



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**PERFIL QUÍMICO DE VOLÁTILES DE *Neltuma laevigata* Y *Vachellia schaffneri*  
(FABACEAE: CAESALPINIOIDEAE) POTENCIALMENTE INVOLUCRADOS EN  
SUS INTERACCIONES INTRA E INTERESPECÍFICAS**

Tesis para obtener el título de:

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**BIÓL. LUIS FERNANDO OLVERA URIBE**

DIRECTOR:

**DR. ANGEL ALONSO ROMERO LÓPEZ**



DICIEMBRE 2025



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

H. Puebla de Z. a 11 de diciembre de 2025

**Asunto: Voto Aprobatorio**

**Comité Académico del Posgrado  
PRESENTE**

Por medio de la presente se hace constar que se revisó y aprobó la tesis titulada:

**“Perfil químico de volátiles de *Neltuma laevigata* y *Vachellia schaffneri* (Fabaceae: Caesalpinioideae) potencialmente involucrados en sus interacciones intra e interespecíficas”**

Que presenta el (la) estudiante (**Luis Fernando Olvera Uribe**) con número de matrícula 223470518, aspirante al grado de **Maestro en Ciencias Biológicas**, de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: **“Ecología y Aprovechamiento de Recursos Bióticos”**, notificamos que la tesis reúne los requisitos y se aprueba para su réplica oral en el examen de grado.

Por lo tanto, emitimos los **VOTOS APROBATORIOS** como miembros del **Comité de Jurado de Examen de Grado** como a continuación se indica:

Tutor Interno: **Dra. María Concepción López Téllez**

Tutor Externo: **Dr. Alan Carrasco Carballo**

Revisor: **Dr. Jesús Francisco López Olguín**

Agradecemos de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.



## DECLARACIÓN DE TRABAJO DE TESIS ORIGINAL

Quien suscribe, egresado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) de la Facultad de Ciencias Biológicas y estudiante del programa de Maestría en Ciencias Biológicas, libre y voluntariamente declaro la responsabilidad del contenido de la presente tesis titulada “Perfil químico de volátiles de *Neltuma laevigata* y *Vachellia schaffneri* (Fabaceae: Caesalpinioideae) potencialmente involucrados en sus interacciones intra e interespecíficas”. Se trata de un trabajo original, sin plagio y el cual no ha sido usado en otro tramite de obtención de grado.

Por lo tanto, se ceden los derechos de propiedad intelectual de la misma a la BUAP para que se incluya como parte del acervo de la Biblioteca, como documento de lectura y consulta.



---

Biól. Luis Fernando Olvera Uribe

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada (CVU 1060430) para poder llevar a cabo el presente trabajo.

A la Maestría en Ciencias Biológicas (BUAP) incluida en el PNPC (005671) por el acompañamiento académico.

Al Dr. Angel Alonso Romero López por brindarme todo el apoyo necesario durante la maestría, además de contar con su comprensión y paciencia que lo caracteriza como persona para poder concluir el presente trabajo.

Al Dr. Alan Carrasco Carballo por otorgarme su laboratorio y materiales necesarios para llevar a cabo los experimentos y contar con su apoyo en todo momento.

A la Dra. María Concepción López Téllez por otorgarme su espacio de trabajo y compartir sus conocimientos para el aporte al trabajo.

Al Dr. Jesús Francisco López Olgúin por disponer de su tiempo en revisar mi trabajo y apoyarme en todo momento cuando lo requería.

A mis padres José Isabel y Beatriz, hermanos Víctor y Selene y sobrina Ximena por el amor incondicional que me tienen y que jamás han dudado en que puedo lograr hacer grandes cosas.

A mis compañeros y amigos Paola Ureña, Josué Cruz, Alba Juárez, David Vázquez y Diana Cruz por brindarme todo su apoyo y ayuda incondicional cuando más lo necesitaba.

A mi mejor amiga Ángeles Amaro por siempre creer en mí, acompañarme en hacer locuras, disponer de su valioso tiempo para convivir conmigo y contar con su apoyo incondicional en todo momento.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>3</b>
2.1. Interacciones planta-planta .....	3
2.2. Metabolitos secundarios y compuestos orgánicos volátiles en plantas .....	5
2.3. Papel de los COV en las interacciones planta-planta .....	7
2.4. COV involucrados en interacciones planta-planta .....	9
2.5. Generalidades de las especies bajo estudio.....	10
2.5.1. <i>Neltuma laevigata</i> .....	10
2.5.2. <i>Vachellia schaffneri</i> .....	13
2.6. Antecedentes directos .....	15
2.6.1. Estudios relacionados con metabolitos secundarios en mezquites y huizaches .....	15
2.6.2. Estudios relacionados con COV en especies de Fabaceae .....	17
2.6.3. Estudios de COV en especies de <i>Neltuma</i> y <i>Vachellia</i> .....	18
2.6.4. Interacciones de árboles de <i>Neltuma</i> y <i>Vachellia</i> con otras especies vegetales.....	19
2.6.5. Interacciones de <i>N. laevigata</i> y <i>V. schaffneri</i> con “enfoque infoquímico”. .....	19
<b>3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>21</b>
<b>4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>21</b>
<b>5. HIPÓTESIS .....</b>	<b>22</b>
<b>6. OBJETIVOS.....</b>	<b>22</b>
General.....	22
Particulares.....	22
<b>7. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
7.1. Identificación de perfil químico de hojas de <i>N. laevigata</i> y <i>V. schaffneri</i> .....	23
7.1.1. Sitio de muestreo y recolecta de material vegetal .....	23
7.1.2. Extracción de COV de hojas de <i>N. laevigata</i> y <i>V. schaffneri</i> .....	25
7.1.3. Análisis de COV de <i>N. laevigata</i> y <i>V. schaffneri</i> por cromatografía de gases-espectrometría de masas (CG-EM) .....	27
7.2. Contrastación de COV registrados en otras especies Fabaceae .....	28
7.3. Diseño y preparación de complejos de interacción química-ecológica.....	28

7.3.1. Ubicación y registro de plantas vecinas de <i>N. laevigata</i> y <i>V. schaffneri</i> ....	28
7.3.2. Determinación de COV reportados como infoquímicos .....	29
7.3.3. Creación de “Complejos de interacción química-ecológica” .....	29
<b>8. RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
8.1. Análisis CG-EM .....	30
8.2. Registro de especies vecinas de <i>N. laevigata</i> y <i>V. schaffneri</i> .....	35
8.3. Propuesta de complejos de interacción intra e interespecífica.....	37
<b>9. DISCUSIÓN .....</b>	<b>51</b>
<b>10. CONCLUSIONES .....</b>	<b>64</b>
<b>11. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>78</b>

## RESUMEN

El estudio de los COV de mezquites y huizaches producidos y emitidos a partir de sus hojas, se ha limitado a la identificación química, sin involucrar su potencial función en las interacciones intra e interespecíficas en sus medios naturales. En la presente investigación se utilizaron hojas de “mezquites blancos” (*Neltuma laevigata*) y “huizaches chinos” (*Vachellia schaffneri*) para la identificación del perfil químico de compuestos orgánicos volátiles mediante cromatografía de gases y espectrometría de gases, revelando que los sesquiterpenos son los predominantes en ambas especies, con veintidós compuestos en común, entre los cuales incluyen a *D*-Limoneno, 1*R*- $\alpha$ -pineno, 1*S*- $\alpha$ -pineno, *o*-cimeno y  $\beta$ -cariofileno. A partir de una revisión bibliográfica sistemática, se seleccionaron aquellos compuestos del perfil químico de ambas especies que podrían estar involucrados en las interacciones planta-planta. Por otra parte, se registró el nombre científico de las especies vecinas de *N. laevigata* y *V. schaffneri*, tomando como criterio una distancia menor o igual a 5 m entre planta y planta. Fue así como se esquematizaron once complejos de interacción químico-ecológicas (cuatro intraespecífica, siete interespecífica), en los cuales se simuló el efecto de los COV desde la perspectiva de la clasificación de infoquímicos, ya sea como alomonas, kairomonas o sinomonas, entre mezquites-mezquites, mezquites-huizaches, huizaches-huizaches y entre ambas con plantas vecinas. De todos los compuestos propuestos como infoquímicos en los complejos de interacción, *D*-limoneno y 1*S*- $\alpha$ -pineno fueron los más relevantes al tener un porcentaje de abundancia alta y mayormente reportados en la literatura consultada. Asimismo, se preparó una secuencia que representa dichas interacciones químico-ecológicas, pero a nivel molecular, destacando las principales rutas metabólicas a partir de que los COV son liberados al ambiente a través de las hojas de *N. laevigata* y *V. schaffneri* y posteriormente son captados por los tricomas y estomas de las hojas de plantas de la misma u otra especie.

**Palabras clave:** Perfil químico, infoquímicos, interacción químico-ecológicas

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio de las interacciones entre los organismos por medio de infoquímicos (Dicke y Sabelis, 1988) permite comprender cómo se llevan a cabo procesos vitales para los interactuantes como la polinización, activación de los mecanismos defensivos vegetales o atracción de depredadores o parasitoides (Acevedo, 2020). En el caso de las interacciones ecológicas que establecen *Neltuma laevigata* (Humb. y Bonpl. ex. Willd.) Britton y Rose y *Vachellia schaffneri* (Watson) (Fabaceae), especies vegetales de relevancia médica y farmacológica en México (Manríquez-Torres, 2013; Hernández-Hernández, 2021), se sabe que estas especies forman comunidades llamadas mezquital y huizachal, de los cuales, los huizaches están asociados con mezquites (principalmente *N. laevigata*) y con algunos cactus como los del género *Opuntia* (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014; Palacios-Romero *et al.*, 2016; Machuca-Velasco *et al.*, 2017; Santander-Martínez, 2018). Predominan los estudios relacionados con los metabolitos secundarios que producen varias especies de mezquites y huizaches y que son aprovechados por el ser humano (Rojas-Hernández *et al.*, 2009; Rodríguez-Pedroso *et al.*, 2012; Ardoino *et al.*, 2013; Santander-Martínez, 2018; Armijo-Nájera *et al.*, 2019; Ramírez-Rojo *et al.*, 2019; Manríquez-Torres *et al.*, 2020; Valencia *et al.*, 2020; García-Azpeitia *et al.*, 2022), así como de la función alelopática que tienen algunos extractos de mezquite y huizache sobre otras especies vegetales (Peguero *et al.*, 2012; Vargas-Martínez, 2013). Sin embargo, no se cuenta con estudios sobre el papel mediador de los compuestos orgánicos volátiles (COV) en las interacciones intra e interespecíficas que establecen los mezquites y huizaches en el medio. En la presente investigación se plantea atender este aspecto, con la identificación del perfil químico de los COV de hojas de *N. laevigata* y *V. schaffneri* al momento en que inicia la interacción con plantas vecinas y otros seres vivos, con la creación de “complejos de interacción químico-ecológicas” digitales para ambas especies a partir de aquellos COV que presentarían actividad como infoquímicos (alomonas, sinomonas o kairomonas), en su hábitat natural. Con ello, se pretende sentar las bases para futuros trabajos que permitan comprender la ecología química de miembros de Fabaceae e incluso, de Caesalpinioideae.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Interacciones planta-planta

La Ecología química es el área interdisciplinaria que estudia las interacciones mediante procesos de emisión y percepción de compuestos químicos entre los organismos y su ambiente (Acevedo, 2020). En este sentido, Dicke y Sabelis (1988) proponen el término “infoquímicos” para todos aquellos compuestos involucrados en las interacciones, en el que el emisor (planta o insecto) emite un “mensaje químico” al receptor (planta o insecto) y este responde, estableciendo una auténtica comunicación. Los infoquímicos están clasificados en feromonas, (exclusiva para interacciones intraespecíficas), y aleloquímicos (exclusiva para interacciones interespecíficas). En cuanto a los aleloquímicos, se dividen en alomonas (emisor beneficiado), kairomonas (receptor beneficiado) y sinomonas (emisor y receptor beneficiados), siendo estos relevantes para comprender los tipos de interacciones que existen entre plantas e insectos.

Sin embargo, publicaciones más recientes como los de Cortez (2013) y Acevedo (2020) usaron el término “semioquímicos” para referirse a aquellas sustancias químicas implicadas en las interacciones entre organismos individuales (Nordlund y Lewis, 1976). Dicho término no considera el costo-beneficio de los interactuantes desde el punto de vista evolutivo. A pesar de ello, la clasificación dada para los términos semioquímicos e infoquímicos se mantienen igual (feromonas y aleloquímicos), solo con unos ligeros cambios en los tipos de clasificación.

En México, la Ecología química surgió en 1989, donde se realizaron los primeros estudios sobre el papel que cumplen los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas y como podrían ser emplearlos de manera fácil y económica para combatir algunas especies de insectos plaga que afectan cultivos importantes y reducir el uso de insecticidas sintéticos dañinos para el ambiente (Anaya-Lang, 1994). Un ejemplo claro es el de Villavicencio y Juárez-Monroy (1989), quienes describen que los extractos etanólicos de hojas frescas de *Thryallis glauca* (Cav.) (Malpighiaceae), *Decatropis bicolor* (Zucc.) (Rutaceae) y *Plumbago pulchella*

(Boiss.) (Plumbaginaceae) presentan propiedades antialimentarias que reducen significativamente la alimentación de las larvas de *Sithopithus granarius* L., insecto responsable de atacar granos almacenados.

Otro ejemplo más reciente es el de Vaca-Sánchez *et al.* (2016), quienes reportan que los taninos hidrolizables y condensados presentes en especies del género *Quercus* tienen diferentes efectos defensivos contra insectos fitófagos, entre los más destacados, daño en los tejidos (principalmente el intestino medio), como repelente alimenticio y alteración en el desarrollo y crecimiento, por lo tanto, dichos metabolitos podrían ser de gran utilidad en el futuro para beneficio humano en el control de plagas.

En cuanto a la interacción planta-planta, al ser organismos sésiles, su comunicación intra e interespecífica se basa en dos tipos, la primera es por alelopatía, que consiste en que una planta libera compuestos químicos (principalmente terpenos) que pueden perjudicar o beneficiar el crecimiento o supervivencia a otras plantas cercanas a ella (Llusia *et al.*, 1998; Campos-García y Gámez-González, 2008, Inderjit *et al.*, (2011), estos compuestos pueden ser producidos y liberados en cuatro formas: volatilización, lixiviación, exudación y descomposición de materia vegetal (Macias *et al.*, 2007); y la segunda, como señal de alarma contra fitófagos o patógenos, en lo cual, cuando una planta es dañada en alguno de sus órganos, emite mensajes químicos para que plantas de su misma o diferente especie cercanas a ella los perciban y comiencen a activar sus mecanismos de defensa para prevenir o resistir una futura fitofagia o afección (Kumar-Meena *et al.*, 2017; Torres-Salazar y Sosenski, 2022).

En un estudio de alelopatía realizado en México por Avendaño-González *et al.* (2016), estos autores reportaron los efectos alelopáticos de la especie invasora pirul (*Schinus molle* (L.)) en la germinación de plantas suculentas (*Echinocactus platyacanthus* (Link & Otto), *Mammillaria longimamma* (DC.), *Ferocactus latispinus* (Haw.) Britton & Rose, *Myrtillocactus geometrizans* (Console), *Agave salmiana* (Otto ex Salm-Dyck) y *Yucca filifera* (Chabaud)) nativas del desierto Chihuahuense

y si estos efectos difieren entre arboles femeninas y masculinas, por lo cual, se demostró que ambos géneros del pirul reducen significativamente la germinación, por lo que dicha planta representa una verdadera amenazada para la flora de regiones semiáridas.

Con respecto a emisiones de señales químicas de alarma, Abdala-Roberts (2024) reportó que el algodón silvestre (*Gossypium hirsutum* (L.)) muestra ciclos predecibles de cambios de cantidad y composición de sus emisiones en respuesta al ataque de insectos fitófagos, por lo que plantas vecinas al percibir esas emisiones aumentan su resistencia mediante producción de toxinas, pero no producen néctar extrafloral para atraer hormigas para su defensa, solo lo hace la planta emisora atacada.

## **2.2. Metabolitos secundarios y compuestos orgánicos volátiles en plantas**

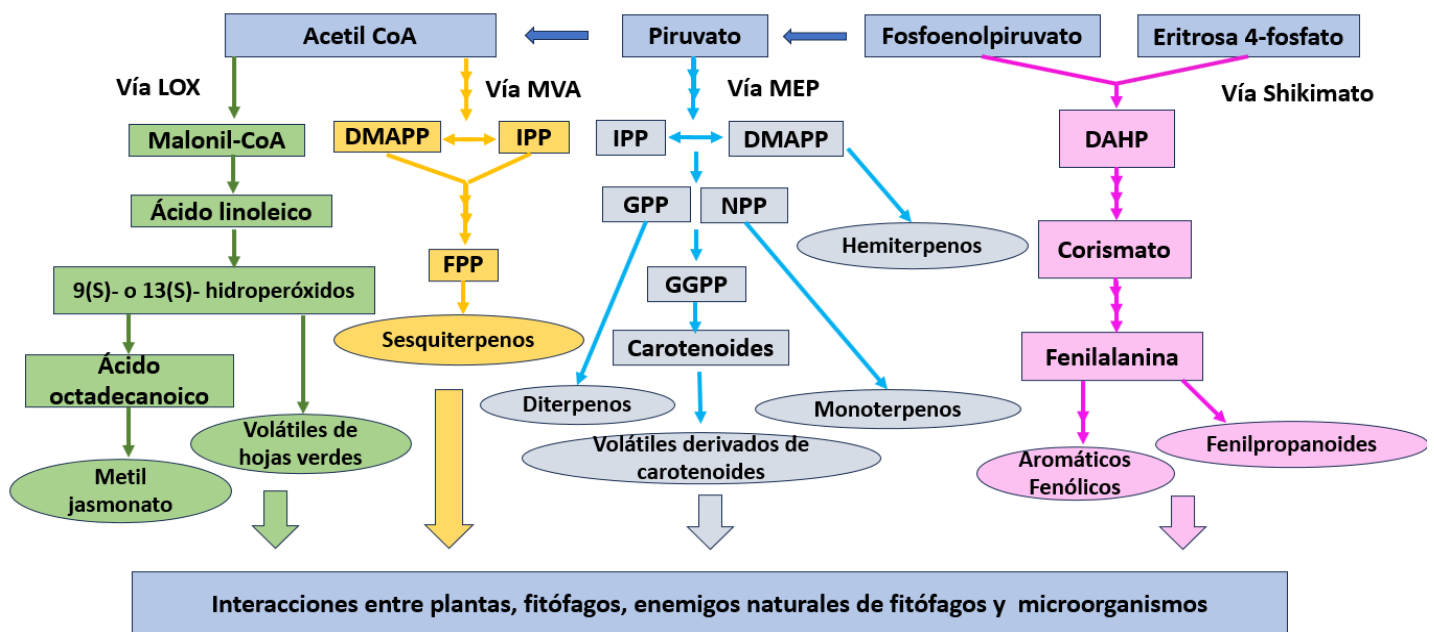
Los metabolitos secundarios son compuestos químicos que la planta produce y acumula en sus órganos, por lo cual, no cumplen funciones esenciales como crecimiento y reproducción (Lustre-Sánchez, 2022). Sin embargo, Sepúlveda-Jiménez *et al.* (2003) y Camarena-Gutiérrez (2009) señalan que los metabolitos secundarios juegan un papel importante como parte de sus defensas contra la fitofagia de insectos, dado que son potencialmente tóxicos o antinutritivos. Además, pueden beneficiarse al producir diferentes efectos para optimizar su defensa, ya sea de repelencia o de atracción de depredadores.

En México, Sepúlveda-Jiménez *et al.* (2003) enfocaron su estudio en tres tipos de metabolitos secundarios (terpenos, alcaloides y penilpropanoides), debido a su gran eficacia contra los insectos fitófagos, incluyendo su participación activa al matar microorganismos patógenos o restringir su invasión al resto de la planta.

Sin embargo, Camarena-Gutiérrez (2009) reporta en su investigación que los taninos, cardenolidos, saponinas, glucosinolatos, furanocoumarinas y glucósidos

cianogénicos tienen propiedades defensivas eficaces contra gran cantidad de insectos que se activan al primer daño recibido.

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son metabolitos secundarios de bajo peso molecular (50-200 Daltons) y con alta presión de vapor (5-760 mm/Hg) emitidos en diferentes órganos de la planta (Rowan, 2011; Cantúa-Ayala *et al.*, 2019). La mayoría de los COV se originan de cuatro vías metabólicas primarias: 1) shikimato-fenilalanina; 2) ácido mevalónico (MVA); 3) metileritritol fosfato (MEP); y 4) lipoxigenasa (LOX). Estas vías son sintetizadas en el cloroplasto (Vías shikimato y MEP) y citoplasma (vías LOX y MVA) de la célula vegetal, por lo cual, regulan la emisión de compuestos benzenoides (aromáticos), penilpropanoides, sesquiterpenos, monoterpenos, hemiterpenos, diterpenos, volátiles derivados de carotenoides y metil jasmonato, así como volátiles de hoja verde (Figura 1) (Cantúa-Ayala *et al.*, 2019; Midzi *et al.*, 2022). Estos compuestos volátiles son esenciales para las interacciones entre plantas y otros organismos (Bouwmeester *et al.*, 2019).



**Figura 1.** Principales vías metabólicas de compuestos orgánicos volátiles de las plantas: shikimato-fenilalanina; ácido mevalónico (MVA); metileritritol fosfato (MEP); y lipoxigenasa (LOX). Las flechas apiladas ilustran múltiples reacciones enzimáticas. Abreviaturas: DAHP, 3-desoxi-D-arabinoheptulosa-7 fosfato; DMAPP, dimetilalil pirofosfato; FPP, farnesil pirofosfato; GGPP, geranilgeranil pirofosfato; GPP, geranil pirofosfato; IPP, isopentenil pirofosfato; NPP, neril pirofosfato; PEP, fosfoenolpiruvato (tomado de Cantúa-Ayala *et al.*, 2019 y Bouwmeester *et al.*, 2019).

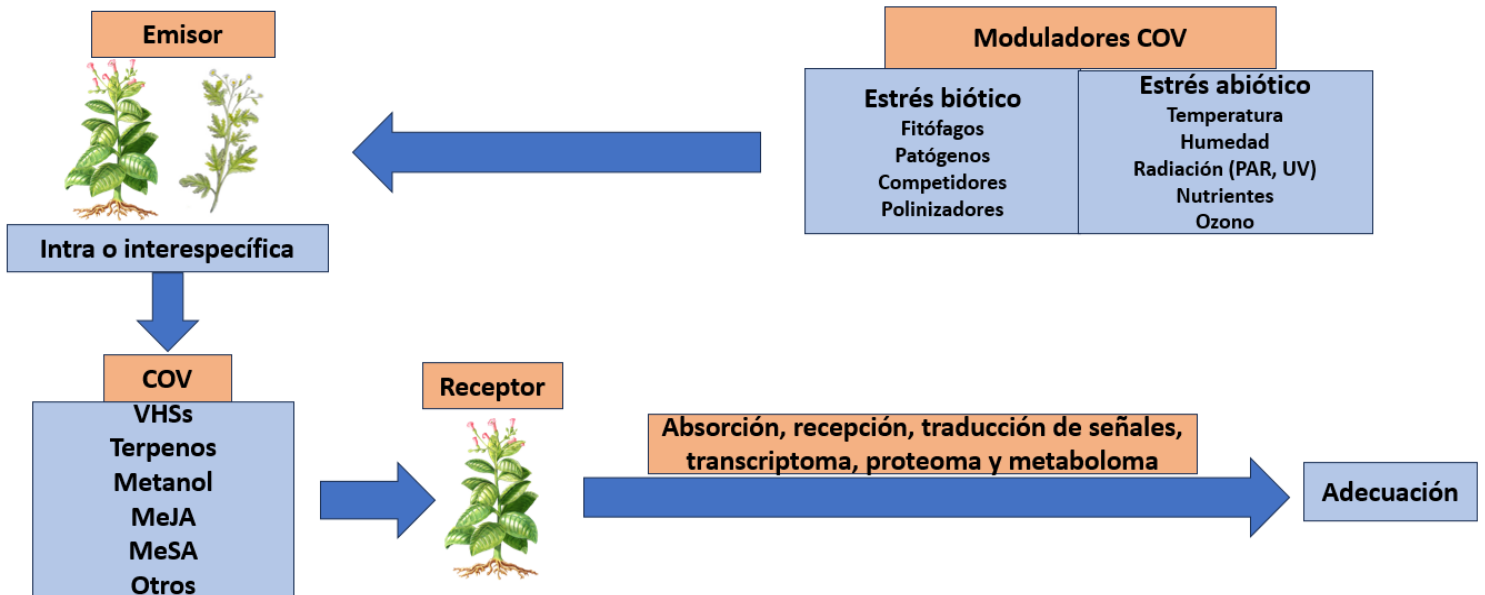
El estudio de los COV en México empezó a principios del siglo XXI, por lo cual algunos trabajos han reportado los primeros COV encontrados en diversas plantas y cómo estos median la interacción biológica con algunas especies de insectos; está el caso de Calyecac-Cordero *et al.* (2007), quienes identificaron los volátiles salicilato de metilo,  $\beta$ -cariofileno,  $\beta$ -pineno, 3-careno, alcohol bencílico,  $\beta$ -elemeno, decanal y germecreno D presentes en tomate de cáscara *Physalis philadelphica* (Lam.) como responsables de mediar la atracción del picudo de tomate de cascara *Trichobaris championi* Barber. Por otro lado, Ángeles *et al.* (2012), detectaron un total de treinta y seis COV, entre estos, terpenos, decanal, decano y salicilato de metilo; producidos por plantas de tomate infectadas por mosca blanca en invernaderos; en cambio, Bautista y Espinoza (2013) evaluaron la variación de emisiones de COV entre individuos de tomate en respuesta a diferentes daños, de los cuales se identificaron once: 3-hexanol,  $\alpha$ -pineno, o-cymeno,  $\beta$ -myrceno, (+)-4-careno,  $\alpha$ -felandreno,  $\alpha$ -terpineno, p-cymeno,  $\beta$ -felandreno, nonanal y decanal (Cantúa-Ayala *et al.*, 2019).

### **2.3. Papel de los COV en las interacciones planta-planta**

Ferry *et al.* (2004) mencionan que muchos volátiles están preformados y actúan ahuyentando o intoxicando a los insectos fitófagos; asimismo, la respuesta de algún órgano vegetal hacia un daño mecánico externo también incluye la formación de COV. Sin embargo, Cantúa-Ayala *et al.* (2019) sacan la misma conclusión, pero agregando que los COV inducen a los metabolitos secundarios migrar a otros tejidos de la planta para activar la resistencia química en toda la planta.

Baldwin *et al.* (2006) sugirieron que la comunicación planta-planta por medio de volátiles son moduladas por factores bióticos y abióticos del entorno, de tal manera que durante una interacción intra o interespecífica, la planta emisora produzca y libere ciertos COV para transferir mensajes específicos (por ejemplo, ataque por insecto fitófago) a la planta receptora, (Figura 2). Sin embargo, se

requiere más estudios a largo plazo para comprender el intercambio de información química dada entre las plantas que las ha permitido adaptarse a su entorno natural.



**Figura 2.** Representación de las interacciones intra e interespecíficas en plantas mediadas por COV (modificado de Baldwin *et al.*, 2006).

En cambio, Macías *et al.* (2007) reportaron que la liberación de COV con fines alelopáticos son muy frecuentes en ecosistemas con temperaturas altas y en plantas que produzcan etileno y aceites esenciales, resaltando que no solo cumplen con ese potencial alelopático, sino también como mecanismo de excreción para eliminar compuestos absorbidos por las raíces que son perjudiciales.

No obstante, Abdala-Robets (2024) reporta que los COV como los terpenos desempeñan la función de dar señales de alarma ante fitófagos, de tal forma que las plantas perciben las emisiones de las plantas dañadas y en respuesta elevan sus propias respuestas. Este fenómeno ha sido reportado en varias especies, incluyendo algunas plantas de cultivo como algodón (*Gossypium hirsutum* (L.)), tomate (*Solanum lycopersicum* (L.)) y tabaco (*Nicotiana tabacum* (L.)).

Un dato importante que mencionan Rojas y Malo (2019) y Chonchou *et al.* (2019) es que las emisiones de los volátiles pueden variar de manera temporal y espacial dependiendo del órgano vegetal que la produce, la edad de la planta y las condiciones bióticas y abióticas presentes en su hábitat, por lo que orilla a los insectos a adaptarse a estos cambios constantes en cuanto a percepción de COV. En contraste, Inderjit *et al.* (2011) presentan argumentos similares, pero relacionado con funciones alelopáticas, en el que presentan otras funciones ecológicas como la defensa vegetal, la quelación de nutrientes y fertilidad del suelo, que a escala ecosistema, pueden aumentar, atenuar o modificar las funciones a escala comunitaria.

Ninvokic *et al.* (2021), Midzi *et al.* (2022) y Kessler *et al.* (2023) argumentaron de forma detallada como se lleva a cabo la interacción planta-planta mediada por COV a nivel molecular y celular, con el fin de comprender los mecanismos y funciones de transferencia de información que han permitido a las plantas lidiar los factores bióticos y abióticos de su entorno natural, permitiendo así su supervivencia y reproducción.

