



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN  
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO  
POSTGRADO DE FITOSANIDAD  
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

**ESTIMACIÓN DE LA TASA DE LIBERACIÓN DE  
VOLÁTILES DE *Capsicum annum* (L.) EN SEPTOS  
DE CAUCHO**

**PASCUAL SÁNCHEZ NANGA**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2008

---

La presente tesis titulada: “**ESTIMACIÓN DE LA TASA DE LIBERACIÓN DE VOLÁTILES DE *Capsicum annuum* (L.) EN SEPTOS DE CAUCHO**”, realizada por el estudiante Pascual Sánchez Nanga, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
FITOSANIDAD  
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA**

CONSEJO PARTICULAR

**CONSEJERO:**

---

**DR. JUAN CIBRIÁN TOVAR**

**ASESOR:**

---

**DR. R. MARCOS SOTO HERNÁNDEZ**

**ASESOR:**

---

**DR. JOSÉ LÓPEZ COLLADO**

**ASESOR:**

---

**DR. ESTEBAN RODRÍGUEZ LEYVA**

**Montecillo, Texcoco, México, 26 de mayo, 2008**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Pedro y Chusita por el ejemplo que han sido para mí, por el amor que siempre me han dado y por todo el esfuerzo que realizan siempre por salir adelante, les dedico este trabajo con todo mi amor y respeto.

A mis hermanos y hermanas Consuelo, Eloísa, Lorena, Romeo, Adriana, por la confianza que han depositado en mí.

A toda mi familia que siempre han sido ejemplo y por su apoyo brindado.

A mi gran amigo y hermano Martín por compartir conmigo mis alegrías, penas, sueños, triunfos, aciertos; por brindarme siempre buenos consejos, te reitero mi más profunda admiración y respeto.

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS, por haberme permitido terminar satisfactoriamente esta etapa de mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología, por su valioso apoyo.

Al Colegio de Postgraduados y al programa de Entomología y Acarología por las facilidades que me han brindado para la realización del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Juan Cibrián Tovar por su valioso apoyo, orientaciones y facilidades para la realización del presente trabajo.

A los Drs. Esteban Rodríguez Leyva, R. Marcos Soto Hernández y José López Collado por su valioso apoyo y facilidades que me brindaron en esta investigación.

A mis amigos Eduardo Astudillo Aguilar y Carlos Morales Morales, por sus consejos en mi vida personal y profesional.

Al M.C. Cristóbal Aldama Aguilera, por su gran apoyo y consejos en la realización del presente trabajo.

A mis compañeros de laboratorio: Carlos, Manolo, Roberto, Juliana, Cyndi, por sus comentarios y sugerencias durante la investigación.

A mis amigos: Pablo, Guillermo, Aide, José Sabino, Fidencio, Gabriela, Jhony, por compartir grandes momentos en mi estancia en el Colegio. Especialmente a Lupita por ser muy importante y compartir grandes momentos en mi vida.

## CONTENIDO

	Pag.
CONTENIDO.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	iii
RESUMEN.....	Vi
ABSTRACT .....	Vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Importancia del cultivo del chile.....	3
2.2 Daños de <i>Anthonomus eugenii</i> .....	4
2.3 Importancia de volátiles de plantas.....	4
2.4 Volátiles capturados de la planta de chile.....	5
2.5 Importancia de dispositivos y proporción de compuestos emitidos por liberadores.....	6
2.6 Medición de tasa de liberación en diferentes liberadores.....	7
3. OBJETIVOS.....	11
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
4.1 Colecta de volátiles.....	12
4.2 Identificación.....	13
4.3 Selección de compuestos.....	13
4.4 Obtención de los estándares.....	14
4.5 Cálculo de la cantidad de cada compuesto liberado por las	

.....estructuras reproductivas.....	15
4.6 Preparación de septos.....	15
4.7 Medición de tasas de liberación.....	16
4.8 Analisis estadístico.....	17
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>18</b>
5.1 Cálculo de las cantidades de compuestos liberados por botones florales y frutos.....	18
5.2 Modelo y coeficientes de determinación.....	22
5.3 Tasas de liberación.....	23
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>32</b>
<b>7. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>33</b>
<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>42</b>

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Estándares de los compuestos seleccionados.....	14
<b>Cuadro 2.</b> Promedio de aéreas (unidades cromatográficas) $\pm$ DE (n=4) de los compuestos obtenidos de la captura de volátiles de frutos de <i>C. annuum</i> var Serrano.....	19
<b>Cuadro 3.</b> Promedio de áreas (unidades cromatográficas) $\pm$ DE (n=4) de los compuestos obtenidos de la captura de volátiles de botones florales de <i>C. annuum</i> var Aviculare.....	19
<b>Cuadro 4.</b> Promedio de áreas (unidades cromatográficas) $\pm$ DE (n=4) de cinco compuestos químicos sintéticos a una concentración de 5 ppm.....	19
<b>Cuadro 5.</b> Tasa de liberación estimada de compuestos volátiles en frutos de <i>C. annuum</i> var. Serrano.....	20
<b>Cuadro 6.</b> Tasa de liberación estimada de compuestos volátiles en botones florales de <i>C. annuum</i> var. Aviculare.....	21
<b>Cuadro 7.</b> Coeficientes de determinación estimados para la tasa de liberación de 5 compuestos en septos de caucho cargados con 50 $\mu$ L.....	23
<b>Cuadro 8.</b> Coeficientes de determinación estimados para la tasa de liberación de 5 compuestos en septos de caucho cargados con 100 $\mu$ L.....	25
<b>Cuadro 9.</b> Coeficientes de determinación estimados para la tasa de liberación de 5 compuestos en septos de caucho cargados con 200 $\mu$ L.....	26
<b>Cuadro 10.</b> Tasa de liberación promedio $\pm$ DE de cinco compuestos en septos cargados con 50, 100 y 200 $\mu$ L a lo largo del periodo de experimentación.....	27

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tasa de liberación de 5 compuestos en septos de caucho, cargados con 50 $\mu$ L.....	24
<b>Figura 2.</b> Tasa de liberación de 5 compuestos en septos de caucho, cargados con 100 $\mu$ L.....	25

**Figura 3.** Tasa de liberación de 5 compuestos en septos de caucho, cargados con 200  $\mu\text{L}$ .....26

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Análisis de varianza para las áreas de frutos y botones florales.....	42
<b>Anexo 2:</b> Análisis de regresión de tasa de liberación del 3-hexanona en septos de caucho con 50 $\mu\text{L}$ .....	42
<b>Anexo 3:</b> Análisis de regresión de tasa de liberación del 1,4-dimetil benceno en septos de caucho con 50 $\mu\text{L}$ .....	43
<b>Anexo 4:</b> Análisis de regresión de tasa de liberación del 1-bromo hexano en septos de caucho con 50 $\mu\text{L}$ .....	43
<b>Anexo 5:</b> Análisis de regresión de tasa de liberación del 2-etil 1-hexanol en septos de caucho con 50 $\mu\text{L}$ .....	44
<b>Anexo 6:</b> Análisis de regresión de tasa de liberación del Acido acético 2-etilhexilester en septos de caucho con 50 $\mu\text{L}$ .....	44
<b>Anexo 7:</b> Análisis de regresión de tasa de liberación del 3-hexanona en septos de caucho con 100 $\mu\text{L}$ .....	45
<b>Anexo 8:</b> Análisis de regresión de tasa de liberación del 1,4-dimetil benceno en septos de caucho con 100 $\mu\text{L}$ .....	45
<b>Anexo 9:</b> Análisis de regresión de tasa de liberación del 1-bromo hexano en septos de caucho con 100 $\mu\text{L}$ .....	46
<b>Anexo 10:</b> Análisis de regresión de tasa de liberación del 2-etil 1-hexanol en septos de caucho con 100 $\mu\text{L}$ .....	46
<b>Anexo 11:</b> Análisis de regresión de tasa de liberación del Acido acético 2-etilhexilester en septos de caucho con 100 $\mu\text{L}$ .....	47
<b>Anexo 12:</b> Análisis de regresión de tasa de liberación del 3-hexanona en septos de caucho con 200 $\mu\text{L}$ .....	48



<b>Anexo 13:</b> Análisis de regresión de tasa de liberación del 1,4-dimetil benceno en septos de caucho con 200 $\mu\text{L}$ .....	48
<b>Anexo 14:</b> Análisis de regresión de tasa de liberación del 1-bromo hexano en septos de caucho con 200 $\mu\text{L}$ .....	49
<b>Anexo 15:</b> Análisis de regresión de tasa de liberación del 2-etil 1-hexanol en septos de caucho con 200 $\mu\text{L}$ .....	49
<b>Anexo 16:</b> Análisis de regresión de tasa de liberación del Acido acético 2-etilhexilester en septos de caucho con 200 $\mu\text{L}$ .....	50
<b>Anexo 17:</b> Análisis de varianza para tasas de liberación de cinco compuestos volátiles cargados en septos con 50 $\mu\text{L}$ .....	50
<b>Anexo 18:</b> Análisis de varianza para tasas de liberación de cinco compuestos volátiles cargados en septos con 100 $\mu\text{L}$ .....	51
<b>Anexo 19:</b> Análisis de varianza para tasas de liberación de cinco compuestos volátiles cargados en septos con 200 $\mu\text{L}$ .....	52

**ESTIMACIÓN DE LA TASA DE LIBERACIÓN DE VOLÁTILES DE *Capsicum annuum* (L.) EN SEPTOS DE CAUCHO**

**Pascual Sánchez Nanga, MC.**

**Colegio de Postgraduados, 2008**

**RESUMEN**

En el presente trabajo se calculó la emisión de cinco compuestos volátiles de frutos y botones florales de *Capsicum annuum* (L.), y se midió la tasa de liberación de compuestos sintéticos similares en septos de caucho mediante Aireación Dinámica y analizados por cromatografía de gases. La liberación de 3-hexanona, 1,4-dimetilbenceno, 1-bromohexano, 2-etil-1-hexanol y ácido acético-2-etilhexilester en frutos fue en una proporción de 51.7:11.3:22.5:10.5:4 y en botones flores fue 69.3:15.3:5.1:8.8:1.5. Los septos de caucho fueron cargados con las mezclas de las proporciones encontradas en frutos con cantidades de 50, 100 y 200  $\mu\text{L}$ . El 1,4-dimetilbenceno, 1-bromohexano, 2-etil-1-hexanol y ácido acético 2-etilhexilester presentaron tasas de liberación comparable a frutos cuando los septos fueron cargados con 200  $\mu\text{L}$ , mientras que la tasa de liberación del 3-hexanona fue muy rápida durante el tiempo de medición en los septos cargados con las tres cantidades.

**Palabras clave:** Chile, plagas, semioquímicos, 3-hexanona, 1,4-dimetilbenceno, 1-bromohexano, 2-etil-1-hexanol, ácido acético-2-etilhexilester.

**ESTIMATION OF THE RELEASE RATES OF VOLATILE OF *Capsicum annuum*  
(L.) IN RUBBER SEPTA.**

**Pascual Sánchez Nanga, MC.**

**Colegio de Postgraduados, 2008**

**ABSTRACT**

Five volatile compounds emitted from fruits and floral buds of *Capsicum annuum* (L.) were measured using the dynamic aeration technique. Then liberation rates of five similar and synthetic compounds, contained in rubber septa, were measured using the dynamic aeration technique and analyzed by gas chromatography. 3-hexanone, 1,4-dimethylbenzene, 1-bromohexane, 2-ethyl-1-hexanol and acetic acid 2-ethylhexylester were liberated in ratios 51.7:11.3:22.5:10.5:4, and 69.3:15.3:5.1:8.8:1.5 for fruits and floral buds, respectively. Rubber septa were loaded with the blend of compound and proportion found in fruits at 50, 100 and 200 µL. The 1,4-dimethylbenzene, 1-bromohexane, 2-ethyl-1-hexanol and acetic acid 2-ethylhexylester displayed comparable rates to fruits in rubber septa loaded with 200 µL. The liberation rate of 3-hexanone was fast in the septa loaded in the three amounts.

**Key words:** Pepper, pests, semiochemicals, 3-hexanone, 1,4-dimethylbenzene, 1-bromohexane, 2-ethyl-1-hexanol, acetic acid 2-ethylhexylester.

