

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CAPTURAS DE MACHOS ESTÉRILES Y POBLACIÓN SILVESTRE DE
C. capitata (DIPTERA: TEPHRITIDAE) EN DOS DISPOSICIONES DE
TRAMPEO MASIVO**

por

Agustín CARO CASTILLO

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2023**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. Dra. Felicia Duarte

Ing. Agr. Dra. Victoria Calvo

Tribunal:

Ing. Agr. Dra. Felicia Duarte

Ing. Agr. Dra. Victoria Calvo

Ing. Agr. Dra. Valentina Mujica

Fecha:

15 de setiembre de 2023

Estudiante:

Agustín Caro Castillo

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por apoyarme y acompañarme durante toda la carrera, siendo pilares en mi formación como persona y el impulso necesario para recorrer este camino.

A mis tutoras Felicia y Victoria, que han recorrido conmigo este largo camino y siempre estuvieron acompañando el proceso.

A la Universidad de la República y a sus funcionarios, en especial a la cátedra de Entomología, por brindarme el lugar, los materiales y el conocimiento en estos años para mi formación como profesional.

A la empresa Frutícola Libertad por permitirme realizar los ensayos en su establecimiento y permitirme utilizar las instalaciones cuantas veces quisiéramos.

A la Bioplanta Santa Rosa, de Mendoza, Argentina, por proveernos de los insectos estériles para poder realizar todos los ensayos.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS	3
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	6
RESUMEN.....	7
SUMMARY	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 IMPORTANCIA DE LA PRODUCCIÓN DE FRUTAS EN URUGUAY	10
2.2 LAS MOSCAS DE LA FRUTA	11
2.2.1 Importancia económica.....	11
2.2.2 Distribución	12
2.2.3. Descripción morfológica.....	14
2.2.4. Daños	15
2.2.4.1 Daños directos	15
2.2.4.2 Daños indirectos.....	15
2.2.5 Ciclo biológico.....	16
2.2.6. Hospedantes	17
2.2.7 Alimentación.....	17
2.3. TRAMPEO MASIVO	18
2.4 TÉCNICA DEL INSECTO ESTÉRIL	19
2.4.1 Uso a nivel mundial	20
2.4.2 Potencial uso en Uruguay	20
2.5 TIE y TRAMPEO MASIVO	21
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1 RECEPCIÓN Y MANEJO DE LOS INSECTOS ESTÉRILES	22
3.2 CONTROL DE CALIDAD	24

3.3 DISEÑO DEL EXPERIMENTO	25
3.4 COLECTAS EN CAMPO E IDENTIFICACIÓN EN EL LABORATORIO	27
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y ELABORACIÓN DE MAPAS	28
3.6 HIPÓTESIS	29
3.7 OBJETIVOS.....	29
3.7.1 Objetivo general.....	29
3.7.2 Objetivo específico	29
4. RESULTADOS.....	30
4.1 CONTROL DE CALIDAD.....	30
4.2 EVALUACIÓN DE CAPTURAS DE MACHOS ESTÉRILES Y HEMBRAS SILVESTRES	30
5. DISCUSIÓN	33
6. CONCLUSIONES	35
9. BIBLIOGRAFÍA	36

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.

Cuadro 1. Porcentaje de emergencia y capacidad de vuelo de machos estériles utilizados.	30
---	----

Figura No.

Figura 1 <i>Distribución mundial de Ceratitis capitata.</i>	13
Figura 2 <i>Adultos de Ceratitis capitata. A: hembra, B: detalle oviscapto, C: detalle del ala, D: macho</i>	14
Figura 3 <i>Huevos y pupa de Ceratitis capitata. A: huevos, B: larva, C: pupa</i>	14
Figura 4 <i>Daños en manzana (Malus domestica). Se observan también las larvas de C. capitata.</i>	15
Figura 5 <i>Ciclo de vida de C. capitata.</i>	16
Figura 6 <i>Pupas coloreadas con tinta fluorescente.</i>	22
Figura 7 <i>Adultos coloreados con tinta fluorescente.</i>	23
Figura 8 <i>Recipientes de conservación de los adultos</i>	23
Figura 9 <i>Grilla para control de emergencia de adultos</i>	25
Figura 10 <i>Tubos para medir capacidad de vuelo</i>	25
Figura 11 <i>Cronología del ensayo</i>	26
Figura 12 <i>Trampa Subsin para trampeo masivo, conteniendo en su interior (a) una pastilla de vapon y (b) un cebo en formato de tarjeta TMA atrayente (Trimetilamina)</i>	27
Figura 13 <i>Distribución tipo grilla del ensayo</i>	28
Figura 14 <i>Distribución perimetral del ensayo</i>	28
Figura 15 <i>Capturas acumuladas promedio de machos estériles en la disposición de grilla (A) y perimetral (B)</i>	31
Figura 16 <i>Capturas acumuladas promedio de hembras silvestres en la disposición de grilla (A) y perimetral (B)</i>	31

RESUMEN

Las moscas de la fruta de la familia Tephritidae son de las plagas más importantes de la fruticultura en el mundo. *Ceratitis capitata* y *Anastrepha fraterculus* son las especies presentes en Uruguay que ocasionan daños de importancia económica. Como parte de una estrategia de manejo integrado se plantea la alternativa de combinar el trapeo masivo y la técnica del insecto estéril como forma de reducir el uso de insecticidas. En este trabajo se probó utilizar en simultáneo ambas técnicas, probando dos distribuciones de trampas en conjunto con liberaciones de machos estériles de *C. capitata*. Se observó que con la distribución perimetral se obtiene un porcentaje de recaptura de los machos estériles liberados del 3,3% mientras que con el formato de grilla se recaptura un 14,9%. Esto indica que el formato perimetral sería la mejor opción, ya que se obtiene un menor porcentaje de captura de los machos estériles liberados. En consecuencia, la combinación de ambas técnicas representa una opción viable para el control de *C. capitata* que podría mejorar las herramientas tradicionales del control de esta plaga.

Palabras clave: *Ceratitis capitata*, plaga, técnica del insecto estéril, trapeo masivo, manejo integrado

SUMMARY

Fruit flies belonging to Tephritidae family are some of the most important pests of fruit growing in the world. *Ceratitis capitata* and *Anastrepha fraterculus* are the species that cause economic damage present in Uruguay. As a part of an integrated pest management the alternative to combine mass trapping and the sterile insect technique is proposed. In this trial, the simultaneous use of both techniques was tested, testing two distributions of traps in conjunction with releases of sterile males of *C. capitata*. The results showed that with the perimeter distribution, a percentage of recapture of released sterile males of 3.3% is obtained, while with the grid format, 14.9% are recaptured. This indicates that the perimeter format would be the best option since a lower percentage of captures of the released sterile males is obtained. Consequently, the combination of both techniques represents a viable option for the control of *C. capitata* that could improve the traditional tools for the control of this pest.

Keywords: *Ceratitis capitata*, pest, sterile insect technique, mass trapping, integrated management

1. INTRODUCCIÓN

Las moscas de la fruta *Ceratitis capitata* y *Anastrepha fraterculus* son insectos plagas que ocasionan pérdidas de rendimiento y calidad en todos los frutales producidos en nuestro país. Por tratarse de plagas de interés cuarentenario para diferentes mercados, la situación empeora al afectar frutos de exportación como lo son los cítricos y arándanos ya que se deben cumplir normas fitosanitarias internacionales exigentes.

Los ataques de moscas de la fruta en Uruguay son cada vez más recurrentes y severos debido a la gran cantidad de hospedantes que se encuentran presentes y a la falta de efectividad en las aplicaciones de algunos cebos tóxicos. Existen otros métodos de control, pero el control químico aún es el más utilizado. Sin embargo, el control químico como única estrategia de control no parece ser sustentable en el tiempo ya que los principios activos utilizados son escasos, con riesgo de generación de resistencia y con límites máximos de residuos permitidos cada vez menores.

La técnica del insecto estéril (TIE) es una medida de control específico de plagas que consiste en la liberación inundativa de insectos estériles en un área amplia para reducir la reproducción de una población de campo de la misma especie. Por su selectividad se puede utilizar tanto en campos productivos como en áreas urbanas. A su vez, su efectividad depende de la integración con otras medidas de control, tales como el trapeo masivo, cebos tóxicos y la eliminación de fruta caída.

En este trabajo se planteó como objetivo evaluar las capturas de machos estériles y de hembras silvestres de *C. capitata* en dos disposiciones de trapeo masivo, generando información necesaria en caso de combinar simultáneamente la TIE y el trapeo masivo, como una alternativa al uso de insecticidas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTANCIA DE LA PRODUCCIÓN DE FRUTAS EN URUGUAY

En Uruguay, la producción citrícola ocupa 14500 ha distribuidas en dos zonas principales. La zona norte representa el 91% de la superficie, incluye Salto, Paysandú y parte de Artigas y Río Negro, y la zona sur representa el 9% restante, en los departamentos de San José, Canelones y Montevideo rural. En el sur la producción citrícola coexiste con la producción de frutales de hoja caduca que abarca aproximadamente 4400 ha. El 80% de los frutales de hoja caduca se destina al mercado interno, el 13% a la industria y solamente el 8% se exporta, mientras que el 44% de la producción citrícola se exporta, el 42% se destina al mercado interno, y el 14% a la industria (Casares & Arenares, 2021).

