)

Un método de obtención de agua segura, accesible para los habitantes de Catacamas es la desinfección solar. De acuerdo a WSP (2004), la idea de desinfección solar fue investigada por primera vez por Aftim Acra en 1984. En 1991 un equipo de investigación del Instituto Federal Suizo de Ciencia Ambiental y Tecnología (EAWAG/SANDEG) empezó a estudiar el potencial de este método para la inactivación de bacterias y virus. Para Latinoamérica, la Fundación SODIS empezó labores en Bolivia en el año 2000, mientras que en Centro América empezó entre el año 2001 y el año 2003. (Wegelin *et.al*, 2005)

Según un informe elaborado por Rivera y Funes en el año 2003, en Honduras se realizaron siete proyectos piloto a cargo del Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO) en cuatro aldeas del Municipio de Ojojona, (203 familias

beneficiarias). En el Cedral, Municipio de Choluteca el 83% de las 60 familias beneficiarias todavía siguen utilizando este método para desinfección de agua en el hogar, debido a su funcionalidad, practicidad, adaptabilidad y disponibilidad de materiales.

La técnica consiste en llenar completamente una botella de plástico (PET) de volumen de dos litros y exponerla al sol durante un lapso de 8 horas. Dependiendo de las condiciones climáticas, en días muy calurosos y despejados el tiempo necesario para que el método funcione se puede reducir hasta 5 horas. La sinergia Luz Ultravioleta - aumento de temperatura del agua causado por su exposición al sol genera que los patógenos que se encuentran en el agua pierdan estabilidad y comience a disminuir su población con el paso de las horas.

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La desinfección solar del agua (SODIS) es una solución simple, de bajo costo y ambientalmente sostenible para el tratamiento de agua para consumo humano a nivel doméstico en lugares en los que la población consume agua sin ningún tipo de tratamiento. El mismo ha sido probado como válido en varios sitios (Sommer *et.al*, 1997). Este método es una buena alternativa para la zona de Catacamas; sin embargo, es importante definir su efectividad bajo las circunstancias específicas de este sitio y no crear un falso sentido de seguridad.

Dado lo anterior, se hace necesario un estudio de comprobación del método antes de su implementación a manera de poder garantizar a los futuros beneficiarios la validez del mismo en cuanto a la inactivación de coliformes fecales. Además, es indispensable evaluar diferentes condiciones climáticas y concentraciones iniciales de coliformes, para definir la influencia de éstos en la efectividad del método en la zona a ser aplicado: Catacamas.

1.1.1. LIMITANTES

Las principales limitantes manifestadas dentro del estudio fueron:

- Limitantes de tiempo. Lo ideal hubiese sido un monitoreo anual y constante, a manera de obtener una base de datos sobre la efectividad del método en diferentes climas, temperaturas y radiaciones para la ciudad de Catacamas.

- Limitantes de Recursos. Para la realización de este estudio es indispensable tener equipo de laboratorio para realizar los análisis bacteriológicos; sin embargo se realizaron las gestiones necesarias y el equipo fue prestado en parte por la Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente de Zamorano, el proyecto USAID/MIRA, el Laboratorio de Análisis de Agua del Centro de Salud de Catacamas y el laboratorio de la Planta de Tratamiento de Aguas de Santa María del Real.

En el caso de contar con un laboratorio para análisis de agua completamente equipado (equipo para análisis microbiológicos, análisis físico y químico), se podría montar una base de datos sobre la eficiencia del método en las diferentes estaciones del año.

1.1.2. ALCANCE

Los experimentos fueron realizados en el patio de la oficina del proyecto USAID/MIRA ubicado en el Barrio Centro de la ciudad de Catacamas Olancho. Se contó con el apoyo logístico por parte del proyecto durante el tiempo de experimentación.

Los resultados del estudio, servirán como base para futuras investigaciones sobre el método y además como fuente informativa para la población sobre la efectividad del mismo. Además, servirá para decidir sobre su implementación a nivel de la región o para la búsqueda de otros métodos que beneficien y puedan ser utilizados en del hogar para la desinfección del agua y la prevención de enfermedades.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. General

- Evaluar la eficiencia del método SODIS en la inactivación de coliformes fecales en el Municipio de Catacamas, Olancho, Honduras

1.2.2. Específicos

- Desarrollar una base de información científica sobre la eficiencia del método SODIS en la inactivación de coliformes fecales en Honduras.

- Diagnosticar, de acuerdo a los resultados del estudio si el método debe o no debe ser implementado en el Municipio de Catacamas dadas las condiciones climáticas y imperantes en la región y zonas de similares características.

- Identificar los métodos para análisis bacteriológicos que sirvan para dar validez al experimento

1.3. HIPÓTESIS

H_1: Con las condiciones de temperatura ambiente y radiación solar de la zona de Catacamas, 8 horas de exposición al sol de botellas limpias previamente llenadas con agua de turbidez menor a 5 NTU, serán suficientes para inactivar el 100% de la población inicial de coliformes fecales en el agua.

H_0: Con las condiciones de temperatura ambiente y radiación solar de la zona de Catacamas, 8 horas de exposición al sol de botellas limpias previamente llenadas con agua de turbidez menor a 5 NTU, no serán suficientes para inactivar al 100% de la población inicial de coliformes fecales en el agua.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ACCESO AL AGUA POTABLE EN HONDURAS

De acuerdo a estudios publicados por Water and Sanitation Program (WSP) del Banco Mundial, en septiembre de 2004, en Honduras es difícil garantizar que las personas tengan acceso a agua limpia debido a que en la mayor parte de los casos, la infraestructura es deficiente y el agua tratada también puede ser contaminada por mala manipulación. Además, a pesar que el Servicio Autónomo Nacional de Aguas y Alcantarillado de Honduras (SANAA) estima que se cuenta con un 70% del área cubierta, tan sólo el 14% de la población ubicada en el área rural consume agua tratada.

Por otra parte, las enfermedades gastrointestinales representan la segunda causa de muerte en niños menores de cinco años (17 de cada 1000). Algunos estudios estiman que construir un sistema de agua es seis veces más barato que tratar los casos de enfermedades gastrointestinales para la misma población (WSP, 2004). En el caso del Municipio de Catacamas, las cosas no cambian del todo; de acuerdo a datos obtenidos en el Centro de Salud del Municipios de Olancho (CESAMO), se encontraron 718 casos de diarrea en el año de 2005. Sin embargo, no se presenta una diferenciación sobre si estas personas eran todas del casco urbano o del área rural.

2.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA POTABLE DE CATACAMAS

El agua que abastece a la población de la ciudad de Catacamas proviene de dos fuentes superficiales: obra toma El Bálsamo y la obra toma de Santa Rita. El agua que brinda el Servicio Municipal de Catacamas (SERMUCAT) proviene de la obra toma el Bálsamo, esta agua es tratada por la planta de tratamiento de aguas y distribuida a la población a través de las líneas de distribución. El agua que proviene de la obra toma de Santa Rita provee de este servicio a los seis Barrios del Oeste (Santa Rita, Altos de Jalisco, 3 de Mayo, 4 de Mayo, La Mansión y Buena Vista), y es administrado por su propia Junta de Agua, en donde el fontanero es responsable de clorar el agua del tanque de una a dos veces por semana dependiendo del caudal de entrada al tanque. El agua utilizada para el experimento provino de la planta de tratamiento de agua a través de la línea de distribución, la cual presentó un pH dentro del rango permitido por la Norma Técnica de Agua Potable de Honduras (1995), de 6.5 a 8.5 es decir, con una turbidez menor de 5 NTU y cero ppm de cloro residual.

2.3. CONTAMINACIÓN

La contaminación se define como la degradación de la calidad del agua como efecto de las actividades humanas. La contaminación del agua es la adición de materia extraña superficial que deteriora la calidad de agua, tanto para consumo humana y de animales, vida marina y regadío de tierras. (Braden and Lovejoy, 1990)

2.3.1. Tipos de Contaminación

De acuerdo a USAID/MIRA (2005), la contaminación es clasificada en dos tipos dependiendo si se conoce o no el foco de contaminación:

- Contaminación puntual: Es aquella en la cual se conoce la fuente o el sitio donde se genera la contaminación.
- Contaminación no puntual: Es aquella en la cual no se conoce con exactitud donde se genera la contaminación, ya que proviene de fuentes muy dispersas.

2.3.2. Contaminación Microbiológica del agua

El agua superficial es susceptible de ser contaminada por diferentes agentes como ser: presencia de heces fecales como consecuencia de la vagancia de animales en la fuente, o por la deposición de excretas o de residuos provenientes de personas. La contaminación del agua por heces fecales puede conllevar de igual manera la presencia de microorganismos patógenos como las bacterias, protozoos y virus causantes de diferentes enfermedades; en algunos casos pueden producir la muerte de las personas, particularmente niños menores de cinco años, de no ser atendidas a su debido tiempo. En el Cuadro 1 se ilustran algunos síntomas de enfermedades causadas por estos microorganismos.

Cuadro 1. Síntomas de enfermedades causadas por la presencia de bacterias en el agua.

MICROORGANISMO	ENFERMEDAD/INFECCIÓN	SÍNTOMAS
BACTERIA		
Aeromonas	Enteritis	Diarrea muy líquida, con sangre y moco
Campylobacter jejuni	Campilobacteriosis	Gripe, diarres, dolor de cabeza y estómago, fiebre, calambres y náuseas
Escherichia coli	Infecciones del tracto urinario, meningitis neonatal, enfermedades intestinales	Diarrea acuosa, dolores de cabeza, fiebre, uremia homilética, daños hepáticos
Plesiomonas shigelloides	Plesiomonas-infección	Náuseas, dolores de estómago y diarrea acuosa, a veces fiebre, dolores de cabeza y vómitos
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea	Fiebre
Salmonella sp.	Salmonelosis	Mareos, calambres

MICROORGANISMO	ENFERMEDAD/INFECCIÓN	SÍNTOMAS
BACTERIA		
		intestinales, vómitos, diarrea y a veces fiebre leve
Streptococcus	Enfermedad (gastro) intestinal	Dolores de estómago, diarrea y fiebre, a veces vómitos
Vibrio El Tor (agua dulce)	Cólera (forma leve)	Fuerte diarrea
PROTOZOARIO		
Amoeba	Disenteria ameboide	Fuerte diarrea, dolor de cabeza, dolor abdominal, escalofríos, fiebre; si no se trata puede causar abscesos en el hígado, perforación intestinal y muerte·
Cryptosporidium parvum	Criptosporidiosis	Sensación de mareo, diarrea acuosa, vómitos, falta de apetito
Giardia	Giardiasis	Diarrea, calambres abdominales, flatulencia, eruptos, fatiga
Toxoplasm gondii	Toxoplasmosis	Gripe, inflamación de las glándulas linfáticas En mujeres embarazadas aborto e infecciones cerebrales

Fuente: Lenntech, 2004

2.4. COLIFORMES FECALES Y *ESCHERICHIA COLI*

La bacteria *Escherechia Coli* (Anexo 1) es una bacteria con forma de bastón (bacilo) que pertenece a la familia de las Enterobacteriaceas, (Encarta, 2006); siempre se encuentra presente en las heces fecales, por lo cual constituye un indicador directo de la posible contaminación por patógenos entéricos (EPA, 2002). Aunque gran parte de las cepas de *E. Coli* son inofensivas, existe la cepa *E.coli* O157:H7 la cual resulta ser ofensiva y causante de los altos índices de enfermedades gastrointestinales producto de ingerir aguas contaminadas o de comer alimentos poco cocinados. (U. de Virginia, 2006). Por ser una bacteria, su ciclo de reproducción o tiempo de generación es relativamente corto e igual a 20 minutos (Mateos, 2006), por ejemplo, al cabo de una hora de crecimiento bacteriano suponiendo que nuestra población inicial era de una bacteria tendríamos tres generaciones, es decir, 8 bacterias.

De acuerdo a la Environmental Protection Agency (EPA) (2002), los coliformes son bacilos gram negativos, inmóviles o móviles con flagelos, se desarrollan en medios artificiales y todas las especies forman ácido o ácido y gas a partir de glucosa. Esto incluye a las especies que habitan en el intestino de los animales de sangre caliente por eso se denominan también enterobacterias ó también pueden ser encontrados de forma natural en el suelo, en la vegetación y en agua.

2.5. DESINFECCIÓN

Desinfección se refiere a la destrucción de todos los microorganismos que pueden ocasionar daños a la salud y en ocasiones hasta la muerte. Esta debe realizarse principalmente al agua cuando está contaminada o no existe garantía de que sea potable. (USAID/2005). Un aspecto muy importante de cualquier método de desinfección es que los insumos y materiales necesarios para su uso estén lo más cerca y disponibles de las comunidades que los utilizan (WSP, 2004).

2.6. TECNOLOGÍAS PARA MEJORAR LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA

De acuerdo a Sobsey (2006), existen dos tipos de métodos para mejorar la calidad microbiológica del agua, uno físico que consiste en: hervir, calentar (exponer al sol), sedimentar, filtrar, exponer a la luz ultravioleta de la luz solar o de lámparas. El otro tipo corresponden a los métodos químicos, los cuales por su costo son utilizados generalmente por las plantas de tratamiento, los que consisten en: coagulación, floculación, precipitación, absorción, intercambio de iones y desinfección química con agentes germicidas (cloro).

2.7. MÉTODOS PARA DESINFECCIÓN DEL AGUA

De acuerdo al manual de Mejoramiento de Calidad de agua en el hogar producido por USAID/MIRA (2005), existen diferentes métodos para desinfección del agua domiciliar: ebullición, desinfección con cloro, desinfección con yodo y filtración (Anexo 2). Casi todos lo métodos ofrecen una mejora en la calidad microbiológica del agua; sin embargo, hay que resaltar que el método SODIS contribuye a la economía familiar porque para su debido funcionamiento son solo necesarias botellas PET, luz solar y una lámina de zinc (techo de las casas); aunque la gran desventaja para la efectividad de este método es su dependencia ante la variabilidad de las condiciones climáticas.

Cuadro 2. Comparación entre las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de desinfección en el hogar.

PARÁMETRO	MÉTODO DE DESINFECCIÓN				
	EBULLICIÓN	CLORO	YODO	FILTRACIÓN	SODIS
Mejora de calidad microbiológica	Si	Si	Si	Si*	Si
Facilidad de aprendizaje	Si	No	No	Si	Si
Utiliza fuentes de energía	Si	No	No	No	Si
Contribuye a la economía familiar	No	No	No	Si	Si
Propenso a contaminación secundaria	Si	No	Si	Si	Si
Soporta turbidez del agua mayor a 5NTU	Si	No	No	Si	Si
Se pueden tratar grandes volúmenes de agua	Si	Si	No	Si	No

PARÁMETRO	MÉTODO DE DESINFECCIÓN				
	EBULLICIÓN	CLORO	YODO	FILTRACIÓN	SODIS
Tiene acción residual	No	Si	No	No	No
Depende de condiciones climáticas	No	No	No	No	Si
Puede ser tóxico en niveles mayores a los recomendados	No	Si	Si	No	No

* Solamente en el caso de los filtros lentos de arena o en los filtros de cerámica con placa coloidal se observa una mejora en la calidad microbiológica del agua (USAID/MIRA, 2005)

Fuente: La Autora

2.8. MÉTODO SODIS PARA DESINFECCIÓN DEL AGUA

Según un artículo publicado por el periódico El Heraldo en fecha 26 de marzo de 2006, el método SODIS (Solar Disinfection) como su nombre lo indica, consiste en la desinfección solar del agua mediante el uso de botellas PET y una superficie de preferencia refractaria. La combinación luz-calor a través de la exposición al sol de las botellas, durante por lo menos seis horas, finaliza con la muerte parcial o total (de acuerdo a las condiciones climáticas) de los microorganismos patógenos causantes de enfermedades gastrointestinales.

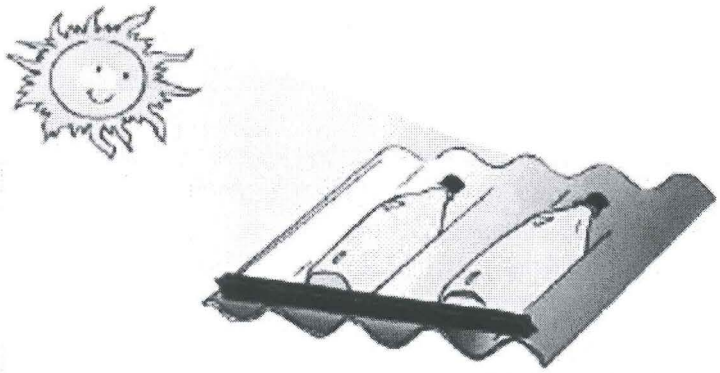


Figura 1. Exposición de las botellas de 2 litros PET en láminas de zinc. Fuente: Fundación SODIS, 2006.

De acuerdo al estudio publicado por Encinas e Iriarte (2003), en donde se evalúo la eficiencia del método en tres regiones de Bolivia (valle, trópico y altiplano) no se encontraron diferencias significativas de la eficiencia de SODIS con relación a la altura (500 msnm, 2500 msnm, 3800 msnm), sino más bien se comprobó que la eficiencia del método dependió exclusivamente de las condiciones climáticas presentando los siguientes índices: 100% de efectividad para días totalmente despejados, 99.78% para días parcialmente nublados y 89% para días completamente nublados. En este sentido se recomienda a los usuarios la exposición por dos días consecutivos de las botellas en condiciones de cielo completamente nublado (Encinas e Iriarte, 2003).

2.8.1. Ventajas y limitaciones del Método

Según Wegelin *et.al* (2005), el método SODIS presenta las siguientes ventajas:

- En comparación con el agua tratada mediante hervido o cloración el agua SODIS tiene un mejor sabor.
- SODIS contribuye a la economía familiar, al usar SODIS, la familia ya no tiene que comprar combustible para hervir el agua que va a consumir.
- Los integrantes de la familia tendrán menos diarreas por lo tanto serán más saludables y gastarán menos en tratamientos médicos.
- SODIS reduce la carga de mujeres y niños (responsables de la recolección de leña y preparación del agua para consumo).
- La aplicación de SODIS es simple y fácil de entender para todos.

Por otro lado, de acuerdo a Wegelin *et.al.* (2005), el método SODIS presenta las siguientes limitaciones:

- Depende de las condiciones climáticas.
- El agua no debe tener una turbidez mayor a 30 NTU.
- No mejora ni cambia la calidad química del agua.
- No es práctico para tratar volúmenes grandes de agua.

2.8.2. Efecto de la aplicación del método SODIS en los patógenos

De acuerdo a Kehoe (2001), los virus y bacterias que habitan en los intestinos humanos se proliferan porque encuentran un ambiente húmedo y oscuro, con temperaturas entre los 36°C y 37°C. Sin embargo, una vez que son descargados al medio ambiente, son muy sensibles a las diferentes condiciones climáticas, puesto que no pueden tolerar temperaturas elevadas y no tienen un mecanismo de protección contra la radiación UV; existen investigaciones que demuestran lo descrito anteriormente, en las cuales se documentó la eficacia del método para eliminar la población de los siguientes organismos: (Saladín et al., 2005)

- Bacterias: *Escherechia coli (E.Coli), Vibrio cholerae, Streptococcus faecalis, Pseudomonas aeruginosa, Shigella flexeneri, Salmonella typhii, Salmonella enteritidis, Salmonella paratyphii.*
- Virus: Bacteriófagos f2, Rotavirus, Virus de la Encefalomiocarditis, Colifagos.
- Levaduras y Mohos: *Aspergillus Níger, Aspergillus Flavus, Candida, Geotrichum.*
- Parásitos: *Criptosporidium parvum, Giardia lambia.*

De acuerdo a Wegelin *et.al.* (2005), es importante señalar que SODIS no produce agua estéril. Organismos diferentes a los patógenos que afectan a los humanos, por ejemplo, las algas, se adaptan bien a las condiciones ambientales dentro de las botellas de SODIS y pueden incluso desarrollarse allí; sin embargo, estos organismos no representan un peligro para la salud humana.

Indicadores usados para probar la eficacia SODIS

Muchos organismos patógenos transmitidos por el agua pueden ser detectados, pero se requiere de métodos de análisis costosos y muchas veces no se cuenta con el material a mano. Es por esta razón, que en vez de medir directamente la presencia de patógenos, es más fácil detectar organismos indicadores los cuales nos sirven para señalar la presencia de contaminación fecal en el agua. Según Vázquez y Cabral (2002) un microorganismo indicador de contaminación fecal debe reunir las siguientes características:

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos.
- Estar presente, de forma exclusiva, en las heces de animales homeotérmicos.
- Estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están.
- Presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento e identificación.
- Debe ser incapaz de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos.
- Su tiempo de supervivencia debe ser igual o un poco superior al de las bacterias patógenas de origen fecal.
- Debe ser fácil de aislar y cuantificar.
- No debe ser patógeno.