## 1. INTRODUCCIÓN

El chile, *Capsicum annuum* L., es una de las solanáceas más cultivadas alrededor del mundo (Govindarajan, 1986) y, como otras especies, es atacada por insectos y enfermedades que pueden variar con la región. En Estados Unidos, México, Centroamérica y algunas islas del Caribe el picudo del chile, *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae), es considerado uno de los insectos plaga más importantes en este cultivo (Elmore *et al.*, 1934; Burke y Woodruff, 1980; Riley and King, 1994; Arcos *et al.*, 1998). Este insecto es un problema, porque los adultos se alimentan de yemas florales y colocan sus huevos en las mismas yemas y en frutos inmaduros ocasionando abscisión, lo que puede ocasionar daños de 30 hasta 90% de la producción si no se realiza medidas de control (Elmore *et al.*, 1934; Riley y Sparks, 1995). El control químico del insecto es difícil debido que todos los estados inmaduros están protegidos dentro del fruto, y sólo los adultos son susceptibles a los insecticidas (Webb *et al.*, 2001). Basado en el comportamiento del insecto, Eller *et al.* (1994) aislaron e identificaron los compuestos de la feromona de agregación producida por los machos, la cual es usada en trampas para detectar la llegada y presencia del picudo en campo.

Desde el punto de vista entomológico, se han realizado muchos trabajos sobre la interacción de volátiles de la planta hospedera con sus insectos plaga (Landolt y Phillips, 1997; Light *et al.*, 2001; Ansebo *et al.*, 2004; Katerinopoulos *et al.*, 2005). Sin embargo, no se han realizado trabajos enfocados en la interacción de volátiles de

botones florales y frutos de Chile con el picudo *Anthonomus eugenii*, aún cuando hay evidencia de la atracción que estas estructuras vegetales tienen para realizar su alimentación y oviposición (Elmore *et al.*, 1934; Patrock y Schuster, 1992; Rodríguez-Leyva, 2006). El reporte relacionado con picudos y volátiles de la planta de Chile más importante es el de Osorio (2006) quien, mediante bioensayos en el túnel de viento, observó que volátiles de botones florales y frutos atraían a los picudos de Chile. Frecuentemente se ha señalado que los curculiónidos son atraídos por la mezcla de olores provenientes del hospedero más la feromona producida por la especie (Rochat *et al.*, 2000; Leskey *et al.* 2001). Este conocimiento, aunado a dispositivos y formulaciones que mejoran tasas de liberación y permanencia de los compuestos (Hendricks, 1982; Golub *et al.*, 1983; Torr *et al.*, 1997), ha permitido lograr un manejo de plagas más eficaz para el caso del picudo del cocotero *Rhynchophorus palmarum* (L.) (Jaffé *et al.*, 1993) y el picudo del banano *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Tinzaara *et al.*, 2003). Es probable que el conocimiento de la respuesta a semioquímicos de *C. annuum* por parte del picudo de Chile proporcione información de relevancia para su futuro manejo.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Importancia del cultivo del chile

El género *Capsicum* es originario de América del Sur, de los Andes y la cuenca alta del Amazonas, región que actualmente comprende parte de Perú, Bolivia y una porción de Argentina y Brasil (Guerrero *et al.*, 1984). La especie más importante de todos los chiles cultivados por su disseminación y aceptación mundial es *Capsicum annuum* L., y México se considera un sitio de origen y el centro de mayor importancia en al domesticación de esta especie (Vavilov 1951; MacNeish 1964, Loaiza-Figueroa *et al.*, 1989). *C. annuum* se siembra desde el nivel del mar en las Costas del Golfo y del Pacífico, hasta altitudes de 2500 m, se adapta bien a los climas subtropicales húmedos, así como a los climas subtropicales secos, con temperaturas mínimas de 10°C (Pozo, 1983). A nivel mundial se registra una superficie sembrada de 1,696,891 ha con una producción de 25,015,498 ton. China es el principal productor, seguido por México, Turquía, Estados Unidos y España (FAOSTAT, 2006). En México la superficie total sembrada es de 157,695 ha con una producción de 1,137,418 ton. Los principales estados productores son Chihuahua, Zacatecas, San Luis Potosí y Tamaulipas (SAGARPA, 2005). De 1993 a la fecha se ha observado un incremento del 40% en los rendimientos unitarios, debido al uso de nuevas tecnologías, con un promedio de 14.7 ton/ha (FAOSTAT, 2006).

## **2.2 Daños de *Anthonomus eugenii***

El cultivo de Chile es atacado por una gran variedad de insectos plaga, que son considerados como uno de los factores limitantes para la producción ((Nuez *et al.*, 1996; Arcos *et al.*, 1998). De los insectos que atacan a este cultivo, el picudo del Chile, *Anthonomus eugenii* (Cano) (Coleoptera: Curculionidae), se considera uno de los más importantes (Elmore *et al.*, 1934; Riley y King, 1994; Toapanta *et al.*, 2005). Los adultos se alimentan sobre yemas, flores y frutos, las larvas se desarrollan en el interior de yemas florales y frutos inmaduros por lo que pasan su desarrollo protegidas dificultando su control (Elmore *et al.*, 1934; Patrock y Schuster, 1992). Los daños causados por los adultos y larvas pueden causar pérdidas en la producción del 30 al 90% si no se realizan medidas de control (Elmore *et al.*, 1934; Riley y Sparks, 1995). Después de un siglo que este insecto se reportó dañando cultivos de Chile en México y Estados Unidos, las únicas medidas de combate siguen siendo químico y cultural (Riley y King, 1994, Rodríguez-Leyva *et al.*, 2007).

## **2.3 Importancia de volátiles de plantas**

A lo largo de sus ciclos de vida, las plantas liberan mezclas diversas de compuestos volátiles que juegan un papel crucial en la atracción de polinizadores, defensa y comunicación (Bichao *et al.*, 2003; Dudareva y Negrete, 2005). Las plantas sintetizan una serie diversa de fitoquímicos, como isoflavonas, antocianinas y flavonoides que funcionan como fitoalexinas, taninos que son repelentes a depredadores y

microorganismos, carotenoides que ayudan en la absorción rápida de energía bajo condiciones de radiación baja o ayudan a disipar exceso de energía bajo condiciones de alta exposición de radiación solar, glucósidos cardíacos que provocan regurgitación y afectan al sistema nervioso central de los depredadores (Anaya, 2003; Demmig-Adams y Gilmore, 1996). Los terpenos y derivados de terpenos son la clase más importantes de compuestos que contribuyen en el aroma, por lo que el aroma característico de una planta es el resultado de una mezcla específica de monoterpenos y sesquiterpenos (Anaya, 2003; Baldwin *et al.*, 2006).

#### **2.4 Volátiles capturados de la planta de chile**

Se han identificado diferentes compuestos volátiles de la planta de chile tanto de flores, frutos como de la planta completa por cromatografía de gases y espectrometría de masas (CG-EM). Por ejemplo, Mateo *et al.* (1997) capturaron volátiles de muestras comerciales de pimienta morrón español (*C. annuum*). Ellos indicaron que el ácido acético fue el componente más abundante constituyendo el sabor característico del pimienta. Kocsis *et al.* (2002) encontraron que el 2-etil-1-hexanol, eicoseno, 1,3-dimetil benceno, fueron los principales componentes del pimienta morrón rojo. Pino *et al.* (2004) analizaron los componentes volátiles de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacquin) bajo dos estados, inmaduro y maduro, encontrando 101 compuestos de los cuales el (*E*)-2-hexenal, hexil 3-metilbutanoato, (*Z*)-3-hexenil 3-metilbutanoato, hexil pentanoato, 3,3-dimetilciclohexanol y el ácido hexadecanoico fueron los principales componentes en ambos estados. Osorio (2006)



capturó volátiles de botones florales y frutos en desarrollo de *Capsicum annuum* variedad Serrano, ella encontró 28 compuestos para botones florales y 21 para frutos en desarrollo. Los compuestos más abundantes fueron el 2-etil 1 hexanol, 2 hexanal y ácido acético, específicamente en botones florales el 1-eicoseno y para frutos en desarrollo y botones florales el 3-hexanona y 2 hexanona.

## **2.5 Importancia de dispositivos y proporción de compuestos emitidos por liberadores**

Se han conducido varios estudios para analizar y evaluar la atracción de insectos con semioquímicos, en laboratorio y en campo, en diferentes tipos de dispositivos (Byers, 1988; Cork *et al.*, 2001). El desarrollo de dispositivos ha avanzado rápidamente dentro de las estrategias para crear formulaciones de liberación controlada (Golub *et al.*, 1983). Al mismo tiempo, se han realizado cambios en formulaciones para optimizar tasas de liberación y mejorar los liberadores (Hendricks, 1982; Torr *et al.*, 1997). Debido a lo costoso de las pruebas en campo para evaluar y modificar formulaciones las evaluaciones en laboratorio son recomendables para aprovechar recursos y esfuerzos para la experimentación (Cuthbert *et al.*, 1983; Golub *et al.*, 1983).

La cantidad de sustancia liberada por los sustratos de liberación controlada es de gran importancia en los sistemas de control y monitoreo de diferentes especies de insectos (Johansson *et al.*, 2001). Por lo que se requiere que los liberadores

desprendan una proporción de compuestos similar a la feromona que liberan los insectos bajo condiciones naturales (Leonhardt *et al.*, 1990; Gemeny y Haynes, 1998; Miklas *et al.*, 2000).

Las feromonas deben ser liberadas lentamente a una tasa de liberación constante y estar presentes en la atmósfera en suficiente cantidad por un periodo largo de tiempo de actividad del insecto (Weatherston, 1990). Para obtener estas tasas de liberación, se requiere encontrar una formulación apropiada y la debida proporción de los compuestos que la integran (Plimmer *et al.*, 1982; Webb *et al.*, 2001; Leonhardt *et al.*, 1990; Heath *et al.*, 1991; Thorpe *et al.*, 1999).

## **2.6 Medición de tasas de liberación en diferentes dispositivos**

Los factores que más afectan la formulación de compuestos y la elaboración de dispositivos para la liberación controlada de semioquímicos son: tasa de liberación, proporción de la mezcla, longevidad y estabilidad (Bartelt, 1982). De estas variables, la tasa de liberación es la que presenta mayor problema para el desarrollo de una formulación (Bartelt, 1982; Weatherston, 1990). La tasa de liberación es la liberación uniforme y prolongada de la dosis efectiva de los componentes activos de una feromona durante el periodo de actividad del insecto (Vrkoc *et al.*, 1988).

Para la medición de tasas de liberación se han empleado diferentes métodos con el objetivo de garantizar que tipo de liberador es adecuado en la formulación de

semioquímicos (Buttler y McDonough, 1979; Cross, 1980; Tomaszewsca *et al.*, 2005). Estos métodos incluyen: gravimétrico (Rothschild, 1979; Fitzgerald *et al.*, 1984, Hammack y Petroski, 2004), extracción de semioquímicos residuales (Buttler y McDonough, 1979) y colección dinámica a través del flujo de vapor (Cross, 1980, Knight, 1995; Koch *et al.*, 2002). Por medio de estos métodos de evaluación se han desarrollado diversos liberadores y se han ajustado diversas proporciones de mezclas de compuestos sintéticos de feromonas (Heath *et al.*, 1986). Un liberador ideal debe presentar una tasa constante de liberación durante todo el periodo de actividad del insecto, independientemente de la temperatura, humedad, luz y cultivo (Byers, 1988; Weatherston, 1990), debe ser versátil para liberar compuestos por un tiempo determinado, dependiendo de la plaga o del cultivo. También debe ser manipulable para proveer diferentes concentraciones de liberación, fácil de aplicar, no tóxico, barato y además liberar todo el ingrediente activo del semioquímico (Jutsum y Gordon, 1989). Weatherston (1990) clasificó diferentes tipos de liberadores para la formulación de feromonas en: microcápsula, capilares de cloruro de polivinilo (PVC), placa laminada, cuerda, tubo de polietileno, tubo capilar, líquido emulsificable y septo de caucho.

