

## **DESINFECCION DE SUSTRATO CON VAPOR UTILIZANDO UN CONCENTRADOR FRESNEL LINEAL<sup>#</sup>**

**C. Placco, L. Saravia, M. Gea, M. Altamirano, C. Fernández y C. Herrando**  
Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO - CONICET)  
Universidad Nacional de Salta – Av. Bolivia 5150 C.P. 4400 – Salta  
Tel - Fax 0387-4255489 e-mail: [cplacco@gmail.com](mailto:cplacco@gmail.com)

**RESUMEN:** En este trabajo se describe la utilización del vapor de agua producido por un concentrador solar Fresnel lineal para la desinfección de sustratos como alternativa al uso del bromuro de metilo, el cual se pretende eliminar en los cultivos de Salta, especialmente de las plantaciones de tabaco. Se realizó el modelo térmico del sistema utilizando el programa SIMUSOL, ajustándolo con los valores medidos; de este modo es factible simular el comportamiento del equipo bajo distintas condiciones de funcionamiento. La efectividad del proceso pudo comprobarse mediante un recuento de patógenos y la prueba de germinación de malezas en el sustrato tratado.

**Palabras clave:** desinfección con vapor, sustrato orgánico, concentrador solar Fresnel lineal

### **INTRODUCCION**

La desinfección de suelos y sustratos con vapor de agua es utilizada actualmente como alternativa al bromuro de metilo cuyo uso internacional fue restringido severamente en el Protocolo de Montreal. Este método de esterilización consiste en hacer pasar un flujo de vapor de agua a través de la tierra para destruir los organismos nocivos para el cultivo: semillas de malezas, nematodos, hongos de suelo (fusarium, sclerotinia, etc), insectos y bacterias. El principal inconveniente de esta opción es su alto costo económico y energético.

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), quien posee un convenio con la Universidad Nacional de Salta (U.N.Sa.), lleva a cabo el programa PROZONO buscando alternativas para la eliminación gradual del bromuro de metilo en el sector tabacalero argentino, investigando el uso del vapor y el calor, las hidroponías y otros productos químicos. Por otro lado, la U.N.Sa. posee también un convenio con la Cooperativa de Productores Tabacaleros de Salta (COPROTAB) mediante el cual, la facultad de Ciencias Naturales, está experimentando diferentes alternativas para la producción de plantines de tabaco, reemplazando los sustratos compuestos en base a turba por otros elaborados con materiales locales renovables, derivados de actividades agroindustriales, como ser el bagazo de caña de azúcar.

El sustrato producido debe ser desinfectado utilizando técnicas consideradas dentro de las normas de las Buenas Prácticas Agrícolas, como lo es la desinfección por vapor. Debido a que el Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO) ensaya, desde el año 2007 diferentes prototipos de concentradores solares lineales Fresnel para la generación directa de vapor de agua (Gea et al., 2007; Saravia et al., 2008; Salvo et al., 2009) cuyos resultados fueron ampliamente difundidos a nivel institucional y de la región NOA, se decidió estudiar la utilización del vapor de agua generado con este equipo solar, para la esterilización de sustratos y/o suelos.

### **METODO Y EQUIPO DE VAPORIZACION**

El vapor es el método de esterilización más antiguo y seguro, donde la relación entre temperatura, presión y tiempo de exposición es el factor crítico en la destrucción de los microbios. La elevada temperatura provoca desnaturalización de proteínas, fusión y desorganización de las membranas celulares de los patógenos y debido a que no deja residuos tóxicos, tiene la ventaja que permite la siembra pasadas las 24 hs. de la desinfección.

Cuando se vaporizan muestras pequeñas, el proceso se realiza en la autoclave de Chamberland, esterilizando el material a temperaturas entre 115 y 120°C a dos atmósferas de presión durante un tiempo de 15 a 20 minutos. Por esta razón se trató de imitar este procedimiento en un dispositivo que pudiera contener una gran cantidad de sustrato.

El método utilizado fue el de aplicación pasiva de vapor en un contenedor cerrado, es decir el vapor se mueve y penetra en el sustrato forzado por su propia presión de entrada.

El equipo consta de un concentrador solar lineal Fresnel que genera vapor de agua y de un contenedor metálico donde se introduce la bolsa que contiene el sustrato a desinfectar. El generador de vapor está conectado con el recinto de esterilización a través de una manguera de alta presión de conexión (figura 1).

