

## Caracterización biológica de los compuestos de la feromona sexual de *Tecia solanivora* Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae)

Biological characterization of the sex pheromone compounds *Tecia solanivora* Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae)

CARLOS FELIPE BOSA O.<sup>1</sup>, PETER WITZGALL<sup>2</sup>, MARIE BENGTSSON<sup>2</sup>, ALBA M. COTES P.<sup>1</sup>

**Resumen.** Se identificaron y caracterizaron química y biológicamente los diferentes compuestos constituyentes de la feromona sexual de *Tecia solanivora*. Su identificación se realizó con el espectrómetro de masas, la caracterización química y biológica de la feromona mediante las técnicas de cromatografía de gases y electroantenografía, y la evaluación de diferentes mezclas y proporciones de los compuestos mediante ensayos biológicos en condiciones de túnel de viento. Con el propósito de seleccionar una mezcla de la feromona eficiente en la captura de machos de *T. solanivora* en campo, se evaluaron los compuestos activos de la feromona en tres áreas rurales correspondientes a Mosquera (Cundinamarca), Siachoque y Toca en Boyacá. La combinación de los compuestos E3-12Ac y 12Ac en la proporción (10:2) respectivamente, fue la que originó las mayores capturas con 32 machos por trampa. Por el contrario, con el compuesto E3-12Ac evaluado en forma individual, el cual constituye la feromona utilizada comercialmente, se capturaron 16 machos por trampa.

**Palabras clave:** Polilla guatemalteca de la papa. Trampas. Captura. Papa.

**Summary.** The different constituent compounds of the sex pheromone of *Tecia solanivora* were identified and characterized chemically and biologically. Identification was done with a mass spectrometer, chemical and biological characterization of the pheromone with gas chromatography and electroantennographic detection techniques, and evaluation of the different proportions and blends of the compounds through biological assays under wind tunnel conditions. In order to select the most promising pheromone blend for the efficient capture of *T. solanivora* males in the field, active pheromone compounds were evaluated in three rural areas corresponding to Mosquera (Cundinamarca), Siachoque and Toca (Boyacá). The highest male captures were obtained with the combination of the compounds E3-12Ac and 12Ac in the proportion (10:2), respectively, with 32 males per trap. However when the main compound was tested alone, which constitutes the commercial pheromone, only 16 males per trap were caught.

**Key words:** Guatemalan potato tuber moth. Traps. Sampling. Potato.

### Introducción

Las feromonas sexuales presentan un amplio rango de aplicaciones en programas de manejo integrado de plagas, cabe mencionar su utilización en la detección de poblaciones de insectos, mediante el empleo de trampas como atrayentes, su combinación con esterilizantes o insecticidas y su utilización para producir la confusión sexual en machos e interrupción de la cópula en adultos (Pedigo 1996). Las feromonas son sustancias no tóxicas que son liberadas al aire en cantidades mínimas, debido a su alta especificidad no son adversas a insectos benéficos. Hasta el momento, nunca ha sido documentada la aparición de resistencia en insectos (Haynes y Baker 1988). Cualquier tipo de feromona sexual está constituida por varios compuestos denominados primarios y secundarios, donde grupos funcionales como aldehídos, alcoholes, acetatos, cetonas entre otros la constituyen (Dekramer y

Hemberger 1987). Estos compuestos en proporciones exactas y específicas ejercen un efecto complementario y sinérgico en la atracción sexual de los individuos de una población (Primo 1991; Arnini y Lizárraga 2000). En los últimos años, se ha logrado extraer la glándula productora de la feromona generalmente presente en hembras de diferentes especies de insectos, con el propósito de identificar su composición y realizar ensayos biológicos (Altstein *et al.* 1989).

En programas de detección y vigilancia para el monitoreo de insectos plaga, se ha reportado la importancia de evaluar y combinar más de dos compuestos de una feromona, para producir una mayor respuesta de atracción de machos en trampas en diferentes aplicaciones de las feromonas (Bäckman *et al.* 1997; Coracini *et al.* 2001; Witzgall *et al.* 2001). Hasta el momento no existen estudios profundos, que involucren

la identificación completa y la evaluación de todos los compuestos constituyentes de la feromona de *T. solanivora*. Los estudios existentes se han basado en los reportes preliminares realizados por Nesbitt *et al.* en 1985, los cuales identificaron únicamente el compuesto E(3)-dodecenyl acetato y su isómero Z3-12Ac.

Cabe destacar que *T. solanivora* es uno de los principales problemas fitosanitarios en el cultivo de la papa tanto en el país como en algunos países de Centro y Sur América (Corredor y Flórez 2003), por lo tanto es necesario aunar esfuerzos para lograr un control eficiente de la plaga. Actualmente este insecto está presente en más del 80% de las zonas productoras del país de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia, donde las larvas se alimentan exclusivamente de los tubérculos afectando tanto aquellos destinados para semilla mantenidos en

1 Autores para correspondencia: Investigadores del Laboratorio de Control Biológico del Programa de Manejo Integrado de Plagas de Corpoica. Km 14 vía Mosquera. A.A. 240142 Las Palmas, Parque Central Bavaria. Bogotá. felipebosa@vv.slu.se, acotes@corpoica.org.co

2 Investigadores del grupo de Ecología química de la Universidad Agrícola de Suecia SLU. Box 44, SE-230-53 Alnarp, Sweden. peter.witzgall@vv.slu.se

almacenamiento, como aquellos presentes en campo, provocando una disminución en los rendimientos superior al 30% (Arévalo 2003).

