

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE NEEM ENCAPSULADO CON
QUITOSANO PARA EL MANEJO DE TRIPS EN AGUACATE (*Persea
americana* Mill.) EN HEREDIA**

**Trabajo Final de Graduación bajo la modalidad de Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
en Agronomía**

Estudiante

Bach. Yaritza Mata Salazar

Tutor

M.Sc. Alejandro Vargas Martínez

Asesores

M.Sc. Allan González Herrera

Dr. Oscar Rojas Carrillo

Campus Omar Dengo
Heredia, Costa Rica, 2024

Evaluación de la eficiencia de neem encapsulado con quitosano para el manejo de trips en aguacate (*Persea americana* mill.) en Heredia.

Estudiante

Yaritza Mata Salazar

Trabajo final de graduación modalidad tesis sometido a consideración del tribunal examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

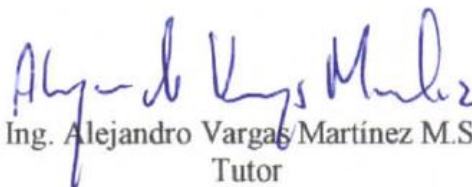


Fernando Ramírez Muñoz, Ph.D.

Representante de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar



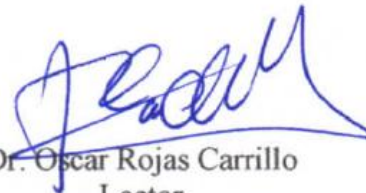
Cesar Guillen Sánchez, Ph.D.
Representante de la Escuela de Ciencias Agrarias



Ing. Alejandro Vargas Martínez M.Sc
Tutor



Ing. Allan González Herrera M.Sc.
Lector



Dr. Oscar Rojas Carrillo
Lector



Bach. Yaritza Mata Salazar
Postulante

Resumen

El cultivo de aguacate (*Persea americana*), ha experimentado un creciente interés en el sector agrícola. No obstante, enfrenta importantes desafíos fitosanitarios, en particular, el ataque de plagas como *Frankliniella* spp. y *Scirtothrips* spp. (trips). Aunque existen diversas estrategias para el manejo de esta plaga, muchas presentan limitaciones, frente a esto, surge la necesidad de explorar alternativas sostenibles y efectivas para el manejo de trips. La investigación se propuso evaluar la eficacia de formulaciones de neem encapsulado en nanoquitina como alternativa a los insecticidas sintéticos para el manejo de trips en el cultivo de aguacate. Para alcanzar este objetivo, se prepararon tres formulaciones experimentales de nanoquitina al 0.04 %, combinadas con aceite de neem en concentraciones de 1 %, 3 % y 5 %, conteniendo 82,7 mg de azadiractina por gramo de aceite de neem. La preparación de estas formulaciones y su caracterización se realizó en el Laboratorio de Investigación y Tecnología de Polímeros de la Universidad Nacional de Costa Rica (POLIUNA), mientras que en el Laboratorio de Control Biológico de la Escuela de Ciencias Agrarias de la misma universidad se realizaron los experimentos de su actividad. Las pruebas de campo se realizaron en una finca ubicada en San José de la Montaña, Barva, Heredia. En campo, se evaluaron cuatro tratamientos: nanoquitina + neem al 5% (T1), nanoquitina + neem al 3% (T2), nanoquitina + neem al 1% (T3) y un tratamiento comercial (Solaris, T4), aplicándose cada tratamiento en cinco repeticiones. A lo largo del ensayo se realizaron tres aplicaciones de los tratamientos y siete conteos de trips mediante trampas. Los resultados mostraron que la formulación de nanoquitina al 0.04% con concentraciones bajas de aceite de neem fue la más estable. En campo, los tratamientos T2 (nanoquitina + neem al 3%) y T3 (nanoquitina + neem al 1%) presentaron las menores poblaciones de trips. En general, la población de trips varió en función de los tratamientos aplicados y de las fases fenológicas del aguacate, con una reducción significativa tras la segunda aplicación. Durante la etapa de desarrollo del fruto, se registró un incremento en la población de trips. Además, las condiciones ambientales, particularmente la temperatura y la humedad relativa, influyeron en la dinámica de la plaga, observándose un aumento en la población de trips bajo temperaturas altas y humedad moderada, mientras que las precipitaciones tuvieron un impacto menor. En conclusión, esta investigación subrayó la importancia de comprender la interacción entre la dinámica poblacional de trips y las etapas de desarrollo del aguacate, así como la necesidad de optimizar las formulaciones de emulsiones de neem para garantizar un manejo biológico eficaz y sostenible. Las emulsiones estabilizadas con nanoquitina mostraron ser una alternativa prometedora para el manejo de trips, mejorando la estabilidad y eficacia del aceite de neem como alternativa a los productos sintéticos que actualmente se utilizan para el manejo de trips en aguacate.