#### **2.4. COV involucrados en interacciones planta-planta**

Se ha reportado que los terpenos (principalmente monoterpenos y sesquiterpenos) son el grupo COV más común en la mayoría de las plantas y con mayor potencial alelopática, entre los principales se encuentran el limoneno, humuleno, terpineno, cariofileno, cubenol, linalool y pineno (Llusia *et al.*, 1996; Jasim *et al.*, 2023). No obstante, existen otros compuestos no terpenos que también tienen potencial alelopático como el p-cumárico, un compuesto fenólico (Bachheti *et al.*, 2020) y algunos aromáticos como la acetofenona (Zubkov y Kouznetsov, 2023).

Pese a eso, algunos terpenos pueden desempeñar la función de dar señales contra la fitofagia y resistencia al estrés abiótico (Llusia *et al.*, 1996; Brosset y Blande, 2022), como, por ejemplo, los terpenos mirceno y ocimeno, que son

emitidas comúnmente por plantas de algodón cuando son atacadas por algún insecto fitófago, lo cual, al ser percibidas por sus vecinas de la misma especie, aumentan su resistencia ante el fitófago atacante (Abdala-Roberts, 2024).

En el caso del nonanal, un aldehído que ha sido reportado como señal de alerta contra el hongo patógeno *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. & Magn) en plantas de frijol, cuando la planta es atacada por el patógeno, emite dicho compuesto volátil y al ser percibida por las plantas receptoras, estas aumentan su resistencia que les permitirá crecer bien y desarrollar sus frutos y semillas (Elizarraraz-Martínez *et al.*, 2024).

## **2.5. Generalidades de las especies bajo estudio**

Los mezquites (*Neltuma* spp.) y huizaches (*Vachellia* spp.) son árboles pertenecientes a la tercera familia más diversa y de distribución cosmopolita: Fabaceae (Ebinder y Seigler, 2005; Llamas y Acedo, 2016; Hughes *et al.*, 2022). En México, estos árboles tienen gran valor alimenticio, medicinal, en la construcción y artesanías, además de su importante papel en la conservación del suelo y la fijación de nitrógeno en los ecosistemas áridos y semiáridos (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014; Palacios-Romero *et al.*, 2016; Machuca-Velasco *et al.*, 2017; Santander-Martínez, 2018).

### **2.5.1. *Neltuma laevigata***

#### **Aspectos taxonómicos**

Debido a que algunas especies de *Prosopis* presentan diferencias morfológicas, genéticas y biogeográficas, se propuso una nueva discusión sobre la ubicación taxonómica, por lo cual, el antiguo género *Prosopis* se dividió en seis nuevos géneros: *Neltuma*, *Strombocarpa*, *Anonychium*, *Xerocladia*, *Prosopis* e *Indopiptadenia*. En el caso del mezquite blanco, su antiguo nombre era *Prosopis*

*laevigata* (Humb. y Bonpl. ex Willd) M. C. Johnst, ahora pertenece al género *Neltuma* y su nuevo nombre científico es *Neltuma laevigata* (Humb. y Bonpl. ex Willd.) Britton y Rose. Por lo tanto, dicha especie y el resto de las especies pertenecen ahora al género *Neltuma* que solo se encuentran distribuidas en América Latina (Hughes *et al.*, 2022). No obstante, ya no forman parte de la subfamilia Mimosoideae, sino a la subfamilia Caesalpinioideae (Aguilar-Sandí, 2019; Foresto, 2021; Cole y Medan, 2022).

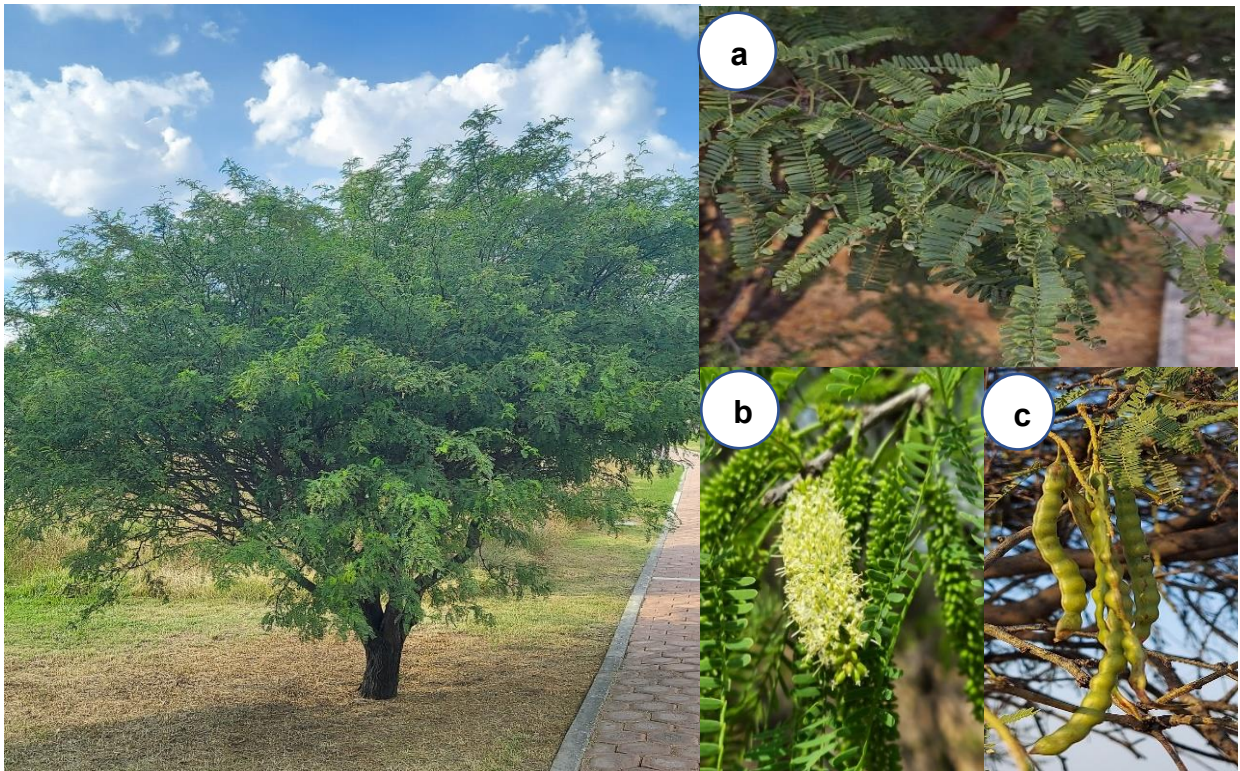
Para cada reclasificación evaluada y aprobada, por regla general, todos los investigadores que trabajan con especies vegetales deben aceptar y utilizar el nuevo género o especie universal a partir del año de aprobación con el fin de evitar confusiones por sinonimias al momento de publicar futuros trabajos (Trejo-Torres, 2012).

Para el presente estudio, se consideró respetar la clasificación, la cual coincide con la determinación taxonómica que establecieron las autoridades del lugar en el que se llevaron a cabo los muestreos y recolectas del material vegetal.

### **Descripción botánica, distribución y hábitat**

Árbol que puede alcanzar los 12 m de altura (Figura 3); sus ramas son glabras o pilosas armadas de espinas estipulares de 1 a 4 cm de largo; las hojas son pecioladas de 1 a 3 pares de pinnas, cada una con 10 a 20 pares de folíolos sésiles (Figura 3a); las flores son de color blanco-amarillentas que están dispuestas en espigas densas de 5 a 10 cm de largo (Figura 3b); su fruto es de color café-amarillento y tipo legumbre linear que mide de 7 a 20 cm de largo por 8 a 15 mm de ancho (Figura 3c) (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014).

Es común encontrarla en zonas áridas y semiáridas del norte y centro de la República Mexicana; forma comunidades con otras especies del género *Neltuma* denominadas como mezquital (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014; Palacios-Romero *et al.*, 2016).



**Figura 3.** “Mezquite blanco” (*Neltuma laevigata*) del Jardín Botánico BUAP elegido para la recolecta: (a) Hojas, (b) inflorescencia y (c) frutos.

### Importancia

La utilización de esta planta es amplia, su madera es empleada como leña y para fabricar muebles, en cuanto a su corteza, por su alto contenido de taninos ha sido utilizada en curtiduría (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). También se ha empleado en la medicina tradicional para tratar algunas enfermedades oculares, varios trastornos gastrointestinales, erupción cutánea, ronquidos, curación de heridas, disentería y como antiséptico (Hernández-Hernández, 2021). Sin embargo, los alcaloides presentes en sus hojas y de otras especies del género *Neltuma* tienen actividad antimicrobiana que pone en interés la investigación farmacológica (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014; Hernández-Hernández, 2021). Por otra parte, a nivel ecológico contribuye a nitrogenar y conservar el suelo de los desiertos mexicanos (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014).

### **2.5.2. *Vachellia schaffneri***

#### **Aspectos taxonómicos**

Al igual que el antiguo género *Prosopis*, el género *Acacia* también fue reclasificado debido a que algunas de sus especies presentan diferencias morfológicas y genéticas, por lo cual, *Acacia* se dividió en 5 nuevos géneros: *Acacia*, *Vachellia*, *Senegalia*, *Acaciella* y *Mariosousa* (Kyalangalilwa *et al.*, 2013). En el caso del huizache chino, su antiguo nombre era *Acacia schaffneri* (Watson) ahora pertenece al género *Vachellia* y su nuevo nombre científico es *Vachellia schaffneri* (Watson) (Ebinger y Seigler, 2005). Sin embargo, desde su aprobación en 2005, algunos autores todavía utilizan el antiguo nombre científico en la publicación de sus trabajos como Manríquez-Torres (2013), Machuca-Velasco *et al.* (2017) y Santander-Martínez (2018), pero hay otros autores como Illescas-Gallegos *et al.* (2021) que trabajaron en los factores que influyen la latencia física de las semillas y cómo se eliminan si respetan y utilizan el actual nombre científico. Las sinonimias en la mayoría de los casos suelen ocasionar incomodidad o confusión a los investigadores al no establecer el nombre científico universal de una especie para su utilización en futuras publicaciones (Trejo-Torres, 2012).

Al igual que los mezquites, ya no forman parte de la subfamilia Mimosoideae, sino a la subfamilia Caesalpinioideae (Aguilar-Sandí, 2019; Foresto, 2021; Cole y Medan, 2022).

#### **Descripción botánica, distribución y hábitat**

Árbol de 3 a 4.5 m de altura (Figura 4); su tronco es corto, delgado y con numerosos tallos ramificados desde la base; las hojas son bipinnado-compuestas de 2.5 a 5 cm de largo, con espinas pareadas de 2 a 6 mm de largo (Figura 4a); la inflorescencia está dispuesta en cabezuelas esféricas, de 6 a 9 mm de diámetro, solitarias y en grupo de 2 o 5, cada uno con 40 o 50 flores pequeñas color amarillas y suelen ser muy olorosas (Figura 4b); su fruto es de color café-rojiza y

tipo legumbre pubescente, ligeramente aplanada, recta o curvada de 7 a 15 cm de largo y 8 mm de ancho, valva aterciopelada y pulverulenta, cada fruto contiene de 6 a 14 semillas (Figura 4c) (Santander-Martínez, 2018).

Forma parte de matorrales y pastizales del Valle de México y del norte el país; está asociado con cactus y otros huizaches y es una de las especies arbórea dominantes del hábitat (Machuca-Velasco *et al.*, 2017; Santander-Martínez, 2018).



**Figura 4.** “Huizache chino” (*Vachellia schaffneri*) del Jardín Botánico BUAP elegido para la recolecta: (a) Hojas, (b) inflorescencia y (c) frutos.

### Importancia

Sirve como alimento para el ganado y en la medicina tradicional para curar ciertos males, como el caso de las hojas que, al ser secadas y pulverizadas, se aplican como vendaje en las heridas y tratar úlceras gástricas; y el fruto seco en infusión para curar infecciones en la piel (Santander-Martínez, 2018). Además, se ha

estudiado que los extractos hexánicos y clorofórmicos presentes en raíz y la parte aérea de la planta tienen actividad biológica anticancerígena y antiinflamatoria, en lo cual, otorga gran importancia en los sistemas públicos de salud (Manríquez-Torres, 2013). Respecto a su importancia ecológica, al igual que el mezquite blanco, ayudan en la conservación del suelo al fijar nitrógeno (Urías-García *et al.*, 2023).

## **2.6. Antecedentes directos**

### **2.6.1. Estudios relacionados con metabolitos secundarios en mezquites y huizaches**

#### **Mezquites (*Neltuma* spp.)**

Algunos autores se han enfocado principalmente en estudiar la caracterización fitoquímica en mezquites, como es el caso de Ardoino *et al.* (2013), que trabajaron con hojas de *N. flexuosa* var. *flexuosa* (DC.) y *N. flexuosa* var. *depressa* (F. A. Roing) en lo cual, determinaron la presencia de flavonoides, grupos esteroidales y triterpenos, alcaloides y aminogrupos en ambas especies vegetales. En cambio, García- Azpeitia *et al.* (2022) profundizaron en el estudio en otros órganos vegetales (hojas, flores y frutos) de *N. laevigata*, detectando diferencias significativas en el contenido de compuestos fenólicos y alcaloides, siendo la flor en contener mayor cantidad de dichos compuestos. Además, los compuestos fenólicos con mayor concentración en la flor fueron los ácidos 4-hidroxibenzoico, R-coumárico y gálico; en la hoja los ácidos 4-hidroxibenzoico, clorogénico y R-coumárico; y en el fruto los ácidos gálicos, cinámico y r-coumárico.

Entretanto, otros autores investigan el aprovechamiento que se pueden obtener de los metabolitos secundarios para beneficio humano como el trabajo realizado por Armijo-Nájera *et al.* (2019), en el que indicaron que los compuestos fenólicos y flavonoides contribuyen a la calidad y valor nutricional en las vainas maduras de diferentes especies de *Neltuma* en términos de color, sabor, aroma y sabor, así

como en la provisión de efectos benéficos para la salud. Mientras tanto, Ramírez-Rojo *et al.* (2019) demostraron que los polifenoles extraídos de hojas de *Neltuma velutina* (Wooton) proveen actividad antioxidante con potencial en la industria farmacéutica y alimentaria. Por otro lado, Valencia *et al.* (2020) probaron que la presencia de alcaloides, flavonoides, terpenos y compuestos fenólicos en semillas de diferentes especies de *Neltuma* influyen en la actividad antioxidante.

### **Huizaches (*Vachellia* spp.)**

Al igual que los mezquites, existen estudios fitoquímicos con fines de aprovechamiento, como el trabajo de Rojas-Hernández *et al.* (2009) que estudiaron la actividad antimicrobiana (bacteriana y fúngica) *in vitro* de metabolitos secundarios extraídos de raíz de *V. farnesiana* (L.), en el que los compuestos reductores, fenoles y taninos tuvieron mayor respuesta que los triterpenos y esteroides.

Rodríguez-Pedroso *et al.* (2012) también estudiaron la actividad antimicrobiana de los metabolitos secundarios de *V. farnesiana*, pero a diferencia de Rojas *et al.* (2009), los compuestos fueron extraídos de hojas frescas para probarlos *in vitro* en el crecimiento del hongo fitopatógeno *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Snyder y Hansen), donde flavonoides, fenoles, taninos y saponinas redujeron significativamente el crecimiento micelial. No obstante, Santander-Martínez (2018) trabajó con *V. schaffneri* y dos especies ajenas al género *Vachellia* (*Mimosa aculeaticarpa* (Ortega) y *Neltuma laevigata*) en la cuantificación de compuestos fenólicos extraídos de hojas para determinar y comparar su actividad antioxidante, donde *M. aculeaticarpa* resultó tener mayor concentración de compuestos fenólicos y *N. laevigata* baja concentración, pero *V. schaffneri* mostró mayor actividad antioxidante.

En cuanto a Manríquez-Torres *et al.* (2020), estudiaron extractos de raíces de *V. schaffneri* para probar su actividad anticancerígena, en que aislaron y

caracterizaron tres diterpenos: filocladan-16 $\alpha$ ,19-diol, filocladan-16 $\alpha$ -ol y filocladan-16-en-3-ol. Filocladan-16 $\alpha$ ,19-diol tuvo un efecto citotóxico selectivo contra el cáncer de colon, pulmón y líneas celulares de piel.

Otro trabajo sobre metabolitos secundarios de *V. farnesiana* es el de Pérez-Cruz *et al.* (2022), describieron que los taninos presentes en hojas y legumbres podrían ser una alternativa para la alimentación ovina debido a las propiedades antioxidantes naturales y antiparasitarias, por lo que se ahorraría la compra de alimentos para la engorda de dicho ganado.

### **2.6.2. Estudios relacionados con COV en especies de Fabaceae**

Existen algunos trabajos que han identificado COV y como estos median la actividad de algunos organismos, se tiene el de Brouat *et al.* (2000), quienes trabajaron con *Leonardoxa africana* subsp. *africana* (Baill.) Aubrév. para identificar compuestos volátiles de hojas responsables de mediar el comportamiento mutualista de la hormiga *Petalomyrmex phylax* Snelling, de los cuales, se identificaron quince compuestos (los más destacados, 3-hexanona, 2-hexanol y salicilato de metilo) de hojas jóvenes y hojas maduras, de los cuales, el porcentaje de abundancia vario en cada compuesto, y por medio de bioensayos, se comprobó que los COV de hojas jóvenes atraen más hormigas que las hojas maduras.

Rivera-Macias *et al.* (2015), utilizaron cuatro variedades de frijol para analizar los COV que emiten de acuerdo a su resistencia y susceptibilidad al fitopatógeno *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. y Magn.) (agente causal de la antracnosis), obteniendo que los volátiles nonanal, terpineol y trans-2-decanal tuvieron un efecto negativo sobre el crecimiento micelial del patógeno estudiado, pero los volátiles *cis*-hexenil-acetato, farnesol y cariofileno no presentaron ningún efecto ante el hongo. No obstante, Estrella-Parra *et al.* (2016) se enfocaron más en identificar los COV que producen las hojas de la jícama doméstica (*Pachyrhizus erosus* (L.)) y

jícama silvestre (*Pachyrhizus ferrugineus* (Piper) M. Sorensen)), en que detectaron veintiún tipos de COV en *P. erosus*, siendo los más abundantes ciclohexanona, 3-hexen-1-ol (Z) y 3-hexenal. En cambio, *P. ferrugineus* tuvo once tipos de COV detectados, donde 5-hexen-1-ol acetato, undecanal y 2-hepten-1-ol fueron los más abundantes.

### **2.6.3. Estudios de COV en especies de *Neltuma* y *Vachellia***

A pesar de que predominan estudios fitoquímicos de mezquites y huizaches con fines de aprovechamiento humano, existen algunos trabajos recientes sobre perfiles químicos COV en algunas especies, como el trabajo de Adhikary (2021) que utilizó el método “espacio de cabeza dinámica” (headspace) para la extracción de los compuestos de hojas de árboles de *Neltuma glandulosa* (Torr.) Britton & Rose tratadas antes y después con herbicidas para su posterior análisis en la cromatografía de gases-espectrometría de masas (CG-EM), identificando que los volátiles de hojas verdes, monoterpenos y aromáticos como los grupos COV predominantes, lo cual, se enlistó por ejemplar los compuestos encontrados sin considerar los compuestos particulares dominantes. No obstante, Ogunwande *et al.* (2008) se enfocaron en aceites esenciales de hojas de *Vachellia tortillis* (Forsk.) Hayne en el que utilizaron el método de hidrodestilación para la extracción y la cromatografía de gases con detector de ionización de llama (CG-DILL) y CG-EM para el análisis, identificando sesenta y cinco compuestos, siendo predominantes los sesquiterpenos, entre sus componentes principales  $\alpha$ -humuleno,  $\alpha$ -cadinol, nerolidol,  $\gamma$ -cadineno y 2-(E)-octenal. También se identificaron monoterpenos, aromáticos y compuestos alifáticos.

#### **2.6.4. Interacciones de árboles de *Neltuma* y *Vachellia* con otras especies vegetales**

La información que se tiene sobre interacción de mezquites y huizaches con otras plantas es que estos árboles forman comunidades de diferentes o de la misma especie llamadas mezquital o huizachal, además de que se ha reportado que los huizaches en su entorno natural están asociados con algunos mezquites (especialmente con *N. laevigata*), cactus de los géneros *Opuntia*, *Stenocereus* y otras plantas como *Zaluzania* (Asteraceae), *Yucca* (Asparagaceae) y *Eysendhartia* (Fabaceae) (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014; Santander-Martínez, 2018).

Asimismo, se tienen pocos estudios sobre los efectos de puedan tener los extractos de algunas especies de mezquite y huizache en otras especies vegetales, como es el caso del trabajo de Vargas-Martínez (2013) que estudio los efectos alelopáticos del extracto de mezquite (*Neltuma juliflora* (Sw.) Raf.) en la germinación de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* (L.)) y maíz (*Zea mays* (L.)), obteniendo como resultado que afecta negativamente al amaranto, pero acelera beneficiosamente la germinación del maíz.

Peguero *et al.* (2012) también se enfocaron en estudiar los efectos alelopáticos de germinación, pero con extractos de hoja de *Vachellia pennatula* ((Schltdl. y Cham.) Seigler y Ebinger) en semillas de *Guazuma ulmifolia* (Lam.), *Enterolobium cyclocarpum* (Griseb.) y *Cedrela odorata* (L.), concluyendo que el extracto no afecta la germinación, pero si redujeron el crecimiento general, especialmente el sistema radicular de las plántulas.

#### **2.6.5. Interacciones de *N. laevigata* y *V. schaffneri* con “enfoque infoquímico”**

No se cuenta con reportes en los cuales se contextualice la interacción entre las especies vegetales desde el enfoque de “comunicación química” o de “infoquímico”, tomando como referencia a Dicke y Sabelis (1988) y ajustando la

propuesta de Romero-López (2016) hacia plantas. Los trabajos más cercanos son los de García-Azpeitia *et al.* (2022) y de Santander-Martínez (2018), quienes estudiaron los metabolitos secundarios presentes en algunos órganos vegetales de *N. laevigata* (compuestos fenólicos y alcaloides) y *V. schaffneri* (compuestos fenólicos), respectivamente, pero en ninguno de ellos identificaron los tipos de COV que producen dichas plantas y liberan al ambiente, ni se definió el rol que puedan cumplir al interactuar con otras plantas.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Los estudios relacionados con los metabolitos secundarios de mezquites y huizaches se enfocan más en los efectos que provocan los extractos de otras plantas a partir de análisis fitoquímicos previos de cada órgano vegetal, en diferentes concentraciones. De ahí que, hasta el momento, la información sobre los COV involucrados en las interacciones intra e interespecíficas que los árboles de *N. laevigata* y *V. schaffneri* establecen en su hábitat, es escasa. Para complementar este y otros aspectos de la ecología química de representantes de Fabaceae, en la presente investigación se plantea la identificación, comparación y contrastación del perfil químico de COV-propios de hojas de ambas especies vegetales con la consecuente determinación de cuáles de estos compuestos podrían considerarse como infoquímicos en la interacción planta-planta, tanto la “mezquite-mezquite” y “huizache-huizache” como las que podrían establecer con otras plantas vecinas (en particular de especies distribuidas en Puebla). Esto permitirá la apertura de nuevas líneas de investigación relacionadas con los complejos de interacción de *N. laevigata* y de *V. schaffneri*, analizando otras interacciones mediadas por COV y a mediano plazo, emplear estos “caracteres químico-ecológicos para estudios taxonómicos y filogenéticos del grupo, así como establecer estrategias de manejo y conservación”.

### 4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son los compuestos orgánicos volátiles que comparten las hojas de *Neltuma laevigata* y *Vachellia schaffneri* en su perfil químico, potenciales mediadores de las diferentes interacciones intra e interespecíficas que ambas establecen en su hábitat?

## 5. HIPÓTESIS

Las hojas de *Neltuma laevigata* y *Vachellia schaffneri* presentan un perfil químico parecido, compartiendo compuestos aromáticos y terpénicos como los volátiles orgánicos que median las interacciones intra e interespecíficas que ambas especies establecen en su hábitat.

## 6. OBJETIVOS

### General

Comparar el perfil de compuestos orgánicos volátiles de hojas de *Neltuma laevigata* y *Vachellia schaffneri*, potencialmente involucrados en sus interacciones químico-ecológicas intra e interespecíficas.

### Particulares

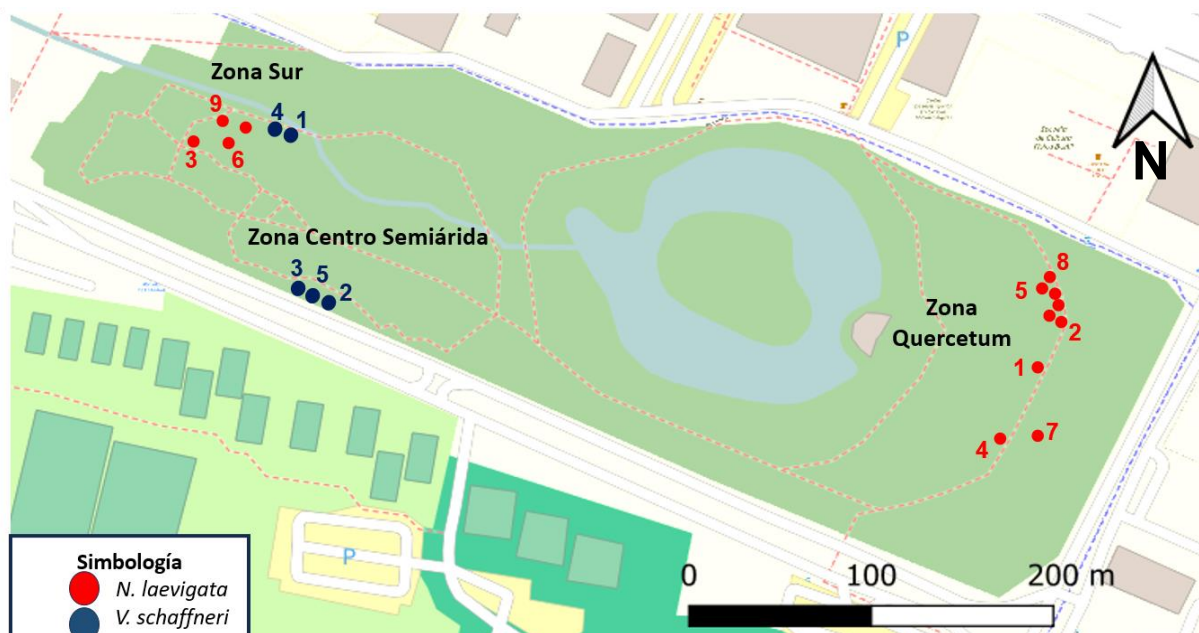
- Identificar el perfil de compuestos volátiles de *N. laevigata* y *V. schaffneri* a partir de extractos foliares de cada especie.
- Contrastar información especializada sobre los COV de hojas de estas especies vegetales con lo que se registra en otros miembros de ambos géneros, de Caesalpinioideae y de Fabaceae.
- Crear “complejos de interacción química-ecológica” mediados por COV de *N. laevigata* y *V. schaffneri* que representen la relación entre estas y otras especies de su medio.

## 7. MATERIAL Y MÉTODOS

### 7.1. Identificación de perfil químico de hojas de *N. laevigata* y *V. schaffneri*

#### 7.1.1. Sitio de muestreo y recolecta de material vegetal

Las actividades se llevaron a cabo en el Jardín Botánico Universitario (JBU), en las áreas en las que se encuentran mezquites de *N. laevigata* y huizaches de *V. schaffneri*. Para la determinación taxonómica de ambas especies vegetales se tomó como referencia lo establecido por especialistas del mismo JBU. El muestreo de los árboles de ambas especies se fundamentó en recorridos preliminares en el JBU que permitieron su ubicación y marcaje (Figura 5).



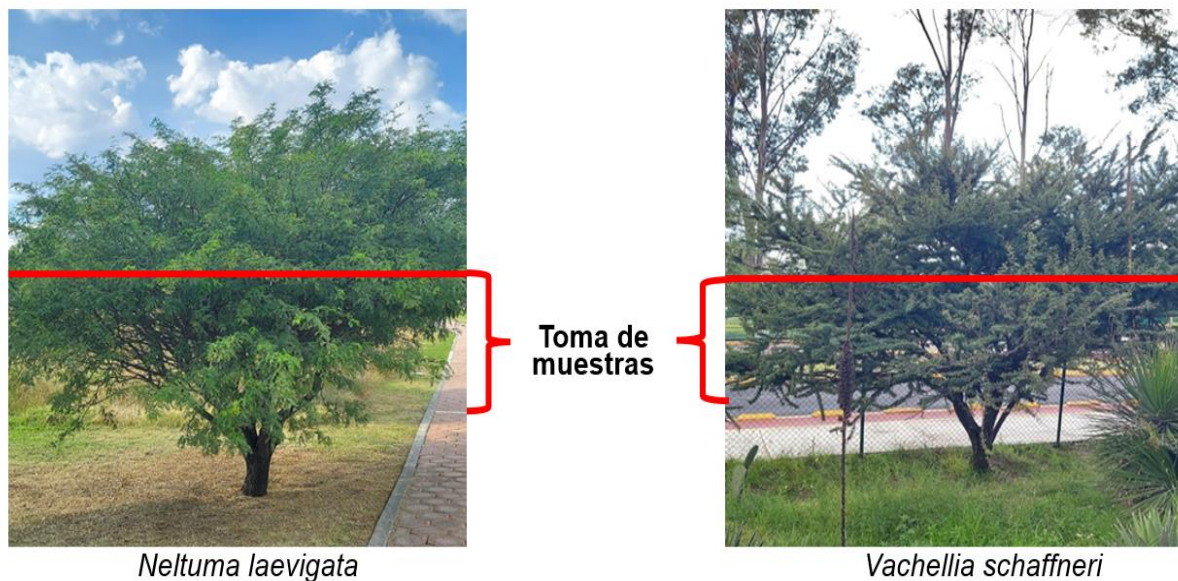
**Figura 5.** Croquis del Jardín Botánico BUAP, en el cual se señala la ubicación de los árboles recolectados de *Neltuma laevigata* y *Vachellia schaffneri*.