Por su parte, para el control de esta plaga se han realizado esfuerzos en diferentes áreas; sin embargo, no se han desarrollado productos biológicos para su control y como alternativa química sólo se cuenta con algunos insecticidas aprobados con licencia de uso expedida por el ICA tales como: Clorpirifos, Profenofos y Acefato (organofosforados), y Permetrina (Arévalo y Castro 2003). Por las características químicas de estos productos, su uso prolongado y frecuente podría generar resistencia genética de las poblaciones del insecto, si se tiene en cuenta que los productores de papa, realizan hasta doce aplicaciones de insecticidas por ciclo de cultivo para el control de esta plaga (Sánchez 1999).

Dada la complejidad de *T. solanivora*, la dificultad para su control y considerando que el seguimiento de sus poblaciones en campo constituye una herramienta importante para la toma de decisiones MIP, es fundamental contar con técnicas efectivas de seguimiento y detección oportuna de las poblaciones. En este sentido, sólo se cuenta con la feromona comercial producida por el Centro Internacional de la Papa basada en los estudios iniciales de Nesbitt *et al.* (1985). Sin embargo, en estudios realizados por Barreto y Martínez (2003), la feromona comercial presentó baja estabilidad y persistencia en condiciones de campo a través del tiempo. Esto indica la necesidad de desarrollar alternativas complementarias en la detección de machos de *T. solanivora* en campo. Por lo tanto, los objetivos de esta investigación fueron: identificar los compuestos de la feromona sexual de *T. solanivora*, realizar su caracterización química y biológica, y determinar la atracción y captura de machos del insecto en trampas cebadas con diferentes proporciones y combinaciones de esta feromona.

### Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló dentro de un proyecto colaborativo entre la Universidad Agrícola de Suecia y Corpoica.

#### Análisis químico de extractos de la feromona sexual

A partir de una cría del insecto establecida en el laboratorio de entomología de la Universidad Agrícola de Suecia y mantenida en dieta natural constituida por tubérculos, hembras vírgenes de dos días de emergidas fueron colectadas para la

obtención de las glándulas de la feromona ubicadas al final del abdomen. Para la extracción de la feromona, las glándulas fueron disectadas de las hembras y colectadas en grupos de 50 por vial. La feromona contenida fue solubilizada en un solvente orgánico (heptano al 99% de pureza) y los extractos crudos obtenidos fueron almacenados en capilares para la identificación y separación de los compuestos presentes mediante las técnicas de espectrometría de masas (Hewlett Packard 5970B, Palo Alto) y cromatografía de gases (CG: Hewlett Packard 5890, J & W Scientific Folsom) respectivamente. Una vez identificados los compuestos de la feromona, extractos de la feromona fueron inyectados en el cromatógrafo de gases en conexión con el electroanténografo (EAG: Syntech, Hilversum), obteniéndose así simultáneos registros procedentes tanto del CG como del EAG. De esta manera, los compuestos de la feromona que indujeron las respuestas más significativas en los impulsos nerviosos procedentes de las antenas de machos de dos días de edad, fueron seleccionados para ser evaluados bajo diferentes concentraciones y combinaciones en condiciones de túnel de viento.

#### Ensayos biológicos bajo condiciones de túnel de viento

Respuestas de la trayectoria de vuelo de machos de *T. solanivora* frente a los diferentes compuestos de la feromona sexual fueron evaluadas en un túnel de viento de 63 x 90 x 200 centímetros, de acuerdo con Witzgall *et al.* (2001). En la parte anterior del túnel de viento, una corriente de aire de 30 cm por segundo conducida previamente a través de cilindros de carbón activado, permitió la dispersión de los respectivos tratamientos de la feromona colocados dentro del túnel de viento. Al final del túnel un extractor permitió la salida del aire impregnado con la feromona hacia el exterior, a un distancia de 35 cm del extractor se liberó un macho de dos días de edad evaluándose su trayectoria de vuelo durante dos minutos, desde el punto de su liberación hasta la fuente de la feromona. Estos ensayos siempre fueron realizados 5 minutos después de iniciado el período de luz, debido a que la mayor actividad sexual y de vuelo de machos fue observada para este período en etapas previas. Para el análisis de la trayectoria de vuelo, se consideraron las siguientes etapas: actividad, vuelo inicial desde el origen, trayecto-

ria de vuelo a 50, 100 y 150 cm desde el punto de liberación de los machos, aterrizaje en la fuente emisora, cortejo e intento de cópula con la fuente de la feromona. Para estos ensayos biológicos, se utilizó una temperatura entre 20 y 22°C y una intensidad lumínica de 12 lux.