Abstract

The avocado (*Persea americana*) crop has experienced a growing interest in the agricultural sector. However, it faces important phytosanitary challenges, in particular, the attack of pests such as *Frankliniella* spp. and *Scirtothrips* spp. Although there are several strategies for the control of this pest, many of them have limitations. In view of this, there is a need to explore sustainable and effective alternatives for the control of thrips. The research aimed to evaluate the efficacy of neem formulations encapsulated in chitosan as an alternative to synthetic insecticides for the management of thrips in avocado crops. To achieve this objective, three experimental formulations of 0.04% nanochitosan were prepared, combined with neem oil at concentrations of 1%, 3%, and 5%, containing 82.7 mg of azadirachtin per gram of neem oil. The preparation of these formulations and the characterization were carried out at the Polymer Research and Technology Laboratory of the National University of Costa Rica (POLIUNA), while at the Biological Control Laboratory of the School of Agricultural Sciences the activity assay. The field trials were conducted on a farm located in San José de la Montaña, Barva, Heredia. Four treatments were evaluated in the field: nanochitin + 5% neem (T1), nanochitin + 3% neem (T2), nanochitin + 1% neem (T3) and a commercial treatment (Solaris, T4), applying each treatment in five replicates. Throughout the trial, three applications of the treatments and seven thrips counts were carried out using traps. The results showed that the 0.04% nanochitin formulation with low concentrations of neem oil was the most stable. In the field, treatments T2 (3% nanochitin + neem) and T3 (1% nanochitin + neem) had the lowest thrips populations. In general, the thrips population varied according to the treatments applied and the phenological stages of the avocado, with a significant reduction after the second application. During the fruit development stage, an increase in the thrips population was recorded. In addition, environmental conditions, particularly temperature and relative humidity, influenced pest dynamics, with an increase in thrips population observed under high temperatures and moderate humidity, while rainfall had a minor impact. In conclusion, this research highlighted the importance of understanding the interaction between thrips population dynamics and avocado developmental stages, as well as the need to optimize neem emulsion formulations to ensure effective and sustainable biological control. Emulsions stabilized with nanochitin were shown to be a promising alternative for thrips control, improving the stability and efficacy of neem oil without causing negative effects on the environment.

Dedicatoria

Dedico esta tesis, en primer lugar, a Dios, quien ha sido mi fortaleza y guía en cada paso de este camino. Sin su ayuda y bendiciones, este logro no sería posible. A mis padres, quienes son mis pilares de vida Eida Salazar Gómez y Ángel Mata Mora, quienes con amor, sacrificio y esfuerzo me han dado las bases para ser la persona y profesional que soy hoy.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco profundamente a mi familia. Su dedicación, consejos y ejemplo incondicional han sido mi mayor inspiración y el motor que me impulsa a perseguir y alcanzar cada una de mis metas.

A mi tutor, M.Sc. Alejandro Vargas Martínez, quien siempre creyó en mí y me brindó su apoyo constante a lo largo de este proceso. Su orientación y confianza fueron piezas fundamentales para lograr esta meta.

A mis asesores, Dr. Oscar Rojas Carrillo y M.Sc. Allan González Herrera, por su invaluable apoyo, guía y acompañamiento. Gracias por compartir sus conocimientos y enriquecer mi investigación, siendo elementos clave en el desarrollo de este trabajo.

Al MSc. Víctor Álvarez de Laboratorio de Fitoquímica (LAFIT), por los ensayos para la determinación de la concentración de Azadiractina y a la empresa INBOX Technology LATAM de Costa Rica, por el acceso al equipo Mastersizer 3000Lab para la determinación del tamaño de partícula de las formulaciones.

