

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFICIENCIA Y SELECTIVIDAD DE ATRAYENTES  
ALIMENTICIOS PARA MONITOREO Y CONTROL DE MOSCAS  
DE LA FRUTA (DIPTERA: TEPHRITIDAE) EN URUGUAY**

**por**

**Soledad Andrea DELGADO JORGE**

**TESIS presentada como uno  
de los requisitos para  
obtener el título de Magíster  
en Ciencias Agrarias opción  
Ciencias Vegetales**

**Montevideo  
URUGUAY  
Setiembre 2020**

Tesis aprobada por el tribunal integrado por el Lic. PhD. Martín Bollazzi (Presidente), la Lic. PhD. Daniele Schlesener (Vocal) y el Ing. Agr. PhD. Roberto Zoppolo (Vocal), el día 9 del mes de setiembre del año 2020.

Autora: Ing. Agr. Soledad Delgado Jorge.

Directora: Ing. Agr. Iris Beatriz Scatoni.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Beatriz Scatoni por ser una gran directora y mejor persona.

A Victoria Calvo y Felicia Duarte por las ideas, el apoyo, el trabajo y el compañerismo.

A Alejandra Borges por la orientación brindada.

A los compañeros de la Unidad de Entomología por soportar amablemente el trabajo con atrayentes.

A Alba Martínez y el personal de la Quinta Costa de Oro por su colaboración.

A todos los productores y empresas que permitieron el ingreso a sus predios para la realización de los ensayos.

A INIA, CSIC y CAP por la financiación recibida.

A Alexandra Elbakyan por permitirme el acceso a la bibliografía científica.

A mi compañero Nicolás.

A mi familia y amigos.

## TABLA DE CONTENIDO

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	VI
SUMMARY.....	VII
<b>1. <u>INTRODUCCIÓN</u></b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. LAS MOSCAS DE LA FRUTA <i>Ceratitis capitata</i> (Wied.)</b>	
<b><i>Y Anastrepha fraterculus</i> (Wied.)</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1.1. <u>Distribución e importancia a nivel mundial</u></b> .....	<b>1</b>
<b>1.1.2. <u>Biología y ciclo estacional</u></b> .....	<b>4</b>
<b>1.1.3. <u>Hospedantes y daños</u></b> .....	<b>6</b>
<b>1.1.4. <u>Importancia a nivel nacional</u></b> .....	<b>8</b>
<b>1.2. ESTRATEGIAS DE MANEJO DE LAS MOSCAS DE LA</b>	
<b>FRUTA</b> .....	<b>9</b>
<b>1.2.1. <u>Control Cultural</u></b> .....	<b>10</b>
<b>1.2.2. <u>Control Químico</u></b> .....	<b>10</b>
<b>1.2.3. <u>Control Autocida: Técnica del Insecto Estéril</u></b> .....	<b>11</b>
<b>1.2.4. <u>Control Biológico</u></b> .....	<b>12</b>
<b>1.2.5. <u>Control Etológico: Trampeo Masivo</u></b> .....	<b>13</b>
<b>1.2.5.1. Particularidades de la adopción de la técnica en</b>	
<b>Uruguay</b> .....	<b>14</b>
<b>2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u></b> .....	<b>17</b>
<b>2.1. ENSAYOS DE CAMPO</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2. ATRAYENTES ALIMENTICIOS</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS ATRAYENTES</b>	
<b>ALIMENTICIOS</b> .....	<b>21</b>
<b>2.4. DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN DE HEMBRAS PRE-</b>	
<b>REPRODUCTIVAS CAPTURADAS</b> .....	<b>22</b>

2.5. DETERMINACIÓN DE LA SELECTIVIDAD DE LOS ATRAYENTES RESPECTO A LOS ARTRÓPODOS BENÉFICOS.....	22
2.6. ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	23
<b>3. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....</b>	<b>24</b>
3.1. EFICIENCIA DE LOS ATRAYENTES ALIMENTICIOS.....	24
3.1.1. <u>Ensayo de campo en durazneros ‘Dixiland’</u> .....	24
3.1.2. <u>Ensayo de campo en manzanos ‘Fuji Kiku’</u> .....	30
3.1.3. <u>Ensayos de campo en mandarinos ‘Satsuma’</u> .....	35
3.2. PROPORCIÓN DE HEMBRAS PRE-REPRODUCTIVAS CAPTURADAS.....	40
3.3. SELECTIVIDAD DE LOS ATRAYENTES RESPECTO A LOS ARTRÓPODOS BENÉFICOS .....	44
<b>4. <u>CONCLUSIONES</u>.....</b>	<b>47</b>
<b>5. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....</b>	<b>48</b>
<b>6. <u>EVALUATION OF FOOD ATTRACTANTS FOR FRUIT FLIES (DIPTERA: TEPHRITIDAE) MASS TRAPPING AND SELECTIVITY FOR BENEFICIAL ARTHROPODS</u> .....</b>	<b>59</b>

## RESUMEN

El control de las moscas de la fruta en Uruguay se basa principalmente en el uso de cebos tóxicos, los cuales han mostrado ser insuficientes para reducir sus daños. En los últimos años, estrategias de control alternativas como el trampeo masivo han tomado mayor relevancia. Los atrayentes disponibles para implementar esta técnica fueron diseñados para *Ceratitis capitata*. Sin embargo, en nuestros cultivos frutales también deberían ser efectivos para *Anastrepha fraterculus*. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficiencia de diferentes atrayentes alimenticios en la captura de hembras jóvenes de tefrítidos y su selectividad respecto a las poblaciones de artrópodos benéficos. Siete atrayentes diferentes fueron evaluados en tres cultivos frutícolas comerciales en dos temporadas; cuatro atrayentes comerciales (proteína hidrolizada, TMA líquido, TMA tarjeta difusora y acetato de amonio + putrescina), jugo natural de *Acca sellowiana* al 20 %, melaza de caña al 6 % y levadura *Torula*. Los atrayentes se colocaron en trampas McPhail, las que se revisaron semanalmente y todos los artrópodos capturados fueron retirados, contados y clasificados. Las hembras de tefrítidos capturadas fueron disecadas para determinar la presencia de huevos. Los atrayentes comerciales evaluados fueron eficaces en la captura de hembras jóvenes de *C. capitata*. Ningún atrayente se destacó por su eficiencia para *A. fraterculus*, a pesar de existir infestación en frutos. Atrayentes de bajo costo y elaboración artesanal no fueron eficaces. Los atrayentes comerciales capturaron muy pocos predadores, parasitoides y polinizadores. Los productos comerciales para el trampeo masivo de tefrítidos evaluados son eficaces, con la proteína hidrolizada, el TMA líquido y la TMA tarjeta difusora destacándose tanto en el número de hembras jóvenes de tefrítidos capturadas como en la selectividad respecto a artrópodos benéficos.

**Palabras clave:** *Ceratitis capitata*, *Anastrepha fraterculus*, trampeo masivo, cebos alimenticios, artrópodos benéficos, cítricos, frutales de hoja caduca

## SUMMARY

### **Efficiency and selectivity of food attractants for monitoring and control of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Uruguay**

Fruit flies control in Uruguay is mainly based on insecticides sprays formulates as toxic baits, which are insufficient to reduce their damages. Therefore, alternatives management measures such as mass trapping gain relevance. Commercially available lures were designed for *Ceratitis capitata*. However, they should also be effective for *Anastrepha fraterculus* in our fruit orchards. The aims of this research were to evaluate the effectiveness of different food baits on capturing young tephritid females and its selectivity regarding populations of beneficial arthropods. Seven different attractants were tested in three commercial fruit crops and two seasons; four commercially available attractants (hydrolyzed protein, liquid TMA, TMA diffuser card and ammonium acetate + putrescine), natural *Acca sellowiana* juice, sugarcane molasses, and Torula yeast. Attractants were placed in McPhail traps which were revised weekly and all arthropods captured were retired, counted and classified. Tephritidae females were dissected to determine the presence of eggs. All commercial lures evaluated were effective capturing young females of *C. capitata* in the three fruit crops evaluated and both seasons. No attractant stood out for its effectiveness on *A. fraterculus*, despite the presence of fruit infestation. Low-cost artisanal attractants were not effective capturing female fruit flies. Commercial attractants were very selective to beneficial arthropods. Commercial products for tephritid mass trapping evaluated are effective, with hydrolyzed protein, liquid TMA, and TMA diffuser card standing out both in the number of young females captured of tephritids and in their selectivity regarding beneficial arthropods.

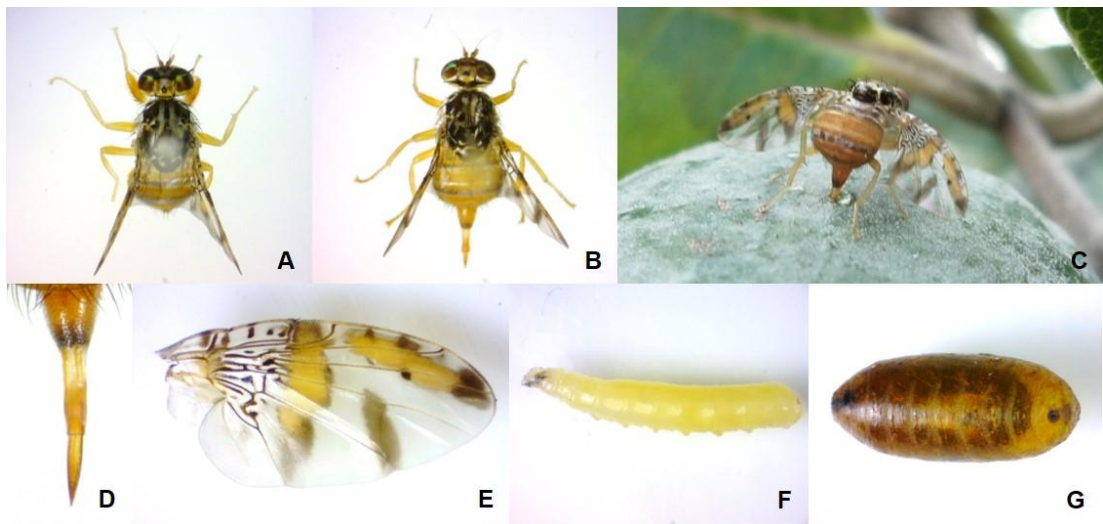
Keywords: *Ceratitis capitata*, *Anastrepha fraterculus*, mass trapping, food baits, beneficial arthropods, citrus fruit trees, deciduous fruit trees

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. LAS MOSCAS DE LA FRUTA *Ceratitis capitata* (Wied.) Y *Anastrepha fraterculus* (Wied.)

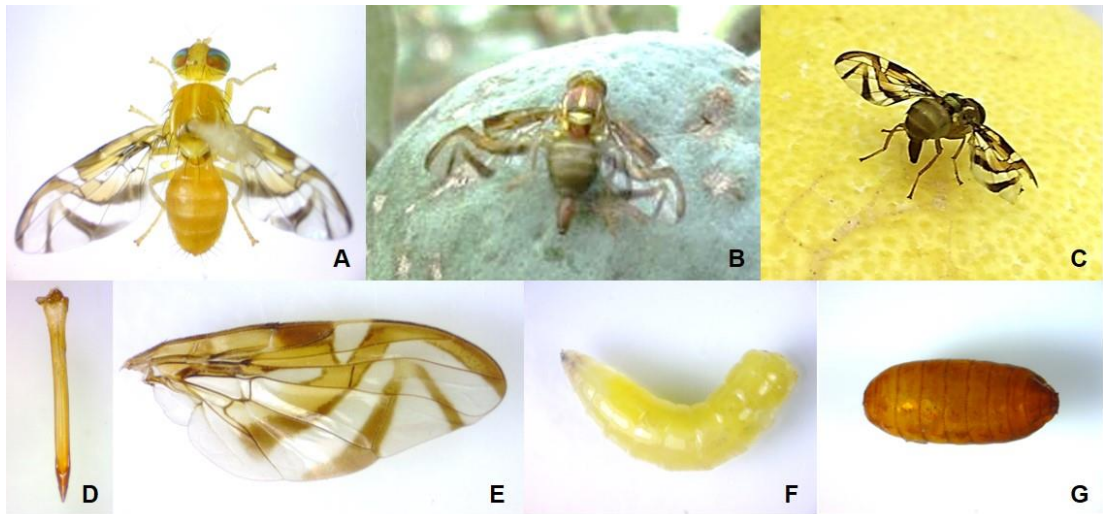
#### 1.1.1. Distribución e importancia a nivel mundial

Las moscas de la fruta de importancia económica presentes en Uruguay son *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Figura 1) y *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann) (Figura 2).



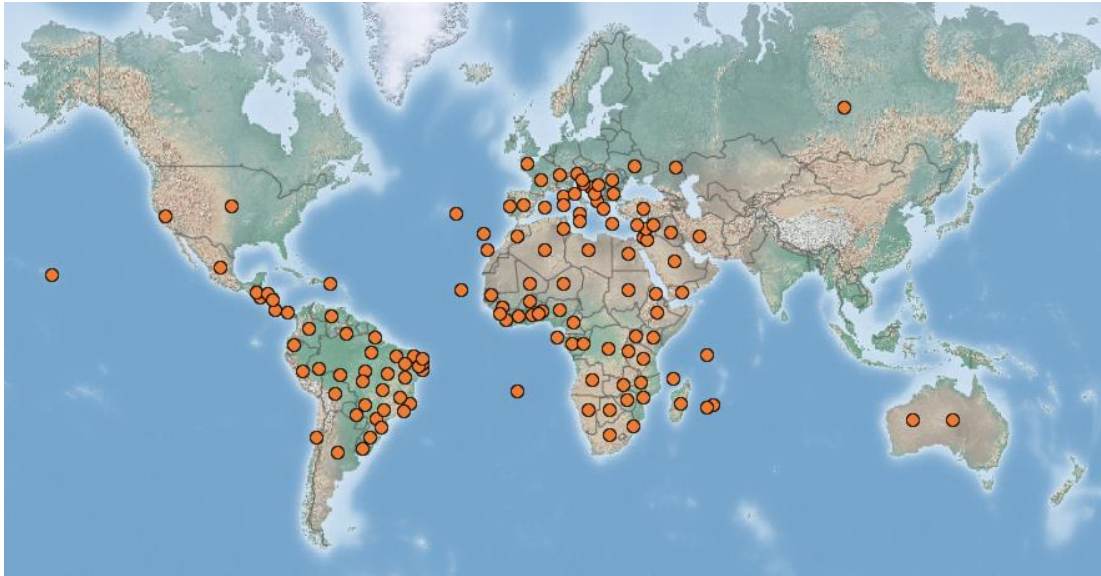
**Figura 1.** *Ceratitis capitata*. A. Macho, vista dorsal. B. Hembra, vista dorsal. C. Hembra ovipositando en fruto de guayabo del país. D. Detalle del oviscapo. E. Detalle del ala. F. Larva de tercer estadio. G. Pupa.





**Figura 2.** *Anastrepha fraterculus*. A. Macho, vista dorsal. B. Hembra sobre fruto de guayabo del país. C. Hembra ovipositando en fruto de pomelo. D. Detalle del oviscapo. E. Detalle del ala. F. Larva de tercer estadio. G. Pupa.

*Ceratitis capitata* es una de las principales plagas de frutales del mundo (Hafsi et al. 2020, Candia et al. 2018, Vera et al. 2002). Tiene distribución mundial (Liquido et al., 1990), ocupa gran diversidad de ambientes y se considera una especie prácticamente cosmopolita (Papadopoulos et al. 2013, Malacrida et al. 2007) (Figura 3).



**Figura 3.** Distribución mundial de *Ceratitits capitata* (Tomado de Invasive Species Compendium, disponible en <https://www.cabi.org/isc/datasheet/12367>).

Todas las especies del género *Anastrepha* son nativas de las Américas, con una dispersión bastante restringida a las áreas tropicales y subtropicales, y se consideran menos agresivas en comparación con otros tefrítidos (Papadopoulos, 2014). La especie *A. fraterculus* es nativa de Sudamérica (Norrbon et al., 2012).



**Figura 4.** Distribución mundial de *Anastrepha fraterculus* (Tomado de Invasive Species Compendium, disponible en <https://www.cabi.org/isc/datasheet/5648>).

### **1.1.2. Biología y ciclo estacional**

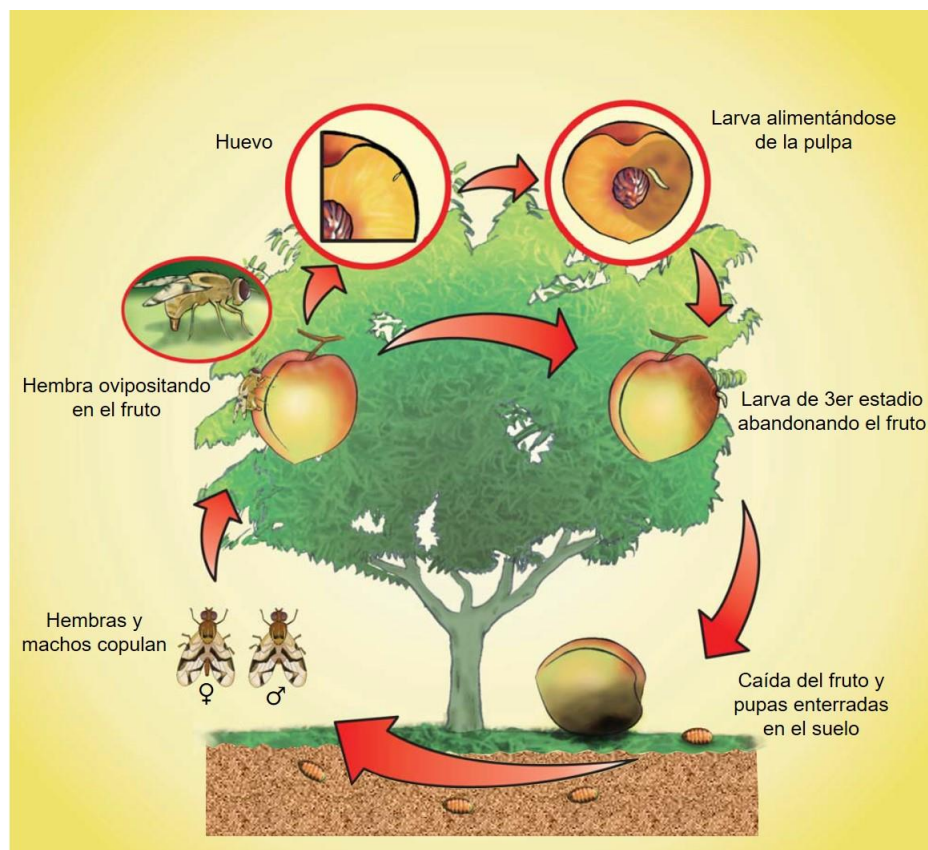
Un esquema del ciclo biológico de los tefrítidos se presenta en la Figura 5. Machos y hembras sexualmente maduros copulan sobre el canopeo de plantas hospedantes o cercanas, principalmente en horas de la mañana (Segura et al. 2007, Hendrichs et al. 1991, Malavasi et al. 1983). Las hembras fecundadas insertan su ovipositor y ponen sus huevos dentro de frutos aptos, por debajo de la epidermis. Las larvas completan su desarrollo dentro de los mismos, pasando por dos mudas larvales, y deteriorándolos por completo en el proceso (Malavasi y Zucchi, 2000). Los frutos atacados en general caen prematuramente, luego las larvas de tercer estadio abandonan el fruto y se entierran en el suelo a poca profundidad. Es en este ambiente que se da el pasaje al estado de pupa, que son cilíndricas y color castaño-parduzco, similar a un pequeño barril. Dentro de este pupario se da la transformación al estado adulto, que una vez completado podrá romper esta envoltura y emerger del suelo para reanudar el ciclo. El único estado de desarrollo expuesto es el

adulto (Malavasi y Zucchi, 2000), por lo que su detección temprana es imprescindible para evitar los ataques y a él se dirigen la mayoría de las tácticas de control. Las hembras recién emergidas necesitan alimentarse de proteínas y azúcar previo a la reproducción (Uchôa, 2012) de manera de alcanzar la madurez sexual y completar el desarrollo de los huevos (Christenson y Foote, 1960). En condiciones de laboratorio (25°C y 70-80 % humedad relativa) el desarrollo embrionario toma unos 3 días, el desarrollo larval unos 13 días y el estado de pupa insume unos 14 días. Las hembras alcanzan la madurez sexual y comienzan la oviposición alrededor de una semana después de la emergencia. Los adultos pueden vivir hasta 5 meses en estas condiciones (Salles, 2000). Tanto los adultos como las larvas de *A. fraterculus* son algo más grandes que los de *C. capitata*. El ciclo de vida de *A. fraterculus* insume 430,6 GD, con un umbral inferior de desarrollo de 10,7 °C (Malavasi y Zucchi, 2000), mientras que el de *C. capitata* es más corto, insumiendo 330-350 GD con un umbral inferior de desarrollo de 9,3-9,6 °C (Ricalde et al., 2012). Estas diferencias a priori leves en las exigencias de temperatura generan que para las condiciones agroclimáticas uruguayas se den 5-6 generaciones anuales de *A. fraterculus* en la zona sur y 7 generaciones en la zona norte; mientras que *C. capitata* alcanza las 7 generaciones anuales en la zona sur y 9 generaciones en la zona norte (Scatoni et al., 2019).

Ambas son especies multivoltinas que no presentan diapausa, por lo que pueden desarrollarse de forma ininterrumpida a lo largo del año en presencia de hospedantes susceptibles, y tienen un muy alto potencial reproductivo (Malavasi y Zucchi, 2000). Los frutos son atractivos para el ataque de estas moscas en un período próximo a la maduración. Es por esto que la abundancia de las poblaciones de tefrítidos va a depender de la disponibilidad de hospedantes en la zona, observándose diferencias entre *C. capitata* y *A. fraterculus* (ver sección 1.1.3.).

Factores abióticos como la temperatura y las precipitaciones pueden afectar la abundancia y fluctuación poblacional a lo largo del año.

Habitualmente las poblaciones disminuyen durante los meses de invierno a causa de las bajas temperaturas y dado que las pupas permanecen en el suelo, las lluvias intensas se consideran un factor importante de mortalidad por ahogamiento (Scatoni et al., 2019), principalmente en suelos de textura pesada.



**Figura 5.** Ciclo biológico de las moscas de la fruta (Modificado de Nava y Botton, 2010).

### 1.1.3. Hospedantes y daños

Se trata de especies muy polífagas, con 408 especies hospedantes registradas para *C. capitata* (Liquido et al., 2019) y 177 para *A. fraterculus*. Entre los hospedantes de *A. fraterculus* a nivel mundial las familias más

representadas son Myrtaceae (27.1 %), Rosaceae (11.9 %) y Rutaceae (8.5 %) (Hernández-Ortiz et al., 2019).

Los ocho morfotipos de *A. fraterculus* presentes en América se desarrollan sobre hospedantes nativos y exóticos, con preferencia por los nativos. Sin embargo, se cree que son los hospedantes exóticos, en su mayoría cultivos de alto valor comercial, los que han jugado un papel importante en la divergencia del complejo de especies (Hernández-Ortiz et al., 2019).

En el Uruguay hay registrados 25 hospedantes para *A. fraterculus*, entre especies cultivadas (ciruelas, mandarinas, peras, pomelos, duraznos, nectarinos, naranjas), nativas (arazá amarillo, arazá rojo, guaviyú, guayabo del país, ubajay, cereza de monte, mburucuyá, guayabo colorado, mataojo colorado, tabaquillo) y de bajo valor comercial (kumquat, guayabo brasilero, níspero, quebracho flojo, toronja, granada, guinda) (Scatoni et al., 2019).

Para *C. capitata* hay 32 hospedantes registrados en el Uruguay, entre especies cultivadas (duraznos, nectarinos, naranjas, mandarinas, manzana, pera, pomelos), nativas (guayabo del país, pitanga, guayabo blanco, arazá, butiá, butiá yatay, mburucuyá, quebracho flojo, mataojo, tabaquillo, enredadera de flor azul, guaviyú) y de menor incidencia comercial (guayabo brasilero, granada, higo, mora, níspero, cidra, maclura). En general las poblaciones de *C. capitata* son mayores en zonas de cultivo o perturbadas, donde predominan especies exóticas, en comparación con las poblaciones de *A. fraterculus*, que están más asociadas a zonas más conservadas, con predominancia de especies nativas (Scatoni et al., 2019). Este comportamiento se observa también en el noroeste argentino, donde la composición de hospedantes es similar (Ovruski et al., 2003).

