FEROMONAS SEXUALES DE LOS PRINCIPALES LEPIDÓPTEROS QUE AFECTAN CULTIVOS DE LA FAMILIA CUCURBITÁCEAS EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA, Y SU POTENCIAL USO PARA EL CONTROL DE PLAGAS

PRESENTADO POR

CLARENA DEL CARMEN CEBALLOS PEÑA

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

MONTERÍA–CÓRDOBA

2021

FEROMONAS SEXUALES DE LOS PRINCIPALES LEPIDÓPTEROS QUE AFECTAN CULTIVOS DE LA FAMILIA CUCURBITÁCEAS EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA. Y SU POTENCIAL USO PARA EL CONTROL DE PLAGAS

TRABAJO DE GRADO, MODALIDAD MONOGRAFÍA, PARA OPTAR AL TÍTULO DE QUÍMICO

CLARENA DEL CARMEN CEBALLOS PEÑA

Directora

MARY CECILIA MONTAÑO CASTAÑEDA

PhD en Química

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

MONTERÍA–CÓRDOBA

2021

AGRADECIMIENTO

Esta monografía de grado la quiero dedicar de manera especial al Salvador de mi alma y mi mejor amigo, Jesucristo. Así mismo, la dedico a Dios Padre y al dulce Espíritu de Dios por su gran amor y sabiduría en mi vida.

Dios nunca olvidaste que soy tu hija, Gracias por darle a mis padres la sabiduría y el sustento para sacarme adelante.

Esto es por ti y para ti. MFHDP existen amores que ni una vida es suficiente, te amo en esta vida, te amaré mil vidas más.

Fernando y Aura que Dios nos regale días eternos para disfrutar este título con ustedes padres, son mi vida.

Tía chayo esto también es para ti, te amo.

A mis amigas y compañeros, fueron mi columna vertebral en este proceso, a mis profesores que fueron la fuente de conocimiento, sin ellos esto no sería posible, a la mejor seño del mundo Mary Montaño.

Alhys Silva. Fuiste mis pulmones y corazón cuando más lo necesité, cuando pensé rendirme me disté mil motivos más para seguir.

Mi ramillete por ustedes y con ustedes. Las amo.

08-01-2020

Tabla de Contenido

1 RESUMEN 1

2 ABSTRACT 2

3 INTRODUCCIÓN 4

4 OBJETIVOS 6

4.1 Objetivo General 6

4.2 Objetivos Específicos 6

5 MARCO TEÓRICO 7

5.1 Generalidades de la familia Cucurbitaceae 7

5.2 Importancia económica, química y medicinal de algunas cucurbitáceas 9

5.2.1 Importancia económica 9

5.2.2 Importancia química y medicinal 10

5.3 Cultivos de cucurbitáceas de interés agrícola en Córdoba y el Caribe colombiano 12

5.3.1 Sandía o patilla (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsumara & Nakai) 13

5.3.2 Melón (*Cucumis melo* L.) 14

5.3.3 Pepino Cohombro (*Cucumis sativus* L.) 16

5.3.4 Ahuyama (*Cucurbita maxima* Duch. Ex Lam) 17

5.3.5 Calabaza (*Cucurbita pepo* L.) 18

5.4 Plagas que afectan las Cucurbitáceas 19

5.4.1 Principales lepidópteros que afectan los cultivos de cucurbitáceas de interés 22

5.4.1.1 Insectos lepidópteros. 22

5.4.1.1.1 Algunas técnicas de control para lepidópteros. 23

5.5 Principales plagas de lepidópteros de las cucurbitáceas 26

5.5.1 Gusano del melón (*Diaphania hyalinata* Linnaeus).....26

5.5.2 Barrenador del pepino (*Diaphania nitidalis* Stoll) 27

5.5.3 Gusano barrenador de la calabaza *(Melittia cucurbitae* Harris*)* 28

5.5.4 Gusano medidor de la soya (*Trichoplusia ni* Hübner).....30

5.5.5 Gusano trozador negro (*Agrotis ipsilon* Hufnagel).....31

5.6 Feromonas.....33

5.6.1 Feromonas sexuales de lepidópteros.....34

5.6.1.1Feromonas sexuales de los principales lepidópteros de las cucurbitáceas en Colombia 36

5.6.1.1.1 Feromona sexual de *Diaphania hyalinata*. 36

5.6.1.1.2 Feromona sexual de *Diaphania nitidalis*. 37

5.6.1.1.3 Feromona sexual de *Melittia cucurbitae*.....38

5.6.1.1.4 Feromona sexual de *Trichoplusia ni*. 39

5.6.1.1.5 Feromona sexual de *Agrotis ipsilon.* 40

5.7 Principales estrategias sintéticas para obtener feromonas sexuales de lepidópteros 41

5.7.1 Síntesis de feromonas 41

5.7.2 Estrategias de formación de dobles enlaces carbono-carbono.....43

5.7.2.1Reacción de Wittig. 43

5.7.2.2Reducción de triples enlaces. 44

5.7.2.3Reacciones de eliminación. 45

5.7.3 Síntesis de las feromonas sexuales de los principales lepidópteros que atacan las cucurbitáceas 47

5.7.3.1 Síntesis de los componentes principales de la feromona sexual de *Diaphania hyalinata* y *Diaphania nitidalis.* 47

5.7.3.1.1 Síntesis de (E)-11-hexadecenal (**1**) y (E)-11-hexadecenol (**3**) 47

5.7.3.1.2 Síntesis de (E,E)-10,12 -hexadecadienal (**2**) y (E,Z)-10,12 -hexadecadienal (**5**) 50

5.7.3.2 Síntesis de los componentes de la feromona sexual de *Trichoplusia ni* y *Agrotis ipsilon* 56

5.7.3.2.1 Síntesis de acetato de (Z)-7-dodecenilo (**24**) y acetato de (Z)-9-tetradecenilo (**29**) 56

5.7.3.3 Síntesis de los componentes de la feromona sexual de *Melittia cucurbitae* 60

5.7.3.3.1 Síntesis del acetato de (E,Z)-2,13-octadecadienilo (**11**) y del acetato de (Z,Z)-3,13-octadecadienilo (**12**) 60

5.8 Uso de feromonas sintéticas de lepidópteros en trampas 64

6 CONCLUSIONES 71

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 73

Índice de Figuras

Figura 1: Núcleo estructural de las cucurbitacinas y estructuras de las cucurbitacinas B y E.....12

Figura 2: Cultivo de Sandia o patilla *Citrullus lanatus*.....13

Figura 3: Fruto de Melón *Cucumis melo*.....15

Figura 4: Frutos de pepino cohombro *Cucumis sativus* 16

Figura 5: Fruto inmaduro de ahuyama *Cucurbita maxima* 17

Figura 6: Fruto de calabaza *Cucurbita pepo* 19

Figura 7: Ciclo de vida de lepidópteras.....22

Figura 8: a) Larva y b) adulto de *Diaphania hyalinata*.....26

Figura 9: a) Larva y b) adulto de *Diaphania nitidalis*.....27

Figura 10: a) Adulto y b) Larva de gusano barrenador *Melittia cucurbitae* 29

Figura 11: a) Larva y b) Adulto de *Trichoplusia ni*.....30

Figura 12: a) Larva y b) Adulto de *Agrotis ipsilon*. 32

Figura 13: Clasificación de las feromonas sexuales de los lepidópteros 35

Figura 14: Principales componentes de la feromona sexual de *D. hyalinata* 37

Figura 15: Algunos componentes de la feromona sexual de *D. nitidalis*.....38

Figura 16: Principales componentes atrayentes de la feromona sexual de *M. cucurbitae*.....39

Figura 17: Principales componentes atrayentes de la feromona sexual de *T. ni* 40

Figura 18: Componentes principales de la feromona sexual de *A. ipsilon* 41

Figura 19: a) Mecanismo reacción de Wittig. b) Preparación del reactivo de Wittig 43

Figura 20: a) Hidrogenación selectiva de triples enlaces. b) reducción de un triple enlace por hidroboración. 45

Figura 21: Mecanismos de reacción de las reacciones de β-eliminación.....46

Figura 22: Síntesis de (*E*)-11-hexadecenol **3** y (*E*)-11-hexadecenal **1** propuesta por Struble y Swailes 48

Figura 23: Síntesis de **1** y **3**. a) propuesta por Jackson y colaboradores. b) propuesta por Sekul y colaboradores 49

Figura 24: Síntesis de (*E*)-11-hexadecenol **3** y (*E*)-11-hexadecenal **1** a partir de pentanal propuesta por Leadbetter y Plimmer.....50

Figura 25: a) Síntesis de los dienos **2** y **5** propuesta por Cork y colaboradores. b) Mecanismo de isomerización de doble enlace *Z-E* en presencia de radicales RS• 51

Figura 26: Síntesis de bombykol (**58**) y su aldehído (**5**) propuesta por Jackson y colaboradores y Bestmann y colaboradores 52

Figura 27: Síntesis de bombykol propuesta por Dasaradhi y colaboradores 53

Figura 28: a) ruta sintética de dienales propuesta por Raina y colaboradores, y Hall y colaboradores. b) Mecanismo (propuesto) de reducción de 1-alquin-3-ol con $LiAlH_4$ 54

Figura 29: a) ruta sintética de los compuestos **58** y **5** propuesta por Sakurai y colaboradores, y por Miyaura, Suginome &Suzuki. b) ruta sintética de **74** propuesta por Xu y colaboradores 55

Figura 30: Síntesis de **5** propuesta por McElfresh y Millar 56

Figura 31: Síntesis de acetato de (*Z*)-7-dodecenilo propuesta por Berger 57

Figura 32: a) síntesis de (*Z*)-7-dodecenilo (**24**) propuesta por Kao & Shiao. b) síntesis de acetatos de (*Z*)-7-dodecenilo (**24**) y de (*Z*)-9-tetradecenilo (**29**) propuesta por Batista-Pereira y colaboradores 58

Figura 33: a) Síntesis de (*Z*)-7-dodecenilo (**24**) propuesta por Basavaiah & Brown. b) Mecanismo de formación del intermedio borocano **96**.....59

Figura 34: Síntesis de acetatos de (*Z*)-7-dodecenilo (**24**) y de (*Z*)-9-tetradecenilo (**29**) propuesta por Ujváry, Kis-Tamas & Novak, y Chattopadhyay, Mamdapur & Chadha 60

Figura 35: Síntesis de acetato de (*E,Z*)-2,13-octadecadienilo (**11**) propuesta por Schwarz y colaboradores 62

Figura 36: Síntesis de acetato de (*E,Z*)-2,13-octadecadienilo (**11**) propuesta por Voerman y colaboradores, y Tonini y colaboradores.....62

Figura 37: a) síntesis de acetato de (*E,Z*)-2,13-octadecadienilo (**11**) propuesta por Ishmuratov y colaboradores. b) mecanismo simplificado de la condensación Doebner-Knoevenagel 63

Figura 38: síntesis de acetato de (*E,Z*)-2,13-octadecadienilo (**11**). a) propuesta por Sorochinskaya & Kovalev. b) propuesta por Grodner.....64

Figura 39: a) Dos blísteres (unidades de señuelo) de la feromona comercial, compradas a SAFER.. b) Trampa montada en campo, con la feromona comercial 69

Índice de Tablas

Tabla 1: Principales Plagas que afectan a la cucurbitáceas.....21

1 RESUMEN

Desde hace varios años existe una tendencia favorable hacia el consumo de frutas y verduras, impulsando así la economía de los países productores de estos alimentos, los cuales deben garantizar productos de buena calidad y un suministro suficiente y continuo de ellos. Para obtener buenos productos y evitar la pérdida en sus cultivos debido al ataque de plagas, los agricultores han utilizado plaguicidas convencionales durante mucho tiempo, los cuales, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), son sustancias muy nocivas, por lo que ha sido necesario buscar nuevas estrategias para reducir su uso o reemplazarlos, que sean más amigables para el ambiente y la salud de agricultores y consumidores, e igualmente efectivas contra las plagas; siendo una de estas técnicas el control de insectos mediante el uso de las feromonas sexuales de ellos mismos.

Colombia es un país que comercializa una variedad de alimentos a nivel nacional e internacional, y debe garantizar una buena calidad de sus productos. Algunos de los cultivos de gran interés agrícola en nuestro país pertenecen a la familia de las cucurbitáceas, las cuales están ampliamente distribuidas en el territorio nacional. En la región Caribe colombiana los cultivos de sandía (*Citrullus lanatus)*, melón (*Cucumis melo*), pepino cohombro (*Cucumis sativus*), ahuyama (*Cucurbita maxima*) y calabazas (*Cucurbita pepo*) son muy importantes por su uso como fuente de alimentación. Estos cultivos están expuestos al ataque de algunos insectos, como por ejemplo lepidópteros, y aunque su control se ha hecho predominantemente empleando insecticidas convencionales, las exigencias en los nuevos mercados incentiva la búsqueda de nuevas alternativas en nuestro país, las cuales deben ser amigables con el ambiente y ayudar a disminuir la residualidad de esos plaguicidas, mejorar la competitividad de los productos y avanzar hacia una producción más limpia.

En el presente documento se recopilan algunas generalidades de los cultivos de cucurbitáceas de mayor interés en el departamento de Córdoba y la región Caribe Colombiana, las principales plagas de lepidópteros que los atacan y sus feromonas sexuales, así como la viabilidad de obtener estos compuestos a través de la síntesis orgánica y el potencial que tienen para ser usados en trampas que ayuden a controlar estos mismos insectos.

2 ABSTRACT

For several years there has been a favourable trend towards the consumption of fruits and vegetables, boosting the economy of the countries that produce these foods, which must guarantee good quality products and a sufficient and continuous supply of them. To obtain good products and avoid the loss of their crops due to the attack of pests, farmers have used conventional pesticides for a long time, which are very harmful substances, according to the World Health Organization (WHO), for these reasons it has been necessary seek new strategies to reduce their use or replace them, and more friendly solutions for the environment and for the health of farmers and consumers, and they must be equally effective in pest management; the use of the insects sex pheromones to control insect behaviour being one of them.

Colombia is a country that markets a variety of foods nationally and internationally, and must guarantee a good quality of its products. Some of the crops of great agricultural interest in our country belong to the Cucurbitaceae family, which are widely distributed in the national territory. In the Colombian Caribbean region, watermelon (*Citrullus lanatus*), melon (*Cucumis melo*), cucumber (*Cucumis sativus*), pumpkin (*Cucurbita maxima*) and pumpkin (*Cucurbita pepo*) crops are very important for their use as a food source. These crops are exposed to the attack of some insects, such as lepidoptera, and despite the fact that their control has been done predominantly

using conventional insecticides, the demands in the new markets encourage the search for new alternatives in our country, which must be friendly to the environment and help reduce the residuality of these pesticides, improve the competitiveness of products and move towards cleaner production.

This document compiles some general information about the most interesting cucurbit crops in the department of Cordoba and the Colombian Caribbean region, the main lepidoptera pests that attack these crops and their sex pheromones, as well as the ease of obtaining these compounds. by organic synthesis, and the potential they have to be used in traps that help control these same insects.

3 INTRODUCCIÓN

Colombia es un país que cuenta con todas las condiciones ambientales que le permiten integrar en su riqueza biológica una enorme proporción de especies naturales, dentro de las cuales más de 50.000 especies son vegetales, ubicándolo como uno de los países como más diversidad biológica de especies en el mundo (Rangel, 2015). Las cucurbitáceas hacen parte de esta riqueza de especies vegetales y están distribuidas en todo el territorio nacional, representando una familia de plantas de altísimo valor comercial y nutricional, y siendo objeto de interés de muchas investigaciones debido a algunas propiedades medicinales que presentan (Jaramillo et al., 2019). Esta familia comprende muchos géneros y numerosas especies, existiendo casi 120 géneros y 640 especies, de las cuales más de 300 especies son usadas por los humanos, 150 de ellas cultivadas en gran escala y 30 especies de gran importancia en la producción de alimentos a nivel mundial, liderando la producción de estas, países como Turquía, China, India, Estados Unidos, y algunos países de América Latina como Colombia (Rolnik & Olas, 2020).

En los últimos años, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) estableció la producción de algunas especies comestibles de esta familia de plantas, por encima de 23 millones de toneladas a nivel mundial, destacando a América Latina con un aporte del 12% de esta producción; por su parte, Colombia se encuentra dentro de los 50 países productores de estos cultivos a nivel mundial, con más de 73 mil toneladas anuales (FAO, 2017). En Colombia, de la familia de las cucurbitáceas sobresalen once especies que son de gran importancia, siendo algunas de ellas sembradas y comercializadas en la región Caribe y en el departamento de Córdoba, como son la sandía o patilla (*Citrullus lanatus)*, el melón (*Cucumis melo*), que son populares por su sabor y dulzura, el pepino cohombro (*Cucumis sativus*), la ahuyama (*Cucurbita maxima*), las calabazas (*Cucurbita pepo*), que se destacan por sus

usos culinarios, y todas estas especies se consideran cosmopolitas y con alto interés a nivel mundial por sus usos y propiedades (Paris, 2016).

Como cualquier planta, estos cultivos pueden verse afectados por la presencia de organismos indeseados, como por ejemplo, los insectos del orden Lepidoptera tales como *Diaphania hyalinata*, *D. nitidalis*, *Melittia cucurbitae*, entre otros, los cuales arrasan y dañan los cultivos hasta el punto de degradar en su totalidad las plantas, disminuir la producción y la calidad del fruto a comercializar, siendo durante mucho tiempo, el uso de plaguicidas convencionales la técnica más implementada para combatirlos y controlarlos, garantizando que no hayan pérdidas económicas, pero disminuyendo la calidad de los frutos (Urretabizkaya, Vasicek & Saini, 2010). El objetivo principal de la presente monografía es conocer los principales lepidópteros que atacan los cultivos de cucurbitáceas de mayor interés agrícola y económico en el departamento de Córdoba y la región Caribe en general, presentar las feromonas sexuales de estos insectos y las principales estrategias sintéticas utilizadas para obtener estos compuestos, así como su el uso de feromonas de lepidópteros en técnicas de control para combatir estas plagas.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Describir las feromonas sexuales de los principales lepidópteros que atacan los cultivos más representativos de cucurbitáceas en el departamento de Córdoba y la región Caribe, así como su síntesis y su uso potencial en técnicas de control para combatir estas plagas.

4.2 Objetivos Específicos

- Destacar los principales cultivos de cucurbitáceas en el departamento de Córdoba, y la región Caribe en general, y sus principales plagas de lepidópteros.
- Presentar los componentes principales de la feromona sexual de los lepidópteros que causan mayor daño a estos cultivos.
- Enunciar algunas de las estrategias sintéticas más comunes para la obtención para estas feromonas sexuales.
- Mostrar el uso potencial de las feromonas sexuales como técnica de control de las plagas de lepidópteros.
- Construir un documento que pueda ser usado como herramienta de referencia para futuros proyectos relacionados con este tema.

5 MARCO TEÓRICO

5.1 Generalidades de la familia Cucurbitaceae

Las cucurbitáceas son plantas con distribución en las regiones tropicales y subtropicales, con casi la mitad de los géneros de esta familia siendo originarios de África y Asia. Esta familia de plantas produce numerosos frutos comestible, algunas de sus especies también se destacan por su uso medicinal a nivel mundial, en la medicina tradicional y etnofarmacológica, así mismo hay otras especies que tienen propiedades detergentes, se usan como pesticidas, algunas se utilizan para obtener biodiesel a partir de sus semillas, en tratamientos medicinales veterinarios, en suplementos dietarios, con fines cosméticos (por ejemplo, esponjas de baño), y para otros diversos usos (Rolnik & Olas, 2020; Ajuru & Nmom, 2017; Khulakpam, Singh & Rana, 2015). Los principales géneros de esta familia de planta son Trichosanthes, Lagenaria, Luffa, Benincasa, Momordica, Cucumis, Citrullus, Cucurbita, Bryonopsis y Corallocarpus (Ajuru & Nmom, 2017; Dhiman et al., 2012).

Las especies de esta familia se caracteriza por ser, en su mayoría, plantas herbáceas, sin terminaciones en las hojas, tienen un sistema radicular muy extenso que se ramifica en la superficie del suelo, presentan tallos huecos y angulados que pueden ser glabros, peludos o espinosos, y pueden alcanzar grandes longitudes; asimismo, son principalmente trepadoras, más o menos rastreras y colgantes. Poseen un sistema sexual variable que está regulado principalmente por factores genéticos y ambientales, la mayoría de las especies pertenecientes a esta familia son monoicas, es decir, que presentan flores masculinas y femeninas en el mismo tallo, sin embargo, también se presentan algunas especies dioicas como la trepadora zarcillada (*Anguria grandiflora*) en las cuales se presenta una distinción entre flores masculinas y femeninas ubicadas en diferentes tallos. Asimismo, se encuentran algunas especies andromonoicas las cuales sobresalen por tener

flores hermafroditas, es decir, presentan flores que hacen las veces de masculinas y femeninas en la misma planta (Ajuru & Nmom, 2017; Salama, 2006).

Respecto a los frutos de estas plantas, son grandes y carnosos, aunque en algunas ocasiones secos, generalmente tiene una cubierta dura, la mayoría de los frutos tienen forma de baya, que pueden ser calabaza o cohombro. Las semillas de estas plantas no son endospérmicas, se caracterizan por tener un tamaño entre mediano y grande, usualmente son aplanadas y en otras ocasiones aladas. Las hojas poseen estomas de tipo anormocítico, localizados en una única superficie la cual se denomina abaxial (Ajuru & Nmom, 2017; Delgado et al., 2014).

Como se dijo anteriormente, las cucurbitáceas son muy apreciadas por el alto valor nutritivo que presentan, además de su importancia medicinal; también es importante destacarlas a nivel cultural en la fabricación de artesanías, en la fabricación de utensilios para el hogar, con fines ornamentales, y en cultos religiosos (Ajuru & Nmom, 2017; Dhiman et al., 2012; Salama, 2006). Asimismo, muchas investigaciones describen que esta familia de plantas fue utilizada mucho antes que la cerámica, debido que eran empleadas para la elaboración de diferentes recipientes de uso doméstico para transportar agua, chicha, miel, etc., debido a hallazgos arqueológicos llevados a cabo en Centro- y Suramérica; en Colombia se tienen evidencias sobre la cultura Quimbaya que utilizaban vajillas en cerámica que tenían forma de calabaza (Rodríguez et al., 2018; Salama, 2006).

5.2 Importancia económica, química y medicinal de algunas cucurbitáceas

5.2.1 Importancia económica

La importancia económica de esta familia radica en que son muy apetecidas por su gran valor nutritivo, haciendo que sea una de las principales razones para cultivarlas. Los géneros Cucumis (el de los pepinos y melones), Cucurbita (el de las calabazas) y Citrullus (el de las sandías), se encuentran entre los 10 principales en importancia económica entre los cultivos de hortalizas del mundo. Algunas especies de estos tres géneros, junto con algunas de los géneros Cucumeropsis, Colocynthis y Sechium son las que más se cultivan con fines comestibles; especies de los géneros Lagenaria y Luffa se cultivan y transforman en artículos tales como recipientes y utensilios de cocina, esponjas de baño, instrumentos musicales, en filtros industriales, dispositivos para el aislamiento acústico, los cuales pueden ser comercializados (Ajuru & Nmom, 2017). En algunos países, las cucurbitáceas son productos de exportación, lo que influye evidentemente en la economía de los países, e implica un aumento en la oferta de empleos y la captación de divisas para los diferentes sectores agroindustriales y agrícolas (Salama, 2006).

En la década entre 2006 y 2016, la producción promedio mundial de cucurbitáceas, como calabazas, zapallo y calabaza confitera, alcanzó las 23.422.676 toneladas, siendo el continente asiático el mayor productor de estos cultivos (64%), mientras que el continente americano aportó el 12% (FAO, 2017). En Colombia, los frutos de las cucurbitáceas componen el segundo principal producto de participación de abastecimiento en diferentes mercados mayoristas, y se estima que *Cucurbita maxima* (ahuyama) es la especie de mayor importancia debido a que se cultiva en casi todos los departamentos del país; puntualmente, para el año 2015 las cucurbitáceas fueron el segundo tipo de producción más importante, destacándose especies como *C. maxima*, *Cucumis melo* (melón), *Citrullus lanatus* (patilla) y *Cucumis sativus* (pepino cohombro); Colombia ocupa

alrededor del puesto 45 dentro de los países productores de calabazas, calabacines y calabazas dulces en el mundo, para el año 2016, su producción fue de aproximadamente 73.000 toneladas (Correa et al., 2019; FAO, 2017).

En el año 2016 (FAO, 2017) la producción a nivel mundial de especies del género Cucurbita, incluyendo *C. maxima*, estuvo sobre los 26 millones de toneladas, con rendimiento de 13.3 t/ha, siendo China el país productor líder (~30%); Colombia se ubicó en el puesto 44 según producción (<1%). Para el año 2017, en Colombia se registró una producción de 124.001 toneladas y un rendimiento de 12 t/ha, de las cuales el 41% de la producción lo aportó la región Caribe con 50.751 toneladas (Correa et al., 2019). El cultivo de ahuyama en la región Caribe es muy relevante ya que este puede ser usado en distintos productos de interés como purés, consumo humano, cereales, harinas, salsas, compotas; además de esto, dada su gran versatilidad la ahuyama puede usarse en reemplazo de las tortas de maíz para la elaboración de concentrados para animales, gracias a su alto contenido energético que, cuando se encuentra deshidratado, puede ser competencia para el maíz (Correa et al., 2019). Con respecto al cultivo de *C. lanatus* en Colombia, según un informe realizado por el DANE (2020), para el 2016 se registró un total de 88.017 toneladas en producción, siendo el departamento del Meta es el principal productor de esta fruta (59.06%), seguido del departamento de Córdoba (12-15%), destacándose los municipios de Chimá, Momil, Sahagún, San José de Uré y San Bernardo del Viento (DANE, 2020).

