



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE  
MATERIALES AVANZADOS  
POSGRADO CIMAV**

---

---

**“CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO DE UN CONCENTRADOR SOLAR CON  
MATERIALES DE BAJO COSTO, PARA DESINFECCIÓN DE AGUA PARA  
SU APLICACIÓN EN COMUNIDADES MARGINADAS”**

Tesis que como requisito para obtener el Grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN ENERGÍAS  
RENOVABLES**

PRESENTAN:

C. LIVIER CACHO LÓPEZ

C. LUIS GERARDO MENDOZA ARAUJO

ASESOR: DR. JOSÉ ALBERTO DUARTE MOLLER

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO; NOVIEMBRE 2014

## Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS .....	4
RESUMEN .....	5
INTRODUCCIÓN .....	6
MARCO TEÓRICO.....	9
Energía, recursos naturales y sociedad.....	9
Crecimiento poblacional.....	11
Recursos renovables y no renovables.....	11
Energías no renovables.....	12
Energías renovables.....	16
Calidad del agua utilizada para consumo humano.....	30
Coliformes.....	31
Desinfección solar.....	33
Degradación natural del PET.....	34
Sistema de desinfección SODIS:.....	35
Desinfección de agua en las comunidades.....	40
Desinfección por cloro y hervir el agua.....	43
El Pinalillo.....	44
OBJETIVOS .....	45
Objetivo general.....	45
Objetivos específicos.....	45
HIPÓTESIS .....	46
METODOLOGÍA.....	49

Planteamiento del problema .....	49
DESARROLLO EXPERIMENTAL. ....	51
Selección del colector. ....	51
Variación en concentración del inóculo. ....	58
Termografías. ....	60
Interpretación de gráficos. ....	75
RESULTADOS. ....	78
Prueba 1. Coliformes en el agua de la comunidad del Pinalillo. ....	78
Prueba 2. Tiempo de exposición. ....	78
Prueba 3. Caja solar vs concentrador. ....	82
Prueba 3. Prueba de Inocuidad. ....	83
CONCLUSIONES. ....	85
BIBLIOGRAFÍA .....	87

## AGRADECIMIENTOS

## RESUMEN

En el presente trabajo se describe la construcción de un concentrador solar con materiales caseros y de fácil acceso para purificar agua potable de la comunidad El Pinalillo, San Miguel de Allende, Guanajuato. Se realizaron pruebas de presuntivas de organismos patógenos coliformes totales y fecales por el número más probable de acuerdo a la norma oficial mexicana NMX-AA-042-1987 para comprobar la calidad del agua.

Las pruebas se llevaron a cabo con diferentes variables, tiempo de exposición, hora de exposición, color del vidrio y tiempo de inactividad de las bacterias. Los resultados que arrojaron las pruebas son: tiempo mínimo de exposición 4 horas, la temperatura de las botellas debe ser mayor a 60 °C, el color del vidrio para las pruebas no es significativo, ya que los resultados son muy parecidos para todos los colores de las botellas. Se pudo esterilizar las muestras de agua residual por este método ya que pasaron más de siete días sin que se presentaran nuevamente presencia de organismos patógenos.

Esta es una aplicación de energía solar térmica que puede beneficiar a las comunidades de escasos recursos que carecen de servicios básicos como el agua potable, ya que es fácil de armar, económica y eficiente, y puede así resolver un problema de salud pública.

## INTRODUCCIÓN

En las comunidades de alta marginación del país, una de las problemáticas más frecuentes es la falta de servicios. La carencia de agua potable es uno de los problemas que se presenta con mayor frecuencia, y puede ocasionar enfermedades diarreicas que pueden causar incluso la muerte.

Por otro lado la falta de servicios de drenaje y alcantarillado, generan fecalismo al aire libre; esta problemática, en conjunto con la falta de agua entubada y sistemas de potabilización, ocasiona severos problemas de enfermedades gastrointestinales en la población de las comunidades. La contaminación de fuentes de agua, como manantiales; (utilizados para obtener agua de consumo humano) por el transporte de contaminantes, en este caso materia fecal a través de aire es muy común.

La medición de la calidad del agua utilizada para consumo humano establece una serie de criterios que se establecen en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION". Entre los criterios de calidad del agua se utilizan como organismo indicador de calidad biológica, los parámetros de coliformes totales y coliformes fecales, que están relacionadas directamente con las fuentes de contaminación antes mencionadas. El LMP para estos parámetros es 2 NMP/100 mL y No detectable/100 mL respectivamente.

El difícil acceso a las comunidades y un alto precio por unidad de agua purificada hace difícil, casi imposible el poder consumir agua de buena calidad. El consumo de agua proveniente de manantiales, arroyos, ríos, cosecha de agua pluvial son las alternativas para satisfacer las necesidades básicas relacionadas con el agua.

El uso de métodos como la desinfección por métodos como cloración, hervir el agua y el uso de filtros adquiridos a través de programas sociales acarrear

diferentes problemáticas. El mal sabor generado por una desinfección por el uso excesivo de cloro, ocasiona el rechazo de las personas; aunado a esto hay estudios que revelan que un inadecuado uso de cloro puede generar problemas de cáncer; ya que este, en presencia de materia orgánica forma como subproductos cloroformo y tetracloruro de carbono, sustancias consideradas como cancerígenas. La desinfección al hervir el agua, ocasiona en las comunidades, problemáticas relacionadas con uso inadecuado de recursos forestales, ya que se usa leña como combustible de manera general, además de la emisión de gases contaminantes. Cuando el agua es hervida adquiere un sabor desagradable; para que el agua tenga las propiedades organolépticas óptimas es necesaria oxigenarla, el medio más común es pasarla de un recipiente a otro por lo que se corre el riesgo de contaminación cruzada.

Los filtros que son proporcionados por medio de programas de asistencia social no representan en primera instancia ningún tipo de problema, al contrario representan una excelente alternativa debido a su alta eficiencia en procesos de eliminación de contaminantes de índole biológico, físico y químico; sin embargo los constantes cambios de gobierno, ocasionan la falta de seguimiento a los problemas sociales, lo que acarrea que al final de la vida útil de los cartuchos estos pierdan efectividad, el adquirirlos por parte del usuario en comunidad es difícil por el alto costo de cartucho.

La desinfección solar no es algo nuevo o revolucionario. Existen diferentes modelos que aprovechan la luz del sol como fuente de desinfección ya sea por calentamiento o por inactivación de las bacterias y microorganismos por efectos de la radiación UV de los rayos del sol, estos presentan ventajas como el uso de una energía limpia, prácticamente inagotable, que no genera emisiones de gases, no altera las propiedades organolépticas del agua, ni sus propiedades fisicoquímicas por lo que no es necesario trasvasar entre diferentes envases. El uso de recipientes adecuados no implica la generación o liberación de materiales nocivos para la salud.

Una de las problemáticas relacionadas con los sistemas de desinfección solar, es que suelen ser complejos de construir y mantener, esto considerando las situaciones económica, técnica, social y cultural, de las comunidades. Un dispositivo elaborado con materiales baratos, accesibles a la comunidad y que además favorezca la integración del núcleo familiar es una alternativa atractiva, ya que proporciona al agua la calidad necesaria desde el punto de vista biológico y fomenta la integración familiar. El elevar la calidad de vida de las personas es uno de los objetivos que se persiguen al adoptar este tipo de sistemas.



## MARCO TEÓRICO

### **Energía, recursos naturales y sociedad.**

La energía se percibe de diferentes formas: al encender una lámpara, al accionar el motor de un auto, al calentar los alimentos. Esta energía se obtiene de diferentes maneras. Sin embargo la principal fuente de energía de la tierra proviene del Sol, esta llega a nosotros en forma de radiación, luz y calor. Esta forma de energía es responsable de otras fuentes energéticas como el petróleo, el gas, el carbón, los alimentos. etc.

En la actualidad todas las formas de trabajo son realizadas por medio de diversas formas de energía, gran parte de esta se obtiene de combustibles fósiles. Estos combustibles al ser quemados, liberan energía y la convierten en trabajo., sin embargo parte de esta liberación de energía es convertida en productos indeseables como gases de efecto invernadero. La manera de obtener fuentes de combustible se realiza a través de la explotación de recursos, lo que implica grandes impactos en el ambiente.

Un recurso es cualquier cosa obtenida del medio y pueden ser bióticos y abióticos. Sirven para satisfacer las necesidades de las personas. Los recursos en general los podemos clasificar en renovables y no renovables. Recursos renovables, se consideran aquellos en los que el índice de recuperación es respetado. Para los recursos no renovables, se considera que existe la posibilidad de que estos se agoten, debido a que sus procesos de renovación ocurren durante períodos de millones de años.

Nuestro planeta cuenta con un sistema muy eficiente de aprovechamiento de energía. Mediante diversos mecanismos la energía es transformada en sus diferentes manifestaciones. La luz del Sol llega a la tierra en cantidades necesarias para permitir la formación de nubes, que generan lluvias. En acciones conjuntas, la luz del Sol y el agua, provocan evaporaciones y precipitaciones sucesivas, lo que

permite la formación de ríos y otros cuerpos de agua. Como parte de ese ciclo, en los océanos y con la participación de la atracción gravitacional de la luna hacia la tierra, se presenta el fenómeno de las mareas. En el interior de la tierra ocurre la descomposición de varios elementos; combinadas la presión y el tiempo y a lo largo de millones de años se han generado las reservas de combustibles fósiles, yacimientos de hidrocarburos de los cuales dependemos en la actualidad.

Los minerales como el Uranio y los combustibles fósiles como el carbón, el gas y el petróleo, forman las bases del desarrollo de la civilización actual. Estas se consideran como no renovables. (Enkerlin Hoeflich, Cano Cano, Garza Cuevas, & Vogel Martínez, 1997).

Estos recursos son indispensables para satisfacer las necesidades de las personas. El uso, aprovechamiento, explotación y disponibilidad de los recursos naturales está relacionado de manera estrecha con la historia de la humanidad. El correcto aprovechamiento de estos conduce a una buena calidad de vida en la población.

El éxito económico y los elevados niveles de vida en los centros urbanos de las naciones desarrolladas han estado acompañados del consumo de recursos naturales como agua, madera, depósitos minerales, suministro de energía y terrenos. Las crecientes demandas domésticas e industriales y el correspondiente agotamiento de los recursos no pueden continuar de manera indefinida sin ocasionar un desorden ambiental grave. (Glynn & Heinke, 1999).

El uso de los recursos naturales por parte de las personas, está llevando a que en elementos de los ecosistemas como agua, aire, suelo, bosques se estén cruzando umbrales, donde los daños causados a estos pueden ser irreversibles. Este problema se ve agravado por otros factores como la gran diferencia en la calidad de vida de las personas de los países ricos y pobres.

### **Crecimiento poblacional.**

Las calidad de vida en los países ricos y países pobres del planeta se acrecientan por diversos factores, entre ellos está el aumento en la tasa de crecimiento de las naciones más pobres. Se estima que tres cuartas partes de la población mundial viven en las naciones humildes, mientras que el resto radica en zonas consideradas como de primer mundo. Si se pretendiera alcanzar el mismo nivel de vida que las personas del primer mundo para todos los habitantes del planeta, se estima que sería necesario incrementar 10 veces el consumo de energía y de recursos naturales, esto implica que se que también se incrementarían los niveles de contaminación, por un lado esto es insostenible para el planeta y por otro, de acuerdo a los sistemas sociales de organización capitalista esto es inconcebible.

Hasta hace 250 años las perturbaciones realizadas por las personas era más bien local y la misma naturaleza tenía posibilidad de asimilarla. Sin embargo esto ha cambiado. El crecimiento explosivo de las personas ha ocasionado presiones ambientales y junto con el crecimiento desmedido de industrias y sus residuos asociados. Además de esto los procesos migratorios asociados a los procesos de industrialización y urbanización, tiende a intensificar los procesos de desequilibrio.

### **Recursos renovables y no renovables.**

Un recurso es cualquier cosa obtenida del medio ambiente. Pueden ser bióticos y abióticos, y sirven para satisfacer las necesidades de las personas.

Los recursos en general los podemos clasificar en renovables y no renovables. Recursos renovables, se consideran aquellos en los que el índice de recuperación es respetado. Para los recursos no renovables, se considera que existe la posibilidad de que estos se agoten, debido a que sus procesos de renovación ocurren durante períodos de millones de años. El uso, aprovechamiento,

explotación y disponibilidad de los recursos naturales está relacionado de manera estrecha con la historia de la humanidad.

El correcto aprovechamiento de los recursos conduce a una buena calidad de vida en la población. Sin embargo, debido a factores económicos, políticos, sociales, culturales, geográficos etc; la desigualdad en la distribución de los recursos naturales, su aprovechamiento, explotación y ganancias económicas; ocasionan diversas problemáticas como:

- Falta de servicios
- Educación
- Salud
- Calidad de vida
- Migración
- Marginación
- Pérdida de identidad
- Usos y costumbres
- Alcoholismo

### **Energías no renovables.**

#### **El carbón mineral.**

Tuvo su origen el período geológico carbonífero, en esta era geológica existía una gran cantidad de plantas, esta fue la materia prima necesaria para la formación del mineral. Una de las teorías que describe la formación del carbón explica que los restos vegetales fueron constantemente cubiertos por agua y sedimentos (arcillas y limos), estas formaban una capa que impedían el paso de oxígeno. Al secarse las arcillas y los limos endurecían, comprimiendo la capa vegetal debajo de ellos. Producto de este fenómeno se crea la turba. La turba es una especie de carbón que se quema muy lentamente y libera grandes cantidades de humo.

#### **Antracita.**

Con el paso del tiempo la turba quedó atrapada una vez más a causa de otros procesos geológicos, las capas de sedimentos cubrieron y sepultaron a profundidades cada vez mayores las capas de turba. La presión, el calor interno y los grandes períodos de tiempo convirtieron la turba en carbón mineral. Una capa de turba de decenas de metros de espesor con el paso del tiempo puede ser reducida hasta un décimo de su espesor original.

Si la presión a la que fue sometida la turba fue muy grande el carbón poseerá gran poder calorífico. Si recibe poca presión la turba se convertirá en lignita. La antracita es la forma más valiosa de carbón.

El carbón mineral es un tipo de hidrocarburo sólido, de manera relativa es abundante a nivel mundial, se considera que con el nivel actual de consumo la reserva de carbón puede durar entre 800 y 1000 años. Sin embargo, presenta una gran desventaja, ya que al quemarse libera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y azufre (S), en promedio estas sustancias se liberan 2.3 veces más que al quemar petróleo. El S es uno de los compuestos relacionados con la contaminación del aire y es responsable de la lluvia ácida.

El carbón mineral también es utilizado para producir gas y coque, utilizados como combustibles; mediante procesos de refinación es usado en la industria de plásticos, pinturas y medicina.

### **Petróleo.**

Del latín *petroleum*, aceite de piedra. Signo de avances industriales y tecnológicos en la sociedad moderna. Utilizado en la mayoría de los productos de nuestra sociedad. Algunos de sus productos son la gasolina, querosina, combustóleo, cera, lubricantes, aceites pesados, asfalto y un sinnúmero de sustancias sintéticas.

El petróleo tiene un origen muy similar al del carbón, su origen es a partir de plantas y animales prehistóricos que vivían en mares someros. Los restos de estos organismos se fueron cubiertos con limos y sedimentos. Estos restos y bajo el peso de los sedimentos, la temperatura y presión; se convirtieron en rocas consolidadas. Al paso de millones de años el carbono (C) y el hidrógeno (H) se separaron de las rocas y formaron el petróleo. La cantidad de H y C, determinan si el producto que se forma será sólido (carbón mineral) o bien será un fluido (petróleo). El petróleo contiene una mayor cantidad de H, esto le proporciona mayor ligereza y mayor poder calorífico que el carbón.

La combustión del petróleo genera emisiones de CO<sub>2</sub>, unos de los principales gases de efecto invernadero. La explotación de petróleo acarrea problemas ambientales como la contaminación de agua y suelo a causa de derrames o fugas; la pérdida de tierra para favorecer la explotación es otro de los problemas sociales que trae consigo la explotación de este recurso. Las reservas de petróleo son limitadas y se prevé su agotamiento de seguir con el estilo de vida actual.

### **Gas.**

Es el más limpio de los combustibles fósiles, emite menos del 30% de los gases contaminantes que el petróleo y el carbón. Tiene una alta eficiencia energética. Independientemente del gas que se encuentre en conjunto con los yacimientos de carbón y petróleo existen depósitos de gas que suben a la superficie y quedan atrapados en yacimientos muy similares a los del petróleo. El descubrimiento de grandes depósitos ha eliminado casi en su totalidad la necesidad de producir gas a partir de carbón y petróleo. El gas que procede de yacimientos de carbón, contiene altas cantidades de metano, este posee el doble del poder calorífico del gas producido a partir de la coquinización. El gas metano es ampliamente utilizado a nivel doméstico, mientras que los hidrocarburos con cadenas más largas como el propano y el butano son licuados y se mantienen en tanques para su posterior uso, generalmente de tipo industrial.

Bajo los esquemas actuales de consumo se considera que la reserva de gas durará por 50 años.

### **Energía nuclear.**

En las reacciones químicas de síntesis se libera energía, manteniendo sin cambio el núcleo de los átomos los cuales permanecen íntegros debido a fuerzas enormes. Cuando el átomo es fragmentado es liberada una gran cantidad de energía. El científico alemán Albert Einstein demostró con su famosa ecuación  $E=mc^2$  que la energía se transforma materia y viceversa. En la desintegración radioactiva de un gramo de Uranio (U), se libera una cantidad de energía que equivale a 2.37 toneladas de carbón.

El U es el elemento más pesado en la tierra, posee un núcleo atómico muy grande, este núcleo al ser bombardeado por neutrones se desintegra liberando energía y otros neutrones que pueden desintegrar otros núcleos de U, este fenómeno se le conoce como reacción en cadena. Los núcleos de U al desintegrarse, se dividen en dos nuevos núcleos de elementos cuyos núcleos corresponden a elementos menores de la tabla periódica.

En nuestros días es posible la implementación de estos procesos de generación de energía, una ventaja en la generación de energía por medio de elementos radiactivos es la nula generación de CO<sub>2</sub>. Sin embargo no es posible controlar los riesgos y peligros relacionados con este tipo de energía. La disposición de los residuos, el uso de estos como armas y accidentes como Chernobyl, o más recientemente en Fukushima, Japón; hacen de esta fuente de energía una opción riesgosa para la humanidad. El alto costo de confinamiento de los residuos, por al menos 10 000 años, encarecen los costos de producción de energía.

## **Energías renovables.**

En la actualidad las energías renovables son reconocidas como insumos vitales para la sostenibilidad por lo que fomentar su crecimiento es significativo. Desgraciadamente en los últimos cien años hemos utilizado como fuentes de energía no renovables como el petróleo, el carbón, nuclear, etc; que además de estar a punto de agotarse contaminan la atmosfera y la tierra con los residuos que generan dióxido de carbono, óxidos nítricos, metales pesados, nucleares etc; hasta el punto que pelagra el equilibrio ecológico de nuestro planeta. En las tecnologías modernas se consideran el poder del viento, agua, biomasa, sol, geotérmica e incluso materiales considerados como desechos.