En la Figura 6 se pueden observar los daños directos ocasionados por las moscas de la fruta. Una vez atacados, los frutos pierden por completo su valor comercial a causa de la alimentación de las larvas en su interior. Incluso si las larvas no prosperan o si la hembra realizó punturas de prueba sobre los frutos para determinar su calidad, se generan daños indirectos ya que estos



orificios permiten la entrada de microorganismos oportunistas que también pueden inviabilizar la comercialización. Las larvas de ambas especies se alimentan de la misma manera dentro de los frutos, por lo que no es posible diferenciarlas por la observación de sus daños directos. Esto se suma a que *C. capitata* y *A. fraterculus* comparten hospedantes y zonas geográficas (Scatoni et al., 2019), lo que también sucede en Argentina (Ovruski y Schliserman, 2012), por lo que resulta necesario que las medidas de manejo aplicadas sean efectivas para ambas especies.



**Figura 6.** Daños ocasionados por las moscas de la fruta *Ceratitits capitata* y *Anastrepha fraterculus* en diferentes hospedantes.

#### **1.1.4. Importancia a nivel nacional**

Si bien estas plagas pueden causar pérdidas importantes por los daños directos que provocan (Ekesi et al., 2005), su mayor importancia radica en que son plagas cuarentenarias para diversos mercados de exportación (Papadopoulos, 2014). *Ceratitits capitata* es cuarentenaria para los mercados

de Estados Unidos y China, mientras que *A. fraterculus* lo es además para la Unión Europea (Scatoni et al., 2019). Para asegurar que los frutos con destino de exportación hacia estos mercados se encuentran libre de tefrítidos, los compradores exigen la aplicación de una serie de medidas cuarentenarias, como por ejemplo tratamientos de frío sobre cítricos (MGAP. DGSA, 2017).

Los ataques de moscas de la fruta en Uruguay son cada vez más severos y se observan en todos los frutales, ocasionando pérdidas de gran magnitud. Esto se debe, entre otros motivos, a que las aplicaciones de cebos tóxicos resultan ineficientes en ciertos casos para mitigar los daños. A pesar de la disponibilidad de otras medidas de manejo como el saneamiento o el trampeo masivo, el control químico sigue siendo la estrategia más utilizada.

## **1.2. ESTRATEGIAS DE MANEJO DE LAS MOSCAS DE LA FRUTA**

A diferencia de otras plagas introducidas, que generan graves daños económicos en los primeros años pero que posteriormente logran ser controladas en parte por el complejo de enemigos naturales nativos, las moscas de la fruta han resultado sumamente devastadoras para la producción frutícola de las áreas que han logrado colonizar (Papadopoulos, 2014). En el caso de *C. capitata* su éxito se debe, entre otros aspectos, a su gran adaptabilidad, multivoltinismo y polifagia (Liquido et al., 1990) sumado a factores propios de los agroecosistemas locales como la gran diversidad de especies hospedantes en pequeñas áreas. Esto genera la necesidad de dedicar gran cantidad de recursos para controlar la plaga y mantener su población por debajo del umbral de daño económico.

La experiencia internacional de más de 30 años indica que el abordaje de la problemática de las moscas de la fruta debe ser multitáctico, incluyendo diversas estrategias de manejo que interactúan con el fin de disminuir la población de la plaga sin comprometer la sustentabilidad ambiental (Paranhos et al. 2019, Vargas et al. 2007). Entre las principales estrategias utilizadas para el control de moscas de la fruta se encuentran el saneamiento (control



cultural), la aplicación de cebos tóxicos (control químico), las liberaciones de insectos estériles (control autocida), la liberación de parasitoides (control biológico) y el trapeo masivo (control etológico).

### **1.2.1. Control Cultural**

El control cultural implica recolectar los frutos atacadas por moscas y retirarlos del cultivo, de modo de evitar que las larvas que se están desarrollando en estos frutos empunen en el suelo y aumente así la población. Una vez retirados los frutos debería molerse finamente para destruir las larvas (Vargas et al., 2008) o enterrarla a una profundidad mínima de 45 cm para evitar que los adultos emerjan (Klungness et al., 2005). De ambas opciones las más segura es el enterrado profundo, ya que la molienda de los frutos no siempre asegura bajar lo suficiente la tasa de emergencia de adultos (Klungness et al., 2005). Otra opción que puede llegar a ser más accesible es colocar los frutos en agua para ahogar a las larvas y luego compostarlos de forma segura. Adicionalmente es necesario que luego de la cosecha comercial no queden frutos en el cuadro, ya que pueden servir de reservorio de las poblaciones de mosca de la fruta (Scatoni et al., 2019). A nivel nacional estas prácticas difícilmente se aplican en los predios por ser muy demandantes en tiempo y mano de obra.

### **1.2.2. Control Químico**

Desde hace más de 60 años se conoce que la forma más eficiente de utilizar insecticidas para el control de las moscas de la fruta es en combinación con un atrayente alimenticio, en general de origen proteico (Vargas et al., 2008). Los criterios de selección del atrayente son iguales a los utilizados en el trapeo masivo y se tratan en la sección 1.2.5.1.

La aplicación de cebos tóxicos debe realizarse sobre filas alternas del cultivo en las primeras horas de la mañana, con gota gruesa de 4 a 6 mm de

diámetro y se debe repetir cada siete días durante el período de susceptibilidad de los frutos al ataque (Scatoni et al., 2019) principalmente si no hay lluvias (Schutze et al., 2018). En un principio se empleaban insecticidas organofosforados, pero su utilización se ha visto limitada por los efectos negativos que presenta sobre el medio ambiente y la salud humana. Afortunadamente se han podido reemplazar por insecticidas de menor toxicidad y eficacia para el control de moscas, como el spinosad (Baronio et al. 2019, Vargas et al. 2008) que presenta además la ventaja de ser compatible con las liberaciones de parasitoides (Bernardi et al., 2019).

En Uruguay la formulación comercial más utilizada es Flipper (spinosad + atrayente alimenticio), pero frecuentemente los productores elaboran sus propios cebos tóxicos mezclando, por ej. piretroides con melaza de caña o azúcar. La eficacia de estas combinaciones se asume variable por parte de los productores, pero no se ha evaluado rigurosamente hasta el momento.

### **1.2.3. Control Autocida: Técnica del Insecto Estéril**

La Técnica del Insecto Estéril (TIE) (Knipling, 1959) es un método autocida de control de plagas que depende de la capacidad de producir masivamente, esterilizar y liberar machos que puedan copular con las hembras silvestres (McInnis et al., 1996). Resulta fundamental que los procesos de cría artificial y esterilización no modifiquen el comportamiento de cortejo de los machos para asegurar la cópula con las hembras silvestres, y de esa manera se pueda reducir efectivamente la capacidad reproductiva de la población silvestre (Klassen y Curtis 2005, Lux et al. 2002, McInnis et al. 1996, Shelly et al. 1994, Knipling 1959).

Es uno de los métodos de control de plagas más amigable, ya que es específico a nivel de especie, no transfiere agentes exóticos hacia nuevos ambientes ni introduce nuevo material genético a las poblaciones existentes (Hendrichs et al., 2002). Sin embargo, la TIE es solamente efectiva cuando es aplicada en áreas amplias donde se considera el total de la población de la

plaga, que puede estar distribuida en zonas de cultivo y zonas urbanas por ejemplo (Vargas et al. 2008, FAO/IAEA 2005, Hendrichs et al. 2002).

McInnis *et al.* (1996) registraron la generación de resistencia de tipo comportamental de las hembras silvestres de *C. capitata* a los machos estériles. Se observó luego de varios años de liberaciones en un área de Hawaii, donde las hembras evitaron aparearse con los machos de laboratorio y preferían a los machos silvestres. Desde ese entonces, muchas investigaciones se han llevado a cabo con el objetivo de mejorar la competitividad de los machos estériles para asegurar la cópula con las hembras silvestres (Hamden et al. 2013, Juan-Blasco et al. 2011, Kouloussis et al. 2010, Papadopoulos et al. 2006, Shelly et al. 2003, Papadopoulos et al. 2001).

Otro de los aspectos fundamentales para asegurar la efectividad de la técnica es que los machos estériles liberados sean capaces de llegar al sitio donde se encuentran las hembras silvestres. Por esto, cuando se piensa en implementar la TIE en una nueva área, resulta necesario estimar la habilidad de los machos estériles de sobrevivir y dispersarse en el campo. Con este objetivo, en el año 2017, Duarte *et al.* (2019) realizaron ensayos de campo en las dos principales áreas de producción de cítricos de Uruguay. Como resultado se obtuvo información básica necesaria para la correcta aplicación de la técnica para control de *C. capitata* en Uruguay, con machos provenientes de la Bioplanta Santa Rosa (ISCAMEN-Mendoza).

#### **1.2.4. Control Biológico**

Las moscas de la fruta pueden ser atacadas por virus, bacterias, hongos, nemátodos, predadores y parasitoides. Dentro de los entomopatógenos, los hongos y los nemátodos son los agentes más efectivos (Paranhos et al., 2019). A nivel general, los parasitoides son reconocidos como los agentes de biocontrol más efectivos para el control de tefrítidos (Ovruski y Schliserman 2012, Vargas et al. 2007, Montoya y Cancino 2004).

El control biológico clásico sería inadecuado para el caso de los tefrítidos dado el bajo umbral de daño económico que tienen estas plagas y las exigencias de baja prevalencia (Paranhos et al., 2019). El control biológico por aumento puede utilizarse en conjunto con otras estrategias (Paranhos et al. 2019, Montoya y Cancino 2004). Internacionalmente uno de los parasitoides más utilizados en esta estrategia es *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae), que es capaz de parasitar tanto a *A. fraterculus* como a *C. capitata*. Esta especie se ha logrado establecer exitosamente y se cría en varios países (Montoya y Cancino, 2004). Se ha determinado en el sur de Brasil su alta capacidad de parasitismo sobre frutos nativos y exóticos, sin afectar las poblaciones de parasitoides nativos (Meirelles et al., 2019).

*Diachasmimorpha longicaudata* se ha utilizado en Argentina para el control de *C. capitata* y *A. fraterculus* en cítricos (Van Nieuwenhove et al. 2016, Suárez et al. 2014). Sin embargo, a pesar de las altas tasas de parasitismo alcanzadas (alrededor del 90 %) estas no alcanzan un control económicamente aceptable (Ovruski y Schliserman 2012).

En el Uruguay el parasitismo natural encontrado fue muy bajo y solamente sobre la especie *A. fraterculus*. Las especies de parasitoides detectadas fueron *Opius bellus*, *Doryctobracon brasiliensis*, *D. areolatus* y *Utetes anastrephae*, pertenecientes a la familia Braconidae. Todos los frutos en los que emergieron parasitoides eran nativos, colectados en parques y áreas muy poco perturbadas (Scatoni et al., 2019).

#### **1.2.5. Control Etológico: Trampeo Masivo**

El trampeo masivo consiste en el uso de semioquímicos, que aplicados en una gran cantidad de trampas por hectárea, permiten remover un número importante de insectos adultos del ambiente. Se trata de una estrategia cada vez más utilizada para el control de tefrítidos en todo el mundo (Villalobos et al. 2017, Dominiak et al. 2016, Lasa et al. 2014, Navarro-Llopis et al. 2008). Puede adaptarse a situaciones donde no es posible aplicar un cebo tóxico,

como traspatios y cultivos con altas restricciones de residuos químicos (Flores et al., 2017). A nivel nacional es de reciente incorporación, principalmente en cultivos cítricos con destino de exportación (Buenahora y Otero, 2012), pero que se ha expandido a otros cultivos frutícolas.

Entre las principales razones del aumento de su uso a nivel internacional se encuentran su eficiencia, el hecho de que no deje residuos sobre los frutos y a que es más seguro para el hombre y el medio ambiente (Hafsi et al., 2020). En el caso de las moscas de la fruta los atrayentes más utilizados son de origen alimenticio como la trimetilamina, acetato de amonio, putrescina, proteínas hidrolizadas (Dominiak 2006, Morton y Bateman 1981) y explotan la necesidad antes mencionada que presentan las hembras de consumir estas sustancias. Los atrayentes más eficientes serán aquellos que permitan capturar la mayor cantidad de hembras no grávidas (inmaduras sexualmente), o sea antes de que puedan causar daños sobre los frutos.

No hay atrayentes desarrollados para machos del género *Anastrepha* a pesar de los grandes esfuerzos que se han realizado por más de 30 años (Tan et al., 2014). En el caso de *C. capitata*, el principal atrayente de machos es el trimedlure, utilizado ampliamente en programas de monitoreo de la plaga (Jang et al., 2001).

#### **1.2.5.1. Particularidades de la adopción de la técnica en el Uruguay.**

Los atrayentes disponibles en el mercado y que se emplean para trampeo masivo de moscas de la fruta en Uruguay, han sido producidos en lugares como España, EEUU, Italia y Argentina con énfasis en el control de *C. capitata*. Debido a su naturaleza proteica, estos atrayentes son considerados genéricos y deberían tener la capacidad de atraer a *C. capitata* y *A. fraterculus*, además de muchas otras especies de artrópodos. Por esta razón, se hace necesario determinar si están afectando la entomofauna benéfica del agroecosistema frutal (Falcó-Garí et al. 2010, 2006).

La efectividad de algunos productos comerciales utilizados en trampeo masivo ha sido evaluada en Uruguay sobre *C. capitata* en cítricos (Buenahora y Otero, 2012) con buenos resultados. Sin embargo, no se ha evaluado la eficiencia de dichos productos en la captura de *A. fraterculus* en conjunto con *C. capitata* en frutales de hoja caduca ni la selectividad que presentan para la entomofauna benéfica.

El objetivo general del presente trabajo fue evaluar la respuesta de *A. fraterculus* y *C. capitata* a diferentes atrayentes alimenticios, los que podrán ser usados tanto para monitoreo como para control en trampeo masivo.

Los objetivos específicos planteados fueron:

1. Evaluar la eficiencia de distintos atrayentes alimenticios en la captura de moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae).
2. Determinar la proporción de hembras no grávidas (pre-reproductivas) capturadas por los distintos atrayentes.
3. Determinar la selectividad de los atrayentes frente a la entomofauna benéfica (polinizadores y controladores biológicos).

Las hipótesis de trabajo planteadas fueron las siguientes:

1. Uno o más atrayentes son preferidos por los Tephritidae y capturan la mayor cantidad de ejemplares de *A. fraterculus* y *C. capitata*.
2. Existe uno o más atrayentes de entre los más eficaces que es capaz de capturar mayor cantidad de hembras en etapa pre-reproductiva.
3. Esos mismos atrayentes son poco atractivos para himenópteros y otros grupos de artrópodos benéficos.

Este trabajo se enmarcó en el proyecto “Bases para el desarrollo de estrategias alternativas para el manejo de moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae) en la zonas norte y sur del país” del Departamento de Protección

Vegetal de la Facultad de Agronomía, financiado por el Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA) del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA); y en el proyecto “Técnicas selectivas para el control de adultos de moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae)”, financiado por el fondo de Proyectos I+D de la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) de la Universidad de la República.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. ENSAYOS DE CAMPO**

Con el fin de cumplir con los objetivos planteados se realizaron tres ensayos de evaluación de atrayentes alimenticios a campo. Los mismos fueron realizados en tres establecimientos frutícolas comerciales en dos temporadas sucesivas, desde noviembre de 2016 a mayo de 2018. Los establecimientos se ubicaban, dos en la zona sur del país (Canelones) y uno en la zona norte (Paysandú). Los cuadros seleccionados corresponden a especies y variedades frutales que frecuentemente se ven afectadas por las moscas de la fruta: durazneros 'Dixiland' (Los Cerrillos, Canelones, 56° 19' 8.20"W, 34° 37' 24.07"S, 36 m s. n. m.), manzanos 'Fuji Kiku' (Los Cerrillos, Canelones, 56° 19' 9.05"W, 34° 38' 56.35"S, 28 m s. n. m.) y mandarinos 'Satsuma Okitsu' (Gallinal, Paysandú, 57° 29' 58.99"W, 31° 55' 29.92"S, 96 m s. n. m.).

En la segunda temporada de evaluación (2017-2018), el ensayo sobre mandarina 'Satsuma' se cambió a otro cuadro de la variedad 'Satsuma Owari' ubicado también en Paysandú (Quebracho, 57° 53' 11.78"W, 31° 57' 4.76"S, 53 m s. n. m.) por motivos operacionales. Todos los cuadros seleccionados tuvieron edades y áreas similares, y fueron divididos en cuatro bloques (repeticiones) para los ensayos de campo.

### **2.2. ATRAYENTES ALIMENTICIOS**

Cada bloque recibió uno de los tratamientos (atrayentes alimenticios) que se describen en la Cuadro 1, destacándose la composición detallada de cada producto comercial. Todos los atrayentes fueron evaluados en trampas McPhail (SUSBIN, Argentina). Dichas trampas se ubicaron en las copas de los árboles a 1,5 m del suelo, y se distribuyeron uniformemente dentro de cada bloque separadas al menos 30 m entre sí. Las mismas fueron colocadas 45



días antes de la fecha de cosecha prevista para la variedad y se mantuvieron como mínimo por 40 días más, en las tres variedades y para las dos temporadas de crecimiento de los frutos. Los ensayos duraron en promedio 91 días, revisándose las trampas en 12 ocasiones en todos los casos para asegurar la uniformidad en la toma de datos y la rotación de las trampas. En la Figura 7 se muestra la disposición espacial de las trampas McPhail en cada ensayo. Cada número se corresponde con uno de los tratamientos detallados en la Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Descripción de los tratamientos evaluados.

Nombre comercial	Composición	Presentación	Empresa	Origen
1. Ceratitstrap®	Proteína hidrolizada 5,5 %	Líquido listo para usar	Bioibérica S.A.	España
2. Plustrap®	Trimetilamina 15 %	Líquido listo para usar	SUSBIN	Argentina
3. Cebo TMA®	Trimetilamina 5,74 %	Tarjeta difusora	SUSBIN	Argentina
4. Cebo Anastrepha®	Acetato de amonio 45 % + putrescina 0,15 %	Tarjeta difusora	SUSBIN	Argentina
5. Levadura Torula PBX®	Levaduras y bórax	Pellets	SUSBIN	Argentina
6. Jugo de guayabo del país al 20 %	Frutos enteros procesados	Líquido diluido	Elaboración propia	Uruguay
7. Melaza de caña al 6 %	Subproducto industria azucarera	Líquido diluido	Azucarera del Litoral S.A.	Uruguay



**Figura 7.** Distribución de las trampas McPhail en los ensayos de campo. Los diferentes números representan los distintos atrayentes evaluados. A: ensayo en mandarinas ‘Satsuma Okitsu’, temporada 2017. B: ensayo en mandarinas ‘Satsuma Owari’, temporada 2018. C: ensayo en manzanos ‘Fuji Kiku’ temporadas 2017 y 2018. D: ensayo en durazneros ‘Dixiland’, temporadas 2017 y 2018.

Los productos comerciales proteína hidrolizada, TMA líquido, TMA tarjeta difusora y acetato de amonio + putrescina fueron seleccionados para su evaluación debido a que están disponibles comercialmente y son muy utilizados por los productores frutícolas para trapeo masivo. La levadura *Torula* es utilizada comúnmente para cebar trampas McPhail de monitoreo de poblaciones de mosca, tanto por los productores como por el Programa de Vigilancia Oficial de Moscas de la Fruta del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. El jugo natural de guayabo del país (*Acca sellowiana*) fue seleccionado como un atrayente de posible elaboración casera y bajo costo debido a la muy alta atraktividad que tienen estos frutos para *C. capitata* y *A. fraterculus* (Segura et al., 2006). La melaza de caña es un subproducto de la industria azucarera que se utiliza principalmente en los cultivos de cítricos

como matriz atractiva para las moscas de la fruta en aplicaciones de cebos tóxicos, por lo que resultaba interesante evaluar su comportamiento atractivo dentro de una trampa.

En el caso de los tratamientos proteína hidrolizada, TMA líquido, melaza al 6 % y jugo de guayabo al 20 %, cada trampa fue cebada con 300 mL del producto. En el caso de la levadura *Torula* se colocaron 300 mL de agua del grifo y cuatro pellets del producto comercial. Las tarjetas difusoras de TMA tarjeta difusora y acetato de amonio + putrescina se pegaron en la parte superior de las trampas con cinta adhesiva doble faz y se colocaron 300 mL de agua del grifo con 5 mL de jabón líquido de pH neutro. Este último paso permite romper la tensión superficial del agua y hace más eficiente la captura de los insectos (Hodson, 1948).

En cada cultivo frutal fueron evaluados seis atrayentes alimenticios (tratamientos) en cuatro repeticiones por ensayo. En el ensayo de durazneros 'Dixiland' se utilizó jugo natural de guayabo del país (*Acca sellowiana*) al 20 % como atrayente pero fue sustituido por la melaza de caña en los ensayos posteriores, debido a su falta de eficiencia y difícil implementación. Sin embargo, para la temporada 2018 en los ensayos de durazneros 'Dixiland' y manzanos 'Fuji Kiku', la melaza de caña fue también reemplazada por su falta de eficiencia. Es por esta razón que en total fueron evaluados siete atrayentes entre los tres ensayos realizados.

Las trampas fueron revisadas y rotadas de sitio semanalmente en el sentido de las agujas del reloj, de modo de evitar cualquier desvío en las capturas asociados a la posición de la trampa en la parcela. Los atrayentes comerciales fueron recebados según recomendación de etiqueta. Los cebos líquidos proteína hidrolizada y TMA líquido fueron cambiados completamente luego de 45 días de ensayo. En estos casos, en cada revisión los atrayentes fueron colados para sacar y guardar adecuadamente los artrópodos capturados y el mismo producto se volvía a colocar dentro de la trampa. Las tarjetas difusoras de los cebos TMA y acetato de amonio + putrescina no se cambiaron ya que tienen una duración de etiqueta de 120 días a campo. El

agua con jabón de estas trampas se colaba para sacar los artrópodos y se cambiaba cada semana. La levadura *Torula*, la melaza de caña al 6 % y el jugo de guayabo al 20 % fueron recebados semanalmente.

### **2.3. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS ATRAYENTES ALIMENTICIOS A CAMPO**

Cada semana los especímenes colectados en las trampas se colocaron en tubos plásticos etiquetados conteniendo alcohol al 96 % y se trasladaron al laboratorio. Una vez allí las moscas de la fruta fueron acondicionadas para su posterior identificación taxonómica a nivel de especie mediante las claves de Malavasi y Zucchi (2000). Los tefrítidos pertenecientes a otros géneros fueron identificados a través de claves desarrolladas por Foote (1980). Los ejemplares de *C. capitata* y *A. fraterculus* colectados fueron sexados y separados del resto de los insectos de la muestra. Las capturas acumuladas de tefrítidos expresadas como Hembras por Trampa por Día (HTD) fueron determinadas para el período pre y poscosecha, para los tres cultivos en las dos temporadas de evaluación.

Durante la temporada 2018 se instalaron trampas Jackson cebadas con trimedlure (TML) dentro de los ensayos en durazneros y manzanos, en sustitución del jugo de guayabo y la melaza de caña respectivamente, y con el objetivo de servir de referencia en cuanto a las capturas de *C. capitata* en el ensayo. Se intercalaron con el resto de los atrayentes como un tratamiento más, y fueron revisadas y rotadas de sitio semanalmente.

Para determinar el nivel de infestación de los frutos por tefrítidos al momento de la cosecha comercial, se muestrearon al azar 100 frutos por repetición y por ensayo, totalizando 400 frutos por cultivo. Los frutos colectados fueron llevados al laboratorio, pesados y mantenidos en recipientes de PVC, en condiciones controladas de temperatura ( $22 \pm 3$  °C) y humedad ( $70 \pm 5$  %). Cada recipiente fue cubierto con tela voile para permitir la ventilación y evitar la proliferación de hongos y fondo de arena para facilitar

la pupación de las larvas de tefrítidos. Los mismos se revisaron periódicamente de modo de separar y acondicionar las pupas de moscas de la fruta. Los individuos obtenidos fueron contados, identificados y sexados.

#### **2.4. DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN DE HEMBRAS PRE-REPRODUCTIVAS CAPTURADAS**

Las hembras de ambas especies de tefrítidos capturadas en trampa fueron disecadas en placa de Petri, donde se les extrajeron los ovarios y se observó la presencia de huevos como indicador de madurez sexual (Bortoli et al., 2016). Para la primera temporada de evaluación, todas las hembras capturadas fueron disecadas, pero en la segunda temporada se disecaron como máximo 10 hembras por muestra debido a la enorme cantidad de hembras capturadas. Todas las hembras sin huevos desarrollados fueron consideradas no grávidas y, por lo tanto, inmaduras sexualmente.