Muchos de estos criterios los cumple el organismo conocido como *Escherichia Coli*. El *E. Coli* es un buen organismo indicador de contaminación fecal del agua si los recursos para el análisis bacteriológico son limitados.

Sin embargo, de acuerdo a Wegelin *et.al.* (2005), algunos organismos, como los enterovirus, el Cryptosporidium, la Giardia y las amebas son más resistentes que el *E. Coli*, por ejemplo, necesitan de mayor temperatura para garantizar que han sido eliminados. Por lo tanto, la ausencia de *E. Coli* no indica necesariamente que los otros organismos no estén presentes; sin embargo, tales pruebas analíticas no pueden ser realizadas a nivel de campo, puesto que requieren de mucho tiempo y equipo.

2.8.3. El factor Clima: Efecto de la Radiación Solar (radiación UV e infrarroja)

La eficacia del método SODIS depende básicamente de la cantidad de luz solar disponible; sin embargo, debido a la forma geoidal de nuestro planeta, la radiación solar se distribuye de manera irregular siendo mayor entre las regiones de 35°N y 35°S de latitud (Saladin *et.al.*, 2005). Otro aspecto importante lo constituye la variación climática debido al cambio de estaciones, los países ubicados cerca de la línea del Ecuador presentan menos variación en la intensidad de luz que los países que se encuentran más alejados de esta. Las variaciones del clima pueden ser determinantes para demostrar el buen funcionamiento del método, ya que para ser utilizado, es necesario contar con una intensidad total de radiación solar de por lo menos 500W/m^2 durante aproximadamente 5 horas (Wegelin *et.al.*, 2005).

Es importante destacar que las condiciones de nubosidad pueden llegar a reducir la eficacia del método hasta en un 70%, debido a que afectan a la cantidad de radiación solar percibida por las botellas (Sommer *et.al.*, 1997). Por este motivo, durante los días

nublados el método indica que se expongan las botellas durante dos días consecutivos como una manera de asegurarse la muerte de los organismos patógenos.

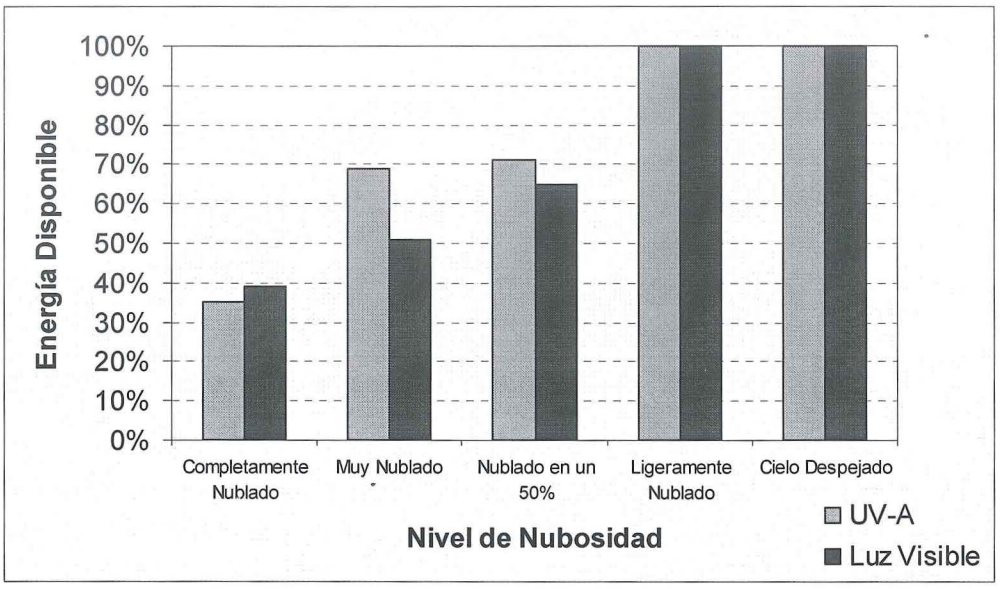


Figura 2: Pérdida de energía solar disponible en diferentes condiciones climáticas (Acra, 1989).

El Instituto Nacional de Meteorología (INM) de España menciona que la radiación UV aumenta entre un 6% y un 8% por cada 1,000 m. de elevación y que a una misma hora se pueden registrar diferentes radiaciones en un mismo lugar debido a la presencia de factores que tienden a dispersar la radiación como ser: nubes, polvo, presencia de infraestructura entre otros; mientras que la temperatura decrece a unos 6.4° C por cada 1,000 metros de altitud (Sociedad Española, 2006).

Efecto de la Radiación Solar

La radiación solar puede clasificarse en tres rangos de longitud de onda: radiación UV, luz visible y radiación infrarroja. El ojo humano no puede percibir la radiación UV, que tiene un rango de radiación muy agresiva, que puede causar daños severos a la piel y a los ojos y que puede destruir las células vivas. Afortunadamente, la mayoría de la luz UV-C y UV-B, en el rango de 200 a 320nm, es absorbida por la capa de ozono (O_3) en la atmósfera que protege a la tierra. Sólo una fracción de la radiación UV-A, con un rango de longitud de onda de 320 a 400nm, cercano a la luz violeta visible, llega a la superficie de la tierra, (Encarta, 2006). Se ha comprobado que esta fracción de la radiación solar tiene un efecto germicida al ser la causante de la disminución de la población de microorganismos patógenos en el agua, según las horas de exposición de esta al sol (Kehoe, 2001).

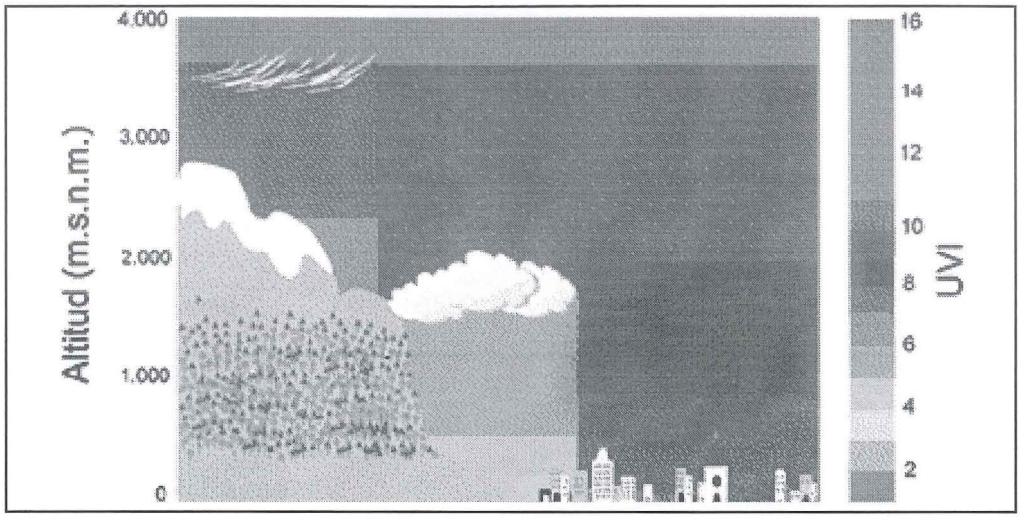


Figura 3. Factores que afectan a la radiación ultravioleta (INM España, 2006)

La radiación UV-A interactúa directamente con el ADN, los ácidos nucleicos, las enzimas y las paredes de las células vivas; cambia la estructura molecular y puede producir la muerte de la célula. La radiación UV también reacciona con el oxígeno disuelto en el agua y produce formas altamente reactivas de oxígenos (radicales libres de oxígeno y peróxidos de hidrógeno) (Wegelin *et.al.*, 2005). Estas moléculas también interfieren en las estructuras celulares por lo cual tiene un efecto letal sobre los patógenos presentes en el agua, debido a que estos son muy sensibles ante condiciones adversas a sus condiciones de vida iniciales.

Efectos de la temperatura (radiación infrarroja)

De acuerdo a Wegelin *et.al.* (2005), otro aspecto de la luz solar es la radiación de onda larga, denominada infrarroja. Esta radiación tampoco puede ser vista por el ojo humano, pero se puede sentir el calor producida por este tipo de onda (superior a los 700nm), por lo que, la radiación infrarroja absorbida por el agua es responsable de su calentamiento.

La mayoría de los microorganismos son sensibles al calor. En el Cuadro 3 se presenta la temperatura y el tiempo de exposición necesarios para eliminar microorganismos. Puede verse que el agua no tiene que hervir para matar el 100% de los microorganismos y que el calentamiento del agua a 50-60°C durante una hora tiene el mismo efecto.

Cuadro 3. Resistencia térmica de microorganismos

MICROORGANISMOS	TEMPERATURA PARA UNA DESINFECCIÓN AL 100%		
	1 min	6 min	60 min
Enterovirus			62°C
Rotavirus			63°C por 30min
Coliformes Fecales	72°C		
Salmonella		62°C	58°C
Shigella		61°C	54°C

MICROORGANISMOS	TEMPERATURA PARA UNA DESINFECCIÓN AL 100%		
	1 min	6 min	60 min
Vibrio cholerae			45°C
Quistes de Entamoeba histolytica	57°C	54°C	50°C
Quistes de Giardia	57°C	54°C	50°C
Huevos y larvas de gusano ganchudo	68°C	62°C	51°C
Huevos de áscaris	60°C	62°C	57°C
Huevos de esquistosoma	65°C	55°C	50°C
Huevos de tenia	65°C	57°C	51°C

Fuente: Wegelin *et.al.*, 2005

2.8.4. Turbidez del Agua

Turbidez se refiere a la cantidad de partículas en suspensión encontradas en el agua (Encarta, 2006), estas partículas reducen la penetración de la radiación solar en el agua e inciden en la eficiencia del método. Según Kehoe (2001), el método SODIS es funcional hasta una turbidez de 30 unidades nefelométricas (NTU), si la turbidez del agua sobrepasa este límite, se hace necesario un tratamiento previo con otro método, como por ejemplo: filtración por filtro de arena o dejarla reposar para que las partículas se asienten para posteriormente, decantar el líquido.y utilizar el método SODIS para desinfección. Si no es posible reducir la turbidez, entonces es mejor optar por hervir el agua antes de consumirla (Kehoe, 2001).

Según la Norma Técnica Nacional de Agua Potable de Honduras (1995), el valor recomendado de turbidez para agua utilizada para consumo humano es de una unidad nefelométrica (1NTU), mientras que el máximo permisible es de 15 NTU; sin embargo, para la desinfección eficiente con Cloro es necesario que el agua tenga menos de 5NTU (Norma Técnica del Agua Potable de Honduras, 1994) de turbidez debido a que si sobrepasa este nivel, el cloro se ve atrapado por la materia orgánica contenida en el agua lo que resulta en una desinfección inadecuada y en mayores costos de tratamiento.

2.8.5. Material y Forma de los Recipientes

Varios tipos de materiales plásticos transparentes son buenos transmisores de luz en el rango UV-A y en el visible del espectro solar. En el estudio realizado por Torrico y Fuentes (2001), en el Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental de Cochabamba, Bolivia, se recomienda el uso de botellas de PET en lugar de botellas de PVC, pues las botellas PET contienen muchos menos aditivos que las botellas PVC y son más resistentes a temperaturas elevadas. Las botellas de PET son recipientes muy prácticos e ideales para SODIS puesto que dejan pasar la luz UV-A (Torrico *y* Fuentes, 2001), no superan una profundidad de 15cm cuando son expuestas horizontalmente al sol, y pueden mantenerse cerradas; de esa manera se reduce el riesgo de contaminación secundaria, es decir contaminación por colocar el agua en envases sucios o por manejarla con las manos sucias. Además, se encuentran fácilmente disponibles a bajo costo, son fáciles de

manipular y pueden usarse directamente, duran varios meses y todavía están en buenas condiciones.

Según Torrico y Funes (2001), el envejecimiento de las botellas de plástico lleva a una reducción de la transmisión de radiación UV-A, lo que a su vez puede producir una inactivación menos eficaz de los microorganismos. Las pérdidas en la transmisión pueden deberse a rayaduras de la botella por acción del sol, por lo que las botellas muy rayadas, viejas u opacas deben ser reemplazadas.

2.9. MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUA

En el manual de la APHA (1992), se describen diferentes métodos para el análisis de agua, entre ellos el método de .presencia-ausencia, filtración de membrana para la detección de coliformes fecales y totales; así como también los aparatos, material y medio de transporte sugerido de acuerdo al microorganismo objeto de investigación. En el caso del estudio se utilizó la técnica de filtración de membrana y placas Petrifilm 3M para los análisis de población inicial y final de coliformes fecales, los cuales se explican en los incisos 2.9.1 y 2.9.2.

2.9.1. Filtración de Membrana

Para esta técnica se necesita un set de filtración (Anexo 3) conformado por un beaker, una membrana estéril de celulosa, una rejilla, una pinza metálica y un tapón de silicona el cual sirve para asegurar la parte de arriba (beaker, membrana y rejilla) con el matraz esmerilado. La boca del matraz es conectada a la bomba de vacío, la cual absorbe el líquido de la muestra a través de una membrana de celulosa con un diámetro de poro de 0.45 μm (micrómetros), de manera que los microorganismos quedan retenidos en su superficie. Terminada la filtración, la membrana se deposita en una placa petri esterilizada que contiene el medio de cultivo rico en nutrientes para favorecer el crecimiento de los microorganismos objeto del estudio.

Después del periodo de incubación a una determinada temperatura, las colonias que han crecido en la superficie de la membrana pueden ser contadas directamente.

De acuerdo a Scharlab (2006), la técnica de filtración de membrana es muy útil en aguas poco contaminadas de manera que el conteo de colonias es más directo y más preciso. Además ofrece la facilidad de poder guardar los resultados por más tiempo pudiendo ser usados como testimonios sanitarios de la calidad de agua del lugar. Esta técnica ha sido adoptada también para el control de aguas no destinadas al consumo humano, por ejemplo, en agua de uso en procesos de fabricación. También se usa para el control microbiológico de otras muestras líquidas como zumos, leche, etc.

2.9.2. Petrifilm

Petrifilm son placas pequeñas que permitenr realizar pruebas locales microbianas fácilmente y de manera eficiente. Sus películas de diseño exclusivas están cubiertas de sustancias nutritivas y un agente gelificante. Los petrifilms pueden ser usados para probar materias primas, productos en proceso, productos finales, y el ambiente de planta. (Industrias 3M, 2006)

De acuerdo a Industrias 3M (2006) las ventajas del uso de Petrifilms son:

1. Resultados exactos en tres pasos fáciles: inocule, incube y cuente.
2. Eficacia mejorada.
3. Reducción en costos de trabajo.
4. Estandarización de metodología.
5. Productividad y fiabilidad aumenta.

El tinte de indicador rojo en el petrifilm colorea todas las colonias rojas y la película superior atrapa el gas producido por los coliformes. Además, un indicador glucuronidasa forma un azul precipitado alrededor de cualquier colonia de *E. coli* que puede estar presentes. (Industrias 3M,2006)

Sin embargo, este método no es muy exacto comparado con el método de filtración de membrana debido a que solamente se analiza un volumen de 1 ml por vez, mientras en el otro método se analiza un volumen de 100 ml de agua. Además, presenta otro inconveniente ya que según la Norma Técnica para uso de Agua Potable de Honduras (1995), los resultados de análisis de coliformes deben ser presentados en UFC/100ml, por lo que al multiplicar podríamos estar sobreestimando la población de unidades formadoras de colonias (colonias de coliformes) en la muestra.

2.9.3. Intervalo de tiempo entre recolección y tipo de muestras

De acuerdo a los parámetros que se desean analizar en el laboratorio, se debe definir el tipo de muestra (puntual, compuesta, duplicada, de control, etcétera), la forma de colección (muestreo automático o manual), el equipo de muestreo (bombas, recipientes, preservantes, etcétera) y los procedimientos especiales a seguir, según el tipo de análisis que se pretenda realizar (IRDC, 2006). En el caso del estudio, todas las muestras fueron recolectadas de forma manual y conducidas al laboratorio para su posterior análisis.

Según International Development Research Center (IRDC) (2006), existen dos tipos de muestras: muestra puntual o simple y muestra compuesta o integrada. La muestra puntual es aquella recolectada en un sitio específico durante un periodo corto de minutos o segundos; mientras que las muestras compuestas obedecen a aquellas cuya concentración puede variar en el tiempo o en el espacio, pueden ser también la combinación de varias muestras simples. En el caso del estudio, el tipo de muestreo utilizado es el muestreo simple debido a que las muestras no se mezclaron entre ellas y se tomó una de cada

concentración al inicio de primer día, al final del primer día y al final del segundo día de exposición.

El tiempo transcurrido entre recolección y análisis no excedió las 2 horas; estando dentro de lo recomendado para análisis microbiológico por CEPIS (2006), según lo descrito en su manual para recolección de muestras, se aconseja que no transcurra un tiempo mayor a 24 horas entre la recolección y análisis, manteniendo las muestras refrigeradas o a la temperatura original de muestreo para no permitir la alteración de los resultados.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

La exposición al sol de las botellas se realizó en una estructura construida a base de madera y láminas de zinc simulando las características de un techo. Esta estructura fue colocada en el patio de la Sede del Proyecto USAID/MIRA ubicada en el Barrio El Centro de la ciudad de Catacamas, Departamento de Olancho.

El laboratorio de análisis microbiológico de agua fue montado en una de las oficinas de la misma Sede. Para la incubación de las muestras fue necesario trasladarlas al laboratorio de Análisis de Agua del Centro de Salud de Catacamas, ubicado a 2 km del centro de estudio, para tomar los datos de turbidez y pH se utilizó el equipo de la Planta de Tratamiento de Aguas del Municipio Santa María del Real ubicada a 6 km del centro de estudio porque el equipo brindaba datos más exactos que el del Centro de Salud.

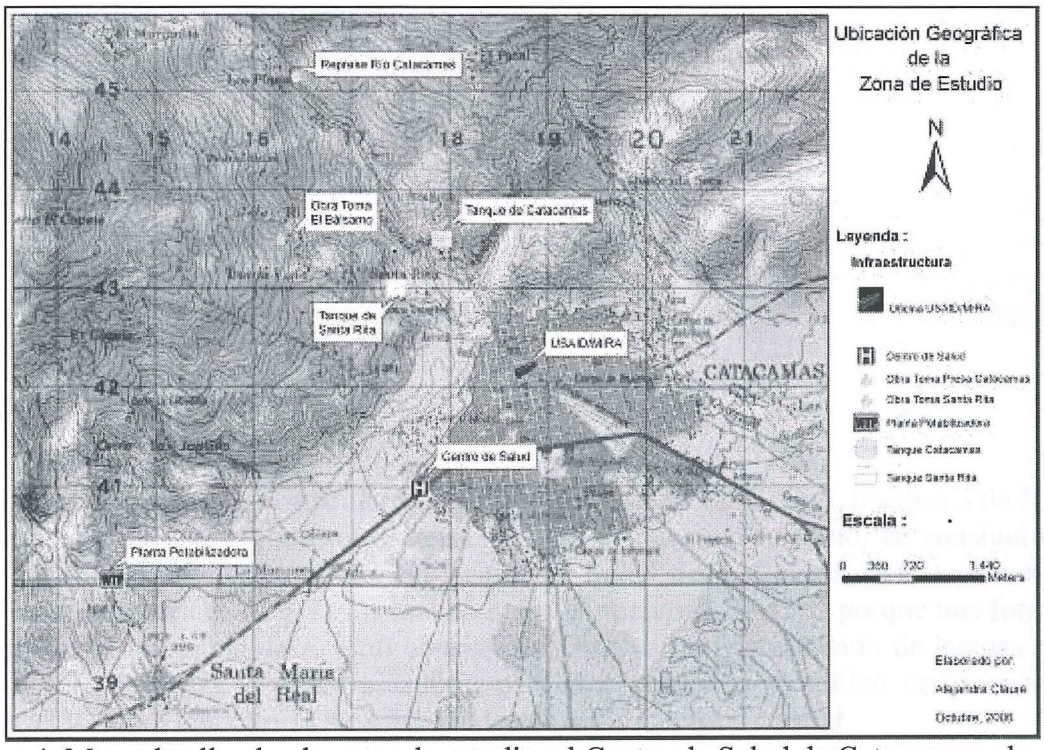


Figura 4. Mapa detallando el centro de estudio, el Centro de Salud de Catacamas y la Planta de Tratamiento de Santa María del Real. Fuente: La Autora

3.2. ARMADO DE LA ESTRUCTURA

Para el armado de la estructura o base sobre la cual se colocaron las botellas durante el experimento, se utilizaron dos láminas de zinc, madera, clavos para zinc y clavos de 2" para la madera. El producto final resultó en un armazón de 150x183x183 (45° de inclinación). El cual se ubicó en dirección Norte – Sur, para obtener una mayor radiación durante el día. (Anexo 4)

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

En cada ensayo, 9 botellas fueron expuestas al sol durante 8 horas. Tres botellas correspondientes por tratamiento, se realizaron 8 repeticiones, pudiendo evaluar el método incluso en días lluviosos. La unidad experimental fue cada una de las botellas de 2 litros agrupadas según la concentración que contenían. (Fotografía 2)

3.4. PREPARACIÓN DE LA SUSPENSIÓN BACTERIANA

La preparación de la suspensión bacteriana tiene varios pasos: Esterilización del medio de cultivo, inoculación del medio, y preparación de las disoluciones. Como medio de cultivo se escogió la leche debido a que representa un medio rico en nutrientes ideal para crecimiento de bacterias por contener: carbohidratos, proteínas y lípidos.

