

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ESTERILIZADOR SOLAR POR VÍA SECA

Arcelio Hernández-Ferreira

Departamento de Física. Universidad de Cienfuegos, Cuba.
Carretera a Rodas Km 4, Cuatro Caminos, Cienfuegos. CP 53400. Tel. (53)
(43)500170 e-mail: archdez@ucf.edu.cu

Resumen

La esterilización es imprescindible en diversos sectores, requieren alto consumo de energía eléctrica. Se busca una alternativa para la esterilización con energía solar. Se diseñó, construyó y evaluó un esterilizador solar por vía seca de 4276 cm³ de capacidad, para consultorios médicos rurales sin suministro de energía eléctrica, puestos sanitarios militares en condiciones de campaña y estaciones experimentales de microbiología como las de reproducción de entomófagos. La evaluación incluyó la determinación de la eficiencia energética del esterilizador, evaluación económica y de seguridad biológica. Se alcanza la temperatura de esterilización para niveles de la radiación solar directa superiores a 300 W/m², lo cual se consigue en el intervalo de 8:30 a 14:30 horas en cualquier época del año, el tiempo en alcanzar la temperatura de esterilización es de 14 minutos, que corresponde a velocidad media de calentamiento de 13 °C/minuto, considerablemente superior a la de un horno eléctrico. Su eficiencia energética con intensidad de radiación solar directa de 310, 5 W/m² resultó ser 53,79 %. Las pruebas de seguridad microbiológica resultaron satisfactorias al eliminar cepas de bacterias muy resistentes. El equipo es de fácil construcción, su operación es muy sencilla y de muy bajo costo.

palabras claves: Esterilizador solar por vía seca, diseño, construcción, evaluación.

Abstract

Sterilization is essential in various sectors require high electric power consumption. It seeks an alternative for sterilization with solar energy. It was designed, built and tested a solar Sterilizer by dry via of 4276 cm³ capacity for rural medical offices without electricity supply power, military sanitary posts in campaign conditions and microbiology experimental stations like entomophagous playback. The assessment included determining the energy efficiency of the sterilizer, economic evaluation and biosafety. It is reached the sterilization temperature for levels of direct solar radiation higher to 300 W/m², which is achieved in the range of 8:30 to 14:30 hours at any season of year, the time to reach the sterilization temperature is 14 minutes, which corresponds to average speed of heating of 13 °C/minute, significantly superior than of an electric oven. Energy efficiency with direct solar radiation intensity of 310, 5 W/m² resulted to be 53.79%. The microbiological security tests were satisfactory by eliminating highly resistant strains of bacteria. The equipment is easy to build, its operation is very simple and very low cost.

Keywords: Solar Sterilizer by dry process, design, construction, evaluation.

INTRODUCCIÓN

El uso de la energía solar está ampliamente difundido en el mundo como una necesidad para incrementar el ahorro de las fuentes convencionales de energía y la preservación del medio ambiente. A esta necesidad no escapan los países en vías de desarrollo que necesitan disminuir los consumos de energía eléctrica.

La esterilización es una actividad de vital importancia en muchos sectores y específicamente en el de la salud, pero altamente consumidora de energía eléctrica. Por tal motivo, se presenta como una alternativa el uso de la energía solar para tales efectos. A partir del diseño y confección de un concentrador cónico, y teniendo en cuenta las características fundamentales de la esterilización, se plantea dar solución a los problemas que se presentan con los esterilizadores convencionales. El equipo propuesto fue validado por el Centro Provincial de Higiene y Epidemiología de Cienfuegos, con lo que quedó demostrada la factibilidad de su uso en un consultorio del médico de familia. Se realizó una detallada evaluación desde el punto de vista económico y energético, y en ambos casos la variante propuesta resulta altamente ventajosa y muy competitiva con la variante convencional.

CARACTERÍSTICAS SOLARIMÉ-TRICAS

En Cuba la radiación directa sobre un plano horizontal tiene un valor medio anual de 18,16 MJ/m² al día, es decir, un 67 % del valor total; y tiene su máximo valor en abril y el mínimo en enero. La radiación directa alcanza en el mes de abril el valor de 22,79 MJ/m² al día y en enero 13,54 MJ/m² al día.