Se han realizado diversos estudios en la medición de tasas de liberación en diferentes dispositivos. Brown *et al.* (1992) examinaron el efecto de la temperatura, edad del liberador y la exposición a la luz solar de la feromona de *Cydia pomonella* en liberadores de polietileno. Johansson *et al.* (2001) realizaron comparaciones de tasas de liberación, duración en el campo y eficiencia de captura de liberadores de

polietileno y cotonete de algodón para la feromona sexual de *Neodiprion sertifer* (Geoffr.) y *Diprion pini* (L.). Cork *et al.* (2001) obtuvieron la vida media de alcoholes y acetatos en viales de polietileno. Hendricks (1982) introdujo cápsulas de cloruro de polivinilo (PVC) para liberar componentes de la feromona sexual de *Heliothis virescens*. Así mismo, se ha reportado la tasa de liberación de compuestos individuales, y multicomponentes de diferentes semioquímicos, formulados en septos de caucho. Buttler y McDonough (1979; 1981) determinaron la vida media de acetatos y n-alquil acetatos, cuantificando la cantidad de compuestos restantes en septos en varios periodos de tiempo. McDonough *et al.* (1989) estudiaron al efecto de la temperatura sobre la tasa de evaporación de acetatos. Heath *et al.* (1986) desarrollaron un método para predecir la tasa de liberación de los componentes de mezclas de alcoholes, acetatos y aldehídos. Vrkoc *et al.* (1988), y Brown y McDonough (1986), estudiaron la estabilización, tasas de liberación e isomerización de feromonas de dienos conjugados en diferentes tipos de septos. McDonough *et al.* (1989) estudiaron el efecto de la temperatura sobre la tasa de liberación de acetatos, calculando la pérdida por evaporación variando la temperatura. Stilinski *et al.* (2005) probaron bajas y altas dosis en septos de caucho y tubos de polietileno para observar el cambio anemotático de *Grapholita molesta* (Busck) a diferentes tiempos de exposición de su feromona sintética.

Trabajos anteriores con la planta de Chile (*C. annuum*) muestran que en la mayoría de ellos se han identificado volátiles de frutos de Chile desde el punto de vista de la calidad comercial (Mateo *et al.*, 1997; Kocsis *et al.*, 2002; Pino *et al.*, 2004), pero son

escasos los trabajos relacionados con la interacción de volátiles de la planta del chile con el picudo *A. eugenii* (Osorio, 2006). De acuerdo con esta misma autora, semioquímicos provenientes de botones florales y frutos de chile fueron atractivos al picudo. Es probable que el conocimiento de la respuesta a semioquímicos de *C. annuum* por parte del picudo del chile proporcione información de relevancia para su futuro manejo. De acuerdo con estos antecedentes, puede ser importante estimar la proporción de los cinco compuestos volátiles comunes emitidos por frutos y botones florales de chile reportados por Osorio (2006), así como la tasa de liberación de sus respectivos equivalentes químicos sintéticos, por lo tanto, los objetivos de este trabajo fueron los siguientes:

### 3. OBJETIVOS

- Estimar la proporción y tasas de liberación de 3-hexanona, 1,4-dimetilbenceno, 1-bromohexano, 2-etil-1hexanol y ácido acético-2-etilhexilester emitidos por botones florales y frutos de *Capsicum annum*.
- Calcular la composición y tasas de liberación de los compuestos sintéticos de 3-hexanona, 1,4-dimetilbenceno, 1-bromohexano, 2-etil-1-hexanol y ácido acético-2-etilhexilester en septos de caucho, en proporciones similares a las emitidas por botones florales y frutos.
- Calcular la duración de diferentes cantidades de la mezcla de los compuestos sintéticos 3-hexanona, 1,4-dimetilbenceno, 1-bromohexano, 2-etil-1hexanol y ácido acético-2-etilhexilester en septos de caucho.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Colecta de volátiles

Las capturas de volátiles de frutos y botones florales se realizaron en el laboratorio de Ecología Química de insectos del Colegio de Posgraduados, Montecillo, Texcoco, México, bajo condiciones controladas de temperatura ( $25\pm 2$  °C), humedad relativa ( $44\pm 3\%$ ) y fotoperíodo 12:12 (L:O). Se utilizaron 30 g de frutos comerciales de Chile de la variedad "Serrano" (*Capsicum annuum* var. Serrano) (6 frutos en promedio) y 20 botones florales de Chile piquin (*Capsicum annuum* var. Aviculare) (0.608 g). Se utilizó el método de aireación dinámica para detectar los compuestos volátiles del material analizado (Charalambous, 1978). Se hizo pasar aire a una velocidad de 100 mL min<sup>-1</sup> dentro de recipientes de vidrio para la limpieza de gases de 21 cm de altura y 500 mL de capacidad, con doble vía y tapa esmerilada (PYREX®). El material vegetal se colocó dentro del frasco. A una de las vías del recipiente se le adaptó una manguera de plástico libre de volátiles (Tygon B-44-4X), el otro extremo de ésta se conectó a un tanque de aire comprimido extraseco (INFRA®) en donde se colocó un cartucho con 0.07 g de Tenax (tamaño de grano de 60-80) que actuó como filtro para limpiar el aire que entró al sistema. A la segunda vía se le adaptó otra manguera, que funcionó como salida del aire, donde se insertó un cartucho con el mismo adsorbente para la captura de los volátiles. Los volátiles se colectaron durante el día por 2 h continuas. Posteriormente se eluyeron del adsorbente en viales de 4 mL

mediante lavado con 2 mL de hexano (disolvente) grado HPLC (Merck®), y se concentró a 100 µL.

## 4.2 Identificación

De la muestra concentrada se tomó 1.0 µL y se inyectó a un cromatógrafo de gases Hewlett-Packard (HP) 5890 equipado con inyector “split-splitless” y detector de ionización de flama (FID, por sus siglas en inglés). La muestra se inyectó en modo splitless dentro de una columna HP-5 (5% difenil y 95% dimetilpolisiloxano) de 30 m de longitud y 0.25 mm de diámetro interno. Las condiciones del CG fueron: nitrógeno como gas acarreador, con un flujo de 1 mL min<sup>-1</sup>, la temperatura del detector y del inyector fue de 250°C. Las condiciones de corrida fueron: temperatura inicial de 40°C estable por 5 min, luego aumentó 5°C min<sup>-1</sup> hasta alcanzar 100°C, después aumentó 10°C min<sup>-1</sup> hasta alcanzar 210°C manteniéndolo por 5 min. Obteniéndose un tiempo total de corrida de 33 min. Los compuestos de interés se identificaron a través de estándares por medio de tiempos de retención.

## 4.3 Selección de compuestos

La colecta de volátiles de botones florales y frutos de Chile se realizó para corroborar la presencia de compuestos comunes en botones florales y frutos, encontrados por Osorio (2006). Se tomaron cuatro compuestos comunes para botones florales y



frutos, los cuales fueron: 1-bromohexano, 3-hexanona, ácido acético-2-etilhexilester, 2-etil-1-hexanol y un compuesto encontrado en frutos, 1,4 dimetilbenceno. Esta selección se hizo considerando que los componentes fueran comunes a frutos y flores y además existiera evidencia publicada de actividad atrayente en otros insectos (Fales *et al.*, 1972; Cammaerts *et al.*, 1981; Birkett *et al.*, 2004; Okamoto *et al.*, 2003; Kawamura y Yasui, 2004).

#### 4.4 Obtención de los estándares

Los estándares de cada compuesto se obtuvieron de Sigma-Aldrich®, de los cuales se reporta la pureza en el Cuadro 1. Los estándares se mezclaron en una solución de 5 ppm, se tomó 1.0 µL y se inyectó al equipo analítico para obtener el tiempo de retención de cada compuesto.

**Cuadro 1.** Estándares de los compuestos seleccionados

<b>Compuesto</b>	<b>N. CAS</b>	<b>Pureza (%)</b>	<b>T R* min</b>
3-hexanona	589-38-8	97	7.495
1,4-dimetilbenceno	106-42-3	99	10.450
1-bromohexano	111-25-1	98	12.833
2-etil, 1-hexanol	104-76-7	99	16.081
Ácido acético 2-etilhexilester	103-09-3	99	19.494

\*TR= Tiempo de retención

#### **4.5 Cálculo de la cantidad de cada compuesto liberado por las estructuras reproductivas**

Para la cuantificación de las cantidades liberadas de los compuestos en frutos y botones florales, se utilizó el promedio de áreas (unidades cromatográficas) de cuatro repeticiones de los compuestos estándares sintéticos inyectados al equipo analítico a una concentración de 5 ppm. Así mismo, se tomó el promedio de áreas (unidades cromatográficas) de cuatro repeticiones de las muestras obtenidas de capturas de volátiles de frutos y botones florales, estos promedios fueron extrapolados linealmente a los valores obtenidos de las áreas de cada uno de los compuestos estándares. El cálculo de las cantidades presentes de cada uno de los compuestos está expresado en  $\text{ng h}^{-1}$ .

#### **4.6 Preparación de los septos**

Se emplearon septos de caucho de color rojo con diámetro externo de 8 mm, obtenidos de Sigma-Aldrich® (Num. Cat. Z124354-100EA), los cuales se limpiaron en un sistema Soxhlet con hexano grado cromatográfico (Merk®) durante 5 h continuas. Los septos fueron cargados con 50, 100 y 200  $\mu\text{L}$  de las mezclas de los compuestos sintéticos en los porcentajes encontrados en frutos en desarrollo; el disolvente en todos los casos fue hexano. Para la mezcla de los compuestos se tomaron 5.2  $\mu\text{L}$  de 3-hexanona (51.8%), 1.1  $\mu\text{L}$  de 1,4-dimetilbenceno (11.3%), 2.3  $\mu\text{L}$  de 1-bromohexano (22.6%), 1.0  $\mu\text{L}$  de 2-etil-1-hexanol (10.3%) y 0.4  $\mu\text{L}$  de ácido

acético 2-etil-hexilester (4%), haciendo un total de 10  $\mu\text{L}$  (100%), los cuales se aforaron en un matraz de 10 mL con hexano (grado HPLC).

#### 4.7 Medición de tasas de liberación

Se realizó en laboratorio a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $44 \pm 3\%$  HR y fotoperíodo 12:12 (L:O). Se usó el método de aireación dinámica con los mismos materiales, flujo de aire y tiempo de captura, descritos para colecta de volátiles. Una vez cargados los septos con las cantidades correspondientes, se dejaron reposar 48 h y se procedió a la primera medición, tomando ésta como la tasa de emisión en el tiempo cero. La captura se realizó durante 2 h continuas, posteriormente el cartucho de tenax se lavó con 6 mL de hexano, depositándose en viales de 8 mL. La muestra obtenida se concentró a 100  $\mu\text{L}$  mediante un flujo de nitrógeno. Finalmente se tomó 1.0  $\mu\text{L}$  y se inyectó al equipo de cromatografía de gases, calculándose la tasa de liberación en  $\text{ng h}^{-1}$ .

Para representar la tasa de liberación de los compuestos, los datos se ajustaron al modelo exponencial empleado por Mayer y Mitchell (1998), quienes consideran que la liberación de los componentes de una feromona es un proceso de liberación pasivo, caracterizado por una curva de declinación exponencial, representado por la siguiente ecuación:

$$Y = ae^{bx}$$

Donde **Y** es la tasa de liberación en el tiempo, **a** es la tasa de liberación en el tiempo cero, **e** es la base de los logaritmos naturales, **b** es tasa de descenso de la curva, y

**X** es el tiempo en días. Este modelo fue linealizado aplicando logaritmos de la siguiente manera:

$$\ln(Y) = \ln(a) \pm bX$$

#### 4.8 Análisis estadístico

Los valores de  $\ln(a)$ ,  $b$  y sus errores estándares del modelo linealizado se estimaron con el procedimiento PROC REG (SAS Institute, 1999). El parámetro  $a$  se calculó tomando el antilogaritmo del intercepto. Adicionalmente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para las áreas obtenidas de los volátiles de frutos y botones florales, para detectar diferencias estadísticas entre estructuras reproductivas, así como para los datos obtenidos de la medición de tasas de liberación de los compuestos, mediante el paquete estadístico SAS versión 8 (SAS Institute, 1999).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestran los resultados de los promedios de áreas para cada compuesto, el cálculo de las cantidades de volátiles emitidos por frutos y botones florales, así como los valores de los parámetros y coeficientes de determinación obtenidos mediante el modelo y tasas de liberación promedio de los compuestos en septos cargados con 50, 100 y 200  $\mu\text{L}$ .

### 5.1. Cálculo de las cantidades de compuestos liberados por botones florales y frutos

Se obtuvieron los promedios de las áreas (unidades cromatográficas) de los compuestos obtenidos mediante las capturas de volátiles de frutos y botones florales (Cuadros 2 y 3), así como los promedios de las áreas de los compuestos químicos sintéticos similares a una concentración de 5 ppm (Cuadro 4). Se encontraron diferencias estadísticas entre las áreas de los compuestos pertenecientes a botones florales y frutos ( $P < 0.001$ ), donde el 3-hexanona, presentó mayor área comparando con los demás compuestos (Cuadros 2 y 3).