Los compuestos de la feromona evaluados fueron formulados en diferentes mezclas utilizando como solvente heptano al 99% de pureza. Se emplearon cauchos rojos de goma como material portador de las mezclas (a razón de 100 µl de cada solución por caucho). Cada repetición por tratamiento de la feromona estuvo constituida por quince machos con cuatro repeticiones por tratamiento realizadas en días diferentes (n=60). Un tratamiento constituido por hembras vírgenes que liberaban la feromona fue evaluado como control bajo las mismas condiciones metodológicas descritas anteriormente. Los resultados de la trayectoria de vuelo de machos frente a los diferentes tratamientos, fueron analizados estadísticamente mediante una prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0,05.

Los tratamientos de la feromona que originaron las respuestas de vuelo más significativas en machos, fueron posteriormente evaluados bajo condiciones de campo en diferentes zonas productoras de papa en Cundinamarca y Boyacá durante noviembre de 2003 a marzo de 2004.

#### Determinación en campo de la eficiencia de atracción y captura de machos

En los laboratorios de Ecología química de la Universidad Agrícola de Suecia, los compuestos sintéticos en sus diferentes combinaciones fueron dispensados en cauchos de goma de color rojo (100 ml por caucho). Una vez evaporado el solvente en cada caucho, se procedió a su almacenamiento en refrigeración hasta su uso. Para las pruebas de campo, los cauchos de goma impregnados con las diferentes combinaciones de compuestos fueron colocados en el interior de trampas tipo delta, las cuales contenían en el fondo papeles amarillos pegantes con cuadrícula para facilitar el conteo de machos capturados, en cada caso un caucho de goma con la feromona fue colocado por trampa. Se evaluaron seis tratamientos donde se varió la concentración de los compuestos sintéticos de la feromona (Tabla 1).

**Tabla 1.** Compuestos de la feromona sexual de *T. solanivora* evaluados bajo condiciones de campo en Colombia.

Compuestos (Proporciones)	Tratamientos					
	1	2	3	4	5	6
n *	10	10	10	10	10	10
E3-12Ac	10	10	10	10	10	10
Z3-12Ac		0,1			0,1	0,5
12Ac			2	10	2	10

\*Número de repeticiones por tratamiento

**Diseño experimental.** Estos tratamientos se evaluaron en tres localidades con presencia de cultivos de papa, correspondientes a variedad parda pastusa Mosquera (Cundinamarca) y Siachoque (Boyacá) y variedad Tuquerreña en Toca (Boyacá). Como soportes para el montaje de las trampas, se utilizaron listones de madera de 120 cm de longitud por 2,5 cm de ancho. Cada trampa fue colocada a una altura de 80 cm a nivel del suelo, a lo largo de la hilera de plantas de papa y ubicadas en el sentido de la dirección del viento para permitir la adecuada dispersión de la feromona en el aire (Fig. 1). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con seis tratamientos para cada localidad, donde la distancia entre cada trampa fue de 15 metros y de 30 m entre bloques de tratamientos. La unidad experimental fue cada trampa y la variable evaluada fue el número de machos capturados por trampa por semana. Así mismo, una vez por semana se realizó el registro de la temperatura máxima - mínima y la precipitación por localidad. Los resultados de la eficiencia de atracción y captura

de machos en trampas frente a los diferentes compuestos de la feromona, fueron analizados estadísticamente mediante análisis de varianza y pruebas de comparación de Tukey con un nivel de significancia de 0.05.

## Resultados y discusión

### Identificación química y caracterización biológica de la feromona

Se identificaron seis compuestos mediante el espectrómetro de masas. De estos, el compuesto denominado E3-12Ac presente en mayor proporción es el principal constituyente de la feromona con un tiempo de retención en la fase estacionaria del cromatógrafo de gases de 10,16 minutos, un área de 7,1 y con 0,43 hg por ml de extracto de la feromona. Los cinco restantes son compuestos secundarios y complementarios de la actividad de la feromona (Tabla 2). Trabajos previos realizados por Nesbitt *et al.* (1985), reportaron como únicos compuestos constituyentes el E3-12Ac y su isómero el Z3-12Ac, la presente investigación permitió identificar nuevos compuestos (Tabla 2).

Teniendo en cuenta los registros simultáneos procedentes del CG y del EAG relacionados con los tiempos de retención de los compuestos y con las respuestas antenales de machos respectivamente (Tabla 2), se seleccionaron los compuestos E3-12Ac, Z3-12Ac y 12Ac por inducir las más significativas respuestas antenales en machos del insecto, compuestos que fueron posteriormente evaluados en diferentes proporciones y combinaciones en mezcla en un túnel de viento.

### Ensayos biológicos bajo condiciones de túnel de viento

En el túnel de viento se determinó la respuesta y trayectoria de vuelo de machos frente a los diferentes compuestos de la feromona. Estos resultados fueron comparados con un tratamiento control correspondiente a hembras vírgenes de dos días de edad que liberaban la feromona.