La producción de frutales de hoja caduca se desarrolla principalmente en superficies pequeñas, de escala familiar, a diferencia del sector citrícola que posee una integración vertical marcada y una forma de producción de carácter empresarial. Ocho empresas concentran la mitad de la producción citrícola de nuestro país, siendo que existen más de 400. Esto puede explicarse principalmente por los destinos de la producción de ambos sectores (Casares & Arenares, 2021).

Los principales destinos de exportación en lo que respecta a naranjas son la Unión Europea, Brasil y Estados Unidos, en cuanto a mandarinas son Estados Unidos, Unión Europea y Rusia (Díaz & Ackermann, 2018). Estos mercados poseen estrictas restricciones fitosanitarias en cuanto a la mercadería que ingresa a su país. Por este motivo se debe tener en cuenta que la fruta que se envía no presente ninguna enfermedad o plaga de interés cuarentenario para estos países, por todas las consecuencias económicas que esto traería como ser la suspensión de la carga transitoria o la suspensión indefinida de mercadería a ese país.

2.2 LAS MOSCAS DE LA FRUTA

2.2.1 Importancia económica

Las moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae) son de las principales plagas de los frutales en el mundo. En Uruguay existen dos especies que ocasionan daños de importancia económica *Ceratitis capitata* (Wiedemann) o “mosca del mediterráneo” y *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann) o “mosca sudamericana de la fruta” (Scatoni et al., 2019). Las mismas presentan un amplio rango de hospedantes, en especial *C. capitata* por su adaptación a nuevos ecosistemas lleva más de 350 hospedantes reportados en el mundo (Liquido et al., 1990). Estas plagas ocasionan importantes daños directos en los frutos reduciendo a cero su calidad comercial, pero su mayor daño en Uruguay radica en su calidad de plagas cuarentenarias para los mercados de exportación. *Ceratitis capitata* es cuarentenaria para los Estados Unidos y China, mientras que *A. fraterculus* (Wiedemann) lo es para estos países y para la Unión Europea (Scatoni et al., 2019), según la Secretariat of the International Plant Protection Convention (SIPPC, 2006) significa que esta plaga no está presente en ciertos destinos de exportación, y si está presente se encuentra bajo control oficial.

Para poder exportar fruta cítrica es necesario un exhaustivo control de las condiciones productivas para garantizar el cumplimiento de las medidas fitosanitarias exigidas según el destino. Para que esto se pueda llevar a cabo la Dirección General de Servicios Agrícolas (DGSA) del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP) desarrolló un sistema de certificación que permite la trazabilidad del producto, y la situación sanitaria del lugar de origen (División de Protección Agrícola, 2017b). La DGSA mantiene el sistema de vigilancia de moscas de la fruta, creado en 2001 con el objetivo de monitorear las poblaciones de *A. fraterculus* y *C. capitata* y cumplir con los requisitos según el destino de exportación (División de Protección Agrícola, 2017a).

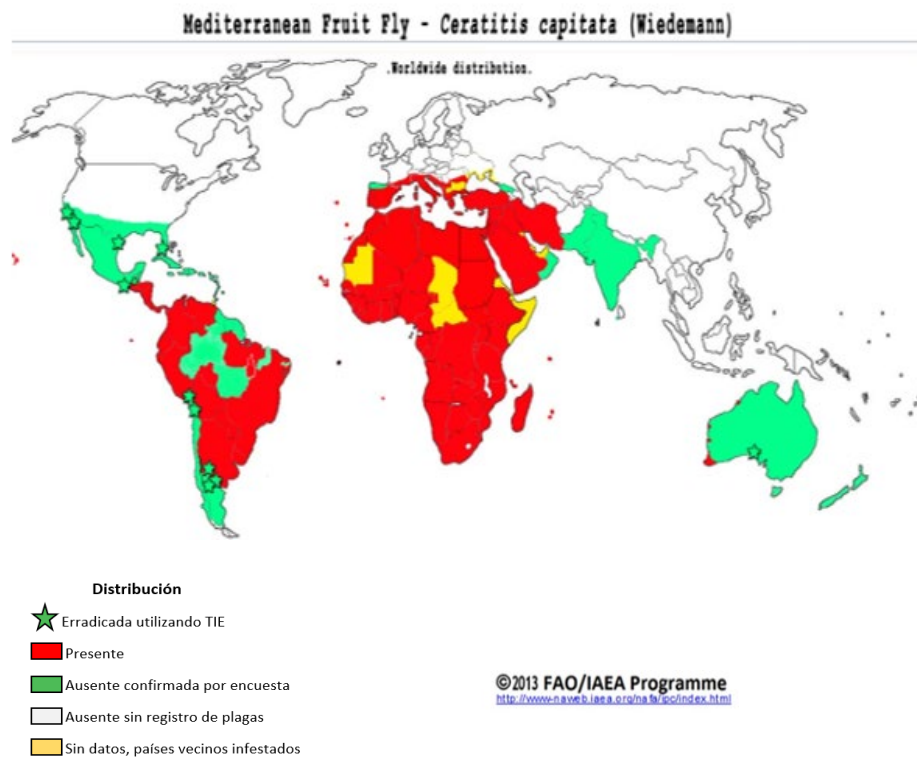
En 2013 se creó el “Plan de trabajo para la certificación fitosanitaria de fruta fresca de cítricos y sus híbridos destinada a la exportación a los Estados Unidos de América”. Entre las medidas cuarentenarias más destacadas en el documento se encuentra el tratamiento de frío, que consta en someter la fruta a una temperatura entre 1,11 y 1,67 °C durante 15 a 17 días dependiendo de la temperatura de la pulpa.

Se menciona además que: la detección de las plagas cuarentenarias durante la inspección postcosecha significará el rechazo del lote y la suspensión de origen de la fruta hasta evaluar la situación y tomar las medidas correctivas correspondientes, y que la fruta habilitada será exportada solo si se inicia el tratamiento cuarentenario para *C. capitata* y *A. fraterculus* en origen y se completa en el tránsito hacia su destino final. En lo que respecta a China, se exigen medidas similares a las anteriormente mencionadas: Los citrus deben producirse en áreas libres de *C. capitata* y *A. fraterculus*, o ser sometidos a un tratamiento de frío en tránsito.

Si bien no se cuenta con información cuantificada del costo total de las medidas implementadas para cumplir con los requisitos fitosanitarios, o lo que implica un rechazo del embarque en el país de destino, queda de manifiesto la importancia de estas plagas. En el presente trabajo se hará foco en *C. capitata*, debido a que los ensayos fueron realizados en esta especie.

2.2.2 Distribución

Ceratitis capitata se distribuye en Centro y Sudamérica, Hawái, sur de Europa, Cercano Oriente, África y Australia (Bentancourt & Scatoni, 2010). En el siguiente mapa se observa la distribución de la plaga según las condiciones en las que se encuentra en cada país.

Figura 1*Distribución mundial de Ceratitis capitata.*

Nota. Adaptado de Food and Agriculture Organization e International Atomic Energy Agency (FAO & IAEA, 2013).

2.2.3. Descripción morfológica

Los adultos de *C. capitata* miden entre 4,5 y 5,5 mm, las hembras son de mayor tamaño (Figura 2). Los machos presentan unas características setas sobre la frente que culminan en una paleta romboidal que permiten diferenciarlos fácilmente de las hembras. Las hembras presentan el abdomen en forma cónica, y ovipositor corto y robusto (Figura 2). Los huevos son de forma ovoide, de 1 x 0,22 mm, blanquecinos al inicio de la puesta tornándose luego amarillentos. La larva es blanquecina, alargada, ápoda, afilada anteriormente y truncada posteriormente. Muda dos veces alcanzando un tamaño de 9 x 2 mm. Una vez concluida la última muda comienza la etapa de pupa, la exuvia se convierte en una cubierta protectora (Figura 3). En la misma se dan numerosas transformaciones hasta la emergencia del adulto (Ros, 1988).