A las escuelas de la Universidad Nacional que apoyaron esta investigación. En particular, al Laboratorio de Entomología y al Laboratorio de Control Biológico de la Escuela de Ciencias Agrarias (ECA), así como al Laboratorio de Investigación y Tecnología de Polímeros de la Escuela de Química, por su invaluable colaboración y disposición de recursos.

Asimismo, agradezco de manera especial a la señora Felicia Ruiz, propietaria de la finca donde se desarrolló la investigación de campo, por su generosidad y apoyo, que fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

A mis seres queridos, amigos y compañeros, quienes, de una forma u otra, me enseñaron, alentaron y acompañaron en esta trayectoria. Sus palabras y acciones han dejado una huella profunda en mi vida y en este proyecto.

Finalmente, agradezco a mi pareja, Nelson Gerardo Mairena Arrieta, por su apoyo incondicional en cada noche de desvelo, en cada momento de frustración y en cada página escrita de esta tesis. Siempre estuviste a mi lado. A mi amiga Brenda Elizondo Sibaja, quien me brindó su apoyo desde el inicio de mi tesis hasta el final, alentándome y sosteniéndome en cada paso de este camino.

¡Muchas Gracias

Tabla de contenido

Resumen...	i
Abstract...	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
1-INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	4
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
2-MARCO TEORICO	5
2.1-Cultivo de aguacate	5
2.1.1- Características botánicas	6
2.1.2-Variedades	6
2.1.3-Desarrollo del fruto	7
2.1.4-Enfermedades y plagas	10
2.2-Trips	11
2.2.1-Clasificación taxonómica	11
2.2.2-Ciclo de vida	11
2.2.3-Lesiones	12
2.2.4-Manejo de trips	13
2.3-Bioplaguicidas	14
2.3.1-Quitina y quitosano	15
2.3.2-Nanoquitina	16
2.3.3-Neem	16
2.4-Emulsiones	18
3-SECCIÓN EXPERIMENTAL	19
3.1-Ubicación del estudio	19
3.1.1-Fase de campo	19
3.1.2-Reactivos	19
3.1.3- Determinación de la concentración de azadiractina	20
3.2-Formulación de las emulsiones	20
3.3-Characterización estructural de las emulsiones formuladas	21
3.3.1-Determinacion del índice de cremado	21

3.3.2-Determinación del tamaño de partículas de las emulsiones.....	21
3.4-Efecto insecticida de las formulaciones en campo.	22
3.4.1-Distribución de los tratamientos	22
3.4.2-Dosificación y frecuencia de aplicación de tratamientos.....	23
3.4.3-Variable de respuesta	25
3.4.4-Diseño estadístico	26
3.4.5-Análisis estadístico.....	27
4-RESULTADOS.....	29
4.1- Determinación de la concentración de azadiractina.....	29
4.2-Emulsiones a base de nanoquitina y aceite de neem.....	29
4.2.1- Emulsiones pickering empleando nanocelulosa como estabilizantes	29
4.1.2 Emulsiones pickering empleando nanoquitina como estabilizante	30
4.3-Caracterización estructural de las emulsiones formuladas	31
4.3.1-Índice de cremado	31
4.3.2-Determinación del tamaño de partícula mediante difracción láser	33
4.3.2-Microscopía óptica.....	34
4.4-Determinación del efecto insecticida de las formulaciones de nanoquitina y aceite de neem.....	34
5. DISCUSIÓN	40
5.1-Formulación de biopesticida a base de nanoquitina y aceite de neem.....	40
5.2-Characterizacion de las formulaciones de biopesticida a base de nanoquitina y aceite de neem.	41
5.3- Determinación del efecto insecticida de las formulaciones de nanoquitina y aceite de neem.	44
6. CONCLUSIONES.	46
7. RECOMENDACIONES	47
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	48