Se eligieron tres individuos de *N. laevigata* y tres de *V. schaffneri*; el criterio principal fue su apariencia “saludable” (hojas completas sin deformidades, con coloración propia de esta época del año, sin clorosis y signos de enfermedades provocadas por microorganismo o de mordidas por parte de insectos) (Figura 6).



**Figura 6.** Hojas “saludables” de *Neltuma laevigata* (a) y *Vachellia schaffneri* (b) que se caracterizaron por ausencia de clorosis, mordidas de fitófagos y deformidad.

De estos árboles, se recolectaron hojas de la parte media y baja (Figura 7), desprendiendo cuidadosamente de manera manual las hojas de los tallos desde la base del peciolo, pesándolos en la balanza (100 g de tres árboles) y colocados inmediatamente en bolsas herméticas para evitar la desecación y evaporación precipitada de los volátiles. La recolecta del material foliar se llevó a cabo en el mes de septiembre de 2024; entre las 10:00 y las 10:40 h.



**Figura 7.** Toma de muestras foliares de las zonas media y baja de las copas de *N. laevigata* y *V. schaffneri*.

Durante el proceso, se registró la humedad, temperatura, clima y coordenadas de los árboles por fecha.

Todo el material se trasladó al Laboratorio de Elucidación y Síntesis en Química Orgánica, edificio EMA 6, BUAP para la extracción de los COV.

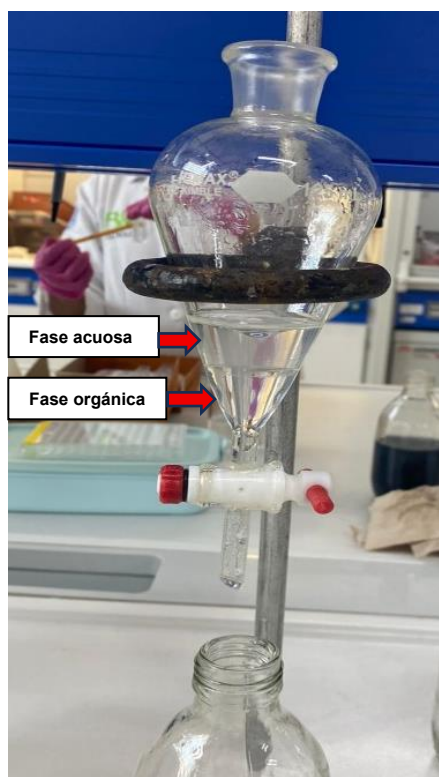
### 7.1.2. Extracción de COV de hojas de *N. laevigata* y *V. schaffneri*

Consistió en emplear el sistema Clevenger modificado según lo sugerido por Oviedo y Orochena (2011), el cual se acopla a un re-circulador marca Witeg® a una temperatura de 10° C, se colocaron los 100 g del material vegetal con 600 ml de agua destilada dentro de un matraz pera de 1 L. Posteriormente, se instaló dentro de una manta de calentamiento y se conectó al sistema Clevenger para la ebullición durante 3 h (Figura 8).

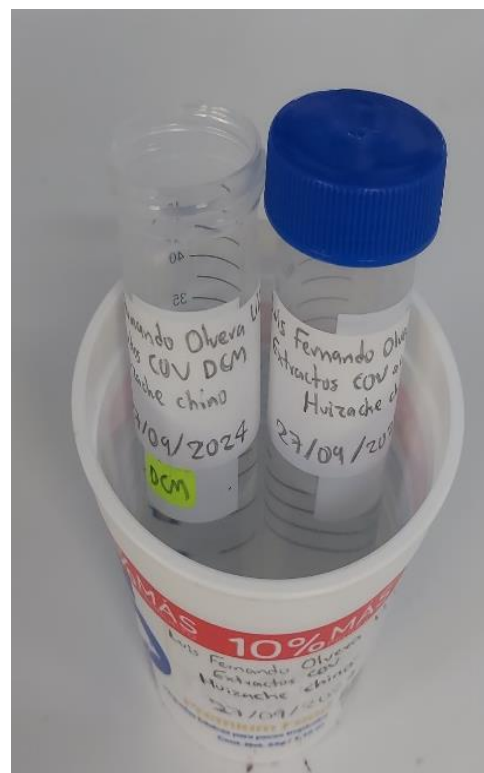


**Figura 8.** Ebullición del material vegetal en el sistema Clevenger modificado por Oviedo y Orochena (2011), en el que los metabolitos secundarios son extraídos por arrastre de vapor.

Una vez obtenido el extracto en líquido, fue colocado dentro de un embudo de separación y se agregó diclorometano para capturar y separar los COV del agua destilada por medio de agitación (realizado tres veces) (Figura 9). Terminado dicho proceso, se procedió a llenar el diclorometano ya con los COV capturados en tubos “Falcon” rotulados (fecha, nombre de la especie vegetal y del responsable), dejándolos destapados para su evaporación (Figura 10). Finalizada la evaporación del diclorometano (Figura 11), se taparon y resguardaron los tubos bajo condiciones de refrigeración (4°C) para su posterior análisis por CG-EM.



**Figura 9.** Embudo de separación utilizado para la captura de COV con diclorometano.



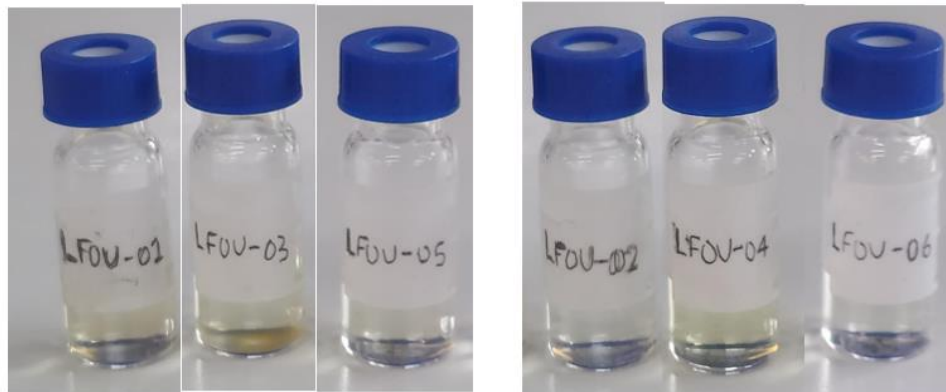
**Figura 10.** Tubos “Falcon” para resguardo de los extractos COV de hojas de *Neltuma laevigata* y *Vachellia schaffneri*.



**Figura 11.** Precipitado de extracto COV en el fondo del tubo “Falcon” (flecha roja) luego de la evaporación del diclorometano, necesario para su refrigeración y preparación en los viales para el análisis por CG-EM.

### 7.1.3. Análisis de COV de *N. laevigata* y *V. schaffneri* por cromatografía de gases-espectrometría de masas (CG-EM)

En su preparación, con ayuda de una micropipeta de 1000  $\mu\text{l}$  se agregó 1 ml de diclorometano destilado en los extractos COV para su dilución, lo cual se recolectaron 0.5 ml de DCM con los COV atrapados para llenarlos en frascos de cromatografía de 1.5 ml, los cuales se rotularon con nombre abreviado del responsable y número de muestra (Figura 12).



Muestras hojas: *N. laevigata*

Muestras hojas: *V. schaffneri*

**Figura 12.** Extractos COV de *N. laevigata* y *V. schaffneri* colocados en viales rotulados listos para su análisis en CG-EM, los cuales presentan una coloración amarillo pálido en algunas muestras.

Posteriormente, todos los frascos se llevaron a la Facultad de Ciencias Químicas, BUAP para llevar a cabo los análisis por CG-EM; se utilizó una columna DB5-MS (30 m, 0.25 mm de diámetro interno y 0.25 µm de espesor de la película) a una temperatura de 300 °C del inyector y 70 °C de temperatura inicial, con un incremento de 31 °C/min hasta alcanzar los 280 °C. Se consideró el hidrógeno como gas acarreador (1.5 mL/min) y el inyector se mantuvo en modo splitless. El espectrómetro de masas Agilent 5975C se puso en marcha en modo SCAN (50 a 400 UMA), tomando como base la biblioteca del Wiley-Nist Ed 11-2017, en particular los compuestos químicos con una similitud de espectros mayor al 95%.

## **7.2. Contrastación de COV registrados en otras especies Fabaceae**

Una vez obtenido el perfil químico de las hojas de las especies de estudio, se utilizó la base de datos “The Pherobase” (<https://www.pherobase.com/>) para consultar los COV que comparten con otras especies *Neltuma* y *Vachellia* u otra fabácea a partir del CAS (Chemical Abstracts Service) de cada compuesto, además de verificar que cada compuesto sea de origen biológico (en particular, vegetal) y no un contaminante. Por último, se revisó que COV tienen en común *N. laevigata* y *V. schaffneri* en sus perfiles químicos.

## **7.3. Diseño y preparación de complejos de interacción química-ecológica**

### **7.3.1. Ubicación y registro de plantas vecinas de *N. laevigata* y *V. schaffneri***

Se llevaron a cabo recorridos en el JBU, en particular, aquellas zonas donde están ubicadas los mezquites y huizaches para el registro de las especies vecinas, por lo cual, consistió en anotar el nombre científico establecido por las autoridades del lugar, tomando como criterio la distancia menor o igual a 5 m entre planta y planta a partir de sus copas. La selección de las plantas vecinas se basó en la coexistencia establecida con *N. laevigata* y *V. schaffneri*, tomando en cuenta que algunas especies no son vecinas naturales o nativas de su ecosistema.

### **7.3.2. Determinación de COV reportados como infoquímicos**

Se realizó una búsqueda bibliográfica sistemática sobre los COV del perfil químico de *N. laevigata* y *V. schaffneri* que hayan sido reportadas como posibles infoquímicos en otras plantas, ya sea en función como alomonas, sinomonas o kairomonas. Se utilizaron palabras clave como “comunicación planta-planta”, “interacción planta-planta”, “compuestos alelopáticos”, “terpenos en comunicación planta-planta”, “nombre de COV en comunicación planta-planta”. Se consultaron veinticinco documentos: diecisiete de artículos de revisión, cuatro de artículos científicos, dos de trabajos de tesis y cuatro libros digitales.

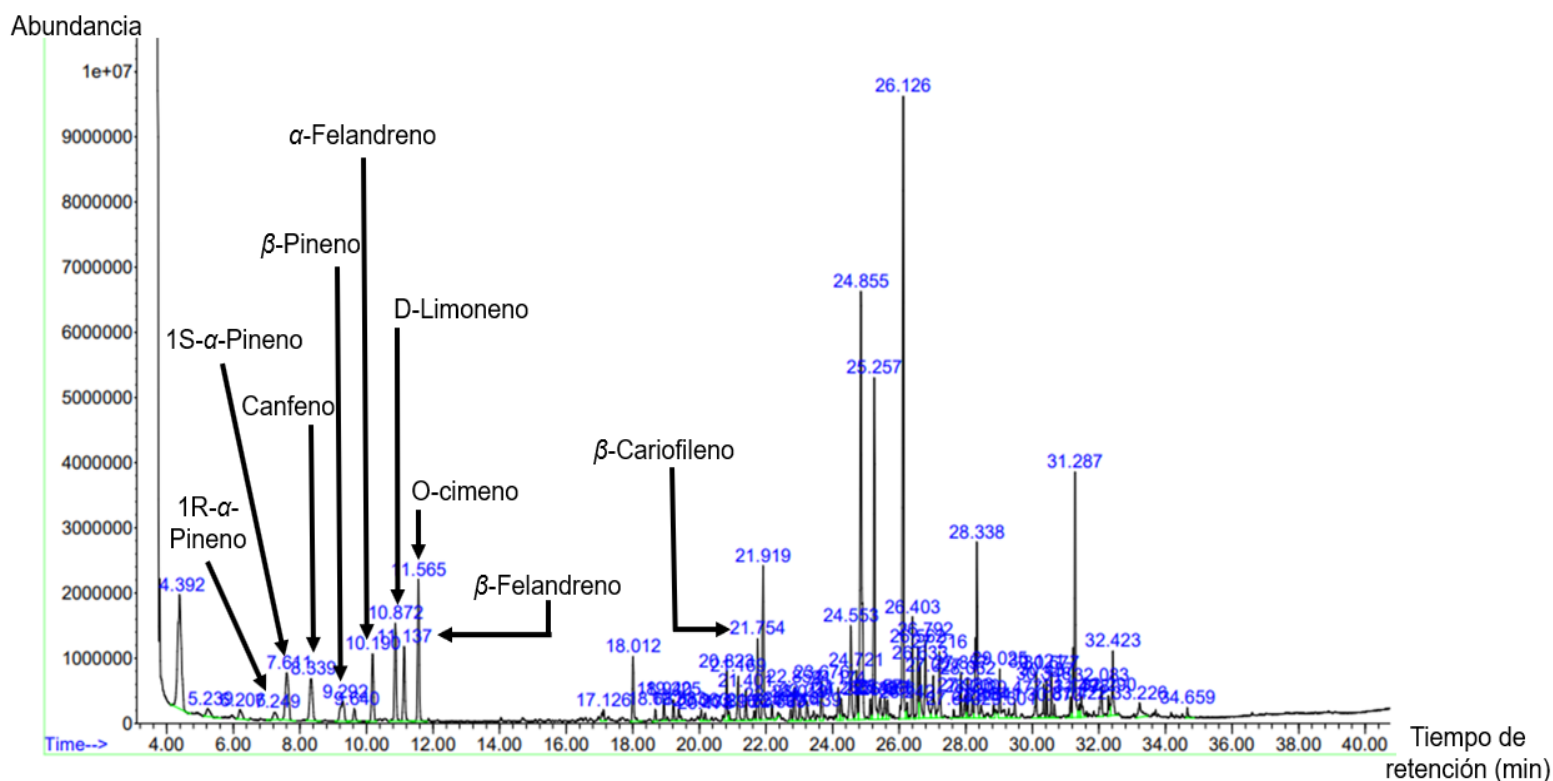
### **7.3.3. Creación de “Complejos de interacción química-ecológica”**

Al contar con los COV que hayan sido reportados como infoquímicos y el registro de las especies vecinas de *N. laevigata* y *V. schaffneri*, se diseñaron once complejos de interacción que proponen como se establece la interacción intra e interespecífica en el sitio de estudio, de lo cual, se esquematizó las especies vegetales y animales (en particular, de insectos asociados a fitofagia) involucradas, la distancia entre ellas, flechas que indican emisión-recepción y símbolos que representan a los COV actuando potencialmente como alomonas, sinomonas o kairomonas. Todos los elementos mencionados anteriormente para los diseños de los complejos se basaron en los trabajos de interacción planta-planta de Meents y Mithöfer (2020), Ninkovic *et al.* (2021), Brosset y Blande (2022) y Loreto y D’Auria (2022), así como “complejos de interacción químico-ecológica” con referencia a los adultos fitófagos de *Thasus gigas* Klug (Hemiptera: Coreidae), a los cuales se les considera como huésped principal de mezquites y huizaches (Romero-López, datos no publicados). De manera complementaria, se propuso un modelo general en el cual se presentan los mecanismos moleculares que permiten a las plantas detectar y responder a los infoquímicos; esto con base en una nueva revisión bibliográfica sobre los estudios especializados de Ninkovic *et al.* (2021), Loreto y D’Auria (2022), Midzi *et al.* (2022) y Kessler *et al.* (2023).

## 8. RESULTADOS

### 8.1. Análisis CG-EM

El cromatograma de extractos de hojas de *N. laevigata* presentó una menor cantidad de compuestos químicos en comparación con los registrados en el cromatograma correspondiente a *V. schaffneri* (Figuras 13 y 15). En cada cromatograma se señala representativamente a aquellos compuestos que han sido reportados como infoquímicos en las interacciones planta-planta. Los nueve compuestos representativos de *N. laevigata* son 1*R*- $\alpha$ -pineno, 1*S*- $\alpha$ -pineno,  $\alpha$ -felandreno, canfeno,  $\beta$ -pineno,  $\alpha$ -felandreno, *D*-limoneno, *o*-cimeno,  $\beta$ -felandreno y  $\beta$ -cariofileno (Figura 13, Cuadro 1).



**Figura 13.** Cromatograma de *Neltuma laevigata* señalando los nueve compuestos más representativos como posibles infoquímicos a partir de la literatura revisada.

**Cuadro 1.** Información sobre los compuestos químicos que se forma parte del perfil, representativos que para el estudio se consideran COV de *Neltuma laevigata*.

Nombre/CAS/Tiempo de retención	Naturaleza	Abundancia (%)
1R- $\alpha$ -Pinoeno/ 7785-70-8/7.25 min	Monoterpeno	0.36
1S- $\alpha$ -Pinoeno/ 7785-26-4/7.60 min	Monoterpeno	2.26
Canfeno/79-92-05/8.33 min	Monoterpeno	1.86
$\beta$ -Pinoeno/127-91-3/9.29 min	Monoterpeno	1.12
$\alpha$ -Felandreno/99-83-2/10.19 min	Monoterpeno	1.93
D-limoneno/5989-27-5/10.87 min	Monoterpeno	2.60
$\beta$ -Felandreno/555-10-2/11.13 min	Monoterpeno	1.88
O-cimeno/527-84-4/11.56 min	Monoterpeno	3.26
$\beta$ -Cariofileno/87-44-5/21.75 min	Sesquiterpeno	1.57

En cuanto a los compuestos del cromatograma de *V. schaffneri*, los once compuestos más representativos son 1R- $\alpha$ -pinoeno, 1S- $\alpha$ -pinoeno,  $\alpha$ -felandreno, canfeno, D-limoneno, o-cimeno,  $\beta$ -felandreno, benzaldehído, nonanal, acetofenona y  $\beta$ -cariofileno (Figura 14, Cuadro 2).

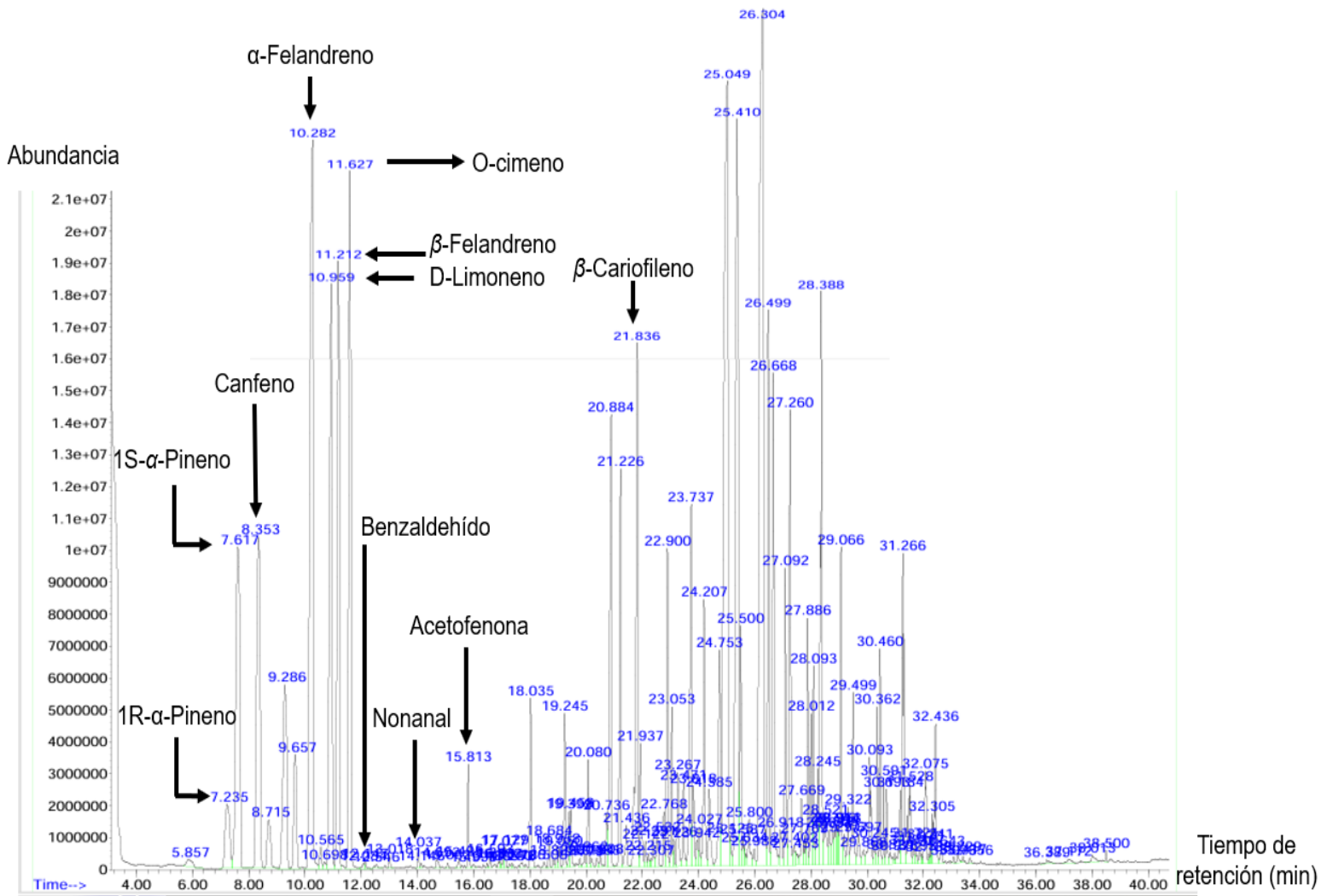


Figura 14. Cromatograma de *Vachellia schaffneri* señalando los once compuestos más representativos como posibles infoquímicos a partir de la literatura revisada.

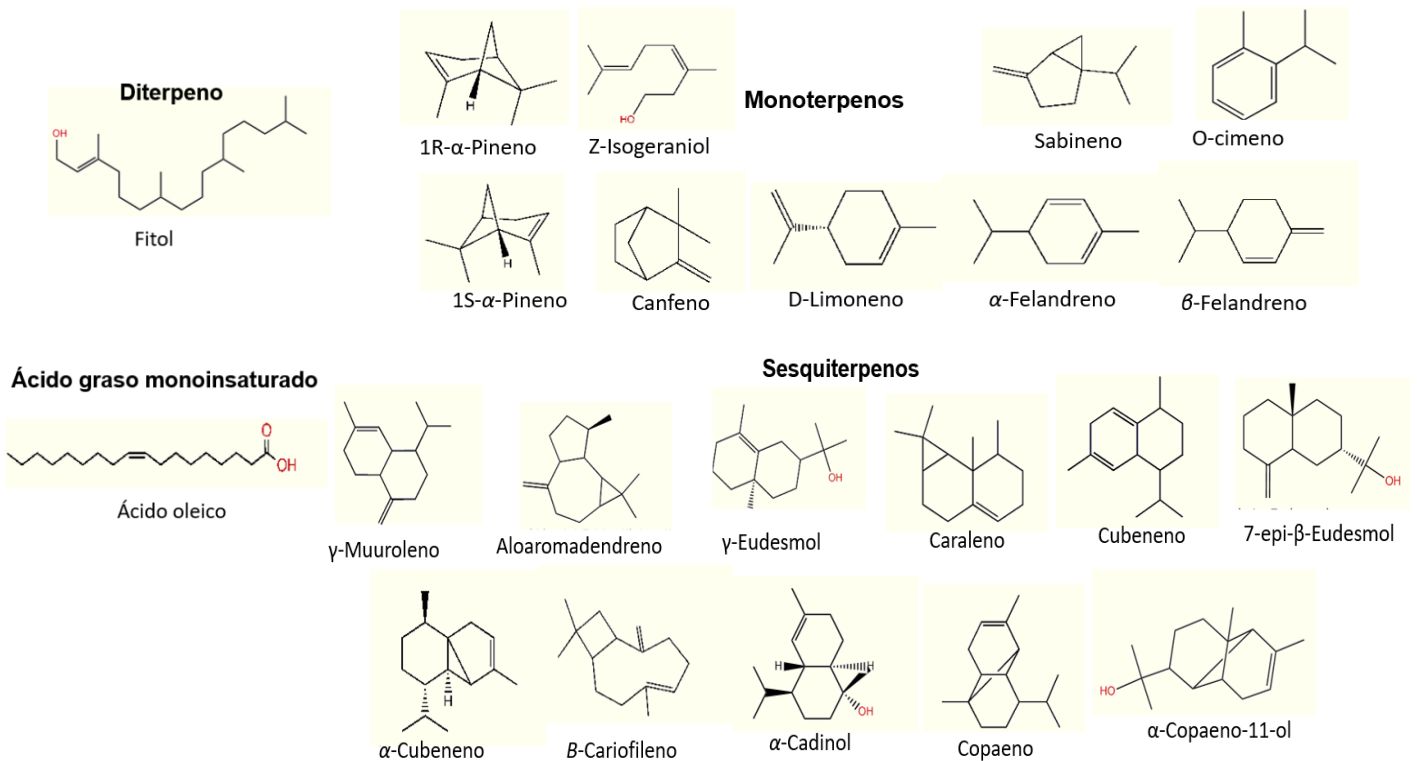
**Cuadro 2.** Información sobre los compuestos químicos que se forma parte del perfil, representativos que para el estudio se consideran COV de *Vachellia schaffneri*.

Nombre/CAS/Tiempo de retención	Naturaleza	Abundancia (%)
1R- $\alpha$ -Pinoeno/ 7785-70-8/7.23 min	Monoterpeno	0.81
1S- $\alpha$ -Pinoeno/ 7785-26-4/7.61 min	Monoterpeno	3.68
Canfeno/79-92-05/8.34 min	Monoterpeno	3.27
$\alpha$ -Felandreno/99-83-2/10.28 min	Monoterpeno	7.11
D-Limoneno/5989-27-5/10.95 min	Monoterpeno	4.53
$\beta$ -Felandreno/555-10-2/11.21 min	Monoterpeno	3.66
O-cimeno/527-84-4/11.63 min	Monoterpeno	4.44
Benzaldehído/100-52-7/12.54 min	Aromático	0.03
Nonanal/124-19-6/14.14 min	Aldehído	0.01
Acetofenona/98-86-6/15.80 min	Aromático	0.33
$\beta$ -Cariofileno/87-44-5/21.83min	Sesquiterpeno	3.01

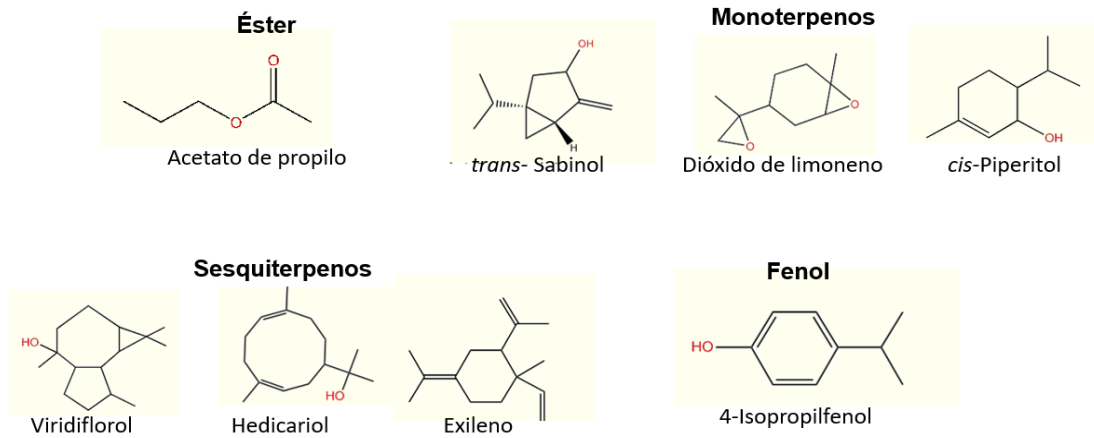
En el perfil químico, se registraron cuarenta y nueve compuestos en *N. laevigata* y ochenta compuestos en *V. schaffneri* (Cuadros 5 y 6; ANEXO), de tal manera que los grupos predominantes de cada perfil son los monoterpenos y sesquiterpenos, siendo estos últimos los más numerosos en ambas especies vegetales (Cuadro 3). No obstante, *N. laevigata* y *V. schaffneri* comparten veintidós COV (Figura 15) a pesar de que cada especie presenta COV particulares en sus perfiles (Figuras 16 y 17).

**Cuadro 3.** Principales grupos funcionales que conforman el perfil químico COV de *Neltuma laevigata* y *Vachellia schaffneri*. Los números representan la cantidad de compuestos detectados.