El concentrador solar posee un área de reflexión de 43 m<sup>2</sup> constituida por 9 espejos lineales ligeramente curvados que concentran la radiación solar en el absorbedor que se encuentra a 6,5 metros de altura. El absorbedor está conformado por 5 tubos de color negro, por los cuales circula agua que aumenta su temperatura y se evapora. El equipo ha mostrado un correcto funcionamiento produciendo vapor a más de 180°C y una presión de 7 kg/m<sup>2</sup> (Salvo et al. 2009).

<sup>#</sup> Parcialmente financiado por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa)

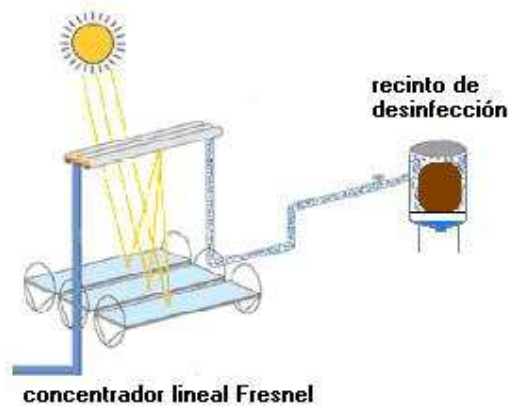


Figura 1: Esquema del equipo de desinfección solar

El vapor de agua a presión generado por el concentrador solar se insufla dentro del recinto de desinfección, constituido por un tanque de hierro de 6 mm de espesor, 0,40 m de diámetro y 0,97 m de alto, con un peso de 150 kg, capaz de soportar altas presiones. Dentro del tanque se coloca la bolsa de sustrato sobre una rejilla metálica, de modo que el agua, una vez condensada, quede en el fondo del tanque sin estar en contacto con el material esterilizado. Como se esquematiza en la figura 2, el tanque está provisto de una válvula de presión e instrumentos de medición (termocuplas y manómetro).

Para desarrollar la experiencia, el tanque fue aislado térmicamente con el exterior, para lo cual se lo cubrió totalmente con lana de vidrio de 3 cm de espesor.

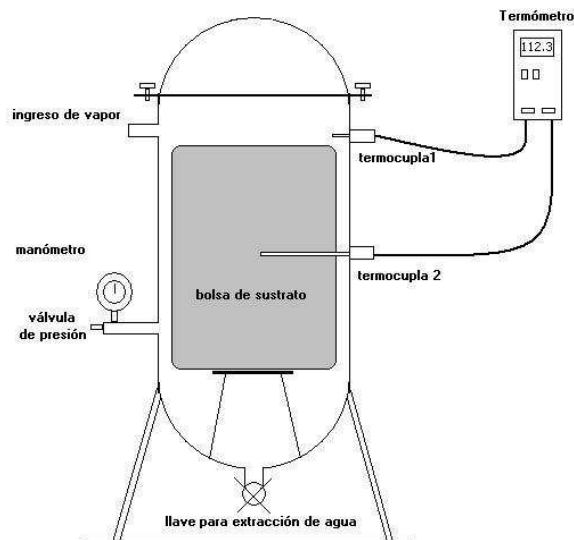


Figura 2: Esquema del recinto de desinfección



Figura 3: Foto de los instrumentos de medición del recinto, manómetro y termómetro digital

En la figura 3 se muestra una foto del recinto de desinfección, aún sin aislar, con sus instrumentos de medición y control, dos termocuplas, termómetro digital, manómetro y válvula de presión.

El sustrato a desinfectar se coloca dentro del recinto, sobre la rejilla, contenido en su envase original que es una bolsa de rafia de polipropileno, que permite el paso del vapor. De esta manera se evita realizar el vaciado del material a tratar dentro del recinto y el posterior envasado del producto esterilizado, ahorrando tiempo y mano de obra.

En la figura 4 puede observarse una foto del recinto de desinfección, conectado al generador de vapor Fresnel, antes de ser aislado térmicamente.



Figura 4: Recinto de vaporización conectado al generador de vapor

#### Desarrollo de la experiencia

La experiencia fue realizada en un día soleado del mes de junio en horas próximas al medio día solar (entre las 12 y 14 hs), con una temperatura ambiente media de 20°C.

El sustrato utilizado fue 100% bagazo de caña de azúcar, con un bajo contenido de humedad (< 20 % base peso seco). Esta característica garantiza la efectividad del proceso, ya que si el material se encuentra muy húmedo impide una adecuada difusión del vapor en su interior. La bolsa conteniendo el sustrato es de forma aproximadamente cilíndrica, con un diámetro de 0,32 m y un alto de 0,60 m.