5.2.2 Importancia química y medicinal

La familia de las cucurbitáceas es muy popular y nutritiva porque sus especies representan una buena fuente de carbohidratos, vitaminas, antioxidantes, minerales, proteínas, fibra y otros nutrientes necesarios para los consumidores, además se considera que tienen propiedades nutraceúticas mostrando actividades antioxidantes, antidiabéticas, antiinflamatorias, ayudan con

algunos problemas respiratorios, como las hemorroides, la lepra, algunas enfermedades cardíacas, se consideran que se pueden usar para "limpiar la sangre", son buenos para la digestión y alivian el estreñimiento, dan energía, entre muchos otros beneficios que pueden ser consultados en un gran número de artículos científicos. Las especies *Momordica charantia*, *Lagenaria siceraria*, *Citrullus lanatus*, *Coccinia grandis*, *Cucumis melo*, *Momordica cochinchinensis*, *Trichosanthes kirilowii*, entre otras, han ayudado en el tratamiento de la diabetes y el edema; de igual manera *C. lanatus*, *Benincasa hispida*, *Coccinia grandis* y *Lagenaria siceraria* se han usado para tratar problemas cardíacos. Especies como *Luffa cylindrica*, *M. charantia*, *M. cochinchinensis*, *Trichosanthes dioica*, *T. kirilowii* son beneficiosas para contrarrestar diversos tipos de cáncer y tumores. Algunas especies de cucurbitáceas repelen o atraen a los insectos y gusanos y se usan como pesticidas (Rolnik & Olas, 2020; Ajuru & Nmom, 2017; Paris, 2016; Khulakpam, Singh & Rana, 2015; Shrivastava & Roy, 2013; Dhiman et al., 2012; Salama, 2006, y muchos otros artículos).

Las cucurbitáceas son importantes fuentes de metabolitos secundarios, son especies ricas en compuestos esteroidales y triterpenoides, siendo algunos de ellos, las cucurbitacinas, también se ha registrado la presencia de alcaloides, taninos, saponinas, compuestos fenólicos, hidrocarburos, carotenoides, entre otros compuestos (Dhiman et al., 2012; Salama, 2006). La presencia de cucurbitacinas es una de las características que destaca en las especies de cucurbitáceas y pueden encontrarse en diversas partes de la planta (semillas, hojas, etc.); estos compuestos exhiben una amplia gama de propiedades farmacológicas, como actividades antiinflamatorias, antioxidantes, antivirales, antipiréticas, analgésicas, contra la malaria, emética, antihelmíntica, entre otras (Wang et al., 2017; Dhiman et al., 2012).

Desde el punto de vista estructural, las cucurbitacinas son terpenos tetracíclicos con estructuras esteroidales con un núcleo estructural conocido como 9β-metil-19-nor lanosta-5-eno

(figura 1), con muchas funciones químicas oxigenadas (grupos hidroxi, ceto o acetoxi), con varias insaturaciones, pueden estar presentes como triterpenoides no glicosilados o glicosilados y se dividen en doce categorías, incorporando cucurbitacinas A-T, siendo las más comunes, las cucurbitacinas B y E, especialmente esta última. De estos compuestos también se destaca su extremo sabor amargo, su citotoxicidad y sus efectos purgativos, aunque las que están presentes en algunos jugos de los frutos de especies como *Cucumis melo* y *Cucurbita pepo*, no resultan tóxicas para los mamíferos, por el contrario, tienen propiedades antiinflamatorias, laxantes, mejoran la digestión y se han utilizado para limpiar la sangre (Wang et al., 2017; Dhiman et al., 2012; Salama, 2006). Algunas cucurbitacinas atraen insectos por su sabor amargo y por lo tanto se han utilizado como complemento de tratamientos con plaguicidas convencionales para controlar plagas y proteger cultivos (Salama, 2006).

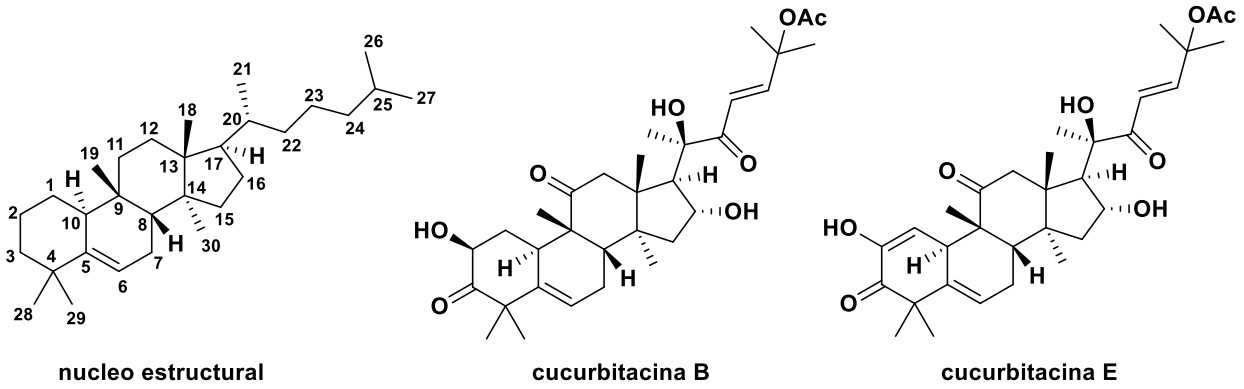

Figura 1: Núcleo estructural de las cucurbitacinas y estructuras de las cucurbitacinas B y E

5.3 Cultivos de cucurbitáceas de interés agrícola en Córdoba y el Caribe colombiano

Colombia cuenta con condiciones ambientales privilegiadas que le permiten incluir dentro de su riqueza biológica una gran cantidad de especies naturales. En el caso de las especies vegetales se resalta la familia de las cucurbitáceas, la cual en el país está comprendida por 26 géneros y 80 especies. Dentro del territorio nacional, existen algunas especies que son consideradas de mayor

interés, como lo son *Cucumis melo, Cucumis savitus, Citrullus lanatus, Cucurbita facifolia, Cucurbita maxima, Cucurbita mixta, Cucurbita moschata, Cucurbita pepo, Luffa acutangula, Luffa cilindrica, Sechium edule, Citrullus colocynthis, Ecbalium elaterium y Trichosantes kirilowi* (Salama, 2006). El presente trabajo se enfocará en cinco de estas especies tales como la sandía o patilla (*Citrullus lanatus)*, el melón (*Cucumis melo*), el pepino cohombro (*Cucumis sativus*), la ahuyama (*Cucurbita maxima*), las calabazas (*Cucurbita pepo*), debido a que estas se cultivan y son de gran interés para Córdoba y la región Caribe, y además se consideran cosmopolitas y con alto interés también a nivel mundial por sus usos y propiedades (Paris, 2016).

5.3.1 Sandía o patilla (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsumara & Nakai)

Se cree que es nativa de África tropical, de donde se llevó a países como India, Irán y Lejano Oriente, y posteriormente a Europa y el resto del mundo (DANE, 2020). Es una planta de ciclo anual, trepadora, de textura áspera, con tallos pilosos y hojas con 5 lóbulos. Sus flores son unisexuales, amarillas y grandes, y su fruto es grande (figura 2), usualmente de 5 kg, llegando a pesar hasta 15 kg y tener hasta 25 cm de diámetro (Salama, 2006).

Figura 2: Cultivo de Sandia o patilla *Citrullus lanatus* (Tomado de: https://agriculturers.com/?s=sandia /, [consultada en julio de 2021])

Es la especie que se cultiva en el mayor número de departamentos de Colombia (DANE, 2020), su fruto normalmente se consume como fruta fresca y también se prepara en refrescos y salpicones, contiene aproximadamente 90% de agua, 6% de azúcares, y se considera una buena fuente de vitaminas C y A, también contiene licopeno, Cucurbitacina E, Flavonoides, compuestos polifenólicos, terpenos, esteroides, flavonoides, proteínas, aminoácidos, minerales, entre otros compuestos. Se considera que esta especie posee propiedades diuréticas y ayuda a limpiar riñones y vejiga, sirve en el tratamiento de diversas enfermedades hepáticas y parasitológicas como la malaria; se recomienda su consumo por mujeres que retienen líquidos durante la menstruación y el embarazo; sirve para tratar la fiebre tifoidea, reducir el ataque de asma, mejora la digestión, el colesterol, alivia los síntomas de la artritis, fortalece la inmunidad, entre otros beneficios (Khulakpam, Singh & Rana, 2015; Salama, 2006).

5.3.2 Melón (*Cucumis melo* L.)

El origen de esta especie no está definido, algunos investigadores plantean su origen en el continente asiático y otros en el continente africano (Baquero et al., 2017); se considera una planta anual herbácea, principalmente trepadora. Sobre su envés se encuentra una fina pelusa, las hojas son, en general, grandes y redondeadas las cuales presentan de 3 a 7 lóbulos, con un borde ondulado. Su polinización es entomófila, por consecuente, al igual que en la ahuyama, hay gran variedad de características en los frutos (figura 3). Sin embargo, en su mayoría presentan generalidades como son el tamaño y la forma esférica alargada y según la composición el color del fruto puede variar entre verde, amarillo, naranja, blanco o manchado (Baquero et al., 2017). La semilla del melón tiene una germinación óptima en temperaturas “altas”, entre los 25 y 35º, es una semilla aplanada y ovalada, cuya masa puede variar entre 25 a 50 mg, y dentro de la cual hay un

alto contenido de lípidos y proteínas disponibles para el crecimiento de la plántula (Crawford, 2017).

Figura 3: Fruto de Melón *Cucumis melo* (Camacho Ferre, s.f.)

El melón es uno de los productos agrícolas más aceptados en los diferentes mercados internacionales, debido a sus condiciones y características. En Colombia, la costa Caribe se considera una zona muy importante y con mucho potencial para el cultivo de esta especie por sus condiciones agroecológicas, la oferta ambiental y la ubicación geográfica, destacándose desde hace algunos años, los departamentos del Atlántico, Magdalena y La Guajira, como grandes productores de este cultivo en esta región del país (DANE, 2020; Baquero et al., 2017). En esta especie se destaca la presencia de compuestos fenólicos, glicósidos fenólicos, ácidos grasos, compuestos terpénicos, cucurbitacinas B, D, E e I, mucílago, vitaminas, minerales, aminoácidos, entre otros compuestos (Dhiman et al., 2012; Salama, 2006).

A esta especie se le han atribuido propiedades antiinflamatorias y contrarresta irritaciones del estómago, intestinos, riñones, uretra y vejiga; se considera diurética, laxante, vermífuga, emética, problemas en la glándula prostática; las semillas se han utilizado para el tratamiento de las afecciones renales agudas, ayudan en el tratamiento de la cistitis aguda y para aliviar los dolores

de la espalda causados por el desplazamiento de los cálculos renales (Khulakpam, Singh & Rana, 2015; Salama, 2006).

5.3.3 Pepino Cohombro (*Cucumis sativus* L.)

Esta especie es originaria de las regiones tropicales del sur de Asia, es una planta herbácea, trepadora y con tallos pelosos, de producción anual, las hojas tienen un largo pecíolo de forma acorazada que contiene de 3 a 5 lóbulos de forma triangular. Tiene flores de ambos sexos y con una polinización entomofílica, se sabe que las flores femeninas son solitarias, mientras que las masculinas crecen en grupos (Salama, 2006). El fruto es de forma alargada y con un tamaño de aproximadamente 15 cm (figura 4), posee un alto contenido de agua (97%) con poco contenido de lípidos, carbohidratos y proteínas, con alto contenido de vitamina C y B9.

Figura 4: Frutos de pepino cohombro *Cucumis sativus* (López, 2003)

Para *C. sativus* también se ha registrado la presencia pectina, mucílago, proteínas, carotenoides, saponinas, taninos, compuestos fenólicos, fitosteroles, triterpenos, cucurbitacinas (A, B, C, D, E e I), aminoácidos, minerales, entre otros compuestos (Salama, 2006). El pepino es usado medicinalmente como laxante, diurético, antipruriginoso, emoliente y para alteraciones renales

como cistitis, urolitiasis y oliguria. Es muy popular su uso tópico en los cuidados de la piel por sus propiedades antioxidantes, aclarantes y antiacné, su jugo y la pasta de pepino producen un efecto de refrigeración o enfriamiento en el cuerpo; además, ayuda a tratar problemas de dientes y encías, ayuda a aliviar problemas reumáticos y al crecimiento saludable del cabello (Canaria & Ramos, 2019; Barraza, 2015; Khulakpam, Singh & Rana, 2015).

5.3.4 Ahuyama (*Cucurbita maxima* Duch. Ex Lam)

Se considera una planta domesticada en Sudamérica, sin embargo, no hay un consenso claro del lugar de origen de domesticación de la planta. Presenta semillas grandes, chatas y ovadas con una masa que oscila entre los 50 mg para frutos cultivables pequeños, y 250 mg para frutos más grandes. La raíz principal puede llegar hasta 1,80 m de profundidad, y gracias a la distancia que alcanza la raíz central, la planta logra almacenar grandes cantidades de agua, lo que le confiere una propiedad de resistencia a la sequía. Sus hojas son pecioladas de gran tamaño, y presentan flores masculinas y femeninas. El fruto (figura 5), proviene de una polinización cruzada, y, en consecuencia, existe una amplia variedad entre características de los frutos (Correa et al., 2019).

Figura 5: Fruto inmaduro de ahuyama *Cucurbita maxima* (Tomado de: https://elcampesino.co/arepas-con-auyama-una-receta-versatil-y-nutritiva/ [consultada en julio de 2021])

En *Cucurbita maxima* se ha registrado la presencia de flavonoides, compuestos fenólicos, cucurbitina, β-caroteno, carotenoides, cucurbitacinas (B, D, E), fitoesteroles, carbohidratos,

vitaminas, entre muchos otros compuestos (Salama, 2006). Su interés e importancia ha aumentado en muchos países, incluido Colombia, debido a los diferentes usos de su fruto fresco, su uso en la agroindustria, su valor nutritivo, sus beneficios y propiedades medicinales y sus usos para hacer artesanías y la ornamentación. En Colombia su cultivo es muy frecuente en los pequeños productores y campesinos; su producción ha aumentado significativamente en la última década, donde en la región Caribe la producción, para el año 2010, fue de 9.072 toneladas, y en el 2017, aumentó hasta 50.751 toneladas, registrándose una participación del departamento de Córdoba en esta producción, solo desde el año 2016 (Correa et al., 2019).

En diferentes países del mundo, las semillas de *C. maxima* (ahuyama) son diuréticas y se han sido utilizadas como antihelmíntico, para tratar la depresión, problemas del tracto urinario, la gastritis, enteritis y cálculos renales (Rodríguez et al., 2018); las flores se han utilizado como tópico para suavizar heridas menores; la pulpa del fruto se utilizan para tratar quemaduras e inflamaciones; las hojas tiernas y brotes se consideran que tienen propiedades laxante (Khulakpam, Singh & Rana, 2015; Salama, 2006).

5.3.5 Calabaza (*Cucurbita pepo*)

Es una planta trepadora que se considera originaria de América, y también es cultivada en diversos países europeos y asiáticos (Dhiman et al., 2012). Los frutos y sus semillas (figura 6), se usan como alimento y, para aliviar algunos problemas relacionados a enfermedades (Salama, 2006). Cuenta con una raíz principal y unas raíces secundarias que se extienden sobre la superficie. Posee un tallo que puede alcanzar varios metros de longitud, de textura leñosa y áspera, con numerosos zarcillos que nacen junto al fruto. Sus hojas son palmeadas con bordes aserrados, pecioladas y que se encuentran cubiertas por pelusas. También se relata por ser una planta monoica,

de polinización entomófila o cruzada, por lo cual los frutos se diversifican entre otros, son bacciformes y varían en forma y tamaño (Jaramillo et al., 2019; Salama, 2006).

Figura 6: Fruto de calabaza *Cucurbita pepo* (Salama, 2006)

Dentro de los principales constituyentes químicos de esta especie se encuentran compuestos esteroidales, triterpenos, cucurbitacinas B, D, E, e I, compuestos fenólicos, mucílago, carbohidratos, aminoácidos, vitaminas (A, B1, C y E), fibra, minerales, entre otros compuestos (Salama, 2006). A esta planta se le han atribuido diversas propiedades medicinales, ha sido utilizada en el tratamiento de úlceras, fiebre, bronquitis, ictericia, sarampión, viruelas, malestar estomacal y estreñimiento, como vermífugo y también diurético, también en el tratamiento de lepra en humanos; el jugo de las semillas se emplea como antihelmíntico, las hojas sirven para el tratamiento de la tripanosomosis en animales (Ajuru & Nmom, 2017; Khulakpam, Singh & Rana, 2015).

5.4 Plagas que afectan las Cucurbitáceas

Las plagas son aquellas especies que, en su proceso de obtención de alimentos degradan y afectan los cultivos, generando así la destrucción de frutos y plantas. Las cucurbitáceas son susceptibles a múltiples plagas que pueden generar daño. Las principales plagas que afectan las cucurbitáceas se listan a continuación en la tabla 1, donde se puede apreciar los tipos de insectos, sus familias y el cultivo al que atacan. En este punto se observa que realmente son muchas las

plagas que pueden afectar a las cucurbitáceas, dichas afecciones pueden ir, desde dañar algunas partes de la planta o el fruto, hasta generar problemas tales como que la planta muera por la actividad natural del organismo parasitario. Existen casos de afecciones que reducen la tasa fotosintética de la planta al afectar la hoja, de tal manera que se ven afectadas las reservas energéticas de las plantas. En el caso de los gusanos cortadores se alimentan del tallo de la planta, generando así la muerte de la planta, pues incomunica los nutrientes y el agua obtenidos por la raíz con el resto de la planta, cuando muchos de estos gusanos logran proliferar pueden invadir y dañar grandes extensiones de cultivos (Crawford., 2017).

Tabla 1: Principales Plagas que afectan a la cucurbitáceas (Crawford., 2017)

Tipo de plaga	**Áfidos/ Pulgones**	**Trips**	**Mosca blanca**	**Araña roja**	**Minador de la hoja**	**Gusanos cortadores**
Orden	Hemiptera	Neoptera	Hemiptera	Trombidiformes	Diptera	Lepidoptera
Tipo de ataque	Pueden atacar a cualquier hortaliza. Se alimentan punzando las hojas y succionando la savia.	Se alimentan de cualquier planta que produzcan flores, chupando sus fluidos.	La mosca blanca se alimenta del tejido de las hojas, extrayendo la savia de la planta.	Penetran la epidermis y extraen la savia del envés del follaje de las hojas.	Atacan las hojas efectuando horadaciones de ondulaciones irregulares en forma de "S"	Atacan entre las últimas semanas de septiembre y las últimas semanas de diciembre donde se alimentan por la noche y se entierran durante el día. Atacan a la planta durante los primeros días de crecimiento.
Daño	Las hojas se enrollan hacia abajo y se arrugan, luego se marchitan. Ocasiona la reducción de la calidad y la cantidad de fruta	El daño se puede apreciar cuando afecta al fruto y cuando son muy extensos en las hojas (forman manchas plateadas que brillan en el sol)	Las plantas infectadas presentan menos vigor y las hojas se cubren de mielecilla. Además, las hojas se vuelven amarillentas y caen.	Las hojas ligeramente infectadas muestran manchas o erupciones pálidas transparentes. El envés de las hojas se cubre de tejido sedoso sobre el cual los ácaros se arrastran.	En las hojas más dañadas se reduce gravemente la eficacia fotosintética y las plantas pueden perder la mayor parte de las hojas. Además, reduce el rendimiento y el tamaño del fruto.	Principalmente cortan los tallos de las plantas a nivel del suelo. Algunas especies trepan la planta y se alimentan de las hojas. Adicionalmente algunas especies se alimentan del fruto de muchas cucurbitáceas.
Principales especies	*Aphis gossypii* *Myzus persicae*	*Frankliniella occidentalis*	*Bemisa tabaci* *Trialeurodes vaporariorum*	*Oligonychus mexicanus* *Tetranychus urticae*	*Liriomyza sativae* *Liriomyza trifolii*	*Diaphania nitidalis* *Diaphania hyalinata* *Trichoplusia ni* *Agrotis spp.* *Melittia cucurbitae*

5.4.1 Principales lepidópteros que afectan los cultivos de cucurbitáceas de interés

5.4.1.1 Insectos lepidópteros.

El orden Lepidoptera es conocido comúnmente como mariposas y comprende numerosas especies de insectos de diferentes tamaños y diversidades morfologías; dentro de este orden se encuentran más de 120.000 especies aproximadamente, que se distribuyen en todo el mundo. El término Lepidoptera proviene de las raíces griegas "*lepis"* escama y "*pteron"* alas, que son las que recubren el cuerpo del insecto; otra de las características de este orden es el aparato bucal que funciona como chupador o sifón el cual es utilizado para la ingesta de líquidos azucarados para su supervivencia (Frajia & Fajardo, 2006). Poseen una reproducción de tipo sexual, son ovíparos, donde ponen más de 4.500 huevos, realizan el proceso de metamorfosis (ciclo de vida) que consta de *huevo, larva, pupa y adulto* (figura 7). Se clasifican en dos subórdenes como son los homoneura que poseen igual nerviación en los dos pares de alas y el mismo tamaño y el suborden heteroneura que es distinta nerviación alar y diferente tamaño (Urretabizkaya, Vasicek & Saini, 2010).

Figura 7: Ciclo de vida de lepidópteras (Tomada de https://www.unprofesor.com/ciencias-naturales/metamorfosis-de-la-mariposa-y-sus-etapas-3027.html. [consultada en julio de 2021])

Un gran porcentaje de los daños a los cultivos son generados por las larvas de los lepidópteros, quienes se alimentan de las hojas y los frutos desde el momento de la eclosión, afectando los frutos a través de agujeros superficiales o comeduras, los cuales favorecen y aceleran el proceso de putrefacción del mismo, generando pérdidas de diferente importancia económica según la magnitud del cultivo y la magnitud de la plaga dentro de este (Urretabizkaya, Vasicek & Saini, 2010). El daño a las plantas también va a variar según la etapa en la que se encuentre el cultivo, siendo peor en las etapas tempranas donde pueden llegar a destruir completamente los brotes. Además de los brotes, de los frutos y hojas, también se alimentan de tallos y pecíolos abriendo galerías que interrumpen la circulación de la savia. Los brotes florales también son barrenados impidiendo la producción de frutos. Los insectos del orden Lepidoptera consumen tanto tejidos vegetales como sus estructuras, desde tallos y hojas hasta raíces, frutos y semillas (Gómez, 2014).

El ataque de los lepidópteros al igual que el de la mayoría de las plagas agrícolas, implican la reducción en el valor o en el beneficio económico que se obtiene de la cosecha; puede tratarse de reducciones en cantidad de la cosecha, en la calidad del producto, o en el incremento de los costos de producción, por lo que el conocimiento de estas plagas constituye la base para el ordenamiento y planificación de los cultivos, de tal manera que esto permita optimizar su gestión, tecnificación y producción en la perspectiva de la rentabilidad, competitividad, adaptabilidad y sustentabilidad (Bernal & Medina, 2018).

5.4.1.1.1 *Algunas técnicas de control para lepidópteros.*

Durante décadas, el manejo de plagas de lepidópteros se ha realizado predominantemente con insecticidas convencionales de amplio espectro, como clorpirifos, cipermetrina, flubendiamida, metomilo, lufenurón, entre otros, los cuales presentan algunas

desventajas como son la persistencia, el impacto ambiental, la toxicidad, el impacto negativo sobre los organismos no objetivo, y el desarrollo de resistencia a estos compuestos por parte de los insectos, lo que ha ocasionado que el uso de estas sustancias sea menor y tengan cada vez más restricciones (Suckling et al., 2017; Chatterjee & Mondal, 2012). Con esta problemática se ha hecho necesario buscar nuevas alternativas para el manejo de las plagas de lepidópteros, tecnologías o estrategias que sean más amigables con el ambiente y además tengan mayor aceptación social y menos riesgo toxicológico.

Algunos de estos métodos alternativos de control, involucran el uso de cultivos transgénicos y controles con la bacteria comercial *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Abbas, 2018), que es un bacilo Gram positivo que durante su fase de esporulación produce proteínas Cry, que son tóxicas para algunos insectos de los órdenes Lepidoptera, Coleoptera y Diptera, como ejemplo puede mencionarse el control de *Spodoptera frugiperda* (Smith) con cultivos transgénicos de algodón, maíz, entre otros (Machado et al., 2020; Abbas, 2018; Portela, 2013). De igual manera, hay controles biológicos con organismos parásitos, entomopatógenos y especies depredadoras, especialmente de las larvas como, por ejemplo, el hongo entomopatógeno *Metarhizum anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin, depredadores de la familia Coccinellidae como el escarabajo *Cycloneda sangunea* (Linnaeus), algunos parasitoides como la avispa *Telenomus remus* (Nixon) (Hernández-Trejo et. al, 2020; Acuña et al., 2015).