Figura 2

Adultos de Ceratitis capitata. A: hembra, B: detalle oviscapto, C: detalle del ala, D: macho

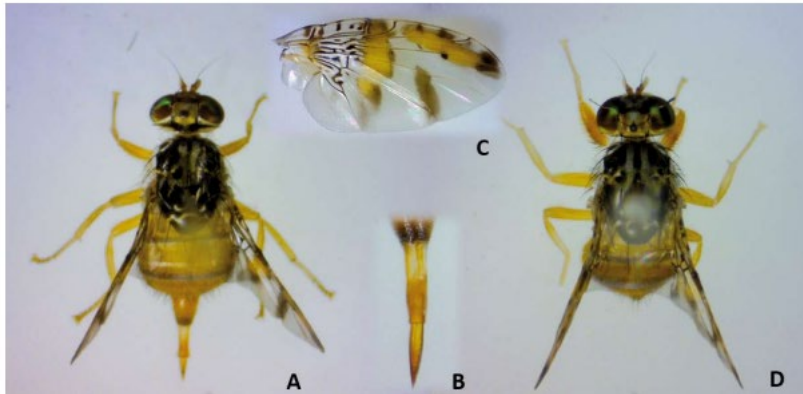
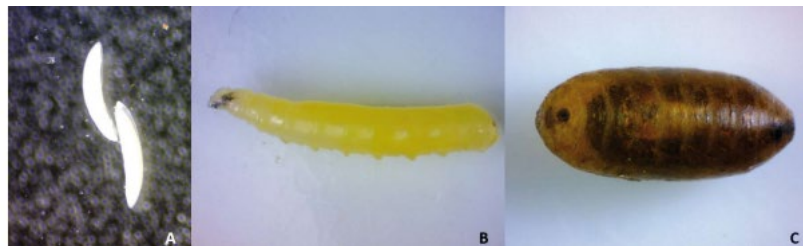


Figura 3

Huevos y pupa de Ceratitis capitata. A: huevos, B: larva, C: pupa



2.2.4. Daños

2.2.4.1 Daños directos

Los daños directos de las moscas de la fruta los causan las larvas al alimentarse y desarrollarse dentro del fruto. A medida que se desarrollan roen la pulpa del fruto con su mandíbula por lo que generan una eventual pudrición del fruto disminuyendo a cero su valor comercial. El daño de la oviposición de la hembra en la fruta también resulta en un descenso de la calidad comercial ya que es una posible vía de entrada de patógenos, además del daño directo cosmético del orificio. Los daños a su vez causan una caída prematura del fruto (Bentancourt & Scatoni, 2010).

2.2.4.2 Daños indirectos

El perjuicio económico más importante que tiene *C. capitata* es por su calidad de plaga cuarentenaria. Esto implica un incremento en los costos de producción ya que se deben cumplir los requisitos impuestos por los países destino de exportación para garantizar que la fruta está libre de la plaga.

Figura 4

Daños en manzana (Malus domestica). Se observan también las larvas de C. capitata.

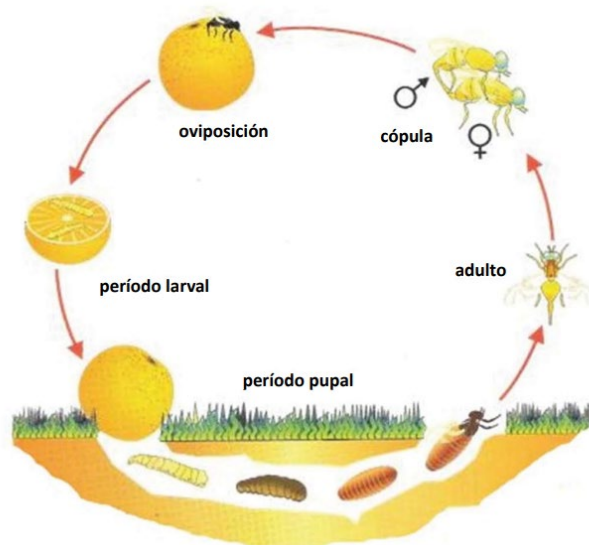


2.2.5 Ciclo biológico

C. capitata presenta holometabolía o metamorfosis completa, es decir, presenta fases de huevo-larva-pupa-adulto en su desarrollo (Figura 5). Las hembras inician la puesta de huevos a las tres semanas de la emergencia. El ciclo comienza cuando la hembra por medio del ovipositor coloca los huevos perforando la cutícula del fruto realizando una pequeña cavidad, donde coloca de dos a diez huevos. Una hembra durante su vida puede producir de 100 a 500 huevos. La eclosión de los huevos tarda de dos a siete días dependiendo de la temperatura. Las larvas una vez emergidas continúan penetrando la pulpa del fruto y pasan por tres estadios hasta la etapa pupal, que la realizan en la tierra. El tiempo de desarrollo larval a temperaturas entre 13 y 28 °C se completa en un período de 6 a 11 días (Christenson & Foote, 1960). Una vez finalizado el tercer estadio, la larva sale de la fruta en busca de un lugar seco para pupar, como la hojarasca o el suelo, y se entierra a profundidades variables. Este ciclo puede completarse en menos de 30 días según las temperaturas (Scatoni et al., 2019).

Figura 5

Ciclo de vida de C. capitata.



Nota. Tomado de García (2012).

2.2.6. Hospedantes

C. capitata presenta más de 350 especies de plantas hospedantes reportadas (Liquido et al., 1990). Al no presentar diapausa y disponer de hospedantes susceptibles los ataques de mosca de la fruta en Uruguay se dan a lo largo de todo el año (Oroño et al., 2006). Sin embargo, las mayores poblaciones se dan en las estaciones de verano y otoño coincidiendo con la maduración de los frutos de carozo, pepita, nativos, y algunas variedades cítricas (Scatoni et al., 2019).

2.2.7 Alimentación

Los adultos recién emergidos necesitan alimentarse de sustancias azucaradas y proteicas para poder madurar sexualmente. Estas sustancias contienen, por ejemplo, aminoácidos esenciales que los insectos no pueden producir por sí mismos. En la naturaleza encuentran este tipo de sustancias tanto en frutos dañados, mielecilla generada por daños de otros insectos o incluso heces de aves (Oviedo, 2009).

En el caso de *C. capitata*, el consumo de proteína en adultos hace que los machos comiencen a emitir feromonas rápidamente, aumentando a su vez la capacidad de hacerlo. Además, aumenta la capacidad de participar en los despliegues de la cópula y esto se traduce en un mayor número de cópulas exitosas finales (Manrakhan & Lux, 2006; Yuval et al., 2007). Respecto a las hembras, las que consumen proteína son más receptivas para la copula que las que no reciben dicho nutriente (Cangussu & Zucoloto, 1997).

Varias medidas de control y monitoreo se basan en la necesidad de las moscas de la fruta de ingerir alimento previo a la reproducción, entre las que se encuentra el trampeo masivo. Los atrayentes más utilizados a nivel mundial de origen alimenticio son la trimetilamina, acetato de amonio, putrescina y proteínas hidrolizadas (Dominiak, 2006; Morton & Bateman, 1981; Oviedo, 2009).

2.3. TRAMPEO MASIVO

El trampeo masivo consiste en la colocación de un elevado número de trampas en una determinada superficie con el objetivo de capturar el mayor número posible de insectos plaga en cuestión. En este caso el objetivo es capturar *C. capitata*, principalmente hembras vírgenes para evitar la oviposición en la fruta. En los últimos años se ha avanzado mucho en este aspecto, mejorando cada vez más los cebos para atraer únicamente la especie plaga objetivo, ya que, al colocarse las trampas en el campo, eventualmente atrapan insectos benéficos tales como abejas o enemigos naturales, aspecto que se busca disminuir. Uno de los principales beneficios del trampeo masivo, además de su efectividad, es que no libera sustancias tóxicas al ambiente y que las trampas son reutilizables. Si bien es una práctica costosa ya que implica altas densidades de trampas por unidad de superficie, está comprobado que la técnica es rentable y funciona (Figuerola et al., 2019; Navarro-Llopis et al., 2008).

Existen diferentes tipos de trampas de trampeo masivo utilizadas en nuestro país. Todas aseguran la obtención de fruta con nula o casi nula cantidad de residuos (Buenahora & Otero, 2012). Los productos comerciales como la proteína hidrolizada, la trimetilamina líquida, y la tarjeta difusora de trimetilamina son los más ampliamente utilizados por los fruticultores para la captura masiva en Uruguay (Delgado, 2020).

Dependiendo del tipo de trampa, del atrayente, de la marca comercial y del cultivo, se recomiendan dosis que varían entre 50 y 120 trampas por hectárea (Delgado, 2020). Según Buenahora (2015) existe un efecto barrera de las trampas, es decir, que limitan fuertemente el ingreso de las plagas al interior del cuadro si las trampas son colocadas en el perímetro del mismo. A su vez, el momento de colocación es importante, siendo este aproximadamente 45 días previo a cosecha. Se probó que colocarlas con mayor anticipación que la mencionada no genera ningún efecto adicional, por lo que es innecesario (Buenahora & Otero, 2012).