Se realizaron ensayos previos de estandarización para determinar la respuesta de vuelo mínima efectiva en machos frente a diferentes rangos de concentración de los compuestos de la feromona. Así mismo, un mayor número de tratamientos de la feromona fueron evaluados, sin embargo a continuación se presentan los resultados más relevantes.

Las respuestas más significativas de machos durante toda la trayectoria de vuelo en el túnel de viento, se obtuvieron con la utilización de hembras vírgenes que liberaban la feromona, donde un 90% de los machos presentó una alta actividad representada por movimientos de alas y desplazamiento desde el punto de liberación, y un 60% de los individuos alcanzó exitosamente la fuente emisora (Tabla 3). Esto obedeció posiblemente, a que la proporción de los compuestos, su tasa de liberación en el aire y las características intrínsecas de estos compuestos *in vivo* en las glándulas de la feromona de hembras, son mantenidos constantes y biológicamente estables, a diferencia de la utilización de compuestos obtenidos por síntesis química en el laboratorio. Coracini *et al.* (2002) reportaron resultados similares en túnel de viento al utilizar como fuente emisora de la feromona hembras

**Figura 1.** Trampa pegante tipo delta conteniendo en su interior un cacho de goma impregnado con la feromona.**Tabla 2.** Compuestos constituyentes de la feromona sexual de *T. solanivora* identificados y caracterizados mediante las técnicas de espectrometría de masas, cromatografía de gases (CG) y electroantenografía (EAG).

Compuestos	Estructura corta	Tiempo de retención en el CG (minutos)	Área bajo la curva	ng/μl de extracto de feromona	Respuesta antenal de machos (CG-EAG)
n		9	9	9	9
-Dodecyl acetato <sup>b</sup>	12Ac	10.03±0.02	0.6	0.04	++++
-(E)-3-dodecenyl acetato <sup>a,c</sup>	E3-12Ac	10.16±0.02	7.11	0.43	+++++
-(Z)-3-dodecenyl acetato <sup>a</sup>	Z3-12Ac	10.16	NC	0.01	+++
-(E)-5-tetradecenyl acetato <sup>b</sup>	E5-14Ac	12.15±0.02	0.5	0.03	+
-(Z)-5-tetradecenyl acetato <sup>b</sup>	Z5-14Ac	12.15	NC	0.03	
-(E,E)-9,11-tetradecenyl acetato <sup>b</sup>	E9,E11-14Ac	12.31±0.02	0.21	0.01	

n = número de repeticiones<sup>a</sup> Compuestos previamente reportados por Nesbitt *et al.* en 1985,<sup>b</sup> Compuestos identificados y caracterizados por Bosa *et al.* (2005)<sup>c</sup> Principal compuesto constituyente de la feromona sexual de *T. solanivora* CG: Cromatógrafo de gases; EAG: Electroantenógrafo NC: No calculado +++++: 100% de respuesta del impulso nervioso en antenas de machos; +++++: 80%; +++: 60%; +: 20%

**Tabla 3.** Porcentaje de respuesta de atracción en machos de *T. solanivora* frente a los compuestos de la feromona evaluados bajo condiciones de túnel de viento.

Tratamientos (proporciones)	1	2	3	4	5	6	Hembras vírgenes
(E)-3-dodecenyl acetato	1	1	1	1	1	1	
(Z)-3-dodecenyl acetato	-	0,01	0,05	-	-	0,05	
Dodecyl acetato	-	-	-	0,05	1	1	
n	60	60	60	60	60	60	60
-Trayectoria de vuelo en el túnel de viento	%±DS	%±DS	%±DS	%±DS	%±DS	%±DS	%±DS
Actividad	63±2 b	75±1 ab	88±1 a	52±3 b	72±2 b	48±2 b	90±2 a
Vuelo inicial desde el punto de liberación	62±1 b	75±1 ab	88±1 a	47±3 b	66±2 b	47±2 b	87±3 a
Hasta 50cm	27±2 b	68±1 b	78±1 ab	27±2 b	50±2 b	28±2 b	80±3 a
hasta 100cm	18±2 c	52±2 b	57±1 b	21±2 bc	38±2 b	18±2 c	77±3 a
hasta 150cm	18±2 c	42±2 b	35±2 b	20±2 bc	35±2 b	17±2 c	70±2 a
Aterrizaje en la fuente emisora de la feromona	10±1 c	28±1 b	28±2 b	9±1 c	22±2 bc	10±2 c	60±2 a
Cortejo e intento de cópula	10±1 c	28±1 b	28±2 b	9±1 c	20±2 bc	7±1 c	60±2 a

n = número de individuos por tratamiento. DS: desviación estándar. Porcentajes entre tratamientos que comparten la misma letra dentro de una misma etapa de la trayectoria de vuelo no presentaron diferencias significativas según la prueba de Tukey con un  $\alpha$  de 0,05

vírgenes de *Bonagota cranaodes* (Meyrick) (Lepidoptera: Tortricidae), las cuales originaron las mayores respuestas de vuelo en machos de este insecto, donde un 72% de los machos evaluados alcanzaron a las hembras emisoras.