Otra alternativa para el control de lepidópteros, involucra el uso de trampas con feromonas sexuales de insectos, y constituye una opción de control más reciente respecto a las anteriores, que cada vez está más disponible comercialmente, y puede ser usadas en combinación con otras técnicas de control (Suckling et al., 2017). Las feromonas,

especialmente las sexuales, resultan muy útiles para hacer control, seguimiento y detección de plagas, y además representa menores riesgos toxicológicos para el ambiente, los organismos no objetivos y los agricultores. Teniendo en cuenta el origen natural de estas moléculas y la volatilidad que presentan, pueden actuar a grandes distancias y rápidamente, no afectan negativamente a los enemigos naturales u organismos no objetivo y, por lo tanto, pueden provocar una reducción a largo plazo en las poblaciones de insectos que no se puede lograr con los insecticidas convencionales (Witzgall, Kirsch & Cork, 2010).

Cabe destacar que todos estos métodos de control son complementados con controles preventivos, culturales y físicos, siendo una opción dentro de estos, los métodos "push-pull" (Cook et al., 2007; Hassanali et al., 2008), que consisten en el uso de un cultivo trampa (pull) y un cultivo intercalado disuasorio (push) para evitar que la plaga se asiente en el cultivo principal (Cook et al., 2007). El cultivo trampa debe ser preferido para la ovoposición sobre el cultivo principal y el cultivo intercalado debe ser un disuasivo, que estimulará el movimiento hacia otra parte para la ovoposición (Potting, Perry & Powell, 2005).

Esta estrategia se ha utilizado en algunos sistemas para combatir las plagas de lepidópteros y disminuir los daños por la alimentación de las larvas en el cultivo principal. Un ejemplo de este es la gestión eficaz del barrenador del tallo *Chilo partellus* (Lepidoptera: Crambidae) en el maíz (*Zea mays*) mediante el uso del pasto Napier (*Pennisetum purpureum*) como cultivo trampa y el pasto de melaza (*Melinis minutiflora*) como cultivo intercalado (Cook et al., 2007; Khan et al., 2010). En este sistema las hembras adultas prefieren poner sus huevos en el pasto Napier y son repelidas por el pasto de melaza lo que conlleva a una menor ovoposición en el maíz (Leiner & Spafford, 2016).

5.5 Principales plagas de lepidópteros de las cucurbitáceas

Dentro de este apartado se enuncian los principales lepidópteros que representan un riesgo para los cultivos de cucurbitáceas de mayor interés en la costa Caribe, en general, y en otras regiones de Colombia.

5.5.1 Gusano del melón (*Diaphania hyalinata* Linnaeus)

El gusano del melón pertenece a la familia Crambidae; pueden encontrarse especímenes en Suramérica, Norteamérica y en el Caribe; su envergadura es de aproximadamente 27 a 30 mm, posee unas alas de color blanco, bordeadas de una banda ancha de color café oscuro (figura 8), la larva ataca generalmente las flores, los cogollos y las hojas de los cultivos. Los daños causados por esta plaga pueden generar pérdidas económicas considerables puesto que las larvas pueden deshojar completamente la corteza de las plantas, dejando únicamente las vainas de las hojas; además de esto, pueden llegar a afectar las flores y reducir la cantidad de frutos (Capote et al, 2019; Tercero, 2018; Qureshi, Seal & Webb, 2017).

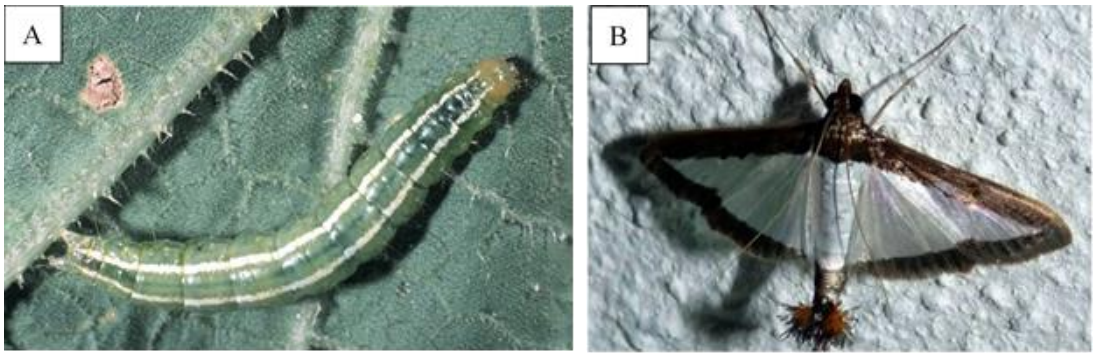

Figura 8: a) Larva y b) adulto de *Diaphania hyalinata* (Alton, 2003 y Marzano, s.f.)

Esta polilla completa su desarrollo en 15 días, permaneciendo en estado larvario entre 9 y 10 días; además, está distribuida en Colombia debido a que prefiere climas cálidos y

templados, atacando los cultivos de cucurbitáceas como *Cucumis sativus, Cucumis melo, Cucurbita maxima*, entre otros (Capote et al, 2019; Tercero, 2018; Qureshi, Seal & Webb, 2017). Para lograr una intervención eficaz del gusano del melón, los agricultores revisan las plantas regularmente para ver signos de daño o presencia de larvas. Con esta plaga, el uso de *Bacillus thuringiensis* es muy efectivo. Uno de los manejos a nivel cultural es la plantación de cultivos "cebo" que sean preferidos por esta polilla (Sharma, 2016).

5.5.2 Barrenador del pepino (*Diaphania nitidalis* Stoll)

El Barrenador del pepino es una plaga agrícola que se encuentra en climas tropicales, perteneciente la familia Crambidae, registrando su presencia en Hawái, América del Norte (principalmente en el sureste de los Estados Unidos), Sur- y Centroamérica, y las Indias Occidentales (Leiner & Spafford, 2016). El gusano adulto es una polilla muy llamativa que tiene alas triangulares anchas de color marrón con bordes blancos y amarillos (figura 9). Las polillas son activas solamente en la noche, las hembras tras pocos días pueden empezar a poner huevos en grupos de 2-7, principalmente en los tallos y las flores de las plantas. Cada hembra puede llegar a poner de 300 a 400 huevos, y posteriormente estas larvas se ubican usualmente dentro de la planta y por esto es más difícil su control (Leiner & Spafford, 2016).

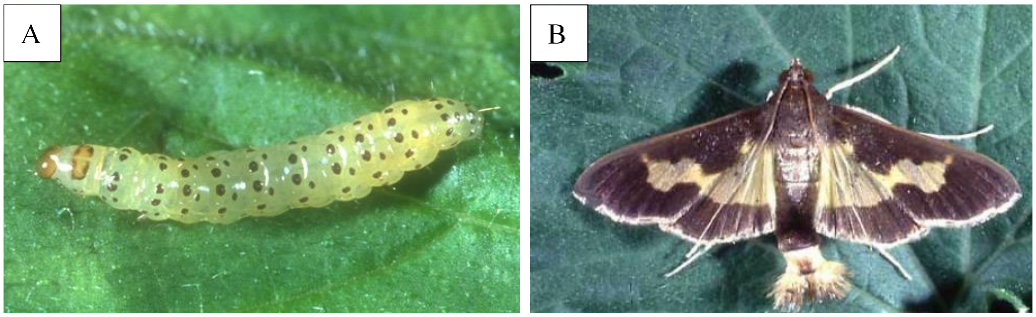

Figura 9: a) Larva y b) adulto de *Diaphania nitidalis* (Capinera, 2001)

Esta polilla es la plaga más importante de las Cucurbitáceas, debido a que sus larvas apenas eclosionan se alimentan de tejidos vegetativos, brotes y flores, mientras que las larvas

más viejas tienden a alimentarse de frutos o hacer túneles en los tallos si no encuentran frutos disponibles (Leiner & Spafford, 2016), pudiendo ser identificadas, algunas veces, gracias a que alrededor de su sitio de alimentación hay hilos de seda y están llenos de excrementos; ataca los frutos de cualquier tamaño realizando agujeros en su interior, ocasionando la pérdida de este (Yepes, 2001).

Las larvas de *D. nitidalis* se controlan principalmente mediante aplicaciones semanales de insecticidas tales como benzoato de emamectina, esfenvaletato, permetrina, bifentrina, endusolfan, metomilo, carbaril y malatión, considerándose una práctica insostenible (Arévalo, 2017; Leiner & Spafford, 2016). Además, como en algunas ocasiones no es evidente detectar la presencia de las larvas, los huevos y los mismos insectos adultos, muchos agricultores prefieren usar estos insecticidas apenas comienza a florecer el cultivo (Pozo et al, 2005). De igual manera se ha planteado el uso de estrategias push-pull, con cultivos de otras cucurbitáceas, también hacer controles biológicos con depredadores como *Clasoma spp.* Harpalus, *Chauliognatus pennsylvanus* DeGeer, el nemátodo *Steinemema carpocapsae* Weiser y parasitoides como *Apanteles sp, Hypomicrogaster infesta* (Cresson), *Temelucha sp* y algunos Trichogramatidos, acompañando siempre todas estas técnicas con el control manual o cultural (Arévalo, 2017; Leiner & Spafford, 2016; Pilarte, 2016)

5.5.3 Gusano barrenador de la calabaza *(Melittia cucurbitae* Harris*)*

El barrenador de la calabaza es una especie de polilla diurna y se considera una de las plagas más importantes de cultivos del género *Cucurbita*, tales como *C. pepo* y *C. maxima*, y una plaga menor de *Cucumis sativus*, *Cucumis melo* y *Citrullus lanatus* (San Martín et al., 2019). Solo las larvas de este insecto causan daños a las plantas (figura 10), ya que se introducen en los tallos de las plantas, especialmente los tallos principales, e interrumpen el

flujo de xilema y floema, lo que hace que su hospedador se marchite a medida que el agua y los nutrientes no fluyen al resto de la planta, además si están presentes varias larvas en el tallo, pueden cortarlo completamente o también facilitar el ataque o infección por patógenos oportunistas (Middleton, 2018).

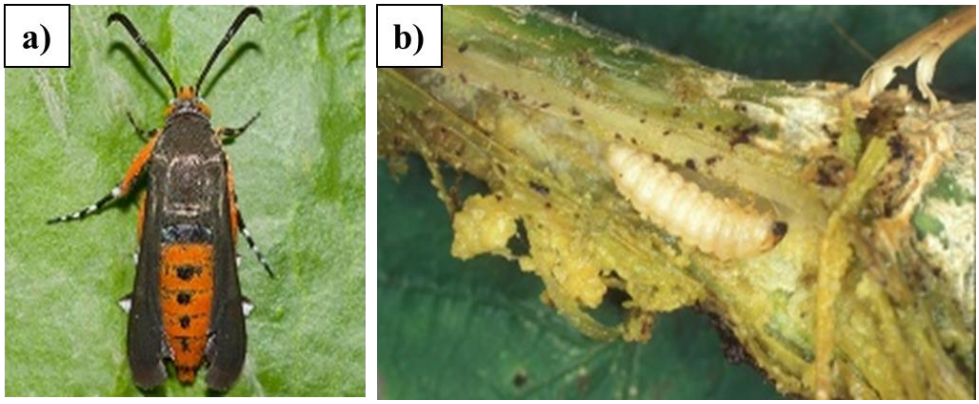

Figura 10: a) Adulto y b) Larva de gusano barrenador *Melittia cucurbitae* (Capinera, 2001)

El ataque de *Melittia cucurbitae* puede disminuir en un 25% el rendimiento en cultivos comerciales, mientras que en cultivos familiares puede ocasionar pérdidas del 50 al 100% de las plantas afectadas (San Martín et al., 2019). El control de este insecto resulta problemático puesto que este se introduce en los tallos de las plantas, de modo que es importante hacer un control manual haciendo un corte vertical en el tallo y sacando las larvas encontradas, tomando los posteriores correctivos y haciendo las curaciones que correspondan.

En el control químico se usan plaguicidas como permetrina, bifentrina, esfenvalerato y zetacipermetrina, Spinosad, entre otros, los cuales han demostrado ser bastante efectivos contra las larvas y los huevos de *M. cucurbitae* (Middleton, 2018). Otras formas de control contra este insecto pueden ser trampas de feromonas, disponibles comercialmente, trampas de alambre, medidas culturales como la quema del cultivo y evitar cultivar en la misma zona, cubrir con mantas los cultivos recientes y la utilización de insecticidas y de *Baccillus thurigiensis* (Sharma, 2016). Algunos insecticidas biológicos como B.t. (Dipel) puede ser

inyectado en los tallos de las calabazas, sin embargo, generalmente no es efectivo porque las larvas están protegidas dentro de la planta (Middleton, 2018)**.**

5.5.4 Gusano medidor de la soya (*Trichoplusia ni* Hübner)

El gusano medidor de soya, pertenece a la familia de las polillas Noctuidae, su nombre deriva de la marca que lleva en sus alas anteriores que tienen una semejanza a la letra griega ni; se considera una especie generalista que puede atacar a más de 160 especies distribuidas en 36 familias de plantas (Coapio et al., 2016). Estas larvas (figura 11a) atacan principalmente a la soya (*Glycine max* L.), de donde proviene su nombre común, pero también pueden atacar cultivos de cucurbitáceas como, por ejemplo, los de melón (*Cucumis melo*) y sandía (*Citrullus lanatus*) (Coapio et al, 2016). Las larvas roen la cutícula de las hojas y a medida que se desarrollan producen perforaciones irregulares, consumiendo toda la hoja y dejando solo la nervadura. En Colombia, esta plaga se presenta principalmente en la Costa Atlántica (Valadez, 2011 NO CORRESPONDE).

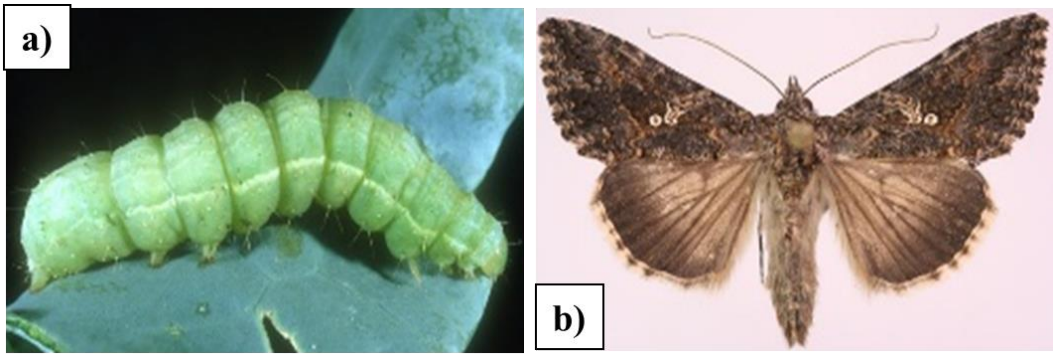

Figura 11: a) Larva y b) Adulto de *Trichoplusia ni* (Capinera, 2001)

Desde hace varias décadas se han utilizado numerosos insecticidas para controlar esta plaga y se ha vuelto resistente a muchos insecticidas sintéticos, aunque comúnmente se emplea metamidofos, endosulfan, entre otros (Hinestroza, 2018 CAMBIAR), por lo que el apoyo con otros métodos de control se vuelve indispensable con este insecto. El *Bacillus*

thuringiensis es comúnmente usado como alternativa biológica a los plaguicidas convencionales, tiene alta especificidad por la oruga de esta plaga y es inofensivo para otros insectos benéficos, sin embargo, solo las larvas pequeñas son sensibles a esta bacteria, aunque ya se ha registrado el desarrollo de una fuerte resistencia de este insecto a *B. thuringiensis* (Qureshi, Seal & Webb, 2017; Du et al., 2015; Janmaat & Myers, 2003). Otro control biológico efectivo es a partir de pequeñas avispas parasitarias, como las del género *Trichogramma*, que son las más utilizadas en el continente americanos, especialmente en Norteamérica (Jeffers, 2019).

5.5.5 Gusano trozador negro (*Agrotis ipsilon* Hufnagel)

El gusano trozador negro pertenece a la familia Noctuidae, adopta este nombre debido a las marcas negras en sus alas anteriores que tienen forma de ‘‘Y’’ que se asemeja a la letra griega épsilon (figura 12). Es una plaga polífaga que se alimenta de casi todas las variedades de hortalizas y muchos granos importantes, atacando principalmente a las curcubitáceas, crucíferas y solanáceas; sin embargo, también pueden atacar a otras especies de diferentes familias de plantas, como el maíz y la soya, y está ampliamente distribuida a nivel mundial (de Oliveira et al., 2018). Esta plaga es un insecto nocturno, durante el día, el insecto permanece enterrado en el suelo protegidos de la luz solar, lo que dificulta verlo y en consecuencia tomar medidas de control adecuadas y a tiempo causando así grandes pérdidas en los cultivos hasta del 80%, ya que además tiene una amplia gama de hospederos, incluidas las malezas, su puesta de huevos es prolongada y puede migrar a larga distancia (Yuksel & Canhilal, 2018).

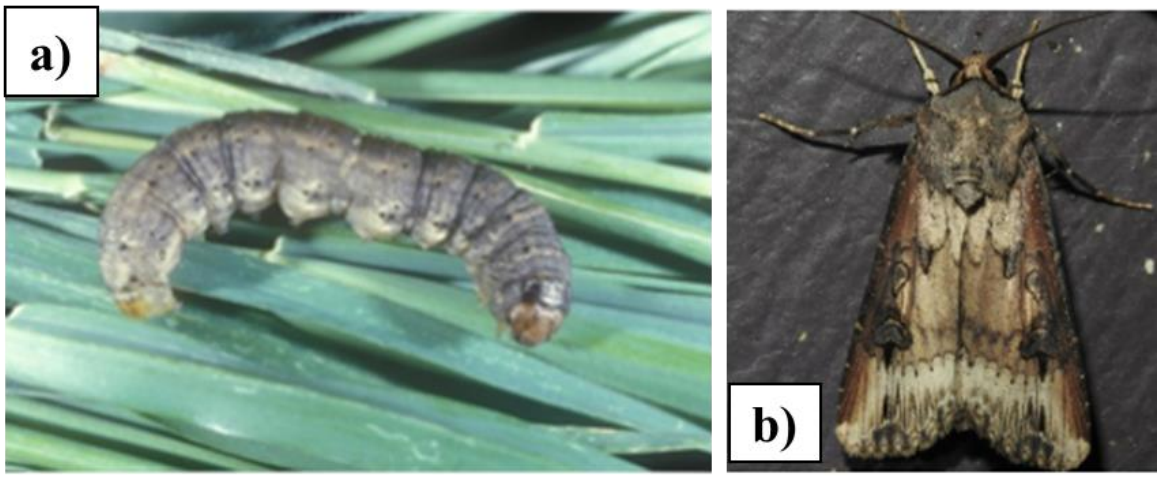

Figura 12: a) Larva y b) Adulto *Agrotis ípsilon*. Tomado de (https://colombia.inaturalist.org/taxa/126276-Agrotis-

El principal daño causado por estas larvas es irreversible, ya que cortan los tallos de las plantas por el cuello a nivel del suelo, por las noches, aunque, algunos individuos pueden trepar a la planta y alimentarse de las hojas (Yuksel & Canhilal, 2018). Existen diferentes controles para este tipo de gusano, como es el extracto acuoso de ají (*Capsicum annuum*) en el cultivo, que ha demostrado ser eficaz para esta plaga. El control químico utilizado contra las larvas de *A. ipsilon* puede realizarse con agroquímicos como clorpirifos, metamidofos, metomilo, malatión o paratión, aunque a menudo no es efectivo y sigue siendo inadecuado para el control de esta plaga debido a su comportamiento de ocultación de las larvas durante las horas del día y la resistencia a la mayoría de los químicos (Capinera, 2001; Takeda, 2008; Laznik y Trdan 2012).

El control biológico de esta especie puede hacerse con avispas del género Thymebatis, con las especies *Apanteles bourgini* (Blanch), *Zophion gravidus*, *Gonia lineata* (Macquart) y *Calosoma argentinense* (Csiki); con nemátodos entomopatógenos como *Steinernema carpocapsae* (Weiser) y *S. scapterisci* (Nguyen & Smart), y *Heterorhabditis bacteriophora*

(Poinar); con los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* (Ibrahim, 2019; Shairra, Hassan & Ibrahim, 2016).

5.6 Feromonas

El término feromona fue propuesto por los químico Karlson y Lüsher en el año 1959, con el objetivo de definir unas sustancias las cuales son producidas por algunos organismos y que son percibidas por organismos de la misma especie con el fin de producir reacciones específicas en el comportamiento de estos, con propósitos de defensa, alarma, marcaje o atracción, tanto con fines de apareamiento como de agregación (Czaja et al., 2015). Las feromonas hacen parte de los compuestos llamados semioquímicos y se han clasificado en ocho tipos diferentes: feromonas de agregación, feromonas de alarma, feromonas disuasorias de oviposición, feromonas de reconocimiento doméstico, feromonas sexuales, feromonas de rastro, feromonas de reclutamiento y feromonas reales (Abd El-Ghany, 2019).

Recientemente las feromonas y otros semioquímicos se han convertido en importantes herramientas para desarrollar estrategias en el Manejo Integrado de Plagas (MIP), siendo las feromonas sexuales las más empleadas para este fin, pudiendo usarse solas o en compañía de otros mecanismos para monitorear y controlar insectos, ya que presentan considerables ventajas frente a los plaguicidas convencionales, porque se caracterizan por su alta especificidad contra una o varias especies de insectos, además de tener una aplicación segura para la salud humana aún en altas concentraciones y permiten examinar el tamaño de las poblaciones de plagas o atraer poblaciones de estas para posteriormente aplicar un tratamiento de eliminación adecuado (Abd El-Ghany, 2019).

Actualmente existe un gran número de semioquímicos conocidos, en la base de datos *The Pherobase* (El-Sayed, 2021) se registran más de 3500 compuestos, entre feromonas y

otros semioquímicos, para más de 7000 especies, con una gran variedad estructural que en su mayoría son relativamente sencillas, con diferentes funcionalidades químicas como carboxílicos, carbonílicos, epóxidos, alcoholes, quinonas, compuestos azufrados, entre muchos otros; y con pesos moleculares variables. En general, estos compuestos, incluyendo las feromonas, pueden ser volátiles o no volátiles, tener entre 5 y 20 átomos de carbono en su estructura y pesos moleculares entre 80 y 400 uma, con un peso superior la volatilidad podría disminuir significativamente y con ello su capacidad de permitir comunicación a larga distancia entre organismos (Islam, 2012).

5.6.1 Feromonas sexuales de lepidópteros

Los insectos lepidópteros dispersan una mezcla de compuestos de cadenas lineales, con una composición o proporción constante, generalmente secretados por hembras vírgenes para atraer a los machos, aunque se conocen pocos casos donde es el macho quien libera la feromona sexual (Ando y Yamakawa, 2011; Ando, Inomata & Yamamoto, 2004). Las mezclas de feromonas en la naturaleza se aíslan en cantidades muy pequeñas, las hembras pueden llegar a segregar alrededor de un nanogramo varias veces por minuto (Islam, 2012), haciendo muy difícil la determinación estructural de los compuestos, especialmente si presentan estereoquímica en sus estructuras, así como también resulta complicado la realización de ensayos biológicos o pruebas en campo para su uso en el control de plagas. Para solucionar estos inconvenientes se ha hecho uso de una de la síntesis orgánica, la cual ha permitido obtener estas mismas moléculas biológicamente activas, conociendo su configuración absoluta y así mismo poder contar con cantidades adecuadas para la realización de ensayos requeridos tanto en el laboratorio como en el campo (Mori, 2014).

Las feromonas sexuales más representativas de los insectos del orden Lepidoptera se dividen en tres grupos: tipo I, tipo II y otros (figura 13). En las de **tipo I**, se encuentra casi el 75% de las feromonas de lepidópteros conocidas, y son alcoholes primarios (y sus derivados) con largas cadenas entre 10 y 18 átomos de carbono. Dentro de las feromonas de **tipo II** se encuentra casi el 15% de las feromonas de lepidópteros y son hidrocarburos poliinsaturados con largas cadenas entre 17 y 23 átomos de carbono (casos excepcionales de hasta 27 carbonos) y sus derivados epoxídicos. Además, algunos lepidópteros segregan compuestos con cadenas ramificadas con grupos metilos y grupos funcionales como el de cetonas y alcoholes secundarios, perteneciendo a un tercer grupo (otros) (Ando y Yamakawa, 2011; Ando, Inomata & Yamamoto, 2004).