**Cuadro 2.** Promedio de áreas (unidades cromatográficas)  $\pm$ DE (n=4) de los compuestos obtenidos de la captura de volátiles de frutos de *C. annuum* var Serrano.

Fecha	Rep	3-H	1,4-DMB	1-BH	2E1H	Aa2EHE
14/03/2007	1	639	370	634	315	212
10/04/2007	2	4,150	847	847	810	119
20/03/2007	3	1,078	1,021	1,673	716	221
30/03/2007	4	2,686	651	213	461	212
<b>Promedio</b>		<b>2,138<math>\pm</math>1,604</b>	<b>722<math>\pm</math>279</b>	<b>841<math>\pm</math>614</b>	<b>575<math>\pm</math>228</b>	<b>191<math>\pm</math>48</b>

Rep= repetición; 3-H= 3-hexanona; 1,4-DMB= 1,4-dimetilbenceno; 1-BH= 1-bromohexano; 2E1H= 2-etil-1-hexanol; Aa2EHE= ácido acético-2-etilhexilester.

**Cuadro 3.** Promedio de áreas (unidades cromatográficas)  $\pm$  DE (n=4) de los compuestos obtenidos de la captura de volátiles de botones florales de *C. annuum* var Aviculare.

Fecha	Rep	3-H	1,4-DMB	1-BH	2E1H	Aa2EHE
27/03/2007	1	2,842	935	79	203	56
10/04/2007	2	2,406	1,301	184	469	48
30/03/2007	3	2,547	517	158	425	37
30/03/2007	4	2,558	794	234	635	51
<b>Promedio</b>		<b>2,588<math>\pm</math>182</b>	<b>886<math>\pm</math>212</b>	<b>163<math>\pm</math>64</b>	<b>433<math>\pm</math>178</b>	<b>48<math>\pm</math>8</b>

Rep= repetición; 3-H= 3-hexanona; 1,4-DMB= 1,4-dimetilbenceno; 1-BH= 1-bromohexano; 2E1H= 2-etil-1-hexanol; Aa2EHE= ácido acético-2-etilhexilester.

**Cuadro 4.** Promedio de áreas (unidades cromatográficas)  $\pm$  DE (n=4) de cinco compuestos químicos sintéticos a una concentración de 5 ppm.

Repetición	3-H	1,4-DMB	1-BH	2E1H	Aa2EHE
1	5,138	7,864	4,470	6,040	4,751
2	8,014	11,784	7,099	10,649	9,511
3	5,985	9,824	5,566	8,344	7,304
4	8,314	12,783	7,736	11,745	10,332
<b>Promedio</b>	<b>6,862<math>\pm</math>1,546</b>	<b>10,564<math>\pm</math>2,179</b>	<b>6,218<math>\pm</math>1,478</b>	<b>9,195<math>\pm</math>2,536</b>	<b>7,975<math>\pm</math>2,500</b>

3-H= 3-hexanona; 1,4-DMB= 1,4-dimetilbenceno; 1-BH= 1-bromohexano; 2E1H= 2-etil-1-hexanol; Aa2EHE= ácido acético-2-etilhexilester..

Para estimar la cantidad liberada por los frutos y botones florales, se tomaron los promedios de áreas de los compuestos volátiles y se compararon con los promedios

de las áreas de los compuestos químicos sintéticos a 5 ppm, mediante los cálculos siguientes: Para 3-hexanona, el compuesto sintético presentó un área promedio de 6,862 unidades y el compuesto natural (frutos) un área de 2138 unidades, por medio de una regla de tres, se obtuvo lo siguiente:

$$6,862 \quad \text{---} \quad 5 \text{ ppm}$$

$$2,138 \quad \text{---} \quad X = 1.56 \text{ ppm}$$

1.56 ppm fue la concentración estimada a la que se encuentra el compuesto natural (fruto) bajo las condiciones de este análisis. Como se inyectó 1.0 µL al equipo analítico, tanto para la muestra natural como para la sintética, la concentración resultante 1.56 ppm, corresponde a una relación peso/volumen de 1.56 ng µL<sup>-1</sup>. Como el tiempo de captura fue 2 horas, el cálculo de las cantidades, se transformaron a una hora. Este mismo procedimiento se usó para calcular las cantidades presentes de los demás compuestos en frutos y botones florales, concentrando los resultados en los Cuadros 5 y 6.

**Cuadro 5.** Tasa de liberación estimada de compuestos volátiles en frutos de *C. annuum* var Serrano.

<b>Compuesto</b>	<b>Tasa de liberación</b> <b>ng h<sup>-1</sup></b>	<b>%</b>
3-hexanona	0.78	51.7
1,4-dimetilbenceno	0.17	11.3
1-bromohexano	0.34	22.5
2-etil-1-hexanol	0.16	10.5
Ácido acético 2-etilhexilester	0.06	4.0
<b>Total</b>	<b>1.51</b>	<b>100</b>

**Cuadro 6.** Tasa de liberación estimada de compuestos volátiles en botones florales de *C. annuum* var Aviculare.

<b>Compuesto</b>	<b>Tasa de liberación ng h<sup>-1</sup></b>	<b>%</b>
3-hexanona	0.95	69.3
1,4-dimetilbenceno	0.21	15.3
1-bromohexano	0.07	5.1
2-etil-1-hexanol	0.12	8.8
Ácido acético 2-etilhexilester	0.02	1.5
<b>Total</b>	<b>1.37</b>	<b>100</b>

Como se puede observar en los Cuadros 5 y 6, la liberación del 3-hexanona fue mayor tanto en botones florales como en frutos comparando con el resto de los componentes. Por otro lado, la liberación de 1-bromohexano fue mayor en frutos que en botones florales. Quizás la mayor liberación del 3-hexanona se deba a su bajo peso molecular y su presión de vapor (11 mm Hg<sup>-1</sup> a 25°C), que comparativamente con el resto de los compuestos es más volátil. El 3-hexanona es un componente de las glándulas mandibulares de hormigas del género *Myrmica* que junto con otros compuestos, actúan en sinergismo como atrayentes de hormigas del mismo género (Cammaerts *et al.*, 1981), además Fales *et al.* (1972) lo encontraron como un componente de la feromona obtenida de la cabeza de la hormiga *Tetramorium impurum* y está presente en la feromona de alarma del género *Manica*. En estos casos se requiere que el compuesto tenga un bajo peso molecular y en consecuencia una volatilidad alta para que las hormigas puedan seguir un rastro sin desviación en su sendero (Fukushi, 2001), o para una reacción rápida por parte del insecto (Hughes *et al.*, 2001).



El 2-etil,1-hexanol fue encontrado por Birkett *et al.* (2004) en volátiles capturados de panículas intactas de *Triticum aestivum*, como un compuesto volátil involucrado en la atracción de *Sitodiplosis mosellana*; Dilantha *et al.* (2004) encontraron a este compuesto como inhibidor del crecimiento micelial de hongos *Sclerotinia sclerotiorum*. El 1-bromohexano y 1,4-dimetil-benceno se han usado como disolventes de otros compuestos, pero se estudiaron en este trabajo por que fueron encontrados por Osorio (2006), como compuestos comunes de frutos, botones florales y de planta completa. No se encontró información sobre estos compuestos relacionada con atracción entre plantas e insectos.

El ácido acético 2-etilhexilester fue encontrado por Hamm *et al.* (2005) como uno de los compuestos químicos característicos de plantas de la especie *Boswellia papyrifera*, así mismo, este compuesto fue encontrado por Tengö y Bergström (2003) en secreciones de la cabeza de tres especies de abejas del género *Andrena*. El ácido acético es un compuesto atrayente de palomillas como *Lacanobia subjuncta*, *Xestia-c-nigrum* y *Mamestra configurata* (Landolt y Alfaro, 2001).

## 5.2 Modelo y Coeficientes de determinación

El modelo exponencial empleado en el presente estudio, presentó una buena aproximación para la medición de tasas de liberación de la mezcla de los compuestos sintéticos en septos de caucho cargados con 50, 100 y 200  $\mu\text{L}$ , como se

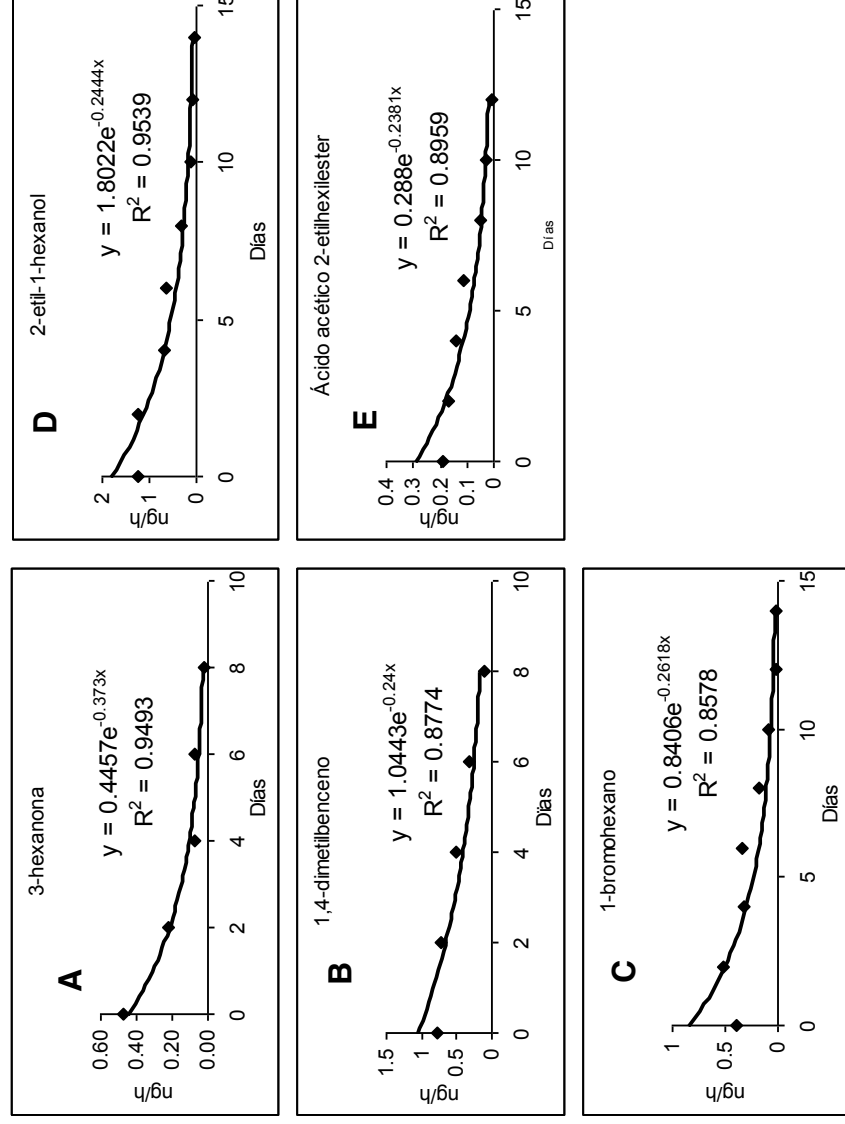
observa por los valores estimados para los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de los compuestos en los Cuadros 7, 8 y 9.

### 5.3 Tasas de liberación

La liberación de los compuestos en septos cargados con 50  $\mu\text{L}$  con la mezcla de los porcentajes de los compuestos cambió significativamente durante el tiempo de medición. La liberación del 3-hexanona, 1,4-dimetilbenceno y 1-bromohexano fue  $0.17\pm 0.18$ ,  $0.49\pm 0.29$  y  $0.24\pm 0.19$   $\text{ng h}^{-1}$  durante 8 días para los dos primeros compuestos y 14 días para el tercero (Figura 1 A, B, C; Cuadro 10). El 2-etil-1-hexanol y ácido acético 2-etilhexilester presentaron una tasa de liberación de  $0.55\pm 0.49$  y  $0.10\pm 0.07$   $\text{ng h}^{-1}$  durante 14 y 12 días, respectivamente (Figura 1D, E; Cuadro 10).

**Cuadro 7.** Coeficientes de determinación estimados para la tasa de liberación de 5 compuestos en septos de caucho cargados con 50  $\mu\text{L}$ .