Las mayores respuestas obtenidas utilizando hembras de *T. solanivora* fueron seguidas por las originadas con la combinación del E3-12Ac más su isomero Z3-12Ac en las proporciones de (1:0,01) y (1:0,05) respectivamente, donde un 28% de los individuos alcanzó la fuente emisora de la feromona para ambas proporciones (Tabla 3). En este caso, la variación en la proporción del isomero de 0,01 a 0,05 no originó una diferencia significativa en la respuesta de vuelo en machos.

Respuestas de vuelo intermedias se obtuvieron con la combinación del E3-12Ac y el compuesto secundario 12Ac en la proporción (1:1) respectivamente, donde un 22% de los machos alcanzaron esta fuente emisora; de otra parte, cuando se evaluaron estos mismos compuestos en la proporción de (1:0,05) tan solo un 9% de los machos alcanzó esta fuente emisora. Aunque estos resultados no fueron significativamente diferentes entre sí, una mayor respuesta de machos se originó cuando se evaluaron estos compuestos en la proporción (1:1), debido posiblemente a la mayor concentración del 12Ac utilizada en esta combinación (Tabla 3, tratamientos 4 y 5).

Menores respuestas de vuelo en machos se consiguieron, cuando se evaluó el compuesto E3-12Ac en forma individual, donde un 10% de los machos alcanzaron la fuente emisora. Similares resultados se obtuvieron con la combinación de los tres compuestos de la feromona en las proporciones de (1:0,05:1), donde tan solo un 10% de los machos alcanzaron esta

fueron de vuelo intermedias se obtuvieron con la combinación del E3-12Ac y el compuesto secundario 12Ac en la proporción (1:1) respectivamente, donde un 22% de los machos alcanzaron esta fuente emisora; de otra parte, cuando se evaluaron estos mismos compuestos en la proporción de (1:0,05) tan solo un 9% de los machos alcanzó esta fuente emisora. Aunque estos resultados no fueron significativamente diferentes entre sí, una mayor respuesta de machos se originó cuando se evaluaron estos compuestos en la proporción (1:1), debido posiblemente a la mayor concentración del 12Ac utilizada en esta combinación (Tabla 3, tratamientos 4 y 5).

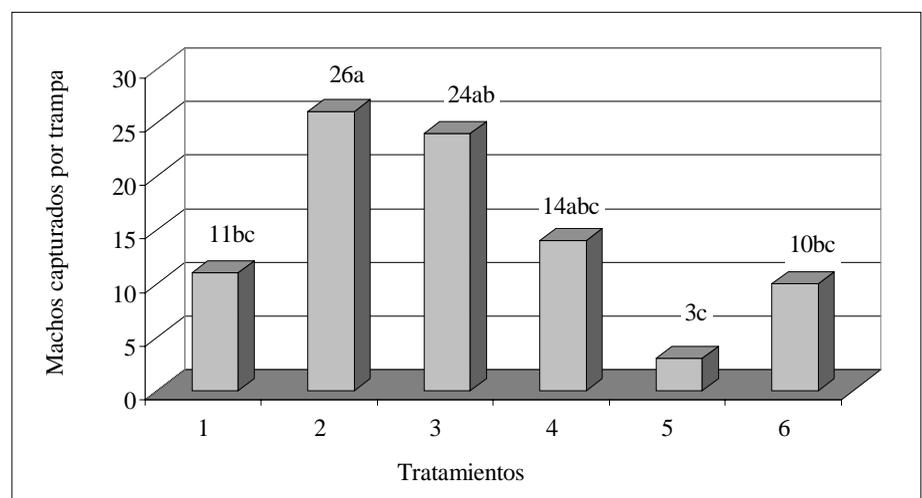
Menores respuestas de vuelo en machos se consiguieron, cuando se evaluó el compuesto E3-12Ac en forma individual, donde un 10% de los machos alcanzaron la fuente emisora. Similares resultados se obtuvieron con la combinación de los tres compuestos de la feromona en las proporciones de (1:0,05:1), donde tan solo un 10% de los machos alcanzaron esta

#### Determinación en campo de la eficiencia de atracción y captura de machos

Para el área ubicada en Siachoque (Boyacá), se observó que las capturas más significativas de machos se obtuvieron por la combinación de los compuestos E3-12Ac y su isomero Z3-12Ac en la pro-

porción (10:0,1), seguida por la combinación del E3-12Ac y 12Ac en la proporción (10:2), obteniéndose 26 y 24 machos capturados por trampa respectivamente. Una actividad intermedia se observó con la combinación del principal compuesto y el 12Ac (proporción 10:10) con 14 machos. Por otra parte, con los tratamientos (1, 5 y 6) se obtuvieron capturas significativamente menores a las anteriores (Fig. 2).

Se obtuvieron significancias menores cuando se evaluó el principal compuesto de la feromona E3-12Ac en forma individual con 11 machos capturados por trampa, y cuando se combinaron los compuestos E3-12Ac, Z3-12Ac y 12Ac en las proporciones de (10:0,1:2) y (10:0,5:10) respectivamente, con 3 y 10 machos capturados por trampa respectivamente. Esto se debió posiblemente a un efecto sinérgico originado por el incremento en la concentración del 12Ac de 2 a 10 en esta mezcla de la feromona (Fig. 2).