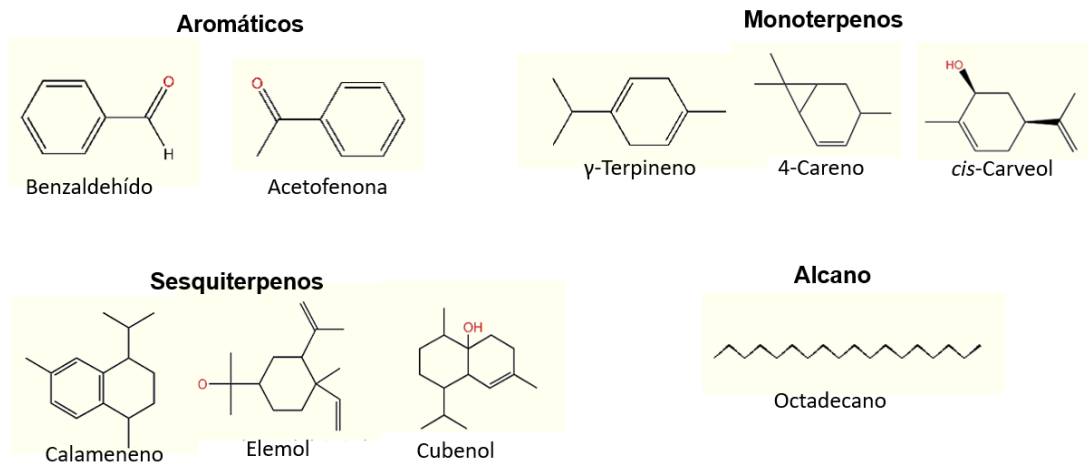
<i>N. laevigata</i>	<i>V. schaffneri</i>
Monoterpenos= 14	Monoterpenos= 19
Sesquiterpenos= 21	Sesquiterpenos= 41
Aromáticos= 1	Aromáticos= 4
Ésteres= 3	Ésteres=0
Aldehídos =0	Aldehídos=2
Alquenos= 1	Alquenos= 5
Alcanos=2	Alcanos= 2
Cetonas=2	Cetonas=3
Fenoles=2	Fenoles=0
Diterpenos=1	Diterpenos=1
Alcoholes=1	Alcoholes=1
Ácidos grasos=1	Ácidos grasos=2



**Figura 15.** COV que comparten *Neltuma laevigata* y *Vachellia schaffneri* del perfil químico.



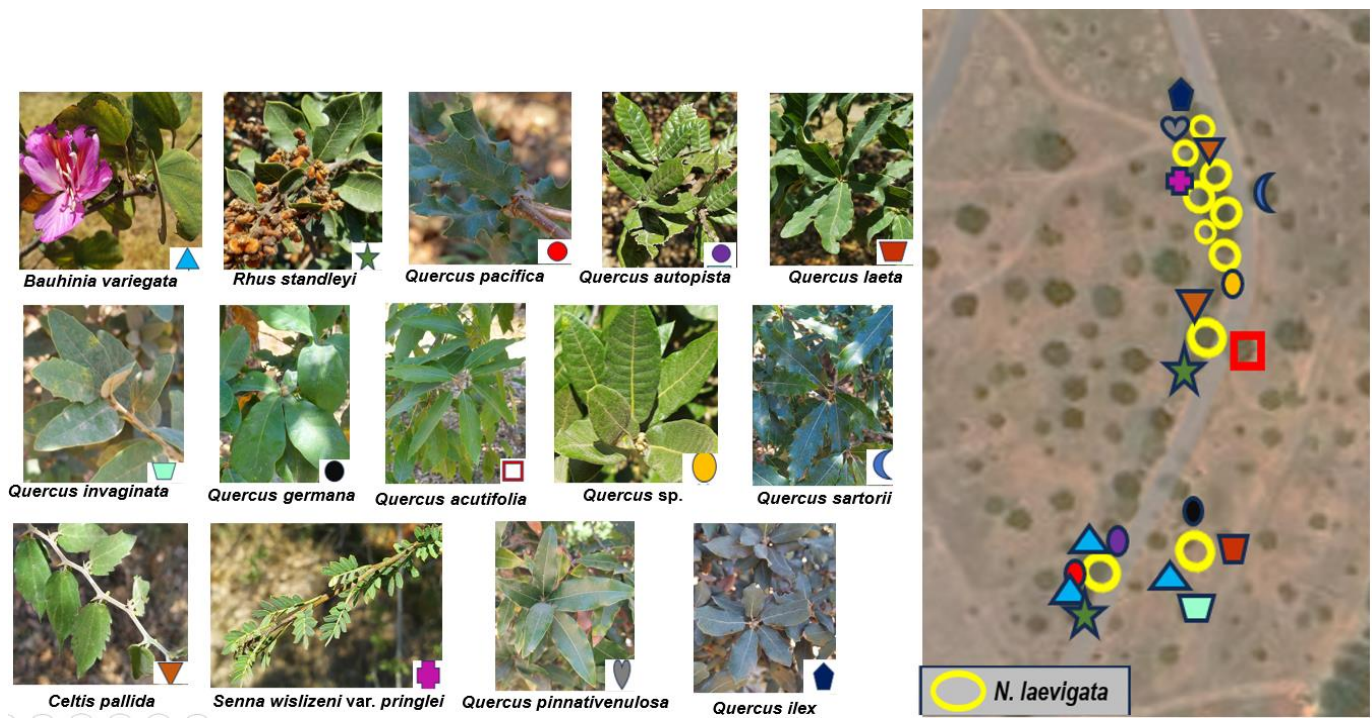
**Figura 16.** COV propios del perfil químico de *Neltuma laevigata*.



**Figura 17.** COV propios del perfil químico de *Vachellia schaffneri*.

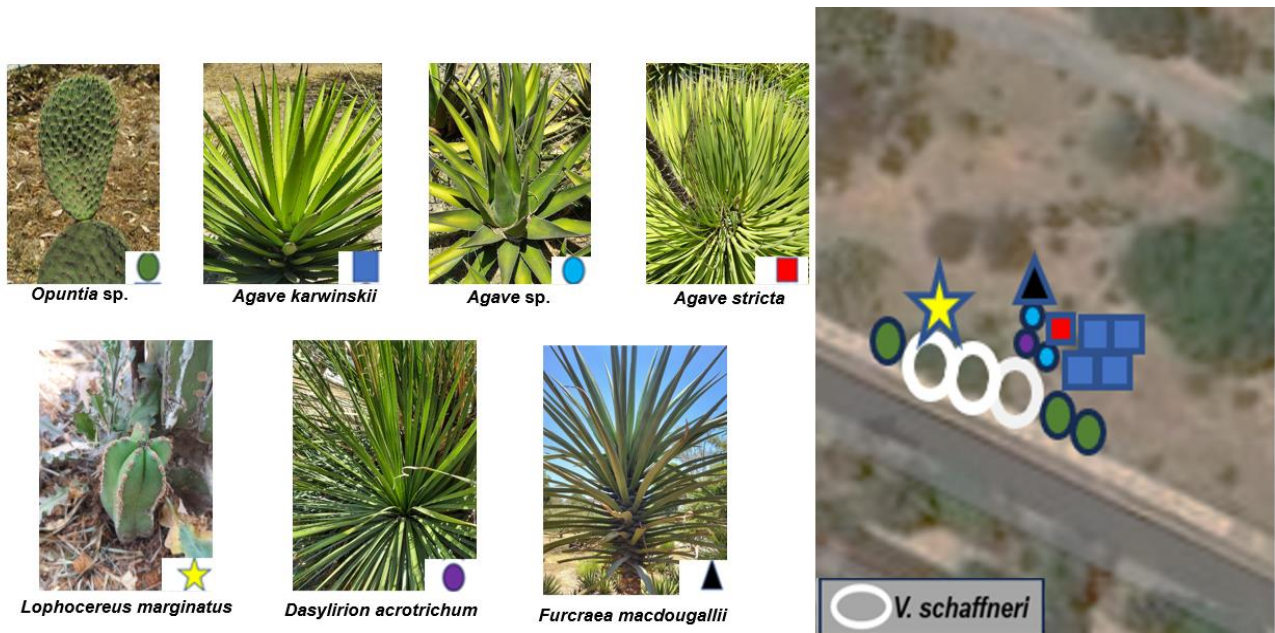
## 8.2. Registro de especies vecinas de *N. laevigata* y *V. schaffneri*

En la zona Quercetum del JBU, donde se ubican los mezquites, se registraron catorce especies, siendo los predominantes las especies de *Quercus*. Las especies más numerosas de la zona son *Bauhinia variegata* (L.), *Rhus standleyi* (F. A. Barkley) y *Celtis pallida* (Torr.) (Figura 18).



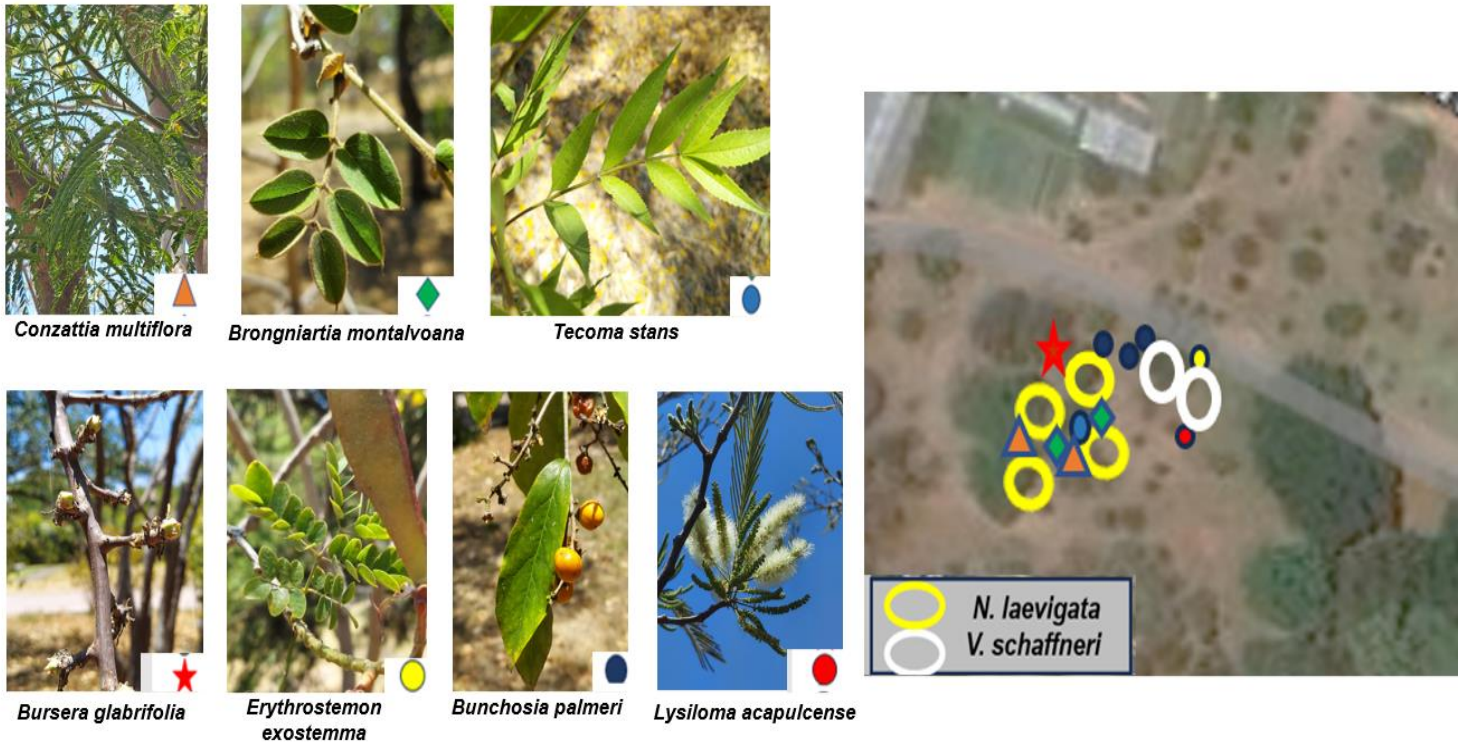
**Figura 18.** Registro de especies vecinas de *Neltuma laevigata* en la zona Quercetum del Jardín Botánico. Los símbolos marcados en el croquis presentan la ubicación de las especies vecinas.

En la zona Centro Semiárida donde se encuentran los huizaches, se registraron siete especies, de los cuales, todas son plantas suculentas. Las especies más numerosas de la zona son *Opuntia* sp. y *Agave karwinskii* (Zucc.) (Figura 19).



**Figura 19.** Registro de especies vecinas a *Vachellia schaffneri* de la zona Centro Semiárida del Jardín Botánico. Los símbolos marcados en el croquis representan la ubicación de las especies vecinas.

En la zona Sur donde se encuentran ambas especies, se registraron siete especies arbóreas. Las especies más numerosas son *Conzattia multiflora* (B. L. Rob.) Standl., *Brongniartia montalvoana* (Dorado & D.M. Arias) y *Bunchosia palmeri* (S. Watson) (Figura 20).



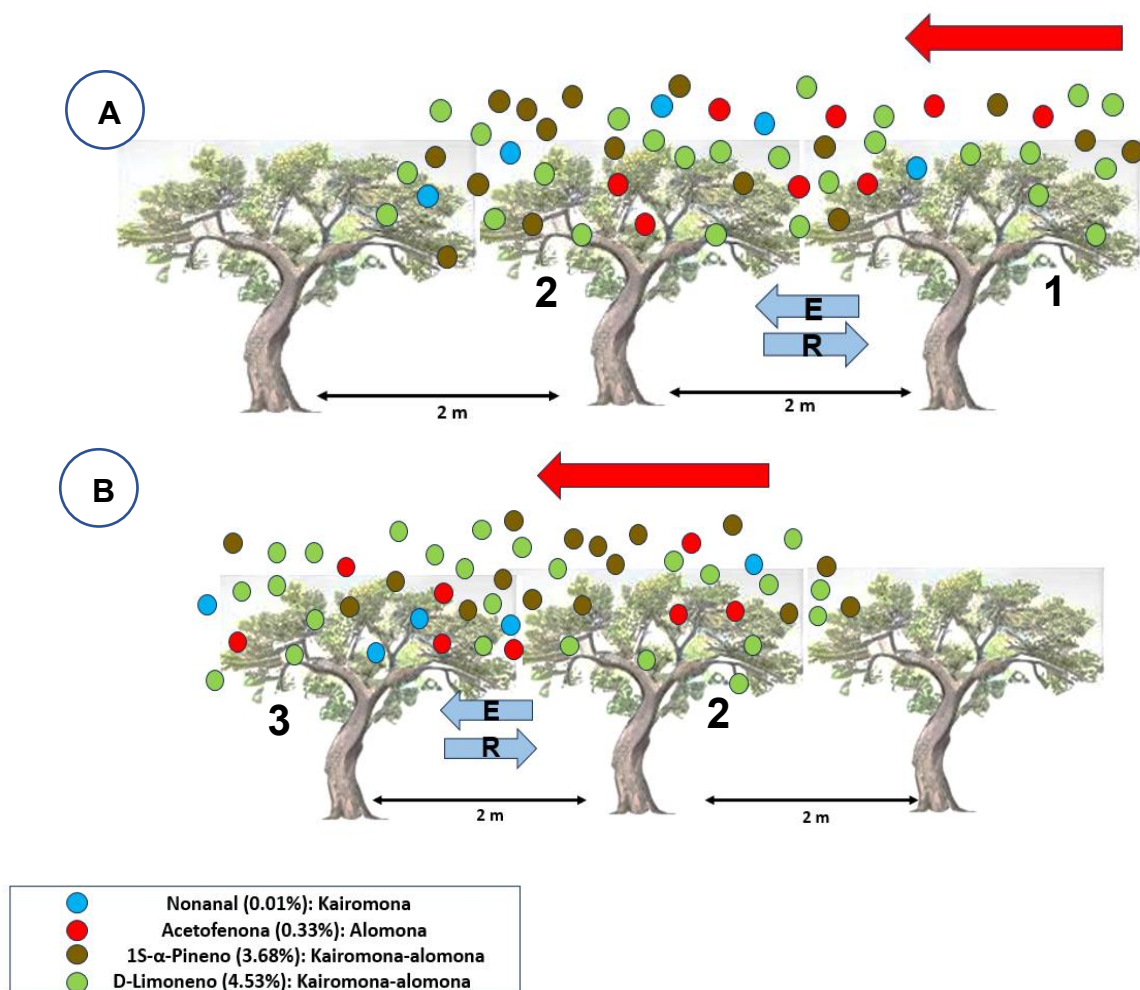
**Figura 20.** Registro de especies cercanas a *Neltuma laevigata* y *Vachellia schaffneri* de la zona Sur del Jardín Botánico. Los símbolos marcados en el croquis representan la ubicación de las especies vecinas.

### 8.3. Propuesta de complejos de interacción intra e interespecífica

Con base a la literatura consultada sobre COV reportados como infoquímicos en las interacciones vegetales, el registro de las especies vecinas y el perfil químico COV obtenido de *N. laevigata* y *V. schaffneri*, se propuso once complejos de cómo se da la interacción intra e interespecífica en el JBU (Figuras 21-31).

La Figura 21 representa la interacción intraespecífica de tres ejemplares de *V. schaffneri*, donde el “árbol 1” inicia la interacción al emitir cuatro diferentes

compuestos volátiles al “árbol 2”, y este al percibirlos, emite estos mismos compuestos al “árbol 3”. Cada compuesto indica el tipo de infoquímico que se pueda estar dando en la interacción con base al factor abiótico o biótico que lo detone. Nonanal representado como kairomona (resistencia a enfermedades y/o promueve el crecimiento y desarrollo); acetofenona representada como alomona (alelopatía); 1S- $\alpha$ -pineno y D-limoneno representados como kairomonas (señal de alarma contra fitofagia) y alomonas (alelopatía).

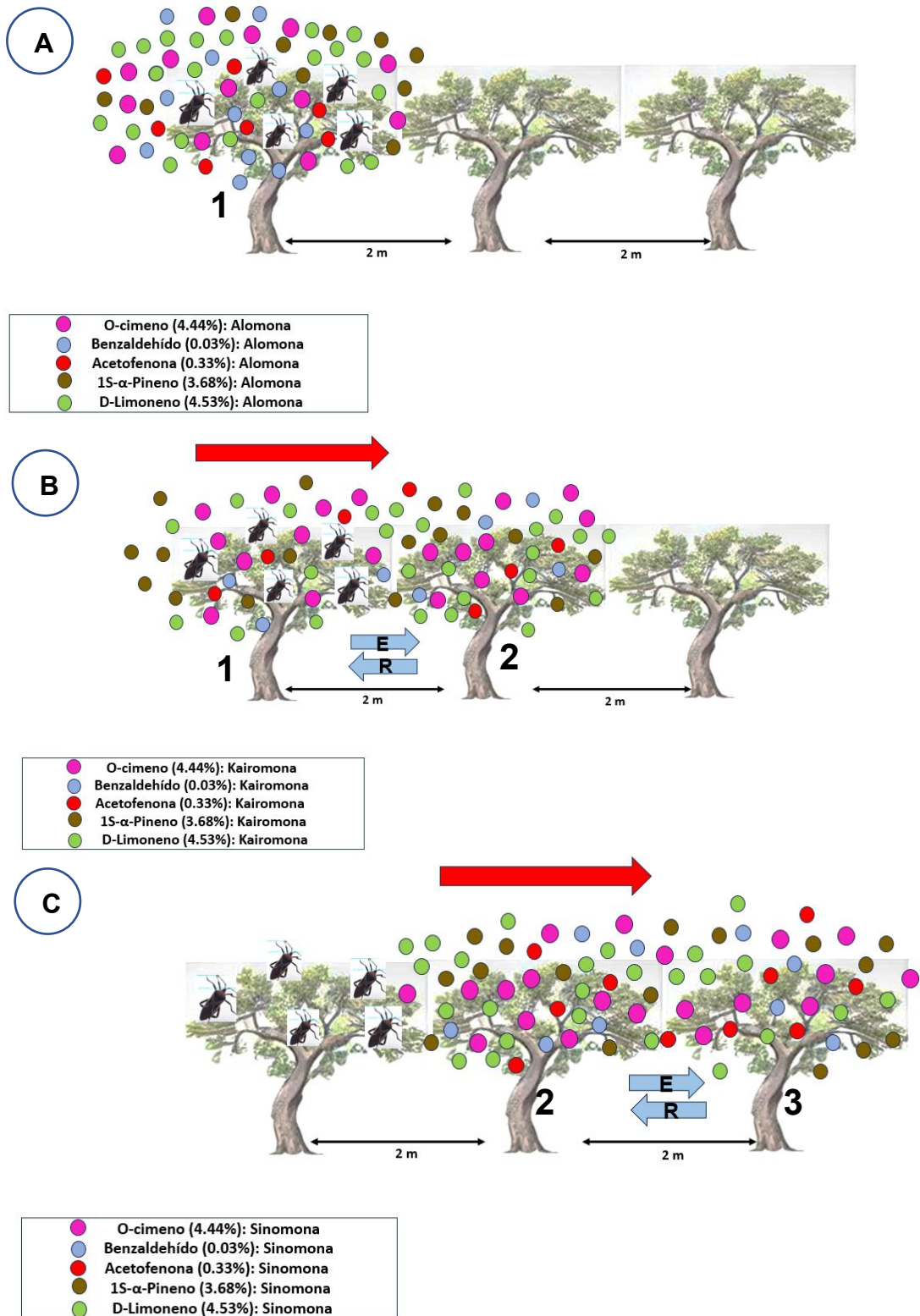


**Figura 21.** Complejos de interacción intraespecífica de *V. schaffneri*. (A) “Árbol 1” emite infoquímicos hacia el “árbol 2”, este los percibe y responde. (B) “Árbol 2” con el mensaje químico interpretado, produce infoquímicos y los emite hacia el “árbol 3”, este los percibe y responde. Las flechas rojas indican la dirección de los COV emitidos hacia las plantas receptoras. Las flechas azules indican la emisión (E) y recepción (R) entre los árboles.

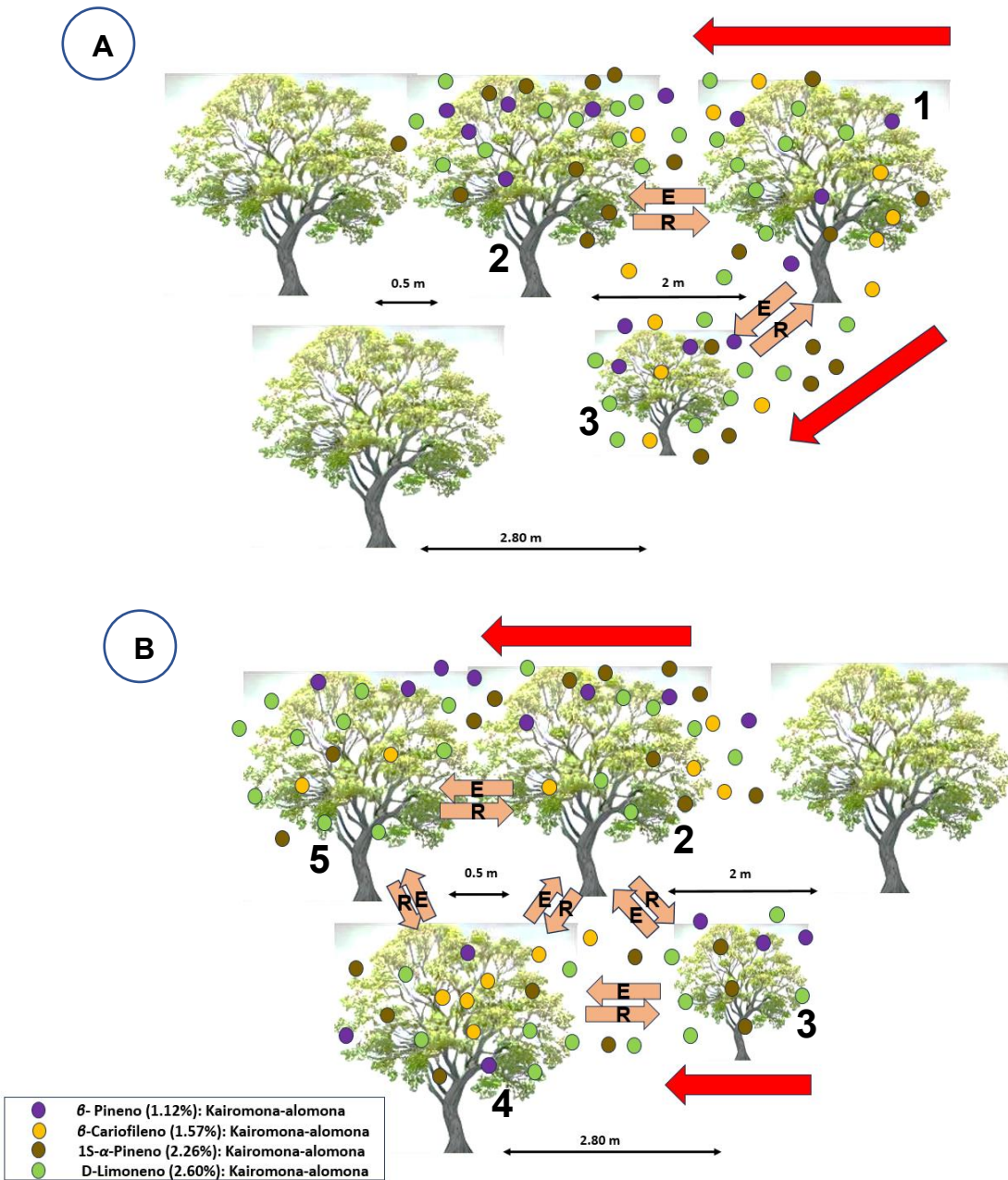
La Figura 22 representa la interacción intraespecífica de *V. schaffneri* dada por fitofagia, donde el “árbol 1” emite cinco compuestos volátiles ante la presencia del insecto fitófago “chinche gigante de mezquite” (*T. gigas*) en la copa, con el único fin de repeler su ataque hacia las hojas, pero en caso de no lograr cesar el ataque, estos mismos compuestos son percibidos y respondidos como señales de alarma por el “árbol 2” y su vez, este los emite como señales de alarma hacia el “árbol 3”. Los cinco compuestos son representados como alomonas (repelencia o intoxicación alimentaria) durante la interacción planta-insecto, pero durante la interacción planta-planta, son representados como kairomonas y sinomonas (señales de alarma y resistencia contra fitofagia).

En la Figura 23 representa la interacción intraespecífica de cinco ejemplares de *N. laevigata*, donde el “árbol 1” inicia la interacción, emitiendo cuatro diferentes compuestos volátiles hacia los “árboles 2 y 3” y estos al percibirlos, emiten estos mismos compuestos a los “árboles 4 y 5”. Cada compuesto indica el tipo de infoquímico que se pueda estar dando en la interacción con base al factor biótico o abiótico que los detone. Los cuatro monoterpenos son representados como alomonas (alelopatía) y kairomonas (señal de alarma contra fitofagia).

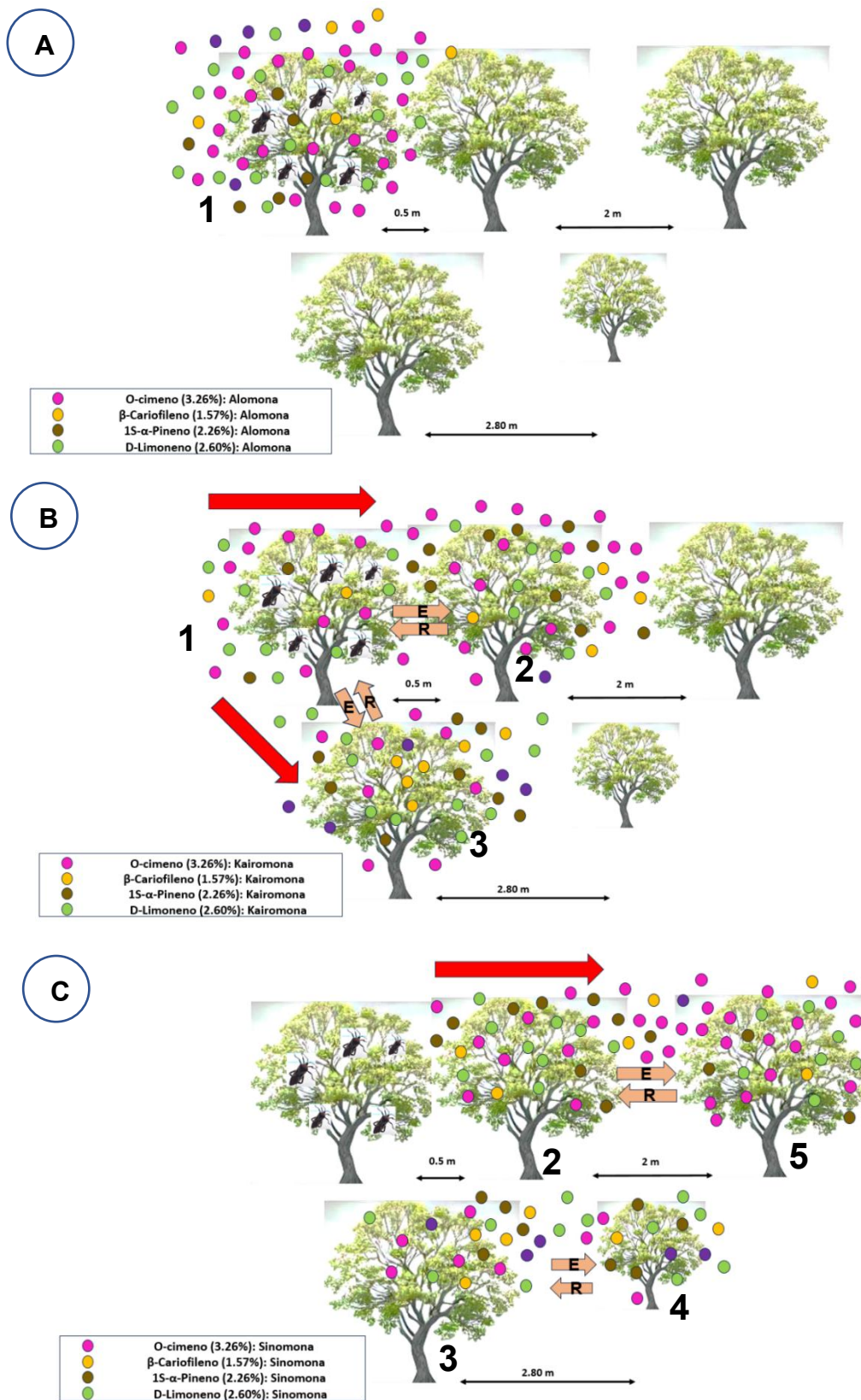
La Figura 24 representa la interacción intraespecífica de *N. laevigata* dada por fitofagia, donde el “árbol 1” emite cuatro compuestos volátiles ante la presencia del insecto fitófago “chinche gigante de mezquite” (*T. gigas*) en la copa, con el único fin de repeler su ataque hacia las hojas, pero en caso de no lograr cesar el ataque, estos mismos compuestos son percibidos y respondidos como señales de alarma por los “árboles 2 y 3”, y su vez, este los emite como señales de alarma hacia los “árboles 4” y 5”. Los cuatro compuestos son representados como alomonas (repelencia o intoxicación alimentaria) durante la interacción planta-insecto, pero durante la interacción planta-planta, son representados como kairomonas y sinomonas (señales de alarma y resistencia contra fitofagia).