Como se puede apreciar existen niveles de radiación directa que descartan la no factibilidad del empleo de concentra-

dores solares: incluso en el mes de enero, a partir de las 8:00 a.m. se registran niveles de radiación por encima de los 400 W/m², a las 9:00 a.m. este valor supera los 500 W/m² y se mantiene por encima del mismo hasta las 2:00 p.m.

Al realizarse la evaluación del equipo se alcanzaron regímenes de trabajo como los mencionados, aun en días donde la radiación directa tenía valores de 500 W/m² y el recipiente absorbedor alcanza temperaturas superiores a 180°C; valor que se exige en la variante seca, por lo que siempre es posible disponer de al menos dos horas en estas condiciones.

Todo esto posibilita que el equipo pueda explotarse durante varias horas del día; como la esterilización no requiere de tiempos superiores a las dos horas de trabajo, esta actividad podrá realizarse repetidas veces en caso de que los volúmenes a esterilizar así lo requieran. Como una característica propia de los concentradores existe la tendencia a mantener estable la temperatura de trabajo en condiciones de intermitencia solar breve, situación que se presenta con frecuencia en nuestro territorio.

DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Como uno de los propósitos era que la instalación fuera de fácil construcción se eligió un concentrador solar cónico. Esta geometría es mucho menos compleja que cualquier otra, como por ejemplo, la de un concentrador parabólico. Los parámetros geométricos necesarios para un cono particular (radios superior e inferior y el semi ángulo de apertura) se obtienen de relaciones matemáticas sencillas, y luego su confección tampoco es complicada y puede ser ejecutada por personal de calificación media. Se utilizó un concentrador cónico construido de chapa de acero recubierto con zinc mediante el procedimiento de galvanizado.

La superficie interior fue recubierta con papel de aluminio reflectante del utilizado en la impermeabilización de techos. La base soporte fue construida de tubos, planchas y barras corrugadas que permiten su orientación de norte a sur, el seguimiento de este a oeste y la declinación y además permitía su fijación en cualquier posición (Ver figura 1).



Figura 1. Esquema del esterilizador solar.

El proceso de esterilización del material se lleva a cabo en el interior de un recipiente de 1276 cm³ de capacidad, de forma cilíndrica (diámetro 16,5 cm y altura 20 cm) con tapa, que se coloca con su eje coincidiendo con el eje del cono (línea focal del concentrador). Este recipiente fue construido con una lámina de cobre de 1 mm de espesor y sometido a un proceso de niquelado electroquímico interior y exterior. La parte exterior fue recubierta con pintura selectiva negra para que aumente su eficiencia en el proceso de captación y conversión de la energía solar en térmica, y que al mismo tiempo disminuyan las pérdidas por radiación que necesariamente aparecen con el calentamiento del recipiente colector (o absorbedor). Para atenuar las pérdidas que se producen al entrar en contacto la vasija absorbidora con corrientes de aire, se le colocó una cubierta de acrílico transparente al cono. Dicha cubierta limita el movimiento de capas de aire y refleja parcialmente la radiación térmica emitida por el absorbedor. Esto contribuye a un trabajo más estable del equipo frente a corrientes de aire, y en menor medida a preservar las temperaturas para pequeñas variaciones del nivel de radiación solar incidente.

Si hubiéramos utilizado un único concentrador cónico, la radiación incidente sobre la porción superior de la superficie lateral interior del mismo llegaría a las paredes laterales del absorbedor normalmente, debido a su semi ángulo de 45° y la radiación que incide sobre el resto del concentrador se proyectará sin utilidad sobre el tubo fija-

dor. Con el objetivo de usar también esta radiación, se concibió el uso de varios concentradores cónicos de dimensiones en sus radios y ángulos de apertura tales que permitieran dirigir la misma hacia el recipiente absorbedor incluyendo su fondo, y aprovecharla en calentamiento útil. Esto aumenta los parámetros de trabajo del equipo para iguales niveles de radiación comparados con la primera versión, e incluso consigue iguales valores de temperaturas con niveles inferiores de radiación.

De esta forma, haciendo uso de las leyes de la reflexión se encontraron los semi ángulos de apertura de otros dos conos y se calcularon las dimensiones para su construcción (Fig. 2). Estos permitieron incrementar en más de dos veces el área de captación de la radiación solar que se proyecta sobre el absorbedor que sería de 2480 cm² de usarse un único cono y 5040 cm² con los dos conos suplementarios.