Cohen y Yuval (2000) propusieron que las distribuciones de trampas a lo largo del perímetro de los cuadros son efectivas para el control de poblaciones de *C. capitata*. En los ensayos realizados, las capturas de las hembras se vieron influenciadas por la presencia de hospedante alternativos encontrados en los

alrededores del cuadro, pero el daño fue significativamente menor con el diseño perimetral que con el ensayo testigo sin trampeo.

Según Navarro-Llopis y Vacas (2014), en áreas de gran superficie la distribución de las trampas debe ser en formato de grilla u homogénea, mientras que en superficies pequeñas o cuadros rodeados de huéspedes alternativos se adecúa mejor una distribución de trampas perimetral. Los mismos autores afirman que si el trampeo se repite consecutivamente a lo largo de los años, la densidad de trampas por hectárea podría reducirse.

2.4 TÉCNICA DEL INSECTO ESTÉRIL

La técnica del insecto estéril (de ahora en más TIE) consiste en la cría masiva y posterior esterilización y liberación de insectos de una especie plaga en cuestión. Es un método de control efectivo, específico a nivel de especie, y amigable con el ambiente, ya que no libera residuos tóxicos al mismo. Los insectos estériles son liberados en las áreas afectadas por la plaga, y cuando estos se aparean con los insectos silvestres interrumpen el desarrollo reproductivo de la misma ya que no se logra la fecundación. En el caso de moscas de la fruta, la esterilización se da en la etapa de pupa (SIPPC, 2006; Hendrichs et al., 2002; Martin & Enkerlin, 2020).

Para que la TIE sea aplicada de manera eficiente, deben cumplirse ciertos requisitos. Primero tiene que existir un método de cría masiva y esterilización que sea efectivo y económico. A su vez, que sea económico el empaque y la liberación masiva. La calidad de los machos estériles es determinante, deben poder competir de manera correcta con los machos silvestres por la cópula con la hembra silvestre, de lo contrario no habrá reducción de la reproducción (Martin & Enkerlin, 2020).

El texto de FAO y IAEA (2005) menciona que esta técnica debe ser aplicada en superficies amplias para evitar que hembras grávidas (cargadas de huevos) ingresen al área provenientes de otra zona. No debe utilizarse como una medida de manejo individual y no tiene la misma respuesta si lo utiliza un productor de manera aislada. A diferencia de los insecticidas, la TIE, puede utilizarse tanto en áreas extensas productivas, como zonas urbanas o incluso los fondos de los hogares.

2.4.1 Uso a nivel mundial

La técnica fue desarrollada en Estados Unidos, y actualmente se encuentra ampliamente distribuida en el mundo. En numerosos países se producen masivamente insectos estériles. Solo para *C. capitata* existen biofábricas de cría masiva en Argentina, Australia, Brasil, Chile, Costa Rica, Guatemala, Israel, Méjico, Perú, Sudáfrica, España, Túnez y Estados Unidos (FAO et al., 2022; Hendrichs & Robinson, 2009). Según Martin y Enkerlin (2020) el progreso en la producción y cría masiva de insectos estériles y el avance en los sistemas de información, son factores que, combinados con el aumento de la demanda por la reducción del uso de plaguicidas, favorecieron el uso de la TIE en los programas de manejo integrado de plagas. A modo de ejemplo, en el sur de México *C. capitata* fue removida completamente mediante 30 años de liberaciones consecuentes de insectos estériles.

2.4.2 Potencial uso en Uruguay

En nuestro país no existen empresas que produzcan insectos estériles de *C. capitata*, pero sí las hay en países vecinos como Argentina, Brasil y Chile (Hendrichs & Robinson, 2009). Esto permitiría la implementación de la TIE mediante la importación de los insectos irradiados. Durante el transporte los insectos deben mantenerse a una temperatura cercana a los 20 °C. En ningún caso los contenedores deben estar bajo condiciones de congelamiento o pasar más de unos pocos minutos a temperaturas superiores a 30 °C. La ruta debe seleccionarse para minimizar el tiempo total de envío. Aunque las pupas se han mantenido bajo hipoxia durante 40 horas para algunos programas, la calidad comienza a disminuir rápidamente cuando la hipoxia se extiende más allá de 24 horas (FAO et al., 2022).

Para que la técnica se pueda llevar a cabo correctamente, hay ciertos parámetros que deben cumplirse. Los insectos deben emerger y presentar buena capacidad de vuelo para sobrevivir hasta alcanzar la madurez sexual para luego copular con las hembras silvestres en el campo (FAO & IAEA, 2005). Estas condiciones fueron probadas por Duarte et al. (2020) con pupas importadas de la bio-fábrica Santa Rosa ubicada en Mendoza, Argentina y se obtuvieron buenos resultados.

2.5 TIE y TRAMPEO MASIVO

Para ser efectiva la TIE debe aplicarse de manera integrada con otros métodos de control de la plaga (IAEA, 1999) y no de manera aislada. A diferencia de las medidas de control tradicionales como las basadas en insecticidas que reducen su efectividad conforme se reduce la cantidad de insectos, la TIE presenta una respuesta inversa a la densidad de la plaga, es decir que aumenta su efectividad a medida que los niveles poblacionales de la plaga se reducen (Martin & Enkerlin, 2020).

Se encuentran autores que mencionan que cuando las poblaciones de *C. capitata* son altas, se puede pensar en la combinación de la TIE con otro método de control para reducir la población de la plaga (Enkerlin & Mumford, 1997). Esto puede ser en combinación con control químico, atraccidas, control biológico o trampeo masivo (Katsoyannos & Papadopoulos, 2004). Sin importar cuales técnicas de control se combinen, no deberán interactuar de forma antagonista entre sí, ya que sería contraproducente para el objetivo de controlar la plaga (Suckling et al., 2014).

Según Suckling et al. (2012) una de las dificultades de la combinación de la TIE con trampeo masivo es que los insectos estériles liberados en el campo caerían en las trampas de trampeo masivo, y, además, las trampas se verían saturadas con los mismos insectos estériles liberados. Sin embargo, el desarrollo de atrayentes sintéticos para hembras permite combinar estrategias de liberación de machos ya que los mismos se verían menos atraídos hacia las trampas.

Respecto a las ventajas de combinar las estrategias, Hafsi et al. (2020) menciona que el trampeo masivo es una estrategia ampliamente utilizada en el mundo ya que no deja residuos en fruta y es seguro para los que lo manipulan, misma característica que presenta la TIE (Dias & Garcia, 2014) por lo que su combinación resultaría inocua y amigable con el ambiente.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 RECEPCIÓN Y MANEJO DE LOS INSECTOS ESTÉRILES

El 15 y 22 de abril de 2021 se recibieron 100.000 pupas de *Ceratitis capitata* pertenecientes a la cepa Vienna 8 tsl provenientes de la bioplanta Santa Rosa en Mendoza, Argentina. Los envíos se realizaron vía aérea, arribando al Aeropuerto de Carrasco, ubicado en Canelones, Uruguay.

Cada partida se envió en avión mediante aerolíneas comerciales en heladeras de espuma plast con gel refrigerante asegurando que la temperatura no superara los 20 °C durante el traslado para reducir el metabolismo de las pupas y que éstas no emergieran antes de tiempo. Una vez recibidas en el aeropuerto de Carrasco, fueron trasladadas hacia el laboratorio de Entomología en la Facultad de Agronomía. Inmediatamente recibido en el laboratorio el paquete original era abierto y se colocaba en recipientes de plástico. Las pupas irradiadas estaban cubiertas con polvo fluorescente color ladrillo generando que los adultos al emerger quedaran teñidos con este color fácilmente identificable bajo luz negra (Figura 7).

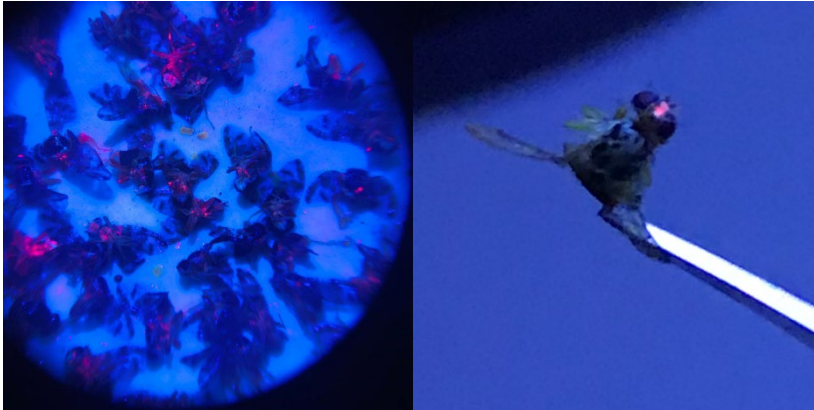
Figura 6

Pupas coloreadas con tinta fluorescente.



Figura 7

Adultos coloreados con tinta fluorescente



Una muestra de cada lote fue seleccionada para realizar pruebas de calidad, que se desarrollarán posteriormente. Las pupas eran acondicionadas en recipientes plásticos de 8 litros cubiertos con voile, papel absorbente en el fondo del mismo, agua y comida (papel con azúcar y proteína en proporción 3:1).