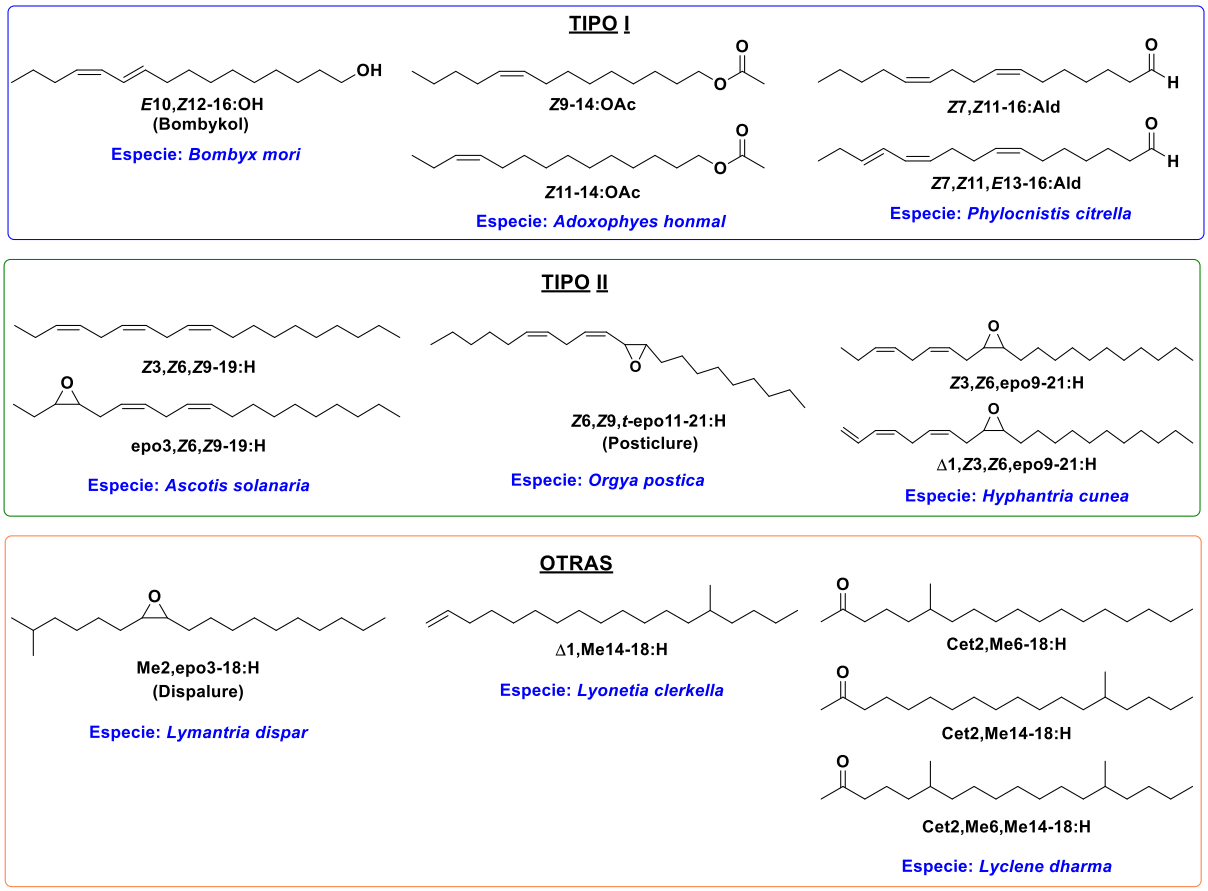

Figura 13: Clasificación de las feromonas sexuales de los lepidópteros (Adaptado de Ando, Inomata & Yamamoto, 2004).

Es probable que cada especie diseñe su propia feromona de manera diferente al cambiar el número de carbono de la cadena, el tipo de la función grupo, y/o el número, la posición, y la configuración de un doble enlace, sin embargo, la variación de la estructura química es limitada. Además, se considera que, si es posible identificar e imitar este aroma que emiten las hembras, a través de la feromona, se podrá controlar a los machos de la especie y así interrumpir la reproducción de estos insectos (Ando, Inomata & Yamamoto, 2004).

5.6.1.1 Feromonas sexuales de los principales lepidópteros de las cucurbitáceas en Colombia

5.6.1.1.1 Feromona sexual de Diaphania hyalinata.

Raina y colaboradores (1986) encontraron que la feromona sexual de *D. hyalinata* era emitida por las hembras de la especie y consistía en una mezcla de varios compuestos de cadena lineal y funciones químicas oxigenadas; para esto obtuvieron el extracto de heptano de los segmentos abdominales terminales de las hembras, donde está la glándula que segrega la feromona. En el estudio de este extracto se identificaron diez compuestos con cadenas de 16 átomos de carbonos, de los cuales, principalmente seis compuestos (figura 14) son los responsables de la atracción sobre los machos de la especie (Raina et al., 1986; El-Sayed et al., 2021), siendo mayoritarios los aldehídos (*E*)-11-hexadecenal 1 y (*E,E*)-10,12-hexadecedienal 2, con una proporción relativa de 50.4 % y 39.1%, respectivamente.

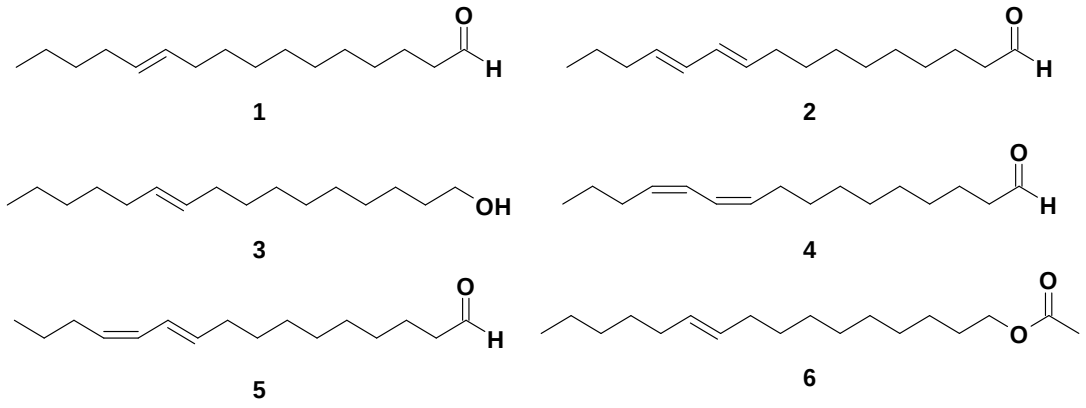

Figura 14: Principales componentes de la feromona sexual de *D. hyalinata*

Los otros cuatro compuestos se encuentran con una proporción menor del 2%, siendo ellos el (*E*)-11-hexadecenol **3** (1.8%), (*Z*,*Z*)-10,12-hexadecedienal **4** (0.5%), (*E*,*Z*)-10,12-hexadecedienal **5** (0.3%) y acetato de (*E*)-11-hexadecenilo **6** (0.1%). Los otros compuestos identificados a partir del extracto de heptano, fueron el derivado hidroxilado del compuesto **2** (2%) y su correspondiente acetato (0.1%), así como el hexadecanal **7** (5.2%) y su derivado reducido hexadecanol **10** (0.4%).

5.6.1.1.2 Feromona sexual de Diaphania nitidalis.

La identificación de los componentes de la feromona de esta especie se hizo a partir del extracto de heptano de los ovipositores de hembras adultas (Klun et. al, (1986), encontrando una mezcla de siete compuestos, con estructuras muy similares a los componentes de la feromona de *D. hyalinata*, siendo el compuesto mayoritario el aldehído (*E*)-11-hexadecenal **1** (75%), seguido del hexadecanal **7** (17.5%) (figura 15), y en menor proporción el (*Z*)-11-hexadecenal **8** (3.3%), el alcohol (*E*)-11-hexadecenol **3** (2.1%) y su isómero (*Z*)-11-hexadecenol **9** (>1%), el hexadecenol **10**, y el dieno (*E*,*Z*)-10,12-hexadecedienal **5**. De los siete compuestos identificados, solamente el aldehído **7** y el alcohol

10 no son indispensables en la atracción que tiene la feromona sexual sobre los machos de esta especie.

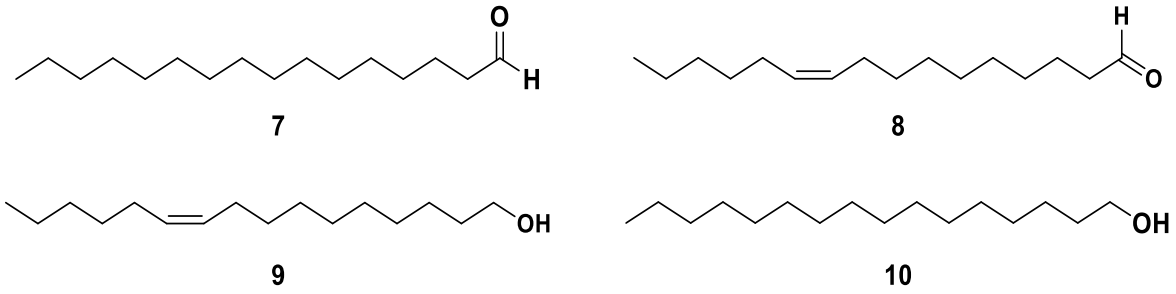

Figura 15: Algunos componentes de la feromona sexual de *D. nitidalis*

5.6.1.1.3 Feromona sexual de Melittia cucurbitae.

Klun y colaboradores (1990) en su investigación sobre la feromona sexual de las hembras de *M. cucurbitae*, al analizar el extracto de los ovopositores de las hembras adultas, encontraron que la feromona consistía de una mezcla de aproximadamente trece compuestos con cadenas de 16 y 18 átomos de carbono, casi todos son compuestos acetilados con uno o dos dobles enlaces en su estructura. El acetato de *E*,*Z*-2,13-octadecadienilo **11** es el compuesto mayoritario (68.5%), y junto con el acetato de *Z*,*Z*-3,13-octadecadienilo **12**, un compuesto minoritario en esta mezcla (0.1%), son los responsables de la atracción sobre el macho de esta especie (figura 16). Se destaca la presencia de varios compuestos con sistema diénico y que corresponden a isómeros entre sí.

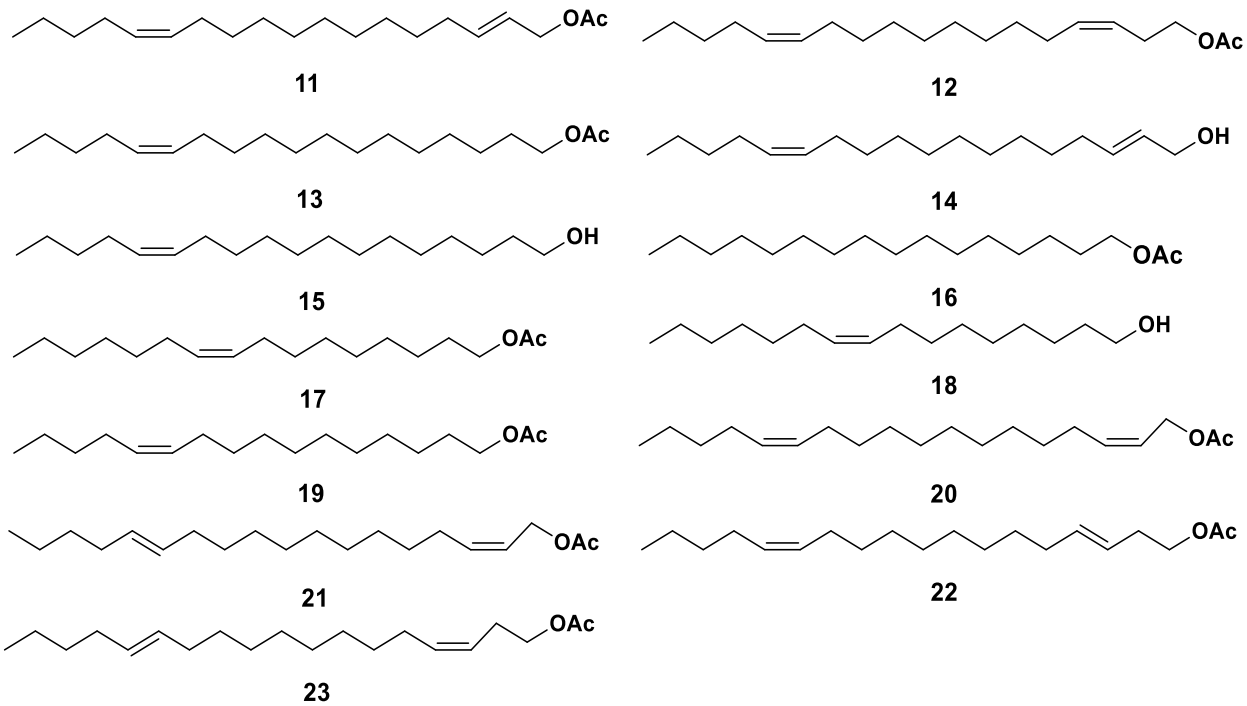

Figura 16: Principales componentes atrayentes de la feromona sexual de *M. cucurbitae*

Los otros compuestos identificados corresponden a acetato de *Z*-13-octadecenilo **13** (16.5%), *E*,*Z*-2,13-octadecadienol **14** (9.1%), *Z*-13-octadecenol **15** (3.4%), acetato de hexadecanilo **16**, acetato de *Z*-9-hexadecenilo **17** y su correspondiente alcohol **18**, acetato de *Z*-11-hexadecenilo **19**, acetato de *Z*,*Z*-2,13-octadecadienilo **20**, acetato de *Z*,*E*-2,13-octadecadienilo **21**, acetato de *E*,*Z*-3,13-octadecadienilo **22** y su isómero el acetato de *Z*,*E*-3,13-octadecadienilo **23** , estos últimos compuestos tuvieron una proporción en la mezcla, menor del 1%.

5.6.1.1.4 Feromona sexual de Trichoplusia ni.

Diferentes autores han realizado estudios sobre la composición de la feromona sexual de *T. ni*, una de estas investigaciones fue la realizada por Bjostad y colaboradores (1984), donde se presenta una mezcla de compuestos mucho más completa que la publicada por otros autores. Estos autores identificaron catorce compuestos presentes en esta feromona, con

cadenas de 12, 14 o 16 átomos de carbono, con grupos hidroxilos, algunos de ellos acetilados, y la mayoría de estos compuestos presentan dobles enlaces carbono-carbono en su estructura. De todos estos compuestos identificados, solo seis son los principales y responsables de ejercer la atracción (figura 17), siendo ellos acetato de (*Z*)-7-dodecenilo **24**, el cual es el mayoritario (~90%), acetato de (*Z*)-5-dodecenilo **25** (7.7%), acetato de dodecanilo **26** (4.7%), acetato de 11-dodecenilo **27** (2.9%), acetato de (*Z*)-7-tetradecenilo **28** (0.4%) y acetato de (*Z*)-9-tetradecenilo **29** (0.3%).

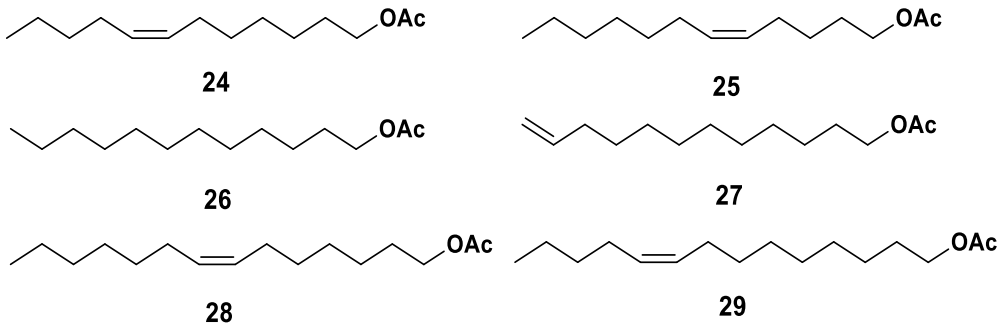

Figura 17: Principales componentes atrayentes de la feromona sexual de *T. ni*

Los otros componentes de la feromona se encontraron en una proporción menor al 1% y corresponden a acetato de (*Z*)-7-tetradecenilo, acetato de tetradecanilo, acetato de (*Z*)-11-hexadecenilo **30**, acetato de hexadecanilo, dodecanol, (*Z*)-5-dodecenol, (*Z*)-7-dodecenol y 11-dodecenol.

5.6.1.1.5 Feromona sexual de Agrotis ipsilon.

Gemeno y Haynes (1998) presentaron la feromona sexual de *A. ipsilon* como una mezcla de tres compuestos de 12, 14 y 16 átomos de carbonos y un grupo oxigenado acetilado, siendo ellos el acetato de (*Z*)-7-dodecenilo **24**, acetato de (*Z*)-9-tetradecenilo **29** y acetato de (*Z*)-11-hexadecenilo **30** (figura 18). Estos tres componentes son indispensables

para la atracción sobre el macho de esta especie, aunque otros autores solo han publicado como componentes principales, los acetatos **24** y **29** (El-Sayed, 2021)

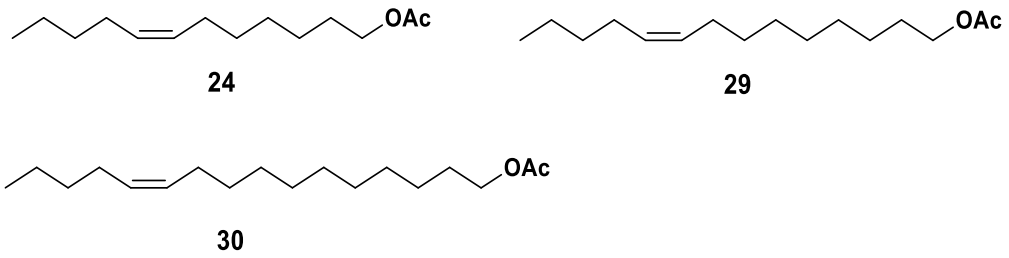

Figura 18: Componentes principales de la feromona sexual de *A. ipsilon*

5.7 Principales estrategias sintéticas para obtener feromonas sexuales de lepidópteros

5.7.1 Síntesis de feromonas

El uso de la síntesis orgánica en la obtención de las feromonas de insectos para su uso agrícola se mantiene en un constante desarrollo debido a que la obtención de estas sustancias debe ser lo más eficiente posible y lo más económicamente asequible para que pueda generar interés en el uso de estos compuestos para el control de plagas, y resulten ser atractivas a nivel industrial y puedan ser producidas a gran escala, ofreciendo así una mayor disponibilidad de estos productos en el mercado a un precio que les permita competir con los tratamientos que emplean agroquímicos convencionales; como por ejemplo, lo ocurrido con una de las primeras feromonas sintéticas comercializadas, *la codlemona*, usada para el control de la polilla de la manzana (*Cydia pomonella*), cuyo precio inicialmente era muy alto pero con el desarrollo de rutas sintéticas eficientes, pudo comercializarse en gran cantidad y a un precio razonable (menos de 1000 US/kg) (Bento et al., 2016).

Debido a que estos compuestos se encuentran en la naturaleza en cantidades muy pequeñas (de µg a mg), es necesario recurrir a la síntesis orgánica para así poder obtener una cantidad adecuada de ellas y poder realizar los estudios, investigaciones y ensayos de

atracción que permitan proponerlas como técnicas de control de plagas, especialmente cuando son moléculas con características estructurales determinantes para la atracción, tales como la presencia de dobles enlaces carbono-carbono o centros quirales, donde la estereoquímica juega un papel crucial (Mori, 2014). Uno de los pioneros en los estudios de síntesis de feromonas es el profesor Kenji Mori, que ha recopilado diversos ejemplos de la química de feromonas a través de los años, y cuyas investigaciones permiten apreciar el aporte de las diversas metodologías sintéticas clásicas y novedosas, aplicadas para obtener una amplia gama de feromonas con gran diversidad estrutural (Mori, 2014; Mori, 2007; Mori, 2005; Mori, 2004, Mori & Tashiro, 2004).

La presencia de las insaturaciones, especialmente los dobles enlaces carbono-carbono (figura 13), es una característica común en la mayoría de las feromonas conocidas de lepidópteros, por lo tanto, al desarrollar rutas sintéticas para obtenerlas, la formación de estos enlaces representa un reto, debido a que debe conservarse la configuración (*E* o *Z*) de estos enlaces. La formación de los dobles enlaces carbono-carbono es importante en la síntesis orgánica, no sólo porque el compuesto sintetizado lo requiera, sino también porque la formación del doble enlace permite la introducción de una amplia variedad de grupos funcionales (Carruthers & Coldham, 2004). Dentro de los métodos utilizados para obtener dobles enlaces carbono-carbono se destacan principalmente las reacciones de eliminación, la alquenación de compuestos carbonílicos, donde se encuentra la reacción de Wittig, y la reducción de alquinos (Parashar & Parashar, 2008).

5.7.2 Estrategias de formación de dobles enlaces carbono-carbono

5.7.2.1 Reacción de Wittig.

Una valiosa herramienta de la síntesis orgánica, es la reacción de Wittig, esta convierte un grupo carbonilo en un enlace doble carbono-carbono, de manera simple, efectiva y es específica en cuanto a la ubicación del doble enlace, ya que no forma regioisómeros como puede ocurrir con una reacción de eliminación (Parashar & Parashar, 2008).

Una gran variedad de alquenos puede ser sintetizada mediante esta reacción que ocurre en condiciones anhidras, la cual se da cuando un aldehído o una cetona reacciona con el iluro de fósforo (reactivo de Wittig) correspondiente (figura 19a). Este iluro debe ser preparado in situ, a partir de la sal de fosfonio, que a su vez puede prepararse previamente o adquirirse comercialmente. La cicloadición [2+2] entre el compuesto carbonílico y el iluro forma un intermedio cíclico de cuatro miembros, un oxafosfetano, que luego se descompone para formar el óxido de fosfina, el cual es un compuesto muy estable (Byrne & Gilheany, 2013).

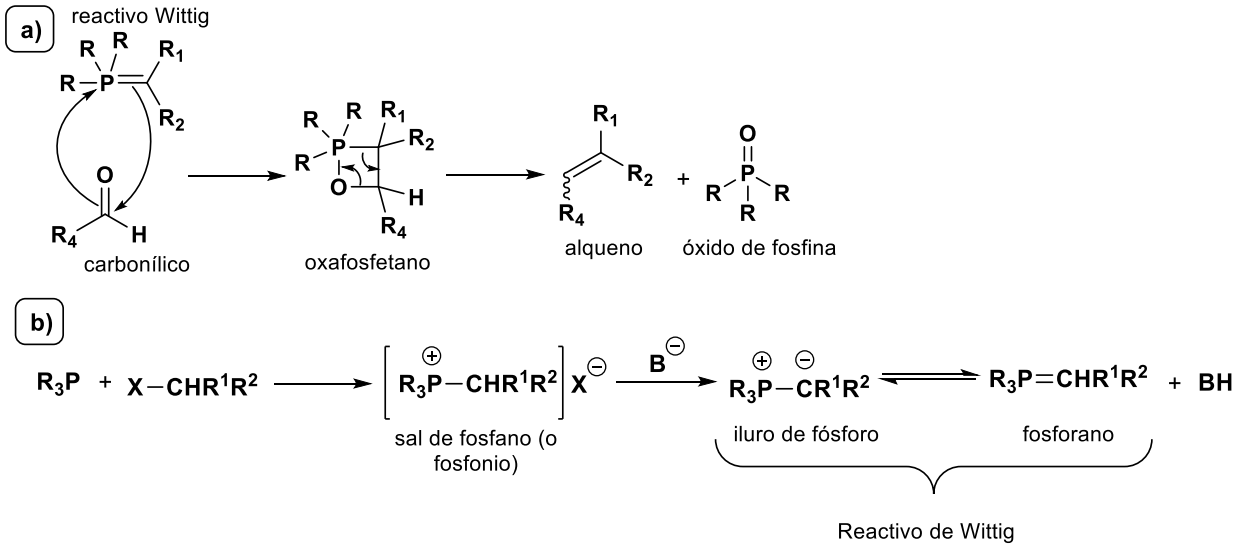

Figura 19: a) Mecanismo reacción de Wittig (tomada de Byrne & Gilheany, 2013). b) Preparación del reactivo de Wittig (tomada de Parashar & Parashar, 2008)

En la preparación del reactivo de Wittig, todo inicia con una sustitución nucleofílica dada entre la trialquilfosfina (R_3P), que normalmente es trifenilfosfina (Ph_3P), y un haluro de alquilo primario o secundario ($XCHR^1R^2$); la formación del enlace carbono-fósforo, vuelve a los hidrógenos de este carbono, ligeramente ácidos, pudiendo ser desprotonado por una base muy fuerte, usualmente butillitio, diisopropilamiduro de litio, amiduro de sodio, bis-(trimetilsilil)amida de litio (o de sodio), entre otras, y así formar el reactivo de Wittig (figura 19b) (Parashar & Parashar, 2008).

La alta estereoselectividad en los alquenos formados depende del tipo de iluro utilizado, del tipo de compuesto carbonílico o de las condiciones de reacción. La presencia de sales o cationes de litio, en el medio de reacción, tiende a favorecer la formación de *E*-alquenos, y el uso de bases de sodio o potasio favorece la formación del *Z*-alqueno. Los iluros estabilizados, aquellos que presentan grupos CN, CHO, COR o COOH en la posición α, son más estables y menos reactivos y favorecen la formación de E-alquenos, mientras que los iluros no estabilizados, favorecen los Z-alquenos (Byrne y Gilheany, 2013; Parashar & Parashar, 2008; Carruthers & Coldham, 2004).