El concentrador solar Fresnel se puso en funcionamiento con un caudal de agua de 0,036 kg/s, hasta que alcanzó un régimen estable caracterizado por una presión de trabajo de 5,5 kg/cm<sup>2</sup>. Una vez alcanzado este modo de operación, la salida de vapor del equipo fue conectada al recinto de desinfección que contenía en su interior una bolsa con 19 kg de sustrato.

Para sensar la temperatura se utilizaron dos termocuplas tipo K envainadas ubicadas como se muestran en la figura 2, de modo que la termocupla 1 medía la temperatura en el interior del tanque, y la termocupla 2, ubicada en el centro geométrico de la bolsa con sustrato, medía la temperatura en el interior del mismo. Para realizar estas medidas se utilizó un termómetro digital TES 1303, de dos canales, con una apreciación de 0,1 °C.

Antes de la inyección de vapor, la termocupla 1 sensaba 27 °C, mientras la termocupla 2, ubicada en el interior del sustrato 19°C. Estos valores se tomaron como condiciones iniciales en la posterior simulación.

Mientras se inyectaba el vapor, una vez que la temperatura en el interior del sustrato llegó a los 110 °C, se continuó con la experiencia durante 50 minutos, alcanzando una temperatura máxima en la termocupla 2 de 114,2 °C.

#### SIMULACION

El comportamiento térmico del equipo se simuló utilizando el programa SIMUSOL (Alia et al., 2004). Esta simulación se compone de dos etapas. En la primera se dibuja el circuito equivalente del equipo de vaporización en un diagrama y en cuadros de datos se definen los valores de los elementos del circuito, las condiciones iniciales, las condiciones de borde, la rutina de integración y los parámetros a estudiar. El significado de los elementos utilizados por el programa puede observarse en la figura 5.

En una segunda etapa, el programa interpreta los datos del circuito y calcula la evolución de las variables térmicas en el tiempo (temperaturas o flujos de calor). Los resultados son presentados en archivos con tablas y en gráficos.

Las hipótesis consideradas para la realización del modelo fueron las siguientes:

1. Las propiedades térmicas de los materiales involucrados (conductividad térmica, densidad y calor específico) son constantes a excepción de la capacidad calorífica del agua a presión constante (Cp) que fue ingresada por tabla.
2. La temperatura ambiente se mantuvo constante.

3. Los coeficientes convectivos no varían con la temperatura.
4. Las presiones en los circuitos se mantienen constantes.
5. El tanque, el vapor dentro del recinto y el sustrato se encuentran en condiciones isotérmicas y cada uno se representa en el modelo con un nodo de temperatura.

Se tomó como base el modelo del concentrador solar Fresnel en funcionamiento con cambio de fase (Altamirano et al., inédito) al cuál se le realizaron algunas modificaciones para incorporarle el modelo del recinto de desinfección.

#### *Circuito del concentrador solar Fresnel*

El absorbedor del concentrador de 6 m de largo se encuentra dividido en tres etapas, cada una representada por un modelo (1, 2, 3). A cada porción de 2 m de longitud del absorbedor le llega la radiación reflejada por los espejos.

La radiación solar directa que llega a cada uno de los espejos y luego es reflejada hacia cada etapa del absorbedor es calculada, para el día de la experiencia, mediante el método de Hottel, utilizando un programa realizado en lenguaje Fortran (Gea et al., inédito). Estos valores ingresan al modelo a través de los flujos de calor Jr4, Jr5 y Jr6.

El agua que utiliza el equipo proviene de un gran tanque de reserva (acumulador Cres) y circula por el absorbedor con un caudal determinado, esta situación se encuentra esquematizada en el modelo con los flujos de masa Jm1, Jm2 y Jm3.

Desde el momento que el sistema se pone en funcionamiento, hasta que entra en régimen de trabajo, la llave de paso hacia el recinto de vaporización se encuentra cerrada; de modo que el agua es recirculada hacia el tanque de reserva (flujo de masa Jmr).

#### *Circuito del recinto de desinfección*

Una vez que el concentrador solar opera en sus condiciones óptimas de funcionamiento, se abre la llave de paso hacia el recinto de desinfección y el tanque recibe el vapor generado. En el programa, esta situación está representada por el flujo de masa Jm4. El calor transferido por el vapor se acumula en la bolsa de sustrato, representada por el acumulador Csus y en el tanque (Ctan) a través de las resistencias convectivas R65 y R57, respectivamente.

