

LA LIBERACIÓN MECANIZADA ES EL ÚLTIMO PASO PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRAL DE LUCHA AUTOCIDA

Maquinaria para la liberación masiva de machos estériles de *Ceratitis capitata*

Enrique Moltó¹, Santiago Alegre¹, Sergio Cubero¹, Abelardo Gutierrez¹, José Blasco¹, Tatiana Pina², Sara Pascual², Rafael Argilés², Pedro Castañera² y Alberto Urbaneja².

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).
Ctra. Moncada-Náquera, km 4,5. 46113-Moncada, Valencia.

¹Centro de Agroingeniería.

²Unidad Asociada de Entomología IVIA-CIB (CSIC).
Centro de Protección Vegetal y Biotecnología (IVIA).

El Centro de Agroingeniería del IVIA ha desarrollado máquinas para la liberación de machos estériles de *Ceratitis capitata*. Las máquinas son capaces de almacenar de uno a diez millones de individuos y de conservarlos en condiciones de temperatura y humedad relativa adecuadas. Los prototipos se diseñaron para ser económicamente factibles y autónomos y pueden ser transportados por una pequeña furgoneta o pick-up, para la liberación terrestre, o en avionetas, para la liberación aérea. Un sistema de control electrónico se encarga de mantener la temperatura y la humedad óptimas. Las pruebas de campo, realizadas en colaboración con la Unidad Asociada de Entomología del IVIA-CIB CSIC, han demostrado la eficacia del sistema. Máquinas similares pueden emplearse en otros sistemas de control autocida.

La mosca mediterránea de la fruta, *Ceratitis capitata* Wiedemann, se encuentra citada en relación a más de 250 especies de frutales y hortalizas. Su alta adaptabilidad a distintos medios y su elevada capacidad de dispersión hacen que sea considerada una de las plagas más importantes en la fruticultura mundial. En la Comunidad Valenciana está considerada como una de las plagas más dañinas, especialmente para la citricultura.

Este insecto puede llegar a completar seis generaciones en las



Foto 1. Avioneta para realizar sueltas aéreas.

condiciones climáticas mediterráneas, empleando diferentes plantas hospedantes. Así, en invierno, las hembras adultas de primera generación atacan a naranjas y clementinas, buscando las partes del árbol más soleadas y siendo los frutos maduros los más susceptibles de ser atacados. En primavera aparece una segunda generación, que pasa a los albaricoques. Al principio del verano hay una tercera generación sobre melocotones y en agosto y septiembre una cuarta y quinta sobre melocotones, peras, higos, caquis, etc. Más tarde hay una sexta generación sobre frutas tardías, como naranjas y mandarinas y, si la temperatura es suave, puede haber alguna generación más.

Aunque todos los cítricos están expuestos a su ataque, es especialmente peligrosa para las variedades extratemperanas (por ejemplo, Marisol) y tardías (por ejemplo, Fortune). Si no se adoptan medidas de control de la plaga, la pérdida de la cosecha puede llegar a ser total.

La plaga está declarada de interés público en la Ley de Sanidad Vegetal y también en distintos decretos del Diario Oficial de la Comu-

nidad Valenciana. Por ello, la Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación (CAPA) de la Generalitat Valenciana realiza todos los años una campaña de lucha contra *C. capitata*. La base de esta campaña está en el seguimiento de poblaciones a través de una red de mosqueros distribuidos en toda la zona cítrica de la Comunidad Valenciana, que tiene aproximadamente unas 170.000 ha. A partir de esta información, se delimitan semanalmente las áreas que superan los umbrales de tratamiento y se llevan a cabo los tratamientos aéreos con el insecticida organofosforado malatión. Paralelamente, se realizan otras actividades como el control de focos en frutales aislados, el uso de trampas quimioesterilizantes y de trampas de captura masiva. Además, desde la pasada campaña, con el objetivo de controlar la proliferación de la plaga en los huertos abandonados, también se han empleado equipos de tratamiento terrestre a ultrabajo volumen montados sobre vehículos todo terreno.

Con el objetivo de disminuir o sustituir los tratamientos aéreos insecticidas, desde hace cinco años la Conselleria ha puesto en marcha un proyecto piloto utilizando la técnica del insecto estéril (TIE), método también conocido como "control autocida". El método consiste en la esterilización por irradiación de un gran número de machos criados masivamente que, al ser liberados, compiten con los machos salvajes por fecundar a las hembras, dando lugar a una descendencia no viable. De esta manera, con el paso de las generaciones, se va produciendo una reducción de las poblaciones silvestres. Se trata, por tanto, de un método de control de plagas con un enfoque preventivo, al contrario que los tratamientos fitosanitarios que responden a una concepción reactiva. La técnica se está aplicando con éxito en Estados Unidos, México, Guatemala, Argentina o Israel y ha dado resultado en distintas plagas.