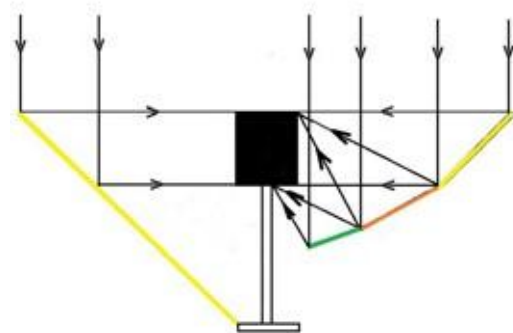


Figura 2. Comparación del uso de un solo cono con 450° de apertura o un sistema de varios conos.

El principio de funcionamiento y la operación del equipo son simples. El material a esterilizar se coloca en el interior del recipiente absorbedor y se cierra con la tapa que tiene el termómetro para la medición de la temperatura. El recipiente se fija en su base y se cubre con la tapa de acrílico. A continuación el cono se orienta con su eje paralelo a los rayos solares, esto se consigue por la coincidencia de la proyección de la sombra del fondo del recipiente con la base inferior

del concentrador. Debido al movimiento del sol el equipo requiere un ajuste en su orientación cada 15 minutos aproximadamente. Como se aprecia para esta actividad no se requiere de personal especializado.

Para la evaluación del trabajo del equipo fue preciso calcular la componente directa de la radiación que incide sobre el concentrador, midiendo la radiación total y la radiación difusa incidentes sobre un plano horizontal, lo cual se hizo con ayuda de un piranómetro y un voltímetro M 2.017 clase 0.2 en escala de 0,15 V y 150 divisiones. La temperatura ambiente se midió con un termómetro de mercurio de vidrio de escala 0-100° C y precisión de 1° C, mientras que la temperatura del interior del recipiente absorbedor se midió con un termopar Ni-Cr-Ni y un mili-voltímetro HDC-2 clase 0.5 con compensación interna para el extremo frío de los termopares en las escalas de 0-500 con precisión de 5 °C y de 0-12 mV con precisión de 0,2 mV. Como regla general las mediciones se llevaron a cabo cada 15 minutos durante las pruebas de operación y cada 1 minuto cuando se establecían los regímenes de operación del equipo.

Para la evaluación de la eficiencia del esterilizador se siguió un método convencional mediante el cual se encontraba la razón entre la energía útil obtenida y la energía solar que incidía sobre el concentrador. La energía útil, en este caso en forma de calor cedido a una cantidad de agua de masa conocida en el recipiente absorbedor, se determinó mediante el cambio de su temperatura luego de que el dispositivo fue orientado debidamente y se midió el tiempo que recibió una cierta intensidad de energía solar. La expresión empleada fue:

$$h = \frac{\text{Calor útil extraído}}{\text{Energía solar recibida}} = \frac{m C_p \Delta t}{i_{\text{ solar }} \cdot \text{Area concentrador} \cdot \text{ tiempo}} \quad (1)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El equipo alcanzó temperaturas máximas de hasta 220°C con una intensidad de radiación total de 846,7 W/m².

La velocidad de calentamiento, que determina el tiempo que tarda el equipo en alcanzar el régimen de trabajo (T > 180°C), es alta y depende de los niveles de la componente directa de la radiación solar incidente.

Según los datos técnicos del equipo con que se hizo la comparación (esterilizador de mesa modelo ASH, su temperatura aumenta en 5° por minuto, por lo que para estabilizar su trabajo requiere de un tiempo de 30 a 60 minutos. Por el contrario el esterilizador solar alcanza su temperatura de trabajo en sólo 14 minutos. Este aumento acelerado de la temperatura no afecta en nada al equipo ni la efectividad del proceso de esterilización.

En la figura 3 se muestran las gráficas de temperaturas en el interior del esterilizador como función del tiempo para diferentes niveles de la componente directa de la radiación solar (I_d), éstas revelan que la misma tiende a estabilizarse a un valor de equilibrio que es función del nivel de la radiación directa. En estas circunstancias se alcanza un equilibrio entre la energía absorbida y las pérdidas por radiación y convección fundamentalmente.