Debido a que el sustrato está compuesto por bagazo de caña de azúcar y es 100% orgánico, se utilizó el valor del calor específico correspondiente a la madera blanda de pino (1,380 kJ/kg °C) (Incropera et al., 1996).

La totalidad del vapor que ingresa al recinto se condensa, provocando una acumulación de agua en el fondo del tanque, representada por Jm5 y Ccond.

Las pérdidas de calor del tanque por conducción, convección y radiación, hacia el exterior se esquematizan por medio de las resistencias R87, R89 y Rrad.

El valor del coeficiente de transferencia (h) utilizado como parámetro al definir la resistencia convectiva R57 fue calculado para régimen de flujo laminar interno, debido a que el número de Reynolds es mucho menor a 2300 (Incropera et al., 1996). Para el h correspondiente a las pérdidas convectivas hacia el exterior (R89), se tomó un valor empírico de 10 W/m<sup>2</sup> K. El coeficiente de transferencia de la resistencia convectiva R65 fue utilizado como parámetro de ajuste; éste es un parámetro complejo que involucra el fenómeno de convección y condensación.

En ambos circuitos el valor de la temperatura ambiente exterior fue fijado mediante una fuente de temperatura constante ETamb.

La figura 6 muestra el circuito que modela el comportamiento térmico del equipo de desinfección con vapor.

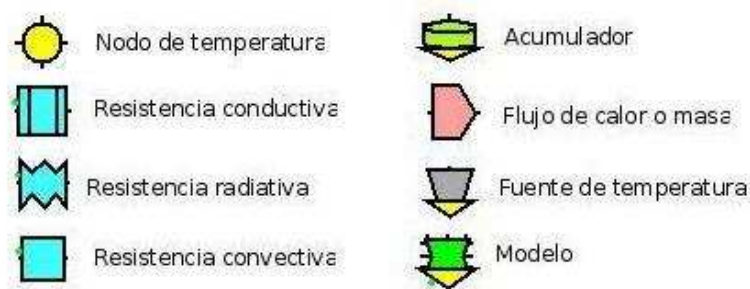


Figura 5: Elementos utilizados en el modelo térmico realizado con el programa SIMUSOL

## RESULTADOS

El modelo térmico realizado en SIMUSOL fue ajustado con los valores de temperatura medidos por las dos termocuplas. Como se mencionó anteriormente, la variable de ajuste fue el coeficiente de transferencia complejo de la resistencia convectiva R65, ubicada entre el nodo 5, correspondiente a la temperatura con la cual ingresa el vapor al recinto y el nodo 6, correspondiente a la temperatura en el interior del sustrato. Una vez ajustado el modelo, el coeficiente mencionado, tomó el valor de 35 W/m<sup>2</sup>K.