En las áreas de liberación se hace un seguimiento de las poblaciones mediante una red de trampas. Se ha determinado que la relación entre el número de adultos silvestres y estériles capturados en las trampas debe ser al menos de uno a diez para que los machos estériles puedan competir adecuadamente con los silvestres.

Tras comprobar la eficacia que la lucha autocida puede tener en las condiciones del cultivo de cítricos en la Comunidad Valenciana, la CAPA diseñó una biofábrica en Caudete de las Fuentes, en el interior de la provincia de Valencia. La planta tiene una capacidad de producción de quinientos millones de pupas estériles a la semana, lo que la sitúa como la segunda mayor biofábrica de insectos a nivel mundial.

Máquinas para la liberación de insectos estériles

Como hemos comentado, la finalidad del programa de control autocida contra la mosca mediterránea de la fruta es conseguir que se reduzca la población natural de la plaga introduciendo machos estériles, los cuales, al acoplarse con las hembras salvajes, hacen que éstas no tengan descendencia. Para que el sistema sea eficaz, es necesario que exista una sobreabundancia de machos estériles respecto a las poblaciones de machos salvajes, y por ello se realizan sueltas masivas de machos estériles, normalmente desde aviones.

Los machos estériles, tras ser producidos en la biofábrica, deben ser transportados hasta la zona de suelta y, durante este proceso, han de mantenerse en condiciones de temperatura y humedad óptimas para que, una vez en el ambiente natural, no pierdan su capacidad de competencia frente a los machos salvajes. Las temperaturas adecuadas producen una inactividad en los insectos que permite manipularlos mecánicamente, haciendo que se comporten casi como un material granular. En cambio, si la temperatura es demasiado baja, se

Ceratitis capitata Wiedemann es una de las plagas más importantes en la fruticultura mundial. En la Comunidad Valenciana está considerada como una de las plagas más dañinas para la citricultura. Puede llegar a completar seis generaciones en las condiciones climáticas mediterráneas, empleando diferentes plantas hospedantes

pone en peligro su supervivencia, y si la temperatura es demasiado alta, los individuos incrementan su actividad, vuelan y son difíciles de manejar. Al mismo tiempo, hay que conservarlos a una adecuada humedad para que sobrevivan durante el almacenamiento, evitando las condensaciones, ya que, si se producen, las moscas se pegan unas a otras y se comportan como un material viscoso, lo que aumenta la mortalidad cuando se expulsan.

La suelta de machos estériles desde pequeñas avionetas (**foto 1**) tiene la ventaja de que permite abarcar rápidamente una gran cantidad de la superficie de cultivo. Además, la suelta desde lo alto permite una amplia y rápida dispersión de los insectos. Sin embargo, las condiciones meteorológicas a veces pueden impedir los vuelos. Igualmente, existen zonas del territorio en las que es demasiado arriesgado emplear este sistema, debido a las dificultades de su orografía o a que se producen frecuentemente corrientes de aire que dificultan su empleo. Por ello, también se necesitan sistemas de suelta de insectos desde tierra, no para sustituir a las liberaciones aéreas, sino para complementarlas.

La liberación terrestre tiene unos condicionantes técnicos distintos a los de la liberación aérea. En primer lugar, la velocidad de desplazamiento del vehículo es mucho menor, pues ha de moverse a través de caminos y sendas en las áreas de cultivo. En segundo lugar, la capacidad de dispersión de los insectos es menor, ya que es más difícil utilizar la altura y el viento natural como agente dispersor. Además, las moscas que han de ser liberadas por tierra necesitan que se mantengan las condiciones de temperatura y humedad del sistema de transporte durante más tiempo que en el caso de la suelta aérea.

Con el fin de mecanizar las sueltas, el Centro de Agroingeniería del IVIA ha diseñado y ensayado diversos prototipos de máquinas para la liberación terrestre y aérea de machos estériles con los siguientes condicionantes técnicos:

1. Capacidad para lanzar 1,8 millones de individuos por jornada laboral en el caso de sueltas terrestres y 10 millones de individuos por vuelo en el caso de liberación aérea.
2. Mantenimiento aceptable de los estándares de supervivencia y calidad de los insectos durante el transporte y suelta.
3. Funcionamiento automático, autónomo y económicamente viable.

Descripción de las máquinas

El cuerpo principal de ambos tipos de máquinas de liberación es una cámara construida sobre una caja estanca a base de polietileno, que incorpora un sistema de recirculación de aire basado en ventila-



Foto 2 (izquierda). Vista general de la máquina de liberación. Se observa el panel eutéctico en la parte superior.

Foto 3 (derecha). Detalle de los compartimentos de la máquina de liberación de insectos estériles.

Foto 4 (abajo). Sistema electrónico de control del prototipo.

dores y conductos diseñados específicamente para evitar la condensación del agua y uniformizar la temperatura.