5.7.2.2 Reducción de triples enlaces.

Uno de los métodos más comunes para obtener un doble enlace carbono-carbono es mediante la reducción parcial de alquinos, la cual ocurre con alto rendimiento y es posible conseguirla cuando se emplea un catalizador de paladio envenenado con acetato de plomo, sulfato de bario, carbonato de calcio o quinoleina, llamado catalizador de Lindlar (Carruthers & Coldham, 2004).

Esta reacción es bastante estereoselectiva, debido a que, dependiendo de las condiciones de reacción y los reactivos empleados, se obtendrán los productos *Z*-alquenos o

E-alquenos, según sean requeridos (figura 20a); cuando ocurre una hidrogenación en presencia del catalizador de Lindlar, preferentemente se forma el isómero *Z*, pero cuando la reducción del triple enlace ocurre usando sodio metálico y amoniaco, principalmente se obtiene el isómero *E* (Parashar & Parashar, 2008). Otro método de reducción de alquinos que permite obtener productos *Z*-alquenos es la hidroboración del triple enlace, con dialquilboranos ($(R)_2BH$), catecolborano u otro derivado borano sustituido, seguida de una protonación, que puede ser con un ácido carboxílico (figura 20b) (Parashar & Parashar, 2008; Carruthers & Coldham, 2004).

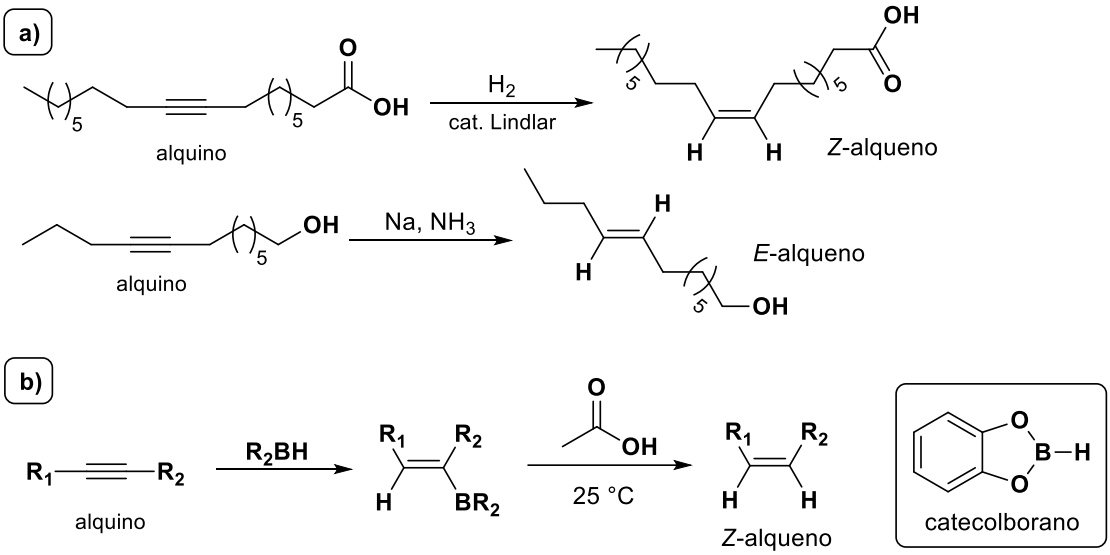

Figura 20: a) Hidrogenación selectiva de triples enlaces. b) reducción de un triple enlace por hidroboración. Tomadas de Parashar & Parashar, 2008; Carruthers & Coldham, 2004

5.7.2.3 Reacciones de eliminación.

Las reacciones de β-eliminación constituyen otro de los métodos más comunes para obtener un doble enlace carbono-carbono, mediante reacciones de deshidratación de alcoholes catalizadas por ácidos, eliminaciones en haluros o sulfonatos de alquilo, promovidas por bases, la eliminación de Hofmann de sales de amonio cuaternario, entre otras reacciones (Carruthers & Coldham, 2004).

Estas reacciones de β-eliminación se llevan a cabo, principalmente, a través de los mecanismos de eliminación unimolecular (E_1) y de eliminación bimolecular (E_2), aunque existe un tercer mecanismo que implica la abstracción inicial de protones como paso determinante de la velocidad, seguido de la pérdida del grupo saliente X^- (E_1cB) (figura 21). En estas reacciones el grupo saliente X puede ser un grupo -OH, -OCOR, un halógeno, -OSO_2R, $^+NR_3$, entre otros (Parashar & Parashar, 2008).

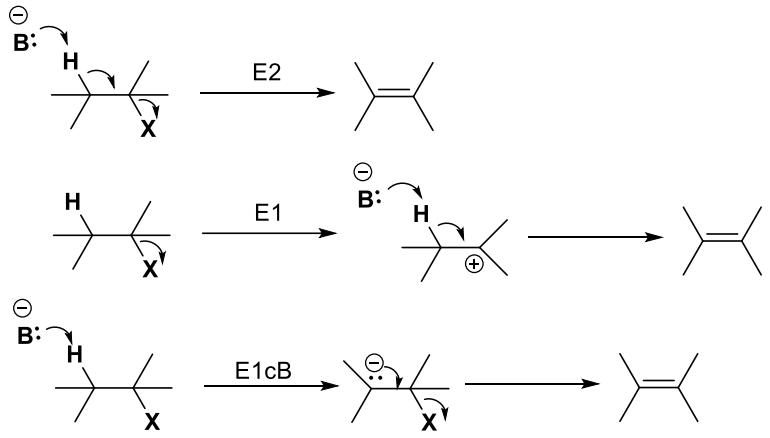

Figura 21: Mecanismos de reacción de las reacciones de β-eliminación (tomado de Parashar & Parashar, 2008)

Las reacciones de β-eliminación presentan algunas desventajas frente a otras metodologías utilizadas para obtener dobles enlaces carbono-carbono, debido a que en algunos casos se forma una mezcla de productos isoméricos y pueden no ser estereoselectivas (Parashar & Parashar, 2008). La dirección de eliminación en compuestos asimétricos está gobernada en gran parte por la naturaleza del grupo saliente, pero puede estar influenciada hasta cierto punto por las condiciones experimentales. En general, se encuentra que la deshidratación catalizada por ácido de alcoholes y otras eliminaciones de E1, así como las eliminaciones de haluros de alquilo y sulfonatos con base, dan el alqueno más altamente sustituido como producto principal (la regla de Saytzeff), mientras que la base las eliminaciones inducidas de las sales de amonio cuaternario y de las sales de sulfonio dan

predominantemente el alqueno menos sustituido (la regla de Hofmann) (Parashar & Parashar, 2008; Carruthers & Coldham, 2004).

5.7.3 Síntesis de las feromonas sexuales de los principales lepidópteros que atacan las cucurbitáceas

5.7.3.1 Síntesis de los componentes principales de la feromona sexual de *Diaphania hyalinata* y *Diaphania nitidalis.*

Estas dos especies pertenecen al mismo género taxonómico y comparten algunos compuestos como componentes principales de su feromona sexual, siendo ellos (*E*)-11-hexadecenal (1), (*E*)-11-hexadecenol (3), y el (*E,Z*)-10,12-hexadecadienal (5). A continuación, se presentarán algunas estrategias sintéticas utilizadas para obtener estos compuestos, destacando el uso de las reacciones presentadas en la sección 3.7.2 de este documento y algunas otras estrategias sintéticas.

*5.7.3.1.1 Síntesis de (E)-11-hexadecenal (**1**) y (E)-11-hexadecenol (**3**)*

Estos compuestos son un aldehído y un alcohol, respectivamente, de 16 carbonos que presentan un doble enlace carbono-carbono en la posición 11 de la cadena, el cual tiene configuración *E*, y también hacen parte de los componentes principales de las feromonas de otros lepidópteros (El-Sayed et al., 2021). Diferentes autores han sintetizado estos compuestos empleando algunas reacciones para la obtención del doble enlace con la configuración correcta, tales como la reducción de un triple enlace carbono-carbono con sodio metálico y amonio líquido, la reacción de Wittig, la isomerización de un doble enlace cis, entre otras metodologías. Con respecto a la obtención del grupo carbonilo del aldehído, comúnmente ha sido obtenido por oxidación del grupo hidroxilo correspondiente.

Struble y Swailes (1975) prepararon (*E*)-11-hexadecenol (**3**) a partir del decanodiol (**31**), con buen rendimiento (figura 22). El diol **31** sufre una reacción de sustitución nucleofílica para formar el cloruro **32**, al cual se le protege el grupo hidroxilo con dihidropirano (DHP) para llevar a cabo la reacción de alquilación con el acetiluro de litio (LiC≡CH) y dar el alquino hidroxilado protegido **34**, que sufre una reacción de elongación de la cadena con el bromobutano (C_4H_9Br) posterior a la desprotonación con amiduro de litio ($LiNH_2$).

El alquino **35** es parcialmente reducido con sodio metálico y amoniaco para dar el alqueno con configuración *E* (**36**), con un rendimiento alto. La posterior desprotección del grupo hidroxilo con ácido p-toluensulfónico (p-TsOH) y la oxidación controlada de este grupo hidroxilo hasta el aldehído, con clorocromato de priridinio (PCC), produce el compuesto de interés **1** con un rendimiento de 63% (estas dos últimas etapas). Esta estrategia sintética también fue utilizada por Tumlinson y colaboradores (1975) para obtener este mismo aldehído **1**, como componente principal de la feromona sexual del gusano cogollero del tabaco *Heliothis virescens*.

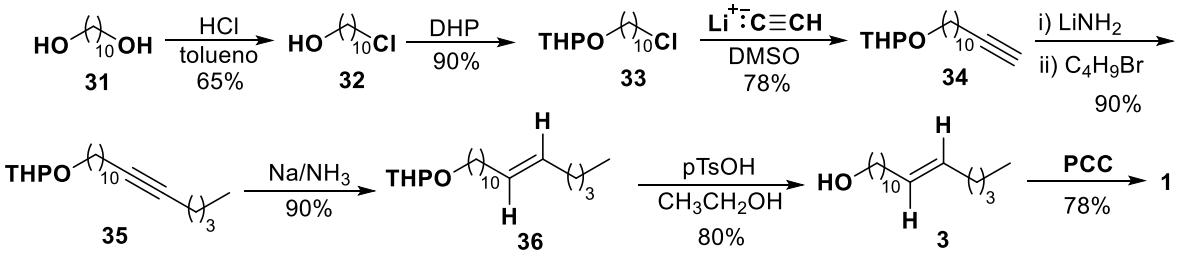

Figura 22: Síntesis de (E)-11-hexadecenol 3 y (E)-11-hexadecenal 1 a partir del diol 31 propuesta por Struble & Swailes (1975)

La preparación de **1** llevada a cabo por Jackson y colaboradores (1998) tiene como etapa clave la isomerización del doble enlace presente en el éster comercial **37**, empleando la reacción planteada por Sonnet & Oliver (1976), y que con una posterior hidrólisis básica

y una oxidación con PCC se transforma en el compuesto **1** (figura 23a). En esta reacción se forma cloruro de bromo BrCl (por reacción de HCl y N-bromosuccinimida (NBS)), posteriormente ocurre una sustitución de uno de los halógenos por I^- para dar un yodohaluro, el cual sufre una reacción de "trans"-eliminación de los átomos de halógenos para formar el doble enlace con configuración trans. Los autores no presentan los rendimientos de estas reacciones.

Otros autores que también utilizaron la isomerización de un doble enlace Z, fueron Sekul y colaboradores (1975), mediante una reacción de isomerización conocida como elaidización, que ocurre a través de un proceso radicalario inducido inicialmente por el anión NO_2^-, proveniente del ácido nitroso (ilustración 23b). Esta reacción de isomerización permite la conversión del doble enlace *cis* a *trans* con rendimientos mayores al 60%, y ha sido ampliamente utilizada para isomerizar los dobles enlaces en los ácidos grasos, como por ejemplo al convertir el ácido oleico en ácido elaídico, de la cual deriva el nombre de esta reacción de isomerización (elaidización) (Chang & Miwa, 1972).

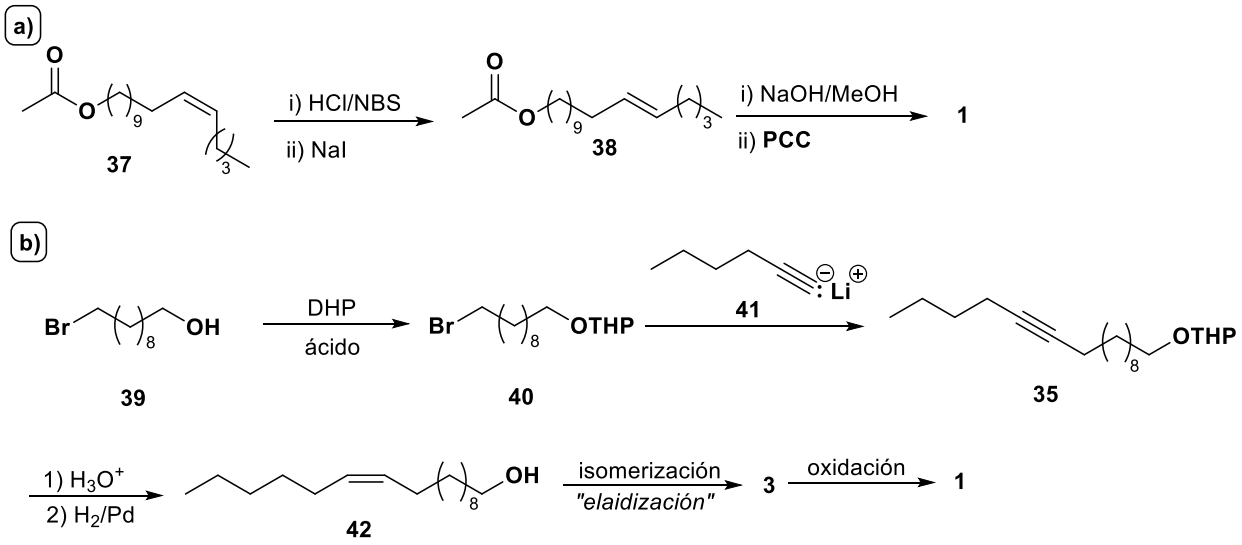

Figura 23: Síntesis de 1 y 3. a) propuesta por Jackson y colaboradores (1998). b) propuesta por Sekul et al. (1975)

Leadbetter y Plimmer (1979) sintetizaron el aldehído **1** y el alcohol **3** utilizando como reacción clave para la formación del doble enlace carbono-carbono, la reacción de Wittig (figura 24). El pentanal **43** reacciona con el bromuro de (11-metoxi-11-oxo-undecil) trifenilfosfonio **44** para dar el alqueno **45** con un bajo rendimiento (33%) debido a la formación de la mezcla de isómeros. Posteriormente, este compuesto es reducido con hidruro de litio y aluminio para dar el alcohol **3** (>90%), el cual es oxidado (reactivo de Collins) para dar el aldehído **1** con buen rendimiento (88%).

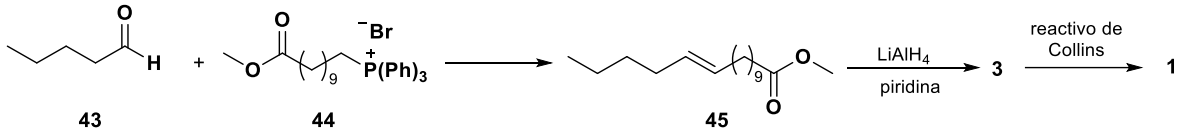

Figura 24: Síntesis de (E)-11-hexadecenol 3 y (E)-11-hexadecenal 1 a partir de pentanal, propuesta por Leadbetter y Plimmer (1979)

*5.7.3.1.2 Síntesis de (E,E)-10,12 -hexadecadienal (**2**) y (E,Z)-10,12 -hexadecadienal (**5**)*

Estos aldehídos se caracterizan por presentar un sistema dieno conjugado con igual o diferente configuración de sus dobles enlaces. El dieno (*E*,*E*) **2** es el segundo componente mayoritario en la feromona de *D. hyalinata*, mientras que el isómero (*E*,*Z*)- **5** es uno de los principales componentes de las feromonas sexuales de ambas especies. Cork y colaboradores (1988) prepararon los compuestos diénicos utilizando la reacción de Wittig para formar uno de los dobles enlaces carbono-carbono con configuración *Z*, partiendo del enal correspondiente (**46** y **49**), el cual ya tiene el otro doble enlace con la configuración adecuada, y del bromuro de alquiltrifenilfosfonio requierido (**47** y **50**) (figura 25a). La posterior oxidación de los alcoholes **48**, **51** y **53** producen los compuestos carbonílicos con el sistema dieno conjugado en su cadena.

En la ruta sintética propuesta por estos autores, se destaca la obtención del *E*,*E*-dieno a partir del *Z*,*E*-dieno mediante una isomerización del doble enlace *Z* promovida por radicales RS• (provenientes de compuestos como tiofenol, por ejemplo) como se muestra en la figura 25b (Dénès et al., 2014), la cual ha sido ampliamente estudiada y aprovechada en la síntesis de otras feromonas con sistemas dienos (Biermann et al., 2012; Ferreri et al., 2004; Henrick et al., 1978).

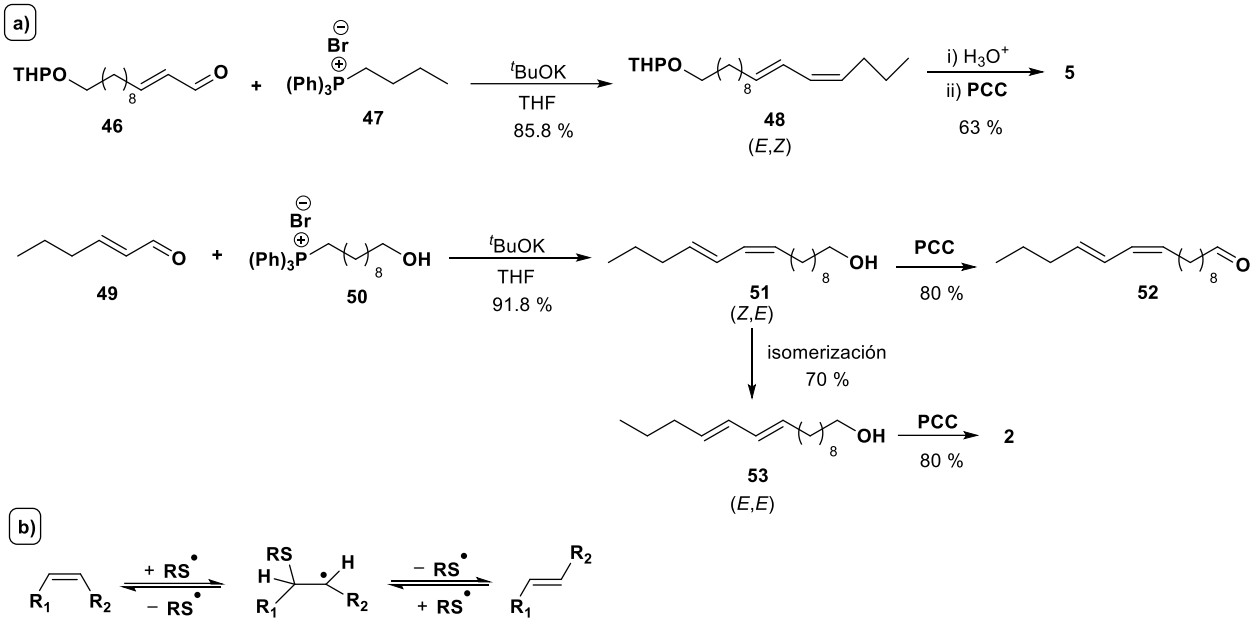

Figura 25: a) Síntesis de los dienos 2 y 5 propuesta por Cork y colaboradores (1988). b) Mecanismo de isomerización de doble enlace Z-E en presencia de radicales RS• (tomado de Chatgilialoglu & Ferreri, 2021)

El alcohol desprotegido de **48** corresponde al bombykol (**58**), el principal componente de la feromona sexual de la polilla *Bombyx mori*, aislado en el año 1959 y es la primera feromona caracterizada químicamente (El-Sayed et al., 2021); desde su aislamiento e identificación, se despertó el interés de investigadores para entender el papel de este compuesto en el comportamiento de los insectos que lo emitían, donde muchas de las investigaciones debieron apoyarse en la obtención por medio de la síntesis de este alcohol, y

por lo tanto permitió desarrollar diversas rutas sintéticas para obtenerlo, proporcionando la publicación de un gran número de documentos científicos de estas investigaciones que han sido desarrolladas por más de 5 décadas (El-Sayed et al., 2021; Xu et al., 2012). Al oxidar el bombykol hasta su respectivo aldehído se obtiene el compuesto **5**, por lo que todas las estrategias sintéticas empleadas para obtener el bombykol resultan útiles para obtener a este compuesto carbonílico.

Jackson y colaboradores (1998) y Bestmann y colaboradores (1977) prepararon el bombykol (**58**) y su aldehído (**5**) empezando con una reacción de Wittig *E*-estereoselectiva entre el aldehído **54** y el iluro formil metilen trifenilfosforano **55** (figura 26). La estereoselectividad de esta reacción de olefinación estuvo favorecida por la estabilización del iluro gracias al grupo carbonílico presente. Una nueva reacción de Wittig entre el *E*-enal formado (**56**) y el butiltrifenilfosforano **47** en presencia de bis(trimetilsilil)amida de sodio (NaHMDS) permite obtener un nuevo doble enlace con configuración *Z*.

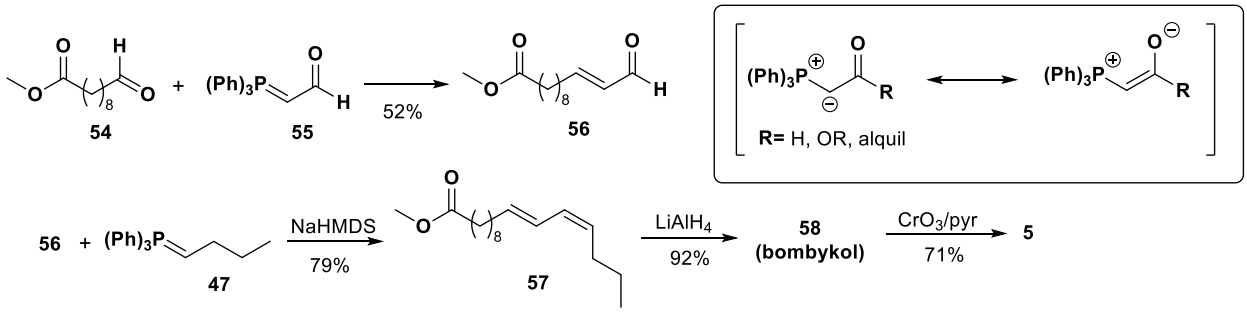

Figura 26: Síntesis de bombykol (58) y su aldehído (5) propuesta por Jackson y colaboradores (1998) y Bestmann y colaboradores (1977)

Dasaradhi y colaboradores (1991) utilizaron como uno de sus intermediarios sintéticos, el mismo aldehído **56**, pero obtenido de otra manera (figura 27); estos autores emplearon una reacción de eliminación para obtener el primero de los dobles enlaces, iniciando con la conversión del éster insaturado (**59**) hasta el aldehído α,β-insaturado (**61**), a partir de la

adición de bromoformo al doble enlace, catalizada por cobre, para dar el respectivo 1,1,3-tribromoderivado (**60**). La posterior reacción de **60** con acetato de potasio (AcOK) en dimetilformamida, da el éster como producto de sustitución del bromuro (**61**) con la simultánea pérdida de HBr para formar así el primer doble enlace requerido con la configuración *E*. Este acetato haloalílico reacciona con ácido trifluoroacético y acetato de mercurio para dar el aldehído **56**.

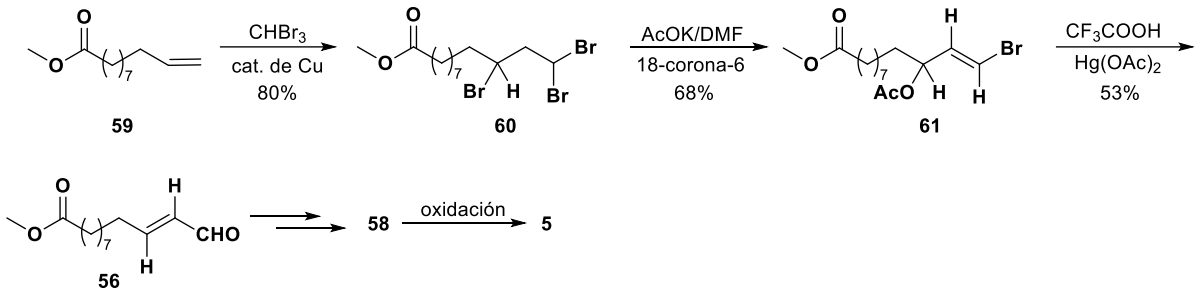

Figura 27: Síntesis de bombykol propuesta por Dasaradhi y colaboradores (1991)

Otros autores que también hicieron uso de la reacción de Wittig para obtener el sistema diénico en estos aldehídos fueron Raina y colaboradores (1986) y Hall y colaboradores (1980). En esta ruta sintética propuesta (figura 28a), se destaca la reducción selectiva del triple enlace del inol **64**, al emplear la hidrogenación en presencia del catalizador Lindlar, la reacción es *Z*-estereoselectiva, mientras que al utilizar $LiAlH_4$, la reducción es *E*-estereoselectiva. Esta reducción con el $LiAlH_4$ es posible debido a la presencia del sistema 1-alquin-3-ol presente en **64**, que facilita la transferencia de un hidruro hacia el C del triple enlace (figura 28b).