Figura 8

Recipientes de conservación de los adultos



Se colocaron 2500 pupas por recipiente, y se liberaron dos recipientes por punto de liberación. Los recipientes que posteriormente iban a ser liberados en el campo eran conservados a 23 °C en un sector del departamento de Protección

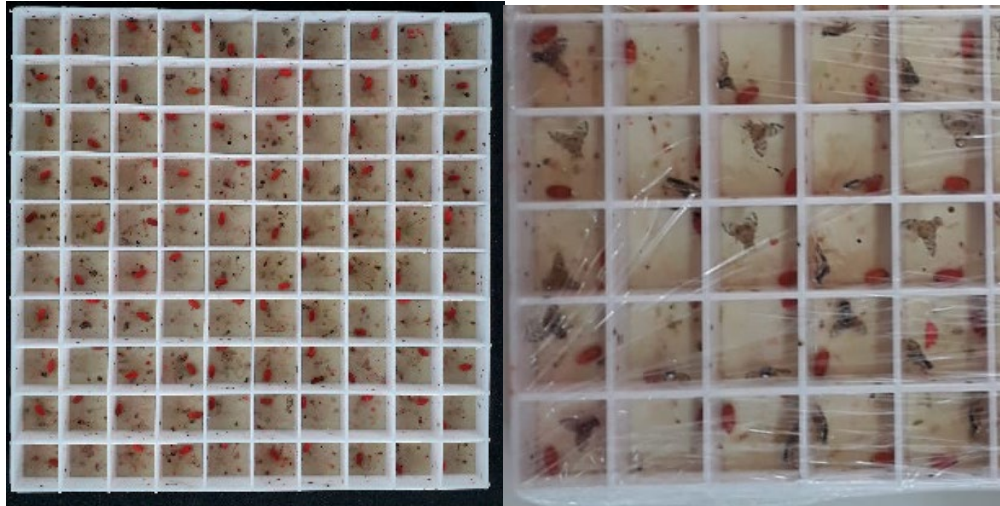
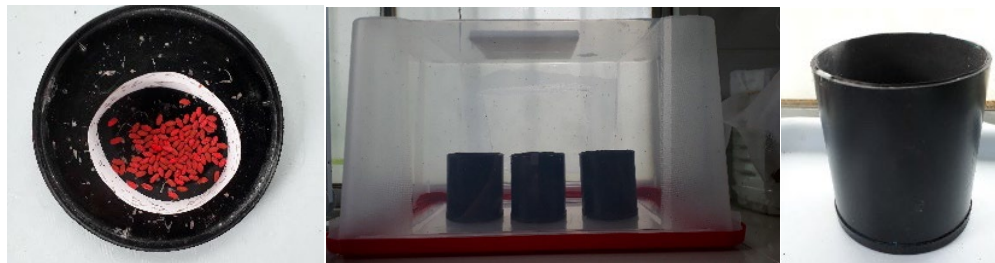
Vegetal de la Facultad de Agronomía, en la Unidad de Entomología. Luego de cinco días post emergencia, los machos adultos se encontraban en condición para ser liberados en el campo ya que este es el tiempo óptimo para que los mismos alcancen su madurez sexual y se encuentren en condiciones para competir con los machos silvestres por la cópula con las hembras silvestres (FAO & IAEA, 2005).

3.2 CONTROL DE CALIDAD

Se seleccionó una muestra de 400 pupas de cada lote para medir tanto el porcentaje de emergencia como la capacidad de vuelo de los adultos. Los mismos estudios se realizaron previos al embarque del mismo lote en el laboratorio de ISCAMEN, en Mendoza. El propósito fue confirmar que no hubiera deterioros de la calidad de las pupas en el traslado a Uruguay.

El porcentaje de emergencia fue medido colocando 100 pupas en una grilla la cual era envuelta en film para evitar el vuelo de los adultos emergidos. A las 48 horas se contaron la cantidad de adultos emergidos (Figura 9).

Para el estudio de la capacidad de vuelo se colocaron en 3 recipientes, 100 pupas en cada uno. Los recipientes eran tubos negros de aproximadamente 9 cm de diámetro, con talco en las paredes de los mismos para que los adultos no pudieran salir caminando, sino que únicamente volando. Los tubos se colocaron en una caja de emergencia tapada de la cual los adultos no podían escapar (Figura 10). Pasadas 48 horas se contabilizaron la cantidad de pupas no emergidas y moscas emergidas que no pudieran volar, obteniendo el total de moscas que sí podían volar, por diferencia. Las diferencias entre los lotes post-irradiación y post-embarque se realizaron mediante el test de Kolmogorov-Smirnov ($P\text{-value} < 0.05$).

Figura 9*Grilla para control de emergencia de adultos***Figura 10***Tubos para medir capacidad de vuelo*

3.3 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

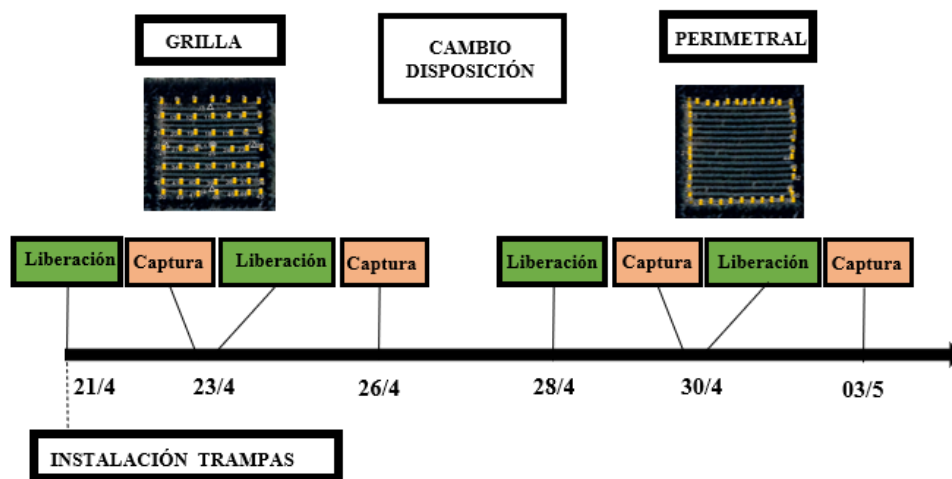
El ensayo se realizó en tres cuadros de mandarina Afourer (*Citrus reticulata*) del predio Frutícola Libertad, próximo a la ciudad de Libertad, departamento de San José. Se colocaron 50 trampas por cuadro (cada cuadro de una hectárea) primero en un formato de grilla (Figura 13) y luego en disposición perimetral (Figura 14).

El formato de grilla implicó que las trampas estuvieran dispuestas a lo largo y ancho de todas las filas del cuadro, mientras que en el perimetral o periférico solo se ubicaban trampas en la periferia de los cuadros.

Los cuadros se seleccionaron separados físicamente entre sí un mínimo de 100 m para que las liberaciones no se solaparan. En total se colocaron 150 trampas Sübsin, numeradas del 1 al 50 la primera repetición, del 51 al 100 la segunda repetición, y del 101 al 150 la tercera, cada trampa con una tarjeta atrayente para hembras TMA (5.74 g L-1 (trimetilamina, Sübsin[®], Quemar SRL, Mendoza, Argentina) una pastilla de vapona (insecticida diclorvos) y cuatro orificios para que ingresen las moscas (Figura 12).

Figura 11

Cronología del ensayo



En la disposición de grilla las trampas se colocaron a 5 plantas de distancia aproximadamente, a 1,5 m de altura, buscando que la entrada a las mismas no se encuentre obstruida por el follaje de la planta. En la disposición periférica se colocaron todas las trampas bordeando el cuadro, a la misma altura que en la disposición de grilla. En el centro del cuadro se marcó con cintas un punto de liberación en el cual se liberaron 5000 machos estériles 2 veces por semana, los días lunes y miércoles.

Se realizaron dos liberaciones en cada una de las disposiciones en los tres cuadros en el campo obteniéndose así 6 repeticiones por tratamiento. Los individuos capturados en las trampas eran colectados a los 2 días de las liberaciones, es decir, el miércoles se recolectaban las liberaciones del lunes, el viernes se

recolectaban las liberaciones del miércoles. Una vez que se colectó la última fecha en la disposición de grilla, se cambió la distribución de las trampas al formato perimetral, y se repitieron las liberaciones y colectas de las trampas de la misma manera, como indica la Figura 11.