Tras ensayar sistemas de refrigeración electrónicos basados en células de efecto Peltier y comprobar que se requería mucha energía para que fuesen eficientes, se ensayó una solución con paneles eutécticos, que resultó un éxito desde el punto de vista de la conservación de la temperatura, la autonomía de las máquinas y sus costes (**foto 2**).

El interior del cuerpo principal de la máquina está formado por un sistema de compuertas, gobernado por motores eléctricos que, al cerrarse, generan compartimentos, cada uno de ellos con una capacidad de 450.000 moscas. De este modo, se evitan las pérdidas por aplastamiento debidas a la creación de columnas de moscas (**foto 3**). Las compuertas se pueden abrir de manera sucesiva, a intervalos de tiempo programados, descargando así de manera automática las moscas sobre el sistema dosificador.

Las condiciones de temperatura y de dosificación de moscas se controlan mediante un sistema electrónico especialmente diseñado. En el interior del cuerpo principal se colocan sensores de temperatura y humedad conectados al procesador central. Cuando éste detecta que la temperatura asciende, automáticamente pone en funcionamiento los ventiladores hasta que la temperatura vuelve a estar den-

tro del rango de consigna. Asimismo, se controla que no se produzcan condensaciones en el interior de la máquina. La dosificación se realiza mediante un tornillo sinfín, cuya velocidad también es controlada por el microprocesador, en función de los parámetros que establece el operario.

Los machos estériles, tras pasar por el tornillo sinfín, caen sobre el flujo de aire producido por un ventilador, en el caso de las má-

quinas terrestres, o por el propio avance del avión y son liberados a medida que el vehículo se desplaza.

La liberación se realiza de modo automático, por lo que el operario solamente interviene en el proceso antes de iniciar el trabajo. Una vez iniciada la suelta, solamente debe pulsar un botón de pausa en la caja de control electrónico diseñada al efecto si desea detener el proceso (**foto 4**). La máquina permite la comunicación con el equipo propulsor, con el fin de indicar su estado de modo georreferenciado.

Calibración de la máquina terrestre y ajuste de parámetros de diseño

Una vez diseñado el cuerpo principal y los sistemas básicos de las máquinas de liberación, se realizaron ensayos para:

1. Evaluar la capacidad de las máquinas para preservar la calidad de las moscas.
2. Calibrar el sistema de dosificación (determinar las dosis de liberación en función de la velocidad de rotación del tornillo sinfín).
3. Determinar, en el caso de la máquina terrestre, los parámetros óptimos de funcionamiento relacionados con la temperatura de almacenamiento, la forma y disposición de los tubos de salida y la velocidad del flujo de aire.

En todo momento se trató de evaluar la influencia de determinados valores de consigna y de algunos parámetros del diseño sobre la calidad de las moscas liberadas.

Durante los ensayos, los insectos se mantuvieron a dos temperaturas de referencia (6° y 11°C) para determinar cuál de las dos permitía una mejor manipulación de los mismos.

La Generalitat Valenciana trabaja con la técnica del insecto estéril con el objetivo de reducir los tratamientos insecticidas. Ésta consiste en la liberación de grandes cantidades de machos estériles, que se producen masivamente en plantas llamadas biofábricas



Foto 5 (izquierda). PARC boxes listas para realizar manualmente la suelta terrestre.
Foto 6 (derecha). Ensayo del sistema de liberación terrestre.

Ensayo de campo de la máquina terrestre

Para validar los datos obtenidos en los experimentos de laboratorio y comprobar la eficacia en campo de la suelta terrestre con la máquina, se realizó un ensayo dentro de una finca comercial situada en Serra (Valencia). La finca puede considerarse relativamente aislada del efecto de otras zonas de producción cítrica en cuanto a infesta-

ción por *C. capitata* se refiere. Los ensayos se realizaron en la primavera de 2006 y durante los mismos no se aplicó ningún tratamiento químico.

Las sueltas realizadas con la máquina se compararon con la suelta manual realizada con mini PARC boxes (foto 5) por dos operarios situados en la parte trasera de un vehículo, conducido por un tercero, que vaciaban las cajas donde se encontraban las moscas, a razón de tres cajas por minuto (aproximadamente 7.000 moscas/parc box, caja), a medida que el vehículo avanzaba a una velocidad de 20 km/h por una trayectoria predefinida de 8,5 km.



La máquina de liberación terrestre se ajustó para liberar la cantidad equivalente de moscas, a la misma velocidad que en la suelta anterior, manteniendo las moscas a una temperatura constante de 6°C y con una salida de aire de 30 m/s. La liberación se realizó siguiendo la misma trayectoria que en el caso anterior, dejando 30 minutos de diferencia con el fin de que el segundo vehículo no dañase las moscas liberadas con el sistema manual que pudiesen permanecer sobre la ruta (foto 6).