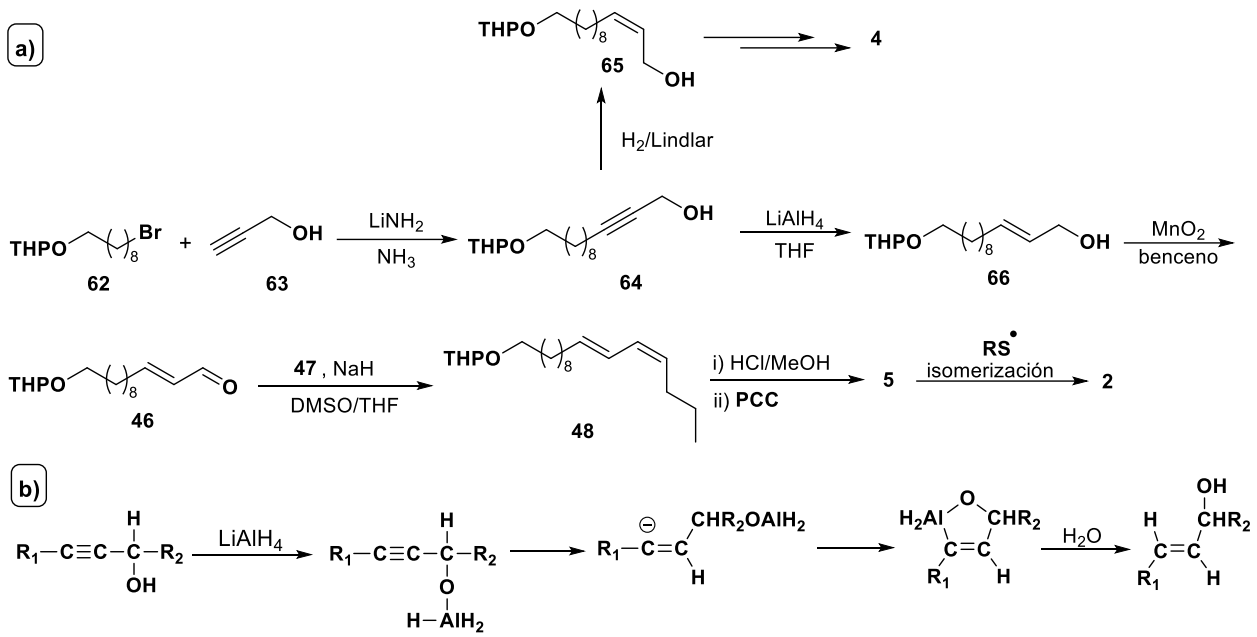

Figura 28: a) ruta sintética de dienales propuesta por Raina y colaboradores (1986) y Hall y colaboradores (1980). b) Mecanismo (propuesto) de reducción de 1-alquin-3-ol con $LiAlH_4$ (Grant & Djerassi, 1974)

La posterior oxidación de **66** produce el aldehído **46**. Esta reacción fue selectiva debido a que el MnO_2 es un oxidante específico para alcoholes alílicos. Los autores no presentaron en esta publicación los rendimientos de las reacciones.

Por su parte, Sakurai y colaboradores (2004) y Miyaura, Suginome & Suzuki (1983) sintetizaron los compuestos **58** y **5** mediante una síntesis estereoespecífica usando alquenilboranos (figura 29a). La ruta propuesta comienza con la transformación del doble enlace en **67** hacia un triple enlace (**68**), mediante una halogenación seguida de una doble eliminación con $NaNH_2$ en NH_3 líquido con buen rendimiento (ambas reacciones). El alquino **68** sufre una hidroboración para formar el borol **70** con la simultanea reducción del triple enlace hasta un doble enlace con configuración *E*, el cual es hidrolizado para dar el ácido (*E*)-11-hidroxi-1-undecenilborónico **71**, con retención de la configuración.

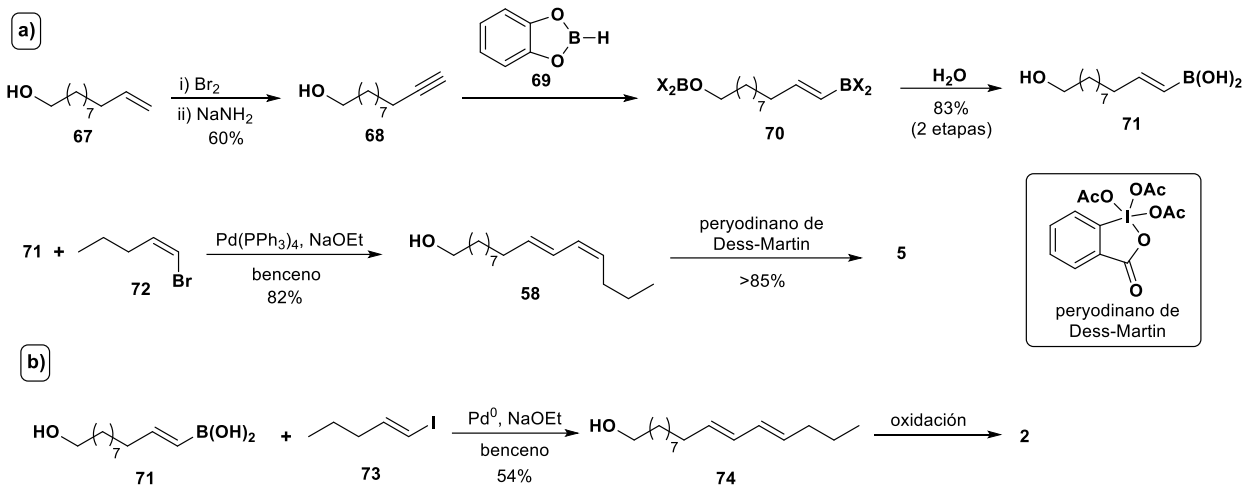

Figura 29: a) ruta sintética de los compuestos 58 y 5 propuesta por Sakurai y col. (2004) y por Miyaura, Suginome &Suzuki (1983). b) ruta sintética de 74 propuesta por Xu y col. (2012)

El compuesto organoborano **71** es sometido a una posterior reacción de acoplamiento cruzado (reacción de Suzuki) con el bromuro **72**, catalizada por paladio (Tetraquis (trifenilfosfina) paladio $Pd(PPh_3)_4$), para obtener así al bombykol (**58**) con un alto rendimiento, el cual es oxidado, de forma suave y selectiva, mediante la reacción de Dess-Martin. La reacción de acoplamiento cruzado del organoborano **71** con el *E*-iodoalqueno **73** con un 54% de rendimiento (figura 29b), fue aprovechada por Xu y colaboradores (2012) para obtener el isómero *E*,*E*- del bombykol (**74**) y el compuesto dienal **2**.

McElfresh y Millar (1999) también emplearon reacciones de hidroboración para obtener los dobles enlaces requeridos, sometiendo inicialmente al alquinol **68** a una hidroboración del triple enlace terminal con catecolborano **69** (figura 30), seguido de una sustitución nucleofílica para dar el *E*10-yodoalqueno **75**, el cual es utilizado para una reacción de alquilación del triple enlace terminal del pentino **76** a través de una reacción de Sonogashira; teniendo como reacción clave la posterior reducción quimioselectiva del triple enlace en **78**, llevada a cabo con diciclohexilborano **79** para formar el doble enlace con configuración *Z* (**48**). Una posterior desprotección del grupo OTHP con ácido p-

toluensulfónico (PTSA) y una oxidación del grupo hidroxilo con dicromato de piridinio (PDC), permitieron obtener finalmente el dienal **5** con un rendimiento global de aproximadamente 16%.

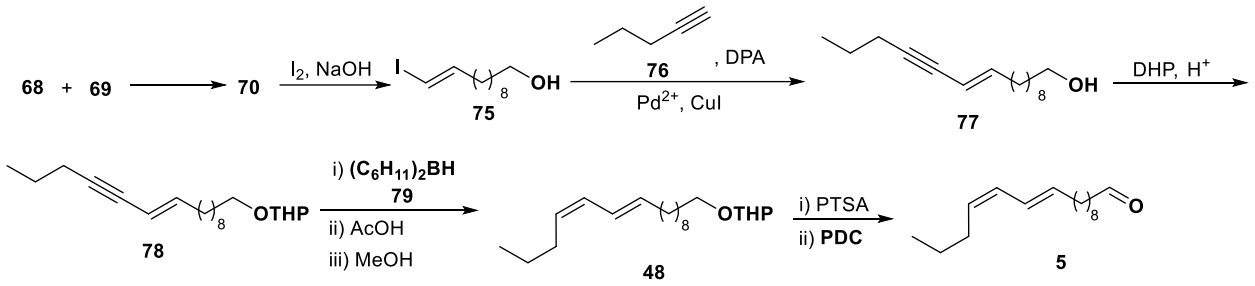

Figura 30: Síntesis de 5 propuesta por McElfresh y Millar (1999)

5.7.3.2 Síntesis de los componentes de la feromona sexual de *Trichoplusia ni* y *Agrotis ipsilon*

*5.7.3.2.1 Síntesis de acetato de (Z)-7-dodecenilo (**24**) y acetato de (Z)-9-tetradecenilo (**29**)*

Estos dos compuestos son comunes en la mezcla de la feromona sexual de cada una de estas dos especies, siendo el acetato de (*Z*)-7-dodecenilo **24** el principal componente en ambas, mientras que el acetato de (*Z*)-9-tetradecenilo **29** es un componente indispensable para ejercer la atracción hacia los machos de las especies, siendo el segundo en importancia y proporción en *A. ipsilon*, pero un componente que se encuentra en baja proporción en *T. ni*.

Estos compuestos presentan la estructura típica de los componentes de las feromonas sexuales de los lepidópteros, con cadenas carbonadas insaturadas y grupos oxigenados en el extremo de la cadena, en este caso ésteres, por lo tanto, las diferentes rutas sintéticas empleadas para obtenerlos, emplean reacciones comunes ya conocidas, tales como la reacción de Wittig, la reducción de triples enlaces, reacciones de hidroboración, y algunas reacciones de oxidación y reducción de los grupos funcionales oxigenados. El acetato de (*Z*)-7-dodecenilo y el acetato de (*Z*)-9-tetradecenilo hacen parte de los principales componentes

de la feromona sexual de más de otras 20 especies de lepidópteros (El-Sayed et al., 2021), donde se puede destacar *Spodoptera frugiperda*, la cual es una especie de gran interés en Colombia. A continuación, se mostrarán algunas de las estrategias sintéticas utilizadas por algunos autores para obtener estos dos ésteres.

Berger (1968) para identificar los componentes principales de la feromona de *T. ni* y poder realizar los correspondientes ensayos biológicos, sintetizó el éster **24** a partir del acoplamiento del alquino **76** y el dihaluro **80** para obtener el cloroalquino **81** con un rendimiento bajo. Este compuesto fue sometido a una sustitución nucleofílica del Cl por el grupo CN que posteriormente, al sufrir una hidrólisis básica se transforma en un grupo ácido (**82**), el cual es reducido hasta el alcohol y acetilado para dar el acetato final **24**. La obtención del doble enlace *Z*, se logró por medio de una típica reacción de hidrogenación en presencia del catalizador Lindlar (figura 31).

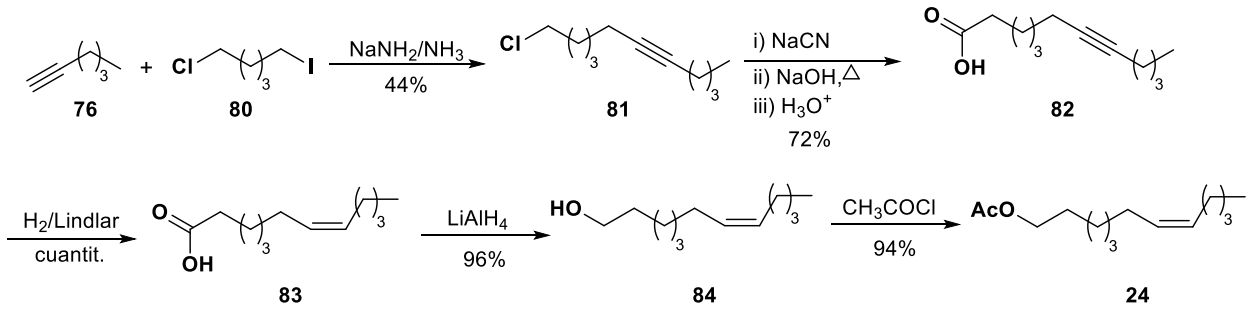

Figura 31: Síntesis de acetato de (Z)-7-dodecenilo (X) propuesta por Berger (1966)

Kao & Shiao (1985) prepararon el bromoalcohol protegido **87** a partir del diol **85**, por medio de una reacción de sustitución nucleofílica llevada a cabo con HBr al 48%, y una posterior protección del hidroxilo con el grupo tetrahidropiranil (THP) para así llevar a cabo la reacción de alquilación del acetiluro de litio **41**; el inol protegido **88** fue convertido directamente al acetato **89** con cloruro de acetilo (AcCl) y ácido acético (AcOH). Finalmente, la hidrogenación parcial del triple enlace dio el éster insaturado deseado **24** (figura 32a). En

2006, Batista-Pereira y colaboradores en su investigación sobre feromona sexual de *Spodoptera frugiperda* en Brasil, utilizaron la ruta sintética propuesta por los anteriores autores, y sintetizaron de manera sencilla y con muy buenos rendimientos los compuestos **24** y **29** (figura 32b), como dos de los principales componentes de la feromona sexual de *S. frugiperda*, destacando también como una de sus reacciones clave la reducción estereoselectiva del triple enlace.

Estos autores prepararon los respectivos bromoalcoholes (**86** y **90**) a partir de los correspondientes dioles, omitieron la reacción de protección del grupo hidroxilo, posteriormente redujeron el triple enlace, y finalmente, realizaron la acetilación de los grupos hidroxilos con anhídrido acético (Ac_2O) en presencia de piridina (pyr).

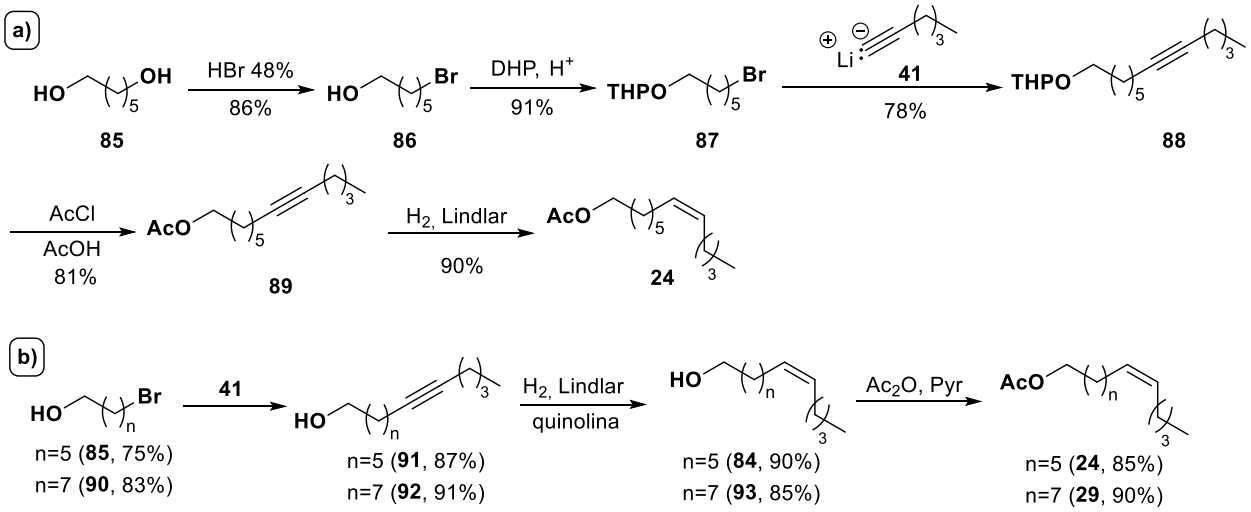

Figura 32: a) síntesis de (Z)-7-dodecenilo (24) propuesta por Kao & Shiao (1985). b) síntesis de acetatos de (Z)-7-dodecenilo (24) y de (Z)-9-tetradecenilo (29) propuesta por Batista-Pereira y colaboradores (2006)

Basavaiah & Brown (1982) desarrollaron una síntesis monotópica ("one-pot") y estereoespecífica (figura 33a), empleando compuestos tipo organoboranos, para obtener compuestos (*Z*)-7-alquenoles, como intermedios sintéticos para preparar los componentes acetilados de las feromonas de algunos lepidópteros. La hidroboración de 1-hexino **76** con B-cloroboropano **94** produce el *trans*-alquenilboropano **95**, que sufre una reacción de

yodación en medio básico con un reordenamiento estructural donde ocurre la migración de un extremo de la cadena cicloalquílica del boro al carbono adyacente para formar el intermedio borocano **96**, el cual sufre rápidamente una desyodoboronación (*trans*-eliminación) para producir el éster de (*Z*)-7-alquenil-1-boronato **97** (figura 33b), que es oxidado hasta el alcohol **84** (78% de rendimiento desde **76**) y con una posterior acetilación se convierte en el éster **24** con un 92% de rendimiento.

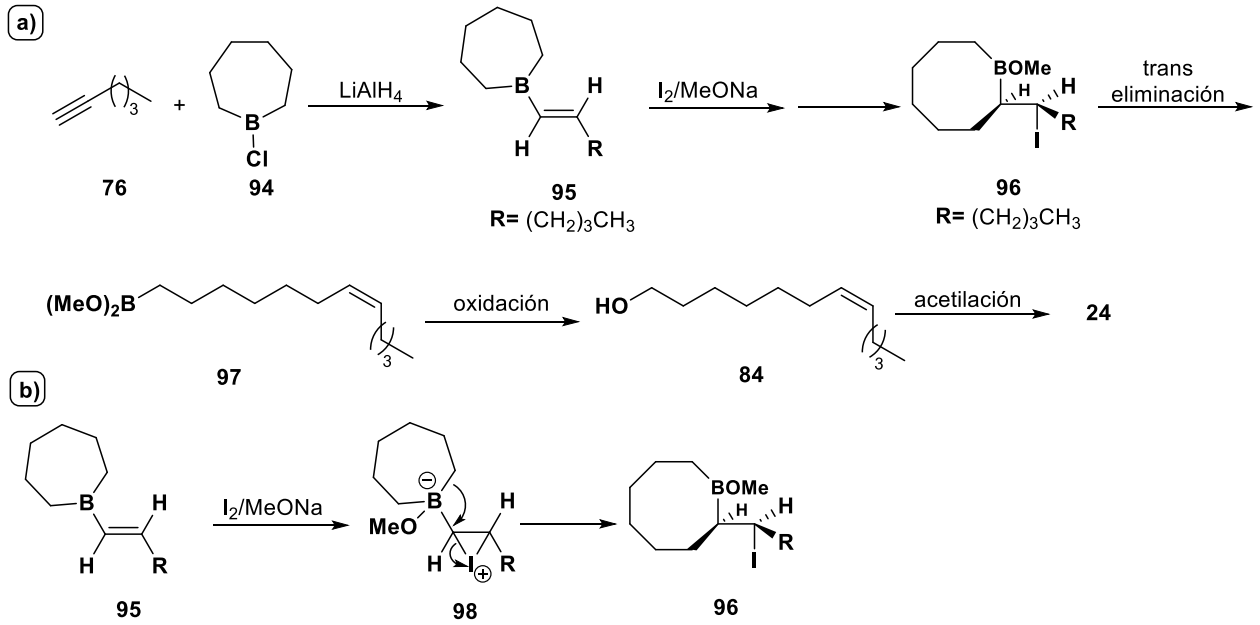

Figura 33: a) Síntesis de (Z)-7-dodecenilo (24) propuesta por Basavaiah & Brown (1982). b) Mecanismo de formación del intermedio borocano 96 (Basavaiah & Brown, 1982)

La reacción de Wittig también ha sido empleada en la síntesis de los dos ésteres mono-olefínicos con configuración *Z* en su doble enlace (**24** y **29**); Ujváry, Kis-Tamas & Novak (1985) y Chattopadhyay, Mamdapur & Chadha (1983) sintetizaron estos dos compuestos a partir del ácido aleurítico **99** (figura 34), del que obtuvieron el grupo carbonílico requerido mediante una ruptura oxidativa con peryodato de sodio ($NaIO_4$) del enlace C-C del diol (reacción de Malaparde) para dar el 1-hidroxihepatanal **100** y el oxoácido **101** con buenos

rendimientos. Ambos fueron sometidos a la reacción de Wittig con el bromuro de trifenilpentilfosfonio **103** para formar así el doble enlace con configuración *Z*, adicionalmente se realizaron reacciones de acetilación con anhídrido acético y una reacción de reducción con $LiAlH_4$ del grupo ácido en **104**.

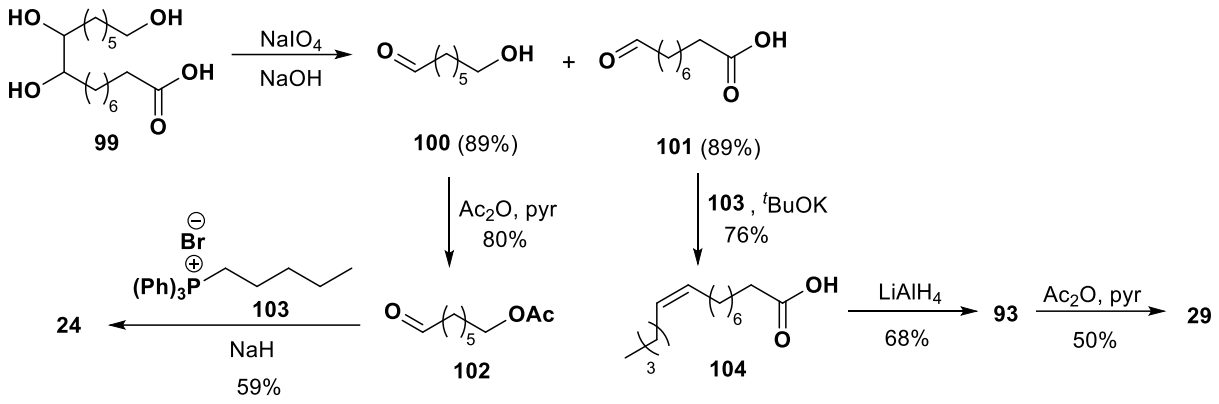

Figura 34: Síntesis de acetatos de (Z)-7-dodecenilo (24) y de (Z)-9-tetradecenilo (29) propuesta por Ujváry, Kis-Tamas & Novak (1985) y Chattopadhyay, Mamdapur & Chadha (1983)

5.7.3.3 Síntesis de los componentes de la feromona sexual de *Melittia cucurbitae*

*5.7.3.3.1 Síntesis del acetato de (E,Z)-2,13-octadecadienilo (**11**) y del acetato de (Z,Z)-3,13-octadecadienilo (**12**)*

El acetato de (*E*,*Z*)-2,13 -octadecadienilo (**11**) y el acetato de (*Z*,*Z*)-3,13 -octadecadienilo (**12**) presentan una cadena de 18 carbonos y un sistema diénico aislado en su estructura, con configuración opuesta en los dos dobles enlaces (**11**) y con igual configuración de sus dobles enlaces (**12**). Estos dos compuestos constituyen los componentes principales de la feromona sexual de *M. cucurbitae*, siendo mayoritario el (*E*,*Z*)-2,13-dieno, y están presente en la mezcla de compuestos de feromonas de decenas de otras especies de lepidópteros (El-Sayed et al., 2021). Se han diseñado algunas estrategias sintéticas para obtenerlos, que al igual que los compuestos mencionados anteriormente, utilizan reacciones

comunes y estereoselectivas para formar el sistema diénico requerido en la estructura, tales como la reacción de Wittig, la reducción de triples enlaces carbono-carbono, entre otras. A continuación, se presentarán algunos ejemplos de las rutas sintéticas empleadas para obtener estos dos compuestos.

Schwarz y colaboradores (1983) sintetizaron el *E*,*Z*-dieno **11** partiendo del alcohol acetilénico **105** (figura 35a), el cual fue sometido a una reacción de isomerización conocida como reacción zipper de alquinos, donde se isomeriza un triple enlace no terminal a un alquino terminal, en presencia de una base fuerte, como ocurrió en **107**; la base es generada *in situ* por reacción entre hidruro de sodio (NaH) y 1,3-diaminopropano **106**. Esta reacción de zipper ocurre con alquinos de cadenas lineales y alcoholes acetilénicos (Abrams & Shaw, 1988). El alquino protegido **108** sufre una elongación de la cadena mediante una reacción de acoplamiento con bromobutano para dar compuesto **109**, el cual es posteriormente sometido a una reacción de una sustitución nucleofílica con dibromuro de trifenilfosfano (Ph_3PBr_2) para formar el bromuro **110**, necesario para el acoplamiento con el acetiluro **111**.