3.4.1. Esterilización

En primer lugar, en cada tubo de ensayo se depositó la cantidad de 10ml de leche, luego se lo esterilizó en la autoclave marca Sterilomatic Market ForgeIndustrie Inc. del laboratorio de Microbiología de la Universidad Zamorano. Este proceso se realizó dos veces, el primero el 1 de julio y la segunda vez el 15 de Julio, para posteriormente trasladar las muestras ya esterilizadas al lugar del experimento (ciudad de Catacamas).

3.4.2. Inoculación

Una vez en Catacamas, se inocularon los tubos de ensayo con *E. Coli,* los días 3 de Julio y 17 de Julio. Debido a que esta bacteria vive en el intestino humano, se consiguió una muestra de heces del laboratorio del Centro de Salud de la Ciudad de Catacamas para inocularlas. Posteriormente, se las incubó a una temperatura de 42°C porque una forma de determinar la presencia de *E. Coli* consiste en observar la fermentación de lactosa a una temperatura de 42°C. (Pisabarro, 2006); para este propósito se utilizó una incubadora marca HACH del laboratorio de Análisis de Agua del Centro de Salud.

3.4.3. Tipo de Agua

Para el experimento, era necesario que el agua no presentara cloro residual, porque esto podría afectar el conteo de coliformes fecales inicial real de cada una de las concentraciones. Para identificar la presencia o no presencia de cloro en el agua se utilizó el método DPD (Dietil-p-fenilen diamina). De acuerdo al Manual de Capacitación para las Juntas de Agua de USAID/MIRA (2005), este procedimiento consiste en colocar 5ml de agua en el frasco que provee el test, posteriormente se vacía en el frasco el reactivo DPD, el cual teñirá el agua de acuerdo a la presencia que esta tenga de cloro residual, siendo el tono rojo más fuerte el que indica presencia en concentraciones mayores a 2.5mg/l de cloro. De acuerdo a la Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable de Honduras (1995), la presencia de cloro residual en el agua debe estar contenida entre 0.5 – 1.0 mg/l. En el caso del agua utilizada para el experimento, se verificó que la presencia de cloro residual sea mínima (que tienda a cero).

3.4.4. Preparación de las botellas

Con las muestras o soluciones madre de *E. Coli* (suspensión preparada) se realizaron disoluciones de A = 10^4, B = 10^3, C = 10^2 colonias por mililitro a partir de la solución madre de 10^7 colonias por ml. Para este fin fue necesario contar con el siguiente equipo:

- 9 tubos de ensayo de 20ml
- Gradilla para tubos de ensayo
- Mechero
- Pinzas
- Pizeta con agua
- Probeta de 100ml
- Beaker de 100ml
- 9 placas de petrifilm
- Tubo de ensayo de 10ml con el medio de cultivo (solución madre)
- 9 botellas de 2 litros de Coca-cola
- Marcador
- Jeringas de 10ml, 5ml y 1ml
- Agua del Servicio Municipal de Catacamas (SERMUCAT) con cero de cloro residual.

Durante los días 10 al 26 del mes de Julio del presente año, de 5:00am a 6:00am se procedió a la preparación de las disoluciones. En primer lugar se rotularon tanto las botellas como los tubos de ensayo, así como también los platos petri.

A partir de los tubos de ensayo con una concentración inicial (solución madre) de 10^7 colonias por mililitro, se diluyó 10ml de la solución madre en 100ml de agua, y de esa segunda solución tomaron 9 muestras (3 de 20ml, 3 de 2ml y 3 de 0.2ml) para colocar cada una de ellas en su botella de 2 litros correspondiente, se obtuvieron concentraciones hijas de A = 10^4, B = 10^3 y C = 10^2 colonias por mililitro, entre ellas *E. Coli* (cálculos en el Anexo 5). Antes de su exposición al sol, se llenaron las botellas al tope, luego se tomó

una muestra de agua de cada disolución para obtener la concentración inicial de *E.Coli* de cada una de las disoluciones. Finalmente, se colocaron las botellas en la lámina de zinc para su exposición al sol.

3.5. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Con el objetivo de comprobar tanto la población inicial como la final de *E. Coli* como la población final de *E. Coli* en las botellas de diferentes disoluciones de la solución madre, al cabo de 8 horas de exposición, se analizaron las muestras de las botellas de 2 litros de agua con diferentes concentraciones con el método de Filtración de membrana y como medio de cultivo se utilizaron las ampollas m-Coliblue 24.

El análisis de agua para verificar la población inicial de *E. Coli* se realizó de 6:00 a.m. a 7:00 a.m., luego las placas petri fueron llevadas laboratorio de Análisis de Agua del Centro de Salud para su debida incubación durante 24 horas, en la incubadora marca HACH.

A partir del día 18 de julio, se probó otra metodología debido a la que la alta población inicial de *E. Coli* en las botellas era difícil de contar en las placas petri. Entonces, se optó por hacer el análisis con placas Petrifilm de la marca 3M. El procedimiento fue bastante similar, de igual manera se inició con las disoluciones a las 5:00am y con la toma de muestras a las 6:00am, luego la llevada de estas al laboratorio para su posterior incubación por 24 horas. Sin embargo, esta vez las muestras se dejaron por un lapso de dos días para comprobar el efecto de dos días de exposición en disminución de la población de bacterias. Los análisis que se realizaron en las muestras fueron de la siguiente forma:

- Análisis de población inicial y final durante el primer día, bajo el método de placas Petrifilm 3M.
- Análisis de población final al cabo del segundo día de exposición, bajo el método de filtración de membrana.

3.6. PARÁMETROS ANALIZADOS

3.6.1. Temperatura

Para el análisis de la temperatura se utilizaron dos termómetros marca FisherBrand de 100°C cada uno. Uno fue utilizado para medir la variación de la temperatura de la lámina de zinc durante las 8 horas de exposición y el otro para medir la variación de la temperatura del agua en la botella. La temperatura ambiental fue adquirida a través de la estación de la Universidad Nacional de Agricultura (UNA).

3.6.2. Radiación Solar

Con el objetivo de calcular la radiación diaria, se bajó el programa RADIAC2 - versión 2.1/95 de la página web del Profesor Czajkowski (http://www.arquinstal.com.ar/software.htm) en la cual al introducir la latitud de Catacamas (14.9°) y el día, nos facilitó los datos de radiación extraterrestre por hora. Posteriormente, para hallar la radiación solar incidente (la que es absorbida por los cuerpos terrestres) se utilizó la ecuación de Samani (2000) citado por Sánchez (2006):

$$R_s = R_0 \cdot KT \cdot (t_{\max} - t_{\min})^{0,5} \quad [1]$$

Donde:

R_s = Radiación solar incidente

R_0 = Radiación solar extraterrestre

KT = coeficiente

$t_{\max}$ = temperatura diaria máxima

$t_{\min}$ = temperatura diaria mínima

Las temperaturas máximas y mínimas de cada día fueron obtenidas a partir de los datos generados por la estación metereológica de la Universidad Nacional de Agricultura, ubicada a 6km del centro de estudio.

El Coeficiente KT es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Samani citado por Sánchez (2003), recomienda $KT = 0.162$ para las regiones del interior y $KT = 0.19$ para las regiones costeras. Los cálculos para hallar la radiación solar incidente se presentan en el Anexo 6.

3.6.3. Turbidez

Para medir la turbidez del agua de las muestras se utilizó un turbidímetro digital de la marca HACH 2100N, ubicado en los predios de la planta de tratamiento de agua de la ciudad de Santa María del Real. La turbidez del agua fue medida en unidades nefelométricas antes de la exposición de las muestras al sol y después de 8 horas de exposición durante tres días.

3.6.4. pH

Para la medición de pH se utilizó un pHmetro digital marca HACH Sension4, ubicado también en la planta potabilizadora de agua de Santa María del Real. Antes de cada análisis se procedió a calibrar el instrumento utilizando dos soluciones buffer: una neutra de pH=6.86 y otra básica de pH 10.01, cuando la curva de calibración era mayor a 55 entonces el instrumento estaba listo para utilizarse.

302481

3.6.5. Análisis Microbiológico

Para el conteo de coliformes fecales *E. Coli* se utilizaron dos métodos, el primero fue el método de filtración de membrana utilizando un set de filtración de vidrio de borosilicato de industrias Pall Corporation el cual contaba con un beaker de 250 ml graduado cada 25ml; una rejilla de vidrio D2 (Pall Corporation, 2006), un matraz esmerilado de 500 ml y finalmente una membrana de celulosa de 0.45 μm de diámetro de poro. Como medio de crecimiento se utilizó m-Coliblue 24 en el cual los coliformes fecales se tiñen de color azul mientras que los otros coliformes se tiñen de color rosado.

El otro método que se utilizó fue el de placas Petrifilm 3M, de acuerdo a Industrias 3M (2006) en caso del análisis bacteriológico para detectar presencia de E.coli/coliformes usando petrifilms se hace de modo visual: Las colonias de coliformes son de color rojo y presentan burbujas de gas alrededor de ellas, debido a que el petrifilm contiene ß-glucuronidasa indicador para la detección de *E. coli* las colonias de esta bacteria se tiñen de color azul.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ÉPOCA DE EXPERIMENTACIÓN

Los muestreos se realizaron del 10 de julio al 26 de julio de 2006 en la Sede de la Ciudad de Catacamas del Proyecto USAID/MIRA. Entre los días de experimentación se presentaron días de lluvia y días de sol, por lo que se consideró evaluar el método SODIS tras dos días de exposición al sol. El análisis microbiológico se realizó en la misma sede y las muestras fueron transportadas al Centro de Salud de Catacamas para su incubación. El análisis de pH y turbidez fue realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas de la Ciudad de Santa María del Real ubicada a 5km de la Sede. Las muestras fueron analizadas antes de su exposición al sol y después de su exposición al sol.

Cuadro 4. Fechas de Experimentación

Día	1	2	3	4	5	6	7	8
Fecha	10 – jul	11 – jul	12 – jul	18 – jul	19 – jul	24 – jul	25 – jul	26 - jul

4.2. PARÁMETROS ANALIZADOS

4.2.1. Temperatura y Precipitación durante el experimento.

Los datos de precipitación del mes de julio de 2006 fueron obtenidos en la estación meteorológica de la UNA y se muestran a continuación en el siguiente cuadro:

Cuadro 5. Precipitación en mm del mes de julio de la Ciudad de Catacamas.

D	PP (mm)	D	PP (mm)	D	PP (mm)	D	PP (mm)
1	0	9	0	17	2.79	25	0
2	0	10	-	18	0	26	0
3	0	11	0.25	19	21.59	27	-
4	0	12	0	20	0	28	0
5	0	13	0	21	-	29	0
6	0	14	0	22	12.45	30	-
7	0	15	0	23	10.92	31	0
8	-	16	3.3	24	11.68		

*D: día, PP: precipitación registrada

Fuente: Estación metereológica de la Universidad Nacional de Agricultura

Como se puede ver, hubo precipitación en cuatro días durante el tiempo de experimentación, si analizamos los datos de población inicial y final de unidades formadoras de colonias entre ellas la bacteria *E. Coli*, podemos observar que justamente en estos días fue donde la eficiencia del método no fue del 100%, es decir no se eliminó completamente la población de *E. Coli*.

El rango de temperatura ambiente se mantuvo estable durante el experimento. Asimismo, la temperatura de la lámina, excepto los días 18, 19 y 24 de julio en donde hubo precipitación principalmente al medio día y la mayor parte del día estuvo nublado. Esto en cierta forma perjudicó la eficiencia del método ya que la temperatura de la lámina como del agua tendió a bajar y tardó en recuperarse.

En la Figura 5, claramente se observa la relación entre la temperatura ambiente y la temperatura tanto del agua como del zinc, es decir cuando la temperatura ambiente promedio fue de 27°C (Día 8) la temperaturas promedio de la lámina de zinc y del agua de las botellas ascendió hasta 39° y 37° centígrados respectivamente. Por el contrario, el día 18 de julio la temperatura ambiente promedio fue la más baja registrada en los días de experimentación (24°C) generando que el promedio de las temperaturas promedio de la lámina de zinc y del agua fueran también las más bajas registradas durante el experimento (28°C y 30°C) respectivamente; además, en el cuadro 6 se detallan los datos de nubosidad en los días de exposición.

Cuadro 6. Nubosidad registrada en los días de experimentación

Día	1	2	3	4	5	6	7	8
Nubosidad	100%	75%	50%	50%	75%	60%	0%	20%

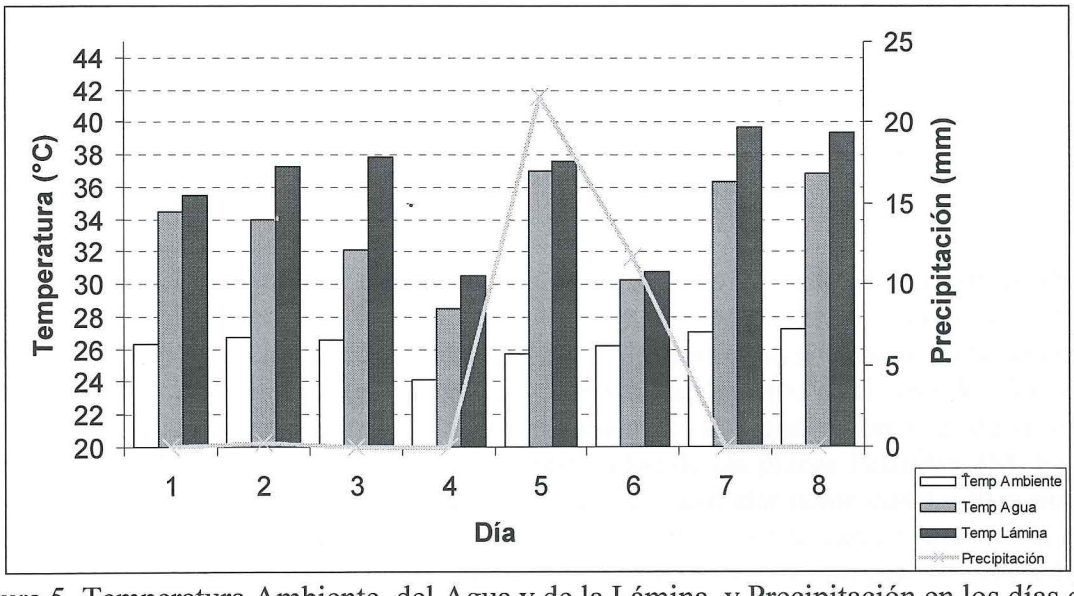


Figura 5. Temperatura Ambiente, del Agua y de la Lámina, y Precipitación en los días de exposición

En los primeros 3 días de exposición se utilizó el método de filtración de membrana para analizar las muestras de las tres disoluciones de la solución madre (0.2 ml, 2 ml y 20 ml), pero el conteo de unidades formadoras de colonias (UFC) resultó moroso y difícil, porque solo se distinguía una masa de color purpúreo, principalmente en el caso de la disolución de volumen de 20 ml (A). Sin embargo, y pese a las limitaciones, se pudo observar la disminución de la población de coliformes fecales en los primeros tres días del tratamiento (Figura 6). En las disoluciones B y C el resultado fue mucho más alentador, debido a que estas contenían un conteo menor que la disolución A.

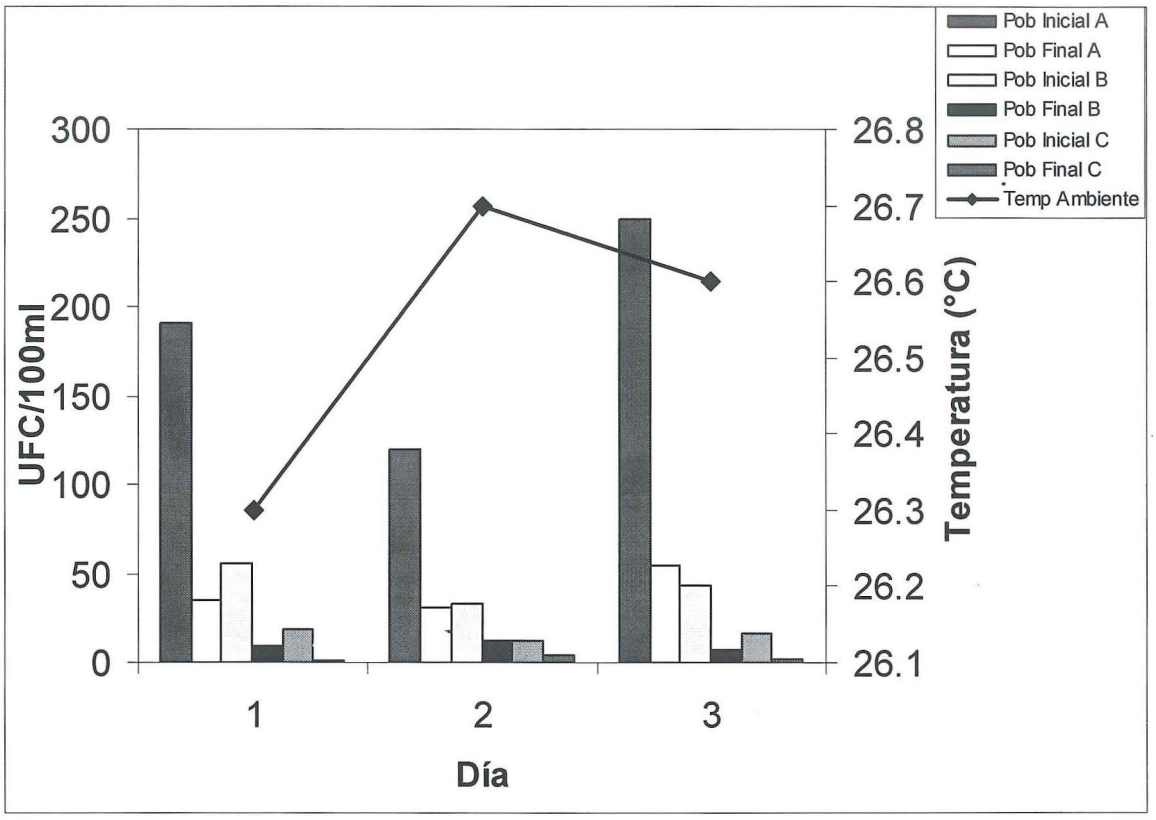


Figura 6. Poblaciones iniciales y Finales de las disoluciones A, B y C vs la temperatura ambiente en los primeros 3 días de exposición

A partir del día 18 de julio se utilizó el método de análisis Petrifilm de industrias 3M, el cual facilitaba el conteo, era mucho más rápido y no necesitaba de equipo especial o espacio. En la Figura 5, se puede observar el rol de la temperatura en la disminución de la población de coliformes fecales, en los días de mayor calor como es el caso del día 26 de julio, en donde la población final de las tres disoluciones fue igual a "cero" es decir 100% de eficiencia del método SODIS, según los resultados de las placas Petrifilm 3M. En los otros días también se observa una eficiencia similar, particularmente con la disminución de la población de las disoluciones B y C. También observamos que el día 4, correspondiente al 18 y 19 de julio, debido a que el cielo se encontraba nublado y hubo precipitación, esto afectó la cantidad de radiación solar que llegaba a las botellas, por lo

que también se ve que la disminución de la población a lo largo de las 8 horas de exposición tuvo una eficiencia baja, 19% en el caso de la disolución A de la fecha 19 de julio (Día 5).