#### **2.5. DETERMINACIÓN DE LA SELECTIVIDAD DE LOS ATRAYENTES RESPECTO A LOS ARTRÓPODOS BENÉFICOS**

Para evaluar la selectividad de los atrayentes utilizados en trampeo masivo respecto a las poblaciones de polinizadores, depredadores y parasitoides, se clasificaron y contabilizaron todos los artrópodos que fueron capturados. Los insectos fueron clasificados a nivel de Orden y Familia siguiendo las claves de Bentancourt et al. (2009). Se definieron tres categorías: “tefrítidos”, “artrópodos benéficos” y “otros insectos no blanco”. En la categoría tefrítidos se incluyeron los especímenes de moscas de la fruta de importancia económica: *C. capitata* y *A. fraterculus*. Los artrópodos benéficos incluyen especímenes de Hymenoptera: Apidae, Braconidae, Ichneumonidae, Pteromalidae, Figitidae; Neuroptera: Chrysopidae, Hemerobiidae; Diptera: Syrphidae, Tachinidae; Coleoptera: Coccinellidae. Otros insectos no blanco son aquellos especímenes capturados que no pertenecen a las categorías

anteriores (ej. Muscidae, Drosophilidae, Blattellidae, Nitidulidae, Cerambycidae, Culicidae, Cicadellidae, Lepidoptera, etc).

## **2.6. ANÁLISIS DE LOS DATOS**

Dado que son las hembras las que causan los daños en los frutos, para la evaluación de la efectividad de los atrayentes se prefirió comparar las medias de captura de hembras de los distintos tratamientos. Para lograr esto se utilizó un Modelo Lineal Generalizado Mixto (MLGM) ajustado a una distribución Quasi Poisson, seguido de un procedimiento de separación de medias mediante la prueba DGC ( $\alpha = 0,05$ ) con el software estadístico Infostat Versión 2018 (Di Rienzo et al., 2018). Fecha y lugar se definieron como efectos aleatorios mientras que los tratamientos y bloques se definieron como factores fijos. La proporción de capturas en el período precosecha y poscosecha para cada ensayo de campo, las medias de capturas de tefrítidos y artrópodos no blanco (artrópodos benéficos + otros insectos no blanco) y la proporción de hembras maduras e inmaduras sexualmente se compararon mediante Prueba de Chi Cuadrado ( $p = 0,01$ ), mediante el software estadístico SPSS para Windows Versión 23.0.0.0. (IBM Corp., 2015).

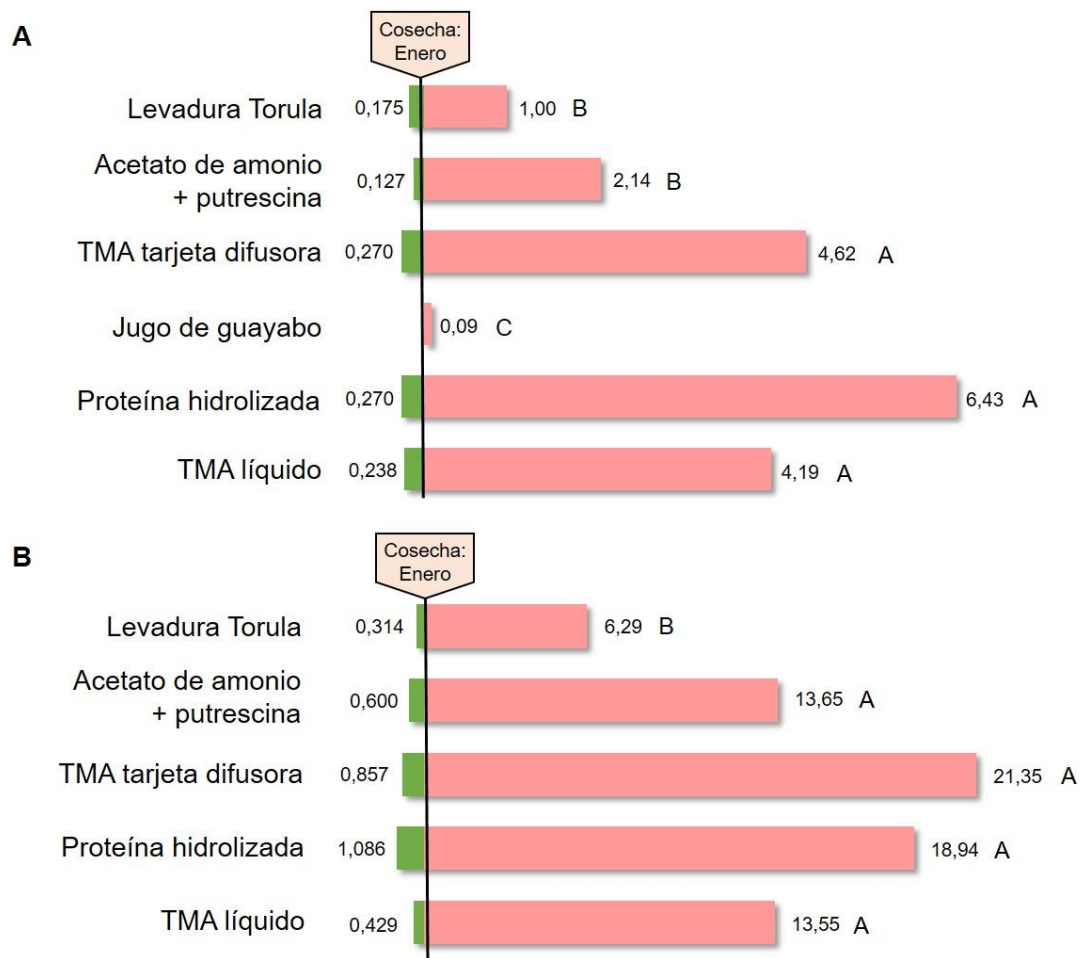
### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. EFICIENCIA DE ATRAYENTES ALIMENTICIOS EN LA CAPTURA DE *Ceratitis capitata* Y *Anastrepha fraterculus***

##### **3.1.1. Ensayo de campo en durazneros ‘Dixiland’**

Durante la primera temporada de evaluación (noviembre de 2016 a febrero de 2017) un total de 694 tefrítidos fueron capturados en las 12 semanas de ensayos, siendo 522 hembras y 172 machos. *Ceratitis capitata* representó el 94 % de las capturas, mientras que *A. fraterculus* representó solamente el 6 %. La proteína hidrolizada (35 %; 6,7 HTD), el TMA líquido (24%; 4,9 HTD) y el TMA tarjeta difusora (23 %; 4,4 HTD) fueron los mejores atrayentes capturando el 79 % de los tefrítidos totales (Figura 8-A).

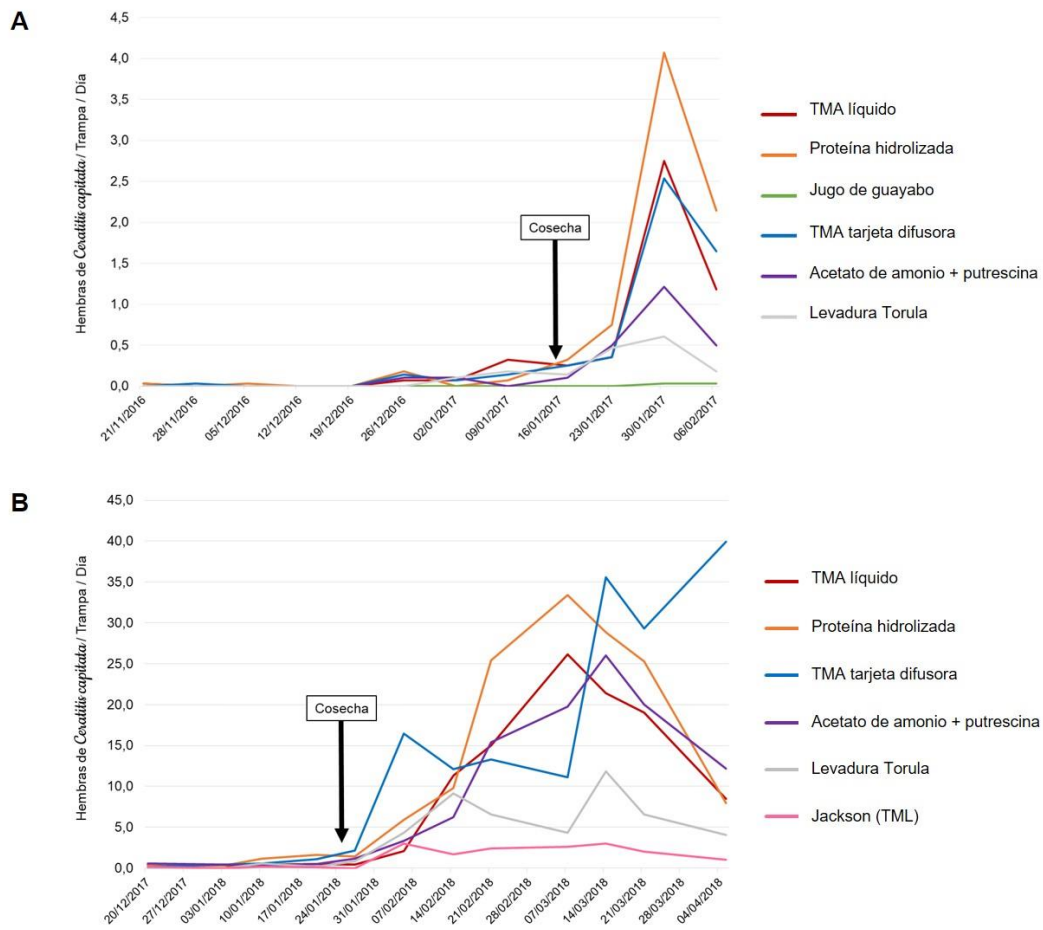
Durante la segunda temporada de evaluación (diciembre de 2017 a abril de 2018) un total de 5634 tefrítidos fueron capturados en las 16 semanas de evaluación, siendo 3742 hembras y 1892 machos. *Ceratitis capitata* representó el 99,7 % de las capturas mientras que *A. fraterculus* solo el 0,3 %. Las capturas totales de *C. capitata* aumentaron un 800 % en la temporada 2018 respecto a la temporada anterior. Sin embargo, el ranking de tratamientos no se modificó (Figura 8-B). El TMA tarjeta difusora (29 %; 22,2 HTD), la proteína hidrolizada (25 %; 20 HTD), el acetato de amonio + putrescina (19 %; 14,2 HTD) y el TMA líquido (19 %; 13,9 HTD) fueron los mejores atrayentes para *C. capitata*, capturando conjuntamente el 92 % de los especímenes. La proteína hidrolizada fue también el mejor atrayente en el período precosecha. En ambas temporadas de evaluación, todos los atrayentes capturaron más tefrítidos en el período poscosecha que en el período precosecha.



**Figura 8.** Capturas acumuladas de *Ceratitís capitata* expresadas como Hembras por Trampa por Día (HTD) para el período precosecha (color verde) y poscosecha (color rosado) para el ensayo en durazneros ‘Dixiland’. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en las capturas acumuladas de hembras para el total del período de ensayo (MLGM,  $p \leq 0,05$ ). A. Temporada 2017. B. Temporada 2018.



En la Figura 9 se observan las capturas de hembras de *C. capitata* a lo largo del ensayo, para cada tratamiento, en las dos temporadas de evaluación. En ambas temporadas se puede observar cómo las capturas aumentan drásticamente luego de la cosecha en todos los tratamientos evaluados. Nótese que la diferencia en las magnitudes de capturas entre la temporada 2017 (Figura 9-A) y la 2018 (Figura 9-B), donde la escala de la gráfica correspondiente a 2018 es 10 veces mayor a la de 2017. El uso de un atrayente específico para machos de *C. capitata* como es el TML no mejoró la capacidad de detección de esta especie plaga en el cultivo en la temporada 2018. Dadas sus bajas capturas tampoco permitió detectar los picos poblacionales de mediados de febrero y principios de marzo, por lo que su desempeño fue deficiente desde el punto de vista del monitoreo de la plaga en comparación con los otros atrayentes evaluados.

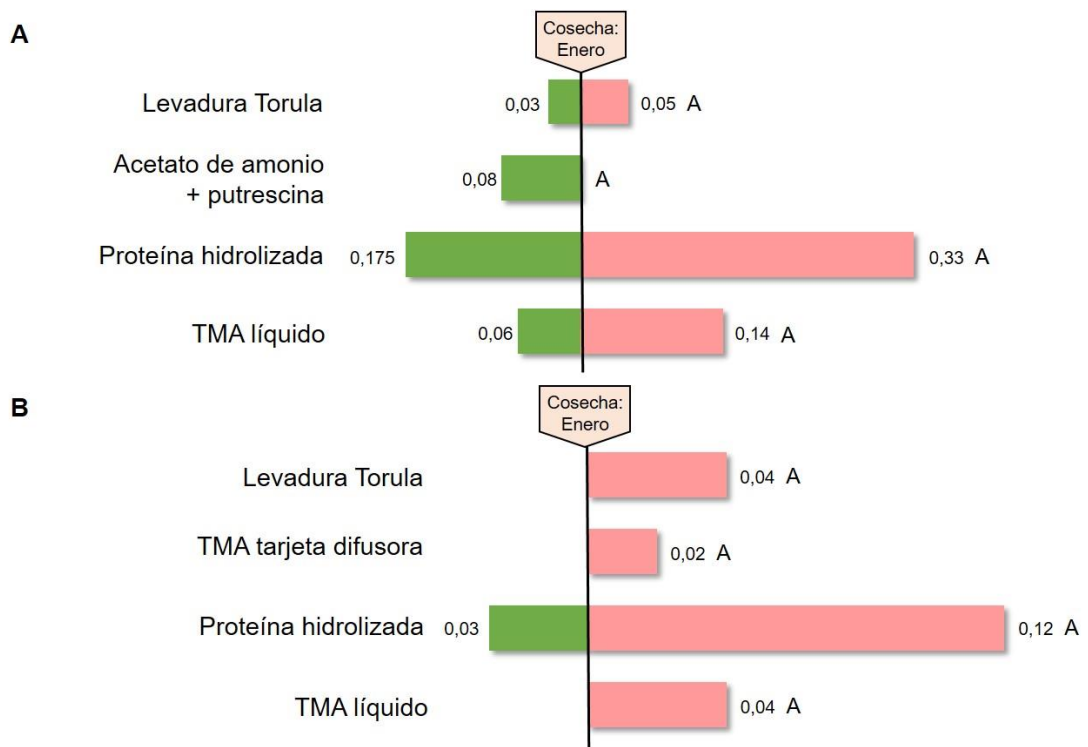


**Figura 9.** Capturas de *Ceratitís capitata* expresadas como Hembras por Trampa por Día en los diferentes tratamientos en el ensayo en durazneros ‘Dixiland’. Para el caso de la trampa Jackson (TML) se grafican los machos/Trampa/Día. A. Temporada 2017. B. Temporada 2018.

La presencia de *A. fraterculus* fue detectada únicamente en el ensayo en durazneros ‘Dixiland’, pero en una densidad mucho menor a la de *C. capitata*, con relaciones *C. capitata*: *A. fraterculus* de 15:1 en la temporada 2017 y 304:1 en la temporada 2018. En la temporada 2017, la proteína hidrolizada (58 %; 0,51 HTD), TMA líquido (24 %; 0,20 HTD), levadura Torula (9 %; 0,08 HTD) y acetato de amonio + putrescina (9 %; 0,08 HTD) capturaron hembras de *A. fraterculus* sin diferencias significativas entre ellos (Figura 10-

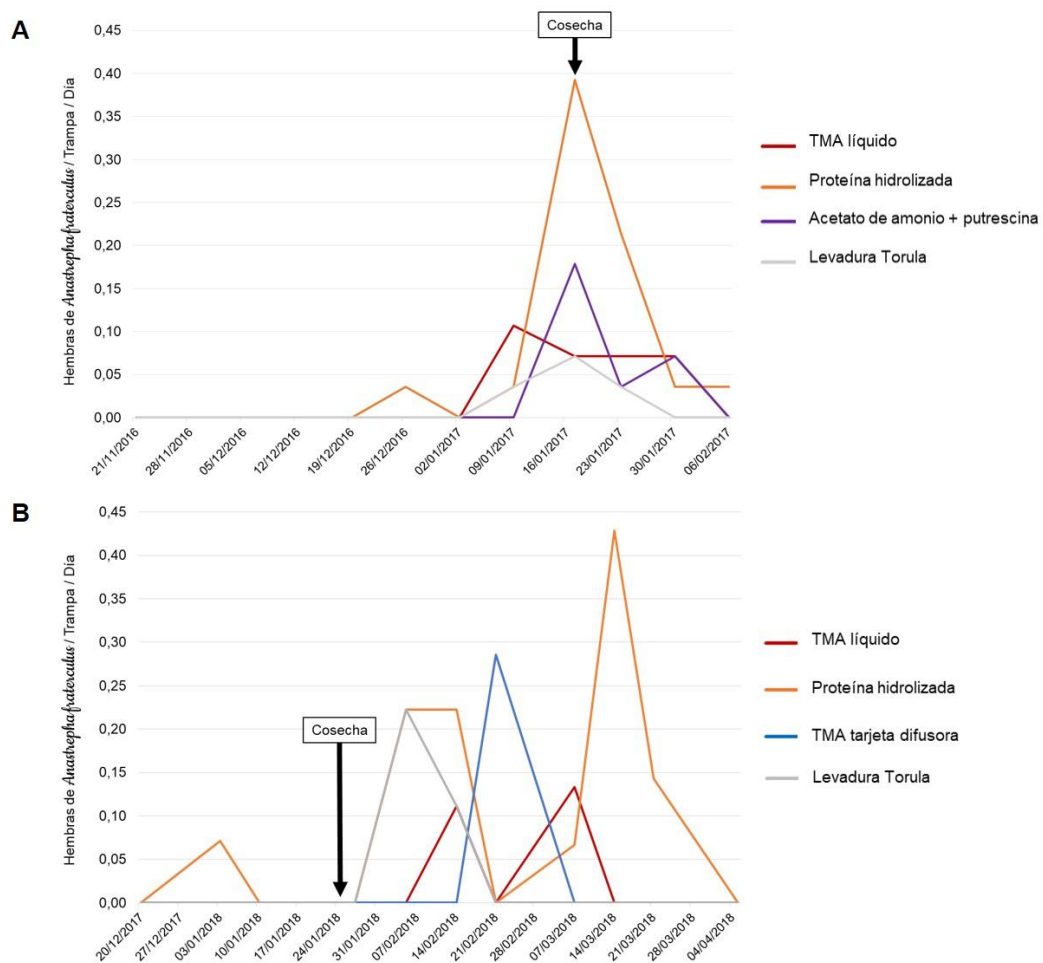
A). En la temporada 2018, la proteína hidrolizada (60 %; 0,15 HTD), TMA líquido (16 %; 0,04 HTD), levadura *Torula* (16 %; 0,04 HTD) y TMA tarjeta difusora (8 %; 0,02 HTD) capturaron hembras de *A. fraterculus* sin diferencias significativas entre ellos (Figura 10-B).

Sin embargo, en la temporada 2017 una infestación promedio de 0,45 pupas/Kg de *A. fraterculus* fue observada. Este fue el único ensayo de campo y temporada en la que se detectó infestación de la fruta muestreada por tefrítidos. Una explicación posible para este resultado es que a pesar de estar evaluando atrayentes más sensibles que la tradicional levadura *Torula* para el monitoreo de poblaciones de *A. fraterculus*, sigue habiendo problemas para detectar poblaciones “bajas pero perjudiciales” de esta plaga. Situaciones similares se dan en el sur de Brasil, en cultivos de durazneros y otros frutales de hoja caduca (Nava y Botton, 2010).



**Figura 10.** Capturas acumuladas de *Anastrepha fraterculus* expresadas como Hembras por Trampa por Día (HTD) para el período precosecha (color verde) y poscosecha (color rosado) para el ensayo en durazneros ‘Dixiland’. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en las capturas acumuladas de hembras para el total del período de ensayo (MLGM,  $p \leq 0,05$ ). A. Temporada 2017. B. Temporada 2018.

En la Figura 11 se observan las capturas de hembras de *A. fraterculus* a lo largo del ensayo, para cada tratamiento, en las dos temporadas de evaluación. Para la primera temporada se puede observar que el pico poblacional máximo se da en el mismo momento de la cosecha (Figura 11-A). Sin embargo, en la temporada siguiente y al igual que lo sucedido con las poblaciones de *C. capitata*, el pico poblacional se da luego de la cosecha (Figura 11-B).



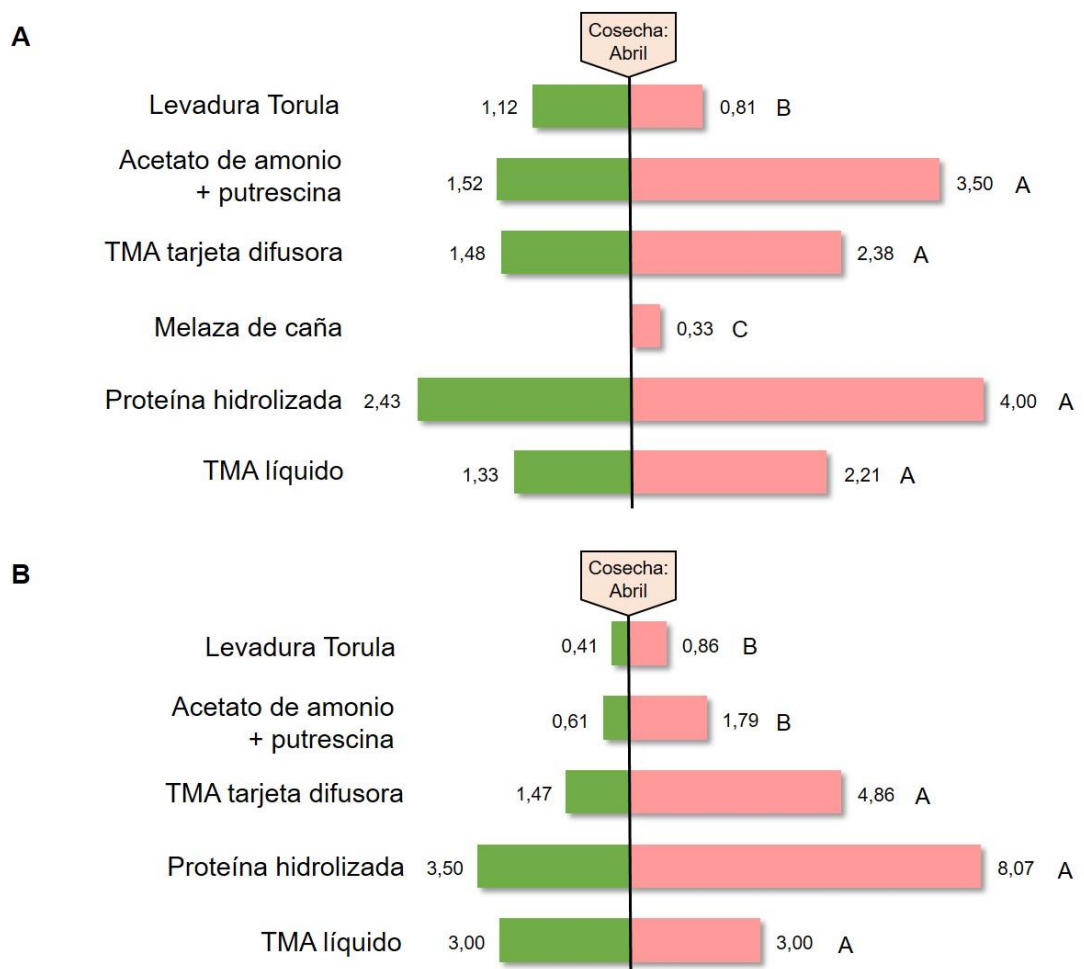
**Figura 11.** Fluctuación de las capturas de *Anastrepha fraterculus* expresadas como Hembras por Trampa por Día en los diferentes tratamientos en el ensayo en durazneros ‘Dixiland’. A. Temporada 2017. B. Temporada 2018.