El diino **112** sufre varias reacciones de reducción de manera selectiva y controlada para obtener los dos dobles enlaces con diferente configuración; en primer lugar, ocurre una doble reducción con $LiAlH_4$ tanto del grupo éster hasta el alcohol, como la del triple enlace que tiene este grupo hidroxilo cerca (C2) para dar el doble enlace con configuración *E*. En segundo lugar, ocurre una reducción del triple enlace en C13 por hidrogenación catalizada por níquel, para obtener un doble enlace con configuración *Z*. Los autores no presentan los rendimientos de estas reacciones en su publicación.

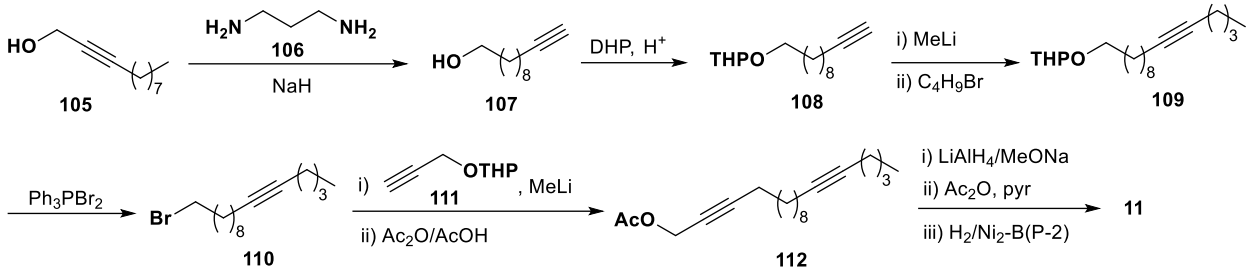

Figura 35: Síntesis de acetato de (*E*,*Z*)-2,13-octadecadienilo (11) propuesta por Schwarz y colaboradores (1983)

Voerman y colaboradores (1984) también sintetizaron el 2*E*,13*Z*-dieno acetilado **11** como componente principal de la feromona sexual del lepidóptero *Synanthedon tipuliformis*; de igual manera Tonini y colaboradores (1986) aislaron y sintetizaron este mismo compuesto como uno de los componentes principales de la feromona del taladro amarillo *Zeuzera pyrina*. Todos estos autores plantearon estrategias sintéticas similares a la propuesta por Schwarz y colaboradores (1983), mediante reacciones de acoplamiento de acetiluros con haluros de alquilo, reducción selectiva y controlada de triples enlaces, reacciones de acetilación (figura 36 a y b). Estos autores no presentaron los rendimientos de las reacciones en sus publicaciones.

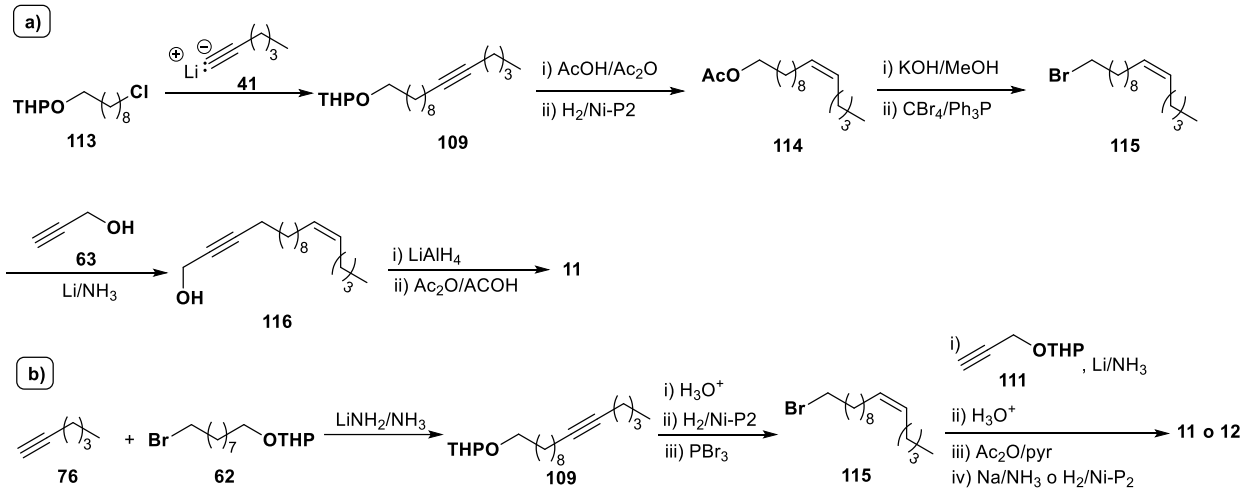

Figura 36: Síntesis de acetato de (*E*,*Z*)-2,13-octadecadienilo (11) propuesta por Voerman y colaboradores (1984) y Tonini y colaboradores (1986)

En la ruta sintética propuesta por Ishmuratov y colaboradores (2000) (figura 37a) se destaca la obtención del doble enlace con configuración *E* mediante una reacción de Doebner-Knoevenagel (Khare, Smriti & Rupanwar, 2019), en la que ocurre una condensación de un ácido dicarboxílico, como el ácido malónico **121**, con un aldehído o cetona en presencia de piridina (pyr) y piperidina (pyp), seguido de una deshidratación y una descarboxilación simultanea (figura 37b). El ácido **117** se transformó en el bromuro **118**, que es utilizado para la alquilación del acetiluro **41** y dar el heptadecen-12-ino **119**. La ozonólisis de **119** ocurre selectivamente en el doble enlace dando el aldehído **120** con alto rendimiento. El carbono que falta en la cadena y el doble enlace *E* se consiguieron a través de la reacción de condensación con ácido malónico **121**. El ácido resultante **122** se convierte en el cloruro **123** y fue reducido con $LiAlH_4$ hasta el alcohol **124**; la síntesis finalizó con la hidrogenación del triple enlace y la acetilación del grupo hidroxilo.

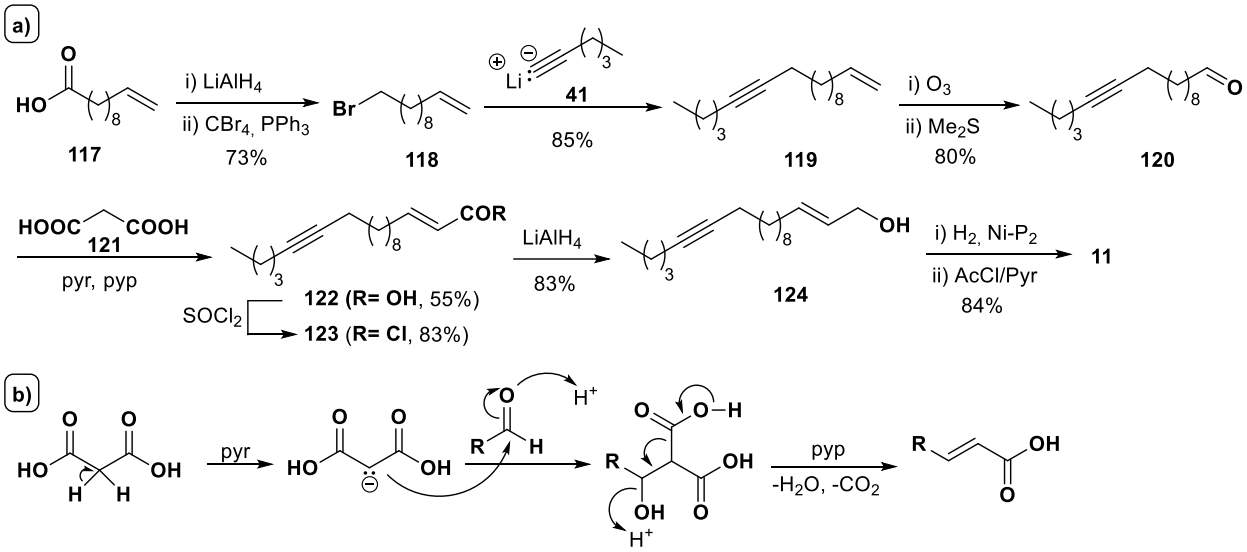

Figura 37: a) síntesis de acetato de (*E*,*Z*)-2,13-octadecadienilo (11) propuesta por Ishmuratov y colaboradores (2000). b) mecanismo simplificado de la reacción de condensación Doebner-Knoevenagel

Por su parte, Sorochinskaya & Kovalev (1989) y Grodner (2006), emplearon la reacción de Wittig para obtener el doble enlace con configuración *Z* en la cadena de 2*E*,13*Z*-

116 (figura 38 a y b). Sorochinskaya & Kovalev oxidan el bromoalcohol **39** para obtener el aldehído **125** que sufre la reacción de Wittig, obteniendo así la *Z*-olefina **116** con rendimiento moderado pero alta pureza isomérica (98%); la ruta sintética propuesta termina con la posterior alquilación del alcohol propargílico **63** con el bromuro **116**, la reducción estereoselectiva del triple enlace con $LiAlH_4$, y la acetilación del grupo hidroxilo. Grodner (2006) en su síntesis propuesta destaca el acoplamiento de tres fragmentos de cadenas (C12 + C1 + C5), los cuales provienen de reactivos de bajo costo y de fácil adquisición, empleando las reacciones ya conocidas (acoplamientos, oxidación/reducción, Wittig, acetilación).

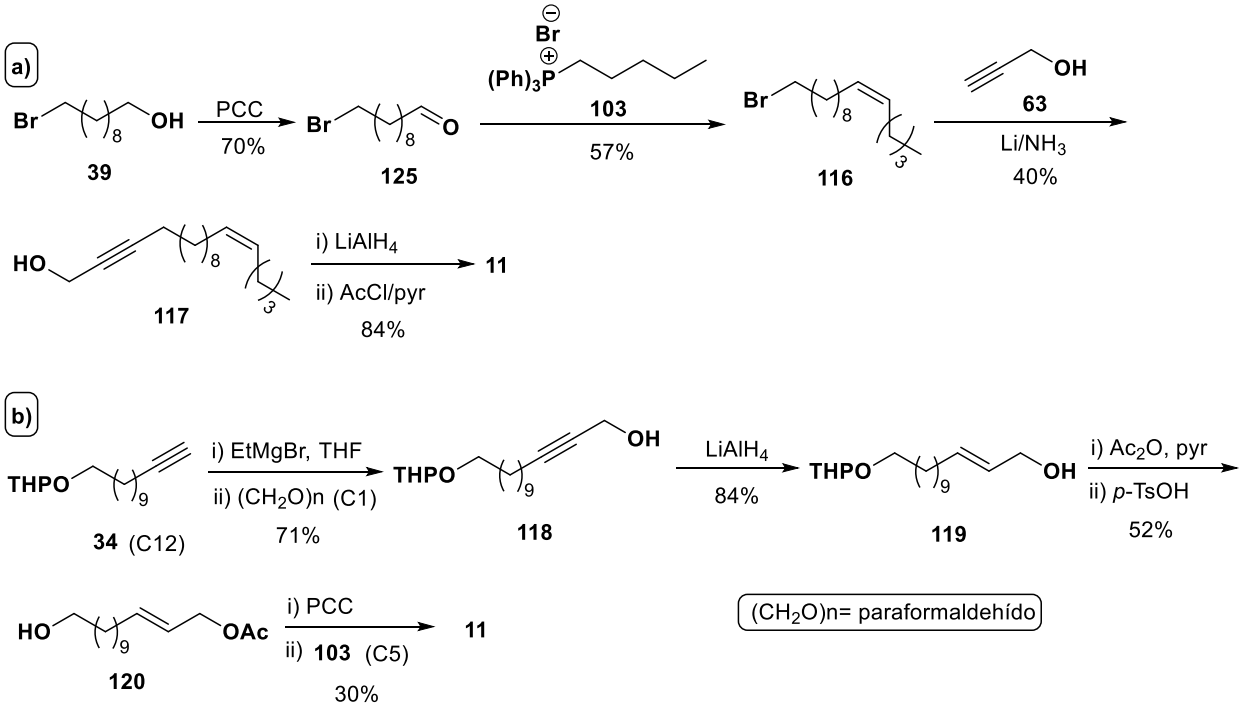

Figura 38: síntesis de acetato de (*E*,*Z*)-2,13-octadecadienilo (11). a) propuesta por Sorochinskaya & Kovalev (1989). b) propuesta por Grodner (2006)

5.8 Uso de feromonas sintéticas de lepidópteros en trampas

El uso de las feromonas sexuales de lepidópteros como estrategia para controlar estas plagas ha despertado un interés desde hace varias décadas, y se han venido utilizando en la agricultura para cinco funciones principales: monitoreo, captura masiva, atracticidas,

interrupción de cópula (confusión sexual) y evaluación de resistencia a insecticidas (Borrero et al., 2018). Existe un gran número de referencias bibliográficas donde se muestra la efectividad de estos compuestos al momento de controlar o capturar insectos, se destaca especialmente la posibilidad de disminuir o evitar el uso de plaguicidas convencionales al usar feromonas, así como también se presentan las ventajas y limitaciones que tiene el uso de estos semioquímicos (Borrero et al., 2018; Tewari et al., 2014; Ujváry, 2010; Witzgall, Kirsch & Cork, 2010).

Los estudios sobre feromonas sexuales y su potencial uso en trampas para control de plagas inician con la identificación de los compuestos que conforman la feromona, y sobre todo es indispensable conocer aquellos que son responsables de ejercer la atracción sobre los insectos machos. Una vez identificados estos compuestos, se hace necesario tenerlos en una cantidad suficiente, que permita la realización de todos los ensayos, tanto a nivel de laboratorio como en campo, para poder escoger el dispensador más adecuado de estos compuestos volátiles, para analizar el comportamiento fisicoquímico de estos compuestos en condiciones ambientales reales, así como para determinar la dosis óptima de feromona que debe llevar cada dispensador o trampa, el número de trampas por área, la mejor ubicación de las trampas en los árboles/plantas, la durabilidad de feromonas y el nivel de control según el número de capturas (Luo et al., 2019; Sarfo, Campbell & Hall, 2018; Bento et al., 2016).

Un gran número de las feromonas conocidas se han sintetizado para realizar investigaciones y presentar publicaciones científicas, quedando muchas veces, hasta este punto. La mayoría de estas investigaciones se encuentran registradas en la base de datos Pherobase (El-Sayed, 2021), siendo liderada por países como Estados Unidos, Canadá, Japón, Alemania, Francia, Suecia, entre otros; a nivel de Suramérica, se destacan Brasil,

Costa Rica y Chile; Colombia tiene una participación casi nula (Borrero et al., 2018). Dentro de los primeros estudios a nivel mundial, para establecer el uso de feromonas sintéticas en trampas se registraron los de muchos insectos lepidópteros, como por ejemplo, polilla del guisante *Cydia nigricana*, el barrenador europeo del maíz *Ostrinia nubilalis*, la polilla capullo de manzana *Platynota idaeusalis*, la polilla de la manzana *Cydia pomonella*, polilla de la vid *Lobesia botrana*, la polilla oriental de la fruta *Grapholita molesta*, el gusano cogollero rosado *Pectinophora gossypiella*, el gusano cogollero *Spodoptera litura*, el barrenador amarillo del tallo del arroz *Scirpophaga incertulas*, entre muchos otros (Bento et al., 2016; Tewari et al., 2014; Witzgall, Kirsch & Cork, 2010).

Con respecto a los lepidópteros de mayor interés en cucurbitáceas, también es posible encontrar publicaciones donde se muestre el potencial uso de sus feromonas para diseñar trampas para capturas o confusión sexual; algunos pocos ejemplos se presentan a continuación. Para *Diaphania nitidalis*, Valles y colaboradores (1991), evaluaron en campo (al norte de Florida, USA) diferentes diseños, altura sobre el suelo, y la eficiencia de cada una de las trampas, encontrando que las de tipo bucket, puestas a una altura entre 80 y 150 cm sobre el nivel del suelo, capturaron más machos de *D. nitidalis* que las otras opciones evaluadas. Otro estudio para esta especie, fue realizado por Jackson y colaboradores (1998), encontrando resultados similares a los presentados por Valles y colaboradores (1991).

Para *Melittia cucurbitae*, Jackson, Canhilal & Carner (2005), hicieron un monitoreo poblacional de esta plaga en campo, en la Universidad de Clemson (Carolina del Sur, USA), usando trampas cargadas con su feromona sintética, evaluando 10 tipos diferentes de diseño/trampas, algunos dispensadores adquiridos comercialmente y otros fabricados por los mismos autores. Encontrando que aquellas de tipo Multipher 1, de embudo

omnidireccionales, trampas de pantalla y las trampas de cono de alambre, representan buenos diseños para ser usados en la captura y monitoreo poblacional de este insecto.

Para *Agrotis ipsilon* también es posible encontrar publicaciones sobre el estudio de trampas con feromonas, como el realizado por Wakamura y colaboradores (1986), encontrando que diseñar una trampa usando como dispensador un septum de caucho, impregnado con una mezcla de 30 µg del compuesto **24**, 10 µg del compuesto **29**, junto con 150 µg del compuesto **30**, funciona por un mes y es una buena opción para capturar eficientemente a los machos de esta especie. Du y colaboradores (2015), también evaluaron en condiciones de campo (en China), la mezcla de la feromona de *A. ipsilon* y su aplicación para el monitoreo poblacional de esta especie. Gemeno, Lutfallah & Haynes (2000), también registran el uso exitoso de trampas con la feromona sexual de este insecto, para capturar y monitorear la población de esta plaga.

En 2019, en un estudio realizado en Uruguay, Heguaburu y colaboradores presentaron excelentes resultados en el control de trotrícidos nativos del orden Lepidoptera que atacaban cultivos frutales de pepita (*Cucurbita maxima*, *C. moschata* y *C. pepo*), mediante el uso de la feromona sexual de cada uno de estos insectos, con el fin de generar confusión sexual entre las plagas y así pudieron controlar su población, garantizando un producto de consumo, con mayor calidad. Por su parte, Apablaza y Norero (1993), capturaron poblaciones de *Agrotis ipsilon*, *Heliothis zea* y *Trichoplusia ni* con trampas de sus respectivas feromonas sintéticas, bajo condiciones de campo, en la región metropolitana de Santiago de Chile (Chile); para *A, ipsilon* y *T. ni*, emplearon trampas pegajosas de tipo pagoda, y para *H. zea*, utilizaron trampas de malla tipo cono, registrando capturas exitosas en todos los casos.

Actualmente se reconoce una amplia variedad de feromonas sintéticas de lepidópteros, las cuales son comerciales. Algunos ejemplos de estas son Disparlure®, Gossyplure®, Codlemona®, entre muchos otros que pueden ser consultados en las referencias bibliográficas y en la web de varios proveedores de reactivos y productos agroquímicos (Borrero et al., 2018; Tewari et al., 2014; Witzgall, Kirsch & Cork, 2010; Ujváry, 2010). En Colombia, el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) es la entidad encargada de regular y conceder permisos de comercialización de estos productos. Actualmente en nuestro país, hay algunos productos que son comerciales disponibles, donde la mayoría de ellos se usan para el manejo de picudos en palma de aceite como *Rhynchophorus palmarum*; respecto a lepidópteros, se tienen dos productos para la polilla de la papa *Tecia solanivora*, un producto para el gusano *Pectinophora gossypiella*, considerado plaga en cultivos de arroz, maíz, sorgo y trigo, otro producto para el gusano rosado colombiano *Sacadodes pyralis*, que es una plaga del algodón (Borrero et al., 2018).

Un producto comercial muy conocido en otros países, y que se ha trabajado en muy pocas investigaciones en Colombia, es el de la feromona sexual del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*. Esta trampa (figura 39) es una de las más utilizadas en Latinoamérica y ha mostrado ser eficiente en varios países como México (Malo et al., 2001), Costa Rica (Andrade, Rodriguez & Oehlschlager, 2000), Brasil (Batista et al., 2006), siendo comercializada por ChemTica, una empresa costarricense. En Europa, para este mismo insecto se usa la feromona comercializada por Pherobank, de origen holandés, y que también ha sido eficiente en la captura de *S. frugiperda* en algunos países de este continente (Ostrauskas, 2003). La trampa consiste en un blíster con un líquido color azul, donde viene

disuelta la feromona sintética; esta se fija en un galón con aberturas adecuadas y agua jabonosa en el fondo, donde se posan los machos atraídos y se hunde para morir ahogados.

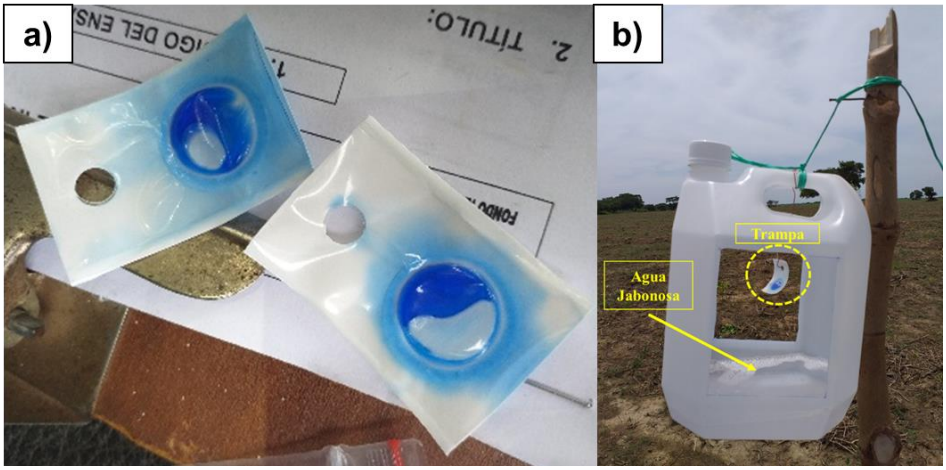

Figura 39: a) Dos blísteres (unidades de señuelo) de la feromona comercial, compradas a SAFER (representantes de ChemTica en Colombia). Recién sacadas de su empaque, para uso inmediato. b) Trampa montada en campo, con la feromona comercial (fotos cedidas por la Dra. Mary Montaño Castañeda)

Esta trampa de *S. frugiperda* ha sido usada con la finalidad de monitorear las poblaciones o para la captura masiva mediante trampas en los campos de diversos cultivos que son hospederos de esta plaga. En Colombia, este insecto es una plaga que ocasiona las mayores pérdidas a la producción de maíz, y también en cultivos de algodón, arroz, sorgo, caña de azúcar, entre otros (ICA, 2008); en algunas investigaciones se han probado las dos feromonas comerciales (de ChemTica y Pherobank), evaluadas en cultivos colombianos, encontrándose que ambas trampas fueron eficientes (Agudelo et al., 2010).

Es posible encontrar suficientes referencias bibliográficas que soporten el uso eficiente que tienen las feromonas sexuales de los lepidópteros en las estrategias de control de estas plagas, aunque una de sus desventajas sigue siendo su mayor precio al compararlas con el uso de los agroquímicos convencionales. A través de los años, esta desventaja ha ido disminuyendo gracias a la implementación de estrategias sintéticas que han permitido obtener las feromonas a gran escala y de manera asequibles, aunque aún se espera que con

los años surjan nuevas metodologías para sintetizarlas, y su precio baje aún más, y así puedan ser utilizadas masivamente como estrategia de control para diferentes insectos y en diversos cultivos, teniendo en cuenta además, la restricción en el uso que están tiendo los plaguicidas convencionales desde hace varias años, desde el punto de vista ambiental, toxicológico y de la legislación a nivel mundial.

6 CONCLUSIONES

La realización de este trabajo puede ser una herramienta útil puesto que brinda información relevante y concisa sobre las plagas que afectan los cultivos de cucurbitáceas en el departamento de Córdoba y la región Caribe, así como los distintos métodos usados para el control y mitigación de los mismos. Mediante la recopilación y la gran evidencia sobre los diferentes estudios realizados a los compuestos de la familia de las cucurbitáceas y su interacción con los lepidópteros es posible determinar que el uso de feromonas puede ser una herramienta útil para el control de estos insectos plaga.

La descripción de los diferentes componentes de las feromonas permite deducir cuáles pueden ser usados en la mitigación de las especies de lepidópteros, permitiendo obtener mejores resultados ya que, de esta manera, se puede obtener mayor selectividad y especificidad. Con esta descripción de los componentes de las feromonas se puede determinar qué molécula o conjunto de moléculas son los compuestos claves que ejercen la atracción sobre los lepidópteros permitiendo de esta manera, una mejor implementación de las trampas con los compuestos que funcionan como atrayentes y en una proporción definida.

Los diferentes trabajos presentados en esta compilación permiten vislumbrar las diferentes estrategias que se han implementado para combatir estas plagas; por medio de la síntesis de estos compuestos se pueden hacer técnicas de control de plagas y trampas comerciales a precios asequibles. En adición, los estudios relacionados con la síntesis de las feromonas sexuales permiten la utilización de productos químicos con menor índice de contaminación ambiental, así como más selectivos a las especies de plagas a tratar. Esto, mediante el conocimiento de la composición de las feromonas y los diferentes mecanismos para su síntesis; por otro lado, la interacción entre la feromona y los insectos plagas permiten

determinar que este tipo de compuestos tienen un gran potencial de utilidad dentro del control de los lepidópteros.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbas M. (2018). Genetically engineered (modified) crops (*Bacillus thuringiensis* crops) and the world controversy on their safety. *Egypt J Biol Pest Control*, 28: 52-63.