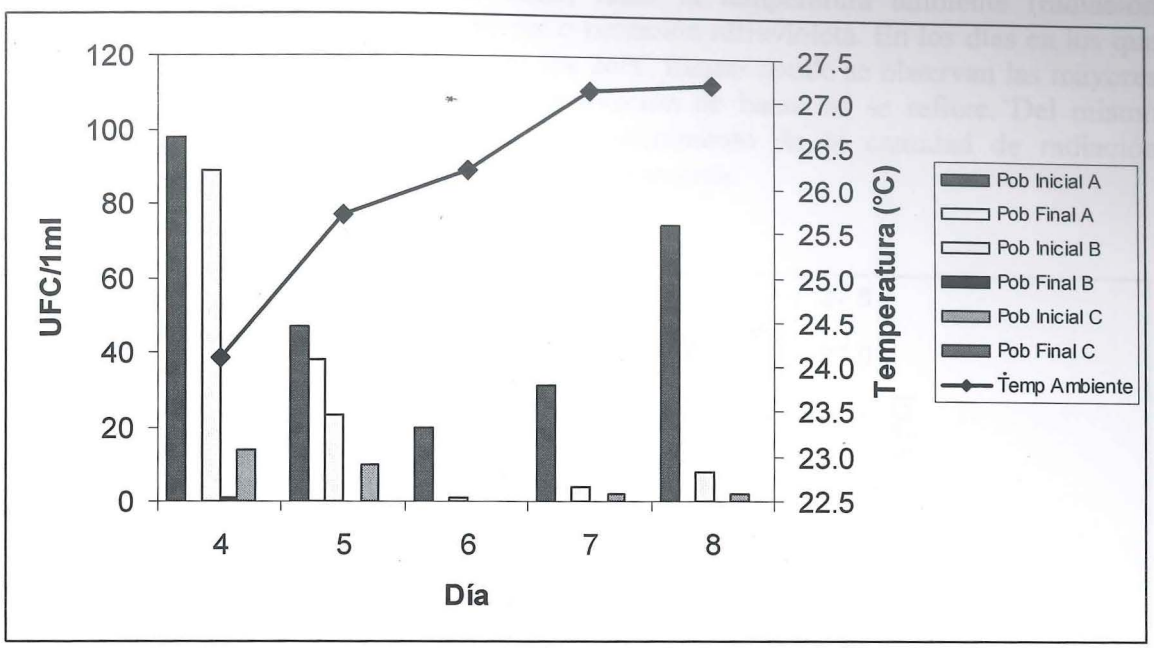


Figura 7. Comparación entre la Población Inicial y Final de UFC en las tres disoluciones vs la Temperatura Ambiente Promedio

4.2.2. Radiación Solar

Para hallar los datos de radiación solar incidente (Rs) se necesitó de los datos de radiación solar extraterrestre, coeficiente KT y la temperatura máxima y mínima. (Anexo 5). A continuación se muestra el cuadro resumen:

Cuadro 7. Cálculo de la Radiación Solar Incidente (Rs)

Día	Fecha	Ro W/m^2	KT	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Rs W/m^2	Rs KW/m^2
1	10-Jul	10403.06	0.162	30	23	4458.87	4.46
2	11-Jul	10418.98	0.162	30.3	22	4862.72	4.86
3	12-Jul	10435.13	0.162	29	23	4140.84	4.14
4	18-Jul	10535.75	0.162	29.4	21.7	4736.15	4.74
5	19-Jul	10535.75	0.162	30	21	5120.37	5.12
6	24-Jul	10638.73	0.162	30.5	21.7	5112.65	5.11
7	25-Jul	10655.71	0.162	31	23.7	4664.00	4.66
8	26-Jul	10655.71	0.162	31.2	20.3	5699.16	5.70

4.2.3. Eficiencia en la inactivación de coliformes fecales vs Radiación Solar

En las Figura 8 y 9 se observa como la eficiencia del método en la inactivación de coliformes fecales o unidades formadoras de colonias en los tres tipos de disoluciones fue afectada por la radiación solar, es decir, tanto la temperatura ambiente (radiación infrarroja) como por la radiación incidente o radiación ultravioleta. En los días en los que la temperatura ambiente estuvo arriba de los 26°C fueron donde se observan las mayores eficiencias del método en cuanto a la inactivación de bacterias se refiere. Del mismo modo, en la figura 9 se observa como el incremento de la cantidad de radiación ultravioleta afectó la eficiencia del método positivamente.

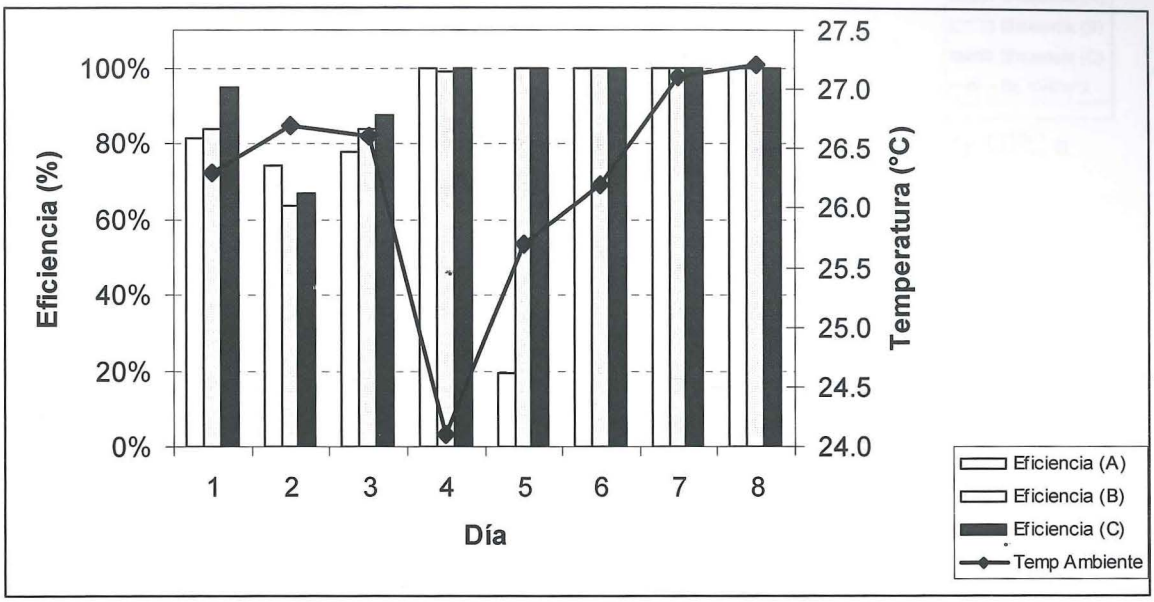


Figura 8. Eficiencia del método SODIS en la inactivación de la población de UFC a diferentes disoluciones vs la Temperatura Ambiente Promedio de cada día.

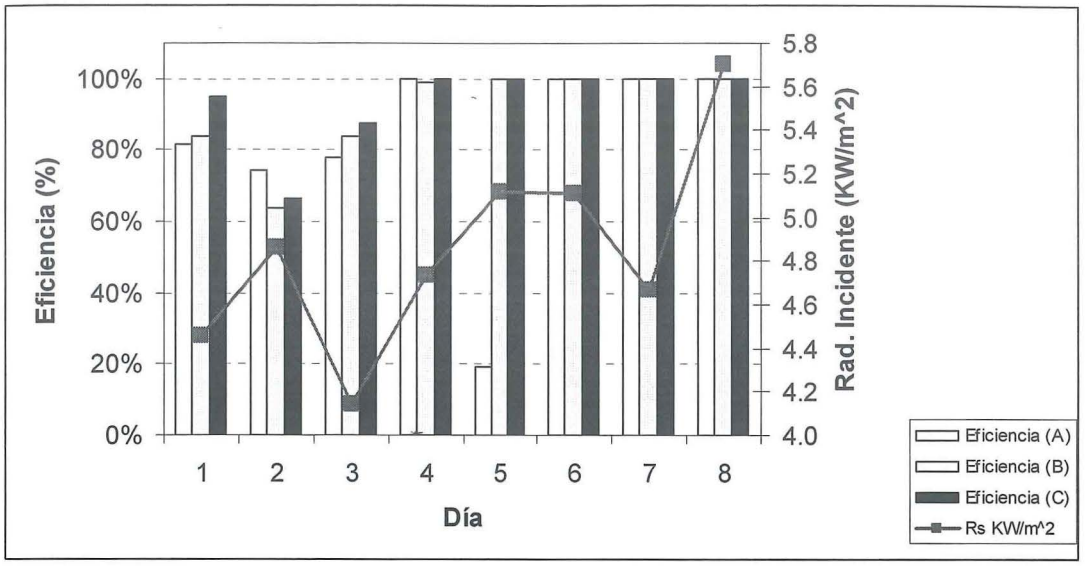


Figura 9. Eficiencia del método SODIS en la inactivación de la población de UFC a diferentes vs la Radiación Incidente de cada día

4.2.4. pH y Turbidez

En la muestra de agua de la llave de la Sede de Catacamas, el agua se mantiene dentro de los rangos permisibles tanto de pH como de turbidez, 6.5 a 8.5 unidades de pH y 15NTU como máximo de turbidez de acuerdo a las Normas Técnicas para Agua Potable de Honduras. Durante la época de experimentación se obtuvo un pH promedio de 7.52 antes de la exposición del agua al sol y 7.81 después de la exposición al sol. En cuanto a la turbidez, se obtuvo una turbidez promedio de 1.78NTU antes y 1.82NTU después de la exposición al sol.

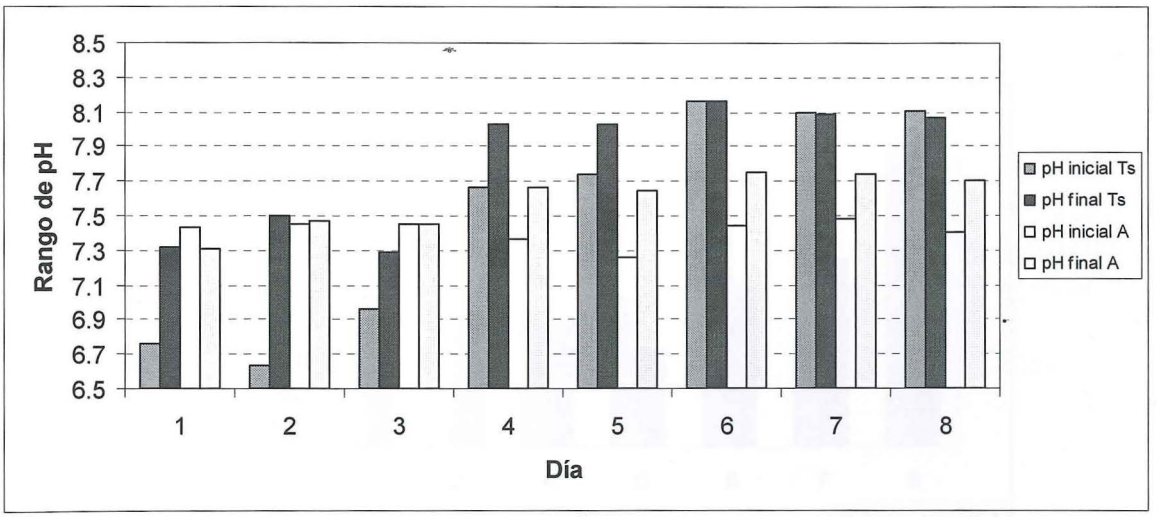


Figura 10. Comparación entre el pH inicial y final de las disoluciones frente al pH del testigo durante los días de experimentación

Se puede observar que el pH inicial de la disolución A fue siempre menor que las otras disoluciones (Figura 12 y 13, Anexo 12) debido al volumen de la disolución madre que se utilizaba para propósitos del estudio. Es decir, como las bacterias viven en un medio ácido, no es de extrañar que el pH del agua tienda a bajar cuando vertimos el volumen correspondiente a cada disolución. (A = 20ml, B = 2ml y C = 0.2ml de la disolución madre) y que también este tienda a subir una vez transcurridas las 8 horas de exposición al sol como una forma de comprobar la muerte de las mismas. Todo esto se observa en la figura 5, recordemos que el día 26 de julio fue el día cuya temperatura promedio fue la mayor registrada durante el experimento, es el día en donde las tres disoluciones alcanzaron una eficiencia del 100% en la inactivación de coliformes fecales y por lo tanto, también es el día en donde el pH final de las disoluciones se acercó más al pH de la muestra testigo.

En cuanto a la turbidez, se observa que esta también tendió a disminuir tras las 8 horas de exposición, tal como se observa en la Figura 14 (Anexo 10). Pese a tener una turbidez mayor a 1 NTU, todavía se acepta como agua apta para consumo humano de acuerdo a la Norma Técnica para uso de Agua Potable de Honduras (1995), en la cual se especifica que el nivel máximo permisible corresponde al agua con una turbidez de 15 NTU.

En la disolución A, Figura 11, algunos días se obtuvieron valores superiores a los recomendados por el método SODIS (turbidez mayor a 30 NTU). Sin embargo, también si comparamos la Figura 11 con los resultados de la Figura 8, observamos que pese a una turbidez de 45 NTU (día 8), la reducción de la población de coliformes fue igualmente significativa.

La variación entre la turbidez inicial y final pudo deberse a la deposición de los sólidos suspendidos en el fondo del envase puesto que se observó una disminución significativa de la turbidez tras las 8 horas de exposición. Aunque de todas formas el agua de esta disolución, no cumple con los requisitos para el agua apta para consumo humano.

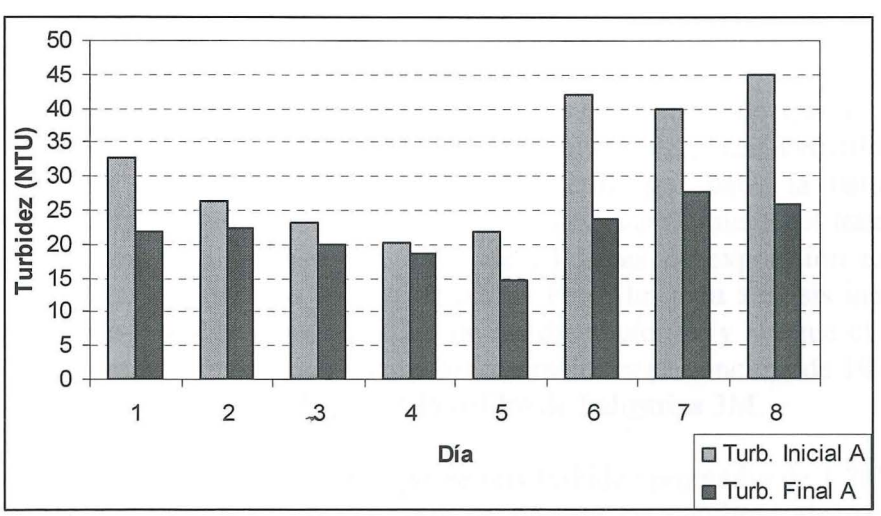


Figura 11. Turbidez inicial y final de la disolución A

5. CONCLUSIONES

El método SODIS demostró ser un método efectivo para la inactivación y disminución de diferentes concentraciones de población colonias de *E. Coli* para el agua de la Ciudad de Catacamas, según las siguientes condiciones:

- Tal como lo demuestran los datos obtenidos en los días de exposición, en condiciones climáticas ideales, es decir, un día completamente despejado y alta temperatura, se logró obtener hasta 100% de eficiencia en la disminución de la población inicial de coliformes bajo las tres concentraciones iniciales de *E. Coli* al final de las 8 horas de exposición.

- En días nublados, se requiere la exposición al sol por dos días consecutivos para asegurar la eficiencia del método. En el día 19 de julio donde hubo 21.59mm de precipitación, el método presentó una eficiencia de 19.15% (concentración de 20ml) durante la exposición del primer día. Sin embargo, al exponer la botella nuevamente al sol (20 de Julio) se logró obtener una eficiencia de 99.4%. Es decir, se logró rebajar la población de *E. Coli* de 4700 coliformes por 100ml a 28 coliformes por 100ml (en el segundo día de exposición al sol).

De acuerdo a Wegelin *et.al.* (2005), para la efectividad del método se hace necesario una intensidad mínima de radiación solar de 500 W/m^2, en el caso de la ciudad de Catacamas, la radiación promedio registrada a lo largo del año se mantiene entre un rango de 3.5 a 4 KW/m^2 (Ver Anexo 7); es decir, 7 veces más la mínima requerida para el buen funcionamiento del método, por lo tanto, se puede utilizar el método SODIS para la desinfección del agua durante todo el año, siempre y cuando se cuente con el otro requisito adicional: días completamente despejados.

En cuanto a los métodos de análisis microbiológicos, se comprobó que el método de filtración de membrana es mucho más exacto que el método de placas Petrifilm, debido a que se analiza un volumen mayor de agua. Sin embargo, dada la naturaleza del experimento y la alta concentración de colonias de bacterias al inicio del tratamiento, el filtrado de las mismas era moroso y al cabo de 24 horas de exposición no se podía distinguir entre ellas. Por lo tanto, el uso de placas Petrifilm para análisis inicial y final facilitó el conteo de la población de *E. Coli* de las disoluciones, y aunque el método de filtración de membrana es más exacto, para concentraciones por encima de 10 coliformes por ml es más conveniente el uso de placas Petrifilm de Industrias 3M.

Finalmente, ya que el agua de Catacamas posee una turbidez promedio de 1.78NTU y una cuenta de colonias de coliformes fecales que no superan las máximas alcanzadas por el

experimento (38 UFC/ml) y considerando los resultados obtenidos durante los días de exposición se concluye que el método SODIS puede ser usado como un método alternativo para la desinfección de agua en el hogar, tomando en consideración sus restricciones con respecto al factor clima.

6. RECOMENDACIONES

A la población de Catacamas, se le recomienda utilizar el método SODIS como método alternativo para la desinfección del agua en el hogar, principalmente en la época de verano que es donde se presentan los días más calientes. En la época de invierno o en días lluviosos, se recomienda el uso de otros métodos alternativos o de lo contrario exponer las botellas al sol durante dos días consecutivos. Considerando a la población de las zonas altas del municipio, en donde las familias por lo general no tratan el agua, sino que la consumen directamente de la fuente, este método puede ser de gran de ayuda para evitar o disminuir los casos de enfermedades gastrointestinales; porque al usar las botellas solo para su exposición al sol, se garantiza que el agua contenida en ellas no será víctima de contaminación secundaria por manipulación deficiente en el hogar.

Se recomienda realizar un monitoreo anual del método, esto generará datos con los cuales se podrá establecer mucho mejor la influencia de los diferentes parámetros analizados sobre la eficiencia del método para diferentes condiciones climáticas. Al tener una base de datos se podría al igual que en Cochabamba, Bolivia crear un modelo para determinar las horas de exposición necesarias para la inactivación en cualquier sitio en Honduras. Requiriéndose tan sólo contar con datos de: temperatura, radiación y población inicial de coliformes.

Para futuros estudios con disoluciones, se recomienda tratar agua con azúcar como medio alternativo para el cultivo de bacterias. De esta forma se podría garantizar que la turbidez del agua con disolución sería aproximada al dato de turbidez del agua pura.

Durante la preparación de disoluciones se comprobó que es mejor utilizar jeringas, porque estas son descartables y de fácil uso, en especial para volúmenes pequeños como en el caso de 0.2ml (Disolución C). Si bien son menos exactas que la pipeta de 1ml, su uso es mucho más fácil generando ahorro en tiempo durante el experimento.

Para análisis microbiológicos de agua destinada a consumo humano, es recomendable el método de Filtro de Membrana porque se tiene la oportunidad de poder analizar un volumen mayor de agua generando datos mucho más exactos (en el caso de Honduras es necesario analizar un volumen de 100ml, en algunos países como España este volumen asciende a 250ml). En ambos casos, el contenido apto de UFC para agua potable deber ser cero.

Se pueden utilizar placas Petrifilm de Industrias 3M cuando se necesita ahorrar tiempo o de lo contrario cuando la población inicial de coliformes es considerable, mayor a 30 coliformes por ml, como fue el caso del experimento. Si se desea utilizar la técnica de

filtración de membrana y se conoce que la población de colonias de coliformes es alta, entonces se pueden efectuar disoluciones de manera de facilitar el análisis; sin embargo, para efectuar disoluciones es necesario contar con equipo especializado y mantener prácticas de asepsia para evitar la contaminación de las muestras.

Se recomienda realizar un estudio comparativo sobre la eficiencia de otros métodos de desinfección de agua en el hogar; como por ejemplo: filtros lentos de arena, filtrón, cloración y otros, frente al uso del método SODIS comparando: condición socioeconómica de la familia versus el grado de adopción de los diferentes métodos de acuerdo a su efectividad para mejorar la calidad del agua (disminución de la población de coliformes fecales, retención de sólidos suspendidos por parte del sistema, acción germicida, entre otros).

Finalmente, se recomienda realizar un estudio sobre la aceptación social y percepciones de la población sobre la eficiencia, eficacia y rentabilidad del método SODIS por parte de la población de la ciudad de Catacamas, Departamento de Olancho.