**Figura 22.** Complejos de interacción intraespecífica de *V. schaffneri* ante fitofagia (A) Interacción planta-insecto: “Árbol 1” emite infoquímicos hacia *T. gigas*. (B) “Árbol 1” emite infoquímicos hacia el “árbol 2”, este los percibe y responde. (C) “Árbol 2” con el mensaje químico interpretado, produce infoquímicos y los emite hacia el “árbol 3”, este los percibe y responde. Las flechas rojas indican la dirección de los COV emitidos hacia las plantas receptoras. Las flechas azules indican la emisión (E) y recepción (R) entre los árboles.

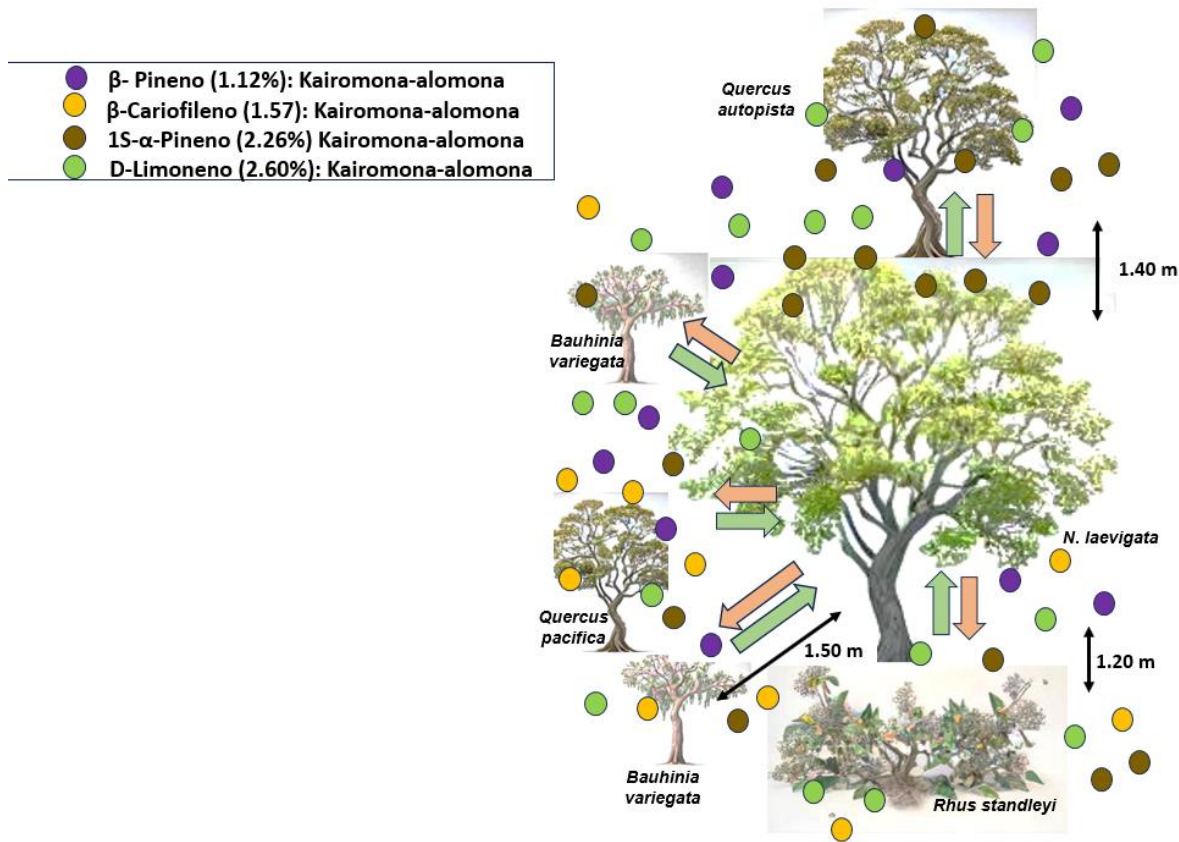


**Figura 23.** Complejos de interacción intraespecífica de *V. schaffneri*. (A) “Árbol 1” emite infoquímicos hacia los “árboles 2 y 3”, estos los perciben y responden. (B) “Árboles 2 y 3” con el mensaje químico interpretado, producen infoquímicos y los emiten hacia los “árboles 4 y 5”, estos los perciben y responden. Las flechas rojas indican la dirección de los COV emitidos hacia las plantas receptoras. Las flechas naranjas indican la emisión (E) y recepción (R) entre los árboles.

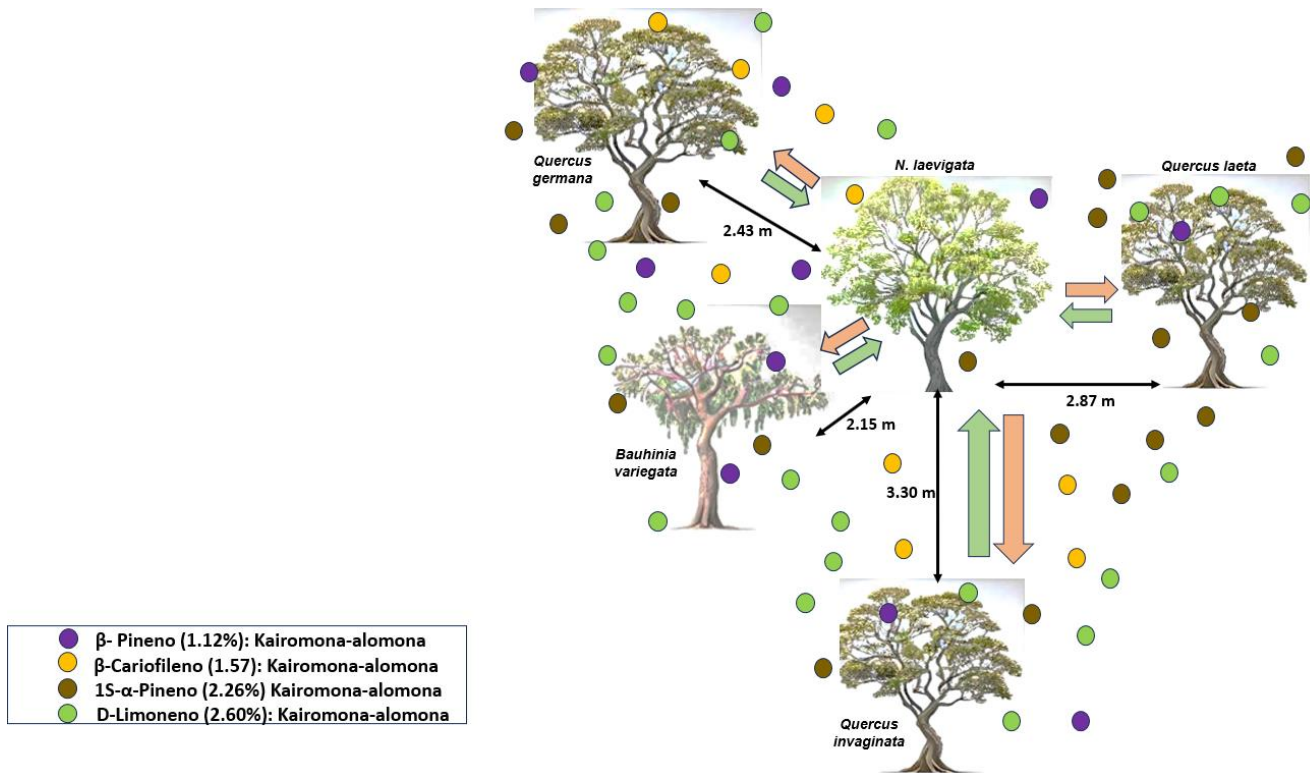


**Figura 24.** Complejos de interacción intraespecífica de *N. laevigata* ante fitofagia. (A) Interacción planta-insecto: “Árbol 1” emite infoquímicos hacia *T. gigas*. (B) “Árbol 1” emite infoquímicos hacia los “árboles 2 y 3”, estos los perciben y responden. (C) “Árboles 2 y 3” con el mensaje químico interpretado, producen infoquímicos y los emiten hacia los “árboles 4 y 5”, estos los perciben y responden. Las flechas rojas indican la dirección de los COV emitidos hacia las plantas receptoras. Las flechas azules indican la emisión (E) y recepción (R) entre los árboles.

Las Figuras 25 y 26 representan la interacción interespecífica de *N. laevigata* con especies vecinas (Figura 25: *Quercus autopista* (Nixon & C. H. Müll.), *Bauhinia variegata*, *Quercus pacifica* (Nixon & C. H. Müll.) y *Rhus standleyi*; Figura 26; *Quercus germana* (Schltdl. & Cham.), *Quercus laeta*, (Liebm.) *Quercus invaginata* (Trel.) y *Bauhinia variegata*), donde *N. laevigata* emite cuatro compuestos volátiles y son percibidos por los árboles vecinos. Los cuatro compuestos son representados como alomonas (alelopatía) y kairomonas (señales de alarma contra fitofagia o estrés abiótico).

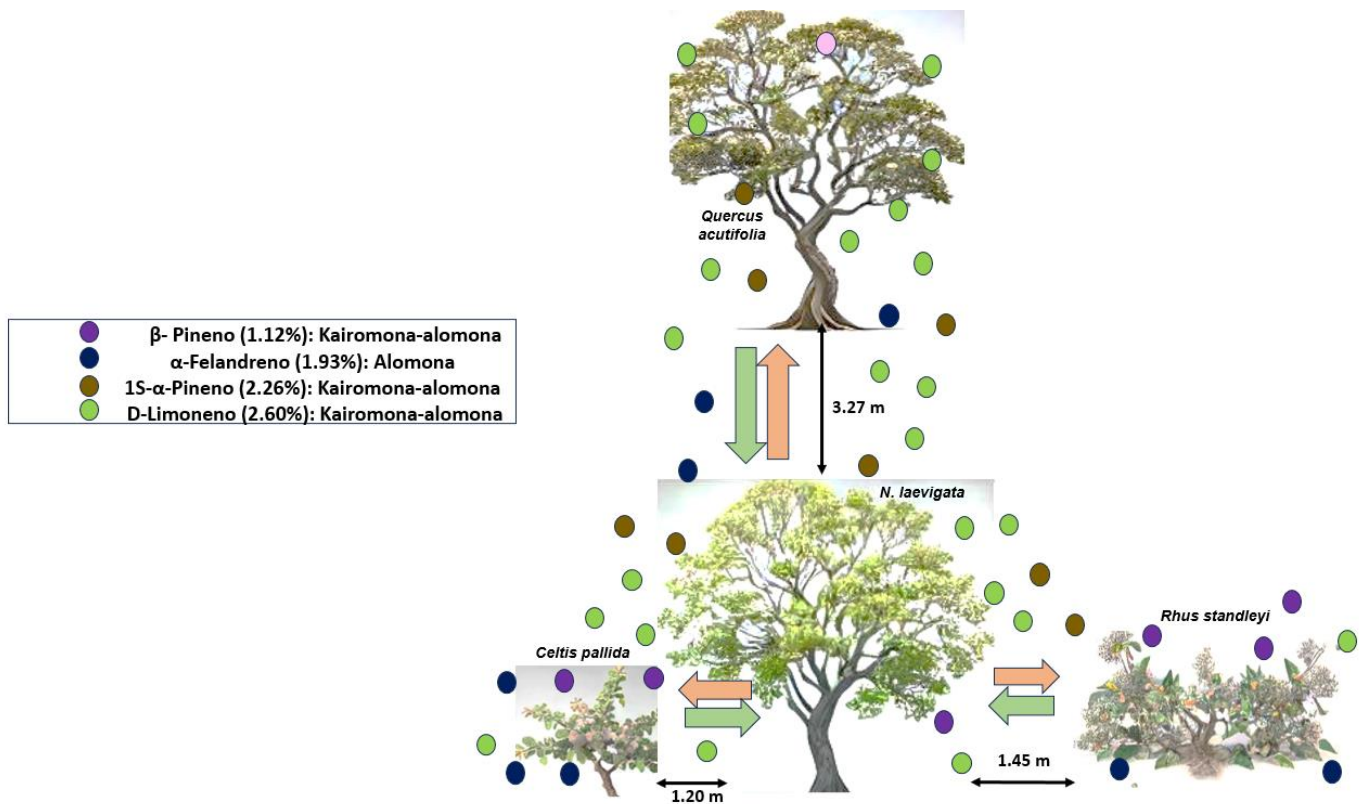


**Figura 25.** Complejo de interacción interespecífica de *N. laevigata* con cuatro especies vecinas. Las flechas naranjas indican la emisión de infoquímicos de *N. laevigata*. Las flechas verdes indican la recepción de infoquímicos de las plantas vecinas.



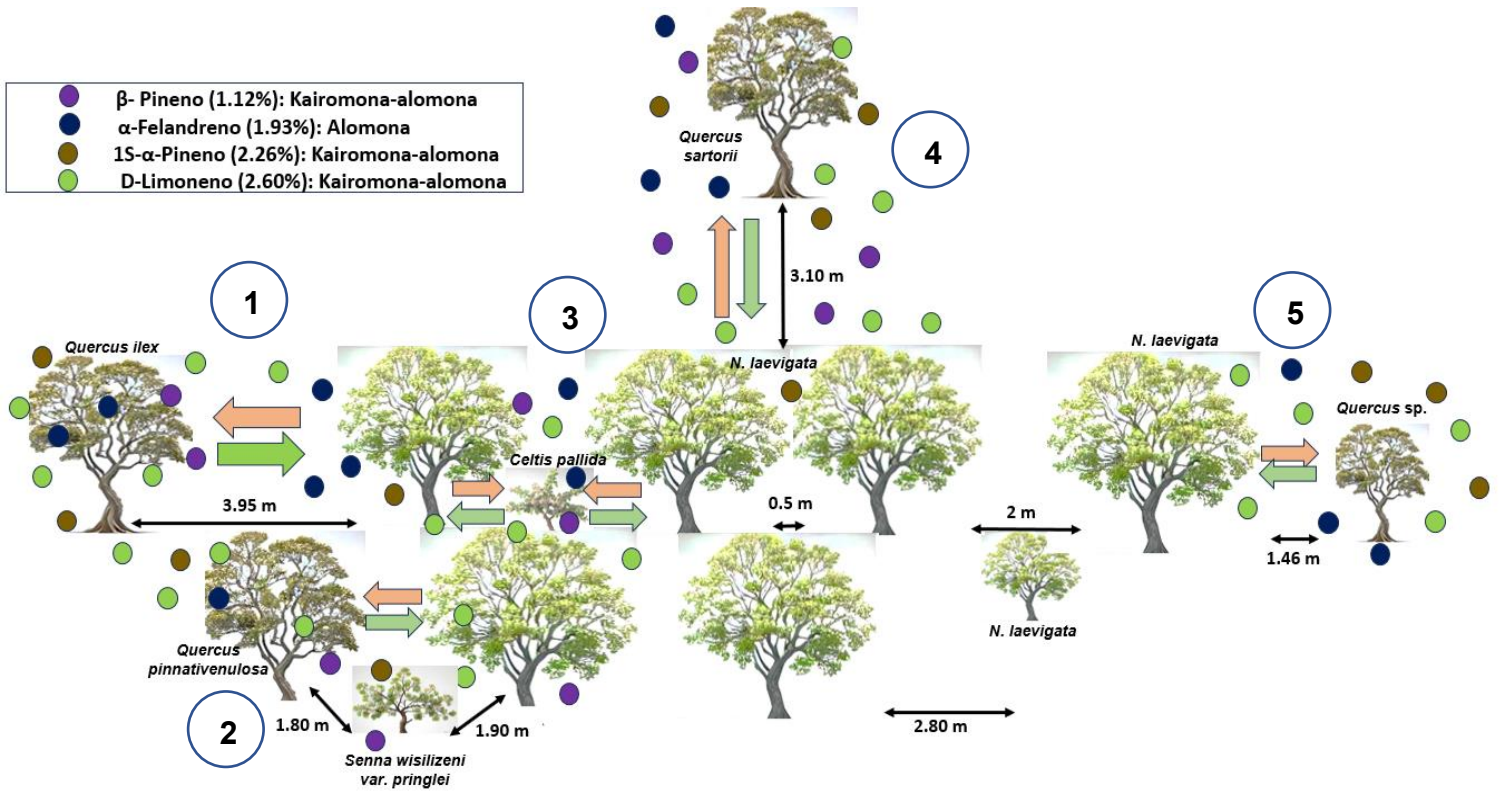
**Figura 26.** Complejo de interacción interespecífica de *N. laevigata* con cuatro especies vecinas. Las flechas naranjas indican la emisión de infoquímicos de *N. laevigata*. Las flechas verdes indican la recepción de infoquímicos de las plantas vecinas.

Las Figuras 27 representa la interacción interespecífica de *N. laevigata* con *Quercus acutifolia* (Née), *Celtis pallida* y *Rhus standleyi*, donde *N. laevigata* emite cuatro compuestos volátiles y son percibidos por dichas especies. El compuesto  $\alpha$ -felandreno es representado como alomona (alelopatía), mientras que los compuestos  $\beta$ -pineno, 1S- $\alpha$ -pineno y D-limoneno son representados como alomonas (alelopatía) o kairomonas (señales de alarma contra fitofagia o estrés abiótico).



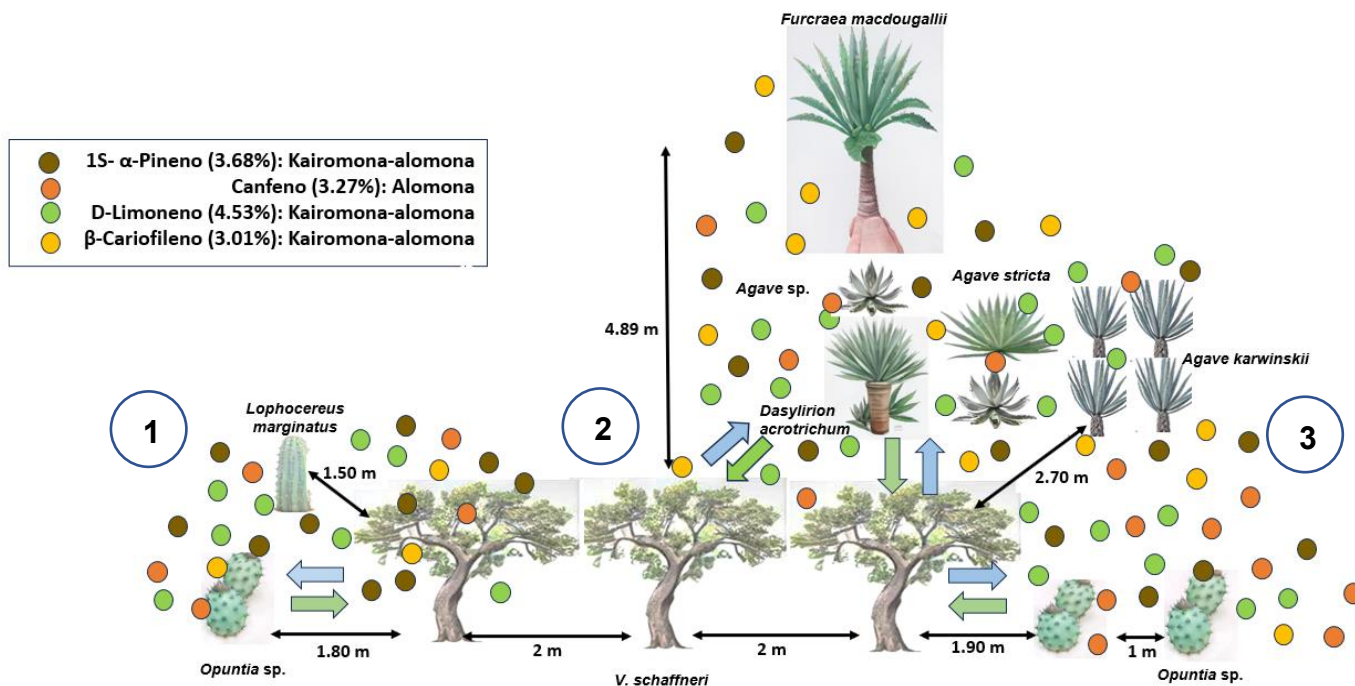
**Figura 27.** Complejo de interacción interespecífica de *N. laevigata* con tres especies vecinas. Las flechas naranjas indican la emisión de infoquímicos de *N. laevigata*. Las flechas verdes indican la recepción de infoquímicos de las plantas vecinas.

La Figura 28 representa cinco escenarios de interacción interespecífica de *N. laevigata* con *Quercus* sp., *Quercus ilex* (L.), *Senna wisilizeni* var. *pringlei* (Rose) H. S. Irwin & Barneby, *Quercus pinnativenulosa* (Muller), *Celtis pallida* y *Quercus sartorii* (Liebm.). En cada escenario, *N. laevigata* emite cuatro infoquímicos hacia las especies arbóreas o arbustivas cercanas a ella. Los compuestos y el tipo de infoquímicos propuestos para esta figura son los mismos cuatro representados de la Figura 27.



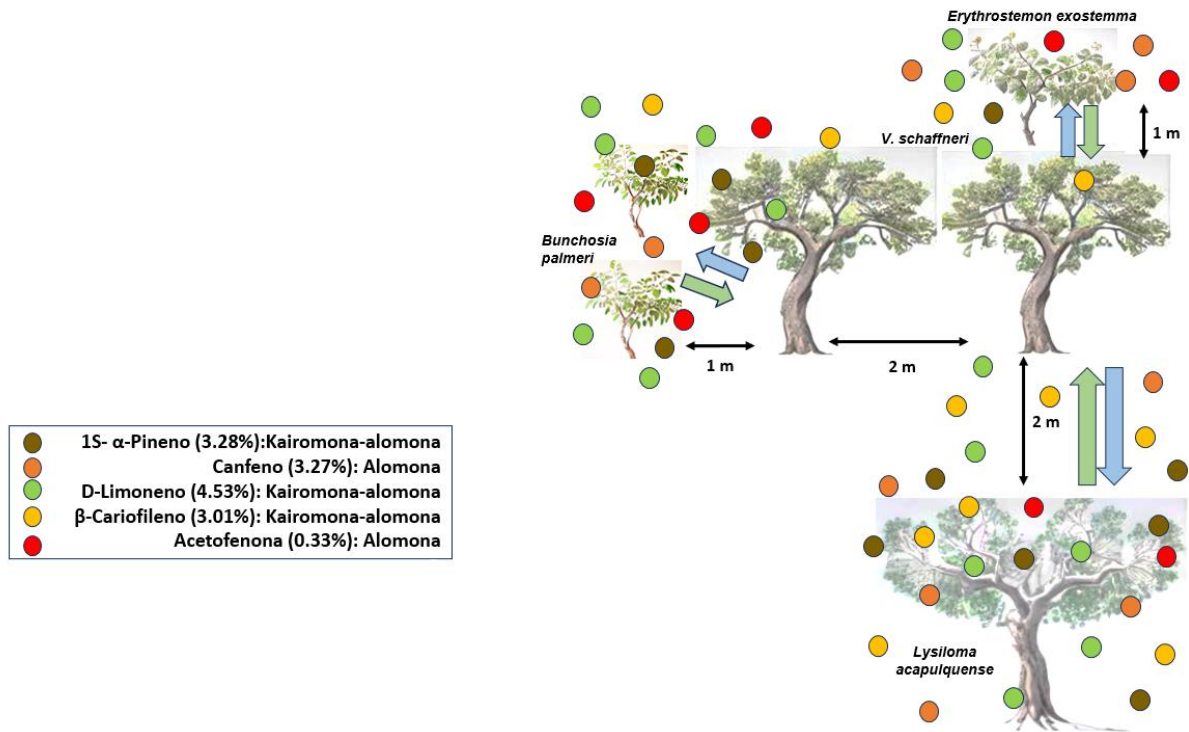
**Figura 28.** Complejo de interacción interespecífica de *N. laevigata* con seis especies vecinas. (1) *N. laevigata*-*Quercus ilex*; (2) *N. laevigata*-*Senna wisilizeni* var. *pringlei* y *Quercus pinnativenulosa*; (3) *N. laevigata*-*Celtis pallida*; (4) *N. laevigata*-*Quercus sartorii*; (5) *N. laevigata*-*Quercus sp.* Las flechas naranjas indican la emisión de infoquímicos de *N. laevigata*. Las flechas verdes indican la recepción de infoquímicos de las plantas vecinas.

La Figura 29 representa tres escenarios de interacción interespecífica de *V. schaffneri* con *Agave stricta* (Salm-Dyck), *Agave karwinskii*, *Dasyllirion acrotrichum*, (Schiede) Zucc. *Agave sp.*, *Furcraea macdougallii* (Matuda), *Opuntia sp.* y *Lophocereus marginatus* (DC.) S. Arias & Terrazas. En cada escenario, *V. schaffneri* emite cuatro infoquímicos hacia las especies suculentas cercanas a ella. Los compuestos  $\beta$ -cariofileno, 1S- $\alpha$ -pineno y D-limoneno son representados como kairomonas (señal de alarma contra fitofagia) y alomonas (alelopatía), mientras que canfeno es representado como alomona (alelopatía).



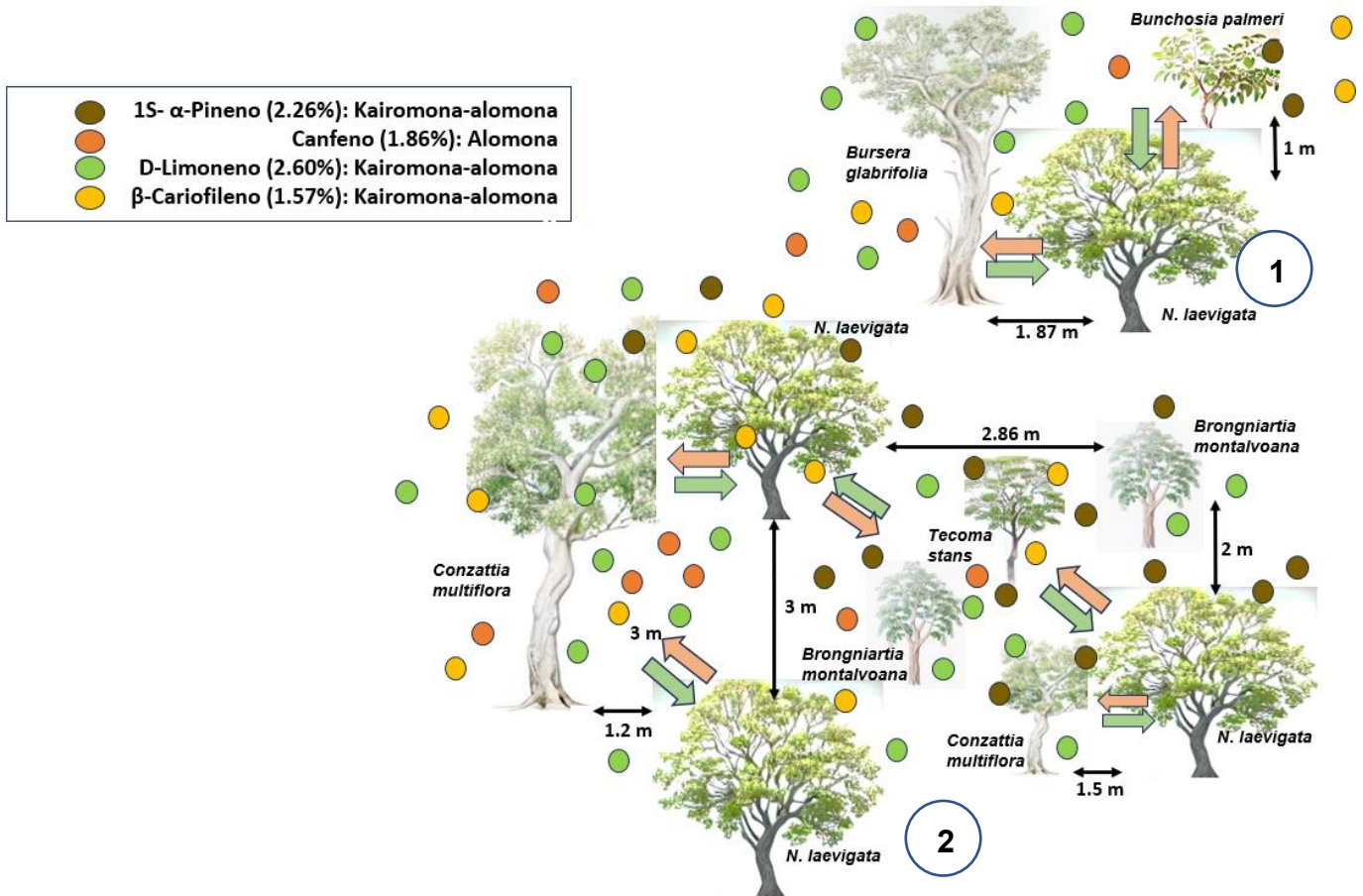
**Figura 29.** Complejo de interacción interespecífica de *V. schaffneri* con siete especies vecinas. (1) *V. schaffneri*-*Opuntia sp.* y *Lophocereus marginatus*; (2) *V. schaffneri*-*Dasyliirion acrotrichum*, *Agave sp.* y *Furcraea macdougallii*; (3) *V. schaffneri*-*Opuntia sp.*, *Agave stricta*, *Agave karwinskii* y *Dasyliirion acrotrichum*. Las flechas azules indican la emisión de infoquímicos de *V. schaffneri*. Las flechas verdes indican la recepción de infoquímicos de las plantas vecinas.