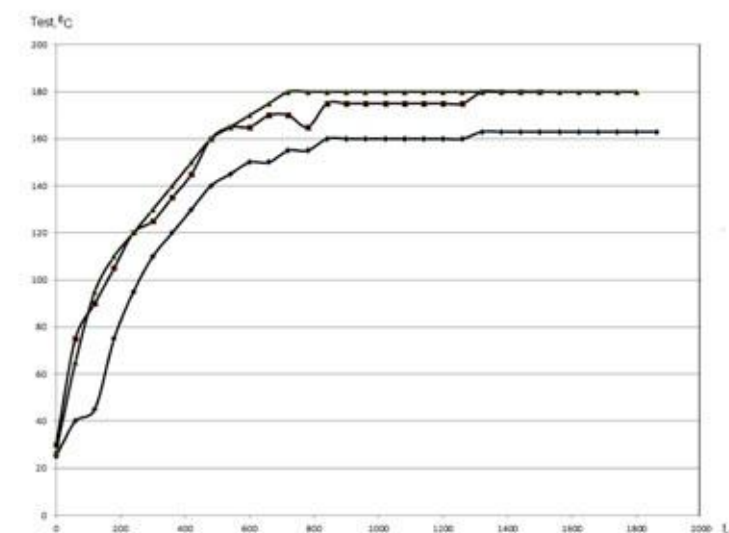


Figura 3. Gráficas de la temperatura del esterilizador en función del tiempo.

Se intentó realizar la modelación matemática de este proceso a partir de los resultados de las mediciones y el estudio de las gráficas mediante la aplicación del análisis estadístico. Las variaciones de los datos obtenidos solo nos permitieron obtener una relación aproximada para la temperatura del esterilizador. En la figura 4 se muestran las gráficas de la diferencia de la temperatura que alcanza el esterilizador en su interior menos la temperatura am-

biente (Test – Tamb) contra el tiempo de exposición del concentrador a la radiación solar directa.

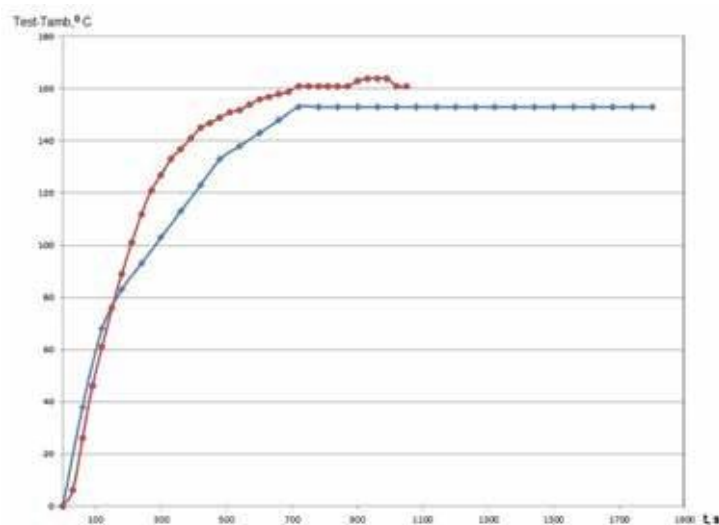


Figura 4. Gráficas de Test-Tamb contra tiempo para dos niveles de radiación directa.

Estas gráficas fueron obtenidas para dos niveles diferentes de la radiación directa. De esta manera las gráficas parten del origen del sistema de coordenadas, van incrementando rápidamente el valor de la temperatura hasta alcanzar un valor de equilibrio. Para describir esta forma de las curvas se propuso una función del tipo:

$$t_{est} = t_{amb} + (t_{eq} - t_{amb}) \cdot (1 - e^{-C_2 t})$$

Donde: T_{est} es la temperatura alcanzada por el esterilizador solar.

T_{amb} es la temperatura ambiente.

T_{eq} es la temperatura a la cual tiende a estabilizarse el trabajo del equipo.

C_2 constante que depende del nivel de la radiación directa.

La relación (2) puede ser transformada en una relación lineal entre el tiempo transcurrido y el logaritmo natural de un término que depende de las temperaturas:

$$\ln \left[1 - \left(\frac{t_{est} - t_{amb}}{t_{eq} - t_{amb}} \right) \right] = - C_2 t$$

Con los datos experimentales se realizó el procesamiento de esta relación con el propósito de encontrar la constante C_2 . Las gráficas correspondientes aparecen en las figura 5.