### 3.1.2. Ensayo de campo en manzanos ‘Fuji Kiku’

Durante la primera temporada de evaluación (febrero a mayo de 2017) se capturaron 1143 especímenes de *C. capitata* en las 13 semanas de evaluación, siendo 919 hembras y 224 machos. La proteína hidrolizada (30 %; 6,4 HTD), el acetato de amonio + putrescina (24 %; 5 HTD), el TMA tarjeta difusora (18 %; 3,9 HTD) y el TMA líquido (17 %; 3,5 HTD) fueron los mejores atrayentes, capturando conjuntamente el 89 % de las moscas del

Mediterráneo (Figura 12-A). La cosecha comercial se dio en la sexta semana de ensayo. Ninguno de los atrayentes mostró diferencias significativas en su eficiencia durante el período precosecha.

Una situación similar se dio en la segunda temporada de evaluación (febrero a mayo de 2018). En esta temporada se capturaron 1152 *C. capitata* en las 13 semanas de evaluación, siendo 891 hembras y 261 machos. La proteína hidrolizada (39 %; 11,6 HTD), el TMA líquido (28 %; 6 HTD) y el TMA tarjeta difusora (19 %; 6,3 HTD) fueron los mejores atrayentes, capturando conjuntamente el 86 % de las moscas del Mediterráneo (Figura 12-B). En ambas temporadas de evaluación, todos los atrayentes capturaron más individuos de *C. capitata* en el período poscosecha que en el período precosecha. La proteína hidrolizada y el TMA líquido fueron también los mejores atrayentes en el período precosecha. En ninguna de las dos temporadas se capturaron especímenes de *A. fraterculus*.



**Figura 12.** Capturas acumuladas de *Ceratitis capitata* expresadas como Hembras por Trampa por Día (HTD) para el período precosecha (color verde) y poscosecha (color rosado) para el ensayo en manzanos ‘Fuji Kiku’. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en las capturas acumuladas de hembras para el total del período de ensayo (MLGM,  $p \leq 0,05$ ). A. Temporada 2017. B. Temporada 2018.

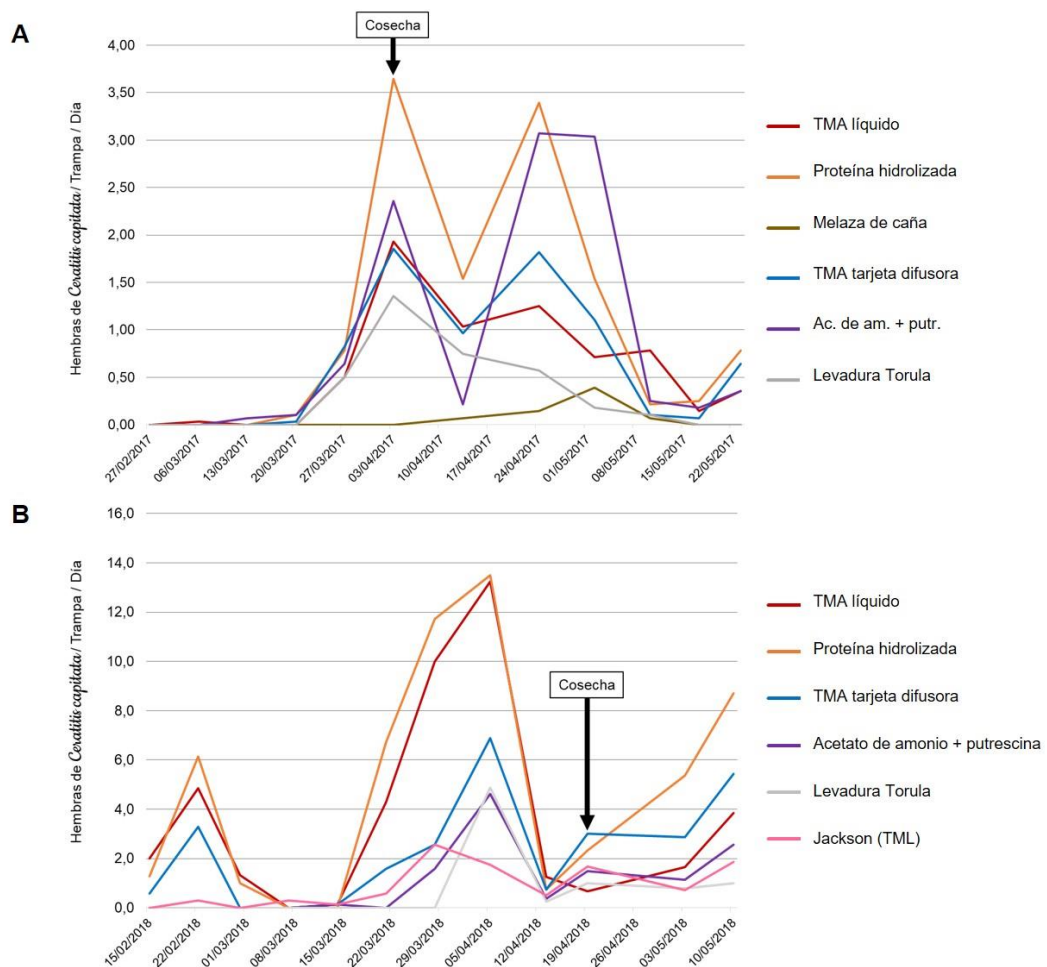
En la temporada 2017 (Figura 13-A) el máximo pico poblacional detectado por la proteína hidrolizada (3,5 HTD) coincidió con el momento de cosecha. Alrededor de un mes luego de la cosecha todos los tratamientos menos la Torula y la melaza de caña fueron capaces de detectar otro pico

poblacional similar, y al momento de levantar el ensayo las poblaciones estaban volviendo a aumentar.

En la temporada 2018 (Figura 13-B) el período de evaluación precosecha resultó bastante mayor al de la temporada anterior, debido a que la cosecha comercial se dio en la décima semana de ensayo. Previo a la cosecha fue posible detectar dos picos poblacionales importantes, de hasta 6 y 13 HTD para la proteína hidrolizada y el TMA líquido. Al momento de cosecha las poblaciones de *C. capitata* estaban bajas (en el entorno de 2 HTD) pero de todas maneras se observó el típico aumento poblacional poscosecha.

Todos los atrayentes fueron capaces de marcar los picos poblacionales de *C. capitata* en los mismos momentos, pero con una marcada diferencia en las intensidades de captura, lo que se asocia directamente con su eficiencia. El uso de un atrayente específico para machos de *C. capitata* como es el TML no mejoró la capacidad de detección de esta especie plaga en el cultivo en la temporada 2018, al igual que en el ensayo en durazneros 'Dixiland'. El TMA líquido logró detectar la presencia de *C. capitata* antes que los otros atrayentes en ambas temporadas.





**Figura 13.** Capturas de *Ceratitis capitata* expresadas como Hembras por Trampa por Día en los diferentes tratamientos en el ensayo en manzanos 'Fuji Kiku'. Para el caso de la trampa Jackson (TML) se grafican los machos/Trampa/Día. A. Temporada 2017. B. Temporada 2018.

En el Cuadro 2 se resumen las principales características agroclimáticas de las temporadas 2017 y 2018 en la zona Sur. Se puede observar que en la temporada 2018 hubo condiciones más favorables para el desarrollo de las poblaciones de moscas de la fruta, como un invierno benigno y un verano seco. Este invierno cálido que favoreció a las moscas, dificultó a su vez la fructificación de varias especies y variedades debido a la falta de acumulación de unidades de frío. Por esta razón, en el cuadro de manzanos

en estudio la producción estimada fue aproximadamente un 40% menor a la temporada anterior.

**Cuadro 2.** Características agroclimáticas de las temporadas 2017 y 2018 en la zona Sur del país.

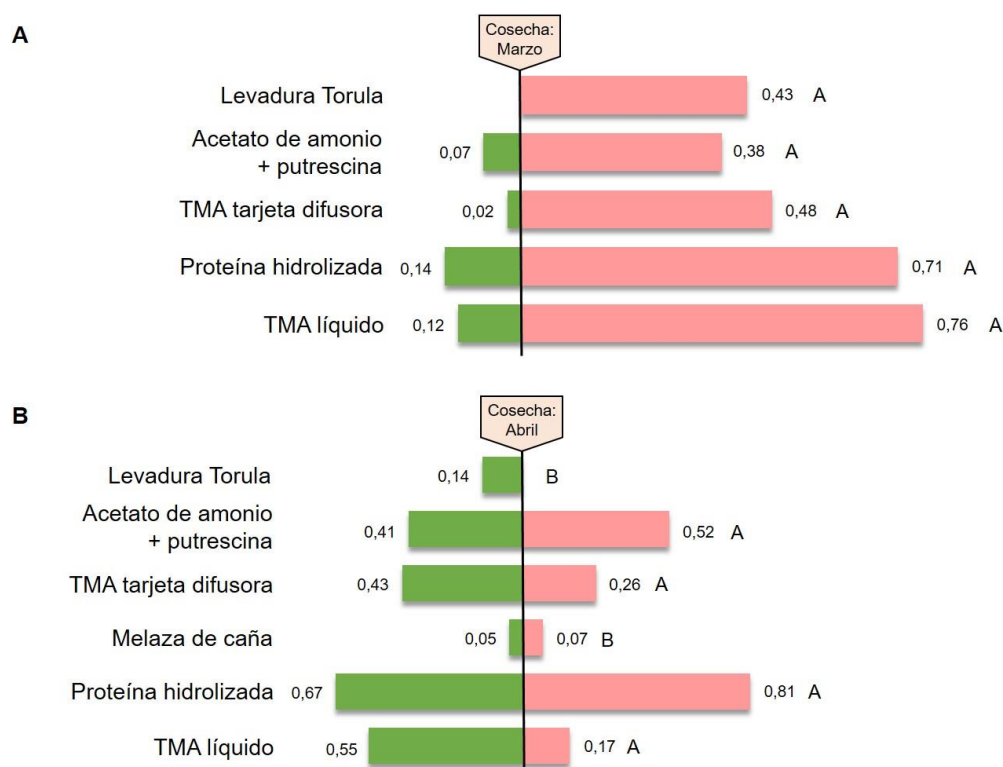
Temporada	Estación	Precipitación acumulada (mm)	Promedio de			Meses
			T media (°C)	T mín (°C)	T máx (°C)	
2017	Invierno	330	10,6	5,9	15,2	Jun Jul Ago
	Primavera	252	15,9	10,6	21,2	Set Oct Nov
	Verano	379	23,3	17,3	29,4	Dic Ene Feb
	Otoño	318	17,9	12,6	23,5	Mar Abr May
Período de medición			Unidades de frío (Richardson)			
1º de junio de 2016 al 31 de agosto de 2016			1096			
2018	Invierno	368	13,1	8,1	18,1	Jun Jul Ago
	Primavera	300	16,3	10,7	21,9	Set Oct Nov
	Verano	208	22,8	16,2	29,5	Dic Ene Feb
	Otoño	345	18,9	13,7	24,2	Mar Abr May
Período de medición			Unidades de frío (Richardson)			
1º de junio de 2017 al 31 de agosto de 2017			294			

Fuente: INIA GRAS, Banco de datos agroclimáticos, INIA Las Brujas.

### 3.1.3. Ensayos de campo en mandarinos ‘Satsuma’

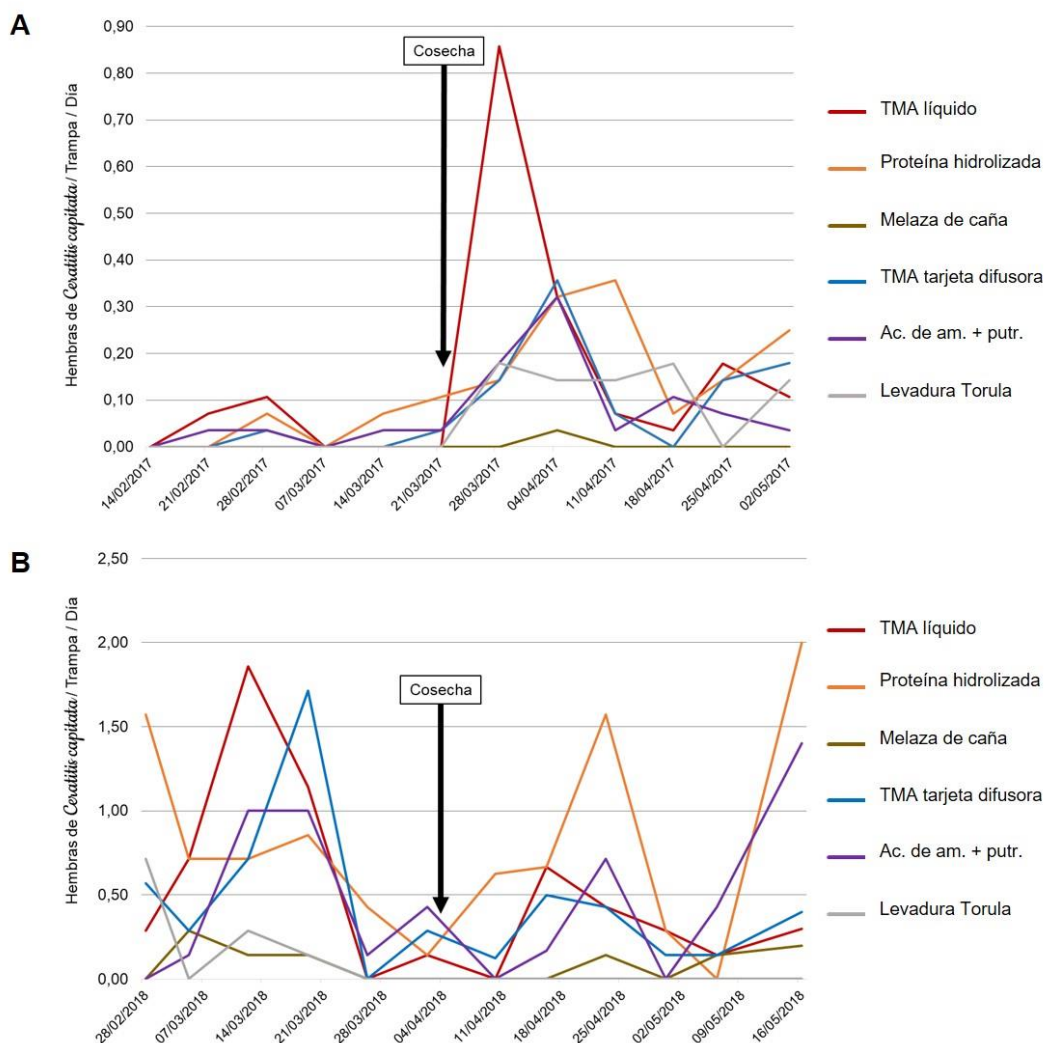
En el ensayo con mandarinas ‘Satsuma Okitsu’ durante la primera temporada (febrero a mayo de 2017) solo 169 especímenes de *C. capitata* fueron capturadas en las 12 semanas de evaluación, siendo 133 hembras y 36 machos. La cosecha comercial fue en la sexta semana de ensayo. No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los atrayentes (Figura 14-A). La temporada 2017 se caracterizó por su baja prevalencia de moscas de la fruta en la zona de estudio.

La segunda temporada de evaluación (febrero a mayo de 2018) en la variedad ‘Satsuma Owari’, solamente 211 especímenes de *C. capitata* fueron capturados durante las 12 semanas de evaluación, siendo 170 hembras y 41 machos. La cosecha comercial fue en la sexta semana de ensayo. El TMA líquido (29 %; 0,7 HTD), la proteína hidrolizada (27 %; 1,5 HTD), el TMA tarjeta difusora (16 %; 0,7 HTD) y el acetato de amonio + putrescina (15 %; 0,9 HTD) fueron los mejores atrayentes y capturaron conjuntamente el 92 % de las moscas de la fruta (Figura 14-B). Estos atrayentes también fueron los mejores en el período precosecha.



**Figura 14.** Capturas acumuladas de *Ceratitidis capitata* expresadas como Hembras por Trampa por Día (HTD) para el período precosecha (color verde) y poscosecha (color rosado) para el ensayo en mandarinos ‘Satsuma’. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en las capturas acumuladas de hembras para el total del período de ensayo (MLGM,  $p \leq 0,05$ ). A. Temporada 2017, mandarinos ‘Satsuma Okitsu’. B. Temporada 2018, mandarinos ‘Satsuma Owari’.

En la Figura 15 se observan las capturas de hembras de *C. capitata* a lo largo del ensayo, para cada tratamiento, en las dos temporadas de evaluación. En la temporada 2017 (Figura 15-A) se observa claramente cómo las capturas aumentan luego de cosecha, aunque ya se había detectado un pico poblacional bajo de 0,1 HTD aproximadamente un mes antes de la cosecha. En la segunda temporada (Figura 15-B) se observa que las poblaciones eran altas incluso al momento de la instalación del ensayo, con un HTD cercano a 1,5 detectado por la proteína hidrolizada en la primera semana de evaluación. Al momento de la cosecha se detectaron las poblaciones de hembras más bajas del ensayo, con HTDs en el entorno de 0,4, pero luego de la cosecha las mismas volvieron a subir hasta niveles comparables a los del inicio del ensayo.



**Figura 15.** Fluctuación de las capturas de *Ceratitis capitata* expresadas como Hembras por Trampa por Día en los diferentes tratamientos en el ensayo en mandarinos ‘Satsuma’. A. Temporada 2017, mandarinos ‘Satsuma Okitsu’. B. Temporada 2018, mandarinos ‘Satsuma Owari’.

En todos los ensayos de campo en ambas temporadas, todos los tratamientos fueron capaces de capturar significativamente más hembras que machos. Este es un resultado muy positivo y constituye la base de una estrategia de trapeo masivo efectiva. Las hembras se ven atraídas a los cebos con más frecuencia que los machos (Jahnke et al. 2014, Manrakhan y

Kotze 2009), especialmente a aquellos que son de naturaleza proteica (Raga y Vieira 2015, Katsoyannos et al. 1999, Malo 1992).

El atrayente TMA líquido fue capaz de detectar la presencia de moscas de la fruta antes que los otros atrayentes en todos los cultivos y en las dos temporadas. Este es un resultado muy interesante desde el punto de vista del monitoreo de la plaga y la determinación del inicio del posible ataque a los frutos. Los cebos proteicos de origen animal como la proteína hidrolizada y el TMA líquido fueron los más eficientes en la captura de especímenes de *C. capitata*. Los machos también son atraídos hacia estos cebos, presumiblemente porque el consumo de proteínas aumenta su éxito en la búsqueda de hembras (Pérez-Staples y Aluja, 2004).

El TMA líquido, la proteína hidrolizada y el TMA tarjeta difusora fueron los atrayentes más efectivos en la captura de tefrítidos en todos los cultivos y en las dos temporadas. Varios estudios han reportado la eficiencia de la proteína hidrolizada para la captura de *C. capitata* y *A. fraterculus* (Hafsi et al. 2020, Da Rosa et al. 2017, Bortoli et al. 2016, Botton et al. 2012).

Atrayentes de bajo costo y elaboración artesanal como como la melaza de caña y el jugo de guayabo resultaron ineficientes. La falta de efectividad de la melaza de caña había sido reportada para *A. fraterculus* y *A. grandis* (Malavasi et al., 1990). La melaza es comúnmente utilizada en mezcla con insecticidas como la porción atrayente de cebos tóxicos en Brasil (Nava y Botton, 2010) y Uruguay, donde es considerada efectiva por los productores. Existen en el mundo experiencias exitosas de control de *C. capitata* (Candia et al., 2018) y *A. fraterculus* (Lang et al., 2006) con atrayentes alimenticios de desarrollo artesanal y bajo costo como bebidas fermentadas y levaduras. Para las condiciones productivas de Uruguay será necesario seguir explorando posibilidades en este sentido.

En la mayoría de los ensayos de campo las capturas de tefrítidos se concentraron en el período de poscosecha. Este resultado ya había sido observado en frutales de hoja caduca de la zona sur entre los años 2014 y 2016, en trampas cebadas con levadura *Torula* (Scatoni et al., 2019). En ese

entonces una de las hipótesis manejadas por el equipo de investigación fue la escasa eficiencia asociada a este atrayente, cuyas capturas de tefrítidos en el período precosecha habían sido prácticamente inexistentes. Sin embargo, durante el presente trabajo fue posible detectar capturas en el período precosecha para los atrayentes que resultaron eficientes, y de todas maneras la mayoría de las capturas se da luego de la cosecha.

Una de las explicaciones posibles es que ingresan al cultivo hembras maduras sexualmente que ya se alimentaron al emerger de otras fuentes proteicas ubicadas fuera del cultivo, y una vez dentro son poco sensibles a los atrayentes proteicos pero sí son capaces de verse atraídas a los frutos para oviponer. De esta manera la mayor proporción de capturas en el período poscosecha se explica porque se están capturando hembras recién emergidas de pupas que están en el suelo del cultivo y se encuentran rápidamente atraídas por las fuentes proteicas ofrecidas. Este resultado tiene una implicancia directa en cuanto al manejo que se realiza comúnmente de las trampas de trapeo masivo. Habitualmente los productores mueven las trampas luego de la cosecha de una variedad a la siguiente variedad susceptible de ataque de mosca en el predio. A la luz de los resultados obtenidos sería recomendable mantener en el mismo cuadro las trampas de mosca hasta avanzado el período de poscosecha, de modo de poder capturar la mayor cantidad posible de tefrítidos antes de que esa elevada población se traslade a atacar otra variedad.

### **3.2. PROPORCIÓN DE HEMBRAS PRE-REPRODUCTIVAS CAPTURADAS**

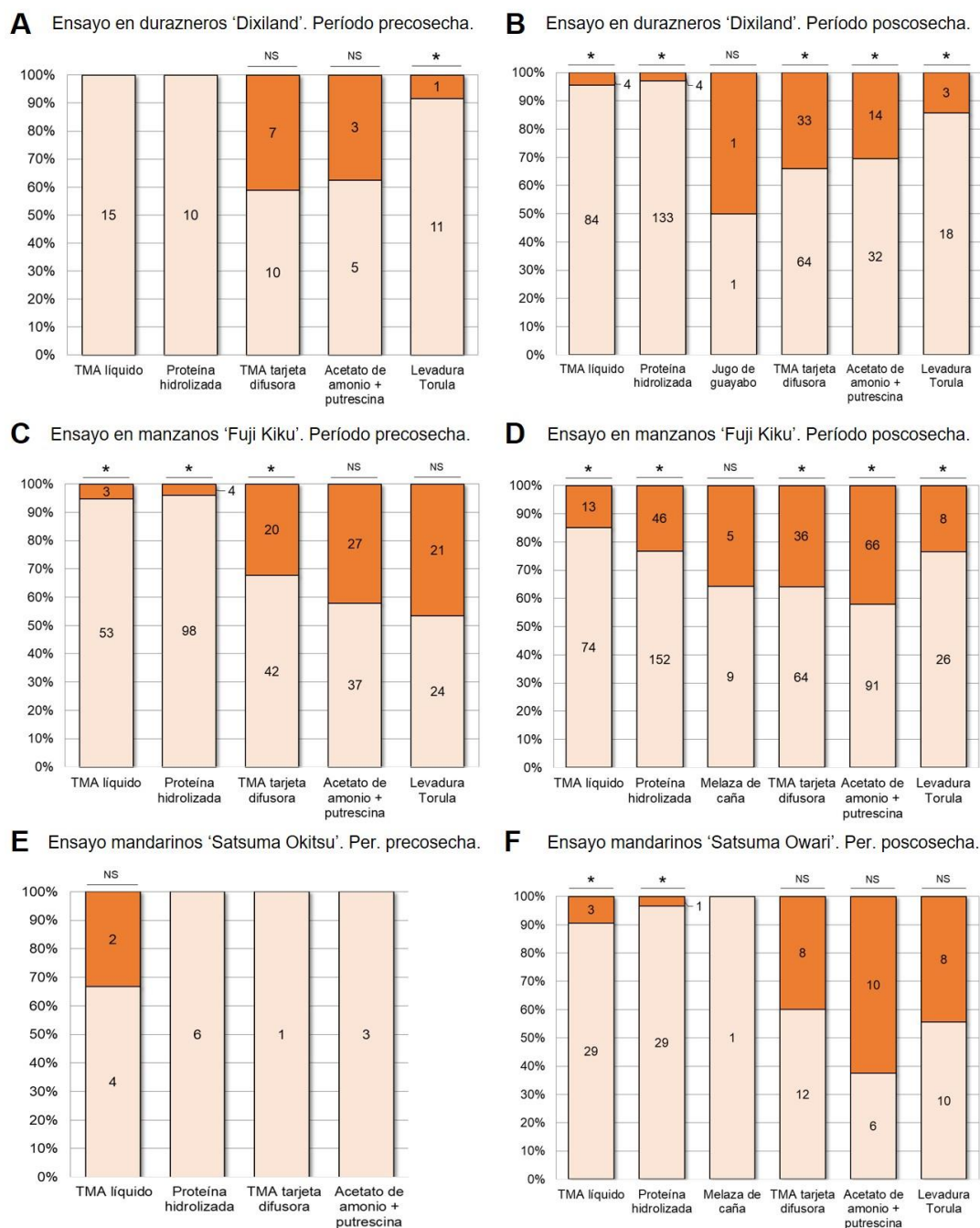
En la primera temporada de evaluación, las 1505 hembras de *C. capitata* y las 33 hembras de *A. fraterculus* capturadas en los diferentes cultivos y tratamientos fueron disecadas para evaluar la proporción de hembras pre-reproductivas (Figura 16). La mayoría de las hembras capturadas fueron jóvenes en etapas pre-reproductivas, lo que se determinó por la ausencia de huevos en los ovarios (Bortoli et al. 2016, Heath et al. 1995). El 77 % de las

hembras capturadas de *C. capitata* fueron no grávidas (pre-reproductivas) y el 23 % resultaron grávidas, considerando el período pre y poscosecha. En el caso de las hembras de *A. fraterculus* capturadas, el 92 % fueron no grávidas mientras que el 8 % presentaron huevos desarrollados.