La Figura 30 representa la interacción interespecífica de *V. schaffneri* con *Bunchosia palmeri*, *Erythrostemon exostemma* (Moc. & Sessé ex DC.) Gagnon & G.P. Lewis y *Lysiloma acapulquense* (Kunth) Benth, donde emite cinco compuestos, de los cuales, 1S- $\alpha$ -pineno, D-limoneno y  $\beta$ -cariofileno son representados como kairomonas (señal de alarma contra fitofagia) y alomonas (alelopatía), mientras que acetofenona y canfeno únicamente como alomonas (alelopatía).



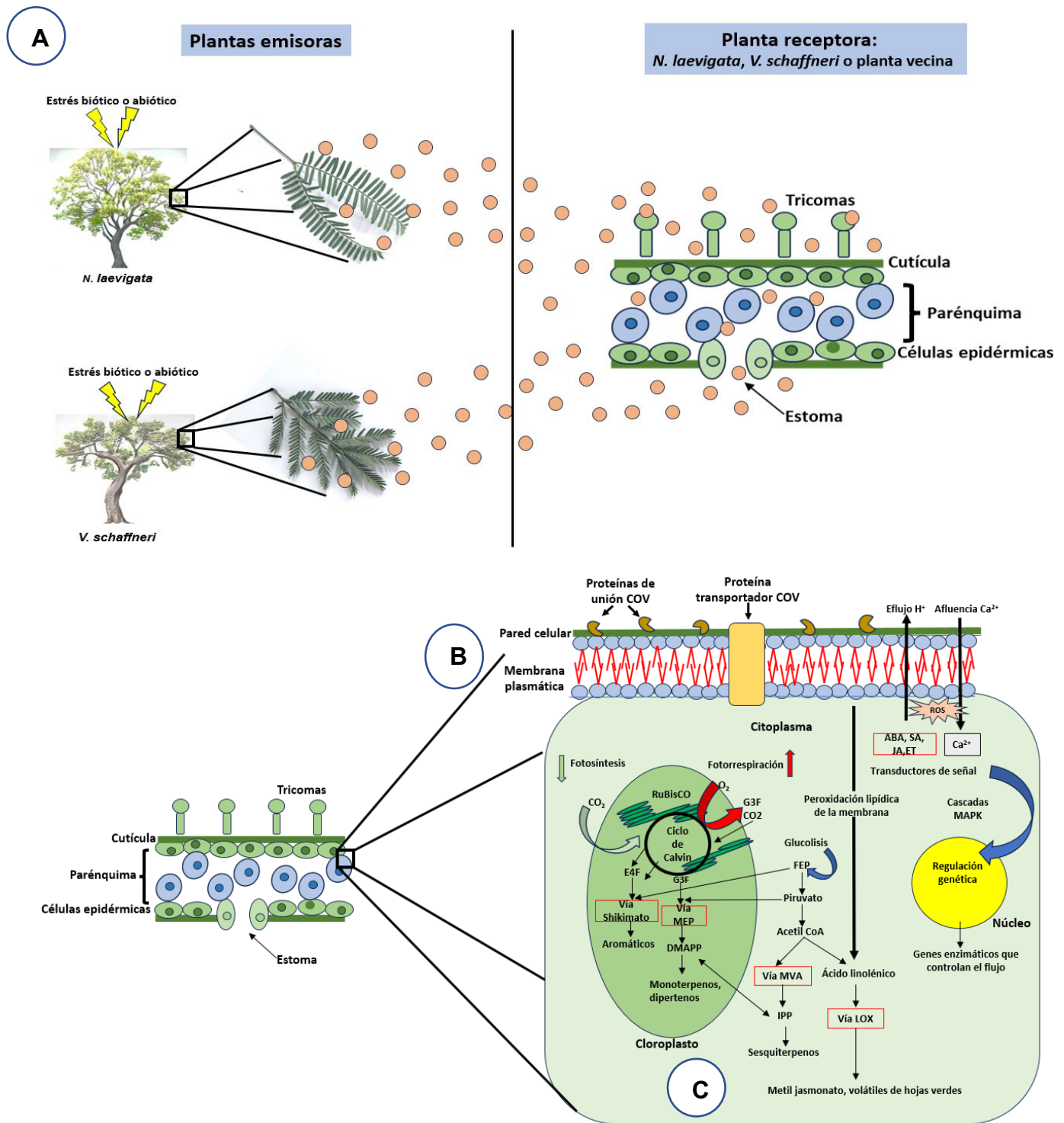
**Figura 30.** Complejo de interacción interespecífica de *V. schaffneri* con tres especies vecinas. Las flechas azules indican la emisión de infoquímicos de *V. schaffneri*. Las flechas verdes indican la recepción de infoquímicos de las plantas vecinas.

La Figura 31 representa dos escenarios de interacción interespecífica de *N. laevigata* con *Bunchosia palmeri*, *Bursera glabrifolia* (Kunth) Engl., *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth, *Brongniartia montalvoana* y *Conzattia multiflora*). En cada escenario, *N. laevigata* emite cuatro infoquímicos hacia las especies arbóreas cercanas a ellas, de los cuales, 1S-α-pineno, D-limoneno y β-cariofileno participan como kairomonas (señal de alarma contra fitofagia) y alomonas (alelopatía), canfeno solo como alomona (alelopatía).



**Figura 31.** Complejo de interacción interespecífica de *N. laevigata* con cinco especies vecinas. (1) *N. laevigata*-*Bursera glabrifolia* y *Bunchosia palmeri*; (2) *N. laevigata*-*Brongniartia montalvoana*, *Tecoma stans* y *Conzattia multiflora*. Las flechas naranjas indican la emisión de infoquímicos de *N. laevigata*. Las flechas verdes indican la recepción de infoquímicos de las plantas vecinas.

La Figura 32 representa un modelo general de las principales interacciones moleculares y las vías de biosíntesis COV, donde las plantas emisoras *N. laevigata* y *V. schaffneri* en respuesta al estrés biótico o abiótico, emiten COV hacia alguna de sus congéneres o planta vecina receptora, que son captadas y almacenadas en los tricomas o absorbidas por la células estomáticas de las hojas, de modo que los COV atraviesan la membrana celular gracias a las proteínas transportadores y de unión para que finalmente sean procesadas por las cascadas de señalización y regulación genética, así como la activación de las principales vías metabólicas COV en el cloroplasto y citoplasma.



**Figura 32.** Modelo general de las interacciones moleculares y principales vías metabólicas COV durante la interacción planta-planta. A: *N. laevigata* y *V. schaffneri* emiten COV hacia la planta receptora, lo cual son almacenados en los tricomas y/o captados por las células estomáticas. B: Proteínas transportadoras y de unión encargadas de ingresar los COV a la célula; activación de transducción de señales y regulación genética. C: Biosíntesis COV (vías Shikimato, MEP, MVA y LOX) en el cloroplasto y citoplasma, implica a los dos productos finales de los glucolisis (FEP y piruvato), E4F y Acetil CoA como precursores. Abreviaciones: ABA, ácido abscísico; SA, ácido salicílico; JA, ácido jasmónico; ET, etileno; G3P, gliceraldehido-3-fosfato; E4F, eritrosa-4-fosfato; FEP, fosfoenolpiruvato; MEP, metileritritol fosfato; MVA, ácido mevalónico; LOX, lipoxigenasa; DMAPP, pirofosfato de dimetilalilo; IPP, pirofosfato de isopentenilo.

## 9. DISCUSIÓN

Los cromatogramas obtenidos permitieron conocer los distintos tipos de COV que producen cada especie de estudio, como el caso de la acetofenona, compuesto aromático propio de *V. schaffneri* y ausente en *N. laevigata*, ha sido reportada en otra especie de mezquite (*N. glandulosa*) que fue tratada antes y después con herbicidas, indicando que la presencia de herbicidas en la planta no es un factor que impida la emisión de dicho compuesto a través de sus hojas (Adhikary, 2021).

No obstante, se esperaba que farnesol estuviera presente en el perfil químico de ambas especies de estudio, dado que este compuesto sesquiterpénico ha sido reportado en los perfiles químicos de *N. glandulosa* y *V. tortilis* (Ogunwande *et al.*, 2008; Adhikary, 2021). Se identificó en el perfil químico de algunas ejemplares de *N. glandulosa* que fueron aplicadas con herbicidas, pero totalmente ausente en aquellas que no se les aplicó herbicidas (Adhikary, 2021). En cuanto a *V. tortilis*, la identificación de farnesol en su perfil químico fue a partir de aceites esenciales foliares (Ogunwande *et al.*, 2008), pero en el caso de la especie de estudio, *V. schaffneri*, este no fue detectado, debido a que la obtención del perfil químico fue a partir de extracto líquido con metabolitos secundarios resultante de la hidrodestilación, puesto que no produjo aceites esenciales durante el proceso.

Los COV representativos de los cromatogramas y que comparten ambas especies de estudio son 1*R*- $\alpha$ -pineno, 1*S*- $\alpha$ -pineno,  $\alpha$ -felandreno, canfeno,  $\alpha$ -felandreno, *D*-limoneno, o-cimeno,  $\beta$ -felandreno y  $\beta$ -cariofileno, compuestos terpénicos que se producen y emiten a partir de las hojas. Sin embargo, la variación observada en los picos de abundancia es notoria entre estas dos especies, siendo el cromatograma de *V. schaffneri* que presenta los picos de abundancia altos de dichos compuestos, posiblemente se deba a que las emisiones de los volátiles pueden variar de manera temporal y espacial dependiendo del órgano, edad de la planta y genética, así como condiciones bióticas y abióticas presentes en su hábitat (Conchou *et al.*, 2019; Rojas y Malo, 2019).

En el perfil químico, solo catorce COV de *N. laevigata* y veintiocho COV de *V. schaffneri* han sido reportados en otras especies fabáceas (Cuadros 3 y 4).

**Cuadro 3.** COV de *N. laevigata* reportado en otras especies fabáceas.

Nombre/CAS/Tiempo de retención	Naturaleza	Fabácea reportada con el compuesto
Tolueno/108-88-3/5.23 min	Aromático	<i>Neltuma glandulosa</i> (Adhikary, 2021)
Ácido acético, éster butílico/ 123-86-4/6.21min	Éster	<i>Vachellia farnesiana</i> (Ehret et al., 1991)
Canfeno/79-92-5/8.33 min	Monoterpeno	<i>Senegalia praecox</i> (Zygadlo et al., 1996)
$\alpha$ -Felandreno/99-83-2/10.19 min	Monoterpeno	<i>Amorpha fruticosa</i> (Lis y Gora, 2001)
$\beta$ -Felandreno/555-10-2/11.13 min	Monoterpeno	<i>Amorpha fruticosa</i> (Lis y Gora, 2001)
D-limoneno/5989-27-5/10.87 min	Monoterpeno	<i>Neltuma glandulosa</i> (Adhikary, 2021) <i>Vachellia tortilis</i> (Ogunwande et al., 2008)
$\alpha$ -Cubeneno/17699-14-8/20.05 min	Sesquiterpeno	<i>Amorpha fruticosa</i> (Lis y Gora, 2001)
$\beta$ -Cariofileno/87-44-5/21.75 min	Monoterpeno	<i>Neltuma glandulosa</i> (Adhikary, 2021)
2,4-dimetilciclopentano-1,3-diona/34598-80-6/21.91 min	Cicloalcano	<i>Ceratonia siliqua</i> (Cantalejo, 1997)
Aloaromadendreno/25246-27-9/23.02 min	Sesquiterpeno	<i>Copaifera officinalis</i> (Moyler y Clery, 1997)
$\gamma$ -Muuroleno/30021-74-0/26.40 min	Sesquiterpeno	<i>Copaifera officinalis</i> (Stashenko et al., 1995)
Careleno/17334-55-3/27.22 min	Sesquiterpeno	<i>Trigonella foenum-graecum</i> (Giraldon et al., 1985)
$\gamma$ -Eudesmol /1209-71-8/27.85 min	Sesquiterpeno	<i>Amorpha fruticosa</i> (Lis y Gora, 2001)
Ácido oleico/112-80-1/33.22 min	Ácido graso insaturado	<i>Vachellia farnesiana</i> (Ehret et al., 1991)

**Cuadro 4.** COV de *V. schaffneri* reportado en otras especies

<b>Nombre/CAS/Tiempo de retención</b>	<b>Naturaleza</b>	<b>Fabácea reportada con el compuesto</b>
1 <i>R</i> - $\alpha$ - Pineno/7785-70-8/7.23 min	Monoterpeno	<i>Vachellia tortilis</i> (Ogunwande et al., 2008)
1 <i>S</i> - $\alpha$ -Pineno/7785-26-4/7.61 min	Monoterpeno	<i>Vachellia tortilis</i> (Ogunwande et al., 2008)
Canfeno/79-92-5/8.34 min	Monoterpeno	<i>Senegalia praecox</i> (Zygodlo et al., 1996)
Estireno/100-42-5/8.71 min	Aromático	<i>Ceratonia siliqua</i> (Cantalejo, 1997)
$\alpha$ -Felandreno/99-83-2/10.28 min	Monoterpeno	<i>Amorpha fruticosa</i> (Lis y Gora, 2001) <i>Vachellia tortilis</i> (Ogunwande et al., 2008)
<i>D</i> -Limoneno/5989-27-5/10.95 min	Monoterpeno	<i>Neltuma glandulosa</i> (Adhikary, 2021) <i>Vachellia tortilis</i> (Ogunwande et al., 2008)
Benzaldehído/100-52-7/12.54 min	Aromático	<i>Vachellia farnesiana</i> (Ehret et al., 1991)
$\alpha$ -Terpinoleno/586-62-9/13.01 min	Monoterpeno	<i>Vachellia farnesiana</i> (Ehret et al., 1991)
Nonanal/124-19-6/14.14 min	Aldehído	<i>Vachellia caven</i> (Malizia et al., 2002) <i>Vachellia tortilis</i> (Ogunwande et al., 2008)
Octadecano/593-45-3/15.07 min	Alcano	<i>Vachellia farnesiana</i> (Ehret et al., 1991)
Acetofenona/98-86-2/15.80 min	Aromático	<i>Vachellia farnesiana</i> (Ehret et al., 1991) <i>Vachellia tortilis</i> (Ogunwande et al., 2008)
$\delta$ -Elemeno/20307-84-0/18.95 min	Sesquiterpeno	<i>Copaifera officinalis</i> (Stashenko et al., 1995)
Ylangeno/14912-44-8/19.96 min	Sesquiterpeno	<i>Browneopsis disepala</i> (Knudsen y Klitgaard, 1998)

**Cuadro 4.** Continuación...

<b>Nombre/CAS/Tiempo de retención</b>	<b>Naturaleza</b>	<b>Fabácea reportada con el compuesto</b>
$\alpha$ -Cubeneno/17699-14-8/20.08 min	Sesquiterpeno	<i>Copaifera officinalis</i> (Moyler y Clery, 1997)
$\beta$ -Cubeneno/13744-15-5/20.73 min	Sesquiterpeno	<i>Copaifera officinalis</i> (Moyler y Clery, 1997)
$\beta$ -Elemeno/515-13-9/20.88 min	Sesquiterpeno	<i>Tamarindus indica</i> (Pino et al., 2002)
$\alpha$ -Gurguneno/489-40-7/21.23 min	Sesquiterpeno	<i>Albizia julibrissin</i> (Miyake et al., 1998)
$\beta$ -Cariofileno/87-44-5/21.83 min	Sesquiterpeno	<i>Vachellia farnesiana</i> (Ehret et al., 1991) <i>Neltuma glandulosa</i> (Adhikary, 2021)
Calareno/17334-55-3/22.21 min	Sesquiterpeno	<i>Trigonella foenum-graecum</i> (Girardon et al., 1985)
$\gamma$ -Muuroleno/30021-74-0/22.76 min	Sesquiterpeno	<i>Pterodon polygalaeflorus</i> (Campos et al., 1994)
$\alpha$ -Cariofileno/6753-98-6/22.90 min	Sesquiterpeno	<i>Daniellia oliveri</i> (Menut et al., 1994)
Aloaromadendreno/25246-27-9/23.05 min	Sesquiterpeno	<i>Daniellia oliveri</i> (Menut et al., 1994)
$\gamma$ -Cadineno/39029-41-9/23.47 min	Sesquiterpeno	<i>Copaifera officinalis</i> (Moyler y Clery, 1997)
$\alpha$ -Farneseno/502-61-4/25.98 min	Sesquiterpeno	<i>Spartium junceum</i> (Maupetit, 1992)

**Cuadro 4.** Continuación...

Nombre/CAS/Tiempo de retención	Naturaleza	Fabácea reportada con el compuesto
Cubenol/21284-22-0/27.40 min	Sesquiterpeno	<i>Daniellia oliveri</i> (Menut <i>et al.</i> , 1994)
γ-Eudesmol/1209-71-8/27.88 min	Sesquiterpeno	<i>Amorpha fruticosa</i> (Lis y Gora, 2001)
Copaeno/3856-25-5/28.25 min	Sesquiterpeno	<i>Vachellia tortilis</i> (Ogunwande <i>et al.</i> , 2008)
Ácido oleico/112-80-1/33.23 min	Ácido graso insaturado	<i>Vachellia farnesiana</i> (Ehret <i>et al.</i> , 1991)

En el Cuadro 3, se observa que solo tres compuestos (tolueno, *D*-limoneno y  $\beta$ -cariofileno) han sido reportados en el perfil químico de una especie de mezquite, en este caso, *N. glandulosa* (Adhikary, 2021). No obstante, los compuestos ácido acético y ácido oleico están presentes en el perfil químico de una especie de huizache, *V. farnesiana* (Ehret *et al.*, 1991).

En cuanto al Cuadro 4, doce compuestos han sido reportados en tres especies de huizache (*V. tortilis*, *V. farnesiana* y *V. caven*), de los cuales, 1*R*- $\alpha$ -pineno, 1*S*- $\alpha$ -pineno,  $\alpha$ -felandreno, limoneno y copaeno forman parte del perfil químico de *V. tortilis* (Ogunwande *et al.*, 2008), mientras que los compuestos benzaldehído,  $\alpha$ -terpinoleno, octadecano y ácido oleico fueron reportados en el perfil químico de *V. farnesiana* (Ehret *et al.*, 1991). Sin embargo, el compuesto nonanal está presente en los perfiles químicos de *V. tortilis* y *V. caven* (Malizia *et al.*, 2002; Ogunwande *et al.*, 2008) y la acetofenona en los perfiles químicos de *V. farnesiana* y *V. tortilis* (Ehret *et al.*, 1991; Ogunwande *et al.*, 2008). Solo *D*-limoneno y  $\beta$ -cariofileno están presentes en el perfil químico de una especie de mezquite, *N. glandulosa* (Adhikary, 2021).

El método de extracción COV empleado por Adhikary (2021) en su especie de estudio (*N. glandulosa*) fue diferente al método realizado en el presente trabajo, dado que utilizó el muestreo dinámico de cabeza (headspace), siendo este el más utilizado en la extracción de COV vegetales para el análisis debido a su eficacia de capturar mayor cantidad de compuestos bajo el control de ciertas condiciones (Tholl *et al.*, 2006). Ogunwande *et al.* (2008) utilizaron el método de hidrodestilación como el del presente trabajo para la extracción de los COV de su especie de estudio (*V. tortilis*), pero no detallan en su publicación que tipo sistema Clevenger utilizaron y el procedimiento de su uso (tiempo de ebullición, tipo de solvente, etc.).

Pese a que Ogunwande *et al.* (2008) y Adhikary (2021) utilizaron la CG-EM para obtener el perfil químico de sus especies de estudio, por alguna razón, no publicaron los cromatogramas resultantes de sus trabajos, solo se enfocaron en identificar los grupos COV predominantes, además de enlistar particularmente los compuestos identificados de cada especie. Pese a ello, sus trabajos son de gran relevancia para futuros trabajos de ecología química, dado que el estudio de COV de mezquites y huizaches es poca y sin un enfoque de interacción planta-planta, que a comparación con trabajos de fitoquímica, son predominantes y realizados con fines de aprovechamiento humano (Rojas-Hernández *et al.*, 2009; Rodríguez-Pedroso *et al.*, 2012; Ardoino *et al.*, 2013; Santander-Martínez, 2018; Armijo-Nájera *et al.*, 2019; Ramírez-Rojo *et al.*, 2019; Manríquez-Torres *et al.*, 2020; Valencia *et al.*, 2020; García-Azpeitia *et al.*, 2022).

La elección de los infoquímicos para la propuesta de los complejos de interacción intra e interespecífica se basó en aquellos COV del perfil químico, tanto los que tienen en común como propios, que hayan sido reportados como alomonas, kairomonas o sinomonas. El objetivo de esto fue con el fin de entender como cada planta vecina puede responder a los COV que emiten los mezquites y huizaches en el sitio de estudio, ya sea como alelopatía o señales de alerta para resistir a la fitofagia o estrés abiótico (Martín-Cacheda *et al.*, 2016; Bachheti *et al.*, 2020; Meents y Mithöfer, 2020; Malik *et al.*, 2023; Elizarraraz-Martínez *et al.*, 2024).

En el complejo de interacción intraespecífica de *V. schaffneri* (Figura 21) se propusieron dos monoterpenos (*D*-limoneno y 1*S*- $\alpha$ -pineno), un aldehído (nonanal) y un aromático (acetofenona) como posibles responsables de mediar la interacción de la especie ante factores abióticos y bióticos, dado que *D*-limoneno y 1*S*- $\alpha$ -pineno son los infoquímicos reportados con doble función: kairomonas y alomonas (González-López *et al.*, 2016; Bachheti *et al.*, 2020; Brosset y Blande, 2022; Martín-Cacheda *et al.*, 2022; Galán-Pérez, 2023); mientras que nonanal solo como kairomona (Martín-Cacheda *et al.*, 2022; Elizarraraz-Martínez *et al.*, 2024) y acetofenona como alomona (Zubkov y Kouznetsov, 2023). En el caso del complejo de interacción intraespecífica de *N. laevigata* (Figura 23), se propusieron tres monoterpenos ( $\beta$ -pineno, *D*-limoneno y 1*S*- $\alpha$ -pineno) y un sesquiterpeno ( $\beta$ -cariofileno), de los cuales también fueron reportados con doble función: kairomonas y alomonas (Kost y Heil, 2006; Holopainen y Blande, 2012; Bachheti *et al.*, 2020; Meents y Mithöfer, 2020; Brosset y Blande, 2022; Martín-Cacheda *et al.*, 2022; Jasim *et al.*, 2023).

En los complejos de interacción intraespecífica (Figuras 22 y 24), se observa que uno de los árboles de mezquite y huizache es atacada por la “chinche gigante de mezquite” *T. gigas*, un insecto fitófago de especies de dicho árbol y de otros (Ruiz, 2015), así como de especies de *Vachellia* (Romero-López, datos no publicados), lo cual, al intentar defenderse, la planta emite las alomonas o-cimeno, *D*-limoneno, 1*S*- $\alpha$ -pineno, acetofenona y benzaldehído (estos dos últimos emitidos solo por *V. schaffneri*) para repeler o eliminar la amenaza (Llusia *et al.*, 1996; Erasto y Viljoen, 2008; Zubkov y Kouznetsov, 2023). En caso de no lograrlo, estos mismos compuestos toman la función de kairomonas y son emitidas hacia la planta vecina para alertar la presencia cercana de fitófagos y que esta pueda desarrollar sus defensas. No obstante, para evitar que más individuos de la misma especie sean atacados por estos insectos, la planta receptora que recibió el mensaje químico de la planta emisora atacada, también emite infoquímicos hacia sus compañeras, pero en función como sinomonas (Kost y Heil, 2006; Ferré-Armengol *et al.*, 2017; Brosset y Blande, 2022).

La decisión de clasificar los infoquímicos como alomonas, kairomonas o sinomonas en los complejos de interacción intraespecíficas de *N. laevigata* y *V. schaffneri* se tomó con el propósito de comprender la respuesta positiva (+) o negativa (-) que puedan tener las plantas emisoras y receptoras durante la interacción, a pesar de que estos tres tipos de aleloquímicos solo se aplican para las interacciones interespecíficas planta-insecto con base a lo establecido por Dicke y Sabelis (1988), por lo que deberían considerarse como feromonas, pero tampoco aplicaría, dado que hace referencia a las interacciones insecto-insecto. No obstante, Verheggen *et al.* (2010) considera que en las interacciones planta-planta intraespecíficas también se emiten “feromonas” como en las interacciones animal-animal intraespecíficas, pero solo cuando desempeñan la función como señales de alarma contra la fitofagia, lo cual, la información transmitida por parte de las plantas emisoras es compleja y específica.

En cuanto a los complejos de interacción interespecífica (Figuras 25-31), los mezquites y huizaches emiten infoquímicos hacia las plantas vecinas que pueden actuar como alomonas o kairomonas según el factor detonante, si la situación fuera abiótica (temperatura, contaminantes, salinidad del suelo, radiación, etc.), los mezquites y huizaches emitirían kairomonas (Martin-Cacheda *et al.*, 2022; Midzi *et al.*, 2022). Pero si fuera biótica (competencia por espacio y recursos), la función de los infoquímicos sería alomona (Zamorano 2006; Cheng y Cheng, 2015; Lang *et al.*, 2016; Bachheti *et al.*, 2020).

Los complejos de interacción interespecífica de *N. laevigata* (Figuras 25 y 26) se propusieron tres monoterpenos (*D*-limoneno, 1*S*- $\alpha$ -pineno y  $\beta$ -pineno) y un sesquiterpeno ( $\beta$ -cariofileno) como posibles responsables de mediar la interacción con las plantas vecinas, de los cuales se han reportado con infoquímicos de doble función: kairomonas y alomonas (Kost y Heil, 2006; Holopainen y Blande, 2012; Bachheti *et al.*, 2020; Meents y Mithöfer, 2020; Brosset y Blande, 2022; Martín-Cacheda *et al.*, 2022, Jasim *et al.*, 2023).

Los complejos de interacción interespecífica de *N. laevigata* (Figuras 27 y 28) se propusieron los mismos tres monoterpenos y un monoterpeno diferente:  $\alpha$ -felandreno, siendo este reportado como alomona (González-Flores *et al.*, 2016).

El complejo de interacción interespecífica de *V. schaffneri* (Figura 29) se propusieron tres monoterpenos (*D*-limoneno, 1*S*- $\alpha$ -pineno y canfeno) y un sesquiterpeno ( $\beta$ -cariofileno) como posibles responsables de mediar la interacción con las plantas vecinas, de los cuales se han reportado como infoquímicos de doble función: kairomonas y alomonas (Kost y Heil, 2006; Holopainen y Blande, 2012; Cheng y Cheng, 2015; Saha *et al.*, 2018; Bachheti *et al.*, 2020; Meents y Mithöfer, 2020; Brosset y Blande, 2022; Martín-Cacheda *et al.*, 2022, Jasim *et al.*, 2023).

El complejo de interacción interespecífica de *V. schaffneri* (Figura 30) se propusieron tres monoterpenos (*D*-limoneno, 1*S*- $\alpha$ -pineno y canfeno), un sesquiterpeno ( $\beta$ -cariofileno) y un aromático (acetofenona) como posibles responsables de mediar la interacción con las plantas vecinas, en el que los cuatro compuestos terpénicos tienen doble función: kairomonas y alomonas (Kost y Heil, 2006; Holopainen y Blande, 2012; Cheng y Cheng, 2015; Saha *et al.*, 2018; Bachheti *et al.*, 2020; Meents y Mithöfer, 2020; Brosset y Blande, 2022; Martín-Cacheda *et al.*, 2022, Jasim *et al.*, 2023), mientras que la acetofenona solo como alomona (Zubkov y Kouznetsov, 2023).