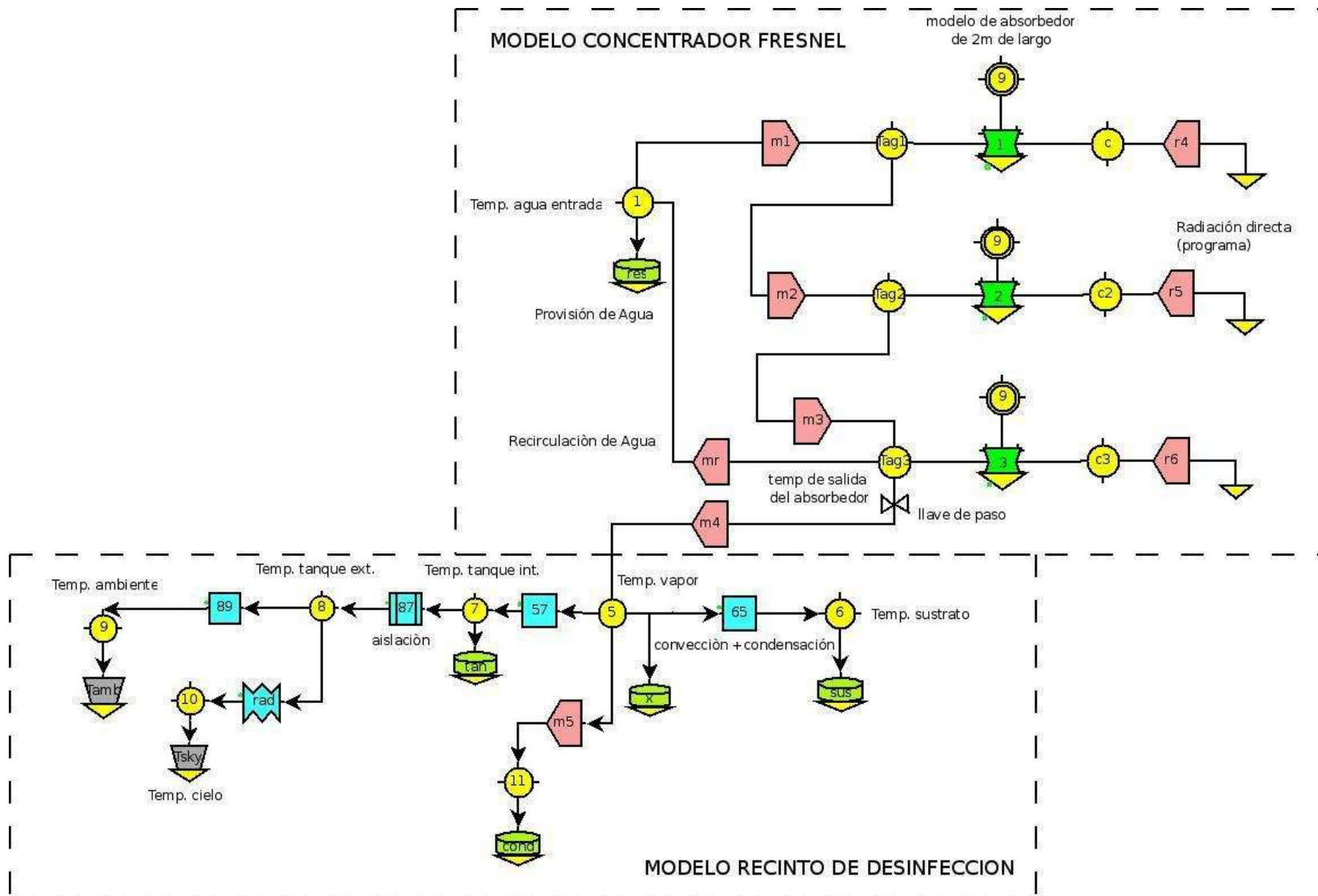


Figura 6: Circuito del modelo térmico del equipo realizado con SIMUSOL

En la figura 7 pueden observarse los valores medidos (puntos) y los simulados (líneas continuas) en un gráfico de temperatura en °C, versus tiempo, en horas. Se visualiza un buen ajuste después de la hora 11:30, cuando el sistema comienza a estabilizarse. No puede decirse lo mismo acerca de los primeros 45 minutos de funcionamiento donde los datos medidos discrepan de los simulados. Este comportamiento puede ser debido a que en ese período la presión del sistema disminuyó alrededor de 1 kg/cm<sup>2</sup>, provocando una consecuente disminución de la temperatura del vapor de agua que ingresaba al recinto.

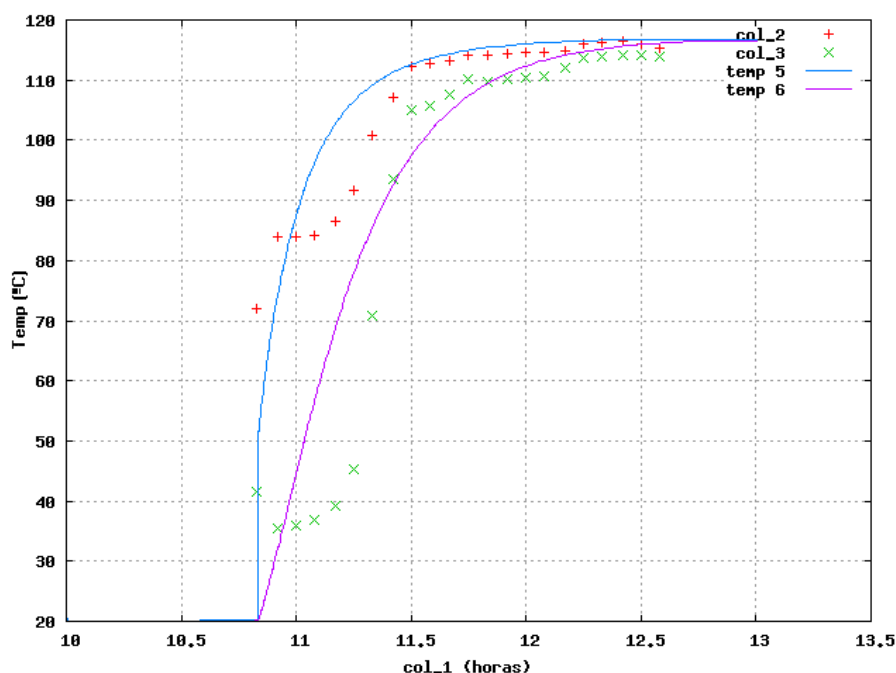


Figura 7: Ajuste del modelo. Con puntos, valores medidos; en línea continua valores simulados.