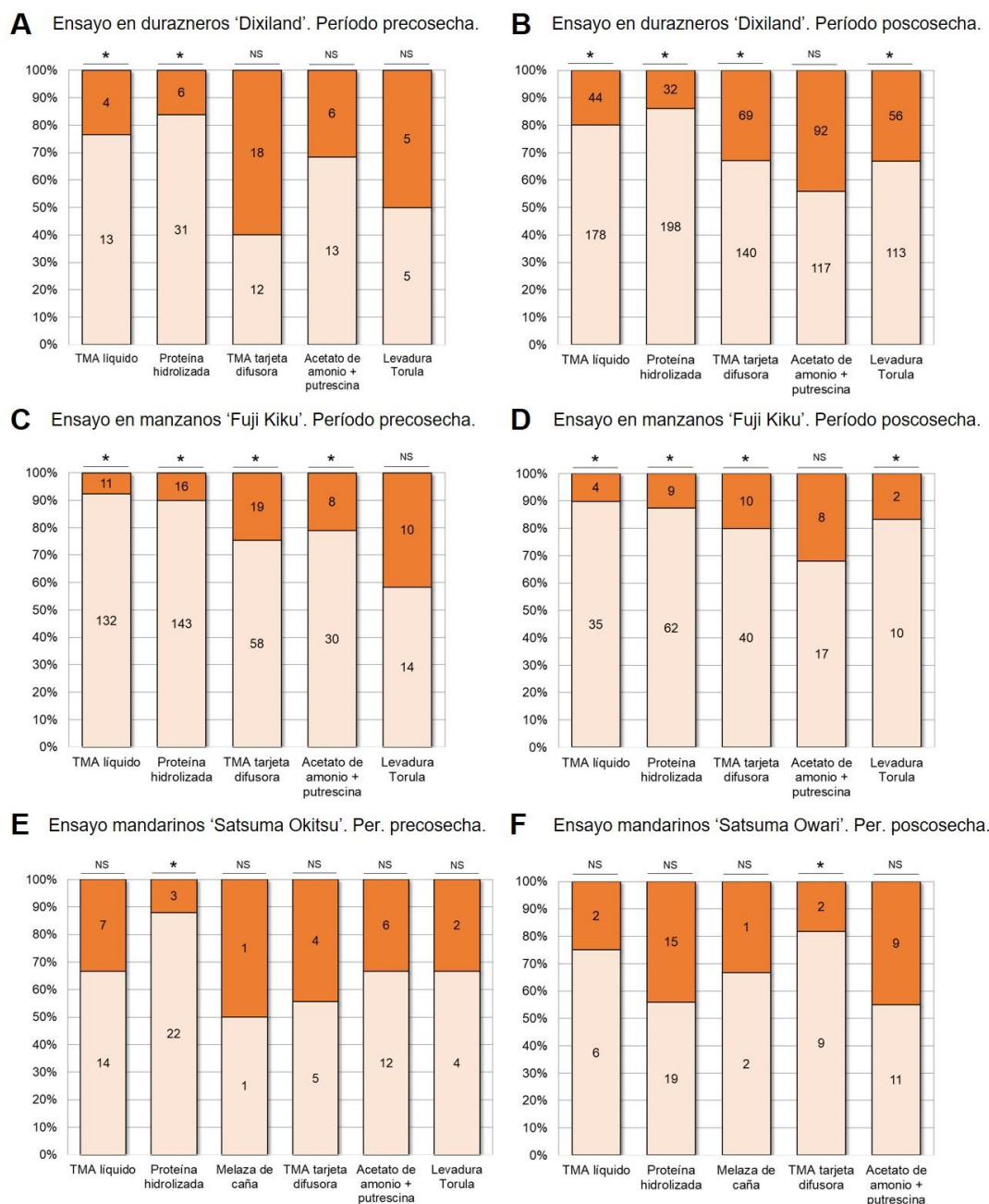
Resultados similares se observaron en la segunda temporada, en la cual fueron disecadas 1947 hembras de *C. capitata* con una proporción no grávidas:grávidas de 3 a 1 (Figura 17). En el caso de las hembras de *A. fraterculus*, el 91 % resultaron no grávidas, con una proporción no grávidas:grávidas de 10 a 1. Drew y Yuval (2000), Aluja *et al.* (2011) y Uchôa (2012) entre otros, han explicado el fenómeno alrededor de la atracción de hembras inmaduras a los atrayentes proteicos. Al parecer se debe a la necesidad fisiológica de las hembras de consumir proteínas para madurar los ovarios y asegurar el desarrollo de los huevos.

Todos los tratamientos evaluados fueron capaces de capturar hembras no grávidas. La proteína hidrolizada y el TMA líquido fueron los atrayentes que capturaron significativamente más hembras no grávidas durante el período pre y poscosecha en todos los ensayos de campo y en ambas temporadas. El TMA tarjeta difusora, el acetato de amonio + putrescina y levadura *Torula* también fueron capaces de capturar más hembras pre-reproductivas, principalmente en el período poscosecha en durazneros 'Dixiland' y manzanos 'Fuji Kiku'.





**Figura 16.** Proporción de hembras grávidas (color anaranjado) y no grávidas (color beige) de *Ceratitís capitata* capturadas en los diferentes tratamientos, en los períodos pre y poscosecha durante la temporada 2017 (NS= no existen diferencias estadísticas significativas, \*=  $p < 0,01$ ). (A) Ensayo de campo en durazneros 'Dixiland' (B) Ensayo de campo en manzanos 'Fuji Kiku'. (C) Ensayo de campo en mandarinos 'Satsuma Okitsu'.



**Figura 17.** Proporción de hembras grávidas (color anaranjado) y no grávidas (color beige) de *Ceratitís capitata* capturadas en los diferentes tratamientos, en los períodos pre y poscosecha durante la temporada 2018 (NS= no existen diferencias estadísticas significativas, \*=  $p < 0,01$ ). (A) Ensayo de campo en durazneros 'Dixiland' (B) Ensayo de campo en manzanos 'Fuji Kiku'. (C) Ensayo de campo en mandarinos 'Satsuma Owari'.

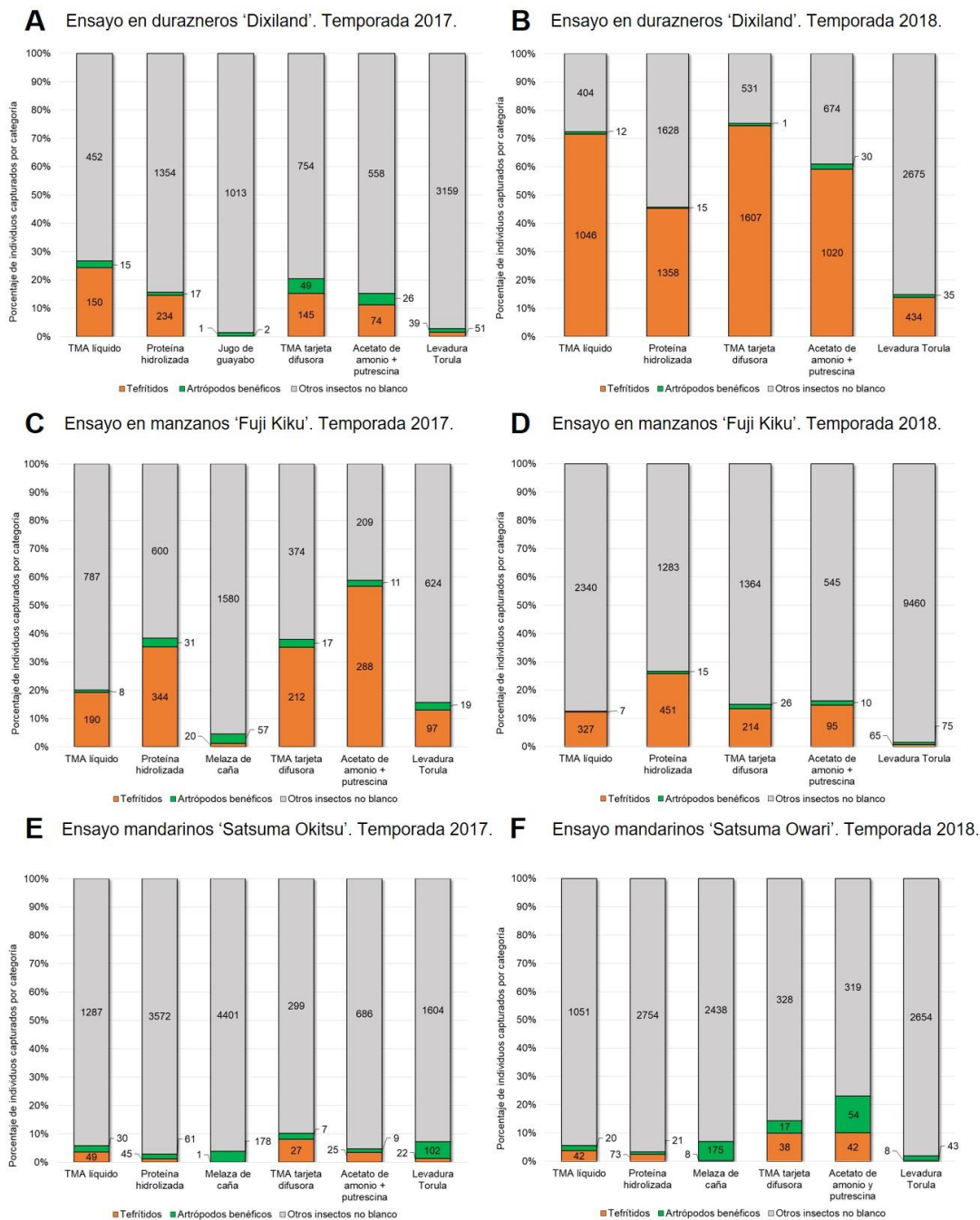
### 3.3. SELECTIVIDAD DE LOS ATRAYENTES RESPECTO A LOS ARTRÓPODOS BENÉFICOS

A pesar de las diferencias que los tratamientos presentaron en cuanto a su eficiencia en la captura de tefrítidos, ninguno de los atrayentes evaluados capturaron entomofauna benéfica de forma significativa ( $\chi^2$ ,  $p=0,01$ ) (Figura 18). Los tratamientos que capturaron más tefrítidos no necesariamente fueron los más selectivos respecto a insectos no blanco (artrópodos benéficos + otros insectos no blanco). El atrayente menos selectivo fue la melaza de caña al 6 %, cuya fracción de artrópodos benéficos capturados alcanzó el 6,7 % en manzanos 'Fuji Kiku' (temporada 2018).

En la mayoría de los tratamientos y cultivos los insectos no blanco son significativamente la proporción más grande de artrópodos capturados. Las capturas en todos los tratamientos fueron dominadas por Diptera (excluyendo Tephritidae), como Muscidae, Drosophilidae y Phoridae. En el ensayo de campo en el cual se detectó la mayor población de *C. capitata* (durazneros 'Dixiland', temporada 2018), se observaron también los mayores valores de especificidad. Sólo en este caso las capturas de tefrítidos fueron significativamente mayores que las capturas de insectos no blanco en tres tratamientos: TMA tarjeta difusora, TMA líquido y acetato de amonio + putrescina. En este caso, el TMA tarjeta difusora fue el atrayente más específico respecto a los tefrítidos representando el 74,5 % de las capturas, seguido por el TMA líquido (71,5 %), el acetato de amonio + putrescina (59,2 %), la proteína hidrolizada (45,3 %) y la levadura *Torula* (13,8 %). Navarro-Llopis y Vacas (2014) plantean que los cebos sintéticos pueden ser más eficientes y selectivos que aquellos de origen proteico. Esto se debe a que la liberación de los ingredientes activos se da en proporciones correctas y controladas, y al utilizarse en trampas secas se evitan reacciones de fermentación indeseadas, cuyos productos secundarios pueden ser atractivos para organismo no blanco.

Los atrayentes alimenticios evaluados mostraron baja atractividad hacia polinizadores, predadores y parasitoides. Este es un resultado muy positivo ya que en la estrategia de trapeo masivo se utilizan entre 50 y 120 trampas por hectárea (dependiendo de la marca comercial y del cultivo), por lo que utilizar un producto que sea atractivo para los artrópodos benéficos puede causar un desbalance importante en el agroecosistema.

Por otra parte, es importante considerar el efecto negativo que tienen los atrayentes poco específicos (como la levadura *Torula*, el jugo de guayabo y la melaza de caña) en la calidad de monitoreo de las trampas. Atrayentes que capturan una gran cantidad de insectos no blanco no solo son menos eficientes sino que generan trampas “sucias” donde es mucho más difícil observar los tefrítidos capturados. Este aspecto operacional cobra particular importancia cuando son los propios productores los que realizan el monitoreo de sus trampas y basan las decisiones de manejo en la información recabada.



**Figura 18.** Proporción de tefritidos (color anaranjado), artrópodos benéficos (color verde) y otros insectos no blanco (color gris) capturados por los diferentes tratamientos durante las temporadas 2017 y 2018. (A) Ensayo en durazneros 'Dixiland'. (B) ensayo en manzanos 'Fuji Kiku'. (C) Ensayo en mandarinas 'Satsuma'.

#### **4. CONCLUSIONES**

Los atrayentes alimenticios para trapeo masivo de moscas de la fruta evaluados son efectivos en la captura de hembras de *C. capitata*, particularmente de hembras jóvenes en etapas previas a la oviposición. Además, estos atrayentes resultan muy selectivos, minimizando las capturas de artrópodos benéficos como predadores, parasitoides y polinizadores.

Para el caso de *A. fraterculus*, ningún atrayente se destacó por capturar gran cantidad de individuos en ninguna de las temporadas de evaluación, a pesar de detectarse infestación en frutos. Resulta imperativo avanzar en el estudio de atrayentes más efectivos para las hembras de esta especie, incluyendo también el efecto de diferentes tipos de trampas.

Atrayentes de elaboración artesanal y bajo costo como el jugo de guayabo y la melaza de caña resultaron ineficientes para la captura de *C. capitata* y *A. fraterculus*. Será necesario explorar nuevas posibilidades en este sentido para las condiciones nacionales, de modo de aumentar la adopción de la técnica de trapeo masivo a todos los productores frutícolas.

En todas las variedades frutales estudiadas, la mayor proporción de capturas de tefrítidos se dio en el período de poscosecha. Por este motivo se recomienda a los productores que mantengan en el cultivo las trampas, debidamente acondicionadas, por la mayor cantidad de tiempo posible luego de la cosecha, de modo de optimizar el control de la plaga a nivel predial.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Aluja M, Guillen L, Rull J, Hohn H, Frey J, Graf B, Samietz J. 2011. Is the alpine divide becoming more permeable to biological invasions? – Insights on the invasion and establishment of the Walnut Husk Fly, *Rhagoletis completa* (Diptera: Tephritidae) in Switzerland. *Bulletin of Entomological Research*, 101, 451–465. doi: 10.1017/S0007485311000010.
- Baronio CA, Bernardi D, Schutze IX, Baldin MM, Machota Jr R, Garcia FRM, Botton M. 2019. Toxicities of insecticidal toxic baits to control *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae): implications for field management. *Journal of Economic Entomology*, 112(6), 2782-2789. doi: 10.1093/jee/toz194.
- Bentancourt C, Scatoni I, Morelli E. 2009. *Insectos del Uruguay*. Montevideo: Montevideo (UY): Udelar. Facultad de Agronomía- Facultad de Ciencias, 658 p.
- Bernardi D, Nondillo A, Baronio CA, Bortoli LC, Junior MR, Treptow RCB, Geisler FCS, Neitzke CG, Nava DE, Botton M. 2019. Side effects of toxic bait formulations on *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae). *Scientific Reports*, 9(1), 1-8. doi: 10.1038/s41598-019-49106-z.
- Bortoli L, Junior MR, Garcia FRM, Botton M. 2016. Evaluation of food lures for fruit flies (Diptera: Tephritidae) captured in a citrus orchard of the Serra Gaúcha. *Florida Entomologist*. 99, 381-384. doi: 10.1653/024.099.0307.
- Botton M, Junior MR, Nava DE, Arioli J. 2012. Novas alternativas para o monitoramento e controle de *Anastrepha fraterculus* (Wied., 1830) (Diptera: Tephritidae) na fruticultura de clima temperado. En: XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura, Bento Goncalves-RS. 22 a 26 de Octubre de 2012. [En línea]: 31 de mayo de 2020.

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/939420/1/DoriEdsonNava.pdf>

- Buenahora J, Otero A. 2012. Experiencias de trameo masivo de Mosca de las frutas (Diptera: Tephritidae). Resultados de avances en investigación en protección vegetal citrícola. INIA - Actividades de Difusión 688, 15-25. [En línea]: 31 de mayo de 2020. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/12940170812140635.pdf>
- Candia IF, Bautista V, Larsson Herrera S, Walter A, Ortuño Castro N, Tasin M, Dekker T. 2018. Potential of locally sustainable food baits and traps against the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* in Bolivia. Pest Management Science, 75(6), 1671-1680. doi: 10.1002/ps.5286.
- Christenson LD, Foote RH. 1960. Biology of fruit flies. Annual Review of Entomology, 5(1), 171-192.
- Da Rosa JM, Arioli CJ, dos Santos JP, Menezes-Netto AC, Botton M. 2017. Evaluation of food lures for capture and monitoring of *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) on temperate fruit trees. Journal of Economic Entomology, 110(3), 995-1001.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. 2018. InfoStat versión 2018. Argentina, Universidad Nacional de Córdoba. Centro de Transferencia InfoStat, FCA. [En línea]: 25 de julio de 2020. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dominiak B, Ekman J, Broughton S. 2016. Mass trapping and other management option for Mediterranean fruit fly and Queensland fruit fly in Australia. General and Applied Entomology: The Journal of the Entomological Society of New South Wales, 44, 1-8.
- 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: The Journal of the Entomological Society of New South Wales, 35, 7–12.



- Drew RA, Yuval B. 2000. The evolution of fruit fly feeding behavior. En: Aluja M y Norrbon A eds. 'Fruit flies (Tephritidae): phylogeny and evolution of behaviour'. Boca Ratón, CRC Press LLC. pp. 731–750.
- Duarte F, Calvo MV, Delgado S, Bartolucci A, Asfennato A, Borges A, Scatoni I. 2019. Release-recapture test of dispersal and survival of sterile males of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). [Datos sin publicar].
- Ekesi S, Maniania N, Mohamed S, Lux S. 2005. Effect of soil application of different formulations of *Metarhizium anisopliae* on African tephritid fruit flies and their associated endoparasitoids. *Biological Control*, 35, 83-91. doi: 10.1016/j.biocontrol.2005.06.010.
- Falcó-Garí JV, Verdú MJ, Bolinches JV. 2010. Valoración cuantitativa y cualitativa de parasitoides en capturas por trampeo masivo de *Ceratitis capitata*. *Phytoma España*, 221: 18–26.
- Falcó-Garí JV, Verdú MJ, Bolinches JV, Cuenca F, Alfaro F. 2006. Incidencia del trampeo masivo de *Ceratitis capitata* sobre *Cryptolaemus montrouziere* y otros depredadores y parasitoides en una parcela de Navelina en cultivo ecológico. *Levante Agrícola*, 390, 152–157.
- FAO/IAEA. 2005. Environmental benefits of medfly sterile insect technique in Madeira and their inclusion in a cost-benefit analysis. Vienna: International Atomic Energy Agency. IAEA-TECDOC-1475.
- Flores S, Gómez E, Campos S, Gálvez F, Toledo J, Liedo P, Pereira R, Montoya P. 2017. Evaluation of mass trapping and bait stations to control *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) fruit flies in mango orchards of Chiapas, Mexico. *Florida Entomologist*, 100(2), 358-365.
- Foote R. 1980. Fruit fly genera south of the United States (Diptera: Tephritidae). USDA. Technical Bulletin No. 1600. 79p.
- Hafsi A, Abbes 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, 104989. doi: 10.1016/j.cropro.2019.104989.

- Hamden H, Guerfali MMS, Fadhl S, Saidi M, Chevrier C. 2013. Fitness improvement of mass-reared sterile males of *Ceratitis capitata* (Vienna 8 strain) (Diptera: Tephritidae) after gut enrichment with probiotics. *Journal of Economic Entomology*, 106(2), 641-647. doi: 10.1603/EC12362.
- Heath RR, Epsky ND, Guzman A, Dueben BD, Manukian A, Meyer WL. 1995. Development of a dry plastic insect trap with food-based synthetic attractant for the Mediterranean and the Mexican fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 88, 1307–1315. doi: 10.1093/jee/88.5.1307.
- Hendrichs J, Robinson AS, Cayol JP, 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. doi: 10.1653/0015-4040(2002)085[0001:MASITP]2.0.CO;2.
- Hendrichs J, Katsoyannos BI, Papaj DR, Prokopy RJ. 1991. Sex differences in movement between natural feeding and mating sites and tradeoffs between food consumption, mating success and predator evasion in Mediterranean fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Oecologia*, 86(2), 223-231. doi: 10.1007/BF00317534.
- Hernández-Ortiz V, Barradas-Juanz N, Díaz-Castelazo C. 2019. A review of the natural host plants of the *Anastrepha fraterculus* complex in the Americas. En: Pérez-Staples D, Diaz-Fleischer F, Montoya P, Vera MT eds. *Area-Wide Management of Fruit Fly Pests*. Boca Ratón, CRC Press.
- Hodson AC. 1948. Further studies on lures attractive to the apple maggot. *Journal of Economic Entomology*, 41: 61–68.
- IBM Corp. 2015. *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 23.0*. Armonk, NY: IBM Corp.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2020. Unidades de frío de Richardson, Estación Las Brujas (en línea). Montevideo. s.p.

Consultado jun. 2020. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico/>

- Jahnke SM, Reyes CP, Redaelli LR. 2014. Influência da fase de maturação de pêssegos e goiabas na atratividade de iscas para *Anastrepha fraterculus*. *Científica*, 42(2), 134-142. doi: 10.15361/1984-5529.2014v42n2p134-142.
- Jang EB, Raw AS, Carvalho LA. 2001. Field attraction of Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) to synthetic stereoselective enantiomers of the ceralure B1 isomer. *Journal of Chemical Ecology*, 27,235–242. doi: 10.1023/A:1005620203504.
- Juan-Blasco M, San Andrés V, Martínez-Utrillas MA, Argilés R, Pla I, Urbaneja A, Sabater-Muñoz, B. 2011. Alternatives to ginger root oil aromatherapy for improved mating performance of sterile *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae) males. *Journal of Applied Entomology*, 137, 244-251. doi: 10.1111/j.1439-0418.2011.01688.x.
- Katsoyannos BI, Heath RR, Papadopoulos NT, Epsky ND and Hendrichs J. 1999. Field evaluation of Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) female selective attractants for use in monitoring programs. *Journal of Economic Entomology*, 92(3), 583-589. doi: 10.1093/jee/92.3.583.
- Klassen W, Curtis CF. 2005. History of the sterile insect technique. In Dyck VA, Hendrichs J, Robinson AS (eds.), *Sterile insect technique principles and practice in area-wide integrated pest management*, 3–36. IAEA. Springer.
- Klungness LM, Jang EB, Mau RF, Vargas RI, Sugano JS, Fujitani E. 2005. New sanitation techniques for controlling tephritid fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Hawaii. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 9(2), 5-14.
- Knipling EF. 1959. Sterile-male method of population control: successful with some insects, the method may also be effective when applied to other noxious animals. *Science*, 130(3380), 902-904.