La dependencia del petróleo como fuente de energía para el transporte y la generación de energía a partir de gas que se utiliza en la industria produce condiciones cada vez más desfavorables en los ámbitos social, político y ambiental (Higgins y Higgins, 2005).

Los primeros mensajes de alerta acerca de los límites del crecimiento fueron dados a partir de los recursos no renovables. Ante las señales de su agotamiento y la falta de elementos que los pudieran sustituir, surge el interés por el cuidado del medio ambiente y recursos. Los combustibles fósiles, fuente de riqueza y pilar básico en el desarrollo de las economías y tecnologías modernas se han convertido en elementos de control y estrategias políticas.

En la actualidad, se está volviendo a pensar en el Sol y otras fuentes de energías limpias e ilimitadas para abastecernos de energías sin poner en el peligro nuestro planeta. (Antonio Madrid, 2009)

## **Energía Eólica.**



La extracción de poder de la energía del viento por medio de turbinas, es una de las opciones de las energías renovables. Es una de las primeras formas de energía usadas por las sociedades modernas. Utilizada por los marineros para impulsar embarcaciones; el viento y el conocimiento de las corrientes marítimas propiciaron el crecimiento, la frecuencia y la duración de los viajes. Otra de las primeras aplicaciones de estas maquinas eólicas fue la de bombeo de agua y la molienda de granos, con el paso del tiempo se desarrollaron generadores de electricidad.

Los primeros generadores de electricidad impulsados por el viento, datan de 1890, aunque se considera que el mayor desarrollo de estas fue entre los años de 1930 y 1955. Durante el período de 1955 y 1973, con la abundancia de petróleo barato, el desarrollo de estas tecnologías fue en decremento. Sin embargo la crisis de los hidrocarburos ocasiono posteriormente un renovado interés en el tema.

La capacidad de las turbinas actuales oscila entre 10W varios kW, con diámetros de aspas entre 1m y 100m y son utilizados desde parques eólicos hasta pequeñas instalaciones domésticas.

La tecnología muestra algunas desventajas referentes a aspectos sociales y ambientales. Por ejemplo su localización en costas, montañas, aéreas pobladas, o zonas que se consideran de belleza natural. El uso de turbinas de viento en estas zonas ocasiona, ruido constante e irritante, afectaciones a las poblaciones de aves, y perdida de la armonía visual, en México comunidades indígenas han perdido la autonomía de sus propiedades.

### **Biomasa y biocombustibles.**

Materiales como plantas y animales, así como sus residuos se consideran biomasa. Los primeros sistemas de conversión de biomasa-oxígeno es la energía capturada en las plantas para los procesos de fotosíntesis. Se considera que la biomasa son materiales orgánicos, con bases de carbono que reaccionan con

oxígeno, en procesos de combustión para liberar energía calórica. Este calor, se puede utilizar para generar trabajo y electricidad. El primero de los biocombustibles empleado por la humanidad fue la madera. En la actualidad el uso de madera como combustible para actividades como cocinar, representa aún el 50% de uso por parte de la población a nivel mundial. En países como Alemania, Estados Unidos el uso de biomasa y residuos, como los generados en la producción de caña de azúcar; comienzan a ser significativos en la producción de electricidad.

El material inicial o biomasa puede ser transformado por procesos químicos y procesos biológicos para la producción de biocombustibles. Como ejemplo de biocombustibles producidos a partir de biomasa se encuentran el gas metano, etanol líquido, esteres metílicos, aceites y carbón sólido.

### **Energía solar.**

El Sol es una estrella que emite luz y calor. El Sol es una bola incandescente con un radio de 695,000 kilómetros y con un periodo de rotación sobre su eje de 25 a 36 días.

Debido a las altas temperaturas que reinan en el sol (desde 15 millones de grados Celsius en su núcleo y hasta 6000 grados en la superficie) se producen reacciones nucleares. Los protones del núcleo de hidrógeno se liberan fusionándose más tarde en forma de partículas alfa, por lo que la masa restante se transforma en energía. Esa energía, por convección pasa hacia la periferia de Sol, donde se libera en forma de calor y luz que llega hasta nuestro planeta y hacen posible la vida en la tierra. (Antonio Madrid, 2009)

De la energía irradiada por el Sol un 47% llega a la tierra. Una parte de esta es reflejada al espacio por efecto de las capas superiores de la atmósfera. Otra parte es absorbida por la misma capa de atmósfera y por las nubes.

Además si se considera la inclinación del plano de la tierra, las diferentes regiones de la tierra son irradiadas con diferente intensidad. Las regiones en la tierra que reciben una mayor cantidad de energía son aquellas que se encuentran en las zonas ecuatoriales de la tierra. Se considera que en las zonas nórdicas, nubladas y frías la mayor parte del año, la cantidad de energía que se recibe por parte del sol sobrepasa las necesidades energéticas de dichas zonas.

Este tipo de energía a pesar de tener importantes ventajas, como su ilimitada cantidad, la limpieza en sus procesos de producción de energía, la disponibilidad durante la mayor parte del año y una alta presencia geográfica, presenta algunas desventajas.

Una seria desventaja es la forma de almacenarla, en la actualidad en sus aplicaciones fotovoltaicas; es complicada la forma de almacenar la energía generada. En procesos térmicos esto se ha solventado con el uso de tanques de almacenamiento, sin embargo el tamaño de estos tanques puede limitar las aplicaciones de este tipo de tecnologías.

A pesar de la gran cantidad de dispositivos que utilizan la energía solar para su funcionamiento, como relojes, calculadoras, lámparas, etc. aún no se ha logrado expandir de manera efectiva su uso en sistemas de transporte, por ejemplo.

Otra desventaja, es que la mayor parte de la energía solar llega a la tierra en forma difusa, por lo que para su uso es necesario concentrarla.

La energía solar térmica consiste en aprovechar la energía que producen los rayos de Sol. Este aprovechamiento puede realizarse de distintas formas a través de diversas tecnologías. Es preciso hacer una diferenciación entre la energía solar térmica de baja, media y alta temperatura. La energía solar térmica de baja temperatura (<80°C) tiene su mayor aplicación en el agua caliente sanitaria (ACS). Sin embargo, conviene destacar que existen otras posibles aplicaciones tales como

calentamiento de piscinas, usos industriales, refrigeración y calefacción que cada vez son más demandadas.

### **Energía solar fotovoltaica.**

El aprovechamiento eléctrico de la energía solar se realiza gracias a las turbinas de vapor y da lugar a lo que llamamos la energía solar termoeléctrica. Para el aprovechamiento termoeléctrico de la radiación solar se dispone de varios tipos de colectores que conviene diferenciar. Para ello es preciso hacer referencia al concepto “factor de concentración”.

Otro tipo de aprovechamiento es el que realizan los llamados sistemas fotovoltaicos, que son aquellos que convierten la energía del Sol en energía eléctrica sin depender de un generador. Para la generación de electricidad por este medio se utiliza el efecto fotoeléctrico. En donde la luz del Sol al incidir sobre placas hechas de materiales semi-conductores, como el silicio, el sulfuro de cadmio o arsenito de galio, cede sus electrones a algún metal adyacente.

### **Energía Solar Térmica**

Este tipo de energía tiene su fundamento en la obtención de la energía a partir del Sol. Para obtener calor a partir del Sol se utilizan paneles con superficies absorbentes de las radiaciones solares. Ese calor lo transmiten a un fluido que circula en su interior. Este fluido portador del calor puede ser agua, aire o una solución anticongelante (agua con glicol). Este fluido transporta el calor hasta donde se necesite: calefacción de una vivienda, o edificio, agua caliente sanitaria para lavabos o cocina. Cede su calor en el punto de consumo y vuelve al panel para calentarse nuevamente y reiniciar el ciclo.

Para comprender mejor este concepto definiremos lo que es una instalación solar térmica. Está constituida por un conjunto de componentes encargados de realizar las funciones de captar la radiación solar, transformarla directamente en energía térmica cediéndola a un fluido de trabajo.

Por último hay que almacenar dicha energía térmica de forma eficiente, en el mismo fluido de trabajo de los captadores o bien a otro para poder utilizarla después en otros puntos de consumo. (Madrid Vicente, Curso de Energía Solar, 2009)

Una instalación de Energía Solar Térmica de baja temperatura consta básicamente de los siguientes elementos, cuya función se describe a continuación:

- Sistema de captación, formado por los paneles solares, encargados de transformar la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se calienta el fluido de trabajo que circula por dichos paneles.
- Un sistema de acumulación, constituido por uno o varios depósitos que almacenan el agua caliente hasta que se precise su uso.
- Un circuito hidráulico, constituido por tuberías bombas, etc. que se encarga de establecer el movimiento del fluido caliente hasta el sistema de acumulación.
- Un sistema de intercambio, realiza la transferencia de energía térmica captada, desde el circuito de captadores (circuito primario), al agua caliente que se consume.
- Sistema de regulación y control, se encarga por un lado de asegurar el correcto funcionamiento del equipo para proporcionar la máxima energía térmica posible y por otro, actúa como protección frente a la acción de múltiples factores tales como sobrecalentamiento del sistema, riesgos de congelaciones, etc.
- Equipo de energía convencional auxiliar que se utiliza para completar la distribución solar, suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista, garantizando la continuidad del suministro de agua caliente en los casos de escasa radiación solar o demanda superior a la prevista.

En la actualidad existe una clasificación de los sistemas de concentración solares, entre los que destacan:

- Concentrador por termo fusión
- Concentrador solares planos
- Concentrador de tubos evacuados
- Concentrador de cilíndrico parabólico

Entre las ventajas de este tipo de sistemas de colección destacan:

- Pueden utilizar concentradores de tubos evacuados
- Convierten la energía solar en energía térmica
- Utiliza captadores solares para transformar la radiación en calor
- Trabaja en un rango de temperatura de 40°C a 400°
- Los concentradores parabólicos están contruidos por superficies reflectoras con simetría cilíndrica y sección recta parabólica

Los principales componentes del concentrador solar parabólico son:

- Reflector, es el encargado de concentrar los rayos solares directos sobre un punto o línea (tubo absorbente). El reflector lleva un soporte o base metálico, (aunque puede ser de vidrio o plástico), sobre el que se deposita una lámina reflejante como el aluminio o plata.
- Tubo reflector absorbedor: está hecho de dos tubos concéntricos entre los cuales, se ha aplicado vacío, con lo que se evitan perdidas de calor. El tubo exterior y el tubo interior (por el cual circula el líquido calor portador) pueden ser de metal. Según la temperatura de trabajo se pueden utilizar diferentes fluidos.
- Sistema de seguimiento: está provisto de un sensor térmico y un motor para orientar el captador cilindro parabólico en la dirección adecuada.
- Estructura, soporte y cimentación: debe cumplir con las siguientes especificaciones: terreno liso, zona soleada, disponibilidad de agua, disponer de una red eléctrica cercana.

Una de las aplicaciones más demandadas para este tipo de colector, es la producción de vapor para usos industriales; en donde el fluido portador se bombea a un intercambiador de calor en donde circula en contra corriente de líquido a más baja temperatura. Este líquido frío, se calienta hasta convertirse en vapor de agua a temperatura y presión alta. Este tipo de energía en forma de vapor se utiliza en la industria para producir electricidad.

### **Tubos evacuados.**

Los distintos sistemas de colectores de tubo de vacío se basan en los tubos evacuados. Estos están conformados por dos tubos concéntricos entre los cuales se ha aspirado el aire produciéndose un vacío. En uno de los extremos ambos tubos se unen sellándose el vacío. Dentro de ambos tubos se sitúan los distintos tipos de absorbedores que determinan los distintos sistemas.

Algunos colectores emplean un sistema denominado CPC (Colector Parabólico Concéntrico) para aprovechar la radiación solar que incide entre dos tubos. Este sistema consiste en una serie de reflectores que dirigen la luz que cae entre tubo y tubo hacia la parte trasera de los mismos donde es también aprovechada. Con ello los colectores reciben luz tanto de la parte delantera como de la trasera. Con el sistema CPC se amplía la superficie efectiva de captación por metro cuadrado para la tecnología de tubo de vacío factor que sin embargo siempre estará por debajo de los colectores de placa plana (por metro cuadrado se capta menos pero se hace un uso más eficiente de lo captado).

### **Tubos evacuado simples**

Este sistema es únicamente utilizado en calentadores solares termosifónicos. Son tubos evacuados ensamblados directamente con el depósito acumulador y que por lo tanto contienen agua.

En la pared interior del tubo evacuado se sitúa una capa de color oscuro de material absorbente. Cuando la radiación solar incide sobre la capa de material

absorbente se transforma en calor y eleva la temperatura del agua que está en contacto con él.

El agua calentada se eleva por convección y comienza a ascender siendo reemplazada por agua fría que a su vez se calienta y reinicia el proceso.

Este tipo de tubo de vacío ofrece la ventaja de tener las ya comentadas escasas pérdidas de calor y los inconvenientes de ser muy sensible a la presión y de no ofrecer ninguna protección contra las bajas temperaturas no siendo posible su utilización en zonas con inviernos fríos sin la inclusión de un calentador eléctrico que caliente el agua del depósito cuando esta alcanza temperaturas muy bajas.

En caso de baja temperatura la dilatación del agua al congelarse puede reventar los tubos y arruinar el equipo.

### **Tubo de vacío de flujo directo**

Los colectores de tubo de vacío de flujo directo colocan en el interior del tubo evacuado una plancha de material absorbente adecuado que hace las veces de absorbedor transformando la radiación solar en calor. El absorbedor es recorrido en su superficie por un tubo con flujo directo en el que circula un fluido que eleva su temperatura en contacto con él.

Algunos colectores con esta tecnología aplican el sistema CPC alterando la forma del absorbedor que adopta una forma semicilíndrica para poder captar la energía solar de la forma más eficiente posible por la parte trasera.

Los colectores de tubo de vacío de flujo directo tienen la ventaja de poder adoptar una posición tanto horizontal como vertical sin mermar su rendimiento ya que el tubo puede rotar sobre su eje inclinándose el absorbedor de la manera más adecuada.



Tiene la ventaja además de ser utilizable en áreas frías ya que permite usar las estrategias contra la congelación de uso general en la energía solar térmica.

### **Tubo de vacío Heat pipe.**

Esta tecnología de colectores solares emplea un mecanismo denominado Heat pipe. (Tubo de calor). Este mecanismo consiste en un tubo cerrado en el cual se introduce un fluido de propiedades específicas. Cuando el Sol incide sobre el absorbedor adosado al tubo, el fluido se evapora y absorbe calor (Calor latente). Como gas asciende sobre el líquido hasta lo alto del tubo donde se sitúa el foco frío. Allí se licua y cede su calor latente al fluido que nos interesa calentar volviendo a caer al fondo del tubo por gravedad. Este proceso se repite mientras dure la radiación del Sol o hasta que el colector ha alcanzado una temperatura muy alta (130 °C o más) . El Heat Pipe o tubo de calor es considerado como un superconductor térmico por lo eficaz de su funcionamiento.

### **Colectores de placa plana sin cubierta.**

Este tipo de colectores, sencillos y baratos, consisten en un absorbedor pero carecen de la cubierta transparente. No incluyen ningún aislamiento adicional, de manera que la ganancia de temperatura queda limitada a unos 20 °C sobre la del aire del ambiente, son los más adecuados para aplicaciones de baja temperatura. Actualmente, son utilizados para la calefacción de piscinas al aire libre, pero existen otros mercados, incluidos los de calefacción de temporada en las piscinas cubiertas, calefacción de agua para lavar coches, y calefacción del agua utilizada en piscicultura. También existe un mercado potencial de estos colectores para calentamiento de agua en lugares remotos, como campamentos de verano.

Los absorbedores de estos colectores son generalmente de plástico negro tratado para resistir la luz ultravioleta, o están contruidos por tubos de metal o plástico recubiertos de pigmentos ennegrecidos por los que circula el agua). Dado que estos colectores no tienen cubierta, una gran parte de la energía solar absorbida se pierde principalmente por convección.

### **Colectores de placa plana con cubierta.**

Los colectores de placa plana son los más usados para calentar agua en los hogares y para los sistemas de calefacción. Un colector de placa plana se compone básicamente de una caja metálica con aislamiento con una cubierta de vidrio o de plástico (la ventana) y de una placa absorbadora de color oscuro. La radiación solar es absorbida por la placa que está construida de un material que transfiere rápidamente el calor a un fluido que circula a través de tubos en el colector.

Este tipo de colectores, calientan el fluido que circula a una temperatura considerablemente inferior a la del punto de ebullición del agua y son los más adecuados para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de 30-70 °C. Son los más utilizados para calentar agua en sistemas domésticos y comerciales y en piscinas cubiertas. Un colector de placa plana consiste en un absorbedor, una cubierta transparente, un marco, y aislación. La cubierta transparente transmite una gran cantidad de la luz de onda corta del espectro solar y al mismo tiempo, sólo deja pasar muy poca radiación de onda larga (calor emitido por el absorbedor) produciendo un efecto invernadero. Además, la cubierta transparente evita que el viento y las brisas se lleven el calor colectado (convección). Junto con el marco, la cubierta protege el absorbedor de las condiciones meteorológicas adversas. Típicamente el marco está fabricado de materiales de aluminio y de acero galvanizado, también se utiliza plástico reforzado con fibra de vidrio.

La aislación en la parte posterior del absorbedor y en las paredes laterales reduce las pérdidas de calor por conducción. Esta aislación es por lo general de la espuma de poliuretano, lana mineral, fibra de lana de vidrio, etc. Estos colectores demostraron poseer una muy buena relación precio/calidad y tienen una amplia gama de posibilidades para su montaje (en el techo, como parte del techo, o solos)

### **Colector Parabólico Compuesto. CPC**

Esencialmente consta de reflectores parabólicos que redirigen la radiación desde la apertura hasta el absorbente, como si se tratase de un embudo, es decir, todos los rayos incidentes son dirigidos al absorbedor., las mitades derecha e izquierda pertenecen a diferentes parábolas. El eje derecho de la parábola forma un ángulo con el plano medio del colector y el eje izquierdo forma un ángulo con dicho plano.

Las ventajas que estos diseños ofrecen se pueden resumir en las siguientes:

- Aprovechan la radiación difusa.
- Pueden ser usados para reconcentradores o concentradores secundarios con altos rendimientos.
- Con todo ello, el uso de este tipo de colector no es muy común, pues no se ha investigado lo suficiente.

### **Colector Cilíndrico Parabólico. CCP**

Existen muchos campos solares que utilizan esta tecnología como medio de generación de energía térmica y eléctrica, Es por ello que esta tecnología está muy avanzada, la información y exactitud es amplia y detallada.

Los CCP's son captadores concentradores solares de foco lineal, que transforman la radiación solar directa en energía térmica, gracias al calentamiento de un fluido de trabajo que puede llegar hasta los 400° C en casos muy favorables. Por tanto, están englobados dentro de los colectores solares de media temperatura. Están compuestos por:

-El Reflector Cilíndrico Parabólico: su misión es la de reflejar y concentrar sobre el receptor la radiación solar directa incidente sobre la superficie. A grandes rasgos es un espejo curvo que forma en una de sus dimensiones una parábola, de forma que concentra sobre su línea focal toda la radiación reflejada. Entre los materiales usados para la reflexión, encontramos plásticos recubiertos con películas

de plata o aluminio, chapas metálicas, o el más usado: vidrios sobre los que se depositan una capa de plata junto con un protector de base de cobre y pintura epoxi.