**Figura 2.** Machos capturados en trampas cebadas con la feromona de *T. solanivora* en Siachoque (Boyacá), (ver Tabla 1).

En general durante todo el período de evaluación, las precipitaciones no fueron altas, aunque se observó una relación inversamente proporcional entre la precipitación y el número de capturas de machos.

Por otra parte, en el área experimental ubicada en Toca (Boyacá), se observó una tendencia similar a la obtenida en Siachoque, donde las mayores capturas (23 machos por trampa) fueron obtenidas por la combinación de los compuestos E3-12Ac y 12Ac en la proporción (10:2) respectivamente (Fig. 3). Entre tanto, cuando se evaluó el compuesto E3-12Ac en forma individual o combinado con su isomero Z3-12Ac, se registraron tan sólo 14 machos capturados por trampa, aunque estos resultados no fueron significativamente diferentes con los anteriores ni con los obtenidos en los demás tratamientos en los que se encontraron rangos de capturas entre 9 y 15 machos por trampa, exceptuando únicamente por las significativamente menores capturas obtenidas con el tratamiento seis con dos machos por trampa (Fig. 3).

A pesar de registrarse temperaturas entre 18 y 23°C, así como bajas precipitaciones entre 0 y 5 milímetros, propicias para el incremento de las poblaciones del insecto en campo, no se observaron tales incrementos representados en mayores capturas de machos en las trampas. Este comportamiento, pudo deberse a un deterioro de las mezclas de la feromona en los cauchos portadores debido a temperaturas y/o radiación solar, lo cual pudo afectar negativamente la persistencia y eficiencia de estas feromonas en el campo.

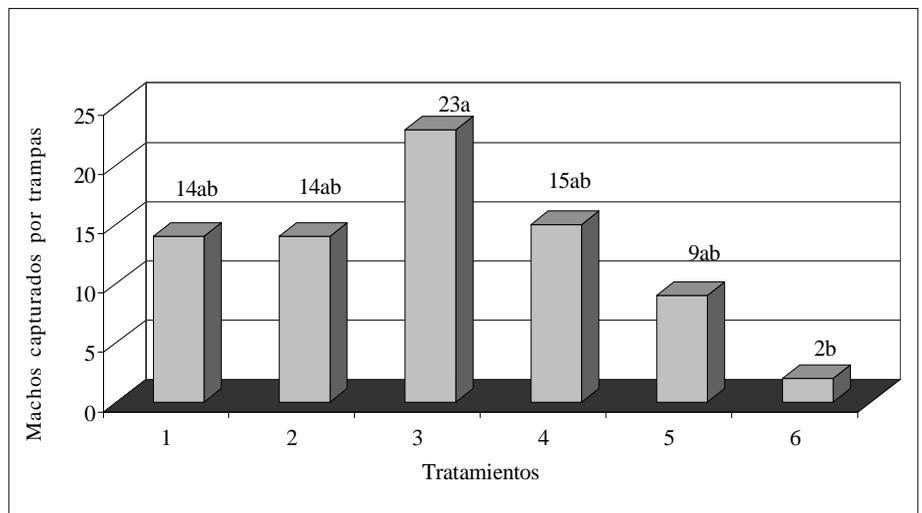
Al comparar los resultados anteriores con los obtenidos en el área experimental de Tibaitatá (Mosquera, Cundinamarca), se observó una tendencia similar, encontrándose las mayores capturas con la combinación de los compuestos E3-12Ac y 12Ac en las proporciones de (10:2) y (10:10) con 44 y 50 machos capturados por trampa respectivamente. Sin embargo, estas capturas no presentaron diferencias estadísticas con los demás tratamientos (Fig. 4).

Con la mezcla de los tres compuestos de la feromona en la proporción (10:0,1:2) se capturaron 20 machos por trampa, a diferencia de 13 machos cuando se evaluó el principal compuesto E3-12Ac en forma individual, o combinado con su isomero Z3-12Ac donde se capturaron 10 machos por trampa (Fig. 4). Autores como Coracini *et al.* (2001) al comparar las capturas de machos del minador del manzano *Bonagota cranaodes* Meyrick