- Kouloussis NA, Katsoyannos BI, Papadopoulou NT, Ioannou CS, Iliadis IV. 2010. Enhanced mating competitiveness of *Ceratitis capitata* males following exposure to citrus compounds. *Journal of Applied Entomology*, 137, 30-38. doi: 10.1111/j.1439-0418.2010.01535.x.
- Lang Scoz P, Botton M, Silveira Garcia M, Luiz Pastori P. 2006. Avaliação de atrativos alimentares e armadilhas para o monitoramento de *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann, 1830) (Diptera: Tephritidae) na cultura do pessegueiro (*Prunus persica* (L.) Batsh). *Idesia (Arica)*, 24(2), 7-13. doi: 10.4067/S0718-34292006000200002.
- Lasa R, Velázquez O, Ortega R, Acosta E. 2014. Efficacy of commercial traps and food odor attractants for mass trapping of *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 107, 198–205. doi: 10.1603/EC13043.
- Liquido NJ, McQuate GT, Suiter KA, Norrbom AL, Yee WL, Chang CL. 2019. Compendium of fruit fly host plant information the USDA primary reference in establishing fruit fly regulated host plants. En: Pérez-Staples D, Diaz-Fleischer F, Montoya P, Vera MT (eds.) *Area-wide management of fruit fly pests*. Boca Ratón, CRC Press.
- Liquido NJ, Cunningham RT, Nakagawa S. 1990. Host plants of Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) on the island of Hawaii (1949–1985 survey). *Journal of Economic Entomology*, 83, 1863–1878. doi: 10.1093/jee/83.5.1863.
- Lux S A, Vilardi JC, Liedo P, Gaggi K, Calcagno GE, Munyiri FN, Vera MT, Manso F. 2002. Effects of irradiation on the courtship behavior of medfly (Diptera, Tephritidae) mass reared for the sterile insect technique. *Florida Entomologist*, 85(1), 102-112. doi: 10.1653/0015-4040(2002)085[0102:EOIOTC]2.0.CO;2.
- Malacrida AR, Gomulski LM, Bonizzoni M, Bertin S, Gasperi G, Guglielmino CR. 2007. Globalization and fruit fly invasion and expansion: the medfly paradigm. *Genetica*, 131:1–9. doi: 10.1007/s10709-006-9117-2.

- Malavasi A, Zucchi R. 2000. Moscas das frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado. Ribeirão Preto: Holos Editora. 327p.
- Malavasi A, Duarte AL, Cabrini G, Engelstein M. 1990. Field evaluation of three baits for South American cucurbit fruit fly (Diptera: Tephritidae) using McPhail traps. Florida Entomologist, 73, 510– 512.
- Malavasi A, Morgante IS, Prokopy RJ. 1983. Distribution and activities of *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) flies on host and nonhost trees. Annals of the Entomological Society of America, 76(2) 286-292. doi: 10.1093/aesa/76.2.286.
- Malo E. 1992. Effect of Bait Decomposition Time on Capture of *Anastrepha* Fruit Flies. Florida Entomologist, 75 (2), 272-274. doi: 10.2307/3495630.
- Manrakhan A, Kotze C. 2009. Attraction of *Ceratitidis capitata*, *C. rosa* and *C. cosyra* (Diptera: Tephritidae) to proteinaceous baits. Journal of Applied Entomology, 135(1-2), 98-105. doi: 10.1111/j.1439-0418.2009.01479.x.
- McInnis DO, Lance DR, Jackson CG. 1996. Behavioral resistance to the sterile insect technique by Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Hawaii. Annals of the Entomological Society of America, 89(5), 739-744. doi: 10.1093/aesa/89.5.739.
- Meirelles RN, Redaelli LR, Jahnke SM, Ourique CB, Ozorio DVB. 2019. *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) é capaz de causar a deleção de parasitoides nativos? Acta Biológica Catarinense, 6(2), 104-114. doi: 10.21726/abc.v6i2.740.
- MGAP. DGSA. (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de Servicios Agrícolas, UY). 2017. Sistema de certificación de fruta cítrica, Anexos 4 y 5. Montevideo. 76 p. [En línea]: 31 de mayo de 2020. <http://www.mgap.gub.uy/fito2/>.
- Montoya P, Cancino J. 2004. Control biológico por aumento en moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae). Folia Entomológica Mexicana, 43(3), 257-270.

- Morton TC, Bateman MA. 1981. Chemical studies on proteinaceous attractants for fruit flies, including the identification of volatile constituents. *Australian Journal of Agricultural Research*, 32, 905–916.
- Nava DE, Botton M. 2010. Bioecología e controle de *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata* em pessegueiro. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 29 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 315). Pelotas. [En línea]: 27 de marzo de 2020. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/888672>.
- 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, 126–131. doi: 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: Shelly E, Epsky N, Jang EB, Reyes-Flores J, Vargas R (eds). *Trapping and the Detection, Control and Regulation of Tephritid Fruit Flies* (pp. 513-555). Dordrecht, Springer.
- Norrbom AL, Korytkowski CA, Zucchi RA, Uramoto K, Venable GL, McCormick J, Dallwitz MJ. 2012. *Anastrepha* and *Toxotrypana*: descriptions, illustrations, and interactive keys. Claves taxonómicas interactivas. Versión 31 de agosto de 2012. Disponible en: <https://www.deltaintkey.com/anatox/index.htm>
- Ovruski SM, Schliserman P. 2012. Biological control of tephritid fruit flies in Argentina: historical review, current status, and future trends for developing a parasitoid mass-release program. *Insects*, 3(3), 870-888. doi: 10.3390/insects3030870.
- Ovruski S, Schliserman P, Aluja M. 2003. Native and introduced host plants of *Anastrepha fraterculus* and *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in Northwestern Argentina. *Journal of Economic Entomology*, 96(4), 1108-1118. doi: 10.1093/jee/96.4.1108.
- Papadopoulos NT. 2014. Fruit fly invasion: historical, biological, economic aspects and management. En: Shelly E, Epsky N, Jang EB, Reyes-

- Flores J, Vargas R (eds). Trapping and the Detection, Control and Regulation of Tephritid Fruit Flies (pp. 219-252). Dordrecht, Springer.
- Papadopoulos NT, Plant RE, Carey JR. 2013. From trickle to flood: the large-scale, cryptic invasion of California by tropical fruit flies. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280:20131466. doi: 10.1098/rspb.2013.1466.
- Papadopoulos NT, Shelly TE, Niyazi N, Jang EB. 2006. Olfactory and behavioral mechanisms underlying enhanced mating competitiveness following exposure to ginger root oil and orange oil in males of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Insect Behaviour*, 19, 403. doi: 10.1007/s10905-006-9031-6.
- Papadopoulos NT, Katsoyannos BI, Kouloussis NA, Hendrichs J. 2001. Effect of orange peel substances on mating competitiveness of male *Ceratitis capitata*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 99(2), 253-261. doi: 10.1046/j.1570-7458.2001.00824.x.
- Paranhos BJ, Nava DE, Malavasi A. 2019. Biological control of fruit flies in Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54. doi: 10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.26037.
- Pérez-Staples D, Aluja M. 2004. *Anastrepha striata* females mated to virgin males live longer. *Annals of the Entomological Society of America*, 97: 1336–1341. doi: 10.1603/0013-8746(2004)097[1336:ASDTFT]2.0.CO;2.
- Ricalde MP, Nava DE, Loeck AE, Donatti MG. 2012. Temperature-dependent development and survival of Brazilian populations of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*, from tropical, subtropical and temperate regions. *Journal of Insect Science*, 12, 1-11.
- Raga A, Vieira SMJ. 2015. Attractiveness of corn steep liquor plus borax to fruit fly (Diptera: Tephritidae) under field cages. *Arquivos do Instituto Biológico*, 82. doi: 10.1590/1808-1657000872013.
- Salles LAB. 2000. Biologia e ciclo de vida de *Anastrepha fraterculus* (Wied.). En: Malavasi A y Zucchi RA (eds). *Moscas-das-frutas de importância*

- econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado (pp. 81-86).  
Ribeirão Preto, Holos.
- Scatoni I, Calvo V, Delgado S, Duarte F, Zefferino E. 2019. Las moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae) en el Uruguay. Montevideo, INIA Serie FPTA 81, 67 p.
- Schutze IX, Baronio CA, Baldin MM, Loek AE, Botton M. 2018. Toxicity and residual effects of toxic baits with spinosyns on the South American fruit fly. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(2), 144-151. doi: 10.1590/S0100-204X2018000200002.
- Segura D, Petit-Marty N, Sciurano R, Vera T, Calcagno G, Allinghi A, Gómez Cendra P, Cladera J, Vilardi J. 2007. Lekking behavior of *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist*, 90(1), 154-162. doi: 10.1653/0015-4040(2007)90[154:LBOAFD]2.0.CO;2.
- Segura D, Vera MT, Cagnotti CL, Vaccaro N, De Coll O, Ovruski SM, Cladera JL. 2006. Relative abundance of *Ceratitis capitata* and *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) in diverse host species and localities of Argentina. *Annals of the Entomological Society of America*, 99(1), 70-83. doi: 10.1603/0013-8746(2006)099[0070:RAOCCA]2.0.CO;2
- Shelly TE, Rendon P, Hernández E, Salgado S, McInnis D, Villalobos E, Liedo P. 2003. Effects of diet, ginger root oil, and elevation on the mating competitiveness of male Mediterranean fruit flies (Diptera: Tephritidae) from a mass-reared, genetic sexing strain in Guatemala. *Journal of Economic Entomology*, 96(4), 1132-1141. doi: 10.1093/jee/96.4.1132.
- Shelly TE, Whittier TS, Kaneshiro KY. 1994. Sterile insect release and the natural mating system of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 87(4), 470-481. doi: 10.1093/aesa/87.4.470.
- Suárez L, Murua F, Lara N, Escobar J, Taret G, Rubio J, Van Nieuwenhove G, Bezdjian LP, Schliserman P, Ovruski SM. 2014. Biological control of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in Argentina: Releases of *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) in fruit-



- producing semi-arid areas of San Juan. *Natural Science*, 6, 664-675. doi: 10.4236/ns.2014.69066.
- Tan KH, Nishida R, Jang EB, Shelly TE. 2014. Pheromones, male lures, and trapping of tephritid fruit flies. En: Shelly E, Epsky N, Jang EB, Reyes-Flores J, Vargas R (eds). *Trapping and the Detection, Control, and Regulation of Tephritid Fruit Flies* (pp. 15-74). Dordrecht, Springer.
- Uchôa M. 2012. Fruit flies (Diptera: Tephritoidea): Biology, host plants, natural enemies, and the implications to their natural control. En: Larramendy M, Soloneski S (eds). *Integrated pest management and pest control. Current and future tactics*. Croacia: InTech. pp. 271-300.
- Van Nieuwenhove G, Bezdjian LP, Schliserman P, Aluja M, Ovruski SM. 2016. Combined effect of larval and pupal parasitoid use for *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) control. *Biological Control*, 95, 94-102. doi: 10.1016/j.biocontrol.2016.01.004.
- Vargas RI, Mau RFL, Jang EB, Faust RM, Wong L. 2008. The Hawaii fruit fly areawide pest management programme. En: Koul O, Cuperus G, Elliott N (eds). *Areawide pest management: Theory and Implementation*, 300-325.
- Vargas RI, Mau RL, Jang EB. 2007. The Hawaii fruit fly area-wide pest management program: Accomplishments and future directions. *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society*, 39, 99-104.
- Vera MT, Rodríguez R, Segura DF, Cladera JL, Sutherst RW. 2002. Potential geographical distribution of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae), with emphasis on Argentina and Australia. *Environmental Entomology*, 31(6), 1009-1022. doi: 10.1603/0046-225X-31.6.1009.
- Villalobos J, Flores S, Liedo P and Malo EA. 2017. Mass trapping is as effective as ground bait sprays for the control of *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) fruit flies in mango orchards. *Pest Management Science*, 73, 2105-2110. doi: 10.1002/ps.4585.

**6. EVALUATION OF FOOD ATTRACTANTS FOR FRUIT FLIES (DIPTERA: TEPHRITIDAE) MASS TRAPPING AND SELECTIVITY FOR BENEFICIAL ARTHROPODS<sup>1</sup>**

**Running Title:** Evaluation of attractants for fruit flies mass trapping.

Soledad Delgado<sup>A\*</sup>, María Victoria Calvo<sup>A</sup>, Felicia Duarte<sup>A</sup>, Alejandra Borges<sup>B</sup>  
& Iris Scatoni<sup>A</sup>

<sup>A</sup> Universidad de la República Oriental del Uruguay, Facultad de Agronomía, Departamento de Protección Vegetal, Unidad de Entomología. Av. Garzón 780. Montevideo, 12900, Uruguay.

<sup>B</sup> Universidad de la República Oriental del Uruguay, Facultad de Agronomía, Departamento de Biometría, Estadística y Cómputos. Av. Garzón 780. Montevideo, 12900, Uruguay.

Mention of commercial products in this publication is solely for the purpose of reporting research findings and does not imply a recommendation or endorsement by the Universidad de la República Oriental del Uruguay.

\* Correspondence to: Soledad Delgado, Facultad de Agronomía - Udelar, Departamento de Protección Vegetal, Unidad de Entomología. Av. Garzón 780. Montevideo, 12900, Uruguay. Email: [sdelgado@fagro.edu.uy](mailto:sdelgado@fagro.edu.uy)

---

<sup>1</sup> Artículo presentado para su publicación en la revista Pest Management Science.

## **Abstract**

**BACKGROUND:** Fruit fly control in Uruguay is mainly based on toxic baits, which are insufficient to reduce the damage caused by these pests. Therefore, alternative management measures, such as mass trapping, gain relevance. Attractants commercially available were designed mainly for *Ceratitis capitata* W. However, they should also be attractive to *Anastrepha fraterculus* W. in our fruit orchards. The aim of this research was to evaluate the effectiveness of food-based attractants for the capture of sexually immature females of *C. capitata* and *A. fraterculus*, as well as their selectivity on the populations of beneficial arthropods (pollinators, predators and parasitoids).

**RESULTS:** Hydrolyzed protein, liquid TMA, TMA diffuser card and ammonium acetate + putrescine diffuser card were effective capturing young females of *C. capitata* in the three fruit crops evaluated during both seasons. Hydrolyzed protein, liquid TMA, and TMA diffuser card were effective for capturing young females of both species. These attractants were also selective for beneficial arthropods. Sugarcane molasses and pineapple guava juice were not effective capturing fruit flies females.

**CONCLUSIONS:** Commercial food attractants for tephritid mass trapping evaluated are efficient for capturing females, with hydrolyzed protein, liquid TMA, and TMA diffuser card standing out both for sexually immature females captured and their selectivity regarding beneficial arthropods. Most of the

captures are post-harvest, so we suggest not moving traps after commercial harvest.

**Key words:** *Ceratitis capitata*, *Anastrepha fraterculus*, food baits, beneficial arthropods, citrus fruit trees, deciduous fruit trees.

## 1 INTRODUCTION

Fruit flies of economic importance (Diptera: Tephritidae) present in Uruguay are *Ceratitis capitata* (Wiedemann), which is distributed world wide<sup>1</sup> and *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann), which is native to South America.<sup>2</sup> Both species are multivoltines and do not present diapause, so they develop uninterruptedly throughout the year in the presence of susceptible hosts, and have a very high reproductive potential.<sup>3</sup> These are very polyphagous species, with more than 408 hosts registered for *C. capitata*<sup>4</sup> and 177 for *A. fraterculus*.<sup>5</sup> Fruit is attractive for these flies in a period close to maturation, when adult females oviposit inside the fruit, where the larvae complete their development feeding on the pulp. Most control tactics target adults because it is the only exposed stage<sup>3</sup>, so its early detection is essential to avoid damages.

Although these pests produce significant losses due to the direct damage<sup>6</sup>, the quarantine status for several Uruguayan export markets have more economic impact. The attacks of fruit flies in Uruguay are increasingly severe and found in all fruit trees species, causing losses of great magnitude. This is due, among other reasons, to the fact that the applications of toxic baits are insufficient, in certain cases, to reduce the damage.

Mass trapping is one of the most important pest management tactics that have been introduced in Uruguay. This technique consists in the use of semiochemicals that, when applied in a large number of traps per hectare remove a significant number of adult flies from orchards.<sup>8</sup> Mass trapping is a strategy increasingly used for the control of tephritids worldwide<sup>7,8,9,10</sup> mostly based on its effectiveness, that it leaves no residues on fruit, and it is safe for humans and the environment.<sup>11</sup> In the case of fruit flies, the most commonly used attractants are food-based, such as trimethylamine, ammonium acetate, putrescine and hydrolyzed proteins.<sup>12,13</sup> These attractants are based on the need of newly emerged females to feed on proteins and sugar prior to reproduction.<sup>14</sup> The most efficient attractants will be those that capture the largest number of non-gravid females (young and sexually immature), that is, before they can cause damage to fruits, and also be selective to pollinators, predators and parasitoids.

Commercially available attractants used for mass trapping of fruit flies in Uruguay, are produced with emphasis on the control of *C. capitata*. Due to their proteic nature, these attractants are considered generic and have the potential to attract *C. capitata* and *A. fraterculus* in addition to many other species of arthropods. For this reason, it is necessary to determine if they affect the beneficial entomofauna of the fruit agroecosystem.<sup>15,16</sup>

The aim of this research was to evaluate the effectiveness of food-based attractants for the capture of sexually immature females of *C. capitata* and *A.*

*fraterculus*, as well as their selectivity on the populations of beneficial arthropods (pollinators, predators and parasitoids).

## **2 MATERIALS AND METHODS**

### **2.1 Location of field trials**

Field tests of food-based attractants were carried out during two successive fruit growing seasons from November 2016 to May 2018, in three commercial fruit farms, two in the south area of the country (Canelones department) and one in the north area (Paysandú department). The selected orchards correspond to three species and fruit cultivars that are frequently affected by fruit flies: 'Dixieland' peach (Canelones, 56° 19' 8.20"W, 34° 37' 24.07"S, 36 m above sea level), 'Fuji Kiku' apple (Canelones, 56° 19' 9.05"W, 34° 38' 56.35"S, 28 m above sea level) and 'Satsuma Okitsu' mandarin (Paysandú, 57° 29' 58.99"W, 31° 55' 29.92"S, 96 m above sea level). On the second season of evaluation (2018), the mandarin orchard was changed for operational reasons to one also in Paysandú (57° 53' 11.78"W, 31° 57' 4.76"S, 53 m above sea level) of 'Satsuma Owari' mandarin. All orchards selected were at peak production and had an area of about four hectares, and were divided in four blocks (repetitions) for the field trials.

### **2.2 Attractants**

We evaluated the following attractants: Liquid TMA, 15 g L<sup>-1</sup> ('Plustrap', trademark SUSBIN<sup>®</sup>, Quemar SRL, Mendoza, Argentina) – 300 mL; Hydrolyzed protein, 55 g L<sup>-1</sup> ('Ceratitisrap', trademark Bioibérica S.A., Spain)

– 300mL; Natural pineapple guava juice, 200 mL.L<sup>-1</sup> – 300mL; Sugarcane molasses, 60 g L<sup>-1</sup> (Azucarera del Litoral S.A., Uruguay) – 300 mL; TMA diffuser card, 5.74 g L<sup>-1</sup> ('TMA lure', trademark SUSBIN®, Argentina); Ammonium acetate 45 g L<sup>-1</sup> and putrescine 0.15 g L<sup>-1</sup> ('Anastrepha lure' diffuser card, trademark SUSBIN®, Argentina); Torula yeast (SUSBIN®, Argentina).

Commercial products like hydrolyzed protein, liquid TMA, TMA diffuser card and ammonium acetate + putrescine were selected for evaluation because they are widely used by fruit growers for mass trapping. Torula yeast is commonly used for monitoring fly populations in McPhail traps, both by growers and by the Official Fruit Fly Monitoring Program of the Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Natural pineapple guava juice (*Acca sellowiana*) was selected because it is a very attractive native host for *C. capitata* and *A. fraterculus*<sup>17</sup> and a possible low-cost homemade bait. Sugarcane molasses, a by-product of the sugar industry, is used mainly in citrus crops as an attracting matrix for fruit flies in toxic bait applications, so it was interesting to evaluate its attractiveness in a trap.

In each fruit crop, six food attractants in four replicates were evaluated<sup>†</sup> using McPhail traps (SUSBIN®, Argentina). Baited traps were evenly distributed in

---

<sup>†</sup> On 2017 season in 'Dixieland' peach field trial, natural pineapple guava juice was evaluated, but sugarcane molasses in the subsequent trials replaced it. This was due to its lack of effectiveness and difficult implementation. However, for 2018 season, in 'Dixieland' peach and 'Fuji Kiku' apple field trials, sugarcane molasses was eliminated because of its lack of effectiveness.

each block, separated at least 30 m from each other (Figure S1). They were hung 1.5 m above the ground in the tree canopy. Traps were placed 45 days before the expected harvest date and were maintained at least 40 days after in the three fruit orchards and for two fruit growing seasons. Traps were checked and rotated clockwise each week in order to avoid site effect. Trials lasted an average of 91 days and each trap was reviewed 12 times to ensure uniform data collection and rotation.

In the case of hydrolyzed protein, liquid TMA, sugarcane molasses and natural pineapple guava juice, each trap was baited with 300 mL of the product. In the case of Torula yeast, 300 mL of tap water and four pellets of the commercial product were placed. TMA diffuser card and ammonium acetate + putrescine diffuser cards were pasted to the top of the traps with double-sided tape and traps were filled with 300 mL of tap water with 5 mL of neutral pH liquid soap to break water superficial tension to aid insects capture.<sup>18</sup>

### **2.3 Field efficiency of food-based attractants**

Attractants were filtered to remove the arthropods, which were saved in alcohol 96% for later classification. Commercial attractants were rebaited according to manufacturer recommendation, that is hydrolyzed protein and liquid TMA were replaced after 45 days; Torula yeast, sugarcane molasses and pineapple juice were changed weekly, TMA diffuser card and ammonium acetate + putrescine were not changed because they last 120 days.



Tephritids collected in traps were counted and classified using taxonomic keys.<sup>3,19</sup> The specimens of *C. capitata* and *A. fraterculus* were sexed and cumulative captures, expressed as Females-Trap-Day (FTD) index. This value was determined for the pre-harvest and post-harvest period of the three fruit orchards during both fruit growing seasons. Four hundred fruits per crop were randomly sampled at the time of commercial harvest, in order to determine fruit infestation level by tephritids. Once in the laboratory, they were weighed and kept in PVC containers, under controlled conditions of temperature ( $22 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) and humidity ( $70 \pm 5\%$ ). Each container was covered with voile cloth to prevent the proliferation of fungi, and had sand in the bottom to facilitate the pupation of tephritid larvae. They were checked periodically in order to separate and condition the pupae of fruit flies. The adults obtained were counted, identified and sexed.

#### **2.4 Proportion of gravid and non-gravid females captured**

Females of *C. capitata* and *A. fraterculus* captured were dissected in Petri dishes; ovaries were extracted and the presence of eggs observed, as an indicator of sexual maturity.<sup>20</sup> For the first season of evaluation all females captured were dissected, but on the second season a maximum of 10 females per sample were dissected, due the huge number of females captured. All females without developed eggs were considered non-gravid, therefore, sexually immature.

#### **2.5 Selectivity of attractants regarding beneficial arthropods**

To evaluate the potential impact of the attractants used in mass trapping on pollinator, predator and parasitoid populations, all arthropods captured were counted and classified at the Order and Family level following the keys of Bentancourt *et al.* (2009).<sup>21</sup> Three categories were defined: tephritids, beneficial arthropods and other non-target insects. Tephritids included fruit fly pests: *C. capitata* and *A. fraterculus*. Beneficial arthropods included Hymenoptera: Apidae, Braconidae, Ichneumonidae, Pteromalidae; Neuroptera: Chrysopidae, Hemerobiidae; Diptera: Syrphidae, Tachinidae; Coleoptera: Coccinellidae. Other non-target insects included arthropods captured that do not belong to the above-mentioned categories (e.g. Muscidae, Drosophilidae, Blattellidae, Nitidulidae, Cerambycidae, Culicidae, Cicadellidae, Lepidoptera, etc).