-El tubo de absorción o Receptor: es un elemento fundamental en un CCP, pues el rendimiento global del colector depende en gran parte de la calidad termodinámica del absorbente. Puede constar de un solo tubo o de dos tubos concéntricos. En este último caso, el tubo interior es metálico de elevada absorvidad (>90%) y de baja emisividad (<30%) en el espectro infrarrojo, lo que se traduce en un elevado rendimiento térmico. Por otro lado, el tubo exterior es de cristal y tiene el objetivo de reducir las pérdidas térmicas por convección del tubo metálico, así como de protegerlo frente a las condiciones meteorológicas adversas. Ambos tubos suelen llevar un tratamiento para aumentar la trasmisividad de la radiación solar, lo que causa un aumento del rendimiento óptico del colector.

- El Sistema de Seguimiento Solar: El seguimiento del Sol se hace con el objetivo de aprovechar la mayor parte de horas posibles de luz, de forma que la radiación solar llegue lo más perpendicularmente posible al colector y se mantengan en el foco lineal continuamente. Los CCP's pueden tener seguimiento a dos ejes o un único eje. Normalmente el seguimiento se realiza a un eje pues mecánicamente es más sencillo, esto implica menos costos y menores pérdidas térmicas por no haber tuberías pasivas. La orientación puede ser Norte-Sur o Este-Oeste.

Los mecanismos de accionamiento que mueven al colector pueden ser eléctricos (apropiado para equipos pequeños), hidráulicos (para lazos de colectores) y mecánicos (reloj de pesas)

Este tipo de colectores tienen una eficiencia termodinámica muy buena en comparación con otros, y es por ello por lo que se usan en algunos procesos industriales como en la producción de acetona, el procesado de residuos, en la industria láctea, así como en la producción de electricidad, donde existe gran madurez en investigación.

Aún así, una de las mayores desventajas de este diseño de colector es que sólo hace uso de la radiación directa, siendo incapaz de captar la radiación difusa. Por culpa de ello los costes se incrementan, pues es necesario un instalar un sistema de seguimiento solar que necesita un aporte secundario de energía.

### **Disco Parabólico. DP**

Los sistemas de discos parabólicos se componen básicamente en un reflector o en un conjunto de de reflectores, que tienen forma de paraboloides de revolución. Además poseen un receptor situado en el foco puntual de dicho paraboloides, y de un sistema de generación eléctrica compacto (un motor o una turbina más un alternador). Por lo general, receptor y sistema de generación suelen formar parte de un mismo conjunto.

El principio de funcionamiento es el mismo que para los CCP's, es decir, la radiación concentrada por el paraboloides incide sobre el receptor, donde se convierte energía térmica (pudiendo alcanzar los 1500 °C) lo que les permite generar electricidad.

### **Componentes**

-Concentrador: La forma de la superficie reflexiva en este tipo de sistema, es la de un paraboloides de revolución, cuyo tamaño depende de la potencia nominal y de la energía que se desea generar en un determinado tiempo y bajo unas condiciones de radiación determinadas.

- Receptor: Es un sistema de discos parabólicos que tienen dos funciones fundamentales, por un lado la de absorber la radiación solar reflejada por el concentrador, y por el otro transferir la energía absorbida al fluido de trabajo de la máquina asociada. Hasta la fecha existen dos tipos de reflectores: tubos directamente iluminados por la reflexión de los rayos, y receptores de reflujo.

-Sistema de Seguimiento: Con objeto de seguir la posición del sol en todo momento, los discos parabólicos realizan un seguimiento de éste en dos ejes.

Se realiza según dos tipos de montaje:

-Seguimiento en acimut-elevación, en el que el movimiento se realiza según dos ejes, el vertical y el horizontal.

-Seguimiento polar, en el que el movimiento en un eje es muy lento, pues solo se debe seguir las variaciones estacionales del sol, y el movimiento en el otro eje es a velocidad constante.

Actualmente, el uso de discos parabólicos para generar electricidad se encuentra en fase de desarrollo en algunas plantas experimentales pero la falta de fiabilidad y su elevado coste, constituyen los principales obstáculos para su introducción real en la generación eléctrica. En cambio, atendiendo a la misma forma estructural y con el mismo principio de reflexión en un foco puntual del paraboloide de revolución, es muy común encontrar, a nivel particular, cocinas solares.

### **Calidad del agua utilizada para consumo humano.**

La calidad del agua que ha de ser utilizada para consumo humano es establecida bajo requisitos de las normas oficiales mexicanas, la norma que se aplican dichos parámetros de calidad se establecen parámetros físicos, químicos y biológicos

La norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION"

Algunos de los parámetros que considera esta norma son el pH, dureza, color, sabor, turbidez, sólidos disueltos, metales como el mercurio, arsénico, plomo, aluminio, entre otros.

Como organismo indicador de calidad biológica se utilizan los parámetros de coliformes totales y coliformes fecales. El LMP para estos parámetros es 2 NMP/100 mL y No detectable/100 mL respectivamente.

### **Coliformes.**

Los coliformes fecales y *E. coli* en particular, se han seleccionado como indicadores de contaminación fecal debido a su relación con el grupo tifoide-paratifoide y a su alta concentración en diferentes tipos de muestras.

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. (Madigan y col., 1997).

Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Esta denominación está ganando más adeptos actualmente, pues sería una forma más apropiada de definir este subgrupo que se diferencia de los coliformes totales por la característica de crecer a una temperatura superior.

La capacidad de reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc.

La presencia de coliformes totales debe interpretarse de acuerdo con el tipo de aguas: deben estar ausentes en 85% de las muestras de aguas potables tratadas. En caso de estar presentes, su número no puede ser superior a 2-3

coliformes. Esta contaminación a pesar de ser baja, no puede ocurrir en tres muestras recolectas en días consecutivos.

La presencia de coliformes fecales está dividida en dos géneros: *Enterococcus* y *Streptococcus*. Todos los *Enterococcus* presentan alta tolerancia a condiciones ambientales adversas (altas o bajas temperaturas, deshidratación, salinidad, luz solar, etc.).

El género *Streptococcus* reúne apenas dos especies ya existentes en la antigua clasificación: *S. bovis* y *S. equinu*, que son más abundantes en heces animales.

Dada la limitada capacidad de algunos miembros del grupo de organismos coliformes para sobrevivir en agua; sus números también pueden emplearse para estimar el grado de contaminación fecal.

Los microorganismos coliformes son un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. Los agentes patógenos transmitidos por el agua constituyen un problema mundial que demanda un control urgente mediante la implementación de medidas de protección ambiental a fin de evitar el incremento de las enfermedades relacionadas con la calidad del agua. Los microorganismos coliformes son bacilos Gram negativos, no esporulados, aerobios o anaerobios facultativos, y fermentan la lactosa a 35 °C con la producción de ácido y gas.

El grupo de los microorganismos coliformes es el más ampliamente utilizado en la microbiología de los alimentos como indicador de prácticas higiénicas inadecuadas.



## **Desinfección solar.**

### **Efecto de las radiaciones Ultravioleta**

La radiación UV tiene un efecto letal y mutagénico, que depende de su longitud de onda. Ello se debe a la absorción selectiva de longitudes de onda por parte de ciertas moléculas biológicas:

- Las proteínas tienen dos picos (es decir, máximos) de absorción: uno a 280 nm, debido a los aminoácidos aromáticos (Trp, Tyr, Phe), y otro a 230 nm, debido a los enlaces peptídicos.

- El ADN y el ARN absorben a 260 nm, debido al enlace doble entre las posiciones 4 y 5 de las bases púricas y pirimidínicas.

Los rayos UV no tienen actividad ionizante, pero provocan cambios químicos en las moléculas absorbentes, de modo que aparecen moléculas alteradas denominadas genéricamente fotoproductos. Los fotoproductos originan la inactivación de macromoléculas, aunque, como veremos enseguida, el ADN dispone de mecanismos para paliar o eliminar estas modificaciones potencialmente lesivas.

Las consecuencias de inactivar proteínas o ARN no se dejan sentir a efectos de letalidad, ya que existen muchas copias de cada uno de estos tipos de macromoléculas, y se pueden volver a sintetizar.

En cambio, la inactivación del único cromosoma de la bacteria tiene efectos letales primarios y efectos mutagénicos secundarios. Por lo tanto, el espectro de acción biológica de la luz UV equivale al de absorción del UV por el ADN (260 nm).

### **Efectos de la luz visible.**

A diferencia de la UV, la luz visible es de baja energía, y además, sus cuantos no tienen efectos selectivos sobre el ADN, por lo que no sería de esperar, en principio, que este tipo de radiación tuviera efectos negativos sobre las bacterias. Sin embargo, la luz visible puede ejercer un efecto negativo indirecto, en el fenómeno de sensibilización fotodinámica.

### **Sensibilización fotodinámica natural**

La luz visible de fuerte intensidad (p. ej., exposición a pleno sol) es capaz de matar las bacterias, debido a que ciertas moléculas de éstas (riboflavinas, porfirinas, citocromos) absorben la energía de los cuantos y se excitan durante  $10^{-6}$ - $10^{-8}$  seg, tras lo cual reemiten la energía a otras moléculas, originando fotooxidaciones en residuos His y Trp de las proteínas y en las bases de los ácidos nucleicos. Así pues, en la práctica de laboratorio habitual, no es conveniente exponer las bacterias en cultivo a la luz, sino que habrán de cultivarse en oscuridad (salvo el cultivo de las bacterias fotótrofas).

Ciertas bacterias (entre ellas las fotosintéticas, y las que se propagan vía aérea) poseen abundantes pigmentos de tipo carotenoide que las protegen de estos efectos fotosensibilizadores.

### **Sensibilización fotodinámica artificial:**

Si a una suspensión de bacterias añadimos ciertos pigmentos artificiales fluorescentes (colorantes), como el rosa de Bengala, el azul de metileno, la eosina, etc, la energía del espectro visible absorbida por dichos pigmentos no la re-emiten como fluorescencia, sino que provoca cambios en proteínas y ácidos nucleicos. Esto conduce a efectos de esterilización, sobre todo por desnaturalización de proteínas.

### **Degradación natural del PET**

La luz ultravioleta del sol provee energía de activación requerida para iniciar la incorporación de oxígeno en el polímero. Este proceso hace que el plástico se rompa y fragmente en trozos cada vez más pequeños hasta que las cadenas poliméricas alcancen un peso molecular suficientemente bajo para que pueda ser metabolizada por los microorganismos. Cabe destacar que este proceso es muy lento y puede tardar 50 años o más para que el plástico se degrade completamente.

## **Sistema de desinfección SODIS:**

Uno de los métodos de desinfección más simples y menos costosos para suministrar agua de calidad aceptable para el consumo humano es la radiación solar, que algunos técnicos han dado en llamar SODIS (del inglés “solar disinfection”). Este método es ideal cuando las condiciones económicas y socioculturales de la comunidad ponen en riesgo la sostenibilidad de otras alternativas de tratamiento y desinfección, como la filtración o el uso de cloro, aun cuando éstas también sean reconocidas como simples y económicas.

En esta parte se analizan algunas alternativas de bajo costo para la desinfección del agua mediante energía solar, principalmente aquellas factibles en comunidades rurales.

A pesar de lo interesante del método y de sus escasos requerimientos, la SODIS no ha alcanzado popularidad extendida. La razón es que hay demasiadas variables que condicionan su eficiencia y la eventual seguridad del agua tratada.

La latitud y la altitud geográfica, la estación, el número de horas de exposición, la hora, las nubes, la temperatura; el tipo, el volumen y el material de los envases que contienen el agua; la turbiedad de agua y el color; son, entre otros, los parámetros que podrían interferir en una desinfección perfecta.

## **Mecanismos de la desinfección solar**

Buena parte del poder de desinfección de la SODIS se debe a la acción fotoquímica. La radiación ultravioleta tiene el poder de aniquilar microorganismos y por ello se ha argumentado que la porción ultravioleta que acompaña a la porción visible cuando se expone agua a la luz del sol sería la responsable de la acción bactericida. Pero lo cierto es que la porción realmente bactericida del componente ultravioleta, que corresponde al rango del UV-C (100-280 nm), es la que menos está presente en la radiación solar y aun suponiendo que fuera suficiente para tener algún poder de desinfección, se ha comprobado científicamente que la mayoría de los materiales, incluso los transparentes a la luz solar, como el vidrio y el plástico,

son casi totalmente opacos a la radiación ultravioleta. Esta es la razón por la cual, los tubos ultravioletas que se utilizan para la desinfección están encerrados en camisas protectoras de cuarzo, único material que es verdaderamente transparente a ese tipo de radiación (el teflón, que se utiliza en algunos equipos es el único plástico parcialmente transparente). El resultado de este simple análisis es que si se expone agua a una radiación escasa y además se interpone un filtro prácticamente opaco a la misma, entonces la capacidad desinfectante de esa radiación es necesariamente nula o, en el mejor de los casos, despreciable. Decididamente, la SODIS no opera bajo el pretendido mecanismo de la fotoquímica. El funcionamiento de la SODIS se basa en la pasteurización, que es un proceso térmico.

Las altas temperaturas tienen un marcado efecto sobre todos los microorganismos; las células vegetativas mueren debido a la desnaturalización de las proteínas y la hidrólisis de otros componentes. En el agua, si bien hay algunas bacterias con capacidad de esporular, lo que las hace particularmente resistentes al calor, en general puede afirmarse que la mayoría de las bacterias mueren entre los 40 y los 100° C, mientras que las algas, protozoarios y hongos lo hacen entre los 40 y los 60° C.

La desinfección por ebullición consiste en elevar la temperatura del agua a 100° C y mantener esa condición por espacio de uno a cinco minutos. El resultado es la eliminación de la mayoría, sino de todos, los microorganismos presentes. En contraposición, la pasteurización se define como la exposición de una sustancia (normalmente alimenticia, incluida el agua), “durante el tiempo suficiente a una considerable temperatura para destruir los microorganismos que puedan producir enfermedad o dañar las condiciones del alimento”. Si bien la susceptibilidad al calor se encuentra condicionada por factores como la turbiedad del agua, la concentración de células, estado fisiológico y otros parámetros, el proceso de pasteurización destruye coliformes y otras bacterias no termotolerantes y esto es afortunado, ya que la mayor parte de los patógenos se encuentran en este grupo.

Para el caso del agua se ha tratado de determinar la relación óptima entre el tiempo y la temperatura para destruir los gérmenes patógenos. Si bien esto no es exacto, se ha tomado como regla que para un agua clara (con turbiedad menor de 5 UTN) se puede asegurar un razonable nivel de seguridad en la desinfección con cualquiera de las siguientes relaciones: 65 °C durante 30 minutos o 75 °C durante 15 minutos.

Desde un punto de vista eminentemente práctico y operativo estas condiciones se aseguran en zonas soleadas con exposiciones de cuatro a cinco horas en el período de máxima radiación (desde las 11:00 a las 16:00 horas).

### **Subproductos de la desinfección**

El conocimiento actual de la SODIS y los estudios que se han realizado hasta el presente no reportan la presencia de subproductos de desinfección.

### **Efectos de la radiación UV-A y temperatura:**

SODIS usa dos componentes de la luz solar para la desinfección del agua: El primero, la radiación UV-A, tiene efecto germicida y el segundo componente, la radiación infrarroja, que eleva la Temperatura del agua y genera el efecto de pasteurización cuando la temperatura llega a 70-75°C. El uso combinado de la radiación UV-A y del calor produce un efecto de sinergia que incrementa la eficacia del proceso.

### **Efectos de la radiación UV**

La radiación solar puede dividirse 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 los ojos y puede destruir las células vivas. Afortunadamente, la mayoría de la luz UV-C y UV-B en el rango de 200 a 320 nm es absorbida por la capa de ozono (O<sub>3</sub>) en la atmósfera que protege a la tierra de un gran porcentaje de la radiación solar proveniente del espacio. Sólo una fracción de la radiación UV-A,

con un rango de longitud de onda más alto, 320 a 400 nm, cercano a la luz violeta visible, llega a la superficie de la tierra.

La luz UV-A tiene un efecto letal en los patógenos presentes en el agua que afectan a los humanos. Estos patógenos no se adaptan bien a las condiciones ambientales agresivas, pues sus condiciones de vida específicas son las del tracto gastrointestinal humano. Por lo tanto, son más sensibles a la luz solar que los organismos que abundan en el ambiente. La radiación UV-A interactúa directamente con el ADN, los ácidos nucleicos y las enzimas 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). Estas moléculas también interfieren con las estructuras celulares y matan a los patógenos.

Efectos de la temperatura (radiación infrarroja) Otro aspecto de la luz solar es la radiación de onda larga, denominada infrarroja. Esta radiación tampoco la puede ver el ojo humano, pero podemos sentir el calor producido por la luz con una longitud de onda superior a 700 nm. La radiación infrarroja absorbida por el agua es responsable de su calentamiento. Los microorganismos son sensibles al calor.

El siguiente cuadro presenta la temperatura y el tiempo de exposición necesarios para eliminar microorganismos. Puede verse que el agua no tiene que hervir para matar el 99.9% de los microorganismos y el calentamiento del agua a 50- 60°C durante una hora tiene el mismo efecto.

<b>Resistencia Térmica de los Microorganismos</b>			
Microorganismos	<b>Temperatura para desinfección al 100 % (°C)</b>		
	1 min	6 min	60 min
Enterovirus			62

Rotavirus			62°C por 30 min
Coliformes fecales			
Salmonella		62	58
Shigella		61	54
Vibrio cholerae			45
Quistes de entamoeba histolytica	57	54	50
Quistes de giardi	57	54	50
Huevos y larvas de gusano ganchudo		62	51
Huevos de áscaris	58	62	57
Huevos de esquistosoma	60	55	50
Huevos de tenia	65	57	51

Cuadro 1.-Resistencia Térmica de los microorganismos.

A una temperatura del agua a 30 °C se requiere una afluencia de 555 W\*h/m<sup>2</sup> (350 a 400 nm) dosis de radiación solar correspondiente a aproximadamente 6 horas de luz solar en el verano (a medio día y en una latitud media) para lograr una reducción de tres órdenes logarítmicos (por ejemplo de 1000 UFC/100 mL. a 1 UFC/100 mL) en los coliformes fecales. Bajo estas condiciones sólo está presente el efecto de la radiación UV-A Sin embargo, la tasa de inactivación de los coliformes fecales expuestos a la luz del sol se incrementa significativamente cuando están presentes 2 factores de tensión, la radiación UV-A y el incremento en la temperatura del agua. A una temperatura del agua de 50°C, se produce un efecto sinérgico de la radiación UV-A y la temperatura: una reducción de 3 órdenes logarítmicos de los coliformes fecales sólo requiere una afluencia de 140 W\*h/m<sup>2</sup>. Esto es equivalente a un tiempo de exposición de sólo una hora.

## **Desinfección de agua en las comunidades.**

En algunas comunidades del país se han hecho esfuerzos por parte de organizaciones civiles y gobierno por dotar a las comunidades con tecnologías apropiadas para la desinfección de agua.