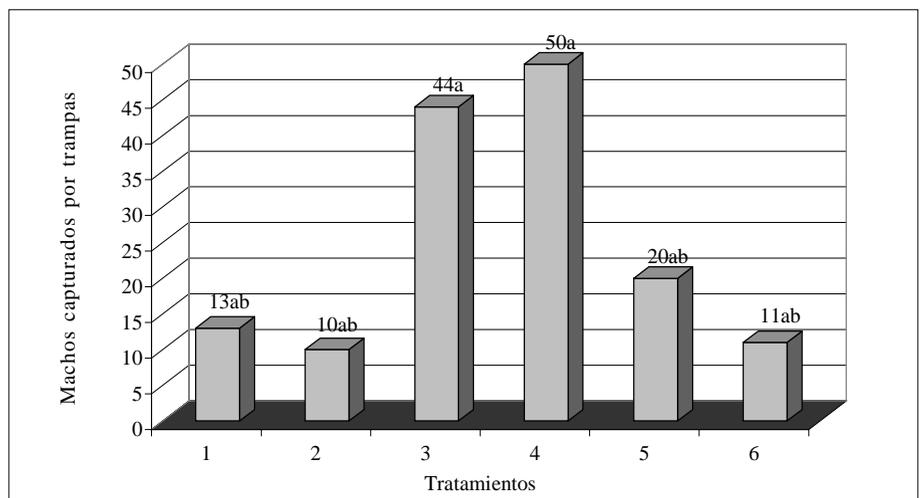
(Lepidoptera: Tortricidae), encontraron menores capturas utilizando en forma individual el principal compuesto de la feromona (E,Z)-3,5-dodecadienyl acetato (E3,Z5-12Ac), a diferencia de las mayores capturas cuando se combinaron cuatro de los compuestos constituyentes de esta feromona.

De otra parte, al compararse las capturas originadas por los tratamientos 5 y 6, cuando se incrementó la proporción del compuesto 12Ac de 2 a 10, se produjo posiblemente un efecto negativo y antagónico en las capturas, reduciéndose casi a la mitad las capturas de machos (Fig. 4, Tratamiento 6). Efectos antagónicos similares han sido reportados por otros autores como Witzgall *et al.* (2001), quienes encontraron efectos negativos en las respuestas de atracción de machos de *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), cuando se evaluaron mezclas de

compuestos que contenían mayores concentraciones del E,Z isómero del principal compuesto de esta feromona denominada "codlemone". Resultados similares, se obtuvieron al evaluar trampas cebadas con una mezcla de tres compuestos de la feromona de la mosca de la arveja *Contarinia pisi* (Diptera: Cecidomyiidae), donde se capturaron menos machos del insecto en comparación a cuando se combinaron en mezcla únicamente dos compuestos de esta feromona en proporciones específicas (Hillbur *et al.* 2000). Estos reportes, indican que tanto la combinación de ciertos compuestos de una feromona, como la utilización de proporciones específicas de éstos, juegan un papel definitivo en la comunicación y respuesta sexual de una especie dada, lo cual requiere de estudios continuos y complementarios para el conocimiento adecuado de la biología y comportamiento de una especie.



**Figura 3.** Machos capturados en trampas cebadas con la feromona de *T. solanivora* en Toca (Boyacá).



**Figura 4.** Machos capturados en trampas cebadas con la feromona de *T. solanivora* en Tibaitatá (Mosquera).

Al comparar las capturas de las tres localidades, se observó un comportamiento muy similar en los tratamientos. Las mayores capturas de machos se observaron en Mosquera, seguidas por las de Siachoque y las menores en Toca. Entre tanto, se observó una tendencia ligeramente mayor en las capturas de machos con la combinación del compuesto E3-12Ac y 12Ac en la proporción (10:2) respectivamente (Tratamiento 3). Las menores capturas fueron obtenidas con la combinación de los tres compuestos de la feromona (E3-12Ac, Z3-12Ac y 12Ac) en la proporción (10:0,5:10) respectivamente; sin embargo, no se puede concluir que la adición de más de dos compuestos en combinación, pueda originar un efecto negativo en las capturas, sino por el contrario, se debe continuar con la evaluación y optimización de estas proporciones de los compuestos de la feromona mediante pruebas complementarias en campo. La presente investigación indica la importancia de evaluar diferentes proporciones y combinaciones de los compuestos constituyentes de la feromona sexual, con el propósito de seleccionar un método de detección y vigilancia oportuna de machos de *T. solanivora* en campo que sea eficiente y óptimo dentro de un manejo integrado de la plaga.

### Conclusiones y Recomendaciones

- Se encontraron seis compuestos constituyentes de la feromona sexual de *T. solanivora*, de los cuales tres produjeron las más significativas respuestas tanto en antenas de machos como en la trayectoria de vuelo de machos en condiciones de túnel de viento.
- En condiciones de campo, se seleccionó el tratamiento constituido por los compuestos E3-12Ac y 12Ac en la proporción 10:2 por producir las mayores capturas de machos de *T. solanivora* en trampas.
- Se recomienda evaluar un mayor número de mezclas de compuestos correspondientes a la feromona de *T. solanivora* en diferentes proporciones. Además de evaluar estos compuestos activos de la feromona en otras áreas productoras de papa del país.
- Se recomienda optimizar la formulación y el material portador de los compuestos de la feromona para mejorar su persistencia en campo.

### Agradecimientos

Esta investigación contó con el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural y de Corpoica durante su desarrollo en Colombia, y de la agencia Swedish Foundation for International Research and Higher Education (STINT) en Suecia. Los autores agradecen el invaluable apoyo científico del doctor Aristóbulo López-Ávila, así como el apoyo técnico del auxiliar de laboratorio Jesús Gómez y de los agricultores de las áreas experimentales empleadas.