3.4 COLECTAS EN CAMPO E IDENTIFICACIÓN EN EL LABORATORIO

Las capturas de las trampas se colocaron en frascos correctamente identificados, cada frasco correspondiente a una trampa del 1 al 150 y se conservaron en heladera a una temperatura aproximada de 5°C hasta su posterior identificación. Las muestras se observaron bajo luz negra, para poder identificar cantidad de hembras y machos silvestres, y cantidad de macho estériles. Las muestras se mantuvieron identificadas con la fecha de liberación y con el número de trampa correspondiente.

Figura 12

Trampa Subsin para trampeo masivo, conteniendo en su interior (a) una pastilla de vapoona y (b) un cebo en formato de tarjeta TMA atrayente (Trimetilamina)



3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y ELABORACIÓN DE MAPAS

Con los datos obtenidos se calcularon el promedio de captura de las trampas por tratamiento, y el porcentaje de recaptura, siendo este último el valor de captura de machos estériles en relación a la cantidad de machos liberados. Las diferencias entre el porcentaje de machos estériles recapturados, y las diferencias en las capturas de hembras silvestres en ambos diseños de distribución de trampas fueron testeadas por medio de la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Se realizaron mapas de distribución de las capturas para apreciar si hay efecto de la cercanía de las trampas al punto de liberación y el efecto de la distribución de las trampas en las capturas de machos estériles y de hembras silvestres. Para ello se promediaron las 6 repeticiones, considerando cada trampa con similar ubicación en los cuadros y la repetición en el tiempo.

Figura 13

Distribución tipo grilla del ensayo

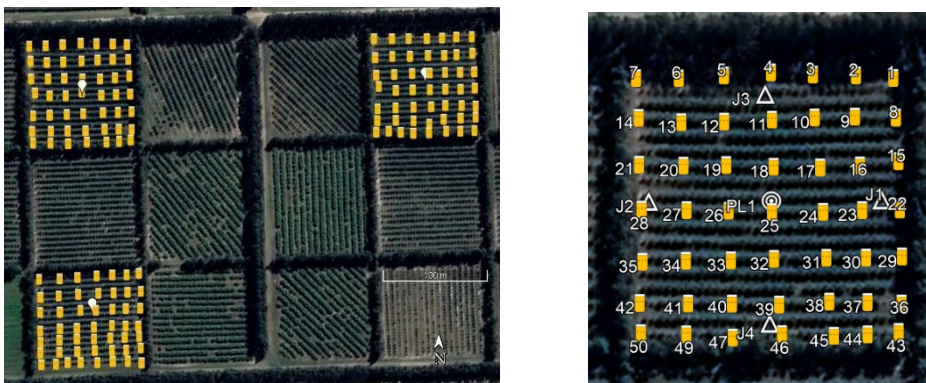
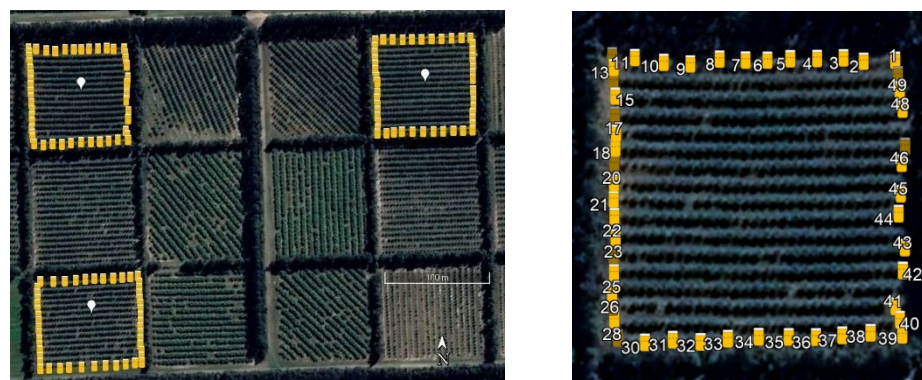


Figura 14

Distribución perimetral del ensayo



3.6 HIPÓTESIS

Se puede utilizar la técnica del insecto estéril en combinación con el trapeo masivo para el control de la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* sin afectar significativamente la cantidad de machos estériles a liberar y sin que se produzca saturación de las trampas por la captura masiva de insectos estériles.

3.7 OBJETIVOS

3.7.1 Objetivo general

El objetivo general de este trabajo fue aportar al desarrollo de una estrategia de manejo inocua para disminuir las pérdidas que ocasiona *C. capitata*.

3.7.2 Objetivo específico

El objetivo específico de este trabajo fue evaluar las capturas de machos estériles y de hembras silvestres en dos disposiciones de trapeo masivo, para estudiar la posibilidad de utilizar la TIE y el trapeo masivo en simultáneo.

4. RESULTADOS

4.1 CONTROL DE CALIDAD

Tanto el porcentaje de emergencia como la capacidad de vuelo de los machos estériles alcanzaron los umbrales de aceptabilidad de FAO, IAEA, y United States Department of Agriculture (FAO et al., 2022) para la correcta implementación de la TIE (Cuadro 1). Además, no hubo diferencias entre los porcentajes de emergencia y la capacidad de vuelo entre las muestras de Mendoza y Montevideo, por lo que se descarta que el traslado de las pupas haya afectado la calidad de las mismas.

Cuadro 1

Porcentaje de emergencia y capacidad de vuelo de machos estériles utilizados.

		Media± SD (%)	Valores mínimos requeridos ¹
Porcentaje de emergencia (%)	Post-irradiación	94,0±4.3a	75
	Post-embarque	86,7±7.9a	70
Moscas voladoras (%)	Post-irradiación	87,9±6.0A	70
	Post-embarque	87,2±9.2A	65

Nota. Elaborado a partir de FAO et al. (2022).

4.2 EVALUACIÓN DE CAPTURAS DE MACHOS ESTÉRILES Y HEMBRAS SILVESTRES

En el ensayo de campo se observó que en la disposición perimetral hubo menor cantidad de capturas de machos estériles que en la disposición en grilla. En esta última, de las 30.000 moscas liberadas el 14,9% fueron re-capturadas, mientras que en la disposición perimetral solo lo fueron el 3.3% (Kolmogorov Smirnov, $p < 0,001$).

En la figura 15 se observa que los machos estériles en la disposición en grilla fueron capturados en su mayoría por las trampas más cercanas al punto de liberación, entre 5 y 25 metros. Algunas trampas tuvieron capturas mayores a 200 machos estériles, con descenso de las capturas hacia los bordes del cuadro. Igualmente, el 82% de las trampas capturaron menos de 20 machos estériles, mientras que el 9% capturó más de 100. Respecto al diseño perimetral, el 99% de las trampas capturaron menos de 20 machos estériles mientras que tan solo el 0.66% de las trampas capturaron más de 100.

Figura 15

Capturas acumuladas promedio de machos estériles en la disposición de grilla

(A) y perimetral (B)

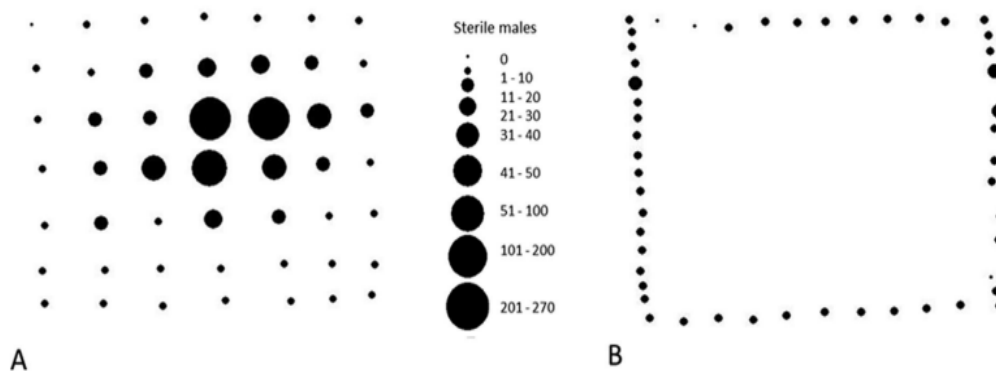
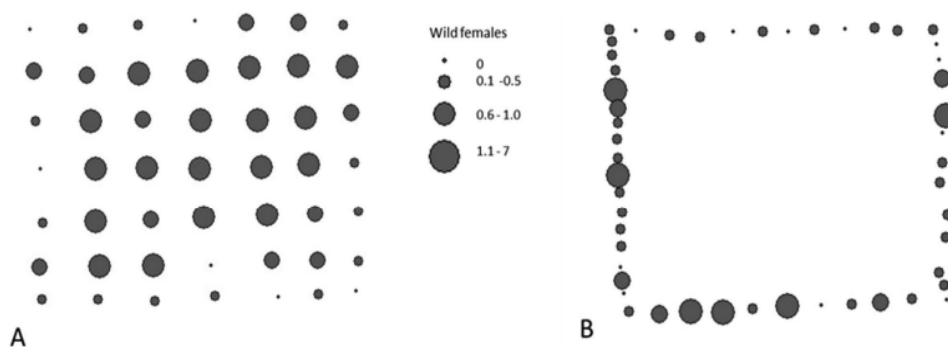


Figura 16

Capturas acumuladas promedio de hembras silvestres en la disposición de

grilla (A) y perimetral (B)



Las capturas de las hembras silvestres estaban distribuidas en todo el cuadro en la disposición en grilla (Figura 16A) teniendo un promedio de capturas totales por cuadro mayor que el diseño perimetral, $65,8 \pm 32,3$ contra $23,6 \pm 6,6$ ($P=0,05$). La relación hembras silvestre: macho silvestre en el diseño perimetral y de grilla fueron 1,8 y 2,1:1 respectivamente.