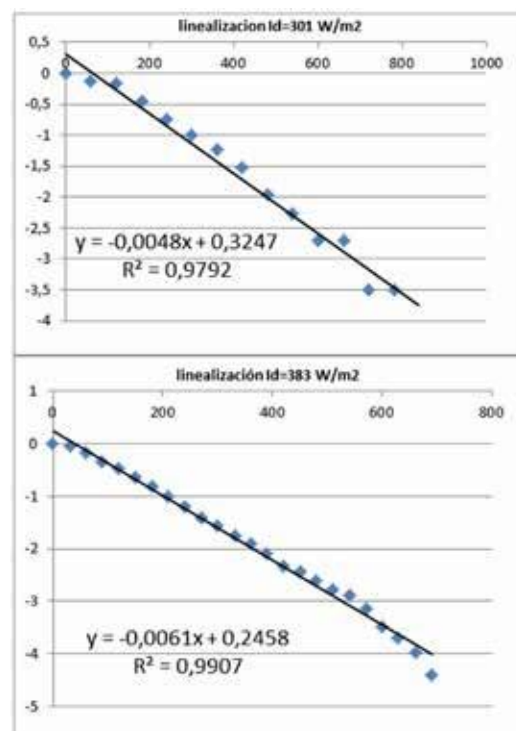


Figura 5. Gráficas mostrando la relación (3) para dos niveles de la radiación directa.

Como se puede observar, los valores de la constante C_2 están relacionados con el nivel de la radiación directa, aunque no fue posible determinar la misma porque dicha relación no era simple y podía involucrar otros factores.

La eficiencia global del esterilizador solar determinada por los métodos convencionales para una intensidad de la radiación directa de 310,5 W/m² resultó ser del 53,79 %. Esto permite disponer de un criterio preliminar para realizar cálculos en futuros desarrollos. Esta eficiencia se puede elevar con mejoras al dispositivo tales como el uso de cubierta reflectante de mayor coeficiente de reflexión, uso de superficie selectiva en la superficie del recipiente absorbedor, mejorar el material transparente de la cubierta insertando dispositivos tales como aletas a las paredes interiores del recipiente absorbedor para aumentar la

razón de transferencia de calor, etc.

Aunque se obtuvieron los parámetros de esterilización (temperatura y tiempo de permanencia a dicha temperatura) que garantizan la misma, se efectuaron pruebas microbiológicas relativas a la bioseguridad del esterilizador solar y a tal efecto se suscribió un protocolo de investigación con el Centro de Higiene y Epidemiología. Como resultado del mismo se concluye que el equipo resulta efectivo para la esterilización por calor seco ya que elimina tanto la flora ambiental como la contaminada.

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y REPERCUSIÓN PROVINCIAL

Después de determinados los costos de fabricación y de montaje se obtuvo que:

Costo de fabricación: \$ 64,07

Costo de montaje: \$ 4,71

Costo total - \$ 68,78 (todo en CUP, moneda nacional).

La depreciación del equipo es de 3.43 % teniendo en cuenta su valor y los 20 años de vida útil para los cuales fue diseñado.

Los equipos de esterilización utilizados hasta el momento en nuestro país son de importación y su coste de adquisición es de aproximadamente \$ 800 U.S.D. en el mercado mundial. Cuando son ensamblados en nuestro país la provincia tiene que invertir \$ 1.200 (moneda nacional), pero sus componentes son adquiridos en divisas; en ambos casos las reparaciones se realizan por personal calificado y piezas en su mayoría de importación o de costosa fabricación.

En nuestra provincia funcionan 509 consultorios de médico de familia, pero solamente 241 tienen este equipo imprescindible para su trabajo y de estos alrededor de 12 están rotos y no han podido ser reparados por falta de componentes.

En las zonas más alejadas en la actualidad los médicos de familia dejan de prestar servicios en algunas jornadas para trasladarse a policlínicos u otras áreas, con el fin de esterilizar el instrumental de trabajo que acumulan hasta el día señalado. Con la variante propuesta estas dificultades podrían solucionarse.

Los equipos de esterilización existentes presentan además la desventaja de que consumen 7 kW-h cada uno, es un consumo elevado si se tienen en cuenta las dificultades energéticas que enfrentan en la actualidad los países no productores de petróleo y el número de estos equipos que se necesitan.

Atendiendo a todos estos aspectos es posible la introducción de los equipos de esterilización solar por los equipos no existentes, lo que significaría un ahorro de \$ 214.400 U.S.D. solo por concepto de inversión inicial y de cerca de 150.000 kW al año sin tener en cuenta los gastos por reparaciones y mantenimientos, solo en la provincia de Cienfuegos.

CONCLUSIONES

El equipo desarrollado alcanza la temperatura de esterilización para niveles de la componente directa superiores a 300 W/m², que se alcanza por regla general en el intervalo de 8:30 a.m. a 2:30 p.m. en cualquier época del año.

El tiempo hasta alcanzar la temperatura para la esterilización en vacío para las peores condiciones de insolación es de 14 minutos, lo cual se corresponde con una velocidad media de calentamiento de 13°C/minutos, considerablemente superior a la de un horno eléctrico.

La seguridad biológica del esterilizador quedó demostrada en las evaluaciones microbiológicas que se efectuaron en coordinación con el Centro Provincial de Higiene y Epidemiología conforme al protocolo suscrito.

La comparación teniendo en cuenta costo de adquisición, energía consumida para su funcionamiento, tiempo de vida útil, tiempo de amortización de la inversión, necesidad de piezas de repuesto, complejidad en el mantenimiento y posibilidad de uso en las más difíciles condiciones de campaña, hacen que la alternativa propuesta sea altamente competitiva frente a la convencional.

R referencias

1. Almanza R. 1981. Concentradores Solares. Revista Instituto de Ingeniería U.N.A.M.. 16: 48-51.
2. Bértiz L. et al. 1992. Destiladores Solares. ENERGÍA. 2 (92): 17-29.
3. Bértiz L. et al. 1992. La radiación solar: una solución parcial a los problemas energéticos. ENERGÍA. 5(85): 2-13.
- Bértiz L. Secado Solar de Madera. ENERGÍA. 1 (91): 25-37.
4. Díaz J. La energía solar en Cuba. "El aprovechamiento de la energía solar." ediciones ISPJAM, Santiago de Cuba. 1988.
5. Dickinson WC, Cheremisinoff PN. Solar Energy Technology Handbook Part A Engineering Fundamentals. Marcel Dekker Inc., New York. 1980.
6. Dickinson WC, Cheremisinoff PN. Solar Energy Technology Handbook Part B Applications Systems Design and Economic, Marcel Dekker Inc., New York. 1980.
7. EGNELL, A. Cocina Solar, Resumen AX- WELL AB (en sueco). Comunicación personal.
8. El-Refaie MF. 1987. Temperature distributions along the absorber of the axicon solar fluid heater. Applied Energy. 26: 217-241.
9. Fernández JL. 1987. Introducción al estudio de los sistemas solares activos. Revista Instituto de Ingeniería. UNAM, 26: 109-111.
10. GRUPO FUENTES RENOVABLES CNE. 1992. Alternativas Energéticas Nacionales, ENERGÍA, 2(92): 2-16.
11. GRUPO FUENTES RENOVABLES CNE. 1992. Alternativas Energéticas Nacionales. ENERGÍA. 1(92): 2-11.
12. Jorgensen A, Hansen A. Microbiología de las Fermentaciones Industriales. Vol 1. zaragoza. Editorial Acribia.
13. Kreider JF, Kreith P. Solar Energy Handbook. Vol 1. New York. Mc Graw-Hill; 1981.
14. Madruga H. Desarrollo y Evaluación de Superficies Selectivas para instalaciones solares [Tesis]. La Habana. Dpto. Termoenergética, ISTC; 1992.
15. Mazorra M. Alternativas en el uso de un concentrador solar cónico[Tesis]. La Habana. Dpto. Termoenergética. ISTC; 1992.
16. Muñoz JL, et al. 1995. Diseño, construcción y evaluación de un esterilizador solar por vía seca. Energía, revista de ingeniería energética, 95: 69-72.

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros agradecimientos al Lic. Orlando Rodríguez del Rey del Centro de Higiene y Epidemiología Provincial por la ayuda prestada en la validación biológica del equipo.