## **2.6 Data analysis**

Because females cause the damage in fruit, for the evaluation of the effectiveness of attractants, mean captures of females were compared among the different treatments. To do this, a Generalized Linear Mixed Model (GLMM) with a Quasi Poisson approach, followed by DGC mean separation procedure<sup>22</sup> with Infostat Software Version 2018 was used.<sup>23</sup> Date and location were used as random effects while treatments and blocks were set as fixed factors. The proportion of captures in the pre-harvest and post-harvest period of each field trial, the proportions of tephritids and non-target insects (beneficial arthropods + other non-target insects) and the proportion of gravid and non-gravid females captured were compared by Chi square test, using the

statistical software SPSS® for Windows Version 23.0.0.0.<sup>24</sup> For all tests, the significance level used was 5%.

### **3 RESULTS**

#### **3.1 Effectiveness of food-based attractants in the field**

##### **3.1.1. *Ceratitis capitata* evaluation**

###### ***'Dixieland' peach field trial***

During the first season of evaluation (Nov 2016 - Feb 2017), 694 tephritids were captured in the 12 test weeks, with 522 females and 172 males. *Ceratitis capitata* represented 94% of the captures and *A. fraterculus* only 6%. Hydrolyzed protein (35%, 6.7 FTD), liquid TMA (24%, 4.9 FTD) and TMA diffuser card (23%, 4.4 FTD) were the best attractants and captured together 82% of total medflies (Fig 1-A). Commercial harvest was on the ninth week of evaluation. None of the attractants showed significant differences in their efficiency during the pre-harvest period.

On the second season of evaluation (Dec 2017 - Apr 2018) 5634 tephritids were captured in the 16 test weeks, with 3742 females and 1892 males. *Ceratitis capitata* captures represented 99.7% of the total, while only 0.3% were *A. fraterculus*. In this season, commercial harvest was on the sixth week. Although total medflies captures increased 800% from one season to another,

lures ranking considering flies captures was not modified (Fig 1-B). TMA diffuser card (29%, 22.2 FTD), hydrolyzed protein (25%, 20 FTD), ammonium acetate + putrescine (19%, 14.2 FTD), and liquid TMA (19%, 13.9 FTD) were the best attractants for *C. capitata* and captured together 92% of total tephritids. Hydrolyzed protein was also the best attractant in the pre-harvest period. In both seasons of evaluation all attractants captured more *C. capitata* females in the post-harvest period than in the pre harvest period, and liquid TMA captured *C. capitata* before other attractants (Figure S2).

#### ***'Fuji Kiku' apple field trial***

During the first season of evaluation (Feb 2017 - May 2017) 1143 medflies were captured in the 13 test weeks, with 919 females and 224 males. Hydrolyzed protein (30%, 6.4 FTD), ammonium acetate + putrescine (24%, 5 FTD), TMA diffuser card (18%, 3.9 FTD), and liquid TMA (17%, 3.5 FTD) were the best attractants and captured together 89% of medflies (Fig 1-C). Commercial harvest was on the sixth week of trial. None of the attractants showed significant differences in their efficiency during the pre-harvest period.

In the second season of evaluation (Feb 2018 - May 2018) 1152 medflies were captured in the 13 test weeks, with 891 females and 261 males. Hydrolyzed protein (39%, 11.6 FTD), liquid TMA (28%, 6 FTD) and TMA diffuser card (19%, 6.3 FTD) were the best attractants and captured together 86% of the medflies (Fig 1-D). In this season, commercial harvest was on the tenth week of trial. In both seasons of evaluation, all attractants captured more tephritids

in the post-harvest period than in the pre harvest period. Hydrolyzed protein and liquid TMA were also the best attractants in the pre-harvest period. Liquid TMA was able to detect the presence of *C. capitata* before other attractants on both seasons (Figure S3).

### ***'Satsuma' mandarin field trial***

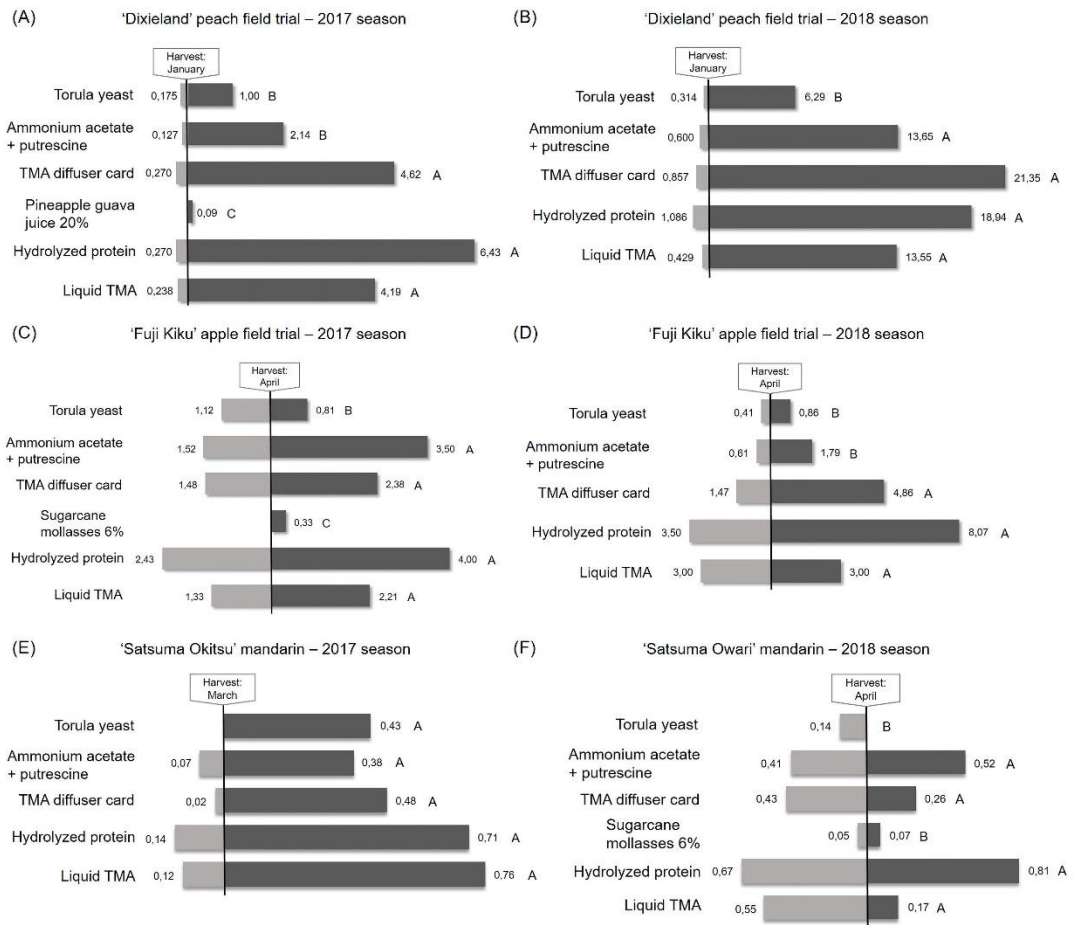
In the case of 'Satsuma Okitsu' mandarin during the first season of evaluation (Feb 2017 - May 2017) only 169 medflies were captured in the 12 test weeks, with 133 females and 36 males. Commercial harvest was on the sixth week of trial. No significant differences were observed among the attractants (Fig 1-E). The 2017 season was characterized by the low prevalence of medflies in the study area.

On the second season of evaluation (Feb 2018 - May 2018) on 'Satsuma Owari' mandarin, only 211 medflies were captured in the 12 test weeks, with 170 females and 41 males. Commercial harvest was on the sixth week of trial. Liquid TMA (29%, 0.7 FTD), hydrolyzed protein (27%, 1.5 FTD), TMA diffuser card (16%, 0.7 FTD), and ammonium acetate + putrescine (15%, 0.9 FTD), were the best attractants and captured together 92% of the medflies (Fig 1-F). These attractants were also the best for the pre-harvest period. In all field trials, all treatments were able to capture significantly more females than males (Figure S4).

### **3.1.2. *Anastrepha fraterculus* evaluation**

The presence of *A. fraterculus* was detected only in 'Dixieland' peach field trial but in a very low density, with *C. capitata*: *A. fraterculus* relations of 15:1 on 2017 season and 304:1 on 2018 season. However, an average infestation of 0.45 pupae of *A. fraterculus* per kilogram of fruit sampled was observed. This was the only field trial and season where fruit infestation was detected.

On 2017 season, hydrolyzed protein (58%, 0.51 FTD), liquid TMA (24%, 0.20 FTD), Torula yeast (9%, 0.08 FTD), and ammonium acetate + putrescine (9%, 0.08 FTD) captured *A. fraterculus* females with no significant differences between them. On 2018 season, hydrolyzed protein (60%, 0.15 FTD), liquid TMA (16%, 0.04 FTD), Torula yeast (16%, 0.04 FTD), and TMA diffuser card (8%, 0.02 FTD) captured *A. fraterculus* females with no significant differences between them.



**Figure 1.** Cumulative *Ceratitidis capitata* captures expressed as Females-Trap-Day (FTD) index for the pre-harvest (light gray) and post-harvest (dark gray) period are shown, for the three field trials and the two seasons of evaluation. Different letters indicate significant differences between treatments in the cumulative captures of females for the total trial period.

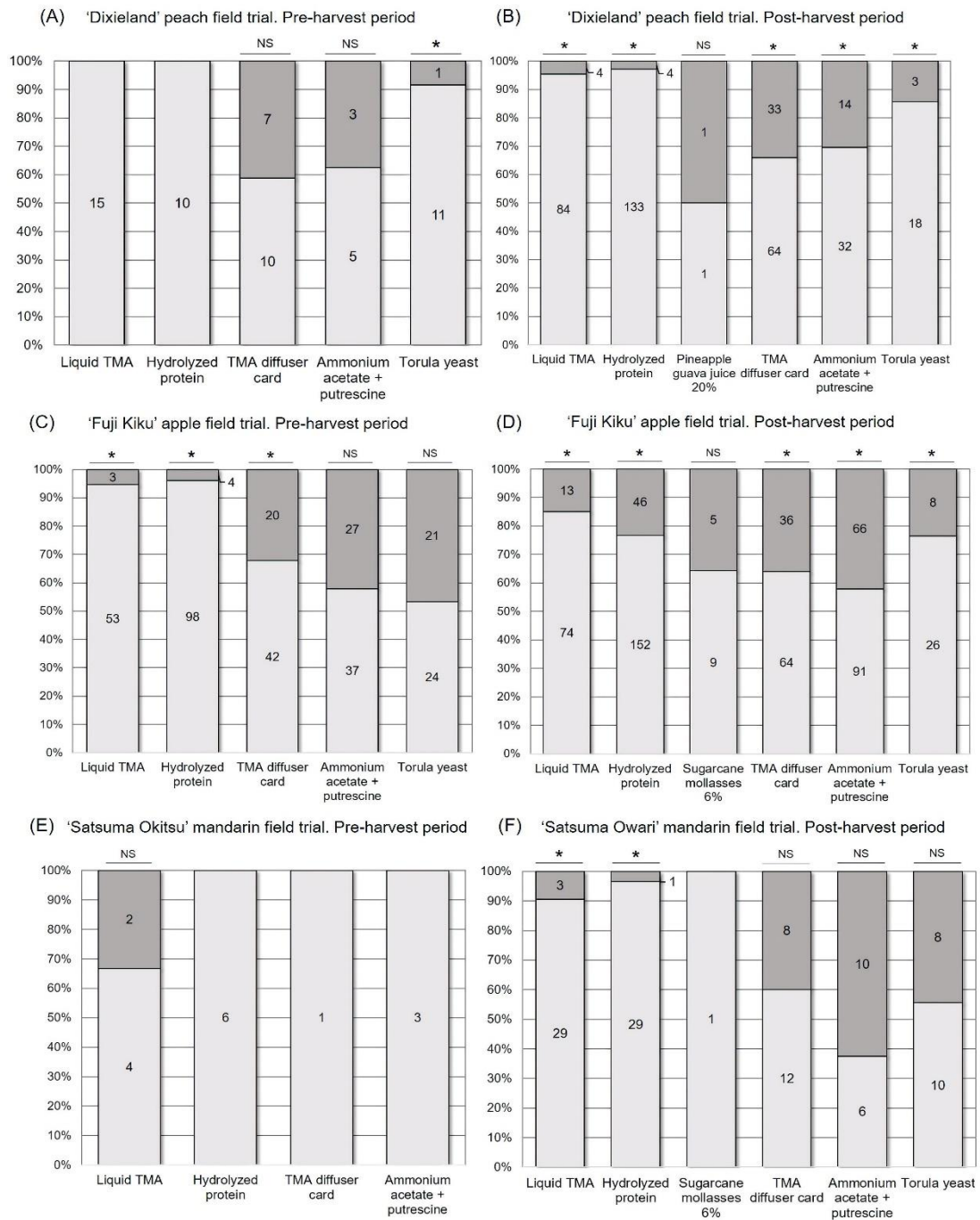
### 3.2 Proportion of gravid and non-gravid females captured

On 2017 season, the 1505 medfly females captured in the different treatments and fruit crops were dissected. Non-gravid females represented 77% of the females captured, considering pre and post-harvest period (Fig 2). On 2018 season, 1947 females were captured, with 75% non-gravid (Fig 3).

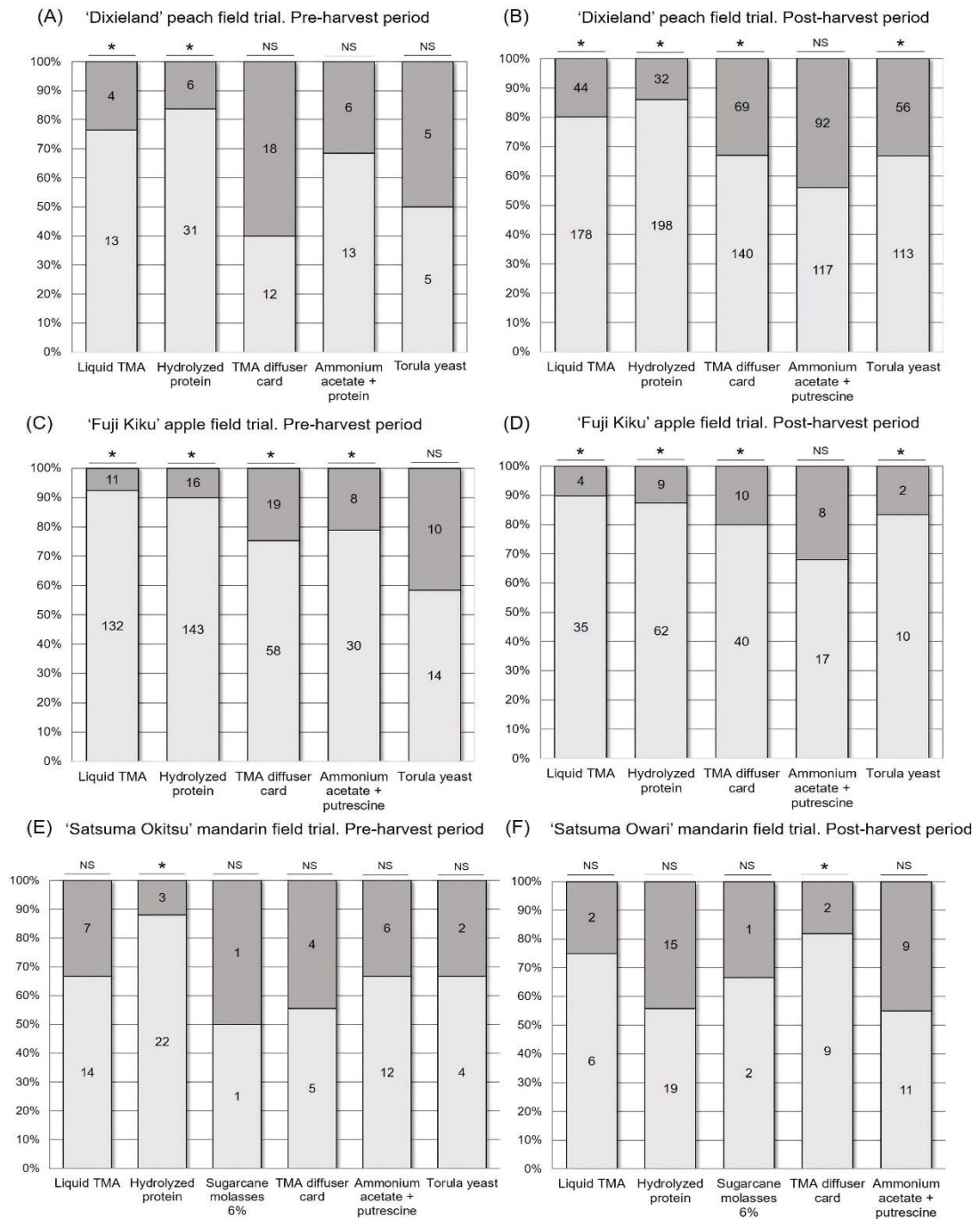
For the case of *A. fraterculus* in 'Dixieland' peach trial, only hydrolyzed protein was able to capture significantly more non-gravid females (eg. 7 non-gravid vs 1 gravid on the second season). This was due to the lack of captures of this species (33 females in the first season and 12 females in the second season).

All treatments evaluated captured non-gravid females. Hydrolyzed protein and liquid TMA captured significantly more non-gravid females during the pre and post- harvest period in all field trials in both seasons. TMA diffuser card, ammonium acetate + putrescine and Torula yeast captured more non-gravid females, mostly in the post-harvest period of 'Dixieland' peach and 'Fuji Kiku' apple (Figs 2 and 3).





**Figure 2.** Proportion of gravid (dark grey) and non-gravid (light grey) females of *Ceratitis capitata* lured to the different treatments on pre and post-harvest period during 2017 season (NS= no significant differences, \*=  $p \leq 0.05$ ). (A-B) 'Dixieland' peach. (C-D) 'Fuji Kiku' apple. (E-F) 'Satsuma' mandarin. Treatments with no captures are not presented.

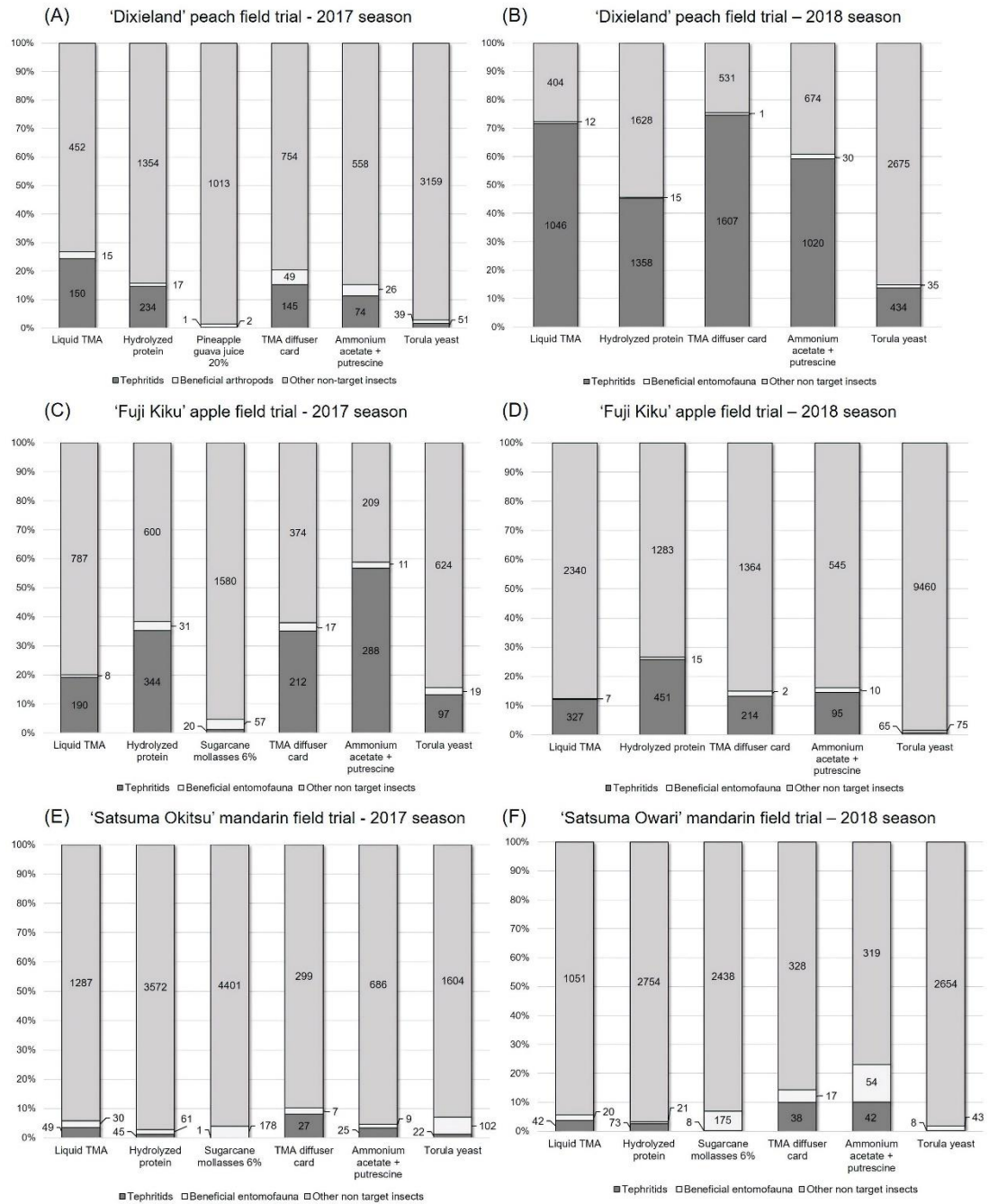


**Figure 3.** Proportion of gravid (dark grey) and non-gravid (light grey) females of *Ceratitis capitata* lured to the different treatments on pre and post-harvest period during 2018 season (NS= no significant differences, \*=  $p \leq 0.05$ ). (A-B) 'Dixieland' peach. (C-D) 'Fuji Kiku' apple. (E-F) 'Satsuma' mandarin. Treatments with no captures are not presented.

### 3.3 Selectivity of attractants regarding beneficial arthropods

Captures of beneficial arthropods was none significantly different among the evaluated food attractants, despite the differences they may present in terms of their effectiveness of capturing tephritids (Fig 4). The attractants that lured more tephritids were not necessarily the most selective regarding non-target insects (beneficial arthropods + other non-target insects). The least selective attractant was sugarcane molasses, in which the fraction of beneficial arthropods caught reached 6.7% of total captures in 'Satsuma Owari' mandarin (2018 season) (Fig 4-E).

In most treatments and field trials, non-target insects are the greatest proportion of captured arthropods. Diptera, such as Muscidae and Drosophilidae, dominated captures in all treatments. Only in 'Dixieland' peach field trial during 2018 season, *C. capitata* captures were significantly larger than non-target insect captures for three attractants: TMA diffuser card, liquid TMA and ammonium acetate + putrescine (Fig 4-B). In this case, TMA diffuser card was the most specific attractant, where tephritids accounting for 74.5% of the captures, followed by liquid TMA (71.5%), ammonium acetate + putrescine (59.2%), hydrolyzed protein (45.3%) and Torula yeast (13.8%).



**Figure 4.** Proportion of tephritids (dark grey), beneficial arthropods (white) and other non-target insects (light grey) captured by the different treatments on 2017 and 2018 seasons.

#### 4 DISCUSSION

Liquid TMA, hydrolyzed protein and TMA diffuser card were the most effective attractants for *C. capitata* in all crops and seasons. Several studies<sup>13,25,20,26</sup> have previously reported the effectiveness of hydrolyzed protein capturing *C. capitata*.

All treatments evaluated had female-biased captures, which is the base of an effective mass trapping strategy. Females are more often lured to attractants than males,<sup>27,28</sup> especially those who are protein-based.<sup>29,30,31</sup> Animal protein-based products, such as hydrolyzed protein and liquid TMA were the most effective in capturing medflies. Females lured to these attractants were mostly sexually immature.<sup>20,32</sup> Some studies<sup>33,34</sup> have explained the attraction of immature females to protein-based baits due to the physiological needs for eggs development. Males were also attracted to these baits, presumably because they increase their success in the search for a female.<sup>35</sup> Sugarcane molasses was inefficient in capturing tephritids in all field trials. This lack of effectiveness had been reported for *A. fraterculus* and *A. grandis*.<sup>36</sup> Although this lack of response, molasses is still commonly used in toxic baits mixed with an insecticide in southern Brazil<sup>37</sup> and Uruguay, and it is considered effective by the citrus growers.