## **Efecto de SODIS en los patógenos**

Los patógenos que afectan a los humanos se adaptan a vivir en los intestinos de las personas, donde encuentran un ambiente húmedo y oscuro y temperaturas que oscilan entre los 36°C y los 37°C. Una vez descargados en el medio ambiente, estos patógenos son muy sensibles a las condiciones fuera del cuerpo humano. No pueden tolerar temperaturas elevadas y no tienen ningún mecanismo de protección contra la radiación UV. Por lo tanto, es posible usar la temperatura y la radiación UV para inactivar a estos patógenos.

Las investigaciones han demostrado que SODIS destruye las bacterias y los virus patógenos. Se ha documentado la inactivación de los siguientes microorganismos:

Bacterias: *Escherichia coli* (E.coli), *Vibrio cholerae*, *Streptococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Shigella flexneri*, *Salmonella typhi*, *Salmonella enteritidis*, *Salmonella paratyphi*.

Virus: Bacteriófagos f2, Rotavirus, Virus de la Encefalomiocarditis.

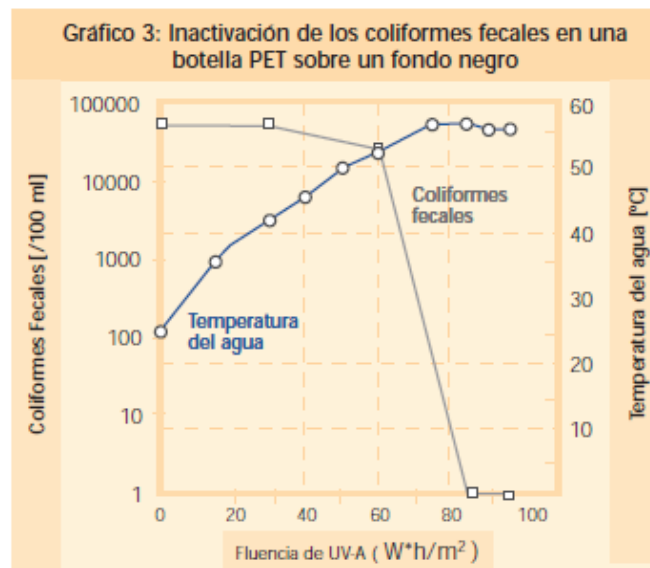
Levaduras y mohos: *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Candida*, *Geotrichum*

Sin embargo, todavía no se ha evaluado sistemáticamente la inactivación de organismos que forman quistes y esporas como protozoarios, *Entamoeba histolytica*, *Giardia intestinalis*, *Cryptosporidium parvum* y helmintos, mediante la desinfección solar del agua.



Es posible destruir estos organismos usando la temperatura (hirviendo o pasteurizando el agua). Todos los microorganismos tienen una sensibilidad específica al calor. El punto de muerte térmica de los quistes de amebas y Giardia es 57°C (durante 1 minuto de exposición). SODIS destruirá eficazmente estos patógenos si el agua en las botellas expuestas a la luz solar alcanza la temperatura de 57°C durante 1 minuto o si el agua contaminada mantiene una temperatura de 50°C durante 1 hora.

La mayoría de patógenos que ataca a los humanos es muy frágil; fuera del cuerpo humano no puede multiplicarse y muere. Una de las pocas excepciones la constituye la Salmonella, la cual, sin embargo, requiere condiciones ambientales favorables (como un suministro adecuado de nutrientes) para sobrevivir.



Efecto de SODIS en coliformes

## **Caja Solar.**

El IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) ha desarrollado entre diferentes ecotecnologías, el sistema denominado Caja Solar. Que es un sistema que aprovecha la radiación solar y la refleja por medio de espejos. Estos sistemas han sido ampliamente distribuidos en comunidades de diferentes estados de la república, como Michoacán y Estado de México.

### VENTAJAS

- Eficiente

### DESVENTAJAS

- Materiales de construcción, son costosos y difíciles de encontrar en la comunidad,
- Uso de botellas de plástico
- Se necesitan herramientas, material y conocimiento especializado para su armado.

## **Filtros de cerámica.**

En comunidades de la Sierra Gorda de Querétaro; con el apoyo del gobierno estatal, la CEA (Comisión Estatal del Agua) y la UTEQ, se entregó un filtro de cerámica a familias residentes en comunidades de difícil acceso y con altos niveles de marginación.

### VENTAJAS

- Eficiente
- Filtros donados por CEA

### DESVENTAJAS

- Los cartuchos duran 1 año.
- Debido al costo de los cartuchos, son difícil reponer y además no se encuentran en repuestos en las comunidades, ni siquiera en las cabeceras

municipales. Hay que considerar que un viaje a la capital del estado toma entre 5-8 horas de viaje.

- Falta de interés de las autoridades, al terminar sus períodos de gobierno, los nuevos gobernantes no dan seguimiento.
- Material cerámico, son frágiles y se rompen
- Difíciles de armar.
- La mayoría de las personas no saben leer y el instructivo es en idioma inglés por lo que es imposible de entender.

### **Desinfección por cloro y hervir el agua.**

Otros dos métodos sencillos son la cloración y hervir el agua, sin embargo y a pesar de su sencillez la gente no está acostumbrada o no conoce dichos métodos.

#### **VENTAJAS CLORACIÓN**

Eficiente

#### **DESVENTAJAS**

- A veces el costo del cloro dificulta la posibilidad de su uso y no siempre está disponible.
- Sabor desagradable en el agua.
- Su uso es asociado con problemas potenciales de cáncer.

#### **VENTAJAS HERVIR EL AGUA**

- Eficiente

#### **DESVENTAJAS**

- Sabor desagradable en el agua.
- Implica la quema de leña, por un lado genera gases de combustión que dañan la salud de las personas y la capa de ozono y por otro lado es complicado su uso en climas nublados y húmedos. Si se hace con gas es un gasto en la economía familiar.
- Al usar leña se fomenta deforestación en las zonas rurales.

- Es peligroso cuando se tienen niños pequeños en casa.

### **El Pinalillo.**

Comunidad ubicada en el municipio de San Miguel de Allende, Guanajuato, tiene una longitud de 100°34'27", una latitud de 20°47'46.

La única ruta de acceso a la comunidad es a través de la carretera que entra por la comunidad de La Joya, Qro. Tiene una población total de 84 habitantes. De acuerdo al Consejo Estatal de Población del Estado de Guanajuato, la localidad de Pinalillo es una comunidad con un grado de marginación alto. Es evidente la falta de infraestructura de los servicios básicos, el electrificado es intermitente, inexistencia de drenaje. La práctica común de los habitantes es el fecalismo al aire libre. La visita mensual del médico proveniente de San Miguel de Allende, de donde proceden también los profesores de la secundaria y primaria.

Los vecinos de la comunidad reportan un brote de hepatitis el año pasado. Varios niños resultaron afectados. Al ser una comunidad cuyo suministro de agua depende exclusivamente de los manantiales de la región, se espera que la implementación de este proyecto contribuya a mediano plazo a mejorar la calidad de vida de la comunidad.

## OBJETIVOS

### **Objetivo general.**

- Desarrollar un colector solar con materiales de bajo costo, disponibles en la comunidad; que pueda ser construido por personas de cualquier edad, sexo o escolaridad y que ayude a la eliminación de agentes biológicos en aguas para consumo humano, cumpliendo con lo establecido en la Normatividad Oficial Mexicana vigente.

### **Objetivos específicos.**

- Probar diferentes materiales caseros para elaborar un concentrador y demostrar su eficiencia.
- Medir parámetros que se consideran críticos como la temperatura para la óptima para la eliminación de agentes patógenos, el tiempo de radiación.
- Iniciar con el proceso de implementación del concentrador en la comunidad.
- Buscar integración del prototipo en un proyecto relacionado con tecnologías ambientales.

## **HIPÓTESIS**

Los sistemas de desinfección solar son elementos complicados de manejar y su construcción implica el desarrollo de habilidades técnicas especializadas de construcción, así como el uso de materiales difíciles de conseguir y trabajar en comunidad.

Los sistemas que son construidos a base de elementos sencillos son poco factibles de ser desarrollados y tienen nula practicidad y poca eficiencia.

## JUSTIFICACIÓN

En México las enfermedades diarreicas encuentran entre las principales causas de mortalidad infantil, es uno de los principales problemas de salud pública.

Generalmente se deben a infecciones bacterianas, virales y parasitarias que se transmiten al consumir alimentos, principalmente frutas, verduras y agua contaminada con materia fecal, tanto humana como animal, o con fluidos como la orina. Según datos de la OMS<sup>(1)</sup> en el mundo hay 2.2 millones de decesos por muertes relacionadas con enfermedades gastrointestinales al año.

De 1990 a 1997 en México murieron 103 812 <sup>(2)</sup> personas por enfermedades infecciosas intestinales según cifras del INEGI, en el año 2000 se reportan 5207 defunciones <sup>(3)</sup> Las bacterias más comunes son Salmonella typhi, Listeria monocytogenes, Vibrio cholerae, Escherichia coli y Leptospira interrogans, las cuales provocan fiebre tifoidea, gastroenteritis, cólera, diarreas.

Estas parasitosis se deben a las prácticas inadecuadas para la disposición de excretas y de saneamiento ambiental. Tanto el agua como los alimentos son muy fáciles de contaminar.

La falta de infraestructura y de medidas de saneamiento y seguridad por parte de las autoridades, afecta principalmente a los grupos más vulnerables de nuestro país, en comunidades en donde se carece completamente de servicios.

(1) [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/diarrhoea/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diarrhoea/en/) recuperado Abril 2014

(2) [http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general\\_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=11144](http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=11144) recuperado Abril 2014

(3) <http://bvs.insp.mx/rsp/articulos/articulo.php?id=000276> recuperado Abril 2014

Si bien es cierto que se cuentan con varias opciones para purificar agua estas, no son del todo aceptadas por la comunidad o bien no se tienen los recursos o el acceso a las tecnologías necesarias.



## **METODOLOGÍA**

- 1) Planteamiento del problema:
  
- 2) Diseño de prototipos
  - 2.1) Lista de materiales necesarios para el prototipo
  - 2.2) Pruebas
  
- 3) Elección del Prototipo:
  - 3.1) Pruebas de temperaturas
  - 3.2) Pruebas de con diferentes materiales.
  
- 4) Resultados
  
- 5) Cierre del proyecto
  - 5.1) Análisis de resultados
  - 5.2) Conclusión
  - 5.3) desarrollo del manual
  - 5.4) Entrega de la tesis

### **Planteamiento del problema**

El desarrollo de un sistema de desinfección solar de bajo costo pretende resolver las problemáticas relacionadas con los actuales sistemas de desinfección que se usan en las comunidades, ya que estos se construyen a partir de elementos como madera, PTR, perfil, y además durante su uso implica la desinfección del agua en botellas de plástico. El principal problema por un lado es que el trabajar con estos materiales es complicado teniendo el contexto de la mayoría de las poblaciones rurales en México y por otro, está el factor salud, ya que el uso de botellas de

plástico no es recomendado bajo las condiciones del uso del dispositivo, es decir no se recomienda colocar botellas de plástico bajo el rayo de sol directo ni utilizarlas varias veces.

La construcción de este prototipo pretende resolver estas desventajas, sin comprometer la calidad del agua que ha de ser utilizada por las personas de las comunidades para su consumo.

### **Diseño de prototipos**

Se realizaron dos prototipos con materiales caseros, que fueran accesibles a las personas de la comunidad.

Se elaboraron dos prototipos, para evaluar la eficiencia de las temperaturas que podían alcanzar las botellas cuando estaban en exposición del sol. El primer prototipo se realizó forrando una pelota de plástico con papel periódico y engrudo con varias capas para sacar el molde de la esfera, una vez obtenido el molde procedimos a forrarla en el interior con papel reflejante de productos de alimentos como galletas, golosinas, sabritas, etc.

En el segundo prototipo realizamos el molde de la esfera de la misma manera que la primera, con papel periódico y material reflejante, pero a esta esfera le colocamos por dentro una serie de pelotas más pequeñas que anteriormente también habían sido forradas con material reflejante cada una de ellas.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL.

### Selección del colector.

En esta parte del estudio se corrieron pruebas para seleccionar el tipo de colector, se probaron dos diferentes tipos de colector para evaluar cual alcanza las temperaturas más altas.

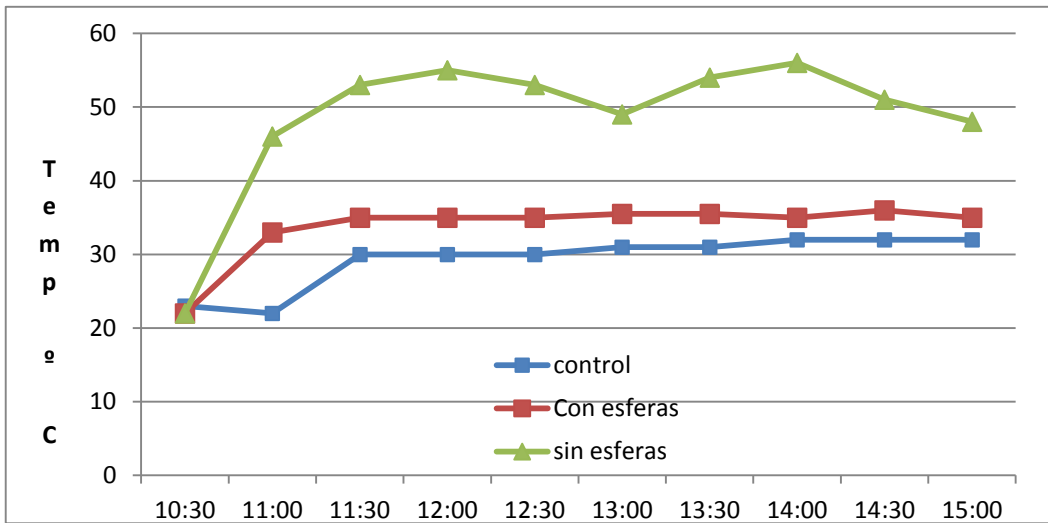
Ambos colectores están contruidos con materiales de re uso, pero el primer modelo sele adicionan pequeñas semiesferas, buscando mejor capacidad de reflexión.

### Primera prueba 4 de octubre del 2013.

Temperatura alcanzadas			
Hora	control	con esferas	sin esfera
	temperatura °C		
10:30	23	22	22
11:00	22	33	46
11:30	30	35	53
12:00	30	35	55
12:30	30	35	53
13:00	31	35.5	49
13:30	31	35.5	54
14:00	32	35	56
14:30	32	36	51
15:00	32	35	48

Comparativo entre concentrador sin esfera Vs con esfera Vs testigo

Sirve para elegir entre el mejor concentrador, en base a las temperatura más alta

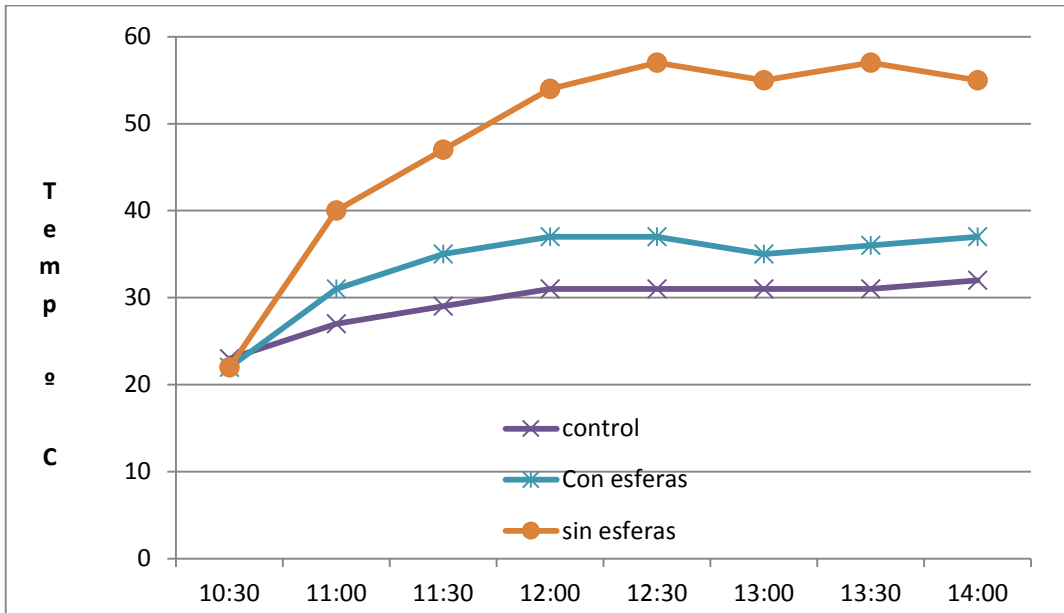


**Segunda prueba 9 de octubre del 2013.**

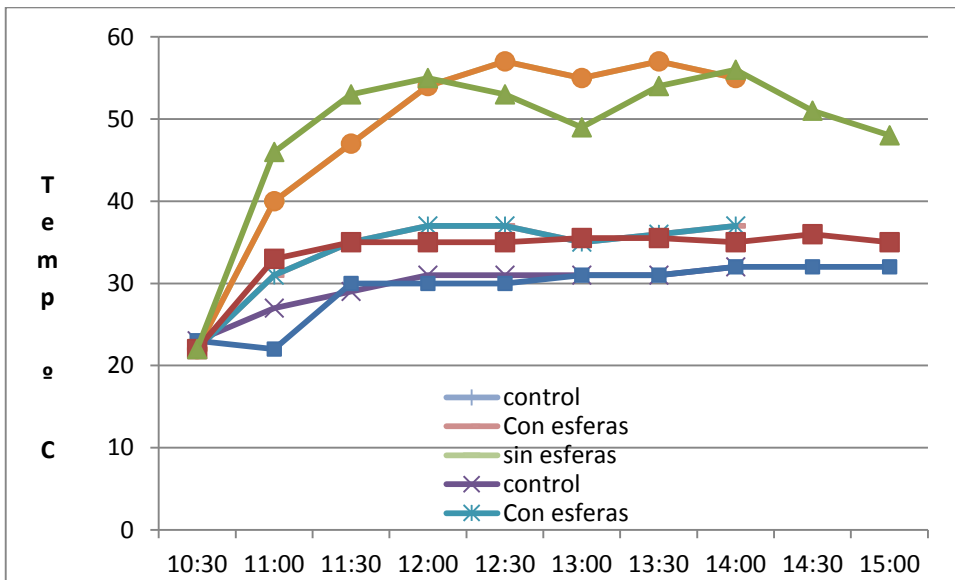
Temperatura alcanzadas			
Hora	control	con esferas	sin esfera
	temperatura °C		
10:30	23	22	22
11:00	27	31	40
11:30	29	35	47
12:00	31	37	54
12:30	31	37	57
13:00	31	35	55
13:30	31	36	57
14:00	32	37	55

Comparativo entre concentrador sin esfera Vs con esfera Vs testigo

Sirve para elegir entre el mejor concentrador, en base a las temperatura más alta



Se analizan los datos obtenido en conjunto para seleccionar el colector con temperaturas más altas. En esta caso as el colector que no tiene esferas.