Para el complejo de interacción interespecífica de *N. laevigata* (Figura 31), se propusieron tres monoterpenos (*D*-limoneno, 1*S*- $\alpha$ -pineno y canfeno) y un sesquiterpeno ( $\beta$ -cariofileno) como posibles responsables de mediar la interacción con las plantas vecinas, en el que los cuatro compuestos terpénicos tienen la doble función como kairomonas y alomonas (Kost y Heil, 2006; Holopainen y Blande, 2012; Cheng y Cheng, 2015; Saha *et al.*, 2018; Bachheti *et al.*, 2020; Meents y Mithöfer, 2020; Brosset y Blande, 2022; Martín-Cacheda *et al.*, 2022, Jasim *et al.*, 2023).

Para finalizar, en el modelo general (Figura 32) propuesto para comprender los mecanismos de interacción entre *N. laevigata* y *V. schaffneri* con sus vecinas

desde un punto de vista molecular, se plantea que los COV son almacenados y emitidos por los tricomas, además de ingresar al interior de la hoja por medio de las células estomáticas para activar los mecanismos de emisión y recepción dentro de las células (Ninkovic *et al.*, 2021), de los cuales, los COV ingresan a la membrana celular gracias a las proteínas de unión y transportadoras (Loreto y D'Auria, 2022; Kessler *et al.* (2023), aunque se ha propuesto que los COV pueden ingresar a la célula al envolverse en la membrana y encerrarse en vesículas con dirección al retículo endoplasmático rugoso para procesar la señalización (Ninkovic *et al.*, 2022; Loreto y D'Auria, 2022). Sin embargo, se ha reportado que la afluencia de los iones  $Ca^{2+}$  junto con fitohormonas inducidas por estrés, son esenciales para activar la cascada de transducción de señales que provoca la expresión génica de enzimas controladoras de flujo en el núcleo celular (Loreto y D'Auria, 2022; Midzi *et al.*, 2022). En cuanto a la síntesis COV, se lleva a cabo en el cloroplasto (vías Shikimato y MEP) y citoplasma (vías MVA y LOX), lo que implica la participación de cuatro precursores, siendo estos la eritrosa-4-fosfato, fosfoenolpiruvato, piruvato y acetil CoA para la producción de diferentes tipos de COV con base al factor biótico o abiótico (Bouwmeester *et al.*, 2019; Midzi *et al.*, 2022).

La emisión de los COV puede variar con la temperatura y luz solar recibida en las hojas durante el transcurso del día. En el caso de los monoterpenos, la producción y emisión puede aumentar o disminuir acorde a la temperatura ambiental del día (Peñuelas y Llusia, 2003; Malik *et al.*, 2023). No obstante, la luz solar también afecta la producción y emisión de los monoterpenos (Peñuelas y Llusia, 2002), aunque solo se ha demostrado en experimentos en algunas especies vegetales específicas, en el que el valor de la densidad de flujo de fotones, el tiempo de exposición y la temperatura constante, puede aumentar o disminuir la emisión de dichos compuestos (Malik *et al.*, 2023). En cuanto a los sesquiterpenos, aromáticos y otros grupos COV, su emisión también puede darse por la variación de la temperatura y luz solar, pero existen otros factores abióticos en el entorno como la salinidad y contaminantes que pueden inducir en los COV un rol y

mecanismo de acción específicos en la interacción planta-planta (Midzi *et al.*, 2022).

Los monoterpenos y los sesquiterpenos son los compuestos con mayor presencia en la mayoría de las plantas y presentan funciones alelopáticas (Llusia *et al.*, 1996; Lorenzo y González, 2010, Blande y Glinwood, 2016). En el caso de los monoterpenos *D*-limoneno,  $\alpha$ ,  $\beta$ -pineno,  $\alpha$ -felandreno y canfeno se han reportado que tienen actividad inhibidora en la germinación de las semillas y en el crecimiento de las plántulas (Erasto y Viljoen, 2008; Cheng y Cheng, 2015; González-López *et al.*, 2016; Saha *et al.*, 2018; Bachheti *et al.*, 2020). Pese a ello, se ha reportado que limoneno,  $\alpha$  y  $\beta$ -pineno también desempeñan otras funciones positivas en la interacción planta-planta como alertar a las plantas vecinas contra insectos fitófagos, patógenos y estrés abiótico, además de modular el crecimiento y reproducción entre ellas (Llusia *et al.*, 1996; Brosset y Blande, 2022; Martín-Cacheda *et al.*, 2022; Jin *et al.*, 2023). En el caso del monoterpeno o-cimeno, es emitido por plantas afectadas por insectos fitófagos, lo cual, induce respuestas defensivas a las plantas vecinas, aunque este puede influir también en el crecimiento y desarrollo (Farré-Armengol *et al.*, 2017; Jin *et al.*, 2023).

Un dato interesante reportado por Peñuelas y Llusia (2003) y Malik *et al.* (2023) sobre otra función que desempeñan los monoterpenos es el que refiere que estos confieren protección a las plantas frente a las altas temperaturas, lo cual, permite en las hojas mejorar la tolerancia térmica de la fotosíntesis mediante la protección del plasma de la membrana celular modificando la señalización ROS (especies reactivas de oxígeno, por sus siglas en inglés) (Midzi *et al.*, 2022), aunque los monoterpenos de alta volatilidad son más sensibles al aumento de temperatura que los menos volátiles (Peñuelas y Llusia, 2002).

En cuanto al sesquiterpeno  $\beta$ -cariofileno, este cumple dos roles en la interacción planta-planta: modula de manera directa e indirecta la resistencia y defensa de las plantas vecinas ante la fitofagia y factores abióticos (Meents y Mithöfer, 2020; Martín-Cacheda *et al.*, 2022; Jin *et al.*, 2023, Kong *et al.*, 2024) y participa como

compuesto alelopático, lo que permite a la planta emisora tener menos competencia con sus vecinas por los recursos (Jasim *et al.*, 2023; Jin *et al.*, 2023).

El aldehído nonanal actúa como señal de alarma contra patógenos, lo cual, permite a las plantas receptoras desarrollar resistencia y defensa, además de modular el crecimiento y desarrollo (Elizarraraz-Martínez *et al.*, 2024), aunque también actúa como alarma ante fitofagia (Martin-Cacheda *et al.*, 2022).

Los compuestos aromáticos benzaldehído y acetofenona han sido reportados como compuestos involucrados en la interacción planta-planta. Benzaldehído tiene la función de dar alarma a las plantas vecinas ante ataque de fitófagos y patógenos (Neto *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022; Jin *et al.*, 2023), mientras que la acetofenona presenta actividad inhibidora, tanto en la germinación como en el desarrollo de raíces de las plántulas, aunque dicho compuesto puede influir en la interacción planta-insecto, dado que se ha reportado que puede actuar como infoquímico repelente o atrayente (Zubkov y Kouznetsov, 2023). En cuanto al tolueno, único COV aromático presente en el perfil químico COV de *N. laevigata*, se sabe que se encuentra en forma natural, principalmente en el árbol *Myrosylon balsamum* (L.), pero se desconoce el papel que pueda cumplir en las interacciones planta-planta, solo en su versión sintética se conocen los efectos negativos que ocasiona a la salud humana y al medio ambiente (Zevallos-Escobar, 2018).

Con base a lo reportado por Effah *et al.* (2019), en cualquier ecosistema los COV cumplen roles de competencia equilibrada de forma directa o indirecta en las interacciones intra e interespecífica, lo cual, las plantas pueden modificar las interacciones con otros niveles tróficos, emitir compuestos alelopáticos, detección de vecinos y camuflaje químico, pero Heih y Karban (2010) argumentaron que los COV también desempeñan beneficios a las plantas receptoras intra o interespecíficas al desarrollar resistencia ante los factores bióticos y abióticos de su entorno, aunque las plantas emisoras pueden “autoinducirse” en un intento de contrarrestar el factor que las mantiene estresadas.

Los perfiles químicos de COV de hojas de mezquite y huizache, los complejos de interacción químico-ecológica y las secuencias moleculares de producción-recepción que se generaron en el presente trabajo son la base para futuros trabajos sobre ecología química de miembros de Fabaceae e incluso, de Caesalpinioideae. Con ello, además de comprender el papel de los COV en el contexto de infoquímicos en el crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas vecinas y de la interacción con insectos fitófagos en diferentes zonas del país, se establece una alternativa metodológica para abordar próximos estudios de este tipo también con fines de quimiotaxonomía que permita clasificar precisamente las especies y sus relaciones filogenéticas a partir de los metabolitos secundarios.

## 10. CONCLUSIONES

- ❑ Por primera vez se cuenta con el perfil químico de COV de hojas de mezquites de *N. laevigata* y de huizaches de *V. schaffneri*.
- ❑ El perfil químico de hojas de *N. laevigata* y *V. schaffneri* consta preponderantemente de monoterpenos y sesquiterpenos. En hojas de mezquite, se identificaron 1*R*- $\alpha$ -pineno, 1*S*- $\alpha$ -pineno,  $\alpha$ -felandreno, canfeno,  $\beta$ -pineno,  $\alpha$ -felandreno, *D*-limoneno, o-cimeno,  $\beta$ -felandreno y  $\beta$ -cariofileno, como los compuestos con potencial función infoquímica con base a la literatura consultada. En el caso del perfil de *V. schaffneri*, son los compuestos 1*R*- $\alpha$ -pineno, 1*S*- $\alpha$ -pineno,  $\alpha$ -felandreno, canfeno, *D*-limoneno, o-cimeno,  $\beta$ -felandreno, benzaldehído, nonanal, acetofenona y  $\beta$ -cariofileno.
- ❑ Ambas especies vegetales comparten 1*R*- $\alpha$ -pineno, 1*S*- $\alpha$ -pineno, canfeno, sabineno,  $\alpha$ -felandreno, *D*-limoneno,  $\beta$ -felandreno, o-cimeno, copaeno,  $\alpha$ -cubeneno,  $\beta$ -cariofileno, aloaromadendreno, *Z*-isogeraniol,  $\gamma$ -muuroleno, caraleno, cubeneno,  $\gamma$ -eudesmol,  $\alpha$ -cadinol, 7-epi- $\beta$ -eudesmol,  $\alpha$ -copaeno-11-ol, fitol y ácido oleico. Sin embargo, *N. laevigata* no muestra aldehídos en su perfil químico, mientras que *V. schaffneri* carece de ésteres y fenoles.
- ❑ Con base a la literatura consultada, tolueno, *D*-limoneno y  $\beta$ -cariofileno, compuestos del perfil químico de *N. laevigata*, están reportadas en el perfil químico de *N. glandulosa*, mientras que 1*R*- $\alpha$ -pineno, 1*S*- $\alpha$ -pineno,  $\alpha$ -felandreno, *D*-limoneno, copaeno, nonanal, benzaldehído,  $\alpha$ -terpinoleno, octadecano y ácido oleico, compuestos del perfil químico de *V. schaffneri*, están reportadas en los perfiles químicos de *V. tortilis* (1*R*- $\alpha$ -pineno, 1*S*- $\alpha$ -pineno,  $\alpha$ -felandreno, limoneno, copaeno y nonanal), *V. farnesiana* (benzaldehído,  $\alpha$ -terpinoleno, octadecano y ácido oleico) y *V. caven* (nonanal).
- ❑ Se crearon once “complejos de interacción química ecológica” digitales a partir de *D*-limoneno, 1*S*- $\alpha$ -pineno,  $\beta$ -pineno,  $\alpha$ -felandreno, canfeno, o-

cimeno,  $\beta$ -cariofileno, nonanal, benzaldehído y acetofenona siendo considerados como los infoquímicos mediadores en cada complejo.

- ❑ Los complejos de interacción más destacados en términos de porcentaje, aparición de compuestos y direccionalidad son la interacción intraespecífica dada por fitofagia, en el que *D*-limoneno y 1*S*- $\alpha$ -pineno son los más relevantes al tener un porcentaje de abundancia alta (*N. laevigata*: *D*-limoneno con 2.60% y 1*S*- $\alpha$ -pineno con 2.26%; *V. schaffneri*: *D*-limoneno con 4.53% y 1*S*- $\alpha$ -pineno con 3.68%), así como su función como alomonas durante la interacción planta-insecto y kairomonas/sinomonas durante la interacción planta-planta.

## 11. LITERATURA CITADA

Abdala-Roberts, L. (2024). Descifrando la comunicación entre plantas mediada por metabolitos volátiles. *Desde El Herbario CICY*, 16, pp. 1–16.

Acevedo, F. E. (2020). Ecología química de interacciones entre plantas, insectos y controladores naturales de plagas herbívoras. En P. Benavides Machado y C. E. Góngora (Eds.), *El Control Natural de Insectos en el Ecosistema Cafetero Colombiano*, pp. 106–141.

Adhikary, L. (2021). Change in mesquite volatile organic compounds and associated response of a native node boring beetle after herbicide treatment (Master's thesis, New Mexico State University), 269 p.

Aguilar-Sandí, D. (2019). La nueva clasificación subfamiliar de las leguminosas. *Revista de Biología Tropical*. 5, 1-2.

Anaya-Lang, A. L. (1994). La investigación en ecología química en México. *Botanical Sciences*, (55), 9-16.

Ardoino, S. M., Boeris, M. A., y Toso, R. E. (2013). Caracterización fitoquímica de *Prosopis flexuosa* var. *flexuosa* (algarrobo) y *Prosopis flexuosa* var. *depressa* (alpataco), plantas con acción farmacológica. *Ciencia Veterinaria*, 15(1), 115-125.

Armijo-Nájera, M. G., Moreno-Reséndez, A., Blanco-Contreras, E., Borroel-García, V. J., y Reyes-Carrillo, J. L. (2019). Vaina de mezquite (*Prosopis* spp.) alimento para el ganado caprino en el semidesierto. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 113-122.

Avendaño-González, M., Badano, E. I., Ramírez-Albores, J. E., Flores, J., and Flores-Cano, J. A. (2016). Differential allelopathy between genders of an invasive dioecious tree on desert plants. *Botanical Sciences*, 94(2), 253-262.

Bachheti, A., Sharma, A., Bachheti, R. K., Husen, A., and Pandey, D. P. (2020). Plant allelochemicals and their various applications. *Co-evolution of secondary metabolites*, 441-465.

Baldwin, I. T., Halitschke, R., Paschold, A., Von Dahl, C. C., and Preston, C. A. (2006). Volatile signaling in plant-plant interactions: "talking trees" in the genomics era. *Science*, 311 (5762), 812-815.

Bouwmeester, H., Schuurink, R. C., Bleeker, P. M., and Schiestl, F. (2019). The role of volatiles in plant communication. *The Plant Journal*, 100(5), 892-907.

Brosset, A., and Blande, J. D. (2022). Volatile-mediated plant-plant interactions: volatile organic compounds as modulators of receiver plant defence, growth, and reproduction. *Journal of experimental botany*, 73(2), 511-528.

Brouat, C., McKey, D., Bessi re, J. M., Pascal, L., and Hossaert-McKey, M. (2000). Leaf volatile compounds and the distribution of ant patrolling in an ant-plant protection mutualism: Preliminary results on *Leonardoxa* (Fabaceae: Caesalpinioideae) and *Petalomyrmex* (Formicidae: Formicinae). *Acta Oecologica*, 21(6), 349-357.

Camarena-Gutiérrez, G. (2009). Señales en la interacción planta insecto. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 15(1), 81-85.

Campos, A. M., Alencar, J. W., Matos, F. J. A., Machado, M. I. L., Craveiro, A. A., and Teixeira, T. C. (1994). Volatile Constituents from Fruits of *Pterodon polygalaeflorus* Benth. *Journal of Essential Oil Research*, 6(5), 517-518.

Campos-García J., y Gómez-González, H. (2009). Historia de una batalla por la supervivencia en el reino vegetal. *Revista Planta*, 4(8), pp- 14-15.

Cantalejo, M. J. (1997). Effects of roasting temperature on the aroma components of carob (*Ceratonia siliqua* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(4), 1345-1350.

Cantúa-Ayala, J. A., Flores-Olivas, A., y Valenzuela-Soto, J. H. (2019). Compuestos orgánicos volátiles de plantas inducidos por insectos: situación actual en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 729-742.

Cheng, F., and Cheng, Z. (2015). Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1020.

Cole, T. y Medan, D. (2022). Filogenia de las Fabaceae (FabPP, español). Poster.

Conchou, L., Lucas, P., Meslin, C., Proffit, M., Staudt, M., and Renou, M. (2019). Insect odorscapes: from plant volatiles to natural olfactory scenes. *Frontiers in Physiology*, 10, 972.

Cortez, V. (2013). Ecología química y perspectivas de su aplicación en la conservación de la biodiversidad. *Cuaderno de Biodiversidad*. 41, pp. 16-21.

Dicke, M., and Sabelis, M. W. (1988). Infochemical terminology: based on cost-benefit analysis rather than origin of compounds? *Functional Ecology*, 131-139.

Ebinger, J. E., and Seigler, D. S. (2005). New combinations in the genus *Vachellia* (Fabaceae: Mimosoideae) from the New World. *Phytologia*, 87, 139-178.

Effah, E., Holopainen, J. K., and McCormick, A. C. (2019). Potential roles of volatile organic compounds in plant competition. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 38, 58-63.

Ehret, C., Maupetit, P., and Petrzilka, M. (1991). New components from cassie absolute *Acacia farnesiana* Willd.). *Rivista Italiana EPPOS*. 348-364.

Elizarraraz-Martínez, I. J., Rojas-Raya, M. A., Feregrino-Perez, A. A., Partida-Martínez, L. P., and Heil, M. (2024). Immunity priming and biostimulation by airborne nonanal increase yield of field-grown common bean plants. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1-22.

Erasto, P., and Viljoen, A. M. (2008). Limonene-a review: biosynthetic, ecological and pharmacological relevance. *Natural Product Communications*, 3(7), 1193-1202.

Estrella-Parra, E. A., Gómez-Verjan, J. C., Céspedes, C. L., Alarcón, J., Cano-Santana, Z., Reyes-García, A. and Reyes-Chilpa, R. (2016). Volatile organic compounds from *Pachyrhizus ferrugineus* and *Pachyrhizus erosus* (Fabaceae) leaves. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 15(3), 175-181.

Farré-Armengol, G., Filella, I., Llusà, J., and Peñuelas, J. (2017).  $\beta$ -Ocimene, a key floral and foliar volatile involved in multiple interactions between plants and other organisms. *Molecules*, 22(7), 1148.

Ferry, N., Edwards, M. G., Gatehouse, J. A., and Gatehouse, A. M. (2004). Plant–insect interactions: molecular approaches to insect resistance. *Current Opinion in Biotechnology*, 15(2), 155-161.

Foresto, E. (2021). ¿Qué es una leguminosa y cómo se clasifican?: Una actualización para estudiantes de nivel medio y superior. *Revista en Educación en Biología*, 4 (1), 27-38.

Galán-Pérez, J. A. (2023). Dinámica de compuestos alelopáticos en suelos agrícolas en relación con su aprovechamiento como plaguicidas naturales. Universidad de Sevilla. Tesis de Doctorado. pp. 1-225.

García-Azpeitia, L., Montalvo-González, E., y Loza-Cornejo, S. (2022). Caracterización nutricional y fitoquímica de hojas, flor y fruto de *Prosopis laevigata*. *Botanical Sciences*, 100(4), 1014-1024.

Girardon, P., Bessiere, J. M., Baccou, J. C., and Sauvaire, Y. (1985). Volatile constituents of fenugreek seeds. *Planta Médica*, 51(06), 533-534.

González-López, Á. M., Quiñones-Aguilar, E. E., and Rincón-Enríquez, G. (2016). Actividad biológica de los terpenos en el área agroalimentaria. *Los Compuestos Bioactivos y Tecnologías de Extracción, Primera Edición. CIATEJ*, pp. 33-49.

Hernández-Hernández, P. (2021). Actividad antiinflamatoria y antimicrobiana de *Prosopis laevigata*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Escuela de Estudios Superiores del Jicarero, Tesis Licenciatura, pp. 1-62.

Holopainen, J. K., and Blande, J. D. (2012). Molecular plant volatile communication. *Advances in Experimental Medicine in Biology*, 739, 17-31.

Huang, X. Q., Li, R., Fu, J., and Dudareva, N. (2022). A peroxisomal heterodimeric enzyme is involved in benzaldehyde synthesis in plants. *Nature Communications*, 13(1), 1352.

Hughes, C. E., Ringelberg, J. J., Lewis, G. P., and Catalano, S. A. (2022). Disintegration of the genus *Prosopis* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae, mimosoid clade). *PhytoKeys*, 205, 147.

Illescas-Gallegos, E., Rodríguez-Trejo, D. A., Villanueva-Morales, A., Borja-de la Rosa, M. A., Ordóñez-Candelaria, V. R., y Ortega-Aragón, L. A. (2021). Factores ante los que funciona la latencia física y su eliminación en dos géneros de leguminosas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 27(3), 413-429.

Inderjit, Wardle, D. A., Karban, R., and Callaway, R. M. (2011). The ecosystem and evolutionary contexts of allelopathy. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(12), 655-662.

Jasim, I. R., Alwattar, M. T., and Yaqub, H. M. (2023). Terpenoids as Natural Allelopathic Compounds in Plants. *Rafidain Journal of Sciences* 32(4), 106-116.

Jin, J., Zhao, M., Jing, T., Zhang, M., Lu, M., Yu, G., Wang, J., Guo, D., Pan, Y., Hoffman, T. D., Schwab W., and Song, C. (2023). Volatile compound-mediated plant–plant interactions under stress with the tea plant as a model. *Horticulture Research*, 10(9), pp. 1-12.

Kessler, A., Mueller, M. B., Kalske, A., and Chautá, A. (2023). Volatile-mediated plant–plant communication and higher-level ecological dynamics. *Current Biology*, 33(11), 519-529.

Knudsen, J. T., and Klitgaard, B. B. (1998). Floral scent and pollination in *Browneopsis disepala* (Leguminosae: Caesalpinioideae) in western Ecuador. *Brittonia*, 50(2), 174-182.

Kong, C. H., Li, Z., Li, F. L., Xia, X. X., and Wang, P. (2024). Chemically mediated plant–plant interactions: Allelopathy and allelobiosis. *Plants*, 13(5), 626.

Kost, C., and Heil, M. (2006). Herbivore-induced plant volatiles induce an indirect defence in neighbouring plants. *Journal of Ecology*, 94(3), 619-628.

Kumar-Meena R., Jangra, S., Wadhwa, Z., Wati, M., and Wati, L. (2017). Role of plant volatiles in defense and communication. *International Journal Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, 300-313.

Kyalangalilwa, B., Boatwright, J. S., Daru, B. H., Maurin, O., and van der Bank, M. (2013). Phylogenetic position and revised classification of *Acacia* sp. (Fabaceae: Mimosoideae) in Africa, including new combinations in *Vachellia* and *Senegalia*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 172(4), 500-523.

Lang, A. L. A., García, F. J. E., y Manuel, J. (2016). Ecología química y alelopatía: avances y perspectivas. Plaza y Valdés. 1-673.

Lis, A., and Góra, J. (2001). Essential oil of *Amorpha fruticosa* L. *Journal of Essential Oil Research*, 13(5), 340-342.

Llamas, F., y Acedo, M. (2016). Las leguminosas (Leguminosae o Fabaceae): una síntesis de las clasificaciones, taxonomía y filogenia de la familia a lo largo del tiempo. *AmbioCiencias*. 14, 5-18.

Llusià, J., Estiarte, M., and Peñuelas, J. (1996). Terpenoids and plant communication. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, Vol. 64: 125-133.

Lorenzo, P., y González, L. (2010). Alelopatía: una característica ecofisiológica que favorece la capacidad invasora de las especies vegetales. *Ecosistemas*, 19(1).

Loreto, F., and D'Auria, S. (2022). How do plants sense volatiles sent by other plants? *Trends in Plant Science*, 27(1), 29-38.

Lustre-Sánchez, L. (2022). Los superpoderes de las plantas: los metabolitos secundarios en su adaptación y defensa. *Hermes*, 23(2), pp.1-8.

Machuca-Velasco, R., Borja de la Rosa, A., Corona Ambriz, A. Zaragoza Hernández, I., Arreola Ávila J. G., and Jiménez Machorro, J. (2017). Xilotecnia of the wood of *Acacia schaffneri* from the state of Hidalgo, Mexico. *Maderas, Ciencia y Tecnología* 19(3): 293-308.

Macías, F. A., Chinchilla, N., Galindo, J. L.G., Carrera, C., Marín, D., García-Díaz, M. D., Sánchez, P., Arroyo, E. Mera, E. Y., Pando E., and Galindo, J. C. G. (2007). Nuevos retos en la agricultura, la Alelopatía. *Agricultura: Revista agropecuaria*, (892), 24-29.

Malik, T. G., Sahu, L. K., Gupta, M., Mir, B. A., Gajbhiye, T., Dubey, R., McCormink A. C., and Pandey, S. K. (2023). Environmental factors affecting monoterpene emissions from terrestrial vegetation. *Plants*, 12(17), 3146.

Malizia, R.A., Cardell, D.A., Molli, J.S., and Grau, R.J. 2002. Volatile constituents of *Acacia caven* (Mol.) Mol. flower concrete from species growing in Argentina. *Journal of Essential Oil Research*, 14(2):132-134.

Manríquez-Torres, J. D. J. (2013). Principios activos anticancerígenos y antiinflamatorios de *Acacia schaffneri*. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Tesis Doctorado, pp. 1-147.

Manríquez-Torres, J. D. J., Hernández-Lepe, M. A., Chávez-Méndez, J. R., González-Reyes, S., Serafín-Higuera, I. R., Rodríguez-Uribe, G., and Torres-Valencia, J. M. (2020). Isolation and cytotoxic activity of phyllocladanes from the roots of *Acacia schaffneri* (Leguminosae). *Molecules*, 25(17), 3944.

Martín-Cacheda, L., Vázquez-González, C., y Moreira, X. (2022). Efecto de diferentes factores abióticos en la comunicación química entre plantas de patata en respuesta a la herbivoría. *Plagas Vegetales*, 116.

Maupetit, P. (1992). Nouveaux constituents de l'absolue ginesta (*Spartium junceum* L.). *Rivista Italiana EPPOS*. 395-343.

Meents, A. K., and Mithöfer, A. (2020). Plant–plant communication: is there a role for volatile damage-associated molecular patterns? *Frontiers in Plant Science*, 11, 1-13.

Menut, C., Lamaty, G., Bessière, J. M., Ayedoun, M. A., Setondji, J., Samaté, D., and Nacro, M. (1994). Aromatic Plants from Tropical West Africa. II. Volatile Constituents of *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch & Dalz. from Benin and Burkina Faso. *Journal of Essential Oil Research*, 6(6), 647-649.

Midzi, J., Jeffery, D. W., Baumann, U., Rogiers, S., Tyerman, S. D., and Pagay, V. (2022). Stress-induced volatile emissions and signalling in inter-plant communication. *Plants*, 11(19), 2566.

Miyake, T., Yamaoka, R., and Yahara, T. (1998). Floral scents of hawkmoth-pollinated flowers in Japan. *Journal of Plant Research*, 111(2), 199-205.

Moyler, D.A., and Clery, R.A. 1997. The aromatic resins: their chemistry and uses. In: Flavours and Fragrances, eds. Swift, K.A.D. *The Royal Society of Chemistry, Cambridge*. 96-115.

Neto, L. J. d. L., Ramos, A. G. B., Freitas, T. S. d., Barbosa, C. R. d. S., de Sousa Júnior, D. L., Siyadatpanah, A., Nejat, M., Wilairatana, P., Coutinho, H. D. M., da Cunha, F.A.B. (2021). Evaluation of benzaldehyde as an antibiotic modulator and its toxic effect against *Drosophila melanogaster*. *Molecules*, 26(18), 5570.

Ninkovic, V., Markovic, D., and Rensing, M. (2021). Plant volatiles as cues and signals in plant communication. *Plant, Cell & Environment*, 44(4), 1030-1043.

Nordlund, D. A., and Lewis, W. J. (1976). Terminology of chemical releasing stimuli in intraspecific and interspecific interactions. *Journal of Chemical Ecology*, (2), 211-220.

Ogunwande, I. A., Matsui, T., Matsumoto, K., Shimoda, M., and Kubmarawa, D. (2008). Constituents of the essential oil from the leaves of *Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne. *Journal of Essential Oil Research*, 20(2), 116-119.

Palacios-Romero, A., Rodríguez-Laguna, R., Hernández-Flores, Jiménez Muñoz, E. y Tirado Torres, D. (2016). Distribución potencial de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd) (MC Johnston) basada en un modelo de nicho ecológico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(34), 35-46.

Peguero, G., Lanuza, O. R., Savé, R., and Espelta, J. M. (2012). Allelopathic potential of the neotropical dry-forest tree *Acacia pennatula* Benth.: inhibition of seedling establishment exceeds facilitation under tree canopies. *Plant Ecology*, 213, 1945-1953.

Peñuelas, J., y Llusià, J. (2003). Emisiones biogénicas de COVs y cambio global ¿Se defienden las plantas contra el cambio climático? *Ecosistemas*, 12(1). pp. 7.

Pérez-Cruz, Y. M., Noveron-Neri, I. A., Hernández-Rodríguez, D., y Hernández-Mendo, O. (2022). El huizache (*Vachellia farnesiana*): alternativa en la alimentación ovina. *AgroDivulgación*, 2(4).