5. DISCUSIÓN

Dados los resultados obtenidos, se puede afirmar que es viable la obtención de insectos estériles importados desde la Biofábrica Santa Rosa que cumplan con los estándares requeridos para la técnica, por lo que se puede pensar en la TIE como una herramienta de control disponible a ser utilizada en Uruguay.

Respecto a la combinación de ambas técnicas, Suckling et al. (2012) mencionan que una aplicación en simultaneo de trampeo masivo con liberación de insectos estériles es contraproducente. Su argumento es que los insectos estériles se verían atraídos por las trampas, perdiendo su accionar y, además, las saturarían, imposibilitando que las mismas sigan capturando insectos. Mencionado esto, no se ha encontrado información acerca de cuantas moscas son necesarias para la saturación de una trampa, por lo que se realizó un estimativo teórico. Asumiendo que no existe pérdida de atracción debida a otros factores más que a la descomposición de las propias moscas capturadas, y suponiendo que cada mosca ocupa un volumen de 0,125 cm³ y que cada trampa tiene una capacidad de medio litro en volumen, en 500 ml entrarían 4000 moscas. Bajo este supuesto, para saturar una trampa Sübsin se necesitarían 4000 moscas, por lo que no ocurriría saturación de trampas por capturas de insectos estériles en el diseño perimetral, y en el diseño de grilla menos del 10% de las trampas se podrían saturar en toda una temporada, asumiendo liberaciones similares durante los 45 días previos a cosecha.

Se observó que el diseño perimetral obtuvo menor cantidad de capturas de machos estériles que el diseño de grilla, demostrando una menor atraktividad de las trampas ubicadas en la periferia del cuadro, incluso cuando no hubo trampas entre los 5 y 35 metros más cercanos al punto de liberación, por lo que se concluye que los machos estériles son poco atraídos hacia las trampas alimenticias a distancias superiores a los 35m.

Wong et al. (1982) menciona que, de utilizarse atrayentes de machos en el trampeo masivo, los machos estériles liberados se verán atraídos a las trampas perdiendo eficiencia en el apareamiento con las hembras silvestres. Sin embargo, si el trampeo masivo tiene como población objetivo a las hembras, la TIE y el trampeo masivo podrían utilizarse simultáneamente ya que las trampas controlarían la

población de hembras, y no afectarían la relación macho estéril: silvestre (Navarro-Llopis & Vacas, 2014).

Navarro-Llopis y Vacas (2014) plantean que los principales factores que afectan los patrones de distribución espacial y temporal de las moscas de la fruta son las condiciones ambientales y la disponibilidad de hospedantes. Generalmente las poblaciones aumentan cuando hay disponibilidad de hospedantes, y durante los picos poblacionales las moscas pueden trasladarse a especies no hospedantes, posiblemente en búsqueda de sitios de alimentación o apareamiento o trasladarse a montes o quintas aledañas, por lo que el trampeo perimetral podría mejorar la eficacia del trampeo masivo en algunos casos al reducir la inmigración. De todos modos, las estrategias de trampeo masivo eficientes comúnmente emplean una alta densidad de trampas distribuidas uniformemente sobre el área a tratar, lo que parece intuitivamente la forma más efectiva de eliminar la mayor proporción de la plaga. En este experimento las capturas de hembras fueron mayores en la disposición en grilla que en la perimetral, por lo que se recomienda que al enfrentarse a una población de moscas la cual no se sabe su distribución, se debe disponer las trampas de modo que quede la mayor superficie cubierta.

En base a lo planteado anteriormente y los resultados obtenidos respecto a las capturas de machos estériles en los dos tratamientos, es posible pensar en la aplicación simultánea del Trampeo Masivo con la Técnica del Insecto Estéril en situaciones donde se dispongan las trampas a una distancia de al menos 35m de los puntos de liberación de macho estéril. Esta estrategia podría adaptarse en casos donde la población de moscas silvestres provenga de la inmigración desde zonas adyacentes. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en ciertos casos la disposición en grilla de las trampas puede ser más efectiva. Por otra parte, el hecho de que en ciertas circunstancias el trampeo masivo sea más efectivo cuanto mayor superficie cubra, es considerando al trampeo masivo como única estrategia de control. Sería necesario tener en cuenta que puede existir una sinergia de la combinación de ambas estrategias que podría mejorar la eficacia independientemente de la distribución de las moscas al momento de instalar el trampeo masivo, pero esto debería ser evaluado.

6. CONCLUSIONES

Como conclusión preliminar de este trabajo se plantea que es posible diseñar una estrategia de control de la población y del daño de *C. capitata* con la aplicación en simultáneo de trapeo masivo con TIE como forma de restringir el uso de insecticidas.

Dados los resultados obtenidos, la TIE y el trapeo masivo pueden ser aplicadas simultáneamente en una distribución perimetral con las trampas colocadas al menos a 35 m del punto de liberación, sin la necesidad de incrementar sustancialmente la dosis de machos estériles liberados. Al combinar las estrategias debería de considerarse un 15% más de la dosis de macho estéril requerida por hectárea y por liberación, en un diseño de grilla con liberación central, y al menos un 4% más, en la situación de diseño perimetral.

No se observó pérdida de calidad de los machos estériles durante el traslado de su lugar de producción hasta la liberación en nuestro país.

Se deberán realizar más ensayos para ajustar una estrategia optima de control combinando ambas técnicas evaluando su eficiencia.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Bentancourt, C. M., & Scatoni, I. B. (2010). *Guía de insectos y ácaros de importancia agrícola y forestal en el Uruguay* (3^a ed. Rev. y amp.). Universidad de la República.
- Buenahora, J. (2015). Un método alternativo de control de moscas de frutas: Trampeo masivo. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *7° Encuentro Nacional sobre Frutos Nativos* (pp. 23-27). Facultad de Agronomía; MGAP; DGF; INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10695/1/sad-745-p.23-27.pdf>
- Buenahora, J., & Otero, A. (2012). *Experiencias de trampeo masivo de Mosca de las frutas (Diptera: Tephritidae)*. En L. Rubio, E. Pérez, J. Buenahora, & A. Otero (Eds.), *Resultados de avances en investigación en protección vegetal cítrica* (p. 15-25). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/12940170812140635.pdf>
- Cangussu, J. A., & Zucoloto, F. S. (1997). Effect of protein sources on fecundity, food acceptance, and sexual choice by *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae). *Revista Brasileira de Biologia*, 57(4), 611-618.
- Casares, I., & Arenares, L. (2021). Frutales, viñedos, cítricos y olivos. En *Anuario estadístico agropecuario 2021* (pp. 123-135). MGAP.
<https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2021/LIBRO%20ANUARIO%202021%20Web.pdf>
- Christenson, L. D., & Foote, R. H. (1960). Biology of Fruit Flies. *Annual Review of Entomology*, 5(1), 171-192.
<https://doi.org/10.1146/annurev.en.05.010160.001131>
- Cohen, H., & Yuval, B. (2000). Perimeter trapping strategy to reduce Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) damage on different host species in Israel. *Journal of Economic Entomology*, 93(3), 721-725.
<https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.3.721>

- Delgado, S. (2020). *Eficiencia y selectividad de atrayentes alimenticios para monitoreo y control de moscas de la fruta (diptera: tephritidae) en Uruguay* [Tesis de Maestría]. Universidad de la República.
- Dias, N., & Garcia, F. R. M. (2014). Fundamentos da técnica do inseto estéril (TIE) para o controle de Moscas das frutas (Diptera: Tephritidae). *O Biologico*, 76(1), 58-62.
https://www.researchgate.net/publication/274636199_FUNDAMENTOS_DA_TECNICA_DO_INSETO_ESTERIL_TIE_PARA_O_CONTROLE_DE_MOSCAS-DAS-FRUTAS_DIPTERA_TEPHRITIDAE
- Díaz, A., & Ackermann, M. N. (2018). Fruticultura: Situación y perspectiva de la citricultura y los frutales de hoja caduca. En *Anuario OPYPA 2018* (pp. 253-279). MGAP.
<https://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuario%202018/ANUARIO%20OPYPA%202018%20WEB%20con%20v%C3%ADnculo.pdf>
- División de Protección Agrícola. (2017a). *Anexo 2: Sistema de vigilancia de moscas de la fruta*. MGAP.
<https://www.mgap.gub.uy/fito2/index.php?r=codigos/archivo/download&file=12>
- División de Protección Agrícola. (2017b). *Estándar fitosanitario: Sección 1 - Procedimientos de certificación fitosanitaria: 1.2 Sistema de certificación fitosanitaria de frutas cítricas (SCFFC) de exportación (Revisión 1.4)*. MGAP.
<https://www.mgap.gub.uy/fito2/index.php?r=codigos/archivo/download&file=11>
- Dominiak, B. (2006). Review of the use of protein food based lures in McPhail traps for monitoring Queensland fruit fly *Bactrocera tryoni* (Froggatt) (Diptera: Tephritidae). *General and Applied Entomology*, 35, 7-12.
<https://www.entsocnsw.org.au/images/stories/media/35%20dominiak.pdf>