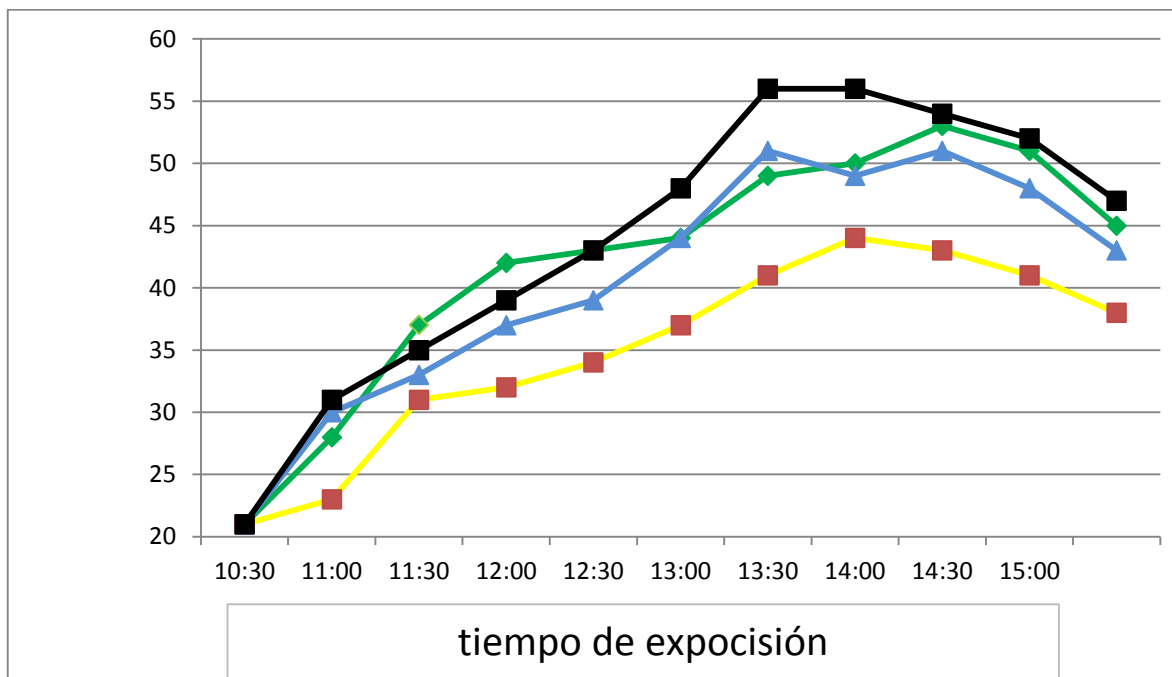


Una vez seleccionado el tipo de colector se miden diferentes tipos de contenedor, para ello se seleccionan botellas de cristal que son fáciles de conseguir. Se seleccionan botellas de color verde, ámbar, transparentes, azul y se pinta una

botella con pintura de color negro mate. Con esta prueba se evalúa si el color de la botella tiene un efecto en la temperatura del agua que se pretende irradiar.

**Primera corrida 15 de noviembre del 2013.**

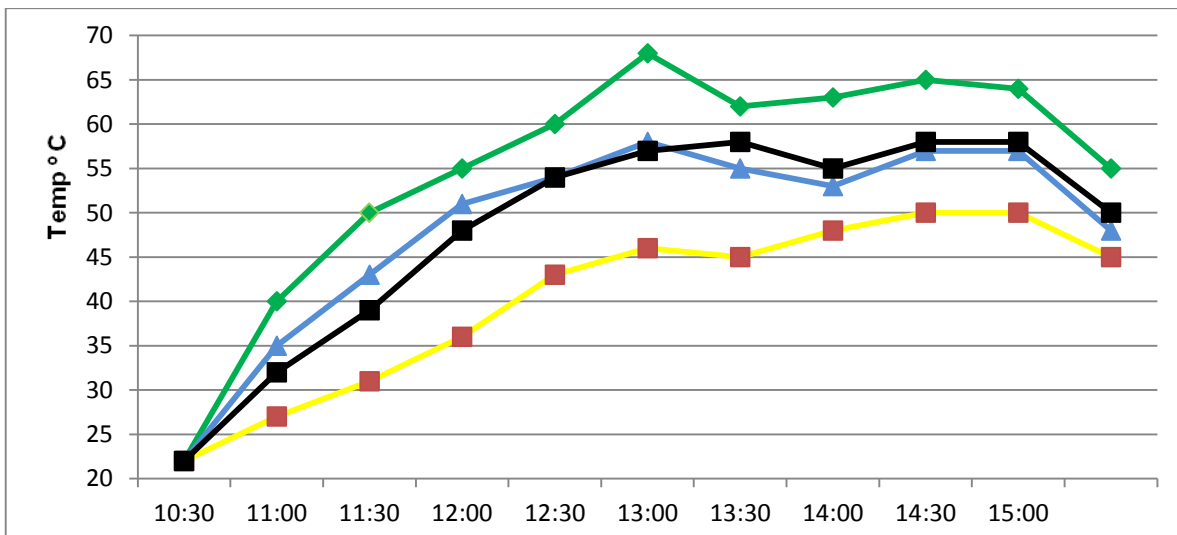
VERDE	TRANSPARENTE	AZUL	NEGRA
Temperaturas alcanzadas, por los diferentes contenedores en °C			
21	21	21	21
28	23	30	31
37	31	33	35
42	32	37	39
43	34	39	43
44	37	44	48
49	41	51	56
50	44	49	56
53	43	51	54
51	41	48	52
45	38	43	47



## Segunda corrida, 19 de noviembre del 2013

	VERDE	TRANSPARENTE	AZUL	NEGRA
Temperaturas alcanzadas, por los diferentes contenedores en °C				
10:30	22	22	22	22
11:00	40	27	35	32
11:30	50	31	43	39
12:00	55	36	51	48
12:30	60	43	54	54
13:00	68	46	58	57
13:30	62	45	55	58
14:00	63	48	53	55
14:30	65	50	57	58
15:00	64	50	57	58
15:30	55	45	48	50

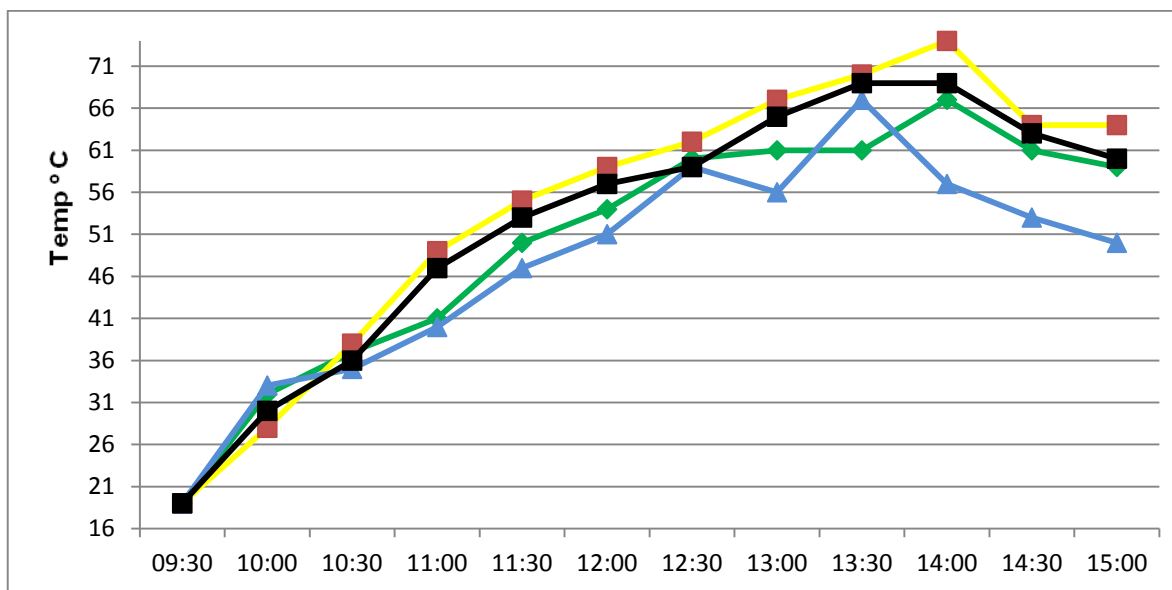
Concentrador esférico. Con contenedores de diversos  
colores, evaluando temperaturas alcanzadas.



**Tercera corrida, 20 de noviembre del 2013.**

	VERDE	TRANSPARENTE	AZUL	NEGRA
Temperaturas alcanzadas, por los diferentes contenedores en °C				
09:30	19	19	19	19
10:00	32	28	33	30
10:30	37	38	35	36
11:00	41	49	40	47
11:30	50	55	47	53
12:00	54	59	51	57
12:30	60	62	59	59
13:00	61	67	56	65
13:30	61	70	67	69
14:00	67	74	57	69
14:30	61	64	53	63
15:00	59	64	50	60

Concentrador esférico. Con contenedores de diversos  
colores, evaluando temperaturas alcanzadas.

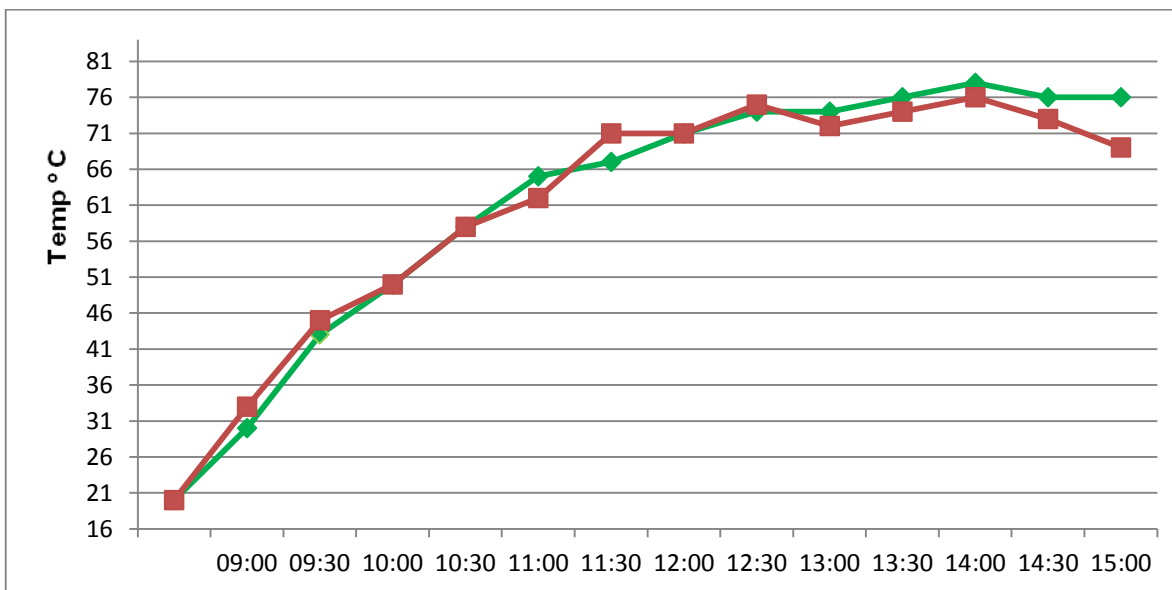


A partir de estas pruebas se observa que no existe una diferencia significativa de temperaturas entre los diferentes tipos de contenedor por lo que se decide seguir la



siguiente etapa de experimentación con contenedores de cerveza de color ámbar. Con capacidad de 1.2L. Este tipo de contenedor es elegido ya que es el más sencillo de encontrar en cualquier comunidad del país.

	Ambar	Negro
Temperaturas alcanzadas, por los diferentes contenedores en °C		
09:00	20	20
09:30	30	33
10:00	43	45
10:30	50	50
11:00	58	58
11:30	65	62
12:00	67	71
12:30	71	71
13:00	74	75
13:30	74	72
14:00	76	74
14:30	78	76
15:00	76	73
15:30	76	69



No se observan cambios significativos entre ambos contenedores. Esta parte del experimento no arroja resultados significativos, por lo tanto, ahora evaluaremos si la radiación que pudiera ser absorbidas por el tipo de vidrio, en función de su color pudiera ser determinante en el desarrollo del experimento.

### Variación en concentración del inóculo.

Para esta etapa de la investigación, se inoculan los diferentes contenedores con cantidades ascendentes de inóculo. Este inóculo se toma de la siguiente manera: se llenan los diversos contenedores con agua de la llave y se mezcla con agua residual sanitaria sin ningún tipo de tratamiento. Se evalúan diferentes cantidades del inóculo buscando alcanzar concentraciones altas en el número de coliformes.

### Prueba 1. 700 ml de agua de la llave + 5 mL de AR, 14 de enero del 2014.

Prueba confirmativa en bilis verde brillante
14 de enero
Contenedores con 700 mL de agua de la llave + 5 mL de AR
Contenedores verde, azul, negra, ámbar, transparente, testigo.
Se irradian de las 10 a las 18 hr

RESULTADOS		
Contenedor	NMP 100 mL de muestra	
	CT	CF
Testigo	23	4
verde	0	0
ámbar	0	0
negra	0	0
transparente	0	0

**Prueba 2. 700 ml de agua de la llave + 10 mL de AR, 4 de Febrero del 2014.**

RESULTADOS

Contenedor	NMP 100 mL de mtra	
	CT	CF
Testigo	1110	21
verde	0	0
ambar	0	0
negra	0	0
transparente	0	0

Prueba confirmativa en bilis verde brillante
04 de febrero Contenedores con 700 mL de agua de la llave + 10mL de AR Contenedores verde, azul, negra, ambar, transparente, testigo.
Se irradian de las 10 a las 18 hr

**Prueba 3. 700 ml de agua de la llave + 15 mL de AR, 17 de Febrero del 2014.**

Prueba confirmativa en bilis verde brillante
17 de febrero

Contenedores con 700 mL de agua de la llave + 15mL de AR

Contenedores verde, azul, negra, ámbar, transparente, testigo.

Se irradian de las 10 a las 18 hr

### RESULTADOS

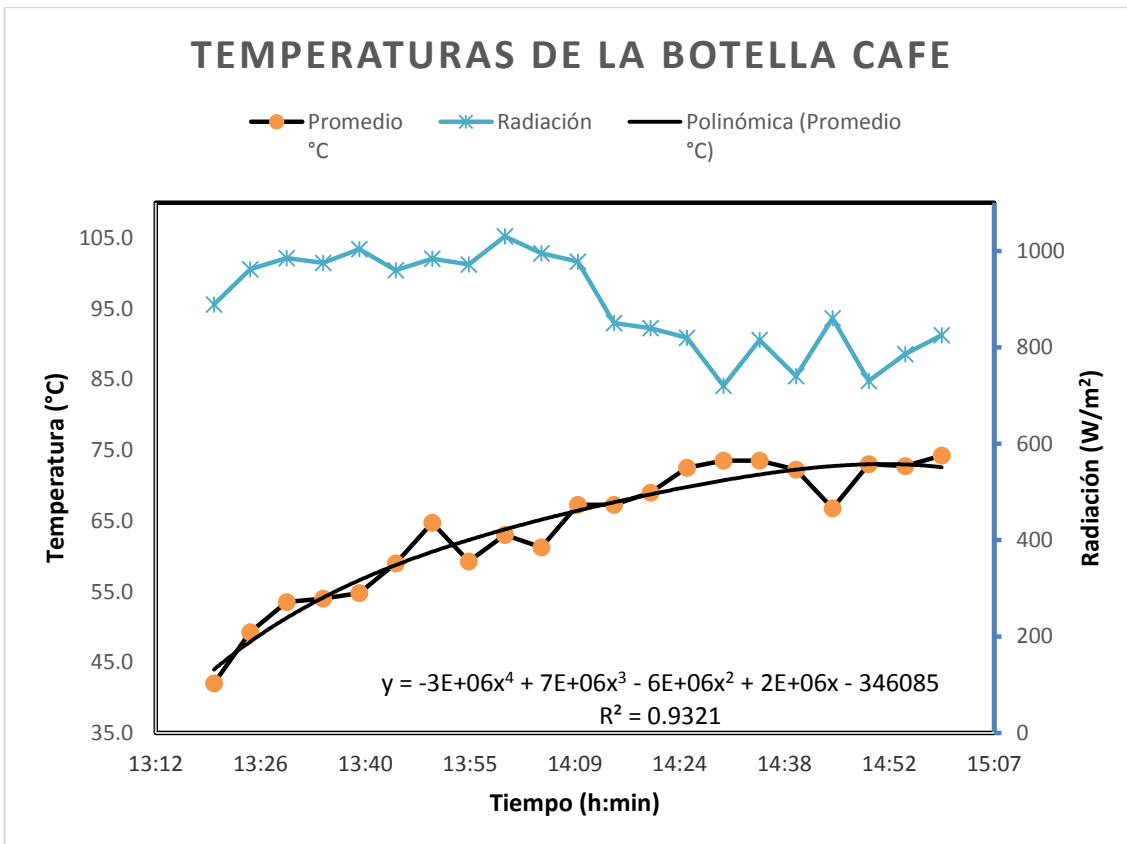
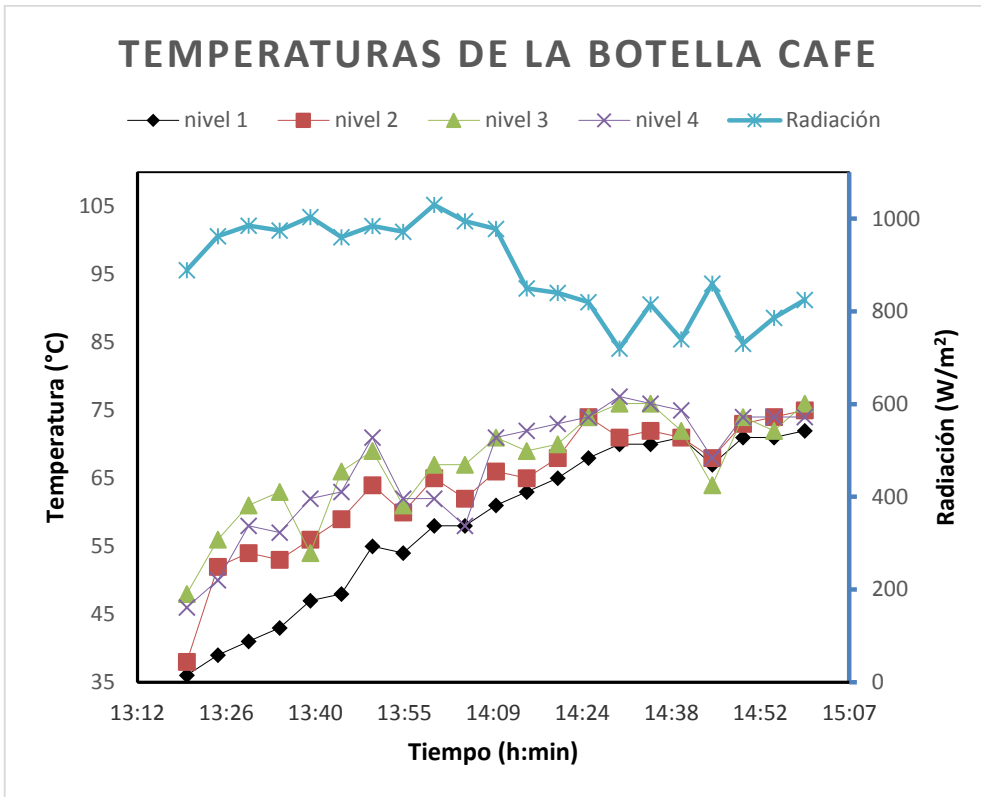
Contenedor	NMP 100 mL de mtra	
	CT	CF
Testigo	2400	460
verde	0	0
ambar	0	0
negra	0	0
transparente	0	0

### Termografías.

Debido a que los resultados no demuestran que el color de las botellas influye en los resultados de una manera clara se recurre a la realización de tomografías buscando un resultado más concreto.