7. BIBLIOGRAFÍA

- American Water Works Association. 1969. Agua y aguas de desecho. Trad. Por Pedro J. Caballero. México D.F., México. Interamericana. 609p.

- Branden, J.B.; Lovejoy, S.B. 1990. Agriculture and water quality; international perspectives. Colorado, USA, Lynne Rienners. 224p

- CEPIS. 2006. Recolección de Muestras. (en línea). Consultado en: 4 de oct. De 2006. Disponible en: http://www.cepis.org.pe/bvsatr/fulltext/operacion/cap12.pdf

- Czajkowski, J.; Gómez, A.. 2006. Cátedra de Instalaciones. (en línea). Consultado en 24 de sept. 2006. Disponible en: http://www.arquinstal.com.ar/software.htm

- Encinas, J.; Iriarte, M.. 2003. Evaluación de la Eficiencia del Método SODIS en la Inactivación de Coliformes Termotolerantes en tres regiones de Bolivia (Valle, Trópico y Altiplano). Facultad de Ciencias y Tecnología. Serie de Publicaciones Técnicas 1 (5): 21-24.

- Environmental Protection Agency (EPA). 2002. (activo septiembre 2006). Method 1604: Total Coliforms and *Escherichia coli* in Wather by Membrana Filtration Using a Simultaneous Detecion Tecnique (MI Medium). Disponible en: www.epa.gov/nerlcwww/1604sp02.pdf

- Gobierno de Chile. 2006. Trámite Fácil: Recuento de Coliformes Totales y Determinación de Coliformes Fecales en Agua, por método de filtración por membrana (Cód.: 8322003). (en línea). Consultado en: 2 de sept. 2006. Disponible en: http://www.tramitefacil.gov.cl/1481/article-46778.html

- Industrias 3M. 2006. Placas Petrifilm 3M. (en línea). Consultado en: 2 de sept. de 2006. Disponible en: http://cms.3m.com/cms/MX/es/0-253/kRecrFS/view.jhtml

- Industrias Pall Corporation. 2006. Set de Filtración. (en línea). Consultado en 4 de oct. de 2006. Disponible en: http://www.pall.com/

- Instituto Nacional de Meteorología de España. 2006. Índice UV para la Población. (en línea). Consultado en: 24 de sept. 2006. Disponible en: http://www.inm.es/uvi/

- International Development Research Center. 2006. Monitoreo Ambiental: Muestreo. (en línea). Consultado en: 2 de sept. de 2006. Disponible en: http://www.idrc.ca/en/ev-84461-201-1-DO_TOPIC.html

- Kehoe, S.C.; Joyce T.M.; Ibrahim, P.; Gillespie, J.B.; Shahar, R.A.; McGuigan, K.G.. 2001. Effect of agitation, turbidity, aluminium foil reflecectors and volume on inactivation efficiency of batch process solar disinfectors. Water Research 2001, Vol 35, No 4, pag 1061-1065.

- Lenntech. 2004. FAQ de la Microbiología del Agua, Preguntas Frecuentes. (en línea). Consultado en 30 sep. 2006. Disponible en: http://www.lenntech.com/espanol/FAQ-microbiologia-del-agua.htm

- Mateos, P. 2006. Crecimiento Microbiano. (en línea). Consultado en: 4 de oct. de 2005. Disponible en: http://coli.usal.es/web/educativo/micro2/tema07.html

- Mendez, F.; Castro, J.A.; Arés-Mazás, E.; Kehoe, S.C.; McGuigan, K.G.. 2005. Effect of Batch-Process Solar Disinfection on Survival of *Cryptosporidium parvum* Oocysts in Drinking Water. Applied And Environmental Microbiology, Mar. 2005, P. 1653–1654.

- Ministerio de Salud, República de Honduras. 1995. Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable. 20p.

- OMS .1995. Manual de desinfección. Consultado el 22 de septiembre de 2006.Disponible en: http://www.disaster-info.net/edan/publicacion/word/EdanBookAnexo8.doc

- OMS.2006. Manejo del agua en la vivienda: beneficios acelerados para la salud derivados del abastecimiento de agua mejorado. Consultado el 22 de septiembre de 2006. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsh0207/es/index1.html

- Pisabarro, A. 2006. Notas de Microbiología de los Alimentos. (en línea). Consultado en: 24 de sept. 2006. Disponible en: http://www.unavarra.es/genmic/curso%20microbiologia%20general/notas_de_microbiologia_de_los_al.htm

- Rivera, K.; Funes, D.. 2003. Análisis del Sector Agua y Saneamiento de Honduras. Organización Panamericana de la Salud. Lima, Perú. 12p

- Rocky Mountain Laboratorios. 2006. Micrografía electrónica de E. Coli en crecimiento en un medio de cultivo. (en línea). Consultado en: 5 de oct. de 2006. Disponible en: www2.niaid.nih.gov/Biodefense/Public/Images.htm

- Saladín, M; Encalada, M; Chávez, O. 2005. Desinfección Solar del Água, de la Investigación a la Aplicación. Editorial de la Facultad de Ciências y Tecnologia UMSS. Primera ed. Cochabamba, Bolivia. 70p

- Sanchez, J. 2006. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial Mediante la Fórmula de Hargreaves. (en línea). Consultado en: 24 de sept. 2006. Disponible en: www.web.usal.es/~javisan/hidro/practicas/ET_Hargreaves.pdf

- Scharlab. 2006. Control Microbiológico de las Aguas: Método de Filtración de Membrana. (en línea). Consultado en 2 de sept. De 2006. Disponible en: 80.37.246.49/ScharlabDades/Docs/Portada/ctrlaguasmicro.pdf

- Sobsey, M.D. 2006. Manejo del agua en la vivienda: beneficios acelerados para la salud derivados del abastecimiento de agua mejorado. (en línea). Consultado en 21 de Ago. 2006. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsh0207/es/

- Sociedad Andaluza de Educación Matemática "Thales". 2006. Tiempo y Clima. (en línea). Consultado en: 24 de sept. 2006. Disponible en: http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0151-01/capitulos/cap2.htm

- Sommer B., Mariño A., Solarte Y., Salas M.L., Dierolf C., Valiente C., Mora D., Rechsteiner R., Setter P., Wirojanagud W., Ajarmeh H., Al-Hassan A., Wegelin M. (1997). SODIS - an emerging water treatment process. J Water SRT, Aqua Vol. 46, No. 3

- SWERA. 2006. Solar and Wind Energy Resource Assessment: Honduras. (en línea). Consultado en: 18 de sept. 2006. Disponible en: http://swera.unep.net/swera/index.php?id=159

- Torrico, A.; Fuentes, I.. 2001. Cálculo de Propiedades Ópticas en los Plásticos PET (polietileno de Tereftalato) para Optimizar el Método SODIS. Facultad de Ciencias y Tecnología. Serie de Publicaciones Técnicas 1 (8): 39-46.

- Trevett, A.; Carter, R.; Tyrrel, S.. 2004. Water quality deterioration: A study of household drinking water quality in rural Honduras. International Journal of Environmental Health Research 14(4), 273 – 283 (August 2004)

- Universidad de Virginia. 2006.Enfermedades infecciosas. Consultado el 29 de marzo de 2006. Disponible en: http://www.healthsystem.virginia.edu/UVAHealth/adult_infectious_sp/ecoli.cfm

- USAID/MIRA. 2005. Plan de Manejo del Río Catacamas. Catacamas, Honduras. 98p.

- USAID/MIRA. 2006. Capacitación para el Fortalecimiento de las Juntas de Agua: Desinfección y Monitoreo de Cloro. Tegucigalpa, Honduras. 72p.

- USAID/MIRA. 2006. Mejoramiento de la Calidad de Agua en el Hogar. Tegucigalpa, Honduras. 10p.

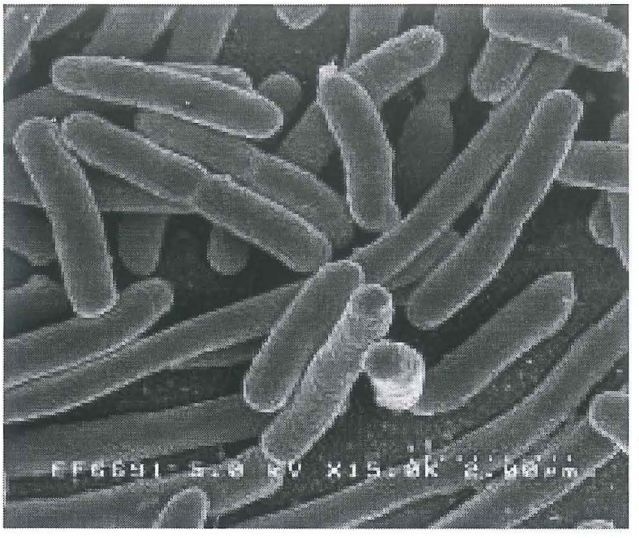
- Vásquez, J.; Cabral, A.. 2002. La inocuidad alimentaria, realidad y reto mundial.(en línea). Consultado el 13 de sept. 2006. Disponible en: http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/003/Y0600M/y0600m02.htm

- Wegelin, M; Saladin, M; Mercado, A; Encalada, M; Soto, B; Medrano, G; Altamirano, O. 2005. Desinfección Solar del Água, Guía de Aplicación. Ed. Artes Gráficas Sagitario. Cochabama, Bolivia. Primera ed. 80

- WSP. 2004. Technologies applied for drinking water treatment in rural communities. Honduras. 14p.

8. ANEXOS

Anexo 1: Micrografía electrónica de E. Coli en crecimiento en un medio de cultivo.
Fuente: Rocky Mountain Lab., 2006.



Anexo 2. Descripción de los principales métodos de desinfección de agua en el hogar

Como se dijo en el apartado 2.7, entre los principales métodos para desinfección del agua en el hogar, identificados por el componente de Agua del Proyecto USAID/MIRA, son: ebullición, desinfección con cloro, desinfección con yodo, filtración y SODIS. Los cuales se detallan en los subtítulos siguientes.

1. Ebullición

Este método consiste en hervir el agua hasta que alcance una temperatura entre 90° a 100°C, durante tres minutos, tiempo en el cual la mayoría de las bacterias, esporas, virus y quistes logran morir; además, se puede realizar en todos los hogares. Sin embargo, se requiere el uso de leña, gas o energía eléctrica, ocasionando gastos adicionales y no existe protección residual, es decir que el agua está expuesta a contaminarse nuevamente ya sea por las manos sucias, cucharones, el aire o inclusive el mismo recipiente doméstico.

2. Desinfección con Cloro

El Cloro, ya sea en forma granular o líquida, actúa en el agua destruyendo las bacterias. Es importante que el agua posea menos de 5NTU, porque de lo contrario no funcionaría. Se lo puede encontrar como hipoclorito de sodio de color amarillo verdoso con fuerte olor a cloro o como hipoclorito de calcio, de estructura sólida, de color blanco, el cual por su fácil descomposición en el agua, es el más utilizado para el tratamiento en los sistemas de agua potable.

Sin embargo, grandes cantidades de cloro pueden desmayar o intoxicar en caso de inhalarlo. Se pueden sufrir lesiones corrosivas en la boca, garganta, esófago, estómago; además de hemorragias internas, perforaciones y eventualmente la muerte, cuando ha sido ingerido. El contacto con la piel puede causar quemaduras, ampollas o en el peor de los casos úlceras debido a que es un oxidante fuerte.

3. Desinfección con Yodo

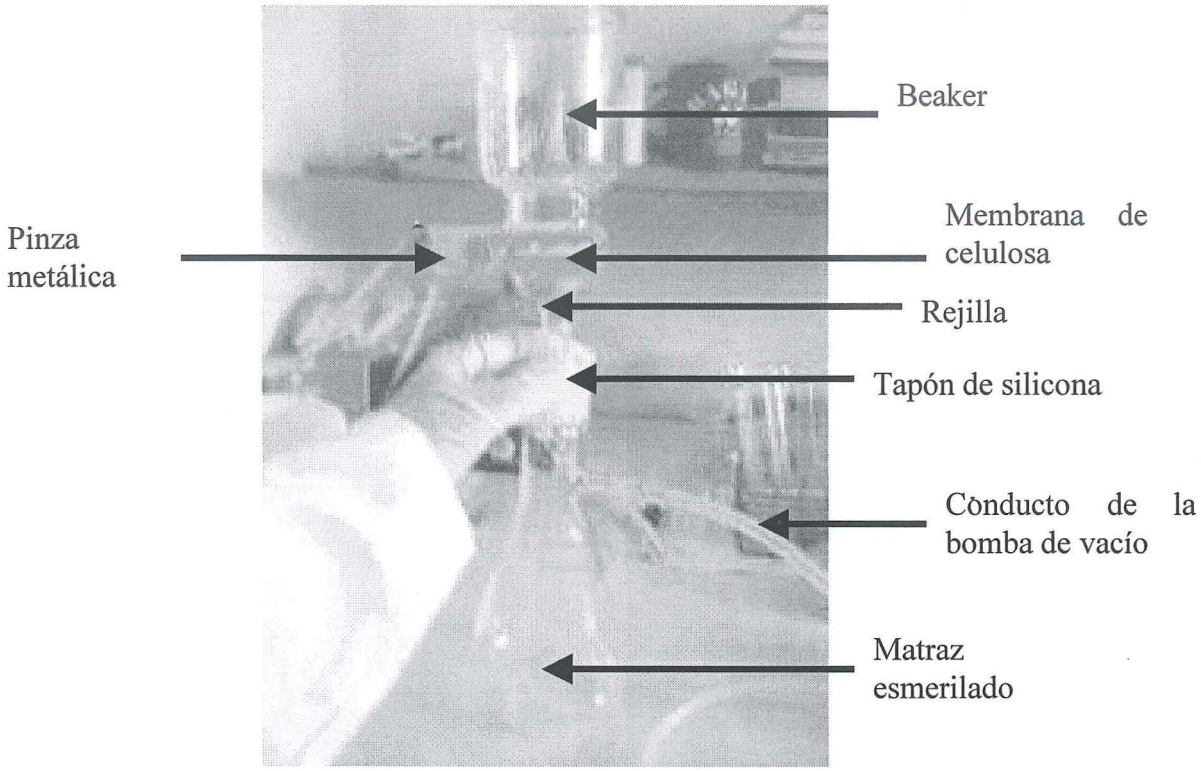
Es de uso limitado debido a que es hasta 10 veces más caro que el cloro, para su uso requiere de dispositivos protectores y puede producir reacciones adversas sobre la salud de las personas.

La dosis de yodo puede ser de 2 gotas por litro de agua clara, este método ayuda ala eliminación de bacterias, virus, quistes de amebas y otros microorganismos, el agua tratada se puede utilizar para el lavado de hortalizas.

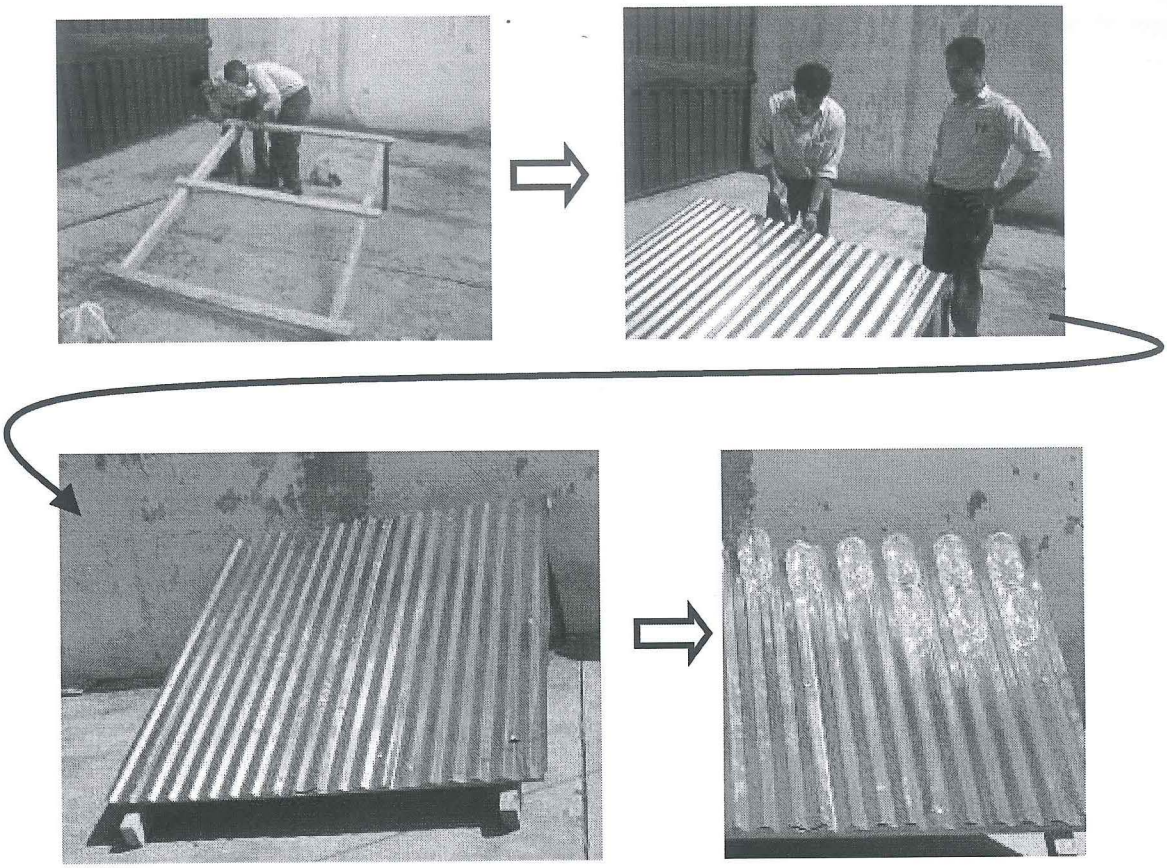
4. Filtración

Consiste en hacer pasar el agua por un filtro, ya sea de piedra, arena o cerámica con el fin de eliminar turbiedad, quistes y protozoarios. Existen varios tipos de filtros, los más utilizados son el filtro lento de cerámica y el filtro de arena. Ambos filtros ayudan a eliminar los sólidos que se encuentran en el agua aunque no es seguro que se eliminen totalmente las bacterias ni los virus. Por lo que es necesario que previo al consumo humano se hierva o aplique cloro.