Compuesto	Parámetro	Estimador	EE	$R^2$
3-hexanona	a	0.4457	1.3913	0.9493
	b	-0.3730	0.0498	
1,4-dimetilbenceno	a	1.0444	1.2909	0.8774
	b	-0.2400	0.0517	
1-bromohexano	a	0.8406	1.4391	0.8578
	b	-0.2618	0.0435	
2-etil-1-hexanol	a	1.8022	1.2015	0.9539
	b	-0.2444	0.0219	
Ácido acético 2-etilhexilester	a	0.2880	1.2991	0.8959
	b	-0.2381	0.0363	

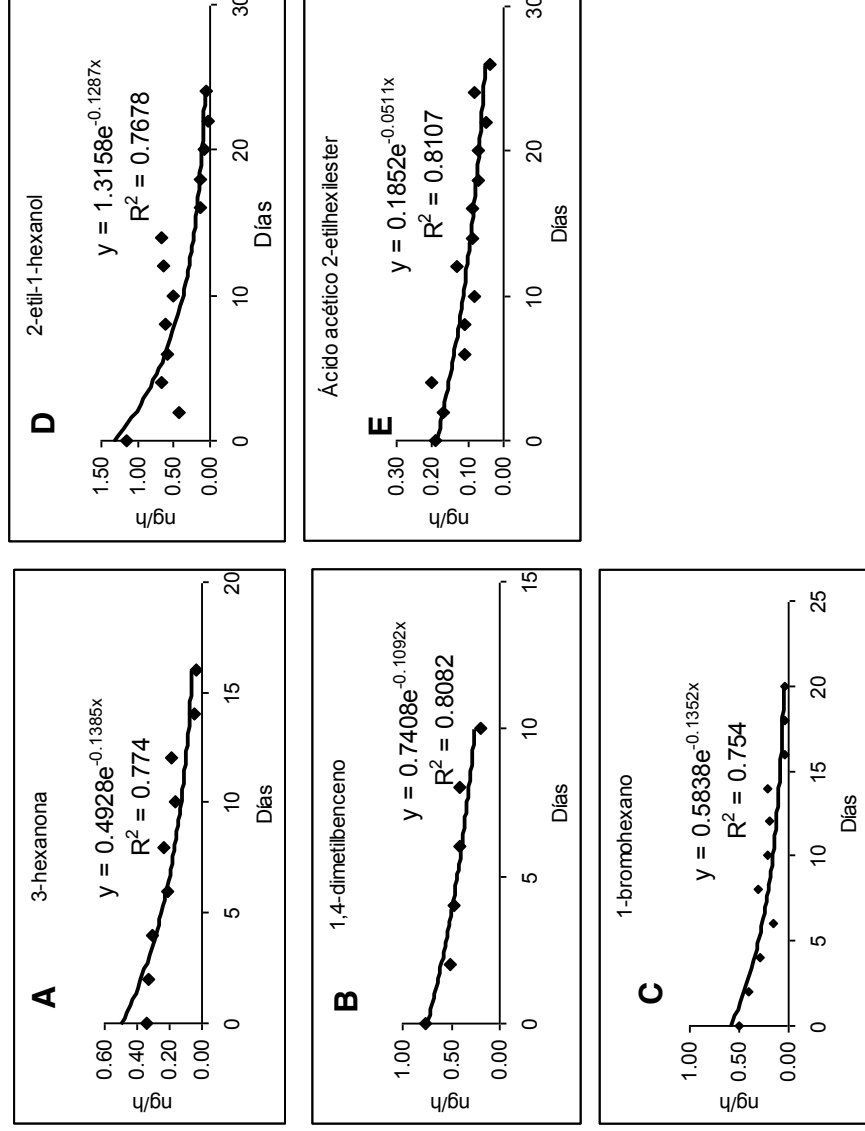


**Figura 1.** Tasa de liberación de 5 compuestos en septos de caucho cargados con 50  $\mu\text{L}$ .

En septos cargados con 100  $\mu\text{L}$ , la tasa de liberación de los compuestos fue similar a los septos con 50  $\mu\text{L}$ , difiriendo en los días de emisión, donde la liberación del 3-hexanona, fue  $0.20 \pm 0.11 \text{ ng h}^{-1}$ , el 1,4-dimetilbenceno,  $0.46 \pm 0.18 \text{ ng h}^{-1}$ , 1-bromohexano,  $0.21 \pm 0.15 \text{ ng h}^{-1}$ , 2-etil-1-hexanol,  $0.44 \pm 0.34 \text{ ng h}^{-1}$  y ácido acético 2-etilhexilester fue  $0.11 \pm 0.05 \text{ ng h}^{-1}$ , con una duración de 16, 10, 20, 24 y 26 días, respectivamente (Figura 2 A, B, C, D, E; Cuadro 10).

**Cuadro 8.** Coeficientes de determinación estimados para la tasa de liberación de 5 compuestos en septos de caucho cargados con 100  $\mu\text{L}$ .

Compuesto	Parámetro	Estimador	EE	R <sup>2</sup>
3-hexanona	a	0.4929	1.3092	0.7740
	b	-0.1385	0.0283	
1,4-dimetilbenceno	a	0.7408	1.1748	0.8082
	b	-0.1093	0.0266	
1-bromohexano	A	0.5838	1.3561	0.7540
	B	-0.1352	0.0258	
2-etil-1-hexanol	a	1.3158	1.3524	0.7678
	b	-0.1287	0.0213	
Ácido acético 2-etilhexilester	a	0.1852	1.1151	0.8107
	b	-0.0511	0.0071	

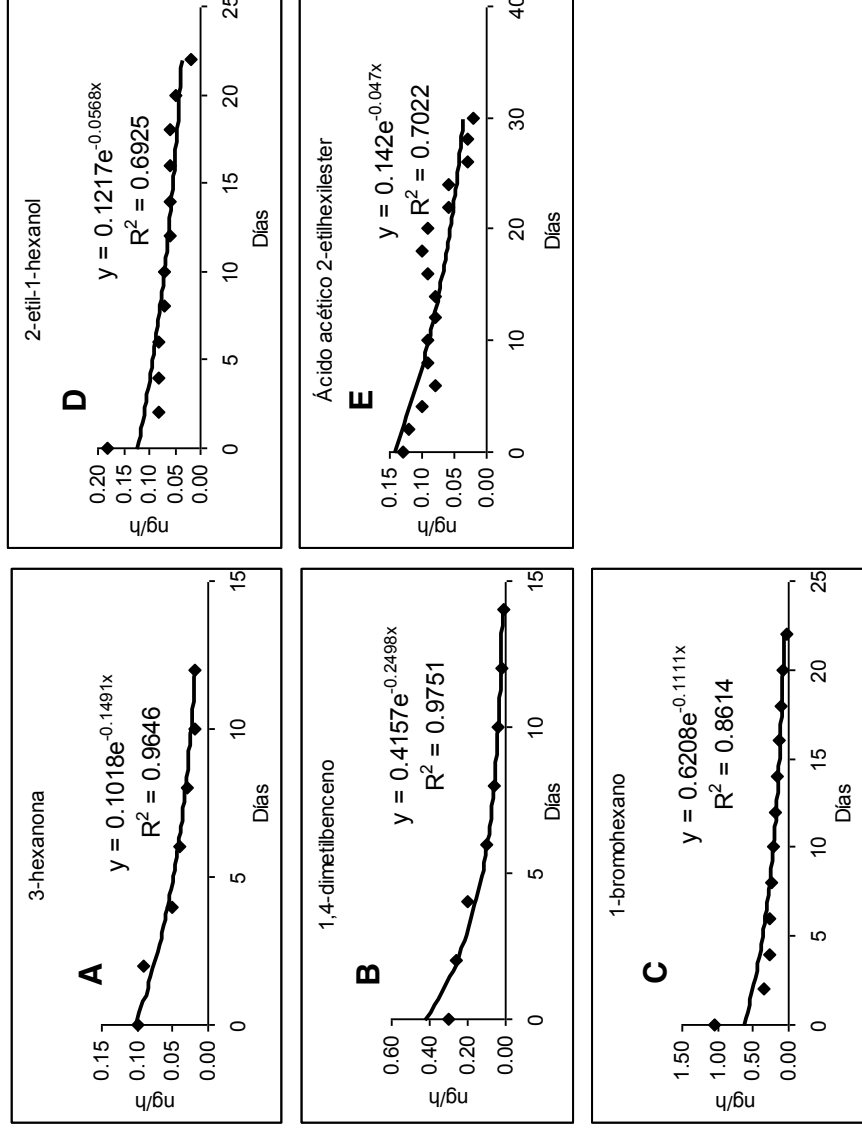


**Figura 2.** Tasa de liberación de 5 compuestos en septos de caucho, cargados con 100  $\mu\text{L}$ .

En septos cargados con 200  $\mu\text{L}$ , la tasa de liberación del 3-hexanona, 1,4-dimetilbenceno, 1-bromohexano, 2-etil-1-hexanol y ácido acético 2-etilhexilester fue  $0.12 \pm 0.11$ ,  $0.19 \pm 0.24$ ,  $0.15 \pm 0.24$ ,  $0.07 \pm 0.03$  y  $0.36 \pm 0.44 \text{ ng h}^{-1}$ , con una duración de 12, 14, 22, 22 y 30 días, respectivamente (Figuras 3 A, B, C, D y E; Cuadro 10).

**Cuadro 9.** Coeficientes de determinación estimados para la tasa de liberación de 5 compuestos en septos de caucho cargados con 200  $\mu\text{L}$ .

<b>Compuesto</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Estimador</b>	<b>EE</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
3-hexanona	a	0.1018	1.0964	0.9646
	b	-0.1491	0.0128	
1,4-dimetilbenceno	a	0.4157	0.1459	0.9751
	b	-0.2498	0.0163	
1-bromohexano	a	0.6208	1.2009	0.8614
	b	-0.1111	0.0141	
2-etil-1-hexanol	a	0.1217	1.1681	0.6925
	b	-0.0568	0.0120	
Ácido acético 2-etilhexilester	a	0.1420	1.1551	0.7022
	b	-0.0471	0.0082	



**Figura 3.** Tasa de liberación de 5 compuestos en septos de caucho cargados con 200  $\mu\text{L}$ .

**Cuadro 10.** Tasa de liberación promedio  $\pm$ DE de cinco compuestos en septos cargados con 50, 100 y 200  $\mu\text{L}$  a lo largo del periodo de experimentación.

Compuesto	$\text{Ng h}^{-1}$	
	(50 $\mu\text{L}$ )	(100 $\mu\text{L}$ ) (200 $\mu\text{L}$ )
3-hexanona	0.17 $\pm$ 0.18	0.20 $\pm$ 0.11 0.15 $\pm$ 0.24
1,4-dimetilbenceno	0.49 $\pm$ 0.29	0.46 $\pm$ 0.18 0.12 $\pm$ 0.11
1-bromohexano	0.24 $\pm$ 0.19	0.21 $\pm$ 0.15 0.36 $\pm$ 0.44
2-etil-1-hexanol	0.55 $\pm$ 0.49	0.44 $\pm$ 0.34 0.19 $\pm$ 0.24
Ácido acético 2-etilhexilester	0.10 $\pm$ 0.07	0.11 $\pm$ 0.05 0.07 $\pm$ 0.03

Los compuestos no se liberaron en los mismos porcentajes que fueron cargados en los septos. El 3-hexanona y 1,4-dimetilbenceno se liberaron más rápidamente (Fig. 1, 2 y 3) aún estando en mayor porcentaje en la mezcla, 51.7 y 11.3%, respectivamente, comparado al 1-bromohexano (22.5%), 2-etil-1-hexanol (10.5%) y ácido acético 2-etilhexilester (4%), en septos cargados con 50, 100 y 200  $\mu\text{L}$ . Heath *et al.* (1986) encontraron resultados similares en septos de caucho, cuando mezclaron alcoholes y acetatos en diferentes porcentajes, con cargas de 14.7, 19.1, 28.8 y 37.4% de (Z)-9-tetradecenol, tetradecen acetato, (Z)-11-hexadecenol y hexadecen acetato, respectivamente, encontraron gran variabilidad en la liberación de los compuestos, observando que el hexadecen acetato, aún cargado en mayor porcentaje presentó menor tasa de liberación ( $11 \text{ ng h}^{-1}$ ) comparado a (Z)-9-tetradecenol ( $33.2 \text{ ng h}^{-1}$ ) y tetradecen acetato ( $19.1 \text{ ng h}^{-1}$ ) mismos que estuvieron presentes en menores porcentajes. Olsson *et al.* (1983) mencionan que la cantidad relativa de los compuestos que integran una mezcla, en términos de los principales y menores componentes, están basados generalmente sobre las cantidades relativas encontradas en los extractos, pero que cuando las presiones de vapor de los componentes son significativamente diferentes, la cantidad relativa en la fase de vapor difieren de la fase líquida.