### Literatura citada

- ALTSTEIN, M., HAREL, M.; DUNKEBLUM, E. 1989. Effect of a neuroendocrine factor on sex pheromone biosynthesis in the tomato looper, *Chryso deixis chalcifex* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insect Biochemistry*. 19: 645-649.
- ARÉVALO, A. 2003. Análisis de la problemática de la polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora* Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae) en Colombia. Memorias del II taller nacional sobre *T. solanivora* "Presente y futuro de la investigación sobre *Tecia solanivora*". CEVIPAPA. p. 129-133. Bogotá.
- ARÉVALO, A.; CASTRO, R. 2003. Evaluación post-registro de los insecticidas con licencia de uso para controlar la polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora* Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae) en Colombia. Memorias del II taller nacional sobre *T. solanivora* "Presente y futuro de la investigación sobre *Tecia solanivora*". p. 86-89. CEVIPAPA. Bogotá.
- ARNINI, I.; LIZÁRRAGA, A. 2000. Control Etológico: Uso de feromonas, trampas de colores y luz para el control de plagas en la agricultura sostenible. RAAA. 197 p.
- BÄCKMAN, A.; BENGTTSSON, M.; WITZGALL, P. 1997. Pheromone release by individual females of codling moth, *Cydia pomonella*. *Journal of Chemical Ecology*. 23 (3): 807-815.
- BARRETO, N.; MARTÍNEZ, L. 2003. Evaluación de la vida útil de la feromona sexual de *T. solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae) en condiciones de campo. Memorias del II Taller nacional sobre *T. solanivora*. p. 83. Cevipapa. Bogotá.
- CORACINI, M.; BENGTTSSON, M.; RECKZIEGEL, A.; LÖFQVIST, J.; FRANCKE, W.; VILELA, E.; EIRAS, A.; KOVALESKI, A.; WITZGALL, P. 2001. Identification of a four-component sex pheromone blend in *Bonagota cranaodes* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economical Entomology* 94 (4): 911-914.
- CORACINI, M.; BENGTTSSON, M.; RECKZIEGEL, A.; ALVARO, E.; VILELA, E.; ANDERSON, P.; FRANCKE, W.; LÖFQVIST, J.; WITZGALL, P. 2002. Behavioural effects of minor sex pheromone components in Brazilian apple leafroller *Bonagota cranaodes* (Lepidoptera: Tortricidae). p. 1-13. En: *Semiochemicals claim territory - Sex pheromones and plant volatiles for control of codling moth and Brazilian apple leafroller*. Coracini, M (ed.). 2002. Doctoral thesis in Chemical ecology, Department of crop science. Swedish University of Agricultural Sciences. Agraria 366. Alnarp, Sweden. ISSN: 1401-6249, ISBN: 91-576-6193-6. 28 p.
- CORREDOR, D.; FLÓREZ, E. 2003. Estudios básicos de la biología y comportamiento de la polilla de la papa en un área piloto en el municipio de Villapinzón. Memorias del II Taller nacional sobre *T. solanivora*. p. 23-31. Cevipapa. Bogotá.
- DEKRAMER, J.; HEMBERGER, J. 1987. Pheromone Biochemistry. p. 433-472. G.D. Preswich (Ed.). Academic Press Inc. New York. USA. 563 p.
- HAYNES, K.; BAKER, T. 1988. Potential for evolution of resistance to pheromones. *Journal of Chemical Ecology* 14: 1547-1560.
- HILLBUR, Y.; EL-SAYED, A.; BENGTTSSON, M.; LÖFQVIST, J.; BIDDLE, A.; PLASS, E.; FRANCKE, W. 2000. Laboratory and field study of the attraction of male pea midges *Contarinia pisi* to synthetic sex pheromone components. *Journal of Chemical Ecology*. 26 (8): 1941-1952.
- NESBITT, B.; BEEVOR, P.; CORK, A.; HALL, D.; MURILLO, R.; LEAL, H. 1985. Identification of components of the female sex pheromone of the potato tuber moth, *Scrobipalopsis solanivora*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 38: 81-85.
- PEDIGO, L. 1996. Management by modifying insect development and behavior. p. 461-478. Chapter 13. En: *Entomology and Pest Management*. Academic Press. New York. USA. 987 p.
- PRIMO, E. 1991. Ecología química: Nuevos métodos de lucha contra insectos. p. 75-149. Editorial Mundi Prensa. Madrid. 354 p.
- SÁNCHEZ, M. 1999. Efecto de la trampa de feromona sexual en el monitoreo de poblaciones de la polilla guatemalteca de la papa *T. solanivora* Povolny. Trabajo de grado de Biología. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, Bogotá. 143 p.
- WITZGALL, P.; BENGTTSSON, M.; RAUSCHER, S.; LIBLIKAS, I.; BÄCKMAN, A.; CORACINI, M.; ANDERSON, P.; LÖFQVIST, J. 2001. Identification of further sex pheromone synergists in the codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 101: 131-141.