Anexo 3: Set de filtración para análisis microbiológico por método de filtración de membrana



Anexo 4. Armado de la estructura



Anexo 5. Cálculo de las Disoluciones

Para comprobar la eficiencia del método, se partió de la premisa que los tubos de ensayo inoculados poseían una población de 10^7 colonias de coliformes fecales y totales por ml. Entonces se realizaron los siguientes cálculos:

1. Preparación de la Solución Madre

Para 100ml de solución madre:

$$C_i \cdot V_i = C_m \cdot V_m \qquad [2]$$
$$10^7 \cdot X = 10^6 \cdot 100ml$$
$$X = 10ml \text{ de la solución inicial}$$

Donde:
C_i = Concentración de los tubos de ensayo
V_i = Volumen de la concentración de 10^7
C_m = Concentración de la solución madre
V_m = Volumen de la solución madre

2. Preparación de las soluciones hijas

Para la solución hija (A) de concentración 10^4 bacterias:

$$X_m = \frac{C_A \cdot V_A}{C_m} \qquad [3]$$
$$X_m = \frac{10^4 \cdot 2000ml}{10^6}$$
$$X_m = 20ml$$

Donde:
C_A = Concentración de la solución hija (A)
V_A = Volumen la concentración hija (A)
C_m = Concentración de la solución madre
X_m = Volumen requerido de la solución madre

Para la solución hija (B) de concentración 10^3 bacterias:

$$X_m = \frac{C_B \cdot V_B}{C_m} \qquad [4]$$
$$X_m = \frac{10^3 \cdot 2000ml}{10^6}$$
$$X_m = 2ml$$

Donde:
C_B = Concentración de la solución hija (B)
V_B = Volumen la concentración hija (B)
C_m = Concentración de la solución madre
X_m = Volumen requerido de la solución madre

Para la solución hija (C) de concentración 10^2 bacterias:

$$X_m = \frac{C_C \cdot V_C}{C_m} \qquad [5]$$

$$X_m = \frac{10^2 \cdot 2000ml}{10^6}$$

$$X_m = 0{,}2ml$$

Donde:
C_c = Concentración de la solución hija (C)
V_c = Volumen la concentración hija (C)
C_m = Concentración de la solución madre
X_m = Volumen requerido de la solución madre

Anexo 6. Cálculo de la Radiación Solar diaria

Con el objetivo de calcular la radiación diaria, se bajó el programa RADIAC2 - versión 2.1/95 de la página web del Profesor Czajkowski (http://www.arquinstal.com.ar/software.htm) en la cual al introducir la latitud de Catacamas (14,9°) y el día, nos facilitó los datos de radiación extraterrestre por hora. Posteriormente, para hallar la radiación solar incidente (la que es absorbida por los cuerpos terrestres) se utilizó la ecuación de Samani (2000) citado por Sánchez (2006):

$$R_s = R_0 \cdot KT \cdot (t_{\max} - t_{\min})^{0,5} \qquad [1]$$

Donde:

R_s = Radiación solar incidente

R_0 = Radiación solar extraterrestre

KT = coeficiente

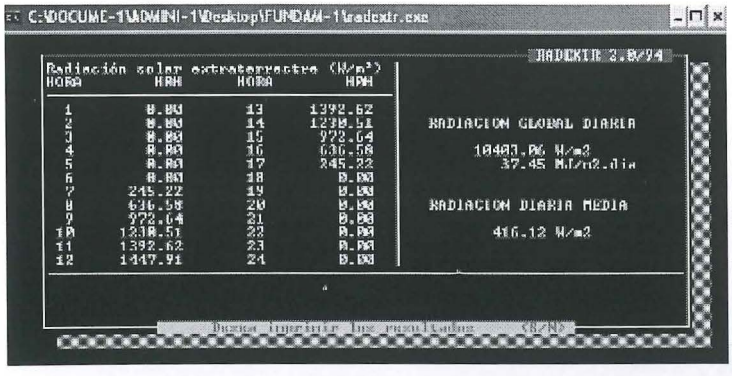
$t_{\max}$ = temperatura diaria máxima

$t_{\min}$ = temperatura diaria mínima

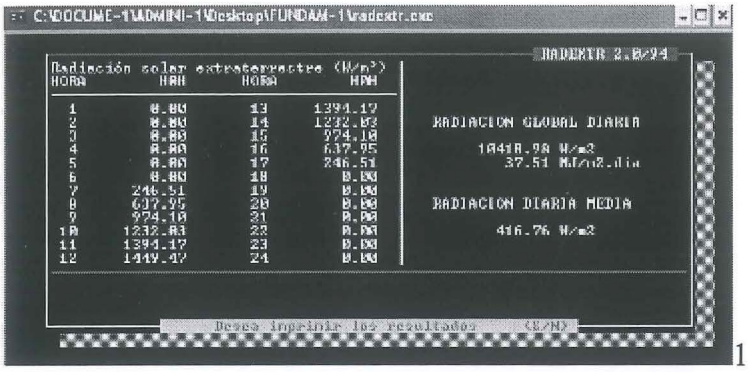
Las temperaturas máximas y mínimas de cada día fueron obtenidas a partir de los datos generados por la estación metereológica de la Universidad Nacional de Agricultura, ubicada a 6km del centro de estudio.

El Coeficiente KT es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Samani citado por Sánchez (2003), recomienda KT = 0.162 para las regiones del interior y KT = 0.19 para las regiones costeras.

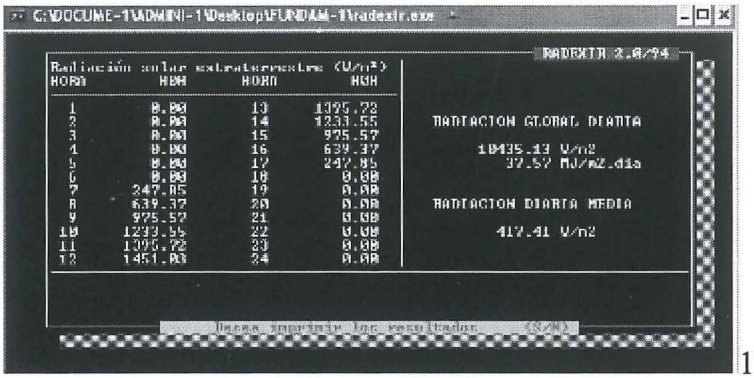
En las siguientes figuras se muestran los datos obtenidos para los diferentes días de exposición al sol de las botellas de 2 litros PET:



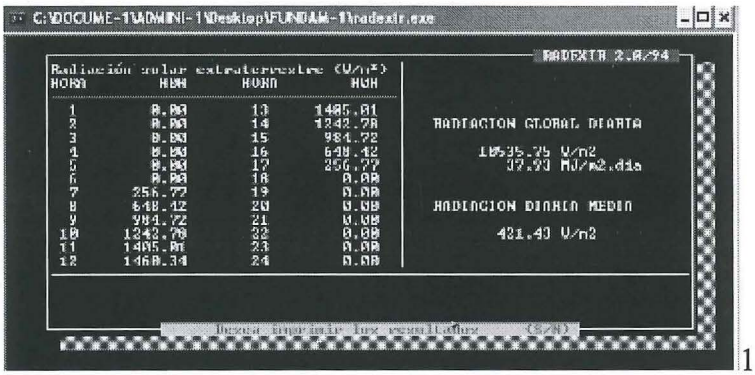
10/07/2006



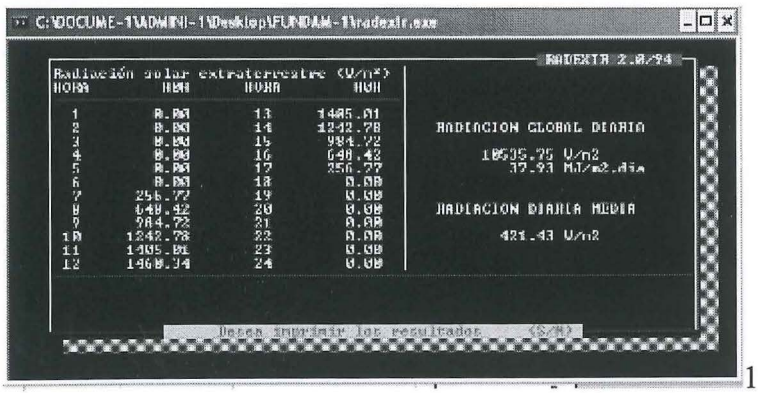
11/07/2006



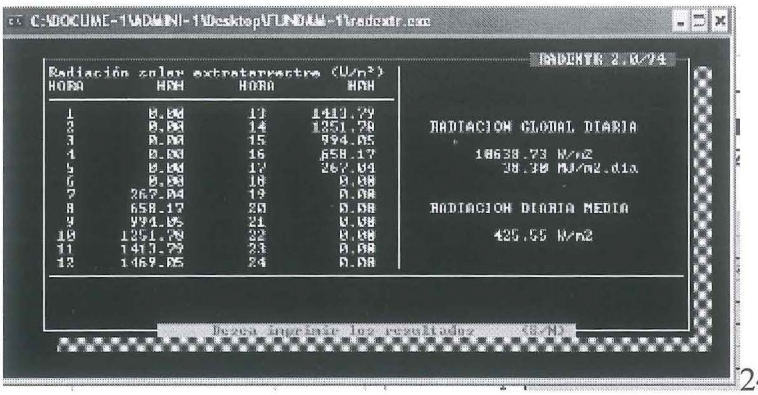
12/07/2006



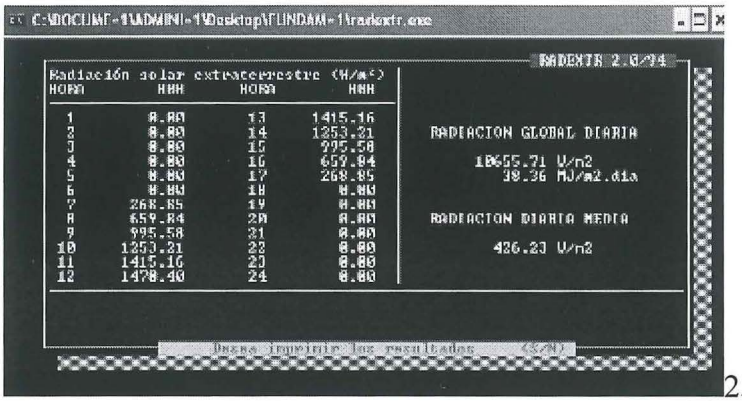
18/07/2006



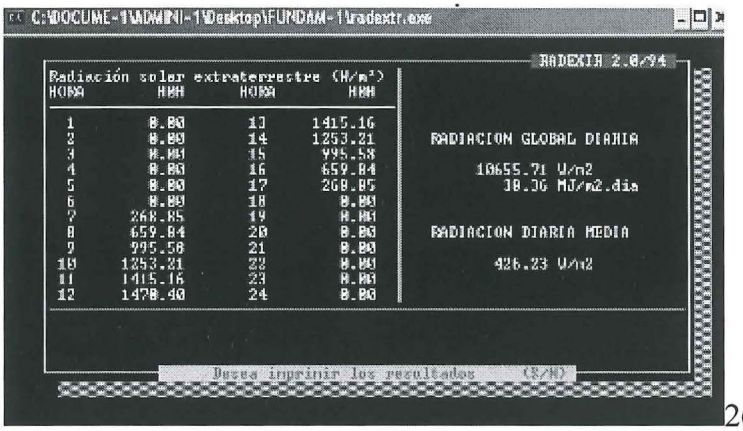
19/07/2006



24/07/2006



25/07/2006

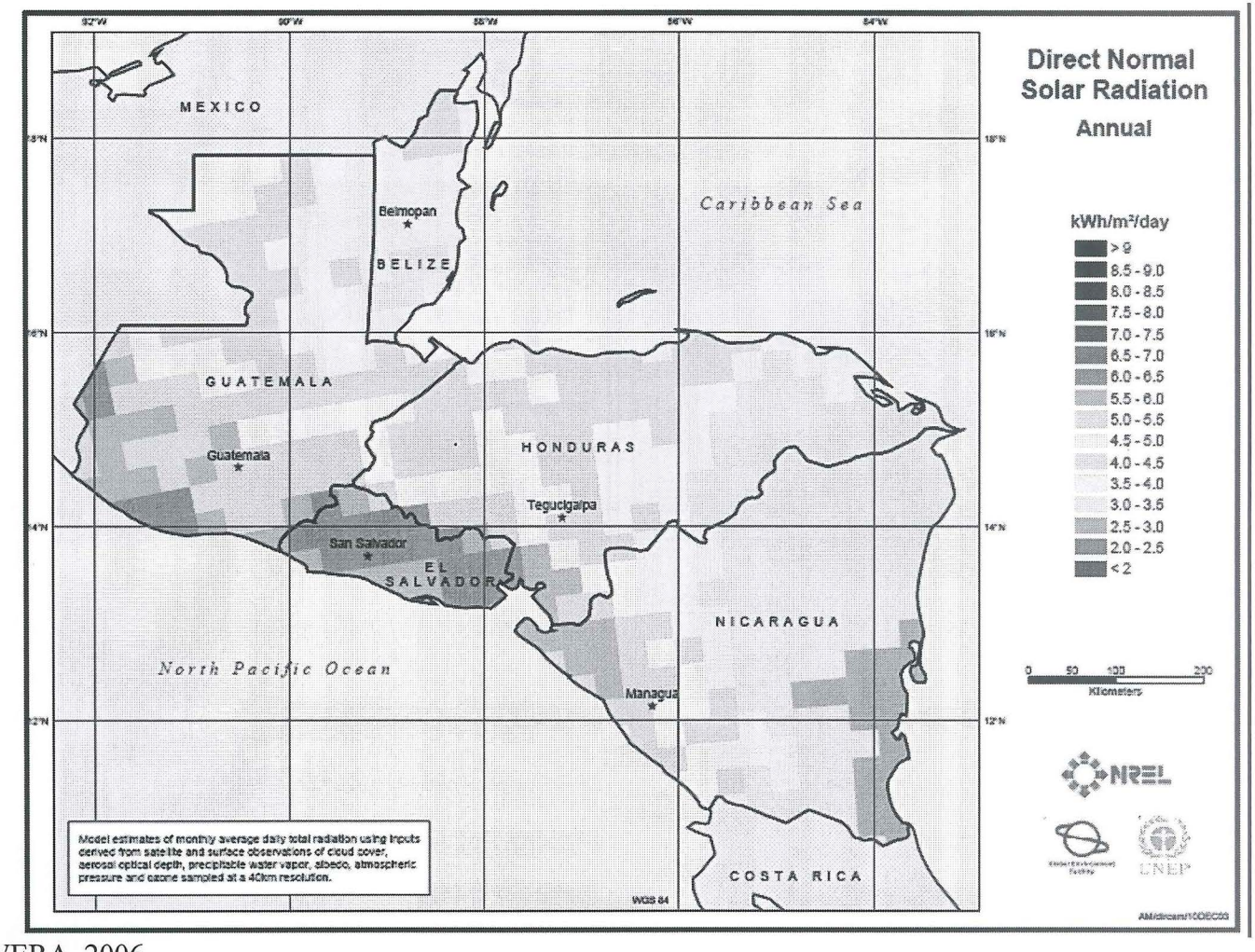


26/07/2006

Al realizar los cálculos correspondientes se obtuvieron los siguientes datos de radiación solar incidente para los días de exposición:

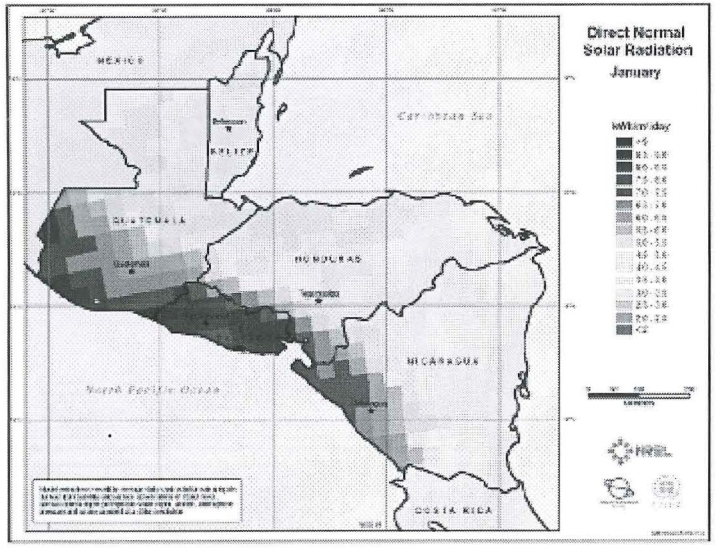
Fecha	Ro W/m^2	KT	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Rs W/m^2	Rs KW/m^2
10-Jul	10403.06	0.162	30	23	4458.87	4.46
11-Jul	10418.98	0.162	30.3	22	4862.72	4.86
12-Jul	10435.13	0.162	29	23	4140.84	4.14
18-Jul	10535.75	0.162	29.4	21.7	4736.15	4.74
19-Jul	10535.75	0.162	30	21	5120.37	5.12
24-Jul	10638.73	0.162	30.5	21.7	5112.65	5.11
25-Jul	10655.71	0.162	31	23.7	4664.00	4.66
28-Jul	10655.71	0.162	30.8	21.9	5149.82	5.15
29-Jul	10721.99	0.162	31.5	21.7	5437.55	5.44

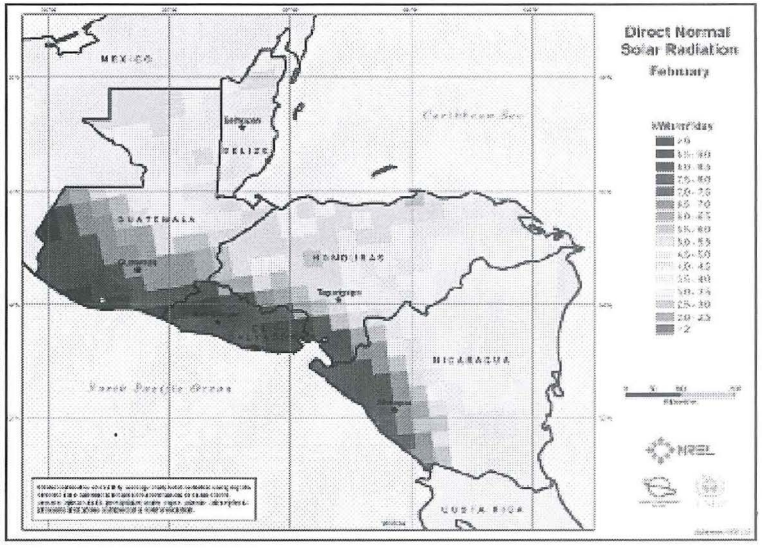
Anexo 7. Mapa sobre la radiación solar directa a lo largo del año en Honduras.

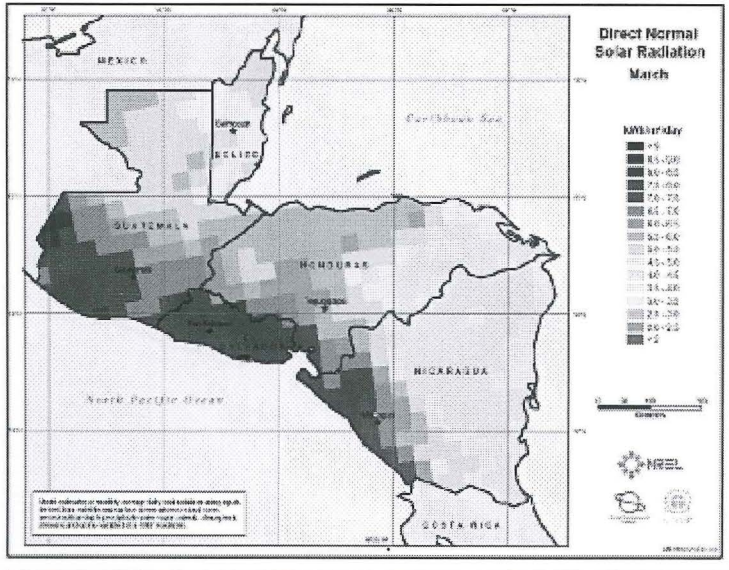


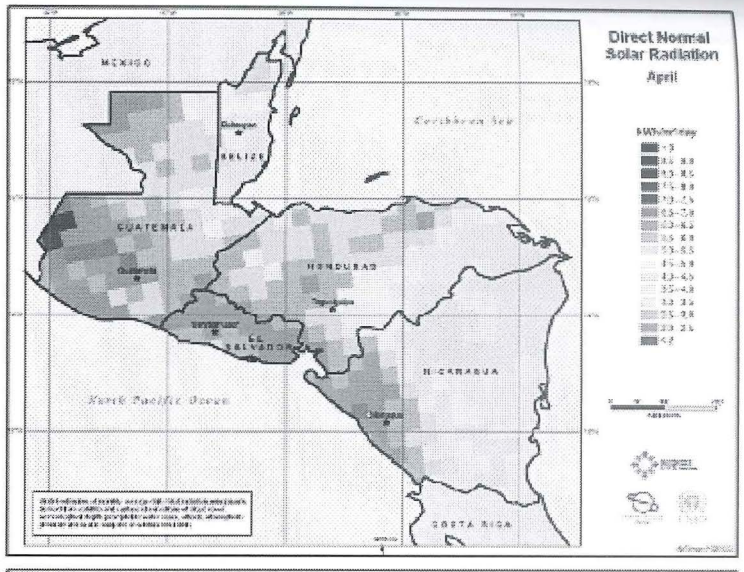
Fuente: SWERA, 2006

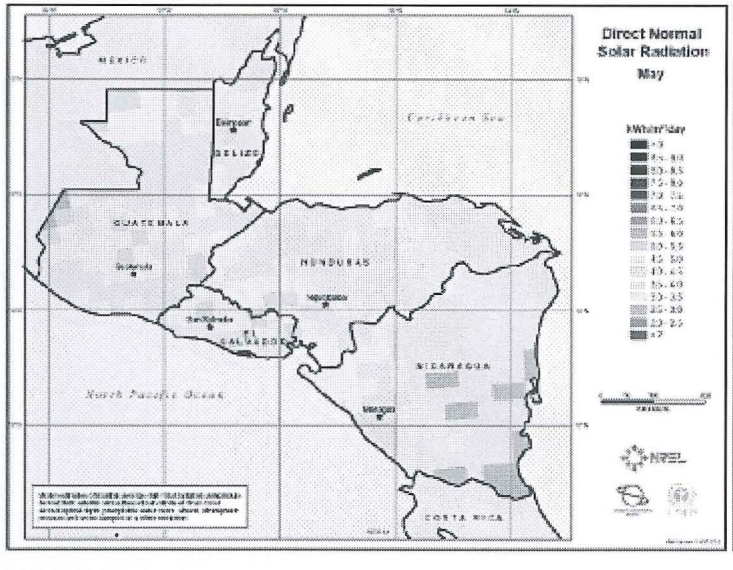
Anexo 8. Radiación solar de Honduras mensual