Comparando la tasa de liberación promedio de los compuestos cargados en septos con 50, 100 y 200  $\mu\text{L}$ ; se encontró que el 3-hexanona, 1,4-dimetilbenceno, 1-bromohexano, 2-etil-1-hexanol y ácido acético 2-etilhexilester presentaron tasas de liberación similares en los septos con 50 y 100  $\mu\text{L}$ . En los septos con 200  $\mu\text{L}$ , el 1,4-

dimetilbenceno y 2-etil-1-hexanol disminuyeron en 25 y 38% y el 1-bromohexano aumentó en 37%, mientras que el 3-hexanona y ácido acético 2-etilhexilester presentaron liberación similar a septos cargados con las dosis bajas. Cork *et al.* (2001) al cargar 100, 300 y 1000 µg de (E)-11-hexadecenil acetato en septos de caucho, encontraron que las dosis bajas presentaron tasas de liberación similares del 14 y 11% durante 40 días comparado a la dosis alta que presentó 1% de liberación.

En este estudio, la duración de los compuestos varió de acuerdo a la dosis contenida en cada septo, el 3-hexanona y 1,4-dimetilbenceno presentaron una menor duración comparando al 1-bromohexano, 2-etil-1-hexanol y ácido acético 2-etilhexilester en septos cargados con 200 µL. El 3-hexanona estuvo presente en mayor porcentaje en la mezcla (51.7%) y fue el compuesto que presentó rápida liberación en septos cargados en las tres dosis, debido a su bajo peso molecular (100.16), comparado a los demás compuestos. Esto se refleja en rápida volatilidad, por lo que posiblemente el 3-hexanona debe mezclarse en un mayor porcentaje, dependiendo de la duración que se desee obtener en el septo. McDonough *et al.* (1989) y McDonough (1997), mencionan que la tasa de evaporación de un compuesto en septos de caucho es directamente proporcional a su peso molecular, concentración y presión de vapor. La tasa de liberación del ácido acético 2-etilhexilester fue similar en septos con las tres dosis, y presentó mayor duración durante el tiempo de medición en septos aún en la mezcla con la menor dosis, esto es explicable porque fue el compuesto con mayor peso molecular (165.08). Buttler y McDonough (1981) al estudiar tasas de



evaporación en septos de caucho, encontraron una correlación entre el número de carbonos de acetatos, donde la tasa de liberación de acetatos de 6-10 carbonos fue mas rápida comparado a acetatos de 10-15 carbonos. En este estudio los compuestos están en el orden de 6-10 carbonos.

Comparando la liberación de los compuestos en septos con dosis de 50, 100 y 200  $\mu\text{L}$ , con respecto a la cantidad liberada por frutos de chile, se encontró que en los septos con 50 y 100  $\mu\text{L}$ , el ácido acético 2-etilhexilester presentó una liberación comparable a frutos, el 1,4-dimetilbenceno y 2-etil-1-hexanol, presentaron tasa de liberación alta en 75 y 65%, mientras que la tasa de liberación del 3-hexanona y 1-bromohexano fue baja en 77 y 34%. En septos con 200  $\mu\text{L}$ , los compuestos 1,4-dimetilbenceno, 1-bromohexano, 2-etil-1-hexanol y ácido acético 2-etilhexilester se liberaron en proporciones similares a la encontrada en frutos, y el 3-hexanona presentó una rápida liberación. En los resultados del presente trabajo se encontró que aumentando la dosis a 200  $\mu\text{L}$  se obtuvo una liberación comparable a frutos; resultados similares encontraron Heath *et al.* (1991) al cargar septos de caucho con 20, 100 y 200  $\mu\text{L}$  de  $\alpha$ -farneseno, encontrando que septos cargados con mayores dosis presentaron liberación mas estable y comparables a la tasa de liberación deseada (640  $\text{ng h}^{-1}$ ), durante nueve días, así mismo, Rao *et al.* (2003) al cargar dosis de 50, 150 y 500  $\mu\text{g}$  en septos de caucho del compuesto sintético (E)-8-hidroxi-6-metil-6-octen-3-ona, encontraron que la dosis de 500  $\mu\text{g}$ , presentó una tasa de liberación de  $0.15 \pm 0.6 \mu\text{g h}^{-1}$ , similar a la liberada por un macho de *Oulema melanopus* (L.) ( $0.14 \pm 0.07 \mu\text{g h}^{-1}$ ). Los volátiles emitidos por las plantas en

determinada proporción, son usados por los insectos como uno de los factores en la selección de la planta hospedera para localizar fuentes de alimentos y sitios de reproducción (Ansebo *et al.*, 2004; Dudareva y Negrete, 2005). Este hecho ha permitido que los volátiles de plantas puedan ser usados junto con feromonas para manipular el comportamiento de insectos y aumentar la efectividad de los métodos de control basados en semioquímicos (Jaffé *et al.*, 1993; Rochat *et al.*, 2000; Leskey *et al.*, 2001). Es claro que este trabajo es parte de una investigación que se inició con la determinación de los volátiles provenientes de frutos y botones florales, para continuar con la estimación de las cantidades liberadas por estas estructuras. Ahora se tiene información de cuanto material puede ser cargado en un septo para simular las condiciones bajo las cuales se libera en los frutos.

## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la cuantificación de volátiles de frutos y botones florales, la cantidad liberada de 3-hexanona, 1,4-dimetilbenceno, 1-bromohexano, 2-etil-1hexanol y ácido acético-2-etilhexilester en frutos fue de 0.78, 0.17, 0.34, 0.16 y 0.06  $\text{ng h}^{-1}$  y en botones florales fue 0.95, 0.21, 0.07, 0.12 y 0.02  $\text{ng h}^{-1}$ , respectivamente. El 3-hexanona fue el compuesto que se liberó en mayor cantidad tanto en botones florales como en frutos comparando con el resto de los componentes, mientras que la liberación del 1-bromohexano, fue mayor en frutos que en botones florales.

La tasa de liberación del ácido acético-2-etilhexilester fue similar a la cantidad liberada por frutos en septos con las tres dosis, durante el tiempo de medición. Los compuestos 1,4-dimetilbenceno, 1-bromohexano, 2-etil-1-hexanol y ácido acético-2-etilhexilester cargados en septos con dosis de 200  $\mu\text{L}$  presentaron tasas de liberación similares a frutos.

La duración del 3-hexanona y 1,4-dimetilbenceno en septos cargados con 200  $\mu\text{L}$  fue menor comparado a la mayor duración del 1-bromohexano, 2-etil-1-hexanol y ácido acético-2-etilhexilester durante el tiempo de medición. El ácido acético-2-etilhexilester fue el compuesto que presentó mayor duración debido a su mayor peso molecular comparado a los demás compuestos.

## 7. LITERATURA CITADA

- Anaya, A. L. 2003. Ecología química. Instituto de Ecología. UNAM y Plaza y Valdés Editores, México. 349 p.
- Ansebo L., M. D. A. Coracini, M. Bengtsson, I. Liblikas, M. Ramírez, A. K. Borg-Karlson, M. Tasin, and P. Witzgall. 2004. Antennal and behavioral response of codling moth *Cydia pomonella* to plant volatiles. J. App. Entomol. 128: 488-493.
- Arcos C., G., H. J. Hernández, A. D. Uriza, C. O. Pozo, y S. A. Olivera. 1998. Tecnología para producir chile jalapeño en la planicie costera del Golfo de México. INIFAP. Folleto Técnico Num. 24. Tlapacoyan, Ver. México. pp. 11-23.
- Baldwin, I. T.**, R. **Halitschke**, A. **Paschold**, C. C. **Von Dahl**, and C. A. **Preston**. 2006. Volatile signaling in plant-plant interactions: "talking trees" in the genomics era. Sc. 311: 812-815.
- Bartelt, J. R. 1982. Mechanisms of communication disruption by pheromone in the control of Lepidoptera: A Review. Physiol. Entom. 7: 353-364.
- Bichao, H.**, A. K. **Borg-Karlson**, J. **Araujo** and H. **Mustaparta**. 2003. Identification of plant odours activating receptor neurons in the weevil *Pissodes notatus* F. (Coleoptera: Curculionidae). **J. Comp. Physiol.** 189: 203-212.
- Birkett A. M., T. J. A. Bruce, J. L. Martin, L. E. Smart, J. Oakley, and L. J. Wadhams. 2004. Responses of female orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana*, to wheat panicle volatiles. J. Chem. Ecol. 30: 1319-1328.
- Brown, D. F., and L. M. McDnough. 1986. Insect sex pheromone: Formulation to increase the stability of conjugated dienes. J. Econ. Entomol. 79: 922-927.
- Brown, D. F., A. L. Knight, J. F. Howell, C. R. Sell, J. L. Kyrstan, and M. Weiss. 1992. Emission characteristics of a polyethylene pheromone dispenser for mating disruption of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). J. Chem. Ecol. 85: 910-917.
- Butler, L. I., and L. M. McDonough. 1979. Insect sex pheromones: Evaporation rates of acetates from natural rubber septa. J. Chem. Ecol. 5: 825-837.

- Butler, L. I., and L. M. McDonough. 1981. Insect sex pheromones: Evaporation rates of alcohols and acetates from natural rubber septa. *J. Chem. Ecol.* 7: 627-633.
- Byers, J. A. 1988. Novel diffusion-dilution method for release of semiochemicals: Testing pheromone component ratios on western pine beetle. *J. Chem. Ecol.* 14: 199-212.
- Cammaerts C. M., R. P. Evershed, and E. D. Morgan. 1981. Comparative study of the mandibular gland secretion of four species of *Myrmica* ants. *J. Insect Physiol.* 27: 225-231.
- Charalambous, G. 1978. Analysis of food and beverages: Headspace Techniques. Academic Press. USA.
- Cork, A., S. N. Alam, A. Das, S. C. Das, G. C. Ghosh, D. I. Farman, D. R. Hall, N. R. Maslen, K. Vedhan, S. J. Phythian, F. M. A. Rouf, and K. Srinivasan. 2001. Female sex pheromone of brinjal fruit and shoot borer, *Leucinodes orbonalis* blend optimization. *J. Chem. Ecol.* 27: 1867-1877.
- Cross, J. H. 1980. A vapor collection and thermal desorption method to measure semiochemical release rates from controlled release formulation. *J. Chem. Ecol.* 6: 781-787.
- Cuthbert, A. R., J. W. Peacock, and S. L. Wright. 1983. Emission characteristics of elm bark beetle aggregation attractants from controlled-release dispensers. Northeastern forest experiment station. Forest service. United States Department of Agriculture. 15 p.
- Demmig-Adams B., and A. M. Gilmore. 1996. Carotenoids, III: In vivo function of carotenoids in higher plants. *FASEB J.* 10: 403-412.
- Dilantha W.G. F., R. Ramarathnam, A. S. Krishnamoorthy, and S. C. Savchuk. 2004. Identification and use of potential bacterial organic antifungal volatiles in biocontrol. *Soil Biol. Biochem.* 37: 955-964.
- Dudareva N, and F. Negrete 2005. Practical applications of research into the regulation of plant volatile emission.*Curr. Opin. Plant Biol.*8: 113-118.
- Eller, F. J., R. J. Bartelt, B. S. Shasha, D. J. Schuster, D. G. Riley, P. A. Stansly, T. F. Mueller, K. D. Shuler, B. Johnson, J. H. Davis, and C. A. Sutherland. 1994. Aggregation pheromone for the pepper weevil, *Anthonomus eugenii* Cano

(Coleoptera: Curculionidae): Identification and field activity. J. Chem. Ecol. 2: 1537-1555.

Elmore, J. C., A. C. Davis, and R. F. Campbell. 1934. The pepper weevil. USDA. Tech. Bull. 447. 27 p.

Fales M. H., M. S. Blum, R. M. Crewe, and J. M. Brand. 1972. Alarm pheromones in the genus *Manica* derived from the mandibular gland. J. Insect. Physiol. 18: 1077-1088.

FAOSTAT. 2006. FAO statistics database on the World Wide Web. <http://apps.fao.org/faostat> Última consulta 14/08/2007.

Fitzgerald, T. D., A. D. St Clair, G. E. Daterman, and R. G. Smith. 1984. Slow release plastic formulation of the cabbage looper pheromone cis-7-dodecenyl acetate: Release rate and biological activity. Environ. Entomol. 2: 607-610.