### Botella ámbar.

Niveles de la botella							10/06/2014				Absortancia	
Radiación	Hora	nivel 1	nivel 2	nivel 3	nivel 4	Promedio °C	T superficie K	T ambiente °C	T ambiente K	$\sigma$	$\alpha$	
889	13:20	36	38	48	46	42.0	315.0	19.40	292.40	5.669E-08	0.742	
962	13:25	39	52	56	50	49.3	322.3	19.30	292.30	5.669E-08	0.584	
985	13:30	41	54	61	58	53.5	326.5	19.10	292.10	5.669E-08	0.511	
975	13:35	43	53	63	57	54.0	327.0	18.90	291.90	5.669E-08	0.494	
1004	13:40	47	56	54	62	54.8	327.8	18.90	291.90	5.669E-08	0.497	
960	13:45	48	59	66	63	59.0	332.0	18.90	291.90	5.669E-08	0.416	
984	13:50	55	64	69	71	64.8	337.8	18.90	291.90	5.669E-08	0.362	
972	13:55	54	60	61	62	59.3	332.3	18.90	291.90	5.669E-08	0.418	
1030	14:00	58	65	67	62	63.0	336.0	18.90	291.90	5.669E-08	0.397	
995	14:05	58	62	67	58	61.3	334.3	18.90	291.90	5.669E-08	0.403	
978	14:10	61	66	71	71	67.3	340.3	18.90	291.90	5.669E-08	0.337	
850	14:15	63	65	69	72	67.3	340.3	18.90	291.90	5.669E-08	0.293	
840	14:20	65	68	70	73	69.0	342.0	18.80	291.80	5.669E-08	0.277	
820	14:25	68	74	74	74	72.5	345.5	18.75	291.75	5.669E-08	0.248	
720	14:30	70	71	76	77	73.5	346.5	18.70	291.70	5.669E-08	0.212	
815	14:35	70	72	76	76	73.5	346.5	18.65	291.65	5.669E-08	0.240	
740	14:40	71	71	72	75	72.3	345.3	18.60	291.60	5.669E-08	0.224	
860	14:45	67	68	64	68	66.8	339.8	18.60	291.60	5.669E-08	0.299	
730	14:50	71	73	74	74	73.0	346.0	18.60	291.60	5.669E-08	0.218	
786	14:55	71	74	72	74	72.8	345.8	18.60	291.60	5.669E-08	0.236	
825	15:00	72	75	76	74	74.3	347.3	18.60	291.60	5.669E-08	0.239	

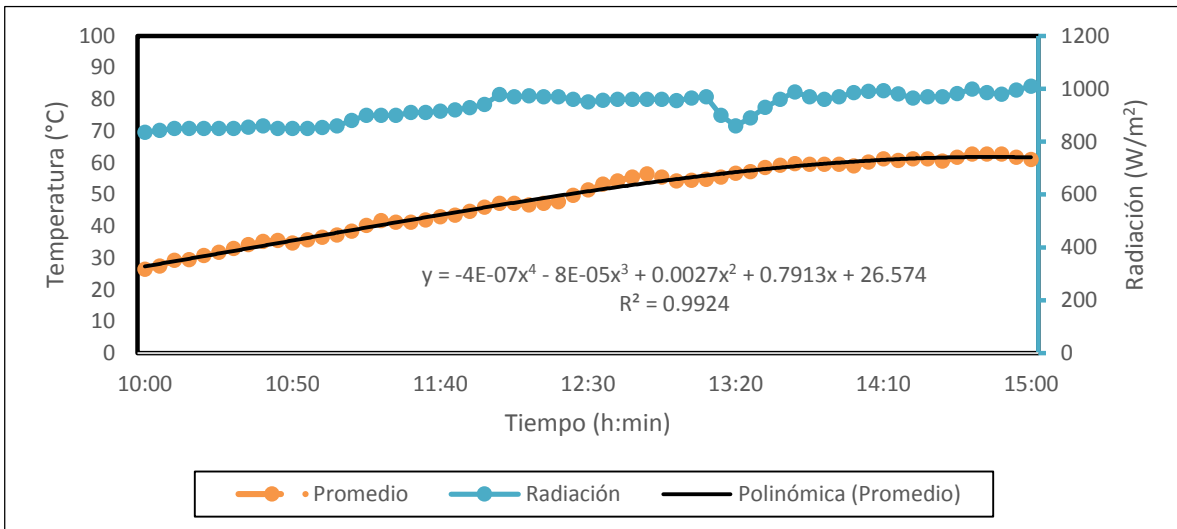
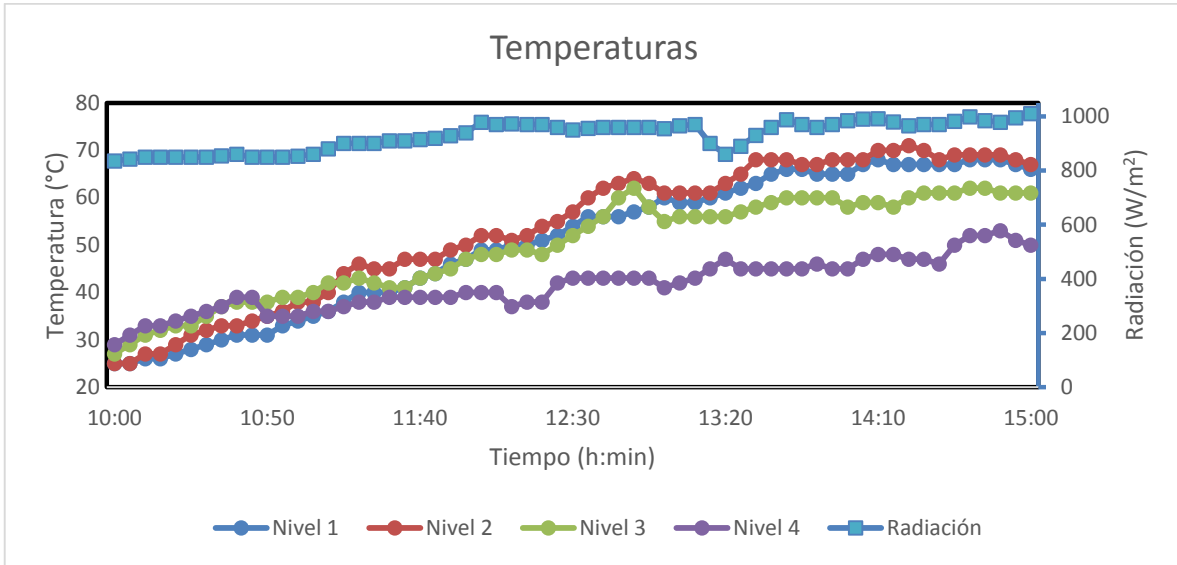




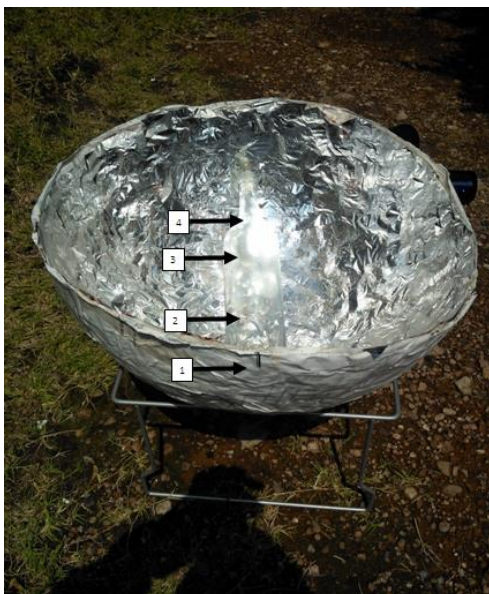
Botella Transparente.

Hora	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Radiación	Promedio	T superficie K	T ambiente
10:00	25	25	27	29	835	26.5	299.65	
10:05	25	25	29	31	843	27.5	300.65	
10:10	26	27	31	33	850	29.25	302.4	
10:15	26	27	32	33	850	29.5	302.65	
10:20	27	29	33	34	850	30.75	303.9	
10:25	28	31	33	35	850	31.75	304.9	
10:30	29	32	35	36	850	33	306.15	
10:35	30	33	37	37	855	34.25	307.4	
10:40	31	33	38	39	860	35.25	308.4	
10:45	31	34	38	39	850	35.5	308.65	
10:50	31	35	38	35	850	34.75	307.9	
10:55	33	36	39	35	850	35.75	308.9	
11:00	34	38	39	35	853	36.5	309.65	
11:05	35	38	40	36	860	37.25	310.4	
11:10	36	40	42	36	880	38.5	311.65	
11:15	38	44	42	37	900	40.25	313.4	
11:20	40	46	43	38	900	41.75	314.9	
11:25	40	45	42	38	900	41.25	314.4	
11:30	40	45	41	39	910	41.25	314.4	
11:35	41	47	41	39	910	42	315.15	
11:40	43	47	43	39	915	43	316.15	

11:45	44	47	44	39	920	43.5	316.65
11:50	46	49	45	39	929	44.75	317.9
11:55	47	50	47	40	940	46	319.15
12:00	49	52	48	40	978	47.25	320.4
12:05	49	52	48	40	970	47.25	320.4
12:10	50	51	49	37	973	46.75	319.9
12:15	50	52	49	38	970	47.25	320.4
12:20	51	54	48	38	970	47.75	320.9
12:25	52	55	50	42	960	49.75	322.9
12:30	54	57	52	43	950	51.5	324.65
12:35	56	60	54	43	956	53.25	326.4
12:40	56	62	56	43	960	54.25	327.4
12:45	56	63	60	43	960	55.5	328.65
12:50	57	64	62	43	960	56.5	329.65
12:55	58	63	58	43	960	55.5	328.65
13:00	60	61	55	41	955	54.25	327.4
13:05	59	61	56	42	965	54.5	327.65
13:10	59	61	56	43	970	54.75	327.9
13:15	60	61	56	45	900	55.5	328.65
13:20	61	63	56	47	860	56.75	329.9
13:25	62	65	57	45	890	57.25	330.4
13:30	63	68	58	45	930	58.5	331.65
13:35	65	68	59	45	960	59.25	332.4
13:40	66	68	60	45	988	59.75	332.9
13:45	66	67	60	45	970	59.5	332.65
13:50	65	67	60	46	960	59.5	332.65
13:55	65	68	60	45	970	59.5	332.65
14:00	65	68	58	45	985	59	332.15
14:05	67	68	59	47	990	60.25	333.4
14:10	68	70	59	48	992	61.25	334.4
14:15	67	70	58	48	980	60.75	333.9
14:20	67	71	60	47	965	61.25	334.4
14:25	67	70	61	47	970	61.25	334.4
14:30	67	68	61	46	970	60.5	333.65
14:35	67	69	61	50	982	61.75	334.9
14:40	68	69	62	52	999	62.75	335.9
14:45	68	69	62	52	985	62.75	335.9
14:50	68	69	61	53	979	62.75	335.9
14:55	67	68	61	51	995	61.75	334.9
15:00	66	67	61	50	1010	61	334.15





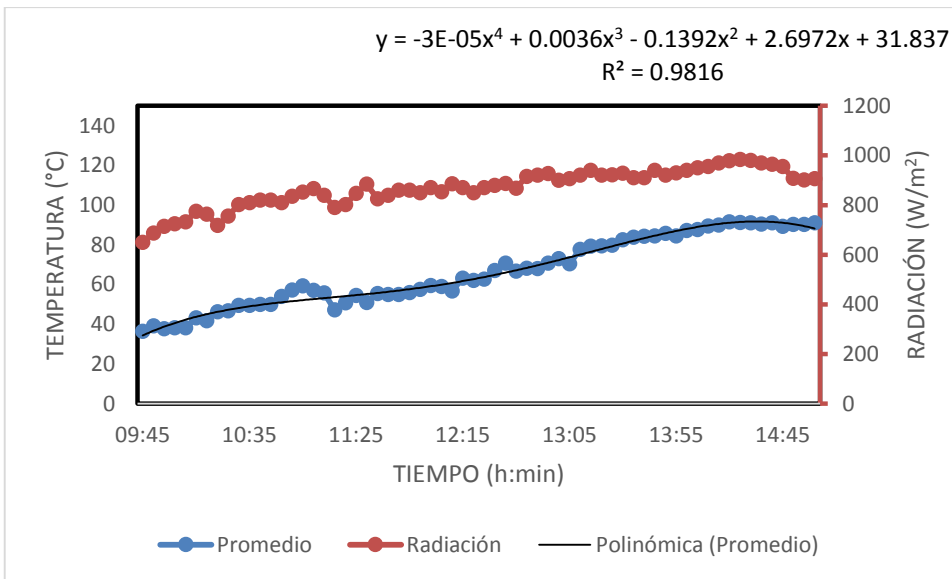
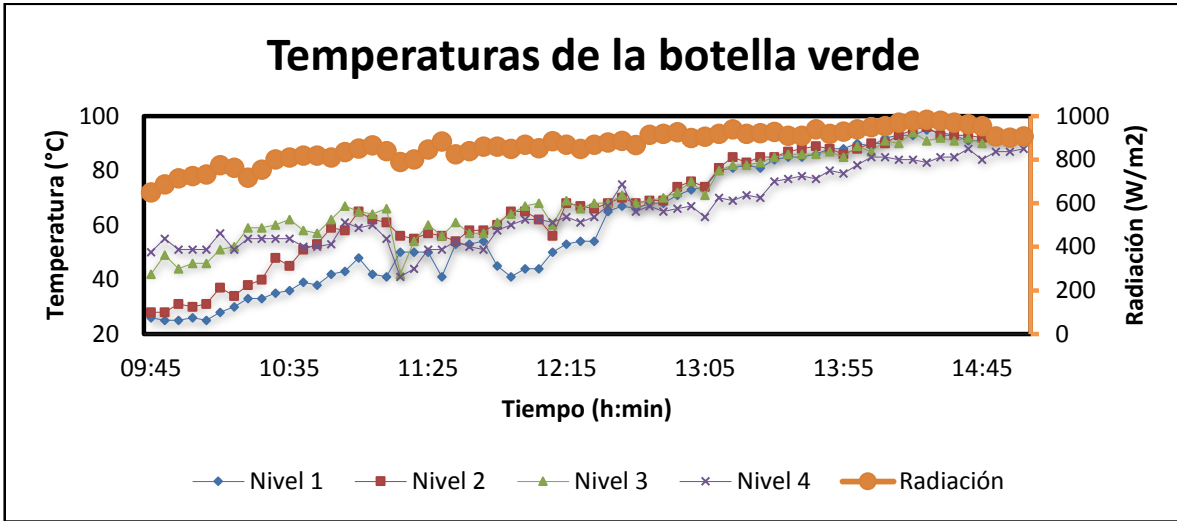


### Botella verde.

		Niveles de la botella						
Radiación	Hora	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Promedio	T superficie K	T ambiente °C
650	09:45	26	28	42	50	36.5	309.65	
687	09:50	25	28	49	55	39.25	312.4	
715	09:55	25	31	44	51	37.75	310.9	
725	10:00	26	30	46	51	38.25	311.4	
732	10:05	25	31	46	51	38.25	311.4	
775	10:10	28	37	51	57	43.25	316.4	
763	10:15	30	34	52	51	41.75	314.9	
718	10:20	33	38	59	55	46.25	319.4	
755	10:25	33	40	59	55	46.75	319.9	
802	10:30	35	48	60	55	49.5	322.65	
810	10:35	36	45	62	55	49.5	322.65	
820	10:40	39	51	58	52	50	323.15	
820	10:45	38	53	57	52	50	323.15	
810	10:50	42	59	62	53	54	327.15	
835	10:55	43	58	67	61	57.25	330.4	
852	11:00	48	65	65	59	59.25	332.4	
867	11:05	42	62	64	60	57	330.15	
840	11:10	41	61	66	55	55.75	328.9	
790	11:15	50	56	42	41	47.25	320.4	
802	11:20	50	55	54	44	50.75	323.9	

847	11:25	50	57	60	51	54.5	327.65
884	11:30	41	56	56	51	51	324.15
825	11:35	53	54	61	54	55.5	328.65
840	11:40	53	58	57	52	55	328.15
860	11:45	54	58	57	51	55	328.15
860	11:50	45	60	61	58	56	329.15
850	11:55	41	65	64	60	57.5	330.65
870	12:00	44	65	67	62	59.5	332.65
853	12:05	44	62	68	62	59	332.15
886	12:10	50	56	60	61	56.75	329.9
870	12:15	53	68	69	63	63.25	336.4
850	12:20	54	67	66	61	62	335.15
870	12:25	54	66	68	63	62.75	335.9
880	12:30	65	68	68	67	67	340.15
887	12:35	67	70	71	75	70.75	343.9
868	12:40	66	68	68	65	66.75	339.9
915	12:45	68	69	69	67	68.25	341.4
920	12:50	68	69	70	65	68	341.15
927	12:55	71	74	72	66	70.75	343.9
900	13:00	73	76	76	67	73	346.15
906	13:05	74	74	71	63	70.5	343.65
920	13:10	80	81	80	70	77.75	350.9
940	13:15	81	85	82	69	79.25	352.4
920	13:20	82	83	82	71	79.5	352.65
922	13:25	81	85	83	70	79.75	352.9
928	13:30	84	85	85	76	82.5	355.65
910	13:35	85	87	86	77	83.75	356.9
910	13:40	85	88	86	78	84.25	357.4
940	13:45	86	89	86	77	84.5	357.65
920	13:50	88	88	87	80	85.75	358.9
930	13:55	88	86	85	79	84.5	357.65
940	14:00	90	88	89	82	87.25	360.4
950	14:05	89	90	87	85	87.75	360.9
955	14:10	92	90	91	85	89.5	362.65
970	14:15	93	93	90	84	90	363.15
979	14:20	93	95	94	84	91.5	364.65
984	14:25	95	96	91	83	91.25	364.4
980	14:30	94	93	92	85	91	364.15
970	14:35	93	93	91	85	90.5	363.65
964	14:40	91	93	92	88	91	364.15
955	14:45	91	92	90	84	89.25	362.4
908	14:50	91	92	91	87	90.25	363.4