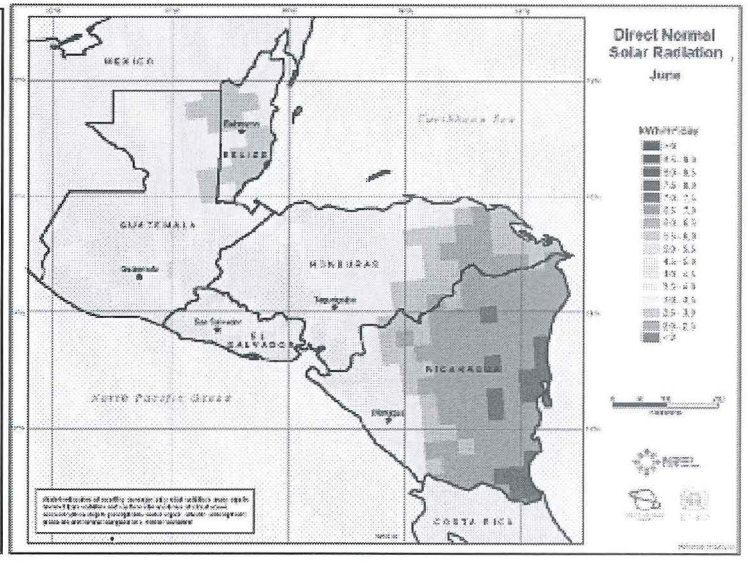


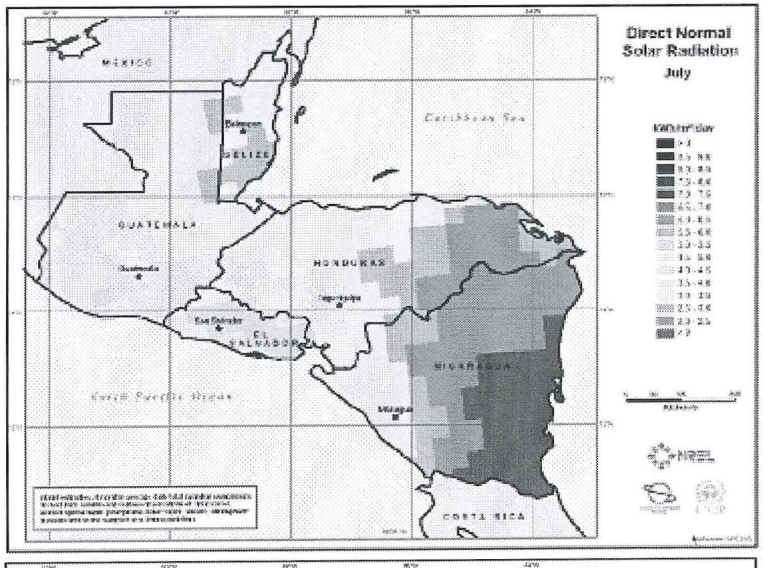


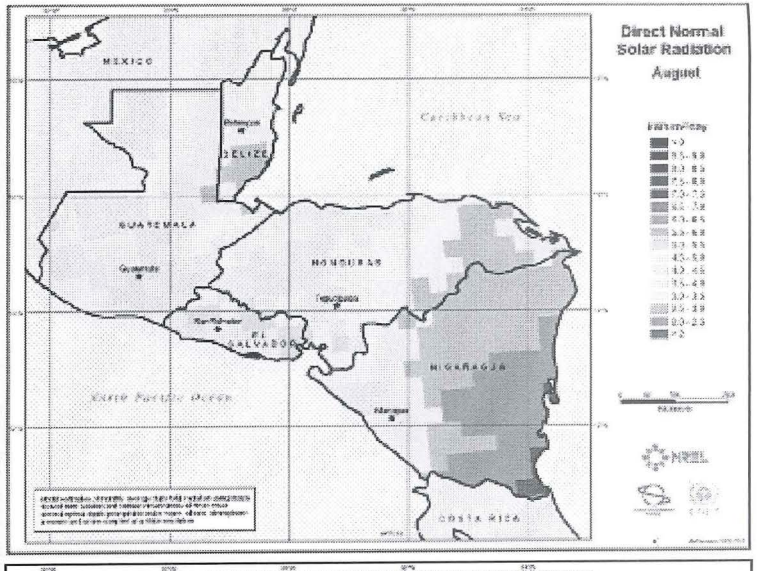

Direct Normal
Solar Radiation
March
MEXICO
BELIZE
GUATEMALA
HONDURAS
NICARAGUA
COSTA RICA
Caribbean Sea
North Pacific Ocean
NREL

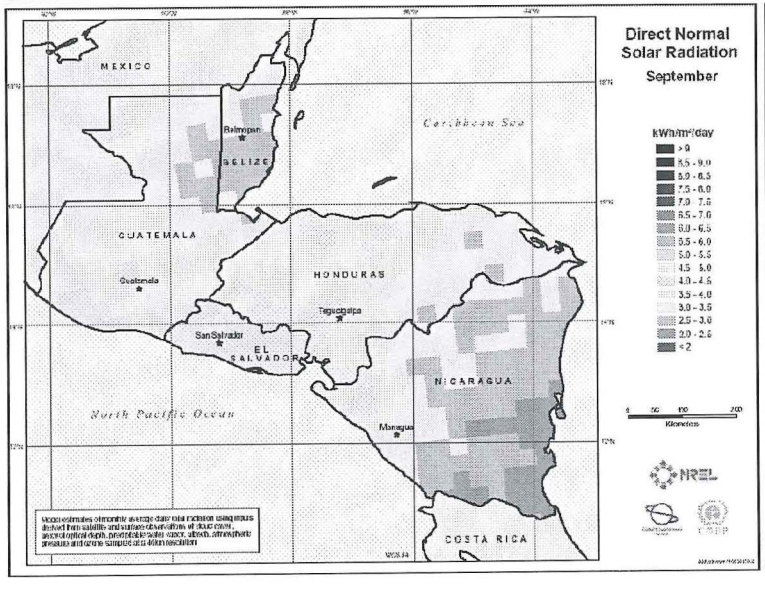

Direct Normal
Solar Radiation
April
MEXICO
BELIZE
GUATEMALA
HONDURAS
EL SALVADOR
NICARAGUA
COSTA RICA
Caribbean Sea
North Pacific Ocean
NREL

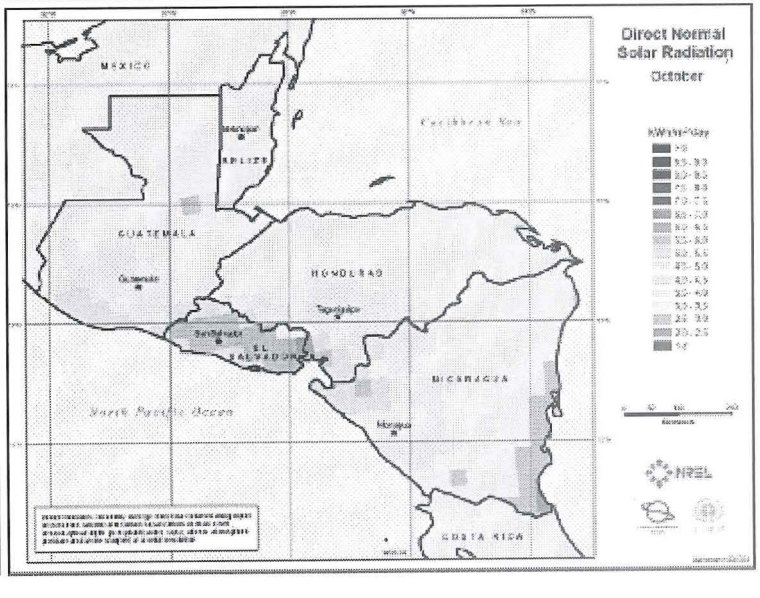

Direct Normal
Solar Radiation
May
MEXICO
BELIZE
GUATEMALA
HONDURAS
EL SALVADOR
NICARAGUA
COSTA RICA
Caribbean Sea
North Pacific Ocean
NREL

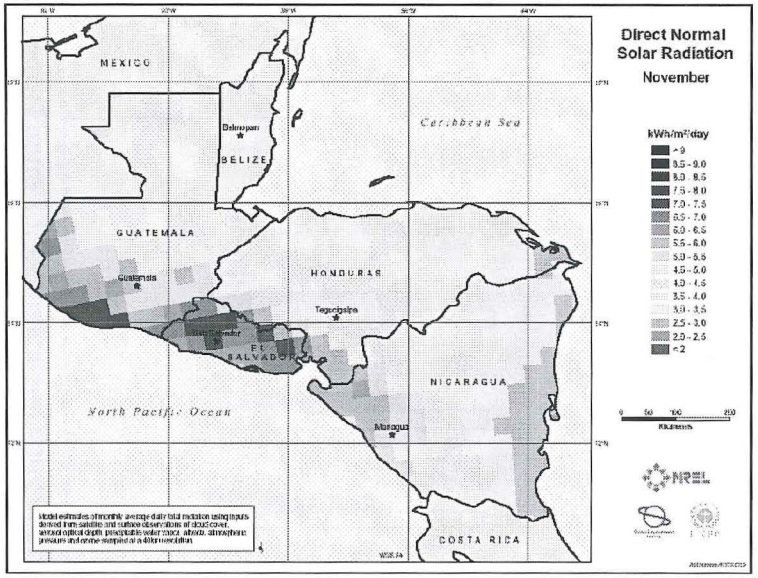

Direct Normal
Solar Radiation
June
MEXICO
BELIZE
GUATEMALA
HONDURAS
EL SALVADOR
NICARAGUA
COSTA RICA
Caribbean Sea
North Pacific Ocean
NREL

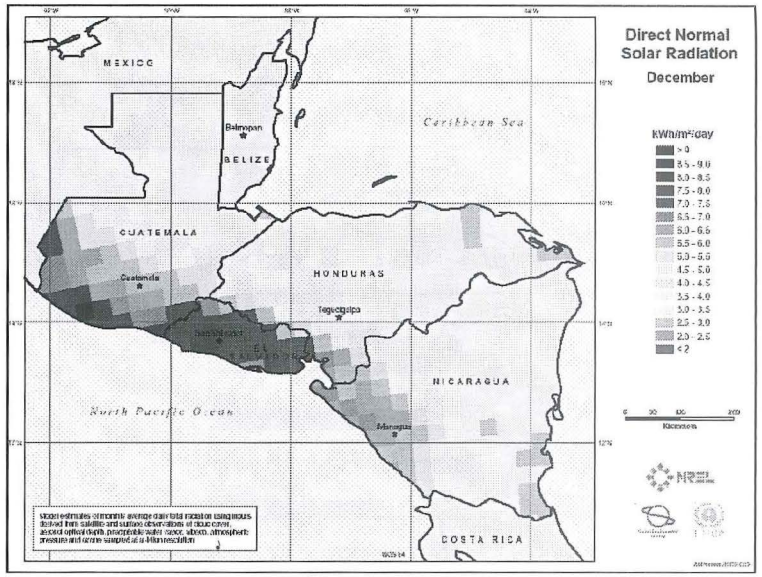

Direct Normal
Solar Radiation
July
MEXICO
Caribbean Sea
BELIZE
GUATEMALA
HONDURAS
EL SALVADOR
NICARAGUA
COSTA RICA
North Pacific Ocean
NREL


Direct Normal
Solar Radiation
August
MEXICO
Caribbean Sea
BELIZE
GUATEMALA
HONDURAS
EL SALVADOR
NICARAGUA
COSTA RICA
North Pacific Ocean
NREL


Direct Normal
Solar Radiation
September
kWh/m²/day
>9
8.5 - 9.0
8.0 - 8.5
7.5 - 8.0
7.0 - 7.5
6.5 - 7.0
6.0 - 6.5
5.5 - 6.0
5.0 - 5.5
4.5 - 5.0
4.0 - 4.5
3.5 - 4.0
3.0 - 3.5
2.5 - 3.0
2.0 - 2.5
<2
Kilometers
MEXICO
Caribbean Sea
Belmopan
BELIZE
GUATEMALA
Guatemala
HONDURAS
Tegucigalpa
San Salvador
EL SALVADOR
NICARAGUA
Managua
North Pacific Ocean
COSTA RICA
NREL


Direct Normal
Solar Radiation
October
MEXICO
Caribbean Sea
BELIZE
GUATEMALA
HONDURAS
EL SALVADOR
NICARAGUA
COSTA RICA
North Pacific Ocean
NREL





Fuente: SWERA, 2006

Anexo 9: Comparación entre pH inicial de la muestra testigo con el pH de las disoluciones B y C

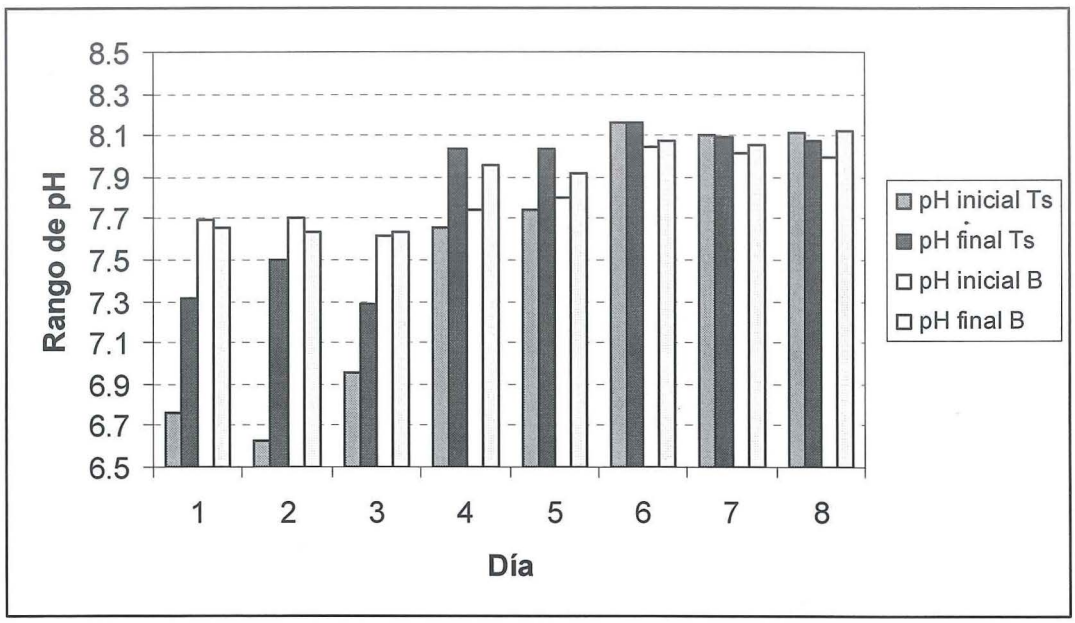


Figura 12. Comparación entre el pH inicial y final de la disolución B y la muestra testigo.

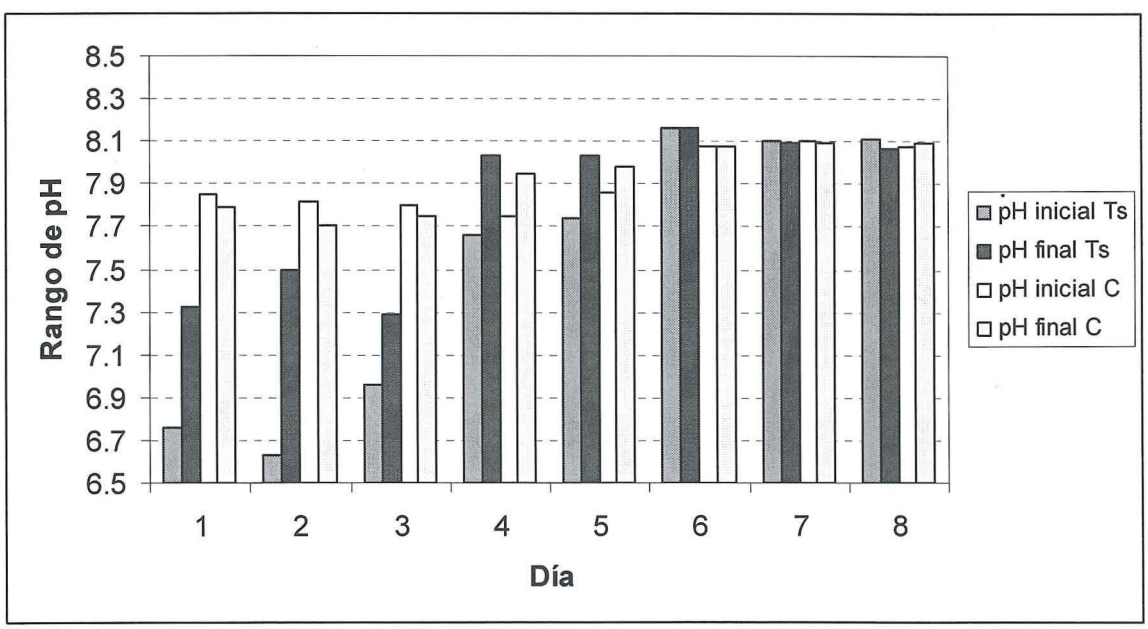


Figura 13. Comparación entre el pH final e inicial de la disolución C y la muestra testigo

Anexo 10: Comparación entre la turbidez inicial y final de las disoluciones B y C vs la muestra testigo

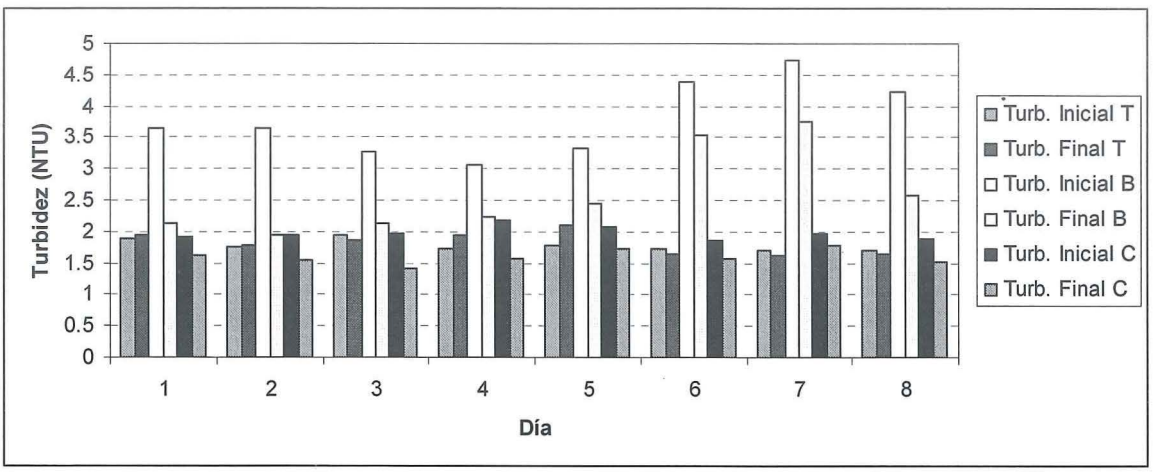


Figura 14. Comparación entre la Turbidez inicial y Final en los días de experimentación de las disoluciones B y C

Anexo 11. Eficiencia del método en el segundo día de exposición

Cuadro 8. Datos obtenidos durante el Segundo día de exposición

Día	Fecha	Ef. 2do. Día A	Ef. 2do. Día B	Ef. 2do. Día C	Pp (mm)	Temp. Ambiente	Temp. Agua	Temp Lámina
1	11-Jul	93.7%	98.2%	100.0%	0.25	25.6	34.5	35.5
2	12-Jul	90.8%	87.9%	91.7%	0	26.6	32.1	37.9
3	13-Jul	88.8%	100.0%	100.0%	0	29.2	35.4	37.8
4	19-Jul	99.2%	99.9%	100.0%	21.59	25.7	37.0	37.6
5	20-Jul	99.4%	99.9%	100.0%	0	25.9	37.3	38.3
6	25-Jul	78.0%	100.0%	100.0%	0	27.1	36.3	39.7
7	26-Jul	99.9%	100.0%	100.0%	0	27.2	36.8	39.4
8	27-Jul	100.0%	100.0%		0	26.6	36.3	41.8