Fukushi, T. 2001. [Homing in wood ants, \*Formica japonica\*: Use of the skyline panorama](#) [J. Exp. Biol.](#) 204: 2063-2072.

Gemeno, C., and K. F. Haynes. 1998. Chemical and behavioral evidence for a third pheromone component in a North American population of the black cutworm moth, *Agrotis ipsilon*. J. Chem. Ecol. 24: 999-1011.

Golub, M., J. Weatherton, and M. N. Benn. 1983. Measurement of release rates of gossypure from controlled release formulations by mini-airflow method. J. Chem. Ecol. 9: 323-333.

Govindarajan, V. S. 1986. *Capsicum*-Production, Technology, Chemistry, and Quality-Part II. Processed Products, Standards, World Production and Trade. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 23: 207-288.

Guerrero M., A., P. Rendón, C. Laborde, y T. J. A. Garzon. 1984. Tópicos específicos y factores limitantes de la producción, pp: 61-70, In: Presente y pasado del chile en México. Laborde C., y C. O. Pozo (eds.), Secretaria de Agricultura Y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, publicación especial 85.

- Hamm, S., J. Bleton, J. Connan, and A. Tchaplal. 2005. A chemical investigation by headspace SPME and GC-MS of volatile and semi-volatile terpenes in various oilbanyan samples. *Phytochem.* 66: 1499-1514.
- Hammack, L., and J. R. Petroski. 2004. Field capture of northern and western corn rootworm beetles relative to attractant structure and volatility. *J. Chem. Ecol.* 30: 1809-1825.
- Heath, R. R., J. H. Landolt, D. L. Tumlinson, R. E. Chambers, R. E. Murphy, B. D. Doolittle, J. S. Dueben, and C. O. Calkins. 1991. Analysis, synthesis, formulation, and field testing of three major components of male Mediterranean fruit fly pheromone. *J. Chem. Ecol.* 17: 1925-1940.
- Heath, R. R., P. E. A. Teal, J. H. Tumlinson, and L. J. Mengelkoch. 1986. Prediction of release ratios of multicomponent pheromones from rubber septa. *J. Chem. Ecol.* 12: 2133-2143.
- Hendricks, E. D. 1982. Polyvinyl chloride capsules: A new substrate for dispensing tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae) sex pheromone bait formulations. *Environ. Entomol.* 11: 1005-1010.
- Hughes, O. H. W., E. P. Howse, and D. Goulson. 2001. Mandibular gland chemistry of grass-cutting ants: Species, caste and colony variation. *J. Chem. Ecol.* 27: 109-124.
- Jaffé K., P. Sánchez, H. Cerda, N. Urdaneta, J. V. Hernandez, G. Guerra, R. Jaffé, R. Martínez, and B. Miras. 1993. Chemical ecology of the palm weevil *Rhynchophorus palmarum* (L.) (Coleoptera: Curculionidae): Attraction to host plants and to a male produced aggregation pheromone. *J. Chem. Ecol.* 19: 1703-1720.
- Johansson, G. B., O. Anderbrant, J. Simandl, D. N. Avtzis, C. Salvadori, E. Hedenström, H. Edlund, and H. E. Högborg. 2001. Release rates for pine sawfly pheromones from two types of dispenser and phenology of *Neodiprion sertifer*. *J. Chem. Ecol.* 27: 733-745.
- Jutsum, A. R., and R. F. S. Gordon. 1989. Pheromones: Importance to insects and role in pest management, pp. 1-13. *In: Jutsum, A. R., R. F. S. Gordon, (Ed). Insect pheromones in plant protection.* Jhon Wiley & Sons Ltd. Great Britain.

- Katerinopoulos, H. E., G. Pagona, A. Afratis, N. Stratigakis, and N. Roditakis. 2005. Composition and insect attracting activity of the essential oil of *Rosmarinus officinalis*. J. Chem. Ecol. 31: 111-122.
- Kawamura, K., and O. Yasui. 2004. Diurnal changes in the distribution of dicarboxylic acids, ketocarboxylic acids and dicarbonyls in the urban Tokio atmosphere. Atmosp. Environ. 39: 1945-1960.
- Knight, A. L. 1995. Evaluation pheromone emission rate and blend in disrupting sexual communication of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). J. Chem. Ecol. 6: 781-787.
- Koch, U. T., M. Quasthoff, M. Klemm, and J. Becker. 2002. Methods for reliable measurement of pheromone dispenser performance. IOBC WPRS Bull. 25: 1-6.
- Kocsis N., M. Amtmann, Z. Mednyanszky, and K. Korany. 2002. GC-MS Investigation of the aroma compounds of Hungarian red paprika (*Capsicum annuum*) cultivars. J. Food Comp. Anal. 15: 195 - 203.
- Landolt, J. P., and F. J. Alfaro. 2001. Trapping *Lacanobia subjunta*, *Xestia c-nigrum* and *Mamestra configurata* (Lepidoptera: Noctuidae) with acetic acid and 3-methyl-1-butanol in controlled release dispensers. Env. Entom. 30: 656-662.
- Landolt, J. P., and W. T. Phillips. 1997. Host plant influences on sex pheromone behavior of phytophagous insects. Ann. Rev. Entom. 42: 371-391.
- Leonhardt, A. B., T. R. Cunningham, A. W. Dickerson, C. V. Mastro, L. R. Ridgway, and P. C. Schwalbe. 1990. Dispenser design and performance criteria for insect attractants. pp 113-129. *In*: Behavior-modifying chemical for insect management, applications of pheromone and other attractants. Marcel Dekker, Inc. New York and Basel.
- Leskey, C. T., J. R. Prokopy, E. A. Wright, L. P. Phelan, and W. L. Haynes. 2001. Evaluation of individual components of plum odor as potential attractants for adult plum curculios. J. Chem. Ecol. 27: 1-17.
- Light, D. M., A. L. Knight, C. A. Henrick, D. Rajapaska, B. Lingren, J. C. Dickens, K. M. Reynolds, R. G. Buttery, G. Merrill, J. Roitman, and B. C. Campbell. 2001. A pear derived kairomone with pheromonal potency that attracts male and female codlingmoth, *Cydia pomonella* (L.). Naturwissenschaften. 88: 333-338.



- Loaiza-Figueroa, F., K. Ritland, J. A. Laborde, and S. D. Tankey. 1989. Patterns of genetic variation of the genus *Capsicum* (Solanacea) in México. *Pl. Syst. Evol.* 165: 159-188.
- MacNeish, R. S. 1964. Ancient mesoamerican civilization. *Science* 143: 531-537.
- Mayer, S. M., and E. R. Mitchell. 1998. Rapid measure of sex pheromone emission from plastic rope dispensers: Example of utility in sexual communication disruption of the diamondback moth *Plutella xylostella*. *Phytoparasitica*. 26:1-9.
- Mateo, J., M. Aguirrezabal, C. Domínguez, and J. M. Zumalacarregui. 1997. Volatile compounds in Spanish paprika. *J. Food Comp. Anal.* 10: 225-232.
- McDonough, L. M. 1997. Release dynamics of pheromone from a pheromone dispenser. *J. Chem. Ecol.* 25: 1211-1216.
- McDonough, L. M., D. F. Brown, and W. C. Aller. 1989. Insect sex pheromones: Effect of temperature on evaporation rates of acetates from rubber septa. *J. Chem. Ecol.* 15: 779-790.
- Miklas, N., M. Renou, I. Malosse, and C. Molosse. 2000. Repeatability of pheromone blend composition in individual males of the southern green stink bug *Nezara viridula*. *J. Chem. Ecol.* 26: 2473-2485.
- Nuez, V. F., O. R. Gil, y G. J. Costa. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ed. Grupo Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.
- Okamoto K., M. Izawa, and H. Yanase. 2003. Isolation and application of a styrene-degrading strain of *Pseudomonas putida* to biofiltration. J. BioSc. BioEngin  
95 633-636.
- Olsson, A. M., J. A. Jonsson, B. Thelin, and T. Lijefors. 1983. Determinations of vapour pressures of month sex pheromone components by gas chromatographic method. *J. Chem. Ecol.* 9: 375-385.
- Osorio C., J. 2006. Comportamiento y respuesta hacia atrayentes de adultos del picudo de Chile, *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 57 p.

- Patrock, R. J., and D. J. Schuster. 1992. Feeding, oviposition, and development of the pepper weevil (*Anthonomus eugenii* Cano) on selected species of Solanaceae. *Trop. Pest Manag.* 38: 65-69.
- Pino, J., E. Sauri-Duch, and R. Marbot. 2004. Changes in volatile compounds of Habanero chile pepper (*Capsicum chinense* Jack. cv. Habanero) at two ripening stages. [Food Chemistry](#) 94: 3894-398.
- Plimmer J. R., B. A. Leonhardt, and R. E. Webb. 1982. Management of the gypsy moth with its sex attractant pheromone. Insect pheromone technology: Chemistry and application. American chemical society symposium series No. 190 (ed. by B. A. Leonhardt & M. Beroza), pp. 231–242. American Chemical Society, Washington, D. C.
- Pozo, O. C. 1983. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el cultivo de chile. SARH-INIFAP, Mexico. 20 p.
- Rao, S., A. A. Cossé, W. B. Silkowski, and J. R. Bartelt. 2003. Aggregation pheromone of the cereal leaf beetle: Field evaluation and emission from males in the laboratory. *J. Chem. Ecol.* 29: 2165-2175.
- Riley, D. G., and A. N. Sparks. 1995. The pepper weevil and its management. Texas Agricultural Extension System, The Texas A & M University System. Bull. L-5069. 7 p.
- Riley, D. G., and E. G. King. 1994. Biology and management of pepper weevil *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae): A review. *Trends Agri. Sci.* 2: 109-121.
- Rochat, D., P. Nagnan-Le Meillour, J. R. Esteban-Duran, C. Malosse, B. Perthuis, J. P. Morin, and C. Descoins. 2000. Identification of Pheromone Synergists in American Palm Weevil, *Rhynchophorus palmarum* and Attraction of Related *Dynamis borassi*. *J. Chem. Ecol.* 26: 155-188.
- Rodríguez-Leyva, E. 2006. Life history of *Triaspis eugenii* Wharton and López-Martínez (Hymenoptera: Braconidae) and evaluation of its potential for biological control of pepper weevil *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae). PhD. Tesis. University of Florida, Gainesville, Florida. 110 p.
- Rodríguez-Leyva, E., P. A. Stansly, D. J. Schuster and E. Bravo-Mosqueda. 2007. Diversity and distribution of parasitoids of *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) from Mexico and prospects for biological control. *Florida Entomol.* 4: 693-702.

Rothschild, G. H. L. A. 1979. A comparison of methods of dispensing synthetic sex pheromone for control of oriental fruit moth, *Cydia molesta* (Bush) (Lepidoptera: Tortricidae) in Australia. Bull. Entomol. Res. 69: 115-127.

SAGARPA. 2005. Sistema de Información Agropecuaria y de Consulta. México. <http://www.sagarpa.gob.mx/cgcs/boletines/2005/septiembre/B276.pdf> Última consulta 25/07/2007.

SAS Institute. 1999. SAS/STAT. Guide for personal computers. Version 8th. SAS Institute, Cary, N. C. USA. 1028 p.

Stilinski, L. L., J. K. Vogel, J. L. Gut, and R. J. Miller. 2005. Seconds-long preexposures to pheromone from rubber septum or polyethylene tube dispensers alters subsequent behavioral responses of male *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) in a sustained-flight tunnel. Env. Entomol. 34: 696-704.

Tinzaara, W., M. Dicke, A. Van Huis, J. A. J. Van Loon, and S. C. Gold. 2003. Different bioassays for investigating orientation responses of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus*, show additive effects of host plant volatiles and a synthetic male-produced aggregation pheromone. Entomol. Exp. Appl. 106: 169-175.

Tengö J., and G. Bergström. 2003. Comparative analyses of complex secretions from heads of *Andrena* Bees (Hymenoptera: Apoidea). [Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochem. Molec. Biol.](#) 57: 3197-202.

Thorpe K. W., V. C. Mastro, D. S. Leonard, B. A. Leonhardt, W. McLane, R. C. Reardon, and S. E. Talley. 1999. Comparative efficacy of two controlled-release gypsy moth mating disruption formulations. Entom. Exp. App. 90: 267-277.

Toapanta, M. A., D. J. Schuster and P. A. Stansly. 2005. Development and life history of *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) at constant temperatures. Environ. Entomol. 34: 999-1008.