901	14:55	91	92	91	87	90.25	363.4
907	15:00	92	93	91	88	91	364.15

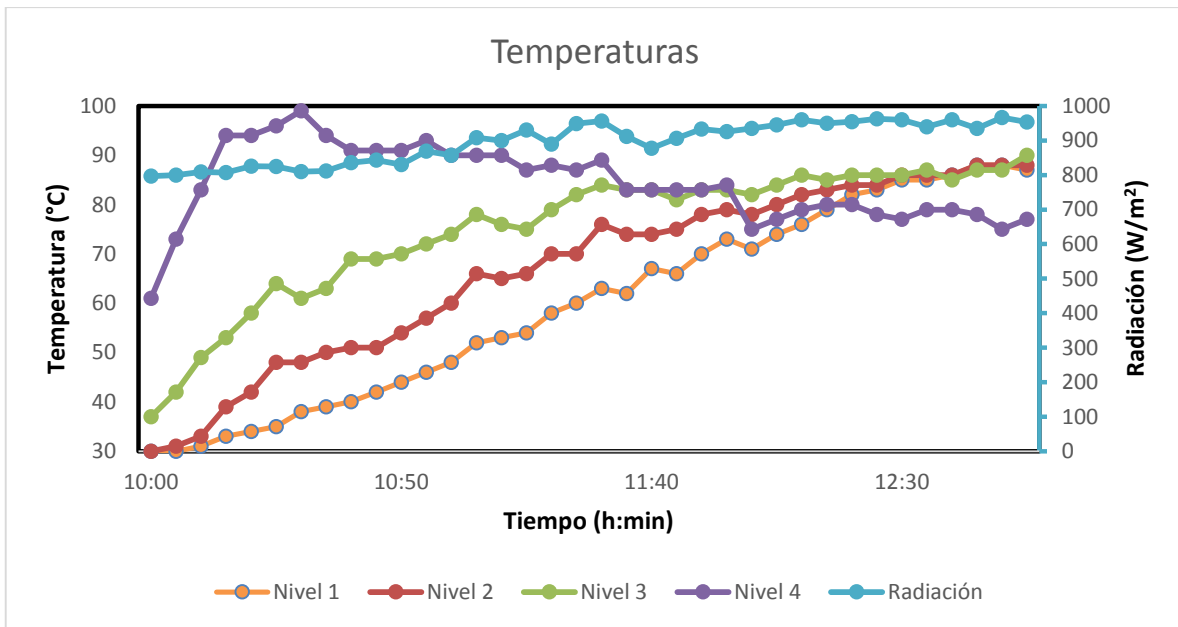


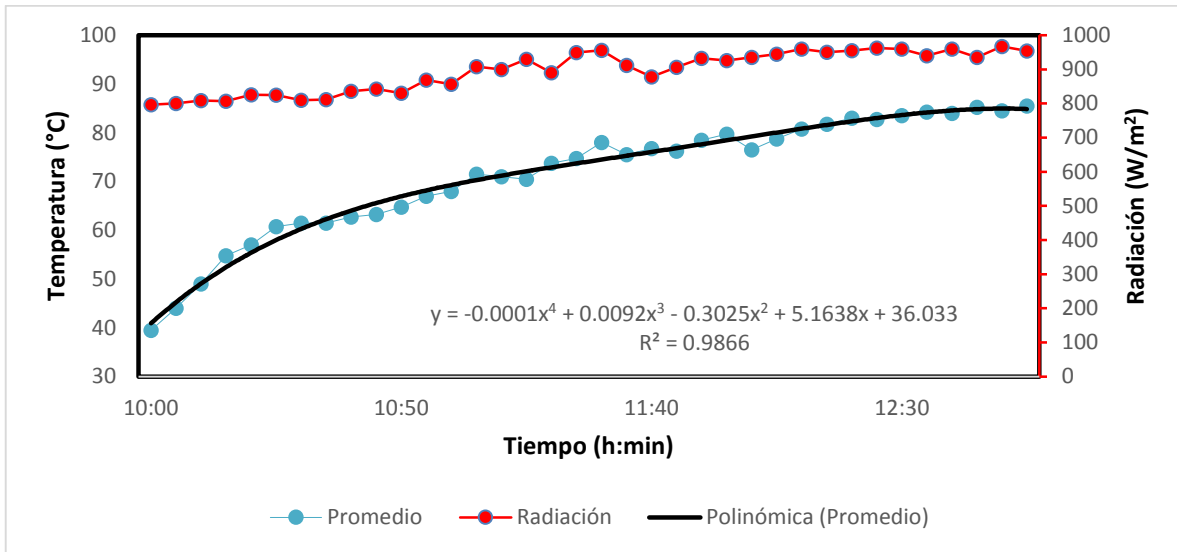


### Botella pintado de negro.

Radiación	Hora	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Promedio	T superficie K	T ambien °C
797	10:00	30	30	37	61	39.5	312.65	2
800	10:05	30	31	42	73	44	317.15	2
809	10:10	31	33	49	83	49	322.15	2
807	10:15	33	39	53	94	54.75	327.9	2
826	10:20	34	42	58	94	57	330.15	2
825	10:25	35	48	64	96	60.75	333.9	2
810	10:30	38	48	61	99	61.5	334.65	
812	10:35	39	50	63	94	61.5	334.65	
836	10:40	40	51	69	91	62.75	335.9	
843	10:45	42	51	69	91	63.25	336.4	2
830	10:50	44	54	70	91	64.75	337.9	2
869	10:55	46	57	72	93	67	340.15	2
857	11:00	48	60	74	90	68	341.15	2
908	11:05	52	66	78	90	71.5	344.65	2
900	11:10	53	65	76	90	71	344.15	2
930	11:15	54	66	75	87	70.5	343.65	2
890	11:20	58	70	79	88	73.75	346.9	2
949	11:25	60	70	82	87	74.75	347.9	2
956	11:30	63	76	84	89	78	351.15	2
912	11:35	62	74	83	83	75.5	348.65	2
878	11:40	67	74	83	83	76.75	349.9	2
906	11:45	66	75	81	83	76.25	349.4	2

933	11:50	70	78	83	83	78.5	351.65	2
926	11:55	73	79	83	84	79.75	352.9	2
935	12:00	71	78	82	75	76.5	349.65	2
945	12:05	74	80	84	77	78.75	351.9	2
960	12:10	76	82	86	79	80.75	353.9	2
950	12:15	79	83	85	80	81.75	354.9	2
955	12:20	82	84	86	80	83	356.15	2
963	12:25	83	84	86	78	82.75	355.9	2
960	12:30	85	86	86	77	83.5	356.65	2
940	12:35	85	86	87	79	84.25	357.4	2
960	12:40	86	86	85	79	84	357.15	2
935	12:45	88	88	87	78	85.25	358.4	2
967	12:50	88	88	87	75	84.5	357.65	2
954	12:55	87	88	90	77	85.5	358.65	2

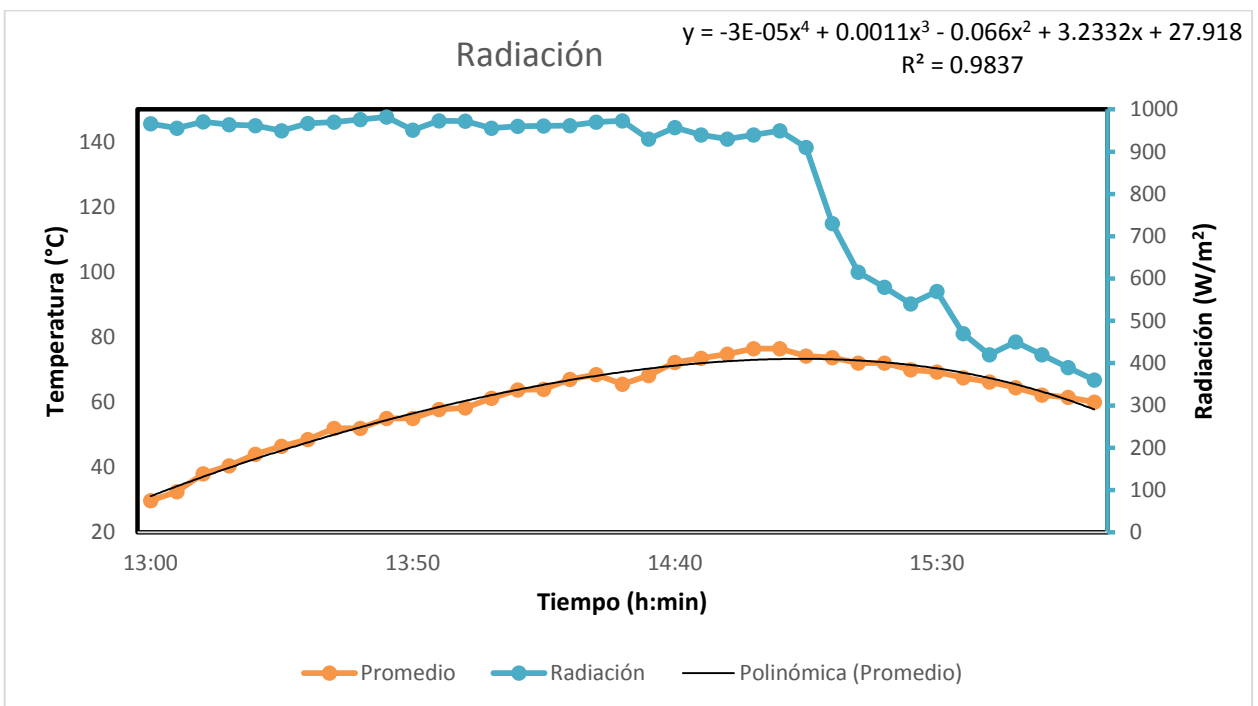
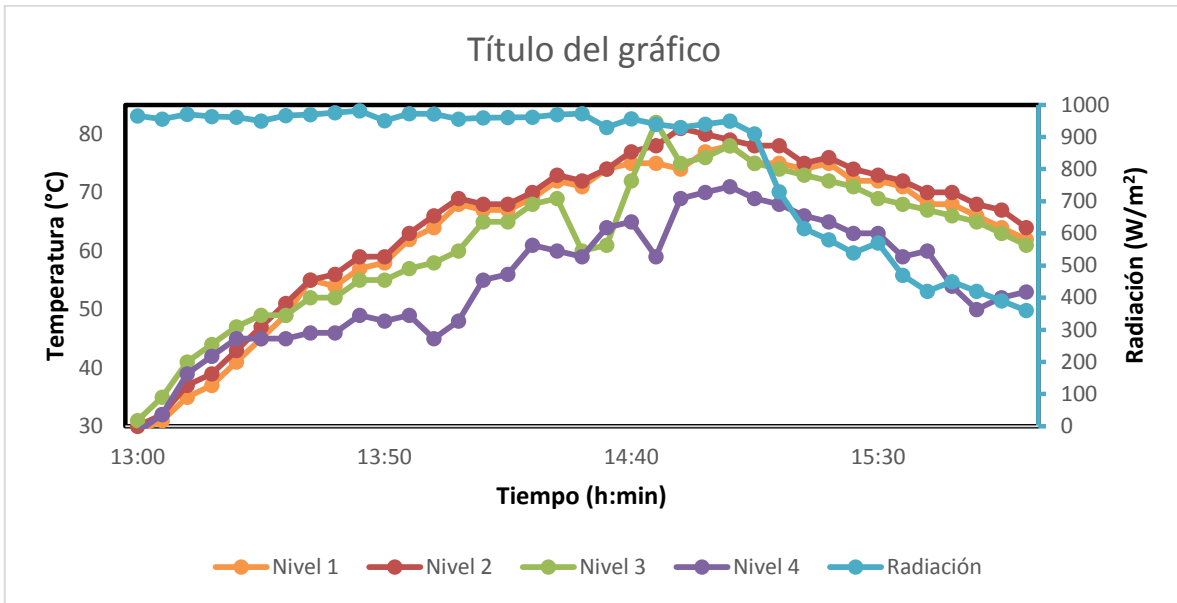




**Botella azul.**

Hora	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Radiación	Promedio	T superficie K	T ambiente °C
13:00	29	30	31	29	966	29.75	302.9	2
13:05	31	32	35	32	956	32.5	305.65	2
13:10	35	37	41	39	971	38	311.15	2
13:15	37	39	44	42	964	40.5	313.65	2
13:20	41	43	47	45	962	44	317.15	2
13:25	45	47	49	45	950	46.5	319.65	2

13:30	49	51	49	45	967	48.5	321.65	2
13:35	55	55	52	46	970	52	325.15	2
13:40	54	56	52	46	976	52	325.15	2
13:45	57	59	55	49	982	55	328.15	2
13:50	58	59	55	48	951	55	328.15	2
13:55	62	63	57	49	973	57.75	330.9	2
14:00	64	66	58	45	972	58.25	331.4	2
14:05	68	69	60	48	956	61.25	334.4	2
14:10	67	68	65	55	960	63.75	336.9	2
14:15	67	68	65	56	961	64	337.15	2
14:20	69	70	68	61	962	67	340.15	2
14:25	72	73	69	60	970	68.5	341.65	2
14:30	71	72	60	59	973	65.5	338.65	2
14:35	74	74	61	64	930	68.25	341.4	2
14:40	75	77	72	65	957	72.25	345.4	2
14:45	75	78	82	59	940	73.5	346.65	2
14:50	74	81	75	69	930	74.75	347.9	2
14:55	77	80	76	70	940	76.5	349.65	2
15:00	78	79	78	71	950	76.5	349.65	2
15:05	75	78	75	69	910	74.25	347.4	2
15:10	75	78	74	68	730	73.75	346.9	2
15:15	74	75	73	66	615	72	345.15	2
15:20	75	76	72	65	580	72	345.15	2
15:25	72	74	71	63	540	70	343.15	2
15:30	72	73	69	63	570	69.25	342.4	2
15:35	71	72	68	59	470	67.5	340.65	2
15:40	68	70	67	60	420	66.25	339.4	2
15:45	68	70	66	54	450	64.5	337.65	2
15:50	66	68	65	50	420	62.25	335.4	2
15:55	64	67	63	52	390	61.5	334.65	2
16:00	62	64	61	53	360	60	333.15	2

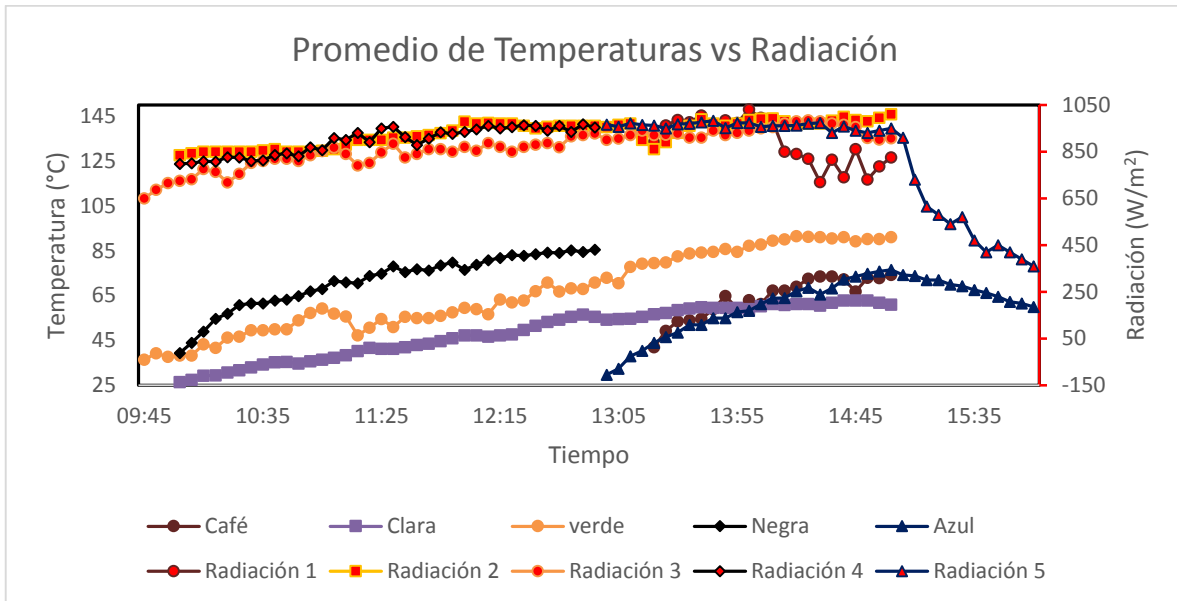






**Comparación de temperatura contra radiación en los contenedores.**

Hora	Café		Clara		Verde		Negra		Azul	
	Radiación 1	Café	Radiación 2	Clara	Radiación 3	verde	Radiación 4	Negra	Radiación 5	Azul
09:45					650	36.5				
09:50					687	39.25				
09:55					715	37.75				
10:00			835	26.5	725	38.25	797	39.5		
10:05			843	27.5	732	38.25	800	44		
10:10			850	29.25	775	43.25	809	49		
10:15			850	29.5	763	41.75	807	54.75		
10:20			850	30.75	718	46.25	826	57		
10:25			850	31.75	755	46.75	825	60.75		
10:30			850	33	802	49.5	810	61.5		
10:35			855	34.25	810	49.5	812	61.5		
10:40			860	35.25	820	50	836	62.75		
10:45			850	35.5	820	50	843	63.25		
10:50			850	34.75	810	54	830	64.75		
10:55			850	35.75	835	57.25	869	67		
11:00			853	36.5	852	59.25	857	68		
11:05			860	37.25	867	57	908	71.5		
11:10			880	38.5	840	55.75	900	71		
11:15			900	40.25	790	47.25	930	70.5		
11:20			900	41.75	802	50.75	890	73.75		
11:25			900	41.25	847	54.5	949	74.75		
11:30			910	41.25	884	51	956	78		
11:35			910	42	825	55.5	912	75.5		
11:40			915	43	840	55	878	76.75		
11:45			920	43.5	860	55	906	76.25		
11:50			929	44.75	860	56	933	78.5		
11:55			940	46	850	57.5	926	79.75		
12:00			978	47.25	870	59.5	935	76.5		
12:05			970	47.25	853	59	945	78.75		
12:10			973	46.75	886	56.75	960	80.75		
12:15			970	47.25	870	63.25	950	81.75		
12:20			970	47.75	850	62	955	83		
12:25			960	49.75	870	62.75	963	82.75		
12:30			950	51.5	880	67	960	83.5		
12:35			956	53.25	887	70.75	940	84.25		
12:40			960	54.25	868	66.75	960	84		
12:45			960	55.5	915	68.25	935	85.25		
12:50			960	56.5	920	68	967	84.5		
12:55			960	55.5	927	70.75	954	85.5		
13:00			955	54.25	900	73			966	29.75
13:05			965	54.5	906	70.5			956	32.5
13:10			970	54.75	920	77.75			971	38
13:15			900	55.5	940	79.25			964	40.5
13:20	889	42	860	56.75	920	79.5			962	44
13:25	962	49.25	890	57.25	922	79.75			950	46.5
13:30	985	53.5	930	58.5	928	82.5			967	48.5
13:35	975	54	960	59.25	910	83.75			970	52
13:40	1004	54.75	988	59.75	910	84.25			976	52
13:45	960	59	970	59.5	940	84.5			982	55
13:50	984	64.75	960	59.5	920	85.75			951	55
13:55	972	59.25	970	59.5	930	84.5			973	57.75
14:00	1030	63	985	59	940	87.25			972	58.25
14:05	995	61.25	990	60.25	950	87.75			956	61.25
14:10	978	67.25	992	61.25	955	89.5			960	63.75
14:15	850	67.25	980	60.75	970	90			961	64
14:20	840	69	965	61.25	979	91.5			962	67
14:25	820	72.5	970	61.25	984	91.25			970	68.5
14:30	720	73.5	970	60.5	980	91			973	65.5
14:35	815	73.5	982	61.75	970	90.5			930	68.25
14:40	740	72.25	999	62.75	964	91			957	72.25
14:45	860	66.75	985	62.75	955	89.25			940	73.5
14:50	730	73	979	62.75	908	90.25			930	74.75
14:55	786	72.75	995	61.75	901	90.25			940	75.75
15:00	825	74.25	1010	61	907	91			950	76.5
15:05									910	74.25
15:10									730	73.75
15:15									615	72
15:20									580	72
15:25									540	70
15:30									570	69.25
15:35									470	67.5
15:40									420	66.25
15:45									450	64.5
15:50									420	62.25
15:55									390	61.5
16:00									360	60



### Interpretación de gráficos.

#### Botella ámbar.

Las temperaturas se ajustan a una polinomial, al inicio de la corrida las temperaturas de la parte media de la botella aumentan muy rápido, en cambio el aumento de la temperatura en la parte inferior (base) de la botella fue más lenta. Al paso de tiempo todos los niveles del cuerpo de la botella se comportan de manera similar.