Pino, J.A., Escalona, J.C., Licea, I., Pérez, R., and Agüero, J. (2002). *Tamarindus indica* L. leaf oil. *Journal of Essential Oil Research*, 14(3):187-188.

Ramírez-Rojo, M. I., Vargas-Sánchez, R. D., Hernández-Martínez, J., Martínez-Benavidez, E., Sánchez-Escalante, J. J., Torrescano-Urrutia, G. R. y Sánchez-Escalante, A. (2019). Actividad antioxidante de extractos de hoja de mezquite (*Prosopis velutina*). *Biotecnia*, 21(1), 113-119.

Rivera-Macías, L. E., Morales-Vargas A.T., Adame-Álvarez R. M., Heil, M. y Quintana-Rodríguez, E., (2015). Compuestos orgánicos volátiles emitidos por *Phaseolus vulgaris* contribuyen en la defensa hacia antracnosis. *Revista de Divulgación Científica, Jóvenes de la Ciencia*, Vol. 1 no. 3, 1-5.

Rodríguez-Pedroso, A. T., Ramírez-Arrebato, M. A., Bautista-Baños, S., Cruz-Triana, A. y Rivero, D. (2012). Actividad antifúngica de extractos de *Acacia farnesiana* sobre el crecimiento *in vitro* de *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(1), 91-96.

Rodríguez-Sauceda, E. N., Rojo-Martínez, G. E., Ramírez-Valverde, B., Martínez-Ruiz, R., Cong-Hermida, M. D. L. C., Medina-Torres, S. M y Piña-Ruiz, H. H. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai*, 10(3), 173-193.

Rojas, J. C., y Malo, E. A. (2019). Temas selectos en ecología química de insectos. El Colegio de la Frontera Sur. pp. 1-446.

Rojas-Hernández, N. M., Avellaneda Saucedo, S. A., Cuéllar-Cuéllar, A., Romeu-Álvarez, B. y Lugo-Moya, D. (2009). Actividad antimicrobiana de *Waltheria indica* y *Acacia farnesiana*. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 40(2), 129-134.

Ruiz, M. (2015). New hosts for *Thasus gigas* (Klug, 1835) (Hemiptera: Coreidae) from Jalisco, Mexico. *Dugesiana*, 22(1), 15-16.

Santander-Martínez, I. R. (2018). Cuantificación de metabolitos secundarios y capacidad antioxidante en extractos de especies de *Acacia* (*Acacia schaffneri*, *laevigata* y *aculeaticarpa*). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias de la Salud. Tesis Licenciatura, pp. 1-70.

Sepúlveda-Jiménez, G., Porta-Ducoing, H., y Rocha-Sosa, M. (2003). La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3), 355-363.

Stashenko, E., Wiame, H., Dassy, S., Martinez, J.R., and Shibamoto, T. (1995). Catalytic transformation of copaiba (*Copaifera officinalis*) oil over zeolite ZSM-5. *Journal of High-Resolution Chromatography*, 18(1):54-60.

Tholl, D., Boland, W., Hansel, A., Loreto, F., Röse, U. S., and Schnitzler, J. P. (2006). Practical approaches to plant volatile analysis. *The Plant Journal*, 45(4), 540-560.

Torres-Salazar, F. D. J., y Sosenski P. (2022). Comunicación a través del olor: las plantas y sus secretos. *Revista Digital Universitaria*, 23(2), pp. 1-8.

Trejo-Torres, C. (2012). ¿Por qué cambian los nombres científicos de las plantas? *Herbario CICY* (4): 17-19.

Urías-García, C., Pérez-Álvarez, S., Escobedo-Bonilla, C. M., González-Vega, M. E., Flores-Córdoba, M. A., Guerrero-Morales, S. y Palacios-Monárrez, A. (2023). Micropropagación de *Vachellia* spp. como una alternativa para la reforestación de zonas desérticas en México. *Cultivos Tropicales*, 44(2), pp. 1-10.

Vaca-Sánchez M. S., González-Rodríguez A., Maldonado-López Y, Fernández G. W. y Cuevas-Reyes P. (2016) Importancia de los taninos en especies del género *Quercus* como metabolitos secundarios asociados a defensa contra insectos herbívoros. *Biológicas*, 18(1): 10–20.

Valencia, D., Rueda-Puente, E. O., Leyva-Peralta, M. A., Mazón-López, S. R., y Ortega-García, J. (2020). Compuestos bioactivos, actividad antioxidante y perfil de ácidos grasos en aceite de semilla de mezquite (*Prosopis* spp). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 70(1), 50-59.

Vargas-Martínez, F. (2013). Efecto alelopático del extracto de mezquite (*Prosopis juliflora*), sobre la germinación de maíz (*Zea mays*) y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) bajo condiciones de laboratorio. Universidad Autónoma Agrario Antonio Narro, División de Agronomía, Departamento de Parasitología. Tesis de Licenciatura, pp. 1-64.

Verheggen, F. J., Haubruge, E., and Mescher, M. C. (2010). Alarm pheromones—chemical signaling in response to danger. *Vitamins & Hormones*, 83, 215-239.

Villavicencio M. A. y Juárez-Monroy A. (1989). Un bioensayo para la exploración de extractos de plantas como antialimentarios de *Sitophilus granarius* L. (Coleoptera: Curculionidae). En: *Resúmenes de la I Reunión Nacional de Ecología Química. Instituto de Fisiología Celular y Centro de Ecología, UNAM, México*, 46.

Zamorano, C. (2006). Alelopatía: un nuevo reto en la ciencia de las arvenses en el trópico. *Agronomía*, 14(1), 7-15.

Zevallos-Escobar, Z. (2018). Hidrocarburos aromáticos. Estructuras y propiedades del benceno. Los orbitales moleculares del benceno. Nomenclatura de los compuestos aromáticos. Regla de Hückel. Compuestos aromáticos heterocíclicos Reacciones de los compuestos aromáticos Aplicación industrial. Universidad Nacional de Educación, Facultad de Ciencias, Tesis de Licenciatura, pp. 1-86.

Zubkov, F. I., and Kouznetsov, V. V. (2023). Traveling across life sciences with acetophenone—a simple ketone that has special multipurpose missions. *Molecules*, 28(1), 370.

Zygadlo, J. A., Lamarque, A. L., Maestri, D. M., Negueruela, A. V., Perez-Alonso, M. J., and García-Vallejo, M. C. (1996). Volatile constituents from flowers of *Acacia praecox* Gris. *Flavour and Fragrance Journal*, 11(1), 3-5.

## ANEXO

### **Percepción de habitantes de dos comunidades de la Mixteca Poblana sobre interacciones planta-planta**

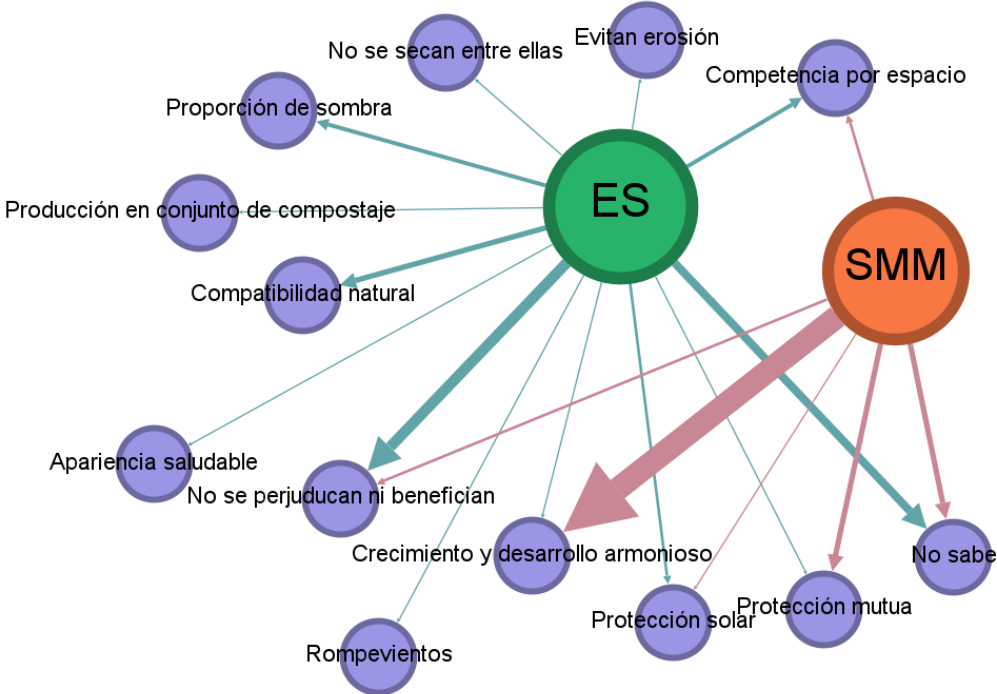
De manera complementaria a la presente investigación, se diseñó y creó una encuesta semiestructurada, con el propósito de recopilar información de las personas que viven en las localidades de “El Salado” (Jolalpan) y “El Timbre, San Mateo Mimiapan” (Zacapala) sobre las interacciones planta-planta, en particular entre los mezquites y huizaches de la región de la Mixteca Poblana, percepción de olor de ambas especies y plantas asociadas a ellas. De las once preguntas que conforman la encuesta, solo se utilizaron seis para la presentación de las respuestas mediante redes de interacción, puesto que son las más relacionadas con la interacción planta-planta mediante volátiles. Los nodos pequeños representan las respuestas dadas, los nodos grandes las comunidades (abreviadas en mayúsculas), las aristas la conexión de la respuesta por comunidad y el grosor de la arista la frecuencia de la respuesta por comunidad (Figuras 33-38).

La Figura 33 representa la red de respuestas de la pregunta ¿Considera que los mezquites y huizaches produzcan algún olor y como los define? Donde las respuestas “H: Fuerte” y “M: Ligero” presentan sus aristas con mayor grosor conectadas a ambas comunidades.

La Figura 34 representa la red de respuestas de la pregunta ¿Qué plantas ha visto crecer cerca de mezquite o huizache? Donde las respuestas “H: Cubata” y “M: Ligero” presentan sus aristas con mayor grosor conectadas a ambas comunidades. Solo la respuesta “M: Cactus columnar” presenta su arista con mayor grosor conectada a la comunidad SMM.

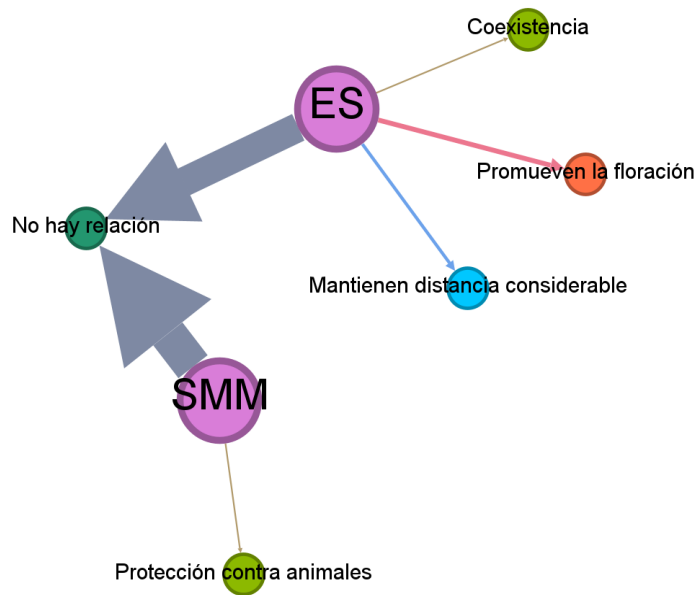


La Figura 35 representa la red de respuestas de la pregunta ¿Considera que la presencia de estas plantas sea bueno o malo para los huizaches o mezquites? Menciones sus razones. Donde la respuesta “Crecimiento y desarrollo armonioso” presenta su arista con mayor grosor conectada a la comunidad SMM.



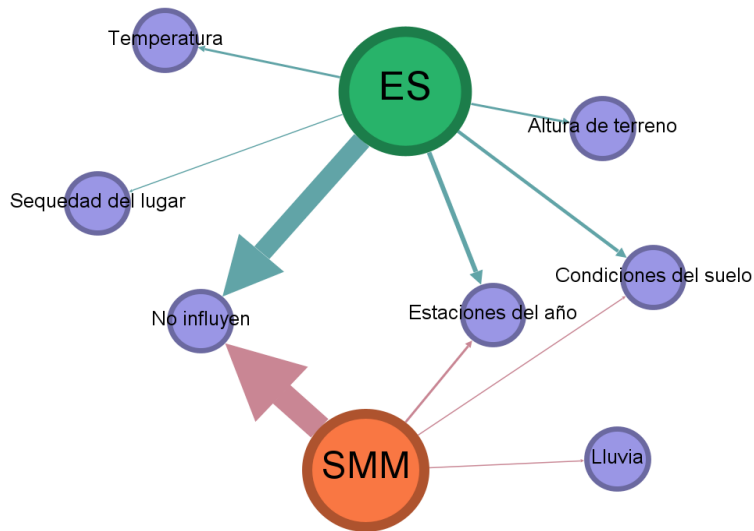
**Figura 35.** Red de respuestas de la pregunta ¿Considera que la presencia de estas plantas sea bueno o malo para los huizaches o mezquites? Mencione sus razones. ES: El Salado; SMM: San Mateo Mimiapan.

La Figura 36 representa la red de respuestas de la pregunta ¿Considera que el olor que emanan mezquites o huizaches se relaciona con que las plantas crezcan cerca? Donde la respuesta “No hay relación” presenta su arista con mayor grosor conectada a ambas comunidades.



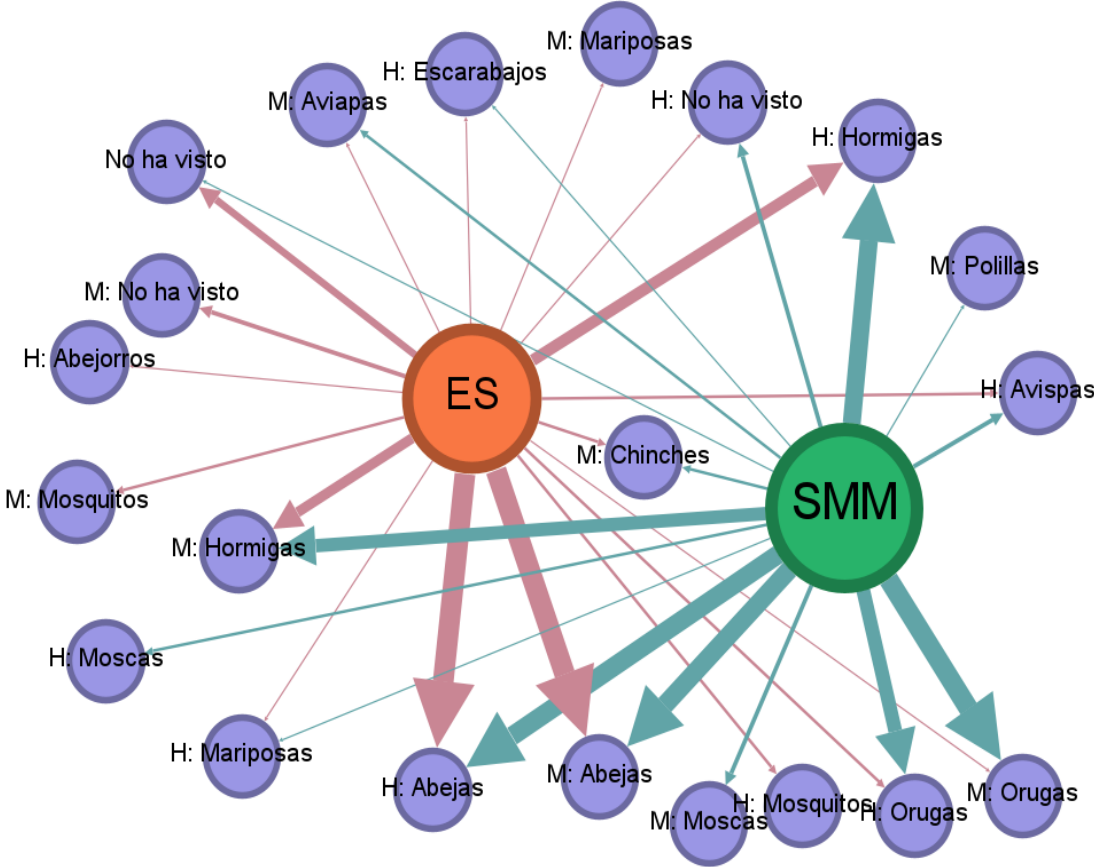
**Figura 36.** Red de respuestas de la pregunta ¿Considera que el olor que emanan mezquites o huizaches se relaciona con que las plantas crezcan cerca? Menciones tres razones. ES: El Salado; SMM: San Mateo Mimiapan.

La Figura 37 representa la red de respuestas de la pregunta ¿Considera que lo factores abióticos influyen en la emisión de olores de mezquite o huizache? Donde la respuesta “No influyen” presenta su arista con mayor grosor conectada a ambas comunidades.



**Figura 37.** Red de respuestas de la pregunta ¿Considera que lo factores abióticos influyen en la emisión de olores de mezquite o huizache? Menciones tres razones. ES: El Salado; SMM: San Mateo Mimiapan.

La Figura 38 representa la red de respuestas de la pregunta ¿Qué insectos ha visto en mezquites o huizaches? Donde las respuestas “M: Abejas”, “H: Abejas” y “H: Hormigas” presentan sus aristas con mayor grosor conectadas a ambas comunidades. Solo las respuestas “H: Orugas” y “M: Orugas” presentan sus aristas con mayor grosor y conectada a la comunidad SMM.



**Figura 38.** Red de respuestas de la pregunta ¿Qué insectos ha visto en mezquites o huizaches?  
 ES: El Salado; SMM: San Mateo Mimiapan; M: Mezquite; H: Huizache

## Perfil químico COV de *N. laevigata* y *V. schaffneri*

**Cuadro 5.** Perfil químico de *N. laevigata*

No.	Nombre	CAS	Naturaleza
1	Acetato de n-propilo	109-60-4	Ester
2	Tolueno	108-88-3	Aromático
3	Ácido acético, éster butílico	123-86-4	Ester, olor dulce y frutal
4	1 <i>R</i> - $\alpha$ -Pinoeno	7785-70-8	Monoterpeno
5	1 <i>S</i> - $\alpha$ -Pinoeno	7785-26-4	Monoterpeno
6	Canfeno	79-92-5	Monoterpeno
7	$\beta$ -Pinoeno	127-91-3	Monoterpeno
8	Sabineno	3387-41-5	Monoterpeno
9	$\alpha$ -Felandreno	99-83-2	Monoterpeno
10	<i>D</i> -Limoneno	5989-27-5	Monoterpeno
11	$\beta$ -Felandreno	555-10-2	Monoterpeno
12	O-Cimeno	527-84-4	Monoterpeno
13	1,3-dimetil-1-ciclohexeno	2808-76-6	Cicloalqueno
14	<i>trans</i> - Sabinol	471-16-9	Monoterpeno
15	4-isopropil-2-ciclohexeno-1-ona	500-02-7	Cetona
16	1,3,3-trimetil-2-oxabicyclo [2.2.2]octan-6-ol	18679-48-6	Ester del ácido acético
17	Copaeno	3856-25-5	Sesquiterpeno
18	4-Isopropilfenol	99-89-8	Fenol
19	$\alpha$ -Cubeneno	17699-14-8	Sesquiterpeno
20	Eremófilo	10219-75-7	Sesquiterpeno
21	$\alpha$ -Gurjuneno	489-40-7	Sesquiterpeno
22	$\beta$ -Cariofileno	87-44-5	Sesquiterpeno

**Cuadro 5.** Continuación...

<b>No.</b>	<b>Nombre</b>	<b>CAS</b>	<b>Naturaleza</b>
23	2,4-dimetilciclopentano-1,3-diona	34598-80-6	Cicloalcano
24	Dióxido de limoneno	96-08-2	Monoterpeno
25	Limoneno-1,2-diol	1946-00-5	Monoterpeno
26	Aloaromadendreno	25246-27-9	Sesquiterpeno
27	2-isopropil-5-metil-9-metilenbicciclo [4.4.0]dec-1-eno	150320-52-8	Alcano bicíclico-grupo funcional bivalente
28	2,5-dimetilciclohexanol	3809-32-3	Alcohol
29	Exileno	3242-08-8	Sesquiterpeno
30	Z-isogeraniol	5944-20-7	Monoterpeno
31	Elemol	639-99-6	Sesquiterpeno
32	2-etilciclohexanona	4423-94-3	Cetona
33	Hedicariol	21657-90-9	Sesquiterpeno
35	Palustrol	5986-49-2	Sesquiterpeno
35	$\gamma$ -Muuroleno	30021-74-0	Sesquiterpeno
36	$\beta$ -Bourboeno	5208-59-3	Sesquiterpeno
37	Tirosol	501-94-0	Compuesto fenólico
38	Viridiflorol	552-02-3	Sesquiterpeno
39	Caraleno	17334-55-3	Sesquiterpeno
40	Cubeneno	16728-99-7	Sesquiterpeno
41	$\gamma$ -Eudesmol	1209-71-8	Sesquiterpeno
42	(+) Epi-biciclosesquifelandreno	54324-03-7	Sesquiterpeno
42	$\alpha$ -Cadinol	481-34-5	Sesquiterpeno
44	Torreyol	19435-97-3	Sesquiterpeno
45	7-epi- $\beta$ -Eudesmol	473-15-4	Sesquiterpeno
46	<i>cis</i> -Piperitol	16721-38-3	Monoterpeno

**Cuadro 5.** Continuación...

<b>No.</b>	<b>Nombre</b>	<b>CAS</b>	<b>Naturaleza</b>
<b>47</b>	$\alpha$ -Copaeno-11-ol	41370-56-3	Sesquiterpeno
<b>48</b>	Fitol	150-86-7	Diterpeno
<b>49</b>	Ácido oleico	112-80-1	Ácido graso monoinsaturado

**Cuadro 6.** Perfil químico de *V. schaffneri*

<b>No.</b>	<b>Nombre</b>	<b>CAS</b>	<b>Naturaleza</b>
<b>1</b>	Pentanal, 2-metil-	123-15-9	Alquil aldehído
<b>2</b>	1 <i>R</i> - $\alpha$ -Pinoeno	7785-70-8	Monoterpeno
<b>3</b>	1 <i>S</i> - $\alpha$ -Pinoeno	7785-26-4	Monoterpeno
<b>4</b>	Canfeno	79-92-5	Monoterpeno
<b>5</b>	Estireno	100-42-5	Aromático
<b>6</b>	Sabineno	3387-41-5	Monoterpeno
<b>7</b>	$\beta$ -Tujeno	28634-89-1	Monoterpeno
<b>8</b>	$\alpha$ -Felandreno	99-83-2	Monoterpeno
<b>9</b>	(+)-4-Careno	29050-33-7	Monoterpeno
<b>10</b>	<i>D</i> -Limoneno	5989-27-5	Monoterpeno
<b>11</b>	$\beta$ -Felandreno	555-10-2	Monoterpeno
<b>12</b>	O-cimeno	527-84-4	Monoterpeno
<b>13</b>	$\gamma$ -Terpineno	99-85-4	Monoterpeno
<b>14</b>	Isobutilbenceno	538-93-2	Aromático
<b>15</b>	Benzaldehído	100-52-7	Aromático

**Cuadro 6.** Continuación...

<b>No.</b>	<b>Nombre</b>	<b>CAS</b>	<b>Naturaleza</b>
<b>16</b>	$\alpha$ -Terpinoleno	586-62-9	Monoterpeno
<b>17</b>	Nonanal	124-19-6	Aldehído
<b>18</b>	<i>trans</i> -2-Menthenol	29803-81-4	Cicloalqueno
<b>19</b>	Octadecano	593-45-3	Alcano
<b>20</b>	Acetofenona	98-86-2	Aromático
<b>21</b>	<i>trans</i> -2-Caren-4-ol	4017-82-7	Monoterpeno
<b>22</b>	R-terpinen-4-ol	20126-76-5	Cicloalqueno
<b>23</b>	1,3-dimetil-1-ciclohexeno	2808-76-6	Cicloalqueno
<b>24</b>	1,3-dimetil-1-ciclohexeno	2808-76-6	Cicloalcano
<b>25</b>	$\alpha$ -Terpineol	98-55-5	Monoterpeno
<b>26</b>	Pulegona	15932-80-6	Cetona
<b>27</b>	<i>cis</i> -Carveol	1197-06-4	Monoterpeno
<b>28</b>	4-isopropil-2-ciclohexeno-1-ona	500-02-7	Cicloalqueno
<b>29</b>	2,6,6-trimetil-1-metileno-2-ciclohexeno	514-95-4	Cicloalqueno
<b>30</b>	$\delta$ -Elemeno	20307-84-0	Sesquiterpeno
<b>31</b>	4-Isopropilfenol	99-89-8	Alcohol
<b>32</b>	Acetato de bornilo	76-49-3	Monoterpeno
<b>33</b>	p-Menth-1(7)-en-2-one	15297-07-1	Cetona
<b>34</b>	Ylangene	14912-44-8	Sesquiterpeno
<b>35</b>	$\alpha$ -Cubeneno	17699-14-8	Sesquiterpeno
<b>36</b>	Piperitona	89-81-6	Monoterpeno
<b>37</b>	$\beta$ -Bourboneno	5208-59-3	Sesquiterpeno
<b>38</b>	$\beta$ -Cubeneno	13744-15-5	Sesquiterpeno
<b>39</b>	$\beta$ -Elemeno	515-13-9	Sesquiterpeno

**Cuadro 6.** Continuación...

<b>No.</b>	<b>Nombre</b>	<b>CAS</b>	<b>Naturaleza</b>
<b>40</b>	$\alpha$ -Gurguneno	489-40-7	Sesquiterpeno
<b>41</b>	Umbelulona	24545-81-1	Monoterpeno
<b>42</b>	$\beta$ -Cariofileno	87-44-5	Sesquiterpeno
<b>43</b>	Calareno	17334-55-3	Sesquiterpeno
<b>44</b>	$\gamma$ -Muuroleno	30021-74-0	Sesquiterpeno
<b>45</b>	$\alpha$ -Cariofileno	6753-98-6	Sesquiterpeno
<b>46</b>	Aloaromadendreno	25246-27-9	Sesquiterpeno
<b>47</b>	(+)-Epi- biciclosesquifelandreno	54324-03-7	Sesquiterpeno
<b>48</b>	$\gamma$ -Cadineno	39029-41-9	Sesquiterpeno
<b>49</b>	$\beta$ -Cubeneno	13744-15-5	Sesquiterpeno
<b>50</b>	Valenceno	4630-07-3	Sesquiterpeno
<b>51</b>	Biciclogermacreno	67650-90-2	Sesquiterpeno
<b>52</b>	$\delta$ -Cadineno	483-76-1	Sesquiterpeno
<b>53</b>	$\alpha$ -Elemeno	5951-67-7	Sesquiterpeno
<b>54</b>	Z-isogeraniol	5944-20-7	Monoterpeno
<b>55</b>	Longifoleno	475-20-7	Sesquiterpeno
<b>56</b>	Calameneno	483-77-2	Sesquiterpeno
<b>57</b>	2-etilciclohexano-1-ona	4423-94-3	Cetona
<b>58</b>	$\alpha$ -Farneseno	502-61-4	Sesquiterpeno
<b>59</b>	Elemol	639-99-6	Sesquiterpeno
<b>60</b>	$\alpha$ -Himachaleno	3853-83-6	Sesquiterpeno
<b>61</b>	$\gamma$ -Gurjuneno	22567-17-5	Sesquiterpeno
<b>62</b>	Calareno	17334-55-3	Sesquiterpeno
<b>63</b>	Cubenol	21284-22-0	Sesquiterpeno
<b>64</b>	Cubeneno	16728-99-7	Sesquiterpeno
<b>65</b>	$\gamma$ -Eudesmol	1209-71-8	Sesquiterpeno

**Cuadro 6.** Continuación...

<b>No.</b>	<b>Nombre</b>	<b>CAS</b>	<b>Naturaleza</b>
<b>66</b>	(+)-Epi-biciclosesquifelandreno	54324-03-7	Sesquiterpeno
<b>67</b>	$\alpha$ -Cadinol	481-34-5	Sesquiterpeno
<b>68</b>	Copaeno	3856-25-5	Sesquiterpeno
<b>69</b>	7-epi- $\beta$ -Eudesmol	473-15-4	Sesquiterpeno
<b>70</b>	Viridifloreno	21747-46-6	Sesquiterpeno
<b>71</b>	<i>R</i> -aromadendreno	489-39-4	Sesquiterpeno
<b>72</b>	Calameneno	483-77-2	Sesquiterpeno
<b>73</b>	Aloaromadendreno	25246-27-9	Sesquiterpeno
<b>74</b>	Isolongifoleno	1135-66-6	Sesquiterpeno
<b>75</b>	<i>cis</i> - $\alpha$ -Copaeno-8-ol	58569-25-8	Sesquiterpeno
<b>76</b>	Longifolenaldehído	19890-84-7	Sesquiterpeno
<b>77</b>	$\alpha$ -Copaeno-11-ol	41370-56-3	Sesquiterpeno
<b>78</b>	Fitol	150-86-7	Diterpeno
<b>79</b>	Ácido oleico	112-80-1	Ácido graso insaturado
<b>80</b>	Ácido tetracosanoico	557-59-5	Ácido graso