En la finca se distribuyeron de manera uniforme trampas de tipo Nadel (foto 7) y de tipo Tephri (foto 8) cebadas con trimedlure y se realizaron conteos tras el primer, cuarto y sexto día después de la liberación, distinguiendo bajo lupa binocular entre insectos teñidos en amarillo (procedentes de la suelta manual) e insectos teñidos en verde (procedentes de la máquina). Asimismo, se realizaron ensayos de capacidad de vuelo y de longevidad bajo estrés, antes y después de realizar la liberación.

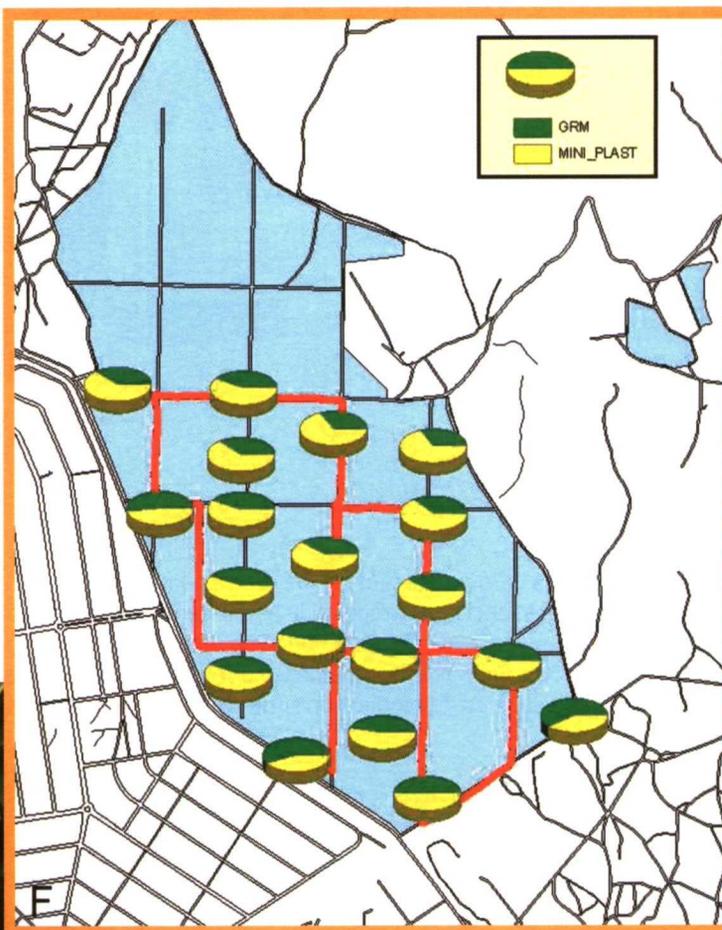
En el experimento de campo no se encontraron diferencias significativas en las capturas totales de las moscas entre los dos sistemas de liberación comparados. Los machos estériles soltados con la máquina de liberación terrestre fueron capturados en números similares a los liberados manualmente con los mini PARC boxes (foto 5). Además, se observó el mismo patrón de distribución de capturas a lo largo de la trayectoria de liberación en ambos sistemas (figura 1).

Foto 7 (arriba). Trampa Nadel.
Foto 8 (abajo). Trampa Tephri.



Figura 1.

Resultados de los ensayos: el porcentaje de individuos recogidos en las trampas es similar en la suelta manual y en la suelta mecanizada.



Se concluye, por tanto, que el prototipo satisfizo todos los requerimientos que se necesitaban para la liberación de insectos estériles desde tierra. La máquina demostró su capacidad para almacenar un alto volumen de insectos estériles, mantener un nivel de supervivencia aceptable y liberar los individuos con una calidad adecuada.

El ensayo de campo, realizado al mismo tiempo con la máquina de liberación terrestre y con la liberación manual de moscas emergidas en mini PARC boxes, demostró que la máquina diseñada es un sistema eficaz de liberación de los machos estériles de *C. capitata* dentro un programa de reducción de poblaciones mediante la técnica del insecto estéril.

La experiencia adquirida permite pensar que se podrán construir máquinas análogas para ser adaptadas en sistemas de lucha contra otras plagas en las que se necesite liberar insectos en condiciones controladas similares. ■

AGRADECIMIENTOS

Parte de este trabajo fue cofinanciado por la Comunidad Europea mediante el proyecto de investigación "Cleanfruit" (FOOD-CT-2003-506495) y por los fondos FEOGA de la Comunidad Europea. Los autores agradecen a la empresa TRAGSA su colaboración en la realización de los ensayos, a la empresa de maquinaria agrícola Bonanza SL la cesión del remolque sobre el que se situó la máquina y a la empresa Cañamas Hermanos SA la cesión de sus parcelas para realizar los experimentos.