#### Botella transparente.

Las temperaturas en todos los niveles de la botella empiezan muy similares con forme transcurre el tiempo de exposición, el cuello de la botella registra las temperaturas más bajas debido a que llega una masa menor de aire y en el caso contrario en la parte inferior de la botella se alcanzan las temperaturas más altas debido a que la masa de agua es mayor, con una diferencia entre un nivel y otro de 20°C.

Botella verde.

Al inicio de esta corrida las temperaturas de la parte superior de la botella alcanzan temperaturas muy altas entre 40 y 50 °C y en la parte media y baja se alcanzan temperaturas de 20 y 30°C debido a la mayor densidad por la masa de agua en un periodo de una hora aproximadamente, el equilibrio para todo el cuerpo de la botella se alcanza a las tres horas de exposición, y solo en la parte de cuello de la botella la temperatura con forme transcurre el periodo de exposición presenta las temperaturas más bajas.

Botella pintado de negro.

En la parte baja de la botella nuevamente como en las botellas anteriores se observa que en la botella no suben las temperaturas rápidamente al inicio de la corrida, este comportamiento solo se observa de la parte media y superior en donde las temperaturas, en tiempo de una hora alcanzaron entre 60 y 80 °C. El equilibrio se alcanzó en todo el cuerpo de la botella en dos horas y media aproximadamente alcanzando una temperatura de 80°C, excepto en el cuello de la botella en donde bajo la temperatura. Aquí se observó también que el aumento de la temperatura de la botella es muy parecida al comportamiento de la radiación solar.

Botella Azul.

El comportamiento de todos los niveles de la botella fue similar nuevamente, solo en la parte superior del cuello de la botella se comportó de manera diferente, siempre con temperaturas más bajas. Queremos resaltar que en esta corrida específicamente, dependimos mucho del recurso solar, es por eso que la corrida se tuvo que desplazar dos horas a diferencia de las otras botellas en donde las corridas comenzaron más temprano.

Como es la única corrida en donde se recorrió el horario y ya pasaba del horario en donde se presenta la mayor cantidad de radiación solar (aproximadamente a las 3

pm), las temperaturas comenzaron a declinar a razón de  $10^{\circ}\text{C}$  por hora, suponemos que este comportamiento sería igual para las demás botellas.

### **Gráficas de temperaturas contra radiación solar:**

En la botella café y negra el comportamiento de la temperatura se ajusta a una polinomial y la radiación solar es muy similar al comportamiento de la temperatura. En las botellas azul, verde y clara el aumento de la temperatura y la radiación son muy parecidas también pero el comportamiento es de manera gradual para ambos parámetros.

Se puede concluir que se comprueba lo medido anteriormente y no existe un comportamiento que nos ayude a definir el mejor tipo de contenedor para las pruebas finales por lo que se decide por lo que el criterio para definir el contenedor ideal se hará por la facilidad de obtenerlo en la comunidad.

## RESULTADOS.

Una vez concluida la etapa anterior y con el objeto de delimitar datos se procede a realizar las pruebas finales para comprobar la eficiencia del colector.

### Prueba 1. Coliformes en el agua de la comunidad del Pinalillo.

En esta etapa se evalúan las concentraciones de coliformes en 3 muestras de agua, procedentes de los pozos de la comunidad. Esta agua se utiliza para el consumo de los habitantes. Las muestras se tomaron el día 17 de enero del 2013.

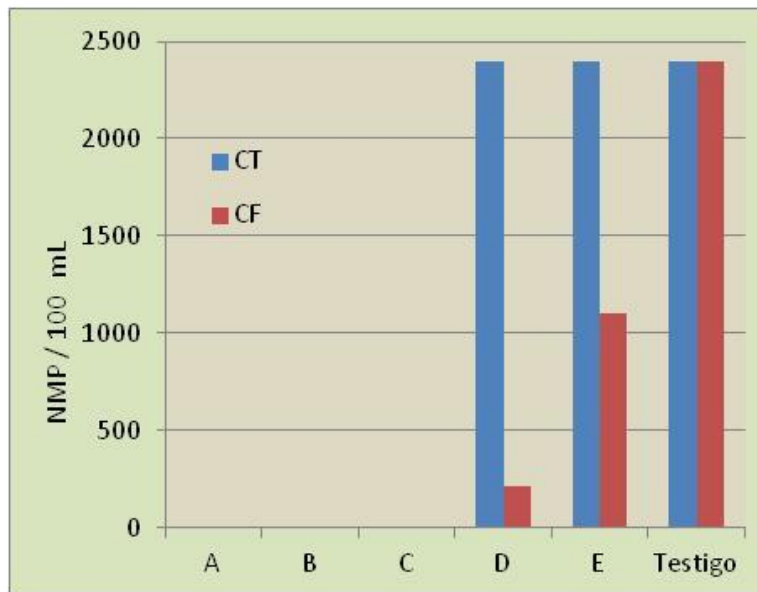
	Resultados de las muestras. Unidades NMP/100 mL	
Id pozo	Coliformes totales	Coliformes Fecales
Pablo Ruíz	0.4	<3
Sra Rosalinda	23	<3
Sra. Luz Ruiz	93	9

Debido a estos resultados se resuelve trabajar con muestras preparadas en la Universidad con agua residual haciendo diluciones en cada corrida de 5.0 ml en 700 ml de agua.

### Prueba 2. Tiempo de exposición.

03-Mar-14	
Nombre	
Variación en tiempo de exposición	
Condiciones	
5 Contenedores <b>AMBAR</b> y testigo con 700 mL de agua de la llave + <b>20 mL</b> de AR	
Se irradian de las 10 a las 18 hr , Parcialmente nublado a partir de las 14:00 hr	

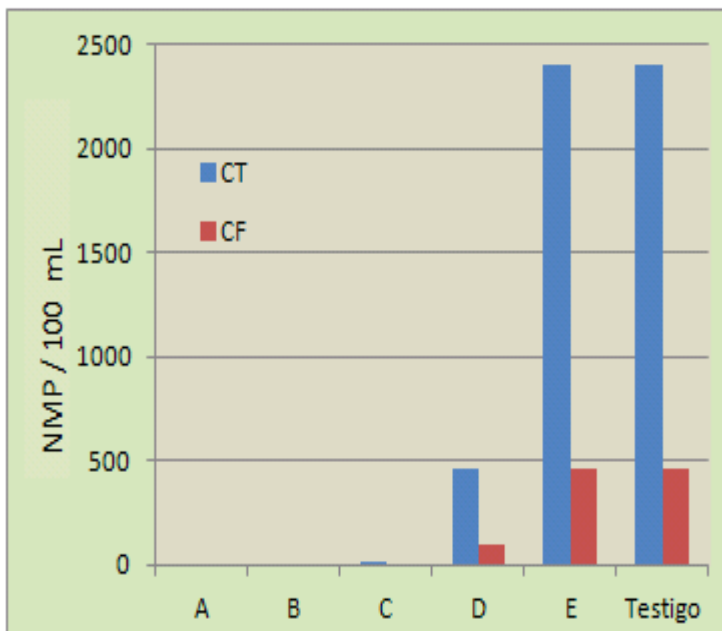
	A	B	C	D	E
Temp °C	53.1	56.1	48.0	29.3	23
Rad W/m <sup>2</sup>	555	521	449	308	172



Contenedor	NMP 100 mL de mtra	
	CT	CF
A	0	0
B	0	0
C	0	0
D	2400	210
E	2400	1100
Testigo	2400	2400

	A	B	C	D	E
10:00	x				
11:00	x				
12:00	x	x			
13:00	x	x			
14:00	x	x	x		
15:00	x	x	x		
16:00	x	x	x	x	
17:00	x	x	x	x	x
18:00	Cancelado por lluvia				

Segunda prueba tiempo de exposición.



	A	B	C	D	E
10:00	x				
11:00	x	x			
12:00	x	x	x		
13:00	x	x	x	x	
14:00	x	x	x	x	x
15:00	x	x	x	x	
16:00	x	x	x		
17:00	x	x			
18:00	x				



<b>24-Mar-14</b>
Nombre
Variación en tiempo de exposición
Condiciones
5 Contenedores <b>AMBAR</b> y testigo con 1000 mL de agua de la llave + <b>40 mL</b> de AR
Se irradian de las 10 a las 18 hr

	A	B	C	D	E
Temp °C	58.3	58.0	55.0	48.6	38
Rad W/m <sup>2</sup>	606	661	679	630	628

Contenedor	NMP 100 mL de mtra	
	CT	CF
A	0	0
B	0	0
C	9	0
D	460	93
E	2400	460
Testigo	2400	460

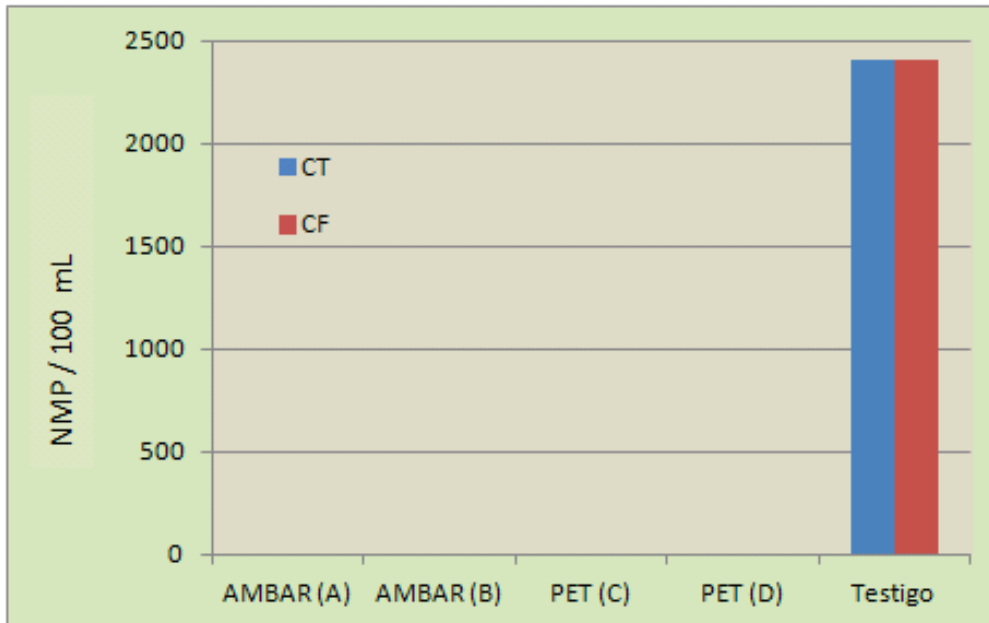
En la primera corrida en los tiempos de exposición de cada dos horas de las botellas, solo presentaron presencia de coliformes, las dos últimas D y E las cuales solo se expusieron a radiación una y dos horas, las botellas A, B y no presentan coliformes.

En la segunda prueba en donde se sesgo el tiempo de exposición la hora del día en donde hay más radiación solar, las botellas que se expusieron a 8, 6 horas (A y B) y no presentan crecimiento de coliformes, y las botellas que solo se expusieron a 4, 2 y 1 hora si presentaron crecimiento de coliformes.

### Prueba 3. Caja solar vs concentrador.

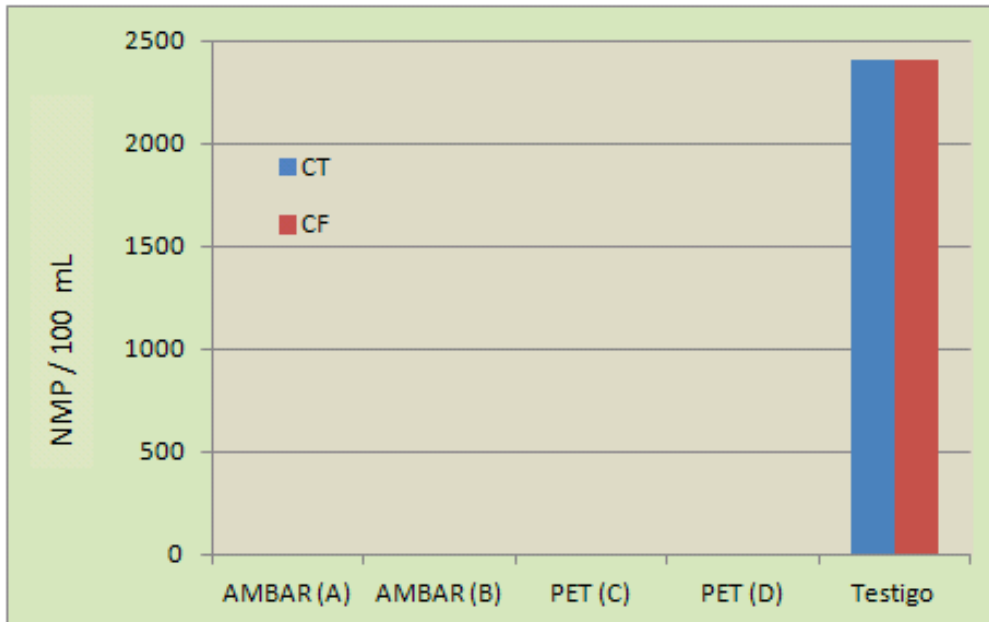
En esta corrida se prueba la eficiencia del concentrador solar, contra la caja solar del IMTA, que es una tecnología ampliamente utilizada y probada.

Prueba 1. 11 de Marzo del 2014.



<b>11-Mar-14</b>
Nombre
Comparativo VS Caja solar
Condiciones
2 Contenedores <b>AMBAR, 2 botellas de plástico</b> y testigo con 1000 mL de agua de la llave + <b>40 mL</b> de AR
Se irradian de las 9:30 a las 18 hr ,

Prueba 2. 14 de abril del 2014.



<b>11-Mar-14</b>
Nombre
Comparativo VS Caja solar
Condiciones
2 Contenedores <b>AMBAR, 2 botellas de plástico</b> y testigo con 1000 mL de agua de la llave + <b>40 mL</b> de AR
Se irradian de las 9:30 a las 18 hr ,

La prueba entre los dos concentradores arrojo los mismos resultados, ya que el tiempo y volumen fueron iguales, y ninguna de las dos presento crecimiento bacteriano.

### Prueba 3. Prueba de Inocuidad.

Esta prueba se llevo a cabo con un tiempo de exposición de 8 horas, en las botellas ámbar. Se trabaja con agua residual concentrada, sin ninguna dilución. La prueba se corre los días 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28 de julio

Esta muestra se trabajo por duplicado y para cada una de las botellas hizo la siembra cada día, durante toda la semana para poder determinar hasta que día se

mantenían inactivas las coliformes. Durante los siete días se mantuvieron las pruebas sin presencia de coliformes. Todas las muestras se resembran en caldo bilis verde brillante, para prueba confirmativa, dando el mismo resultado durante siete días sin presencia de coliformes.

## CONCLUSIONES.

La energía solar térmica es una fuente inagotable de energía y se puede utilizar para mejorar la calidad del agua para consumo humano a muy bajo costo en comunidades marginadas.

En base a los resultados obtenidos en las diferentes pruebas podemos concluir que se eliminaron coliformes totales y fecales en muestras de agua residual con concentraciones mayores a 2400 NMP/100mL, con temperaturas mayores a 40°C y un tiempo de exposición mayor a 4 horas.

El color de cada botella no fue significativo para la eliminación de coliformes.

La prueba de inocuidad demuestra que las bacterias coliformes a una temperatura mayor a 40°C y tiempo de exposición mayor a 4 horas, se pueden inactivar por más de siete días, por lo que consideramos que están fueron eliminadas por completo.

Si consideramos la matriz con la que se realizaron las diferentes pruebas y sus concentraciones de microorganismos y características físicas y químicas podemos afirmar que el concentrador es funcional, por lo que es posible que a partir de materiales considerados como desperdicios se pueda construir un dispositivo funcional y útil como una opción viable con aplicaciones de energía solar.

Además la técnica de construcción del dispositivo no requiere ningún tipo de conocimientos técnicos previos o el uso de herramientas caras o sofisticadas y puede ser reproducido prácticamente por cualquier persona.

Se probó el prototipo bajo diferentes condiciones de exposición para probar su robustez, evaluando períodos de exposición y temperaturas alcanzadas.

La capacitación para la construcción del concentrador solar para desinfección de agua para la comunidad de Pinalillo, no se ha podido llevar a cabo debido, al nulo apoyo por parte de la universidad para trasladarnos a la comunidad.

## BIBLIOGRAFÍA

Enkerlin Hoeflich, E. C., Cano Cano, G., Garza Cuevas, R. A., & Vogel Martínez, E. (1997). *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible*. Mexico: Thomson Editores.

Glynn, H., & Heinke, G. W. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México: Prentice Hall.

Hernández Guerrero, A. (2012). *Prototipo de colector concentrador solar tipo Fresnel*. Querétaro, Mx.

Madrid Vicente, A. (2009). *Curso de Energía Solar*. Madrid: Mundi Prensa.

Madrid Vicente, A. (2009). *Energía solar térmica y de concentración . Manual practico de diseño, instalación y mantenimiento*. Madrid: AMV ediciones.

Twidell, J., & Weir, T. (2006). *Renewable Energy Resources*. New York: Taylor & Francis.

MADIGAN, M.; MARTINKU, J. Y PARKER, J. (1997). "Biología de los microorganismos". Prentice Hall. Madrid. Octava edición. 986 págs

(1) [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/diarrhoea/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diarrhoea/en/)

recuperado Abril 2014

(2) [http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general\\_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=11144](http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=11144) recuperado Abril 2014

(3) <http://bvs.insp.mx/rsp/articulos/articulo.php?id=000276> recuperado Abril 2014

Solar Water Disinfection” publicada por EAWAG/SANDEC (2002), ISBN Nr: 3-906484-24-6, , Región América Latina y el Caribe, la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), UNICEF

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/presentacion1.pdf> recuperado Abril 2014

<http://purewater.com/pages/Doulton/Gravity.html> recuperado Abril 2014

NOM-127-SSA1-1994 Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización

PROY-NMX-AA-042-SCFI-2011 Análisis de agua - detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y Escherichia Coli Presuntiva – método del número más probable En tubos múltiples