La efectividad de la desinfección fue comprobada mediante un análisis bacteriológico de muestras de sustrato tomadas antes y después de la vaporización (Tabla 1). También se utilizó el sustrato desinfectado para el llenado de bandejas para almácigos, para verificar si existe germinación de malezas.

Parámetro	Valores Iniciales [UFC/g]	Valores Post-tratamiento [UFC/g]	Valor permitido [UFC/g]	Técnica utilizada
Anaerobios Mesófilos Totales	$5 \times 10^{12}$	< 100	$5 \times 10^{10}$	Siembra en dilución seriada en Agar Plate Count. Incubación a 37°C / 24 hs.
Califormes Totales	$1 \times 10^6$	< 3	$< 1 \times 10^3$	NMP/g en caldo Mac Conkey Incubación a 37°C / 48 hs.
Escherichia Coli (Califormes Fecales)	$1 \times 10^4$	Ausencia	$< 1 \times 10^3$	NMP/g en caldo Mac Conkey Incubación a 44°C / 48 hs.

UFC/g: Unidades Formadoras de Colonias por gramo.

NMP/g: Número Más Probable por gramo.

Tabla 1: Resultados del análisis bacteriológico de las muestras de sustrato, antes y después del tratamiento.

## CONCLUSIONES

De la experiencia realizada puede concluirse que con la utilización del vapor generado por el equipo Fresnel, pueden alcanzarse las temperaturas requeridas para la esterilización de sustratos.

Si bien el costo de un concentrador solar lineal Fresnel no se justifica para destinarlo a este tipo de tratamiento, la desinfección de sustratos puede ser otra aplicación que se le dé al equipo, en aquellos lugares donde ya se encuentre instalado.

Contando con el modelo térmico ajustado, será factible simular el comportamiento del equipo bajo distintas condiciones de funcionamiento y optimizar el recinto de vaporización adecuándolo a la cantidad de vapor disponible.

El próximo paso será realizar la inyección del vapor de agua directamente dentro del sustrato, de este modo se asegura que el proceso de condensación suceda en la superficie del material a esterilizar.

También como trabajo futuro se estudiará la vaporización activa, también llamada a presión negativa, incorporando un extractor de vapor en el recinto de desinfección, de modo de forzar la penetración del vapor en sustrato y lograr una distribución de temperatura más homogénea con una reducción del tiempo de esterilización.

## REFERENCIAS

- Alia D y Saravia L. (2004). Programa Simusol. Simulación de Sistemas Solares. Inédito.
- Altamirano M., Gea M., Placco C., Saravia L., Alia D. Simulación térmica de un concentrador lineal tipo Fresnel, dos opciones de funcionamiento. Inédito.
- Gea M., Saravia L., Fernández C., Caso R. y Echazú R. (2007). Concentrador lineal Fresnel para la generación directa de vapor de agua. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 11.
- Gea M., Saravia L., Altamirano M., Placco C., Barcena H., Hongn M. Aspectos óptico geométricos de un concentrador solar Fresnel lineal para aplicaciones térmicas. Inédito.
- Incropera F., De Witt D. (1996). Fundamentals of heat and mass transfer. Fourth Edition. Wiley New York
- Salvo N., Altamirano M., Barcena H y Saravia L. (2009). Ensayo de un concentrador Fresnel. Cálculo de Eficiencia. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 13
- Saravia L., Gea M, Fernández C., Caso R., Hoyos D., Salvo N. y Suligoy H. (2008). Diseño y construcción de un concentrador lineal de Fresnel de 24 m<sup>2</sup> de área. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 12.

## ABSTRACT

This paper describes the use of water vapor produced by a solar linear Fresnel concentrator for disinfection of substrates as an alternative to the use of methyl bromide, which seeks to be eliminated in Salta's cultivation, especially in plantations of snuff. The thermal model was performed using the program SIMUSOL, adjusting with the measured values; this makes it feasible to simulate the behavior of equipment under various operating conditions. The effectiveness of the process could be checked by a count of pathogens and weed germination tests in the treated substrate.

**Keywords:** steam disinfection, organic substrate, Linear Fresnel solar concentrator