Abd El-Ghany N. (2019). Semiochemicals for controlling insect pests. Review. *J. Plant Prot. Res.*, 59(1):1–11.

Abrams S.; Shaw A. (1988). Triple Bond Isomerizations: 2- to 9-decyn-1-ol. *Org. Synth*. 66: 127-129.

Acuña M., García C., Rosas N., López M., Saínz J. (2015). Formulación de *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin con polímeros biodegradables y su virulencia contra Heliothis virescens (Fabricius). *Rev. Int. Contam. Ambient*., 31(3): 219-226.

Agudelo H., Santos O., Aguilera E., Argüelles J. (2010). Evaluación de dos marcas comerciales de la feromona sexual de *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidade) en el Tolima, (Colombia). *Ciencia &Amp; Tecnología Agropecuaria*, 11(2): 137-143.

Ajuru, M., Nmom, F., (2017). A Review on the Economic Uses of Species of Cucurbitaceae and Their Sustainability in Nigeria, *Am. J. Plant Sci*., 2(1). 17-24.

Ando T., Yamakawa R. (2011). Analyses of lepidopteran sex pheromones by mass spectrometry. *TRAC-Trend. Anal. Chem*., 30(7): 990-1002.

Ando, T., Inomata, S., & Yamamoto, M. (2004). Lepidopteran Sex Pheromones. *Top. Curr. Chem*.; 239: 51-96.

Andrade R., Rodriguez C., Oehlschlager A. (2000). Optimization of a pheromone lure for *Spodoptera frugiperda* (Smith) in Central America. *J. Braz. Chem. Soc*., 11(6): 609-613.

Apablaza J., Norero A. (1993). Capturas de *Agrotis ipsilon*, *Heliothis zea* y *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: noctuidae) con trampas de feromonas sintéticas en la región metropolitana. *Int. J. Agric. Nat. Resour*., 20(1): 73-81.

Arévalo L. (2017). Evolución de tres concentraciones de benzoato de emamectina en el control de *Diaphania nitidalis* (Lepidoptera, Pyralidae) en el cultivo de pepinillo (*Cucumis sativus L*.). [Tesis de grado]. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Baquero C., Arcila A., Arias H., Yacomelo M. (2017). Modelo productivo del cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) para la región Caribe. Mosquera: Corpoica. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Informe Técnico. 131 pp.

Barraza F. (2015). Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.,* 9(1): 60-71.

Basavaiah D., Brown H. (1982). Pheromone synthesis via organoboranes: a stereospecific synthesis of (*Z*)-7-alken-1-ols. *J. Org. Chem*., 47: 1792-1793.

Batista-Pereira L., Stein K., De Paula A., Moreira J., et al. (2006). Isolation, identification, synthesis and field evaluation of the sex pheromone of the Brazilian population of *Spodoptera frugiperda*. *J. Chem. Ecol*., 32: 1085-1099.

Bento J., Parra J., de Miranda S., Adami A., Vilela E, Leal W. (2016). How much is a pheromone worth?. *F1000Research*, 5: 1763.

Berger R. (1966). Isolation, Identification, and Synthesis of the Sex Attractant of the Cabbage Looper, *Trichoplusia ni*, *Ann. Entomol. Soc. Am*., 59(4): 767-771.

Bestmann H., Vostrowsky O., Paulus H., Billmann W., Stransky W. (1977). Pheromone XI eine aufbaumethode for konjugierte (*E*),(*Z*)-diene. synthese des bombykols, seiner derivate und homologen. *Tetrahedron Lett.*, 18(1), 121-124.

Biermann U., Butte W., Koch R., Fokou P., Türünç O., Meier M., Metzger J. (2012). Initiation of radical chain reactions of thiol compounds and alkenes without any added initiator: thiol-catalyzed cis/trans isomerization of methyl oleate. *Chemistry*, 18(26), 8201-8207.

Bjostad L., Linn C., Du J., Roelofs W. (1984). Identification of new sex pheromone components in *Trichoplusia ni*, predicted from biosynthetic precursors. *J. Chem. Ecol*., 10(9):1309-1323.

Borrero F., Barreto, N., Aragón S., Rivera H., Oehlschlager C., Cotes A. (2018). Capítulo 8: Las feromonas en el control de insectos. Cotes A. (Ed). En: Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros: agentes de control biológico V1 (*pp. 411–453*). Corporación colombiana de investigación agropecuaria – AGROSAVIA.

Byrne P., Gilheany D. (2013). The modern interpretation of the Wittig reaction mechanism. *Chem. Soc. Rev.*, 42(16): 6670-6696.

Canaria J., Ramos A. (2019) Obtención de una pomada a base de extracto natural de Guatila destinada al uso fitoterapéutico (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. 200 pp.

Capote T., Arcaya E., Hernández D. (2019). Primer Registro de *Diaphania hyalinata* (Linnaeus) y D. nitidalis (Stoll) (Lepidoptera: Crambidae) sobre *Melothria pendula* L. (Cucurbitaceae) en el estado Lara, Venezuela. *Investig. Agrar.*, 21(2): 136-141.

Carruthers W., Coldham I. (2004). Formation of carbon–carbon double bonds. In Modern Methods of Organic Synthesis (pp. 105-158). Cambridge: Cambridge University Press.

Chang S., Miwa T. (1972). Brassidic acid: preparation from erucic acid and mechanism of elaidinization. *J. Am. Oil Chern. Soc*., 49: 422-425.

Chatterjee M., Mondal S. (2012). Sustainable management of key Lepidopteran insect pests of vegetables. *Acta Horticulturae*, (958), 147–153.

Chatgilialoglu C., Ferreri, C. (2021). Reductive Stress of Sulfur-Containing Amino Acids within Proteins and Implication of Tandem Protein–Lipid Damage. *Int. J. Mol. Sci.* 22: 12863.

Chattopadhyay A., Mamdapur V., Chadha M. (1983). A convenient synthesis of (*E*)-9-tetradecen-1-yl acetate a sex pheromone of gelechiid moth & (*E*)-5-decenol a sex pheromone of peach twig borer. *Ind. J. Chem*. 22B:1221.

Coapio G., Cruz L., Guerenstein P., Malo E., Rojas J. (2016). Herbivore Damage and Prior Egg Deposition on Host Plants Influence the Oviposition of the Generalist Moth *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.*, 109(6): 2364-2372.

Cook S., Khan Z., Pickett J. (2007). The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annu. Rev. Entomol.,* 52:375-400.

Cork A., Chamberlain D., Beevor P., Hall D., Nesbitt B., Campion D., Attique M. (1988). Components of female sex pheromone of spotted bollworm, *Earias vittella* F. (Lepidoptera: Noctuidae): Identification and field evaluation in Pakistan. *J. Chem. Ecol.*, 14(3): 929-945.

Correa E., Yacomelo M., León, R., Orozco A., Silva G. (2019). Modelo productivo de ahuyama para la región Caribe colombiana. Mosquera: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Informe técnico. 216 pp.

Crawford H. (2017). Boletín Técnico INIA: Manual de manejo agronómico para cultivo de Melón *Cucumis melo* L. Santiago de Chile: Instituto de Desarrollo Agropecuario. 92 pp.

Czaja K.; Góralczyk K.; Struciński P.; Hernik A.; Korcz W.; Minorczyk M.; Łyczewska M.; Ludwicki J.K. (2015). Biopesticides–towards increased consumer safety in the European Union. *Pest. Manag. Sci.*, 71: 3–6.

DANE. (2020). Boletín Técnico Mensual No 93. Insumos y Factores Asociados a La Producción Agropecuaria, SIPSA. 76 pp.

Dasaradhi L., Neelakantan P., Jagadishwar Rao S., Bhalerao U. (1991). A New Synthesis of, α-Unsaturated Aldehydes: Synthesis of Traumatin and Bombykol. *Synth. Commun.*, 21:2, 183-190.

Delgado G., Rojas C., Sencie A., Vásquez L. (2014). Caracterización de frutos y semillas de algunas cucurbitáceas en el norte del Perú. *Rev. Fitotec. Mex.*, 37(1), 7-20.

Dénès F., Pichowicz M., Povie G., Renaud P. (2014) Thiyl radicals in organic synthesis. *Chem Rev*., 114(5): 2587-2693.

de Oliveira A., Roque C., Zart M., Guide B., Alves V. (2018). Evaluación de nemátodos entomopatógenos en *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) bajo condiciones de laboratorio e invernadero. *Rev. Colomb. Entomol.,* 44(1): 25–31.

Dhiman K., Gupta A., Sharma D., Gill, N., Goyal A. (2012). A Review on the Medicinally Important Plants of the Family Cucurbitaceae. *Asian J. Clin. Nutr.,* 4: 16-26.

Du Y., Feng B., Li H., Liu C., Zeng J., Pan L., Yu Q. (2015). Field Evaluation of *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) Pheromone Blends and Their Application to Monitoring Moth Populations in China. *Environ Entomol*., 44(3): 724-733.

El-Sayed A.M. (2021). The Pherobase: Database of Insect Pheromones and Semiochemicals. <http://www.pherobase.com>. [consultada en mayo de 2021].

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). Datos de producción cultivos. Calabazas, zapayo, calabaza confitera. Recuperado de http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC. [Consultada en noviembre 2021].

Ferreri C., Samadi A., Sassatelli F., Landi L., Chatgilialoglu C. (2004). Regioselective cis-trans isomerization of arachidonic double bonds by thiyl radicals: the influence of phospholipid supramolecular organization. *J. Am. Chem. Soc*., 126(4): 1063-1072.

Gemeno C., Lutfallah A. Haynes K. (2000). Pheromone blend variation and cross-attraction among populations of the black cutworm moth (Lepidoptera: Noctuidae). *Ann. Entomol. Soc. Am*., 93:1322-1328.

Gemeno C., Haynes K. (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.

Grant B., Djerassi C. (1974). The Mechanism of Hydride Reduction of 1 -Alkyn-3-ols. *J. Org. Chem.*, 39(7): 968-970.

Grodner J. (2006). Stereospecific Synthesis of (2*E*,13*Z*)-2,13-Octadecadienyl Acetate, the Sex Pheromone Component of the Lepidoptera Species. *Synth. Commun.*, 36(7), 919–924.

Hall D., Beevor P., Lester R., Nesbitt B. (1980). (*E,E*)-10,12-Hexadecadienal: A component of the female sex pheromone of the spiny bollworm, *Earias insulana* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Experientia*, 36(2): 152-154.

Hassanali A., Herren H., Khan Z., Pickett J., Woodcock C. (2008). Integrated pest management: The push-pull approach for controlling insect pests and weeds of cereals, and its potential for other agricultural systems including animal husbandry. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 363(1491), 611–621.

Heguaburu, V. (2019). Producción y evaluación de feromonas sexuales para el control de tortrícidos nativos (Lepidoptera: Tortricidae) en frutales de pepita. Informe proyecto, serie: FPTA Nº 83. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria - INIA (Uruguay). 44 pp.

Henrick C., Anderson R., Staal G., Ludvik G. (1978). Insect juvenile hormone activity of optically active alkyl (2*E*,4*E*)-3,7,11-trimethyl-2,4-dodecadienoates and of arylterpenoid analogs. *J. Agric. Food Chem*. 26(3): 542–550.

Ibrahim H. (2019). Virulence of entomopathogenic nematodes and fungi and their interaction in biological control of black cutworm, *Agrotis ipsilon* Hufnagel (Lepidoptera: Noctuidae). *Int. J. Entomol. Res*., 4(6): 45-50.

ICA - Instituto Colombiano Agropecuario. (2008). Resolución No. 000879. p. 1-5. En: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, Colombia.

Ishmuratov G., Botsman O., Botsman L., Yakovleva M., Kharisov R., Tolstikov G. (2000). Synthesis from 10-undecenoic acid of octadeca-2*E*,13*Z*-dienylacetate, a component of the sex pheromones of *Synanthedon tipuliformis* and Zenzera pyrina. *Chem. Nat. Compd.*, 36(2), 207–209.

Islam A. (2012). Knowledge and practice of pheromone technologies: A case study of a representative district in Bangladesh. *Acad. Res. Int.*, 2(2): 55-61.

Jackson D., Canhilal R., Carner G. (2005). Trap Monitoring Squash Vine Borers in Cucurbits. *J. Agric. Urban Entomol*., 22(1): 27-39

Jackson M., Klun J., Khrimian A., Simmons A., Sorensen K. (1998). Monitoring Pickleworm (Lepidoptera: Pyralidae) Moths with Pheromone-Baited Traps. *J. Econ. Entomol.,* 91(4): 950-956.

Janmaat A., Myers J. (2003). Rapid evolution and the cost of resistance to *Bacillus thuringiensis* in greenhouse populations of cabbage loopers, *Trichoplusia ni*. *Proc. R. Soc. Lond. B,* 270: 2263-2270.

Jaramillo J., Aguilar P., Navarrete A., Saldarriaga A., Grisales N., et al. (2019). Modelo productivo de calabacín (cucurbita pepo) para los departamentos de Cundinamarca y Antioquia. Mosquera, Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Informe Técnico. 275 pp.

Kao Y., Shiao M. (1985). An Improved Synthesis of Insect Sex Attractant: cis-7-Dodecenyl Acetate. *J. Chin. Chem. Soc.*, 32(3): 373-375.

Khan Z., Midega C., Bruce T., Hooper A., Pickett J. (2010). Exploiting phytochemicals for developing a "push-pull" crop protection strategy for cereal farmers in Africa. *J. Exp. Bot.*, 61(15): 4185-4196.

Khare R., Pandey J., Smriti S., Ruchi R. (2019). The Importance and Applications of Knoevenagel Reaction (Brief Review). *Orient. J. Chem*., 35(1): 423-429.

Khulakpam N., Singh V., Rana D. (2015). Medicinal Importance of Cucurbitaceous Crops. *Int. J. Biol. Sci.*, 4(6): 1-3.

Klun J., Schwarz M., Leonhardt B., Cantelo W. (1990). Sex pheromone of the female squash vine borer (Lepidoptera: Sesiidae). *J. Entomol. Sci*., 25: 64-72.

Klun J., Leonhardt B., Schwarz M., Day A., Raina A. (1986). Female sex pheromone of the pickleworm, *Diaphania nitidalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Chem. Ecol*., 12(1): 239-249.

Leadbetter G., Plimmer J. (1979). An improved preparation of some insect sex attractants: Synthesis and separation of geometrical isomers by formation of urea complexes. *J. Chem. Ecol*., 5, 101-108.

Leiner R., Spafford H. (2016). Pickleworm (*Diaphania nitidalis* cramer) neonate feeding preferences and the implications for a push-pull management system. *Insects*, 7(3), 32.

Luo Z., Magsi F., Li Z., et al. (2019). Development and Evaluation of Sex Pheromone Mass Trapping Technology for *Ectropis grisescens*: A Potential Integrated Pest Management Strategy. *Insects,* 11(1), 15.

Machado E., dos S. Rodrigues Junior G., Führ F., et al. (2020). Cross-crop resistance of *Spodoptera frugiperda* selected on *Bt maize* to genetically-modified soybean expressing Cry1Ac and Cry1F proteins in Brazil. *Sci. Rep*., 10:10080.

Malo E., Cruz L., Valle M., Virgen A., Sanchez A., Rojas J. (2001). Evaluation of commercial pheromone lures and traps for monitoring male fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in the coastal region of Chiapas, Mexico. *Fla. Entomol*. 84(4): 659-664.

Mcelfresh J., Millar J. (1999). Sex Pheromone of the Common Sheep Moth, *Hemileuca eglanterina*, from the San Gabriel Mountains of California. *J. Chem. Ecol*., 25: 687-709.

Middleton E. (2018). Biology and Management of Squash Vine Borer (Lepidoptera: Sesiidae). *J. Integr. Pest Manag*., 9(1): 22; 1-8.

Miyaura N., Suginom H., Suzuki, A. (1983). New stereospecific syntheses of pheromone bombykol and its three geometrical isomers. *Tetrahedron*, 39: 3271-3277.

Mori K. (2014). Stereochemical studies on pheromonal communications. *Proc. Jpn. Acad., Ser. B*, 90(10): 373–388.

Mori K. (2007). Significance of chirality in pheromone science. *Bioorg. Med. Chem*., 15: 7505–7523.

Mori K. (2005). Organic Synthesis in Pheromone Science. *Molecules*, 10: 1023-1047.

Mori K. (2004). Pheromone Synthesis. *Top. Curr. Chem*., 239: 1–50.

Mori K.; Tashiro T. (2004). Useful Reactions in Modern Pheromone Synthesis. *Curr. Org. Synth*., 1: 11-29.

Ostrauskas H. (2003). Moths caught in pheromone traps for southern armyworm (*Spodoptera eridania*), fall armyworm (*S. frugiperda*), and egyptian cotton leafworm (*S. littoralis*) (Noctuidae: Lepidoptera) during 1999-2001 in Lithuania. *Acta Zool. Litu*., 13(4):411-424.

Parashar R., Parashar R. (2008). Chapter 4: Carbon–Carbon Double Bond Forming Reactions. Parashar R.K. (Ed.). In *Modern Methods of Organic Synthesis* (pp. 105-158). Cambridge: Cambridge University Press.

Paris H. (2016). Overview of the origins and history of the five major cucurbit crops: issues for ancient DNA analysis of archaeological specimens. *Veget. Hist. Archaeobot*., 25: 405-414.

Portela D., Chaparro A., López S. (2013). La biotecnología de *Bacillus thuringiensis* en la agricultura. *Nova*, 11(20), 87-96.

Potting R., Perry J., Powell W. (2005). Insect behavioural ecology and other factors affecting the control efficacy of agro-ecosystem diversification strategies. *Ecol. Modell.*, 182(2): 199-216.

Raina A., Klun J., Schwarz M., Day A., Leonhardt B., Douglass L. (1986). Female sex pheromone of the melonworm,*Diaphania hyalinata* (Lepidoptera: Pyralidae), and analysis of male responses to pheromone in a flight tunnel. *J. Chem. Ecol*., 12(1): 229-237.

Rangel J. (2015). La biodiversidad de Colombia: significado y distribución regional. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.*, 39(151): 176-200.

Rodríguez R., Valdés R., Ortiz G. (2018). Características agronómicas y calidad nutricional de los frutos y semillas de zapallo *Cucurbita sp. Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 10(1), 86-97.

Rolnik, A., Olas, B. (2020). Vegetables from the Cucurbitaceae family and their products: Positive effect on human health. *Nutrition.* 78: 110788.

Sakurai T., Nakagawa T., Mitsuno H., et al. (2004). Identification and functional characterization of a sex pheromone receptor in the silkmoth *Bombyx mori*. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*,101(47): 16653-16658.

Salama, A. (2006). Las cucurbitáceas. Importancia económica, bioquímica y medicinal. Editorial UN. 201 pp.

San Martín E., Martínez R., Espinosa M., Núñez C., Landa G., Salinas A. (2019). Primer reporte de *Melittia calabaza* (Duckworth y Eichlin) (Lepidoptera: Sesiidae) en el Estado de Veracruz, México. *RCHE*, 45 (4): 681-687.

Sarfo J., Campbell C., Hall D. (2018). Design and placement of synthetic sex pheromone traps for cacao mirids in Ghana. *Int. J. Trop. Insect Sci*., 38(2): 122-131.

Schwarz M., Klun J., Leonhardt B., Johnson D. (1983). (*E*,*Z*)-2,13-octadecadien-1-ol acetate. A new pheromone structure for sesiid moths. *Tetrahedron Lett.*, 24, 1007-1010.

Sekul A., Sparks A., Beroza M., Bier B. (1975). A Natural Inhibitor of the Corn Earworm Moth Sex Attractant. *J. Econ. Entomol*., 68(5): 603-604.

Shairra S., Hassan H., Ibrahim S. (2016). Efficiency of entomopathogenic nematodes as biocontrol agents for *Agrotis ipsilon* larvae. *Bull.ent. Soc.Egypt*, 42: 1-12.

Sharma A., Katoch V., Rana C. (2016). Chapter: 18: Important Diseases of Cucurbitaceous Crops and Their Management. Mohammad Pessarakli (Ed.). In: *Handbook of Cucurbits Growth, Cultural Practices and Physiology*, 1st ed (pp: 301-324). Boca Raton, USA.

Shrivastava A., Roy S. (2013). Cucurbitaceae: a ethnomedicinally important vegetable family. *J. Med. Plants. Stud.*, 1: 16–20.

Sonnet P., Oliver J. (1976). Olefin inversion. 2. Sodium iodide reduction of vic-bromochlorides and vic-dichlorides. *Org. Chem*., 41: 3284-3286.

Sorochinskaya A., Kovalev, B. (1989). Synthesis of the acetate of octadeca-trans-2,cis-13-dien-1-ol, a component of the sex pheromones of *Synanthedon tipuliformis* and *Zeuzera pyrina*. *Chem. Nat. Compd.*, 25(2), 228-230.

Struble D., Swailes G. (1975). A sex attractant for the clover cutworm, *Scotogramma trifolii* (Rottenberg), a mixture of *Z*-11-hexadecen-1-ol acetate and *Z*-11-hexadecen-1-ol. *Environ. Ent*., 4: 632-636.

Suckling D., Conlong D., Carpenter J., Bloem K., Rendon P., Vreysen M. (2017). Global range expansion of pest Lepidoptera requires socially acceptable solutions. *Biol. Invasions*, 19:1107-1119.

Tercero S. (2018). Generalidades y Manejo de Plagas y Enfermedades en el Cultivo de Melón (*Cucumis melo* L.) en la Empresa Lowland Corporation, Ciudad Sandino, Managua, 2016-2017. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria (Managua).

Tewari S., Leskey T., Nielsen A., Piñero, J., Rodriguez C. (2014). Chapter 9: Use of Pheromones in Insect Pest Management, with Special Attention to Weevil

Pheromones. Abrol D. P. (Ed): In Integrated Pest Management. Current Concepts and Ecological Perspective (*pp 141–168*).

Tonini C., Cassani G., Massardo P., Guglielmetti G., Castellari P. (1986). Study of female sex pheromone of leopard moth, *Zeuzera pyrina* L. Isolation and identification of three components. *J. Chem. Ecol*., 12(6), 1545–1558.

Tumlinson J., Hendricks D., Mitchell E., et al. (1975) Isolation, identification, and synthesis of the sex pheromone of the tobacco budworm. *J. Chem. Ecol.,* 1: 203–214.

Ujváry I. (2010). Chapter 3: Pest Control Agents from Natural Products. Krieger R. (Ed.). In Hayes' Handbook of Pesticide Toxicology (*pp 119–229*).

Ujváry I., Kis-Tamas A., Novak L. (1985). Simple and economic syntheses of some (*Z*)-7- and (*Z*)-9-alkenyl acetates, and of (*E,Z*)-7,9-dodecadien-1-yl acetate, the sex pheromone of the European grapevine moth, using aleuritic acid as a common starting material. *J. Chem. Ecol*. 11:113-124.

Urretabizkaya N., Vasicek A., Saini, E. (2010). Insectos Perjudiciales de Importancia Agronómica I. Lepidópteros. Ediciones INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 77 pp.

Valles S., Capinera J., Teal P. (1991). Evaluation of pheromone trap design, height, and efficiency for capture of male *Diaphania nitidalis* (Lepidoptera: Pyralidae) in a field cage. *Environ. Entomol*., 20: 1274-1278.

Voerman S., Persoons C., Priesner E. (1984). Sex attractant for currant clearwing moth *Synanthedon tipuliformis* (Clerck) (Lepidoptera: Sesiidae). *J. Chem. Ecol.*, 10(9), 1371–1376.

Wakamura S., Struble D., Matsuura H., Sato M., Kegasawa K. (1986). Sex pheromone of the black cutworm moth, *Agrotis ipsilon* Hufnagel (Lepidoptera: Noctuidae): attractant synergist and improved formulation. *Appl. Entomol. Zool*., 21: 299-304.

Wang X., Tanaka M., Peixoto H., Wink M. (2017). Cucurbitacins: elucidation of their interactions with the cytoskeleton. *PeerJ*. 5: e3357.

Qureshi J., Seal D., Webb S. (2017). Insect Management for Cucurbits (Cucumber, Squash, Cantaloupe, and Watermelon). Document ENY-460. Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS). University of Florida. 18 pp.

Witzgall P., Kirsch P., Cork A. (2010). Sex pheromones and their impact on pest management. *J Chem Ecol*., 36(1): 80-100.

Xu P., Hooper A., Pickett J., Leal W. (2012). Specificity Determinants of the Silkworm Moth Sex Pheromone. *PLOS ONE*, 7(9): e44190.

Yepes R. (2001). Contribución al manejo integrado del gusano del pepino, *Diaphania nitidalis* Stoll. (Lepidoptera: Pyralidae). En C. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria & S. Sociedad Colombiana de Entomología, Hortalizas plagas y enfermedades (1st ed., pp. 48 - 52). CORPOICA.

Yuksel E., Canhilal R. (2018). Evaluation of local isolates of entomopathogenic nematodes for the management of black cutworm, *Agrotis ipsilon* Hufnagel (Lepidoptera: Noctuidae). *Egypt. J. Biol. Pest Control*, 28: 82.