Índice de figuras

Figura 1 <i>Diagrama fenológico de flujos de crecimiento vegetativo, de floración y fructificación en árboles de aguacate cv. hass.</i>	8
Figura 2 <i>Esquema de la flor de aguacate durante sus dos aperturas.</i>	9
Figura 3 <i>Ciclo de vida de trips desde la eclosión del huevo hasta adulto.</i>	11
Figura 4 <i>Daños en cultivo de aguacate provocado por trips.</i>	13
Figura 5 <i>Estructuras químicas de biopolímeros quitina y quitosano.</i>	16
Figura 6 <i>Estructura química de la azadiractina.</i>	17
Figura 7 <i>Aplicación de los tratamientos en campo con bomba de espalda Protecno.</i>	24
Figura 8 <i>Productos utilizados en tratamientos de campo para manejar trips</i>	24
Figura 9 <i>Método de trampeo empleado en el ensayo para manejar trips en aguacate.</i>	25
Figura 10 <i>Método de conteo de trampas para la población de trips en el laboratorio.</i>	26
Figura 11 <i>Distribución de los tratamientos aplicados en el ensayo de trips en campo en árboles de aguacate.</i>	27
Figura 12 <i>Emulsiones Pickering empleando nanocelulosa como surfactante.</i>	29
Figura 13 <i>Micrografía a 10x de una emulsión pickering estabilizada con nanocelulosa.</i>	30
Figura 14 <i>Emulsiones pickering empleando nanoquitina como surfactante.</i>	31
Figura 15 <i>Índice de cremado para las emulsiones formuladas empleando nanoquitina como estabilizante.</i>	32
Figura 16 <i>Diámetro hidrodinámico de emulsiones conteniendo diferente porcentaje de aceite de neem y Nanoquitina al 0,04% m.</i>	33
Figura 17 <i>Imagen de microscopía óptica de dispersiones empleando nanoquitina como estabilizante.</i>	34
Figura 18 <i>Formulaciones finales a base de nanoquitina y neem para aplicaciones en aguacate.</i>	35
Figura 19 <i>Dinámica del comportamiento de los trips en función de los tratamientos durante la época de evaluación.</i>	36
Figura 20 <i>Gráfico de barras de las medias de conteo para cada tratamiento.</i>	37
Figura 21 <i>Gráfico de barras de las medias de conteo para cada fecha de evaluación.</i>	38
Figura 22 <i>Dinámica del comportamiento de los trips en función de los tratamientos durante la época de evaluación, su relación con las etapas del cultivo y condiciones atmosféricas.</i>	39
Figura 23 <i>Nanocristales de nanoquitina estabilizando la emulsión agua-aceite.</i>	41

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Etapas de floración y fructificación al año según sea la variedad de aguacate Hass.</i>	9
Tabla 2 <i>Tratamientos y dosis utilizadas en las aplicaciones en la plantación de aguacate.</i>	22
Tabla 3 <i>Valores del estadístico F y p-valor asociado para la variable analizada para el ensayo.</i>	37

1-INTRODUCCION

El aguacate (*Persea americana*), es originario de las regiones tropicales y subtropicales de Centroamérica y México y se clasifica dentro de la familia Lauraceae (Garbanzo, 2011). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) (2020), esta fruta es cultivada y consumida hace más de 9 mil años, pero en los últimos tiempos se ha dado un aumento sostenido del cultivo en producción a nivel de América Latina y el Caribe; para el 2018 hubo una producción que sobrepasó los 5,6 millones de t. El aguacate se divide en tres razas ecológicas, cada una con su estatus varietal, *P. americana* var. *drymifolia* (raza mexicana), *P. americana* var. *guatemalensis* (raza guatemalteca) y *P. americana* var. *americana* (raza antillana) (Díaz-Diez et al., 2020).

La variedad “Hass” es el principal cultivar del mundo, es un cultivo de buena producción con frutos de buena calidad (Bernal y Diaz, 2008). En Costa Rica, según el Ministerio de Agricultura y Ganadería y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [MAG e IICA, 2019], el cultivo de aguacate se ha desarrollado con mayor auge en dos zonas del país, la zona de altura mayormente sembrada en la zona de Los Santos con la variedad Hass y la zona de bajura con variedades antillanas

El aguacate, como todos los cultivos, es afectado por problemas fitosanitarios. Entre las enfermedades con mayor importancia se encuentra la pudrición de raíces provocada por oomycetes comúnmente conocidos a nivel mundial como *Phytophthora cinnamomi* var. *cinnamomi*, *P. citricola* y *P. heveae*, y la marchitez causada por el hongo *Verticillