

Manual de Sistemas  
Cuarentenarios para  
Plagas Agrícolas  
2016

# C7

## Desinfección con vapor de agua

**Silvana N. Toledo, M. Fernanda Villagrán**

El contenido de este capítulo ha sido provisto por el o los autores arriba mencionado/s. La EEAOC no es responsable de las opiniones aquí vertidas.



ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
AGROINDUSTRIAL  
OBISPO COLOMBRES  
Tucumán | Argentina

Universidad Nacional de Tucumán  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y ZOOTECNIA  
SECRETARÍA DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN





El tratamiento con vapor caliente es un método de desinfección que aplica vapor saturado a una temperatura aproximada de 43 – 50° C. Los tratamientos con vapor caliente comenzaron a estudiarse a partir de 1910, pero fue en 1929 aplicado por primera vez para la desinfección de fruta infestada con *Ceratitis capitata* para prevenir la expansión de la misma en otros estados después de haber invadido Florida, EEUU. Posteriormente su uso declinó rápidamente por la aparición del EDB (Dibromuro de etileno), fumigante que parecía ser la solución para la desinfección de frutos afectados por moscas de la fruta.

En los inicios de 1980 el vapor caliente volvió a surgir como una alternativa ya que se descubrió que el EDB era cancerígeno.

Además su re- aparición fue acompañada con nuevas tecnologías que resultaron útiles a la hora de resolver algunos inconvenientes del tratamiento.

Los problemas mas frecuentes que se plantearon en la implementación del vapor caliente fueron:

- 1- Elevación uniforme de la temperatura de los frutos por distribución no uniforme del vapor caliente.
- 2- Falta de uniformidad en la temperatura durante el tratamiento.
- 3- Falta de uniformidad en la humedad durante el tratamiento.
- 4- El tiempo que tomaba llegar a la temperatura propuesta dependía de donde era colocada la fruta.
- 5- Daño presente en muchos frutos.

### Fundamentos del tratamiento con vapor caliente

El vapor caliente es el más popular y fácil de los métodos de desinfección. Consiste en calor de vapor saturado con 100% de humedad relativa. El aire húmedo se condensa, cuando el agua entra en contacto con la superficie fría de la fruta al inicio del tratamiento. Esto tiene dos beneficios: primero es que la condensación producida en la superficie de la fruta libera calor cuando se produce el cambio de estado del agua, de vapor a líquido aumentando el calor de conducción, transfiriendo este calor a la superficie de la fruta. El segundo es que el agua condensada sobre la superficie de la fruta la recubre e incrementan el área de conducción del calor. El efecto del calor de condensación es equivalente a elevar el consumo de

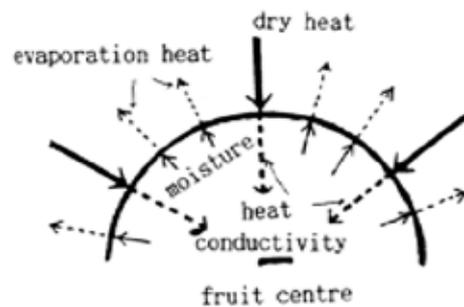
calorías de una fruta en 4° C, asumiendo un radio de 1cm<sup>2</sup> de agua sobre la superficie de la fruta en 100g. Por esta razón la eficiencia térmica del tratamiento con vapor caliente es mayor que la del tratamiento con aire caliente.

En este último, cuando el aire entra en contacto con la fruta, la misma comienza a transpirar, el líquido contenido en ella se evapora y como consecuencia, el fruto se deshidrata.

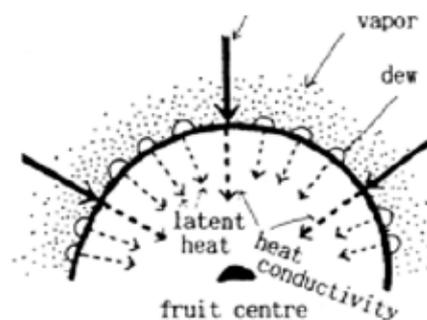
El principio de la desinfección es el calor de conducción producido por el vapor de agua saturada que se emplea para matar plagas y patógenos.

### Modo de acción de las altas temperaturas en los insectos

Los insectos generalmente mueren en un corto tiempo de exposición a temperaturas entre los 40 y 60° C. La mortalidad es causada por las elevadas temperaturas que generan un desorden químico debido a la desnaturalización de las proteínas que forman parte de las células, pérdida de agua del cuerpo, inhibición de la acción enzimática, etc.



Conductividad del calor seco



Conductividad del vapor de agua caliente

Químicamente las proteínas están compuestas por aminoácidos unidos entre sí por los llamados puentes hidrógeno. Esta estructura molecular es la responsable de las propiedades y funciones naturales de las proteínas.

Cuando las proteínas son sometidas a la acción de agentes físicos como el calor, sufren alteraciones a nivel estructural, son afectadas las fuerzas que mantienen la estructura. Por esta razón la proteína pierde sus propiedades es decir se desnaturaliza. Dependiendo de la intensidad del estímulo, este fenómeno puede ser irreversible.

Como consecuencia la membrana celular pierde su permeabilidad selectiva permitiendo el pasaje de sustancias que rompen el equilibrio de los fluidos.

### Tolerancia de los insectos al aumento de la temperatura

La tolerancia de los insectos a la temperatura difiere con cada especie y estado de desarrollo de las mismas.

Una prueba que se utiliza para determinar los niveles de tolerancia al calor consiste en sumergir los insectos recién sacados del fruto hospedero en agua caliente, esta es la forma más directa de conocer la tolerancia de los mismos al calor.

Se conoce además que los insectos, cuando permanecen un determinado tiempo en un rango de temperatura por debajo de 40 °C, son capaces de producir una sustancia de adaptación al calor, que le confiere cierta tolerancia al aumento de la temperatura. Este es un tipo de adaptación llamada termo-tolerancia. Se la define como la capacidad de sobrevivir a cualquier temperatura letal por exposición previa a dosis no letales.

Existe un gran grupo de organismos que responden a temperaturas elevadas mediante la síntesis de proteínas especiales (shock al calor, HS) con represión de la síntesis proteica normal y la formación de proteínas especiales.

En el tratamiento con vapor, este fenómeno se evita al lograr que el aumento de la temperatura sea lo más rápido posible. Básicamente, exposiciones prolongadas sobre los 40°C, es letal para cualquier especie de insecto.

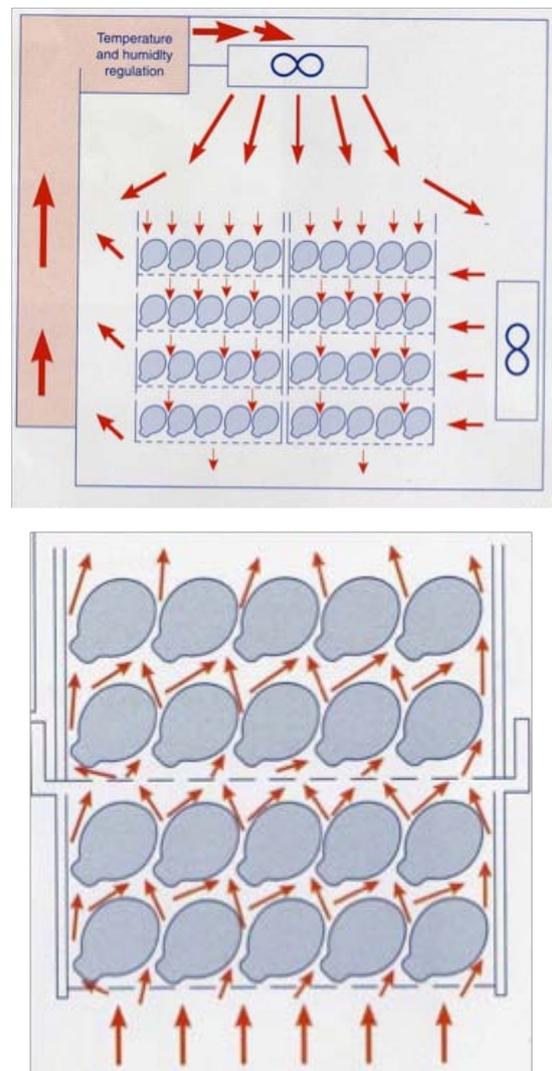
Si bien el método fue desarrollado para eliminar moscas de la fruta en áreas tropicales y subtropicales como *Bactrocera dorsalis*, *Bactrocera cucurbitae*, *Ceratitis capitata*, actualmente se aplica sobre otras plagas, por ejemplos gorgojos de la batata, *Cylas formicarius* y *Euscepes postfasciatus*.

### Metodologías utilizadas para la aplicación del vapor caliente

La metodología implementada para los tratamientos de vapor, ha evolucionado desde fines de los años 60 hasta hoy, incrementando su complejidad y efectividad.

#### Método de succión:

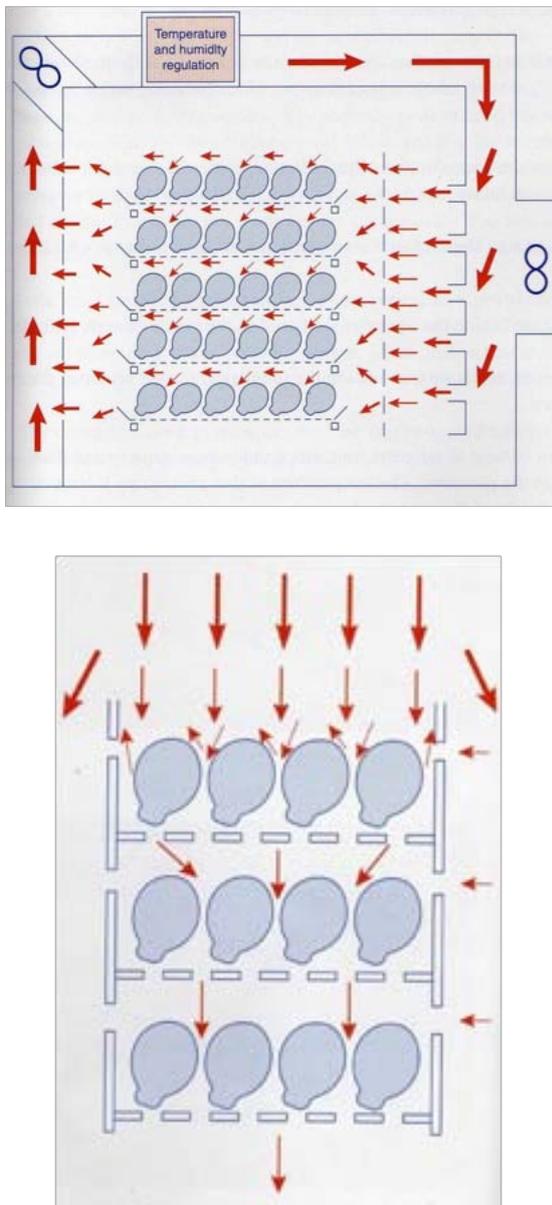
El vapor entra por la parte superior de la cámara, el mismo fluye gracias a dos ventiladores colocados uno en la parte superior y el otro al costado de la cámara, Las bandejas donde se colocan las frutas poseen perforaciones para permitir el paso del vapor. El problema de este método, es que el flujo de vapor no está direccionado, una gran parte fluye hacia el exterior y la otra parte entra mas rápidamente en contacto con las frutas ubicadas en la parte superior de la cámara.



**Figura 1.** Sistema de succión: compartimento de tratamiento de una cámara que utiliza el sistema de succión. La flecha roja indica la dirección de flujo de vapor.

**Método de vapor cruzado:**

Este método surge para mejorar el método de succión, y consiste en que el vapor es introducido por el costado de la cámara, y para que el flujo alcance a todas las frutas por igual, se colocan unas rejillas las cuales le dan la dirección al vapor de manera horizontal a lo largo de la fila de bandejas. Si bien se alcanza una distribución más pareja del vapor, minimizando las diferencias entre las frutas colocadas arriba y las de abajo, el flujo sigue tocando solo la superficie de cada fruta, por lo tanto, dentro de cada fruto, la temperatura es diferente.

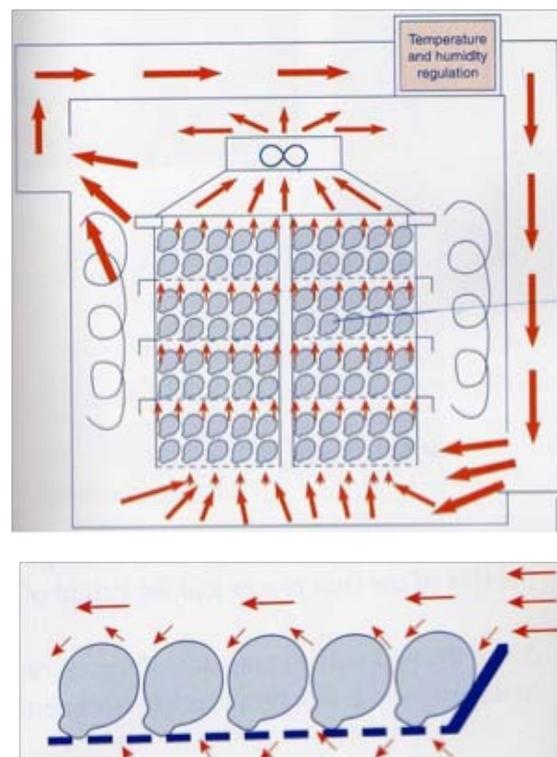


**Figura 2.** Método de vapor cruzado: Se muestra el flujo de vapor en una cámara experimental. La flecha roja indica la dirección del vapor.

**Método de presión diferencial:**

El sistema de presión diferencial soluciona el problema del todo. La cámara adopta ahora una forma de chimenea, lo cual previene que el flujo se escape por los laterales.

Posee una forma acampanada con un ventilador en la parte superior el cual succiona el vapor que ingresa por el lado opuesto, creando así una diferencia de presión entre la parte interior y exterior de la cámara. El vapor circula ahora de arriba hacia abajo (o viceversa) y por toda la fruta, de manera uniforme.



**Figura 3.** Sistema de presión diferencial: se muestra el mecanismo de acción de una cámara de presión diferencial. La flecha roja indica la dirección del vapor.

La diferencia más importante entre estos tres métodos está en el tiempo que necesitan las frutas para alcanzar la temperatura de tratamiento, lo cual influye no tan solo en la eficacia del mismo, sino también en el daño que se ocasiona en la fruta. Por lo tanto el método de presión diferencial, es considerado el más eficiente de todos.

**Cámara de tratamiento**

A medida que fueron resolviéndose los problemas, las estructuras de las cámaras variaron sustancialmente desde el modelo original. Los diseños actuales de cámara, (presión diferencial), presentan como

principal ventaja que distribuyen el vapor de forma mas eficiente, elevando la temperatura de los frutos de manera mas uniforme.

Una cámara experimental mide aproximadamente 3,10 mts de largo, 1,81 mts de alto y 1,3 mts de profundidad, con un volumen de 1 m<sup>3</sup> (80 x 156 x 80 cm) y una capacidad máxima de 150 kg. Consta de 15 sensores entre los que se encuentran los sensores de humedad y temperatura del aire, además posee otro sensor que mide la temperatura en el tanque de agua.

Los modelos actuales consisten en cámaras con estantes plásticos con orificios en la superficie, donde se coloca los estantes que soportan las frutas. La parte superior de la cámara es estrecha y posee un ventilador que succiona el aire del fondo de la cámara, los laterales están cerrados. Los orificios de las bandejas son pequeños para acelerar el aire y así el calor es eficientemente distribuido. Constantemente se debe agregar vapor caliente a la cámara para permitir que la fruta sea rodeada por el mismo.

Luego de finalizado el tratamiento, la cámara genera una circulación de aire frío. El tiempo de enfriado luego del tratamiento, debe ser lo mas corto posible, ya que esto incide en la calidad de la fruta. Algunos

modelos incorporaron un baño de agua con lo que se obtienen mejores resultados.

### Tolerancia de los frutos al vapor caliente

El tratamiento con vapor caliente es adecuado para frutos susceptibles de deshidratación. Los frutos tropicales y subtropicales como papaya, mango, litchi muestran tolerancia a las altas temperaturas.

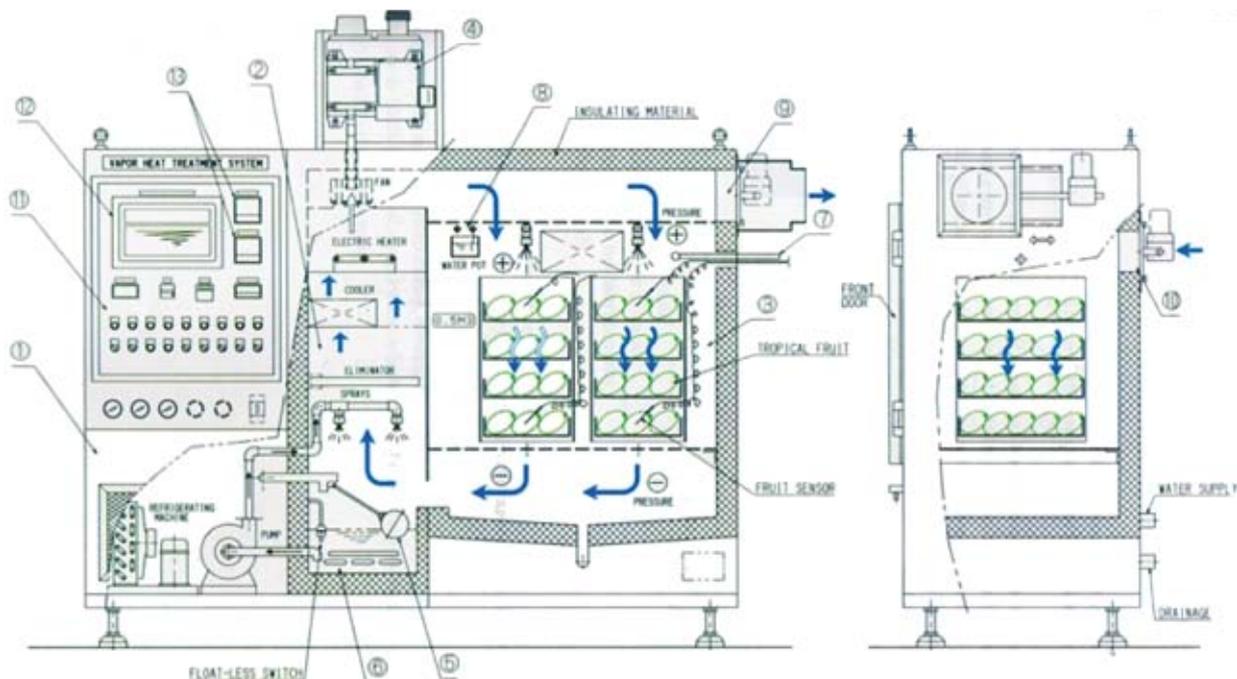
Este método de desinfección pasó a reemplazar a los de aire caliente e inmersión en agua caliente por ser menos agresivo con los frutos y puede ser aplicado para el control de diferentes plagas siempre que el hospedero lo tolere.

### Relación entre efecto letal y daño en frutos

El objetivo de cualquier tratamiento cuarentenario es lograr el 100% de mortalidad de la plaga y minimizar el daño ocasionado por el tratamiento.

En general el daño aparece con el aumento de la temperatura y/ o del tiempo de exposición. Esta regla también se aplica para el efecto letal.

Los síntomas mas frecuentes de daños provocados por la aplicación de vapor caliente son:



**Figura 4.** Esquema de cámara de tratamiento de Vapor con sistema de presión diferencial. 1- Compartimento de refrigeración; 2- Compartimento de acondicionamiento de aire; 3- Compartimento de tratamiento; 4- Motor; 5- Flotador; 6- Tanque de agua; 7- Termómetro estándar; 8- Sensor de Humedad; 9- Salida de aire; 10- Entrada de Aire; 11- Panel de control; 12- Registrador digital; 13- Controlador de temperatura digital; Circulación de vapor; Circulación de agua.

- Decoloración de la superficie del fruto.
- Aparición de manchas.
- Marchitado.
- Deformación.
- Deterioro de la pulpa.
- Pudrición.
- Infestación por microorganismos.
- Maduración anormal.
- Cambio del sabor y olor.
- Cambios en la composición química.

En papayas por ejemplo se presenta endurecimiento de la pulpa alrededor de la cavidad con semillas, esto se debería a un fenómeno de maduración tardía e incompleta. La elevada temperatura inhibe a las enzimas que intervienen en la activación del etileno, del cual depende el proceso de maduración. Este daño se puede prevenir con el precalentamiento de la fruta durante un corto período con aire caliente con 40- 60% de humedad a una temperatura específica. Otro método es calentar la fruta durante 11 horas elevando la temperatura desde 23° C a 44.4° C.

En otros tipos de daños, el estado de madurez del fruto influye en la aparición de los mismos. En frutos no tan tolerantes al vapor caliente como pimientos, se recomienda un baño con agua fría para lograr el enfriamiento durante 8 horas después del tratamiento.

Es necesario mencionar la importancia de seleccionar el tamaño de los frutos antes del desarrollo del tratamiento. Cuando el tratamiento se aplica sobre frutos de tamaño muy variable, tanto el daño como los efectos mortales pueden variar. Por ello se sugiere el desarrollo de un tratamiento teniendo en cuenta estas características del hospedero: tamaño, peso, forma, etc.

### Tratamientos con vapor caliente

En la tabla 1 se muestran diferentes tratamientos con vapor caliente desarrollados en el mundo para la comercialización de frutos. Los tratamientos que están reglamentados en Argentina se muestran en la tabla 2.

Tabla 1. Tratamientos vigentes en el mundo.

Frutos	Hospedero	Especie plaga	Tratamiento
China	Litchi	<i>Bactrocera dorsalis</i>	30- 40° C; A.T.* 46.5° C durante 10 min. + 2° C durante 40 horas
Philipinas	Papaya	<i>Bactrocera dorsalis</i> + <i>Bactrocera cucurbitae</i>	46° C durante 70 min.
	Mango		46° C durante 10 min.
Hawaii	Papaya	<i>Ceratitis capitata</i> + <i>B. dorsalis</i> + <i>B. cucurbitae</i>	47.2° C
Australia	Mango	<i>C. capitata</i> + <i>Bactrocera tryoni</i>	47° C durante 15 min.
Tailandia	Mango (Rad, NamDorkmai, Pimsendaeng)	<i>B. dorsalis</i> + <i>B. cucurbitae</i>	43° C A.T. 47° C durante 20 min.
	Mango (Nang Klarngwan)		43° C A.T. 47° C durante 10 min.
Taiwan	Mango	<i>B. dorsalis</i> + <i>B. cucurbitae</i>	46.5° C durante 30 min.
	Litchi	<i>B. dorsalis</i>	30- 41° C A.T. 46.2° C durante 20 min. + 2° C durante 42 horas
Japón	Batata	<i>Cylas formicarius</i> + <i>Euscepes postfasciatus</i> + <i>Omphisa anastomosalis</i>	47° C durante 190 min.
	Papaya	<i>B. cucurbitae</i> + <i>B. dorsalis</i>	45- 46° C durante 30 min.
	Mango		43- 44° C durante 3 horas
	Pomelo		43- 43.8° C durante 3 horas
	Peras	<i>B. cucurbitae</i>	45- 46° C durante 30 min.
	Melón		45- 46° C durante 30 min.

\*A.T.= antes del tratamiento

Tabla 2. Tratamientos reglamentados en Argentina.

Hospedero	Especie plaga	Tratamiento
Mango, Pomelo,	<i>Ceratitis capitata</i> + <i>Anastrepha fraterculus</i>	43° C durante 6 horas
Naranja, mandarina		43.3° C durante 4 horas

### ▼ Bibliografía recomendada

**Anónimo. 1996.** Textbook for Vapor Heat Disinfestation Test Technicians. Japan Fumigations Technology Association- Japan International Cooperation Agency.

**Anóniimo. 2000.** Principles and Features of Vapor Heat Treatment System. Japan Fumigation Association (JAFTA). SANSHU SANGYO CO., LTD. Pp: 51.

**Jang, E. B. & H. T. Chan. 1990.** Thermal Death Kinetics: Importance in Development of Heat- Based

Quarantine Treatments. En: Fruit Fly- Biology and Management, de M. Aluja & P. Liedo. Pp: 344- 351.

**Moss, J. I & E. B. Jang. 1991.** Effects of Age and metabolic Stress on heat Tolerance of mediterranean Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) Eggs. J. Econ. Entomol. 84 (2): 537- 541.

**Sharp, J. L. & V. Chew. 1987.** Time/ Mortality Relationships for *Anastrepha suspensa* (Diptera: Tephritidae) Eggs and Larvae Submerged in Hot Water. J. Econ. Entomol. 80: 646- 649.

**Shimabukuro, S., A. Ishikawa, M. Iwata, T. Sakaguchi, S. Makiguchi, & H. Katsumata. 1997.** Efficacy of Vapor Heat Treatment on Sweet Potato Infested with Sweet Potato Weevil, *Cylas formicarius* (Fabricius) (Coleoptera: Brentidae), West indian sweet Potato Weevil *Euscepes postfasciatus* (Fairmaire) (Coleoptera: Curculionidae), and sweet Potato Vine Borer *Omphisa anastomosalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). Res. Bull. Pl. Prot. Japan. 33: 35- 41.