Tomaszewska, E., R. V. Hebert, F. J. Brunner, P. V. Jones, M. Doerr, and R. Hilton. 2005. Evaluation of pheromone release from commercial mating disruption dispensers. J. Agric. Food Chem. 53: 2399-2405

- Torr, S. J., D. R. Hall, R. J. Phelps, and G. A. Vale. 1997. Methods for dispensing odour attractants for tsetse flies (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*. 87: 299-311.
- Vavilov, N. I. 1951. Phytogeographic basis of plant breeding: The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. Translated by K. S. Chester. *Chronica Botanica Co.* 3. Liden Waltham, Massachusetts.
- Vrkoc, J., K. Konecny, I. Valterova, and I. Hrdy. 1988. Rubber substrates and their influence on isomerization of conjugated dienes in pheromone dispensers. *J. Chem. Ecol.* 14: 1347-1358.
- Weatherston, I. 1990. Principles of design of controlled-release formulations. pp 93-112. *In: Behavior-modifying chemical for insect management, applications of pheromone and other attractants.* Marcel Dekker, Inc. New York.
- Webb R. E., B. A. Leonhardt, J. R. Plimmer, K. M. Tatman, V. K. Boyd, D. L. Cohen, C. P. Schwalbe, and L. W. Douglass. 2001. Effect of racemic disparlure released from grids of plastic ropes on mating success of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) as influenced by dose and by population density. *J. Econ. Entom.* 83: 910-916.
- Webb, S.E., P. A. Stansly, D.J. Schuter, and J. E. Funderburk. 2001. *Insect Management for tomatoes, peppers and eggplant.* Serie of the Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service Department. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 69 p.

## 8. ANEXOS

**Anexo 1:** Análisis de varianza para las áreas de frutos y botones florales

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	25982879.60	2886986.62	8.86	<.0001
Error	30	9772465.50	325748.85		
Corrected Total	39	35755345.10			

Coeff Var= 66.45446

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Est	1	48720.40	48720.40	0.15	0.7017
Comp	4	24522880.60	6130720.15	18.82	<.0001
Est*comp	4	1411278.60	352819.65	1.08	0.3825

Compounds	Tukey Grouping	Mean
3-H	A	2363.3
1,4-DMB	B	804.5
1-BH	B	504.3
2E1H	B	502.8
Aa2EHE	B	119.5

**Anexo 2:** Análisis de regresión de tasa de liberación de 3-hexanona en septos de caucho con 50 µL.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	5.56387	5.56387	56.12	0.0049
Error	3	0.29744	0.09915		
Corrected Total	4	5.86130			

Root MSE 0.31487 R-Square 0.9493  
 Dependent Mean -2.29994 Adj R-Sq 0.9323  
 Coeff Var -13.69055

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	-0.8081	0.33024	-0.19	0.8626
Day	1	-0.3730	0.04979	-7.49	0.0049

**Anexo 3:** Análisis de regresión de tasa de liberación de 1,4-dimetil benceno en septos de caucho con 50 µL.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	2.30359	2.30359	21.47	0.0189
Error	3	0.32192	0.10731		
Corrected Total	4	2.62552			

Root MSE 0.32758 R-Square 0.8774  
 Dependent Mean -0.91656 Adj R-Sq 0.8365  
 Coeff Var -35.73982

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	0.0444	0.25534	0.17	0.8752
Day	1	-0.2400	0.05179	-4.63	0.0189

**Anexo 4:** Análisis de regresión de tasa de liberación de 1-bromo hexano en septos de caucho con 50 µL.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	11.51318	11.51318	36.20	0.0010
Error	6	1.90813	0.31802		
Corrected Total	7	13.42131			

Root MSE 0.56393 R-Square 0.8578  
 Dependent Mean -2.00617 Adj R-Sq 0.8341  
 Coeff Var -28.11005

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	-0.1737	0.36402	0.48	0.6502
Day	1	-0.2618	0.04351	-6.02	0.0010

**Anexo 5:** Análisis de regresión de tasa de liberación del 2-etil 1-hexanol en septos de caucho con 50  $\mu$ L.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	10.03552	10.03552	124.08	<.0001
Error	6	0.48528	0.08088		
Corrected Total	7	10.52080			

Root MSE 0.28439 R-Square 0.9539  
 Dependent Mean -1.12184 Adj R-Sq 0.9462  
 Coeff Var -25.35066

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	0.5890	0.18358	3.21	0.0184
Day	1	-0.2441	0.02194	-11.14	<.0001

**Anexo 6:** Análisis de regresión de tasa de liberación del Acido acético 2-etilhexilester en septos de caucho con 50  $\mu$ L.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	6.34807	6.34807	43.05	0.0012
Error	5	0.73734	0.14747		
Corrected Total	6	7.08541			

Root MSE 0.38402 R-Square 0.8959  
 Dependent Mea -2.67336 Adj R-Sq 0.8751  
 Coeff Var -14.36455

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	-1.2449	0.26166	-4.76	0.0051
Day	1	-0.2381	0.03629	-6.56	0.0012

**Anexo 7:** Análisis de regresión de tasa de liberación del 3-hexanona en septos de caucho con 100 µL.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	4.60553	4.60553	23.98	0.0018
Error	7	1.34461	0.19209		
Corrected Total	8	5.95014			

Root MSE 0.43828 R-Square 0.7740  
 Dependent Mean -1.81578 Adj R-Sq 0.7417  
 Coeff Var -24.13711

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	-0.7076	0.26938	-2.63	0.0341
Day	1	-0.1385	0.02829	-4.90	0.0018

**Anexo 8:** Análisis de regresión de tasa de liberación del 1,4-dimetil benceno en septos de caucho con 100 µL.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	0.83548	0.83548	16.86	0.0148
Error	4	0.19827	0.04957		
Corrected Total	5	1.03376			

Root MSE 0.22264 R-Square 0.8082  
 Dependent Mean -0.84625 Adj R-Sq 0.7603  
 Coeff Var -26.30903



Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	-0.3000	0.16113	-1.86	0.1361
Day	1	-0.1093	0.02661	-4.11	0.0148

**Anexo 9:** Análisis de regresión de tasa de liberación del 1-bromo hexano en septos de caucho con 100 µL.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	8.04449	8.04449	27.58	0.0005
Error	9	2.62478	0.29164		
Corrected Total	10	10.66927			

Root MSE 0.54004 R-Square 0.7540  
 Dependent Mean -1.89035 Adj R-Sq 0.7267  
 Coeff Var - 28.56815

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	-0.5382	0.30462	-1.77	0.1111
Day	1	-0.1352	0.02575	-5.25	0.0005

**Anexo 10:** Análisis de regresión de tasa de liberación del 2-etil 1-hexanol en septos de caucho con 100 µL.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	12.06232	12.06232	36.37	<.0001
Error	11	3.64846	0.33168		
Corrected Total	12	15.71078			

Root MSE 0.57592 R-Square 0.7678  
 Dependent Mean -1.27023 Adj R-Sq 0.7467  
 Coeff Var -45.33933

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	0.2744	0.30186	0.91	0.3828
Day	1	-0.1287	0.02134	-6.03	<.0001

**Anexo 11:** Análisis de regresión de tasa de liberación del Acido acético 2-etilhexilester en septos de caucho con 100 µL.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	2.37224	2.37224	51.40	<.0001
Error	12	0.55380	0.04615		
Corrected Total	13	2.92604			

Root MSE 0.21483 R-Square 0.8107  
 Dependent Mean -2.34981 Adj R-Sq 0.7950  
 Coeff Var -9.14222

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	-1.6861	0.10894	-15.48	<.0001
Day	1	-0.0511	0.00712	-7.17	<.0001

**Anexo 12:** Análisis de regresión de tasa de liberación de 3-hexanona en septos de caucho con 200  $\mu$ L.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	2.48848	2.48848	136.33	<.0001
Error	5	1.09344	0.15621		
Corrected Total	6	11.74157			

Root MSE 0.13511 R-Square 0.9646  
 Dependent Mean -3.17939 Adj R-Sq 0.9575  
 Coeff Var -4.24942

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	-2.2850	0.09206	-24.82	<.0001
Day	1	-0.1491	0.01277	-11.68	<.0001

**Anexo 13:** Análisis de regresión de tasa de liberación del 1,4-dimetil benceno en septos de caucho con 200  $\mu$ L.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	10.48614	10.48614	235.41	<.0001
Error	6	0.26726	0.04454		
Corrected Total	7	10.75340			

Root MSE 0.21105 R-Square 0.9751  
 Dependent Mean -2.62657 Adj R-Sq 0.9710  
 Coeff Var -8.03535

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	0.8777	0.13623	-6.44	0.0007
Day	1	-0.2498	0.01628	-15.34	<.0001

**Anexo 14:** Análisis de regresión de tasa de liberación del 1-bromo hexano en septos de caucho con 200  $\mu\text{L}$ .

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	7.05841	7.05841	62.13	<.0001
Error	10	1.13604	0.11360		
Corrected Total	11	8.19445			

Root MSE 0.33705 R-Square 0.8614  
 Dependent Mean 1.69867 Adj R-Sq 0.8475  
 Coeff Var -19.84217

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	-0.47673	0.18303	-2.60	0.0263
Day	1	-0.11109	0.01409	-7.88	<.0001

**Anexo 15:** Análisis de regresión de tasa de liberación del 2-etil 1-hexanol en septos de caucho con 200  $\mu\text{L}$ .

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	1.84299	1.84299	22.52	0.0008
Error	10	0.81844	0.08184		
Corrected Total	11	2.66143			

Root MSE 0.28608 R-Square 0.6925  
 Dependent Mean -2.73099 Adj R-Sq 0.6617  
 Coeff Var -10.47548

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	-2.1066	0.15535	-13.56	<.0001
Day	1	-0.0568	0.01196	-4.75	0.0008

**Anexo 16:** Análisis de regresión de tasa de liberación del Acido acético 2-etilhexilester en septos de caucho con 200  $\mu\text{L}$ .

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	3.01014	3.01014	33.00	<.0001
Error	14	1.27689	0.09121		
Corrected Total	15	4.28703			

Root MSE 0.30200 R-Square 0.7022  
 Dependent Mean -2.65791 Adj R-Sq 0.6809  
 Coeff Var -11.36244

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	1	-1.9522	0.14419	-11.73	<.0001
Day	1	-0.0471	0.00819	-5.74	<.0001

**Anexo 17:** Análisis de varianza para tasas de liberación de cinco compuestos volátiles cargados en septos con 50  $\mu\text{L}$ .

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	2.60664970	0.23696815	5.48	0.0004
Error	21	0.90835182	0.04325485		
Corrected Total	32	3.51500152			

Coeff Var= 66.63373

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Comp	4	1.07648402	0.26912100	6.22	0.0018
Day	7	1.53016568	0.21859510	5.05	0.0018

compounds	N	Mean	Std Dev
3-H	5	0.17000000	0.18371173
1,4-DMB	5	0.49200000	0.28516662
1-BH	3	0.23625000	0.18846656
2E1H	4	0.55000000	0.49271841
Aa2EHE	7	0.10000000	0.07094599

**Anexo 18:** Análisis de varianza para tasas de liberación de cinco compuestos volátiles cargados en septos con 100 µL.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	2.33029412	0.13707612	7.73	<.0001
Error	35	0.62058513	0.01773100		
Corrected Total	52	2.95087925			

Coeff Var= 49.59497

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Comp	4	1.04438487	0.26109622	14.73	<.0001
Day	13	1.28590925	0.09891610	5.58	<.0001

compounds	N	Mean	Std Dev
3-H	9	0.20666667	0.11346806
1,4-DMMB	6	0.46333333	0.18381150
1-BH	11	0.21727273	0.15382398
2E1H	13	0.44000000	0.33731785
Aa2EHE	14	0.10571429	0.05003296

**Anexo 19:** Análisis de varianza para tasas de liberación de cinco compuestos volátiles cargados en septos con 100 µL.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	19	2.83564282	0.14924436	4.48	<.0001
Error	40	1.33163052	0.03329076		
Corrected Total	59	4.16727333			

Coeff Var= 0.680455

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
comp	4	0.68947948	0.17236987	5.18	0.0019
día	15	2.14616333	0.14307756	4.30	0.0001

comp	N	Mean	Std Dev
3-H	9	0.15111111	0.24209732
1,4-DMB	8	0.12375000	0.11388434
1-BH	13	0.36000000	0.44873897
2E1H	9	0.19555556	0.24576977
Aa2EHE	21	0.07380952	0.03040990