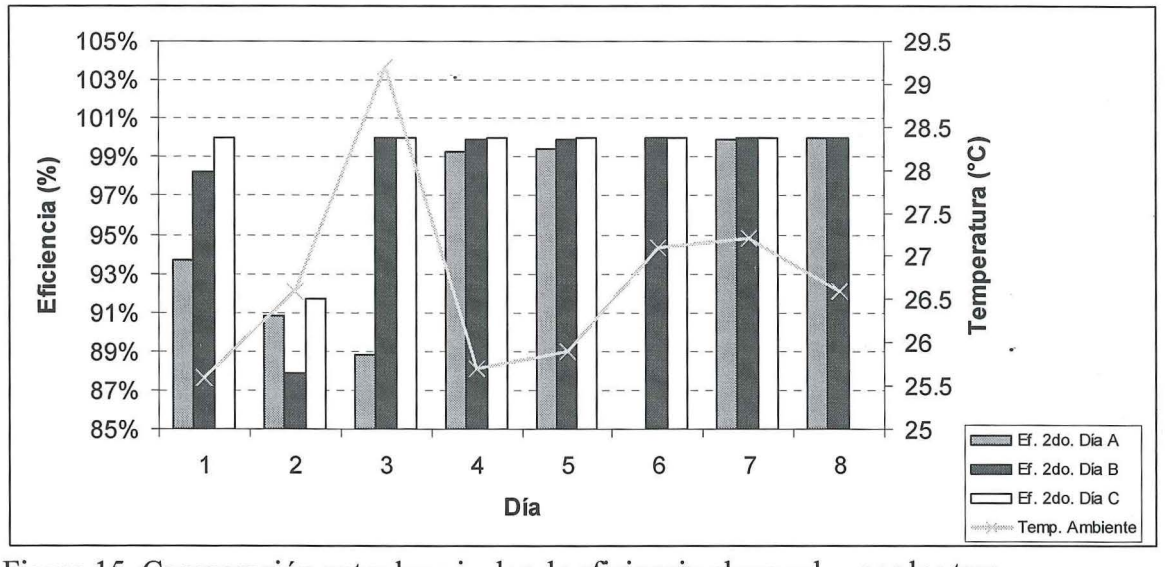


Figura 15. Comparación entre los niveles de eficiencia alcanzados por las tres disoluciones en el segundo día de exposición al sol vs la Temperatura Ambiente

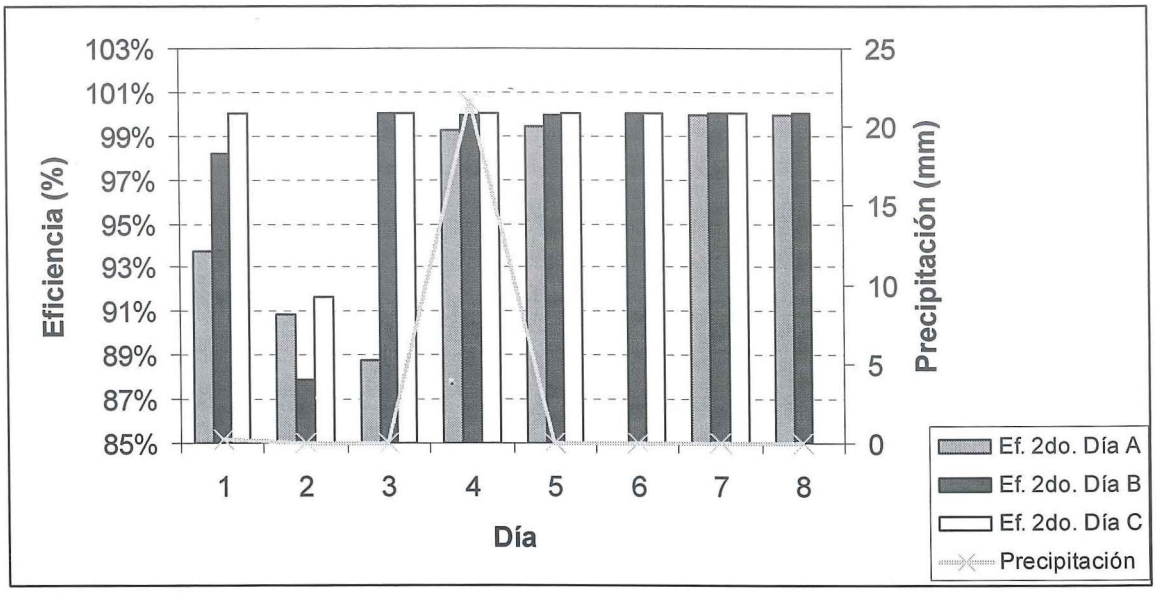


Figura 16. Comparación entre los niveles de eficiencia alcanzados por las tres disoluciones en el segundo día de exposición al sol vs la Temperatura Ambiente

Anexo 12. Analisis de calidad de agua efectuado por USAID/MIRA EN JUNIO DE 2006

ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA
Municipio de Catacamas y Santa Maria del Real
Varias comunidades Microcuencas Catacamas, Santa Maria del Real y Talgua

Fecha de muestreo: 29/5/06
Responsable toma de muestras: Erika Tenorio/Equipo Técnico Catacamas
Responsable de análisis: Laboratorios de Análisis Industriales MQ

CODIGO MUESTREO	COMUNIDAD	PUNTO DE MUESTREO	COLIFORMES FECALES UFC/100 ML	OBSERVACIONES
SMA R	Santa Maria del Real	Llave domiciliaria	**0**	Se verificó presencia de cloro residual a una concentración de 0.4 ppm
FDC	Flor de Café	Llave domiciliaria	70	
FDC R	Flor del Café	Llave domiciliaria	30	
BV	Buena Vista	Llave domiciliaria	70	Casa Donaldo Castellon
CAT	Catacamas	Llave domiciliaria	15	Oficina del Proyecto Catacamas, administrado por SERMUCAT
LMA	La Mansión	Llave domiciliaria	50	Fuente de agua alterna de La Mansión
SFE	Santa Fe	Llave domiciliaria	10	Casa Teófilo Baca
STR	Santa Rita	Llave domiciliaria	50	Casa Edilberto Romero
MA (pozo)	La Mansión	Pozo comunitario	0	Pozo Construido por Cooperación Japonesa
TRI	Trinidad	Pila domiciliaria	19	Pila doméstica en Fábrica de Bloques (abate)
3MA	3 de Mayo	Llave domiciliaria	20	Ultima llave del Sistema
4 MA	4 de Mayo	Llave domiciliaria	30	Casa Rafael Hernández

UFC/ml: Unidades Formadoras de Colonias por mililitro de muestra.
Método de análisis: Filtración de Membrana·

Anexo 13. Datos obtenidos durante el experimento

Fecha	Disolución	Población de UFC Antes	Después día	Segundo	Eficiencia 1er. día de exp.	Eficiencia 2do. Día de exp.	Temp. Ambiente (°C)	Temp. Lámina (°C)	Temp. Agua (°C)	Pp (mm)	Rad. Solar (KW/m^2)
10-Jul	0.2ml	19	1		94.74%		26.3	34.5	35.5	0	4.46
10-Jul	2ml	56	9		83.93%		26.3	34.5	35.5	0	4.46
10-Jul	20ml	191	35		81.68%		26.3	34.5	35.5	0	4.46
11-Jul	0.2ml			0		100.00%	25.6	34.5	35.5	0.25	4.86
11-Jul	2ml			1		98.21%	25.6	34.5	35.5	0.25	4.86
11-Jul	20ml			12		93.72%	25.6	34.5	35.5	0.25	4.86
11-Jul	0.2ml	12	4		66.67%		25.6	34.5	35.5	0.25	4.86
11-Jul	2ml	33	12		63.64%		25.6	34.5	35.5	0.25	4.86
11-Jul	20ml	120	31		74.17%		25.6	34.5	35.5	0.25	4.86
12-Jul	0.2ml			1		91.67%	26.6	32.14	37.87	0	4.14
12-Jul	2ml			4		87.88%	26.6	32.14	37.87	0	4.14
12-Jul	20ml			11		90.83%	26.6	32.14	37.87	0	4.14
12-Jul	0.2ml	16	2		87.50%		26.6	32.14	37.87	0	4.14
12-Jul	2ml	43	7		83.72%		26.6	32.14	37.87	0	4.14
12-Jul	20ml	250	55		78.00%		26.6	32.14	37.87	0	4.14
13-Jul	0.2ml			0		100.00%	29.2	35.4	37.8	0	-
13-Jul	2ml			0		100.00%	29.2	35.4	37.8	0	-
13-Jul	20ml			28		88.80%	29.2	35.4	37.8	0	-
18-Jul	0.2ml	14	0		100.00%		25.7	28.5	30.5	0	4.74
18-Jul	2ml	89	1		98.88%		25.7	28.5	30.5	0	4.74
18-Jul	20ml	98	0		100.00%		25.7	28.5	30.5	0	4.74
19-Jul	0.2ml			0		100.00%	25.9	37	37.57	21.59	5.12
19-Jul	2ml			8		99.91%	25.9	37	37.57	21.59	5.12
19-Jul	20ml			75		99.23%	25.9	37	37.57	21.59	5.12
19-Jul	0.2ml	10	0		100.00%		25.9	37	37.57	21.59	5.12
19-Jul	2ml	23	0		100.00%		25.9	37	37.57	21.59	5.12
19-Jul	20ml	47	38		19.15%		25.9	37	37.57	21.59	5.12
20-Jul	0.2ml			0		100.00%	23.8	37.3	38.3	0	-
20-Jul	2ml			2		99.91%	23.8	37.3	38.3	0	-
20-Jul	20ml			28		99.40%	23.8	37.3	38.3	0	-
24-Jul	0.2ml	0	0				26.2	30.25	30.75	11.68	5.11

Fecha	Disolución	Población de UFC Antes	Después día	Segundo	Eficiencia 1er. día de exp.	Eficiencia 2do. Día de exp.	Temp. Ambiente (°C)	Temp. Lámina (°C)	Temp. Agua (°C)	Pp (mm)	Rad. Solar (KW/m^2)
24-Jul	2ml	1	0		100.00%		26.2	30.25	30.75	11.68	5.11
24-Jul	20ml	1	0		100.00%		26.2	30.25	30.75	11.68	5.11
25-Jul	0.2ml			1			27.1	36.33	39.66	0	4.66
25-Jul	2ml			0		100.00%	27.1	36.33	39.66	0	4.66
25-Jul	20ml			22		78.00%	27.1	36.33	39.66	0	4.66
25-Jul	0.2ml	2	0		100.00%		27.1	36.33	39.66	0	4.66
25-Jul	2ml	4	0		100.00%		27.1	36.33	39.66	0	4.66
25-Jul	20ml	31	0		100.00%		27.1	36.33	39.66	0	4.66
26-Jul	0.2ml			0		100.00%	27.2	36.8	39.4	0	5.7
26-Jul	2ml			0		100.00%	27.2	36.8	39.4	0	5.7
26-Jul	20ml			0		100.00%	27.2	36.8	39.4	0	5.7
26-Jul	0.2ml	2	0		100.00%		27.2	36.8	39.4	0	5.7
26-Jul	2ml	8	0		100.00%		27.2	36.8	39.4	0	5.7
26-Jul	20ml	74	0		100.00%		27.2	36.8	39.4	0	5.7
27-Jul	0.2ml			0		100.00%	26.6	36.25	41.75	0	-
27-Jul	2ml			0		100.00%	26.6	36.25	41.75	0	-
27-Jul	20ml			0		100.00%	26.6	36.25	41.75	0	-

Anexo 14. Caracterización bacteriológica del agua para consumo a nivel de Cabeceras Municipales

No	MUNICIPIO	COLI FECAL UFC/100 ml	Turbiedad NTU	COLOR UC	pH	COND us/cm	AMONIO mg/L	CLORO RES. mg/L	ORGANISMO OPERADOR
	VALOR MAXIMO PERMITIDO	0	5	15	6.5 -8.5	400	0.5	0.5 - 1.0	
I	ATLANTIDA								
1	El Porvenir	8.00	0.33	10.00	6.35	41.00	0.07	0.00	Municipalidad
2	La Masica	14.00	0.79	5.00	6.77	75.00	0.13	0.00	Municipalidad
3	San Francisco	DNC	0.29	2.50	6.57	41.00	0.09	0.00	Municipalidad
4	Jutiapa	120.00	1.80	12.50	6.63	78.00	0.24	0.00	Municipalidad
5	Esparta	45.00	2.10	12.50	7.41	175.00	0.26	0.00	Municipalidad
6	Arizona	20.00	1.60	12.50	6.90	71.00	0.22	0.00	Municipalidad
7	Tela	36.00	0.80	10.00	6.80	100.00	0.16	0.00	Municipalidad
8	La Ceiba	0.00	1.90	3.75	5.75	64.00	0.21	1.20	SANAA
II	CHOLUTECA								
9	Pespire	0.00	0.61	0.00	6.77	605.00	0.31	0.00	Municipalidad
10	San Antonio de Flores	0.00	0.54	2.50	6.67	438.00	0.07	0.00	Municipalidad
III	COMAYAGUA								
11	San Jeronimo	20.00	22.00	125.00	6.57	61.00	0.63	0.00	Municipalidad
12	La Libertad	732.00	1.70	10.00	7.94	410.00	0.11	0.00	Municipalidad
13	Lamani	30.00	7.10	27.10	7.00	98.00	0.32	0.00	Municipalidad
14	San Sebastian	10.00	5.90	22.50	7.00	82.00	0.24	0.00	Municipalidad
15	Ajuterique	DNC	1.50	5.00	7.35	190.00	0.17	0.00	Municipalidad
16	Lejamani	2080.00	2.40	10.00	6.50	38.00	0.26	0.00	Municipalidad
17	Villa de San Antonio	9760.00	17.00	37.50	7.24	78.00	0.44	0.00	Municipalidad
18	Comayagua	0.00	0.50	2.00	7.30	50.00	0.00	0.80	SANAA
IV	FRANCISCO MORAZAN								
19	Cedros	0.00	16.00	42.50	6.78	150.00	0.65	0.00	Municipalidad
20	San Ignacio	6.00	0.59	2.50	7.54	210.00	0.09	0.00	Municipalidad
21	San Ignacio	4.00	0.64	10.00	6.85	350.00	0.32	0.00	Municipalidad
22	El Porvenir	0.00	0.41	2.50	7.18	545.00	0.36	0.00	Municipalidad
23	San Antonio de Oriente	0.00	46.00	225.00	6.21	105.00	0.53	0.00	Municipalidad

No	MUNICIPIO	COLI FECAL UFC/100 ml	Turbiedad NTU	COLOR UC	pH	COND us/cm	AMONIO mg/L	CLORO RES. mg/L	ORGANISMO OPERADOR
	VALOR MAXIMO PERMITIDO	**0**	**5**	**15**	**6.5 -8.5**	**400**	**0.5**	**0.5 - 1.0**	
24	Santa Ana	2.00	6.20	30.00	6.46	145.00	0.21	0.00	Municipalidad
25	Ojojona	0.00	8.00	20.00	6.40	80.00	0.21	0.00	Municipalidad
V	**LA PAZ**								
26	Marcala	105.00	4.10	25.00	6.89	66.00	0.26	0.00	Municipalidad
VI	**OLANCHO**								
27	San Francisco de la Paz	450.00	34.00	100.00	7.24	425.00	0.16	0.00	Municipalidad
28	Manto	10.00	0.81	3.75	7.22	520.00	0.06	0.00	Municipalidad
29	Salama	0.00	0.26	2.50	6.42	555.00	0.24	0.00	Municipalidad
30	Juticalpa	0.00	0.50	2.50	6.68	410.00	0.15	1.20	SANAA
31	Santa Maria del Real	0.00	0.70	2.50	7.40	410.00	0.24	1.00	SANAA
32	Concordia	0.00	0.20	1.50	7.00	80.00	0.00	1.00	SANAA
33	Catacamas	0.00	1.00	5.00	6.80	55.00	0.10	0.50	Municipalidad
VII	**VALLE**								
34	Goascoran	82.00	0.39	2.50	7.20		0.07	0.00	Municipalidad
35	Caridad	0.00	0.31	0.00	6.28	346.00	0.13	0.00	Municipalidad
36	San Francisco de Coray	8.00	0.35	0.00	6.02	321.00	0.22	0.00	Municipalidad
37	Nacaome	0.00	0.36	0.00	6.30	519.00	0.11	0.00	Municipalidad
38	San Lorenzo	DNC	0.24	0.00	6.70	610.00	0.33	0.00	Municipalidad
39	Alianza	0.00	0.42	0.00	6.52	576.00	0.18	0.00	SANAA
40	Langue	0.00	0.57	0.00	7.14	575.00	0.21	0.00	Municipalidad
VIII	**YORO**								
41	Santa Rita de Yoro	0.00	0.34	2.50	7.66	360.00	0.13	0.00	Municipalidad
	PROMEDIO	**356.37**	**5.16**	**21.13**	**7.18**	**267.05**	**0.24**	**0.15**	

UFC = Unidad Formadora de Colonias
NTU = Unidad Nefelométrica de Turbiedad
UC = Unidad de Color

Cond = Conductividad electrica
us/cm = microsiems por centímetro
mg/L = Miligramos por litro
DNC = Demasiado numerosas para contar

Anexo 15. Reportaje de Periódico El Heraldo sobre la utilización del Método SODIS

Dirección http://www.elheraldo.hn/nota.php?nid=171228&sec=118&fecha=2006-03-09

El Heraldo

Buscar

Al Frente | País | Metro | Opinión | Mundo | Economía | Vida | Sucesos | Zona Deportiva

SERIES
ENCUESTAS
DOCUMENTOS
APUNTES
PUBLICACIONES
Mía
HORAS PICO
Adrenalina
Click
Tic-Tac
Siempre
ENLACES
MARCA
Quiosco
BUSCADORES
Google
YAHOO!
SERVICIOS
El Clima de Hoy

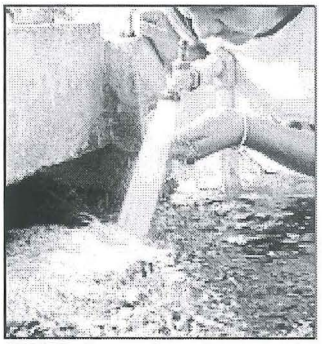
HONDURAS | 9 de marzo del 2006 | ULTIMA ACTUALIZACION 03:00 am (09:00 GMT)

CAPITAL Servicio

Enseñan a comunidades cómo purificar el agua

Se mete en botes plásticos y se expone al sol, así es más saludable

Tegucigalpa. Una técnica fácil y sencilla, como introducir agua en un recipiente plástico y exponerlo al sol, puede salvar la vida. Y eso es lo que están haciendo decenas de comunidades del departamento de Francisco Morazán. La fórmula no solo sirve como medio para obtener agua de calidad sino que disminuye la incidencia de enfermedades gastrointestinales.



SERVICIO. Exponer el agua de consumo al sol por varias horas ayuda, según los estudios.

Comunidades de Sabanagrande, Ojojona, Santa Lucía, la Villa de San Francisco, Talanga y Lepaterique están utilizando esta metodología de salud pública.

EN QUÉ CONSISTE

La técnica es fácil. Solo se utilizan botellas de plástico transparente, se exponen al sol durante seis horas y se obtiene agua apta para el consumo humano. A este método se le llama Sodis, que significa desinfección del agua a través de los rayos solares.

Sodis es una fundación con sede en Bolivia y la constituyen países como Suecia, Holanda, Alemania y Suiza con el propósito de ayudar a la población por medio de sus investigaciones para el tratamiento del agua.

Francisco Ávila, jefe del departamento de Salud Ambiental de la Región Sanitaria Departamental de Francisco Morazán, explicó que el método consiste en la exposición al sol de agua envasada en botes de plástico transparente de dos litros con un tiempo de seis horas diarias, dando como resultado la desinfección del agua a través de la temperatura y los rayos ultravioleta, que genera el sol.

UN CONVENIO

La Secretaría de Salud firmó el año pasado un convenio con la fundación Sodis para implementar las técnicas en comunidades que carecen de agua potable, por lo que en su primera etapa se levantó una línea base que consiste en diagnosticar la incidencia de casos de diarrea. Se capacitaron técnicos de salud ambiental que, a su vez, formaron los comités Sodis en 16 comunidades del departamento de Francisco Morazán.

Entre las ventajas de esta técnica están: mejorar la calidad microbiológica del agua, reducir las necesidades de fuentes tradicionales como leña, energía eléctrica y querosén.

Estudios científicos han demostrado que con la técnica se destruyen bacterias como la escherichia coli, vibrio cholerae, shigella, salmonella, que provocan intoxicaciones y diarreas agudas. También elimina el virus que causa el rotavirus. Las autoridades de Salud están considerando explorar las consecuencias y, si resultan favorables, extender el programa a comunidades del Distrito Central, considerando las deficiencias que presenta la calidad del agua que ofrecen los llamados "aguateros".

SUSCRIBETE
236-7679

Calendario del Mundial
GERMANY 2006

Sin embargo, están claros en que aplicar una técnica de este tipo implica cambios de conducta en las personas, debido a que se hace necesario mantener el aseo de la vivienda y el ambiente, lo mismo que la correspondiente higiene personal.