In most of the field trials, tephritid captures were concentrated in the post-harvest period, probably due to the increase in the population of fruit flies in the crop area. This result has a direct implication for the management

technique commonly employed for the use of traps. Typically, fruit growers move these traps after harvesting a cultivar to the next susceptible cultivar on the property. According to the results obtained, it would be advisable to keep the traps in the same area for a longer period after the harvest, to allow capturing as many newly emerged tephritids as possible before they move to attack another cultivar.

Fruit infestation occurred only on 'Dixieland' peach during the first season. Despite the captures of *C. capitata* were much greater than the captures of *A. fraterculus* in all treatments (average FTD 1.36 vs 0.1), the fruits sampled were only infested with *A. fraterculus*. A plausible reason for this curious result is that, while using attractants more sensitive than traditional Torula yeast for monitoring *A. fraterculus* population, there is still a problem detecting low, but dangerous, populations of the pest. A similar situation occurs with peach and other fruit crops in Southern Brazil.<sup>37</sup>

Commercial food lures evaluated in the present study had low attractiveness to pollinators, predators and parasitoids. This is a very important result since a massive trapping strategy uses between 50 and 120 traps per hectare (depending on the commercial product and crop), so using a product that attracts beneficial arthropods can cause a significant imbalance in the agroecosystem.

Locally available, cheap food baits (sugarcane molasses and pineapple guava juice) were not efficient and non-selective. There are successful experiences of control of *C. capitata*<sup>38</sup> and *A. fraterculus* with locally developed food lures,<sup>39</sup>

such as fermented beverages and baker's yeast. It will be necessary to continue exploring other possibilities in this direction for the Uruguayan situation. On the other hand, it is relevant to consider the negative effect of low-specific attractants (such as Torula yeast, pineapple guava juice and sugarcane molasses) on the quality of trap monitoring. Attractants that capture a large number of non-target insects are less efficient and make it difficult to identify tephritids captured. This operational aspect is particularly important when growers control their own traps and use that information to make management decisions on the farm.

## **5 CONCLUSIONS**

Food attractants for mass trapping evaluated are very effective for capturing females of *C. capitata*, particularly young females in stages prior to oviposition and damage to fruits. In addition, these attractants were selective, minimizing captures of beneficial arthropods such as predators, parasitoids and pollinators.

Most of the captures of tephritids were in the post-harvest period, so we suggest fruit growers not to move traps after commercial harvest, and keep them in the same area for a longer period. This will allow capturing as many newly emerged tephritids as possible before they move to attack another cultivar.

Locally available, low cost attractants like sugarcane molasses and pineapple guava juice were not effective capturing females of *C. capitata* and *A.*

*fraterculus*. It will be necessary to continue exploring possibilities in this direction for the Uruguayan agronomic and economic conditions, in order to increase the adoption of the mass trapping technique for all fruit growers.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

We thank the Fund for the Promotion of Agricultural Technology (FPTA) of the Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Uruguay, and the Sectorial Commission for Scientific Research (CSIC I+D, UdelaR) for financing this study, the Graduate Academic Committee (CAP) of the Universidad de la República for the scholarship granted, and the fruit growers for allowing us to carry out this research in their orchards.

## **CONFLICT OF INTEREST**

The authors declare that they have no conflict of interest.

## **CONTRIBUTION STATEMENT**

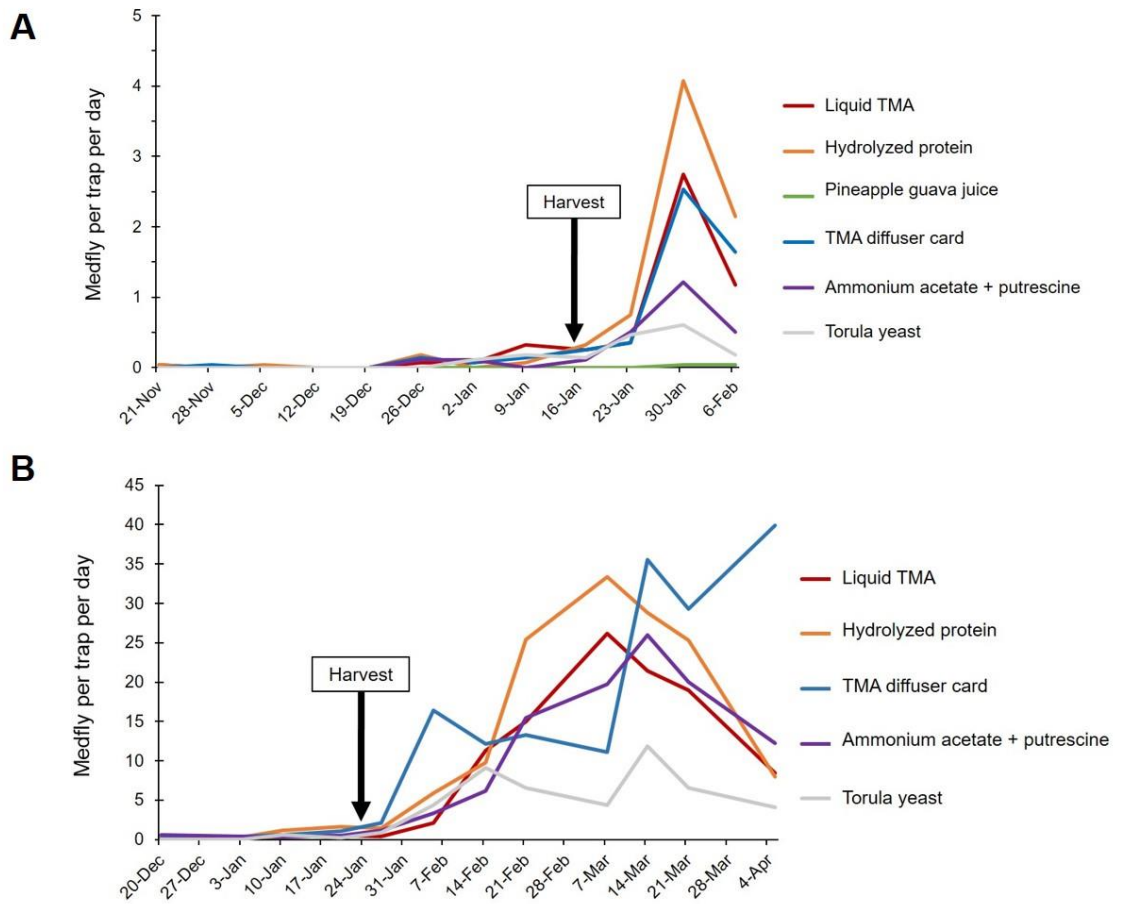
SD, MVC and IS conceived and designed research. SD and IS conducted experiments; MVC, FD and IS supported with analytical tools and fieldwork. SD, IS and AB analyzed data; SD and IS wrote the first version of the manuscript. All authors read, commented, and approved the manuscript.



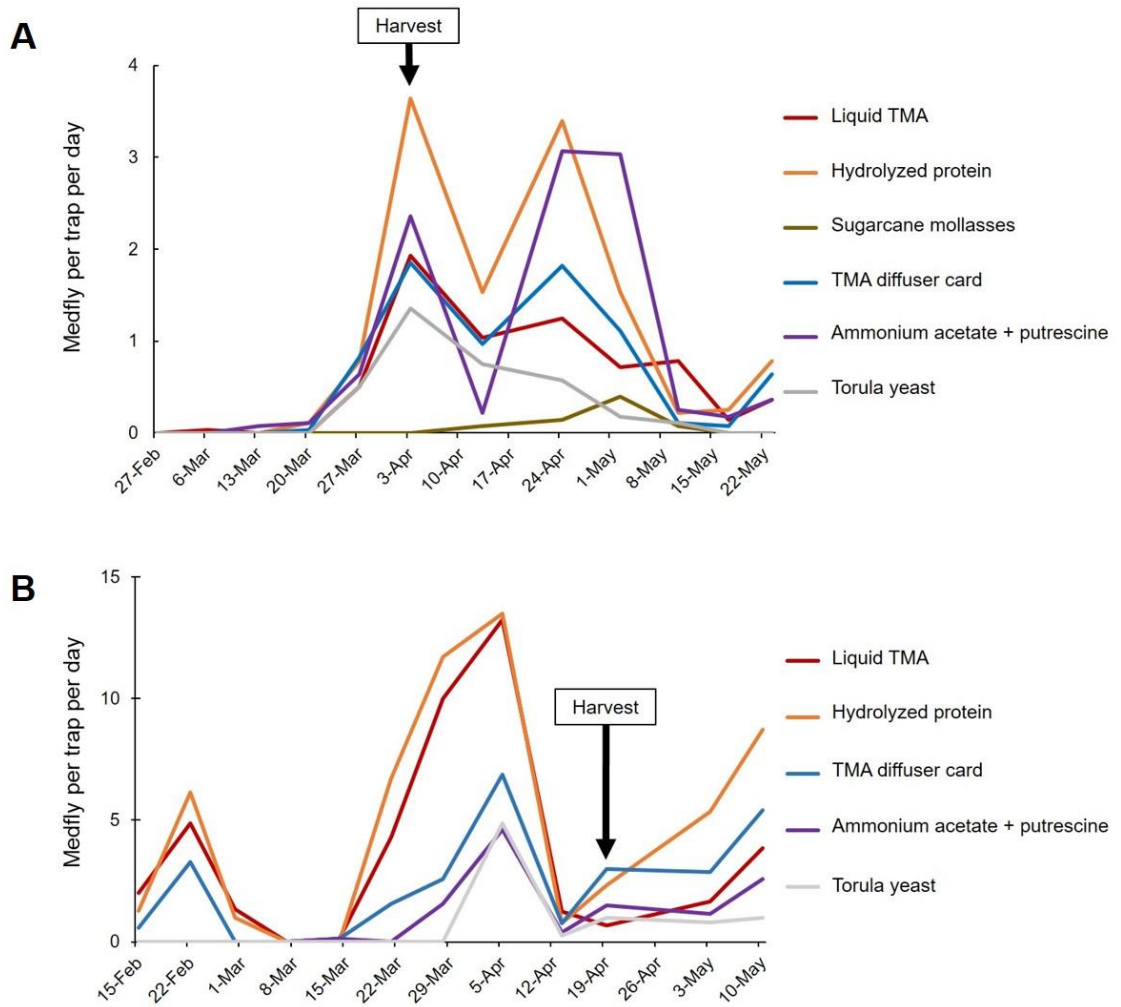
## SUPPORTING INFORMATION



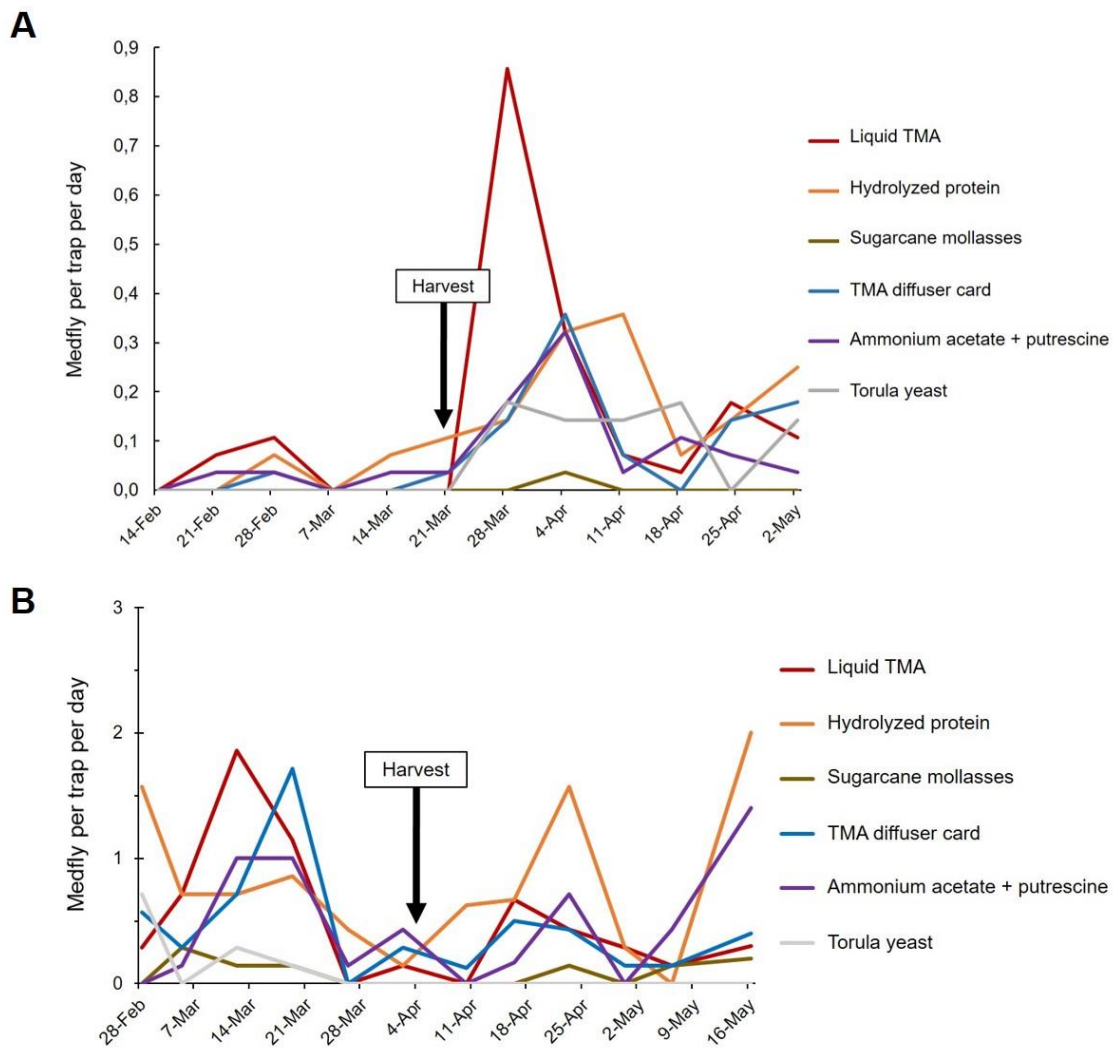
**Figure S1.** McPhail traps distribution on the field trials. Numbers represent the different treatments evaluated. (A) 'Satsuma Okitsu' mandarins field trial, 2017 season. (B) 'Satsuma Owari' mandarins field trial, 2018 season. (C) 'Fuji Kiku' apples field trial, 2017 and 2018 seasons. (D) 'Dixieland' peaches field trial, 2017 and 2018 seasons.



**Figure S2.** *Ceratitis capitata* captures over time (weekly evaluation) expressed as medfly per trap per day on 'Dixieland' peach field trial. A. 2017 season. B. 2018 season.



**Figure S3.** *Ceratitis capitata* captures over time (weekly evaluation) expressed as medfly per trap per day on 'Fuji Kiku' apple field trial. A. 2017 season. B. 2018 season.



**Figure S4.** *Ceratitis capitata* captures over time (weekly evaluation) expressed as medfly per trap per day on 'Satsuma' mandarin field trial. A. 2017 season ('Satsuma Okitsu' mandarin). B. 2018 season ('Satsuma Owari' mandarin).

## REFERENCES

- 1 Liquido NJ, Cunningham RT and Nakagawa S, Host plants of Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) on the island of Hawaii (1949–1985 survey). *J Econ Entomol* **83**: 1863–1878 (1990).
- 2 Norrbom AL, Korytkowski CA, Zucchi RA, Uramoto K, Venable GL, McCormick J and Dallwitz MJ, *Anastrepha* and *Toxotrypana*: descriptions, illustrations, and interactive keys. Version: 31st Aug 2012. <https://www.delta-intkey.com/anatox/index.htm> [accessed 8 June 2019]
- 3 Malavasi A and Zucchi R, Moscas das frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado. Holos, Ribeirão Preto, 327p (2000).
- 4 Liquido NJ, McQuate GT, Suiter KA, Norrbom AL, Yee WL and Chang CL, Compendium of fruit fly host plant information the USDA primary reference in establishing fruit fly regulated host plants, in *Area-wide management of fruit fly pests*, ed. by Pérez-Staples D, Diaz-Fleischer F, Montoya P and Vera MT, CRC Press, Boca Ratón, pp. 363-368 (2019).
- 5 Hernández-Ortiz V, Barradas-Juanz N and Díaz-Castelazo C, A review of the natural host plants of the *Anastrepha fraterculus* complex in the Americas, in *Area-wide management of fruit fly pests*, ed. by Pérez-Staples D, Diaz-Fleischer F, Montoya P and Vera MT, CRC Press, Boca Ratón, pp. 89-122 (2019).

- 6 Ekesi S, Maniania N, Mohamed S and Lux S, Effect of soil application of different formulations of *Metarhizium anisopliae* on African tephritid fruit flies and their associated endoparasitoids. *Biol Control* **35**, 83-91 (2005).
- 7 Villalobos J, Flores S, Liedo P and Malo EA, Mass trapping is as effective as ground bait sprays for the control of *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) fruit flies in mango orchards. *Pest Manag Sci*, **73**: 2105-2110 (2017).
- 8 Dominiak B, Ekman J and Broughton S, Mass trapping and other management option for Mediterranean fruit fly and Queensland fruit fly in Australia. *J Entomol Soc New South Wales* **44**, 1-8 (2016).
- 9 Lasa R and Cruz A, Efficacy of new commercial traps and the lure CeraTrap® against *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae). *Fla Entomol* **97**: 1369-1377 (2014).
- 10 Navarro-Llopis V, Alfaro F, Domínguez J, Sanchis J and Primo J, Evaluation of traps and lures for mass trapping of Mediterranean fruit fly in citrus groves. *J Econ Entomol* **101**, 126–131 (2008).
- 11 Hafsi A, Abbes K, Harbi A and Chermiti B, Field efficacy of commercial food attractants for *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) mass trapping and their impacts on non-target organisms in peach orchards. *Crop Prot*, **128**, 104989 (2020).
- 12 Dominiak B, Review of the use of protein food based lures in McPhail traps for monitoring Queensland fruit fly *Bactrocera tryoni* (Froggatt) (Diptera: Tephritidae). *Gen Appl Entomol* **35**: 7–12 (2006).

- 13 Morton TC and Bateman MA, Chemical studies on proteinaceous attractants for fruit flies, including the identification of volatile constituents. *Aust J Agric Res* **32**, 905–916 (1981).
- 14 Uchôa M, Fruit flies (Diptera: Tephritoidea): Biology, host plants, natural enemies, and the implications to their natural control, in Integrated Pest Management and Pest Control. Current and Future Tactics, ed. by Larramendy M & Soloneski S, InTech, Croacia, pp. 271-300 (2012).
- 15 Falcó-Garí JV, Verdú MJ and Bolinches JV, Valoración cuantitativa y cualitativa de parasitoides en capturas por trampeo masivo de *Ceratitis capitata*. *Phytoma España* **221**: 18–26 (2010).
- 16 Falcó-Garí JV, Verdú MJ, Bolinches JV, Cuenca F and Alfaro F, Incidencia del trampeo masivo de *Ceratitis capitata* sobre *Cryptolaemus montrouziere* y otros depredadores y parasitoides en una parcela de Navelina en cultivo ecológico. *Levante Agrícola* **390**: 152–157 (2006).
- 17 Segura D, Vera MT, Cagnotti CL, Vaccaro N, De Coll O, Ovruski SM and Cladera JL, Relative abundance of *Ceratitis capitata* and *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) in diverse host species and localities of Argentina. *Ann Entomol Soc Am* **99** (1), 70-83 (2006).
- 18 Hodson AC, Further studies on lures attractive to the apple maggot. *J Econ Entomol* **41**: 61– 68 (1948).
- 19 Foote R, Fruit fly genera south of the United States (Diptera: Tephritidae). USDA. Technical bulletin No. 1600. 79p (1980).

- 20 Bortoli L, Machota Jr R, Garcia FRM and Botton M, Evaluation of food lures for fruit flies (Diptera: Tephritidae) captured in a citrus orchard of the Serra Gaúcha. *Fla Entomol* **99**: 381-384 (2016).
- 21 Bentancourt C, Scatoni I and Morelli E, Insectos del Uruguay, Montevideo (UY), Facultad de Agronomía- Facultad de Ciencias (Udelar), 658 p (2009).
- 22 Di Rienzo JA, Guzmán AW, Casanoves F, A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. *J. Agric. Biol. Environ. Stat.* **7**(2), 129–142. (2002).
- 23 Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M and Robledo CW, InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar> (2018).
- 24 IBM Corp., IBM SPSS Statistics for Windows, Version 23.0. Armonk, NY: IBM Corp. (2015).
- 25 Botton M, Junior M, Nava DE and Arioli J, Novas alternativas para o monitoramento e controle de *Anastrepha fraterculus* (Wied., 1830) (Diptera: Tephritidae) na fruticultura de clima temperado, In XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura, Bento Goncalves-RS. October 22-26, 2012. [www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/939420/1/DoriEdsonNava.pdf](http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/939420/1/DoriEdsonNava.pdf). [accessed 11 February 2020]



- 26 da Rosa JM, Arioli CJ, dos Santos JP, Menezes-Netto AC and Botton M, Evaluation of food lures for capture and monitoring of *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) on temperate fruit trees. *J Econ Entomol*, **110**(3), 995-1001 (2017).
- 27 Jahnke SM, Reyes CP and Redaelli LR, Influência da fase de maturação de pêssegos e goiabas na atratividade de iscas para *Anastrepha fraterculus*. *Científica*, **42**(2), 134-142 (2014).
- 28 Manrakhan A and Kotze C, Attraction of *Ceratitidis capitata*, *C. rosa* and *C. cosyra* (Diptera: Tephritidae) to proteinaceous baits. *J Appl Entomol*, **135**(1-2), 98-105 (2009).
- 29 Malo E, Effect of bait decomposition time on capture of *Anastrepha* fruit flies. *Fla Entomol* **75**(2), 272-274 (1992).
- 30 Katsoyannos BI, Heath RR, Papadopoulos NT, Epsky ND and Hendrichs J, Field evaluation of Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) female selective attractants for use in monitoring programs. *J Econ Entomol*, **92**(3), 583-589 (1999).
- 31 Raga A and Vieira SMJ, Attractiveness of corn steep liquor plus borax to fruit fly (Diptera: Tephritidae) under field cages. *Arquivos do Instituto Biológico*, **82** (2015).
- 32 Heath RR, Epsky ND, Guzman A, Dueben BD, Manukian A and Meyer WL, Development of a dry plastic insect trap with food-based synthetic attractant for the Mediterranean and the Mexican fruit fly (Diptera: Tephritidae). *J Econ Entomol* **88**: 1307–1315 (1995).

- 33 Drew RA and Yuval B, The evolution of fruit fly feeding behavior, In Fruit flies (Tephritidae): phylogeny and evolution of behavior, ed. by Aluja M and Norrbom A. CRC Press LLC, Boca Ratón, pp. 731–750 (2000).
- 34 Aluja M, Guillen L, Rull J, Hohn H, Frey J, Graf B and Samietz J, Is the alpine divide becoming more permeable to biological invasions? – Insights on the invasion and establishment of the Walnut Husk Fly, *Rhagoletis completa* (Diptera: Tephritidae) in Switzerland. *Bull Entomol Res* **101**: 451–465 (2011).
- 35 Pérez-Staples D and Aluja M, *Anastrepha striata* females mated to virgin males live longer. *Ann Entomol Soc Am* **97**: 1336–1341 (2004).
- 36 Malavasi A, Duarte AL, Cabrini G and Engelstein M, Field evaluation of three baits for South American cucurbit fruit fly (Diptera: Tephritidae) using McPhail traps. *Fla Entomol* **73**, 510– 512 (1990).
- 37 Nava DE, Botton M, Bioecologia e controle de *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata* em pessegueiro. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/888672> [accessed 27 March 2020]
- 38 Candia IF, Bautista V, Larsson Herrera S, Walter A, Ortuño Castro N, Tasin M and Dekker T, Potential of locally sustainable food baits and traps against the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* in Bolivia. *Pest Manag Sci*, **75**(6), 1671-1680 (2018).
- 39 Lang Scoz P, Botton M, Silveira Garcia M and Luiz Pastori P, Avaliação de atrativos alimentares e armadilhas para o monitoramento de

*Anastrepha fraterculus* (Wiedemann, 1830) (Diptera: Tephritidae) na cultura do pessegueiro (*Prunus persica* (L.) Batsh). *Idesia* (Arica), **24**(2), 7-13 (2006)