- Duarte, F., Calvo, M. V., Delgado, S., Bartolucci, A., Asfennato, A., Borges, A., Scatoni, I., & García, F. M. (2020). Release-recapture test of dispersal and survival of sterile males of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Neotropical Entomology*, 49, 893-900. <https://doi.org/10.1007/s13744-020-00801-x>
- Enkerlin, W., & Mumford, J. (1997). Economic evaluation of three alternative methods for control of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Israel, Palestine Territories and Jordan. *Journal of Economic Entomology*, 90(5), 1066-1072. <https://doi.org/10.1093/jee/90.5.1066>
- Figueroa, C., Bautista, V., Herrera, S. L., Walter, A., Ortuño, N., Tasin, M., & Dekker, T. (2019). The potential of locally sustainable food baits and traps against the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* in Bolivia. *Pest Management Science*, 75(6), 1671-1680. <https://doi.org/10.1002/ps.5286>
- Food and Agriculture Organization, & International Atomic Energy Agency. (2005). *Environmental benefits of medfly sterile insect technique in Madeira and their inclusion in a cost-benefit analysis*. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1475_web.pdf
- Food and Agriculture Organization, & International Atomic Energy Agency (2013). *Distribution map of the Mediterranean fruit fly Ceratitis capitata (Wied.)* [Mapa]. Recuperado el 28 de agosto de 2023, de <https://nucleus.iaea.org/sites/naipc/twd/Picture%20Gallery/Forms/DispForm.aspx?ID=131>
- Food and Agriculture Organization, International Atomic Energy Agency, & United States Department of Agriculture. (2022). *Manual de control de calidad del producto en la cría masiva y liberación de moscas de la fruta estériles*. AIEA. <https://www.iaea.org/sites/default/files/qcv7-en-espanol.pdf>
- García, M. D. (2012). *Control de calidad del parasitoide de Anastrepha spp.: Utetes anastrephae Viereck (Hymenoptera: Braconidae) en Metapa, Chiapas* [Trabajo final de grado]. Universidad Autónoma de Chapingo.

- Hafsi, A., Abbas, K., Harbi, A., & Chermiti, B. (2020). Field efficacy of commercial food attractants for *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) mass trapping and their impacts on non-target organisms in peach orchards. *Crop Protection*, 128, Artículo e104989. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104989>
- Hendrichs, J., & Robinson, A. (2009). Sterile insect technique. En V. Resh, & R. Cardé (Eds.), *Encyclopedia of insect* (2nd ed., pp. 953-957). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00252-6>
- Hendrichs, J., Robinson, A., Cayol, J., & Enkerlin, W. (2002). Medfly areawide sterile insect technique programmes for prevention, suppression or eradication: The importance of mating behavior studies. *Florida Entomologist*, 85(1), 1-13. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2002\)085\[0001:MASITP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2002)085[0001:MASITP]2.0.CO;2)
- International Atomic Energy Agency. (1999). *Thematic plan for fruit fly control using the sterile insect technique*. https://www.iaea.org/sites/default/files/21/07/web_ff_thematic_plan.pdf
- Katsoyannos, B. I., & Papadopoulos, N. T. (2004). Evaluation of synthetic female attractants against *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in sticky coated spheres and McPhail type traps. *Journal of Economic Entomology*, 97(1), 21-26. <https://doi.org/10.1093/jee/97.1.21>
- Liquido, N. J., Cunningham, R. T., & Nakagawa, S. (1990). Host plants of Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) on the island of Hawaii (1949-1985 survey). *Journal of Economic Entomology*, 83(5), 1863-1878. <https://doi.org/10.1093/jee/83.5.1863>
- Manrakhan, A., & Lux, S. A. (2006). Contribution of natural food sources to reproductive behaviour, fecundity and longevity of *Ceratitis cosyra*, *C. fasciventris* and *C. capitata* (Diptera: Tephritidae). *Bulletin of Entomological Research*, 96(3), 259-268. <https://doi.org/10.1079/ber2006421>

- Martin, C., & Enkerlin, W. (2020). Uso de la técnica del insecto estéril (TIE) para el control integrado de mosca del mediterráneo: Caso Ecuador. *Ecuador es Calidad*, 7(2), 15-19.
<https://revistaecuadorestcalidad.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorestcalidad/index.php/revista/article/view/122>
- Morton, T. C., & Bateman, M. A. (1981). Chemical studies on proteinaceous attractants for fruit flies, including the identification of volatile constituents. *Australian Journal of Agricultural Research*, 32(6), 905-916.
<https://doi.org/10.1071/AR9810905>
- Navarro-Llopis, V., Alfaro, F., Domínguez, J., Sanchis, J., & Primo, J. (2008). Evaluation of traps and lures for mass trapping of Mediterranean fruit fly in citrus groves. *Journal of Economic Entomology*, 101(1), 126-131. [https://doi.org/10.1603/0022-0493\(2008\)101\[126:eotalf\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1603/0022-0493(2008)101[126:eotalf]2.0.co;2)
- Navarro-Llopis, V., & Vacas, S. (2014). Mass trapping for fruit fly control. En T. Shelly, N. Epsky, E. B. Jang, J. Reyes-Flores, & R. Vargas (Eds.), *Trapping and the detection, control, and regulation of Tephritid fruit flies: Lures, area-wide programs, and trade implications* (pp. 513-555). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9193-9_15
- Oroño, L. E., Albornoz-Medina, P., Núñez-Campero, S., Van Nieuwenhove, G. A., Bezdjian, L. P., Martín, C. B., Schliserman, P., & Ovruski S. M. (2006). Update of host plant list of *Anastrepha fraterculus* y *Ceratitis capitata* in Argentina. En R. Sugayma, R. Zucchi, S. Ovruski, & J. Sivinski (Eds.), *Fruit flies of economic importance from basic to applied knowledge* (pp. 207-225).
https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/109/42109326.pdf
- Oviedo, A. (2009). *Efecto de la forma de suministrar azúcar y proteína en la fertilidad, fecundidad y supervivencia de Anastrepha fraterculus (Widemann) (Diptera: Tephritidae)* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Tucumán.

- Ros, J. P. (1988). *La mosca mediterránea de la fruta, Ceratitis capitata Wied. Biología y métodos de control*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.
https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1988_08.pdf
- Scatoni, I., Calvo, M. V., Delgado, S., Duarte, F., & Zefferino, E. (2019). *Las moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae) en el Uruguay*. INIA.
- Secretariat of the International Plant Protection Convention. (2006). Glossary of phytosanitary terms. En *International Standards for Phytosanitary Measures* (pp. 67-87). FAO. <https://www.fao.org/3/a0785e/a0785e00.pdf>
- Suckling, D. M., Lloyd, D., Stringer, L. D., Stephens, E. A., Woods, B., Williams, D. G., Baker, G., & El-Sayed, A. M. (2014). From integrated pest management to integrated pest eradication: Technologies and future needs. *Pest Management Science*, 70(2), 179-189. <https://doi.org/10.1002/ps.3670>
- Suckling, D. M., Tobin, C. P., McCullough, D. G., & Herms, D. A. (2012). Combining tactics to exploit Allee effects for eradication of alien insect populations. *Journal of Economic Entomology*, 105(1), 1-13.
<https://doi.org/10.1603/EC11293>
- Wong, T. T., Whitehand, L. C., Kobayashi, K., Tanaka, N., Ohinata, K., & Harris, E. J. (1982). Mediterranean fruit fly: Dispersal of wild and irradiated and untreated laboratory-reared males. *Environmental Entomology*, 11(2), 339-343. <https://doi.org/10.1093/ee/11.2.339>
- Yuval, B., Maor, M., Levy, K., Kaspi, R., Taylor, P., & Shelly, T. (2007). Breakfast of champions or kiss of death? Survival and sexual performance of protein-fed, sterile mediterranean fruit flies (diptera: tephritidae). *Florida Entomologist*, 90(1), 115-122.
[https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2007\)90\[115:BOCOKO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2007)90[115:BOCOKO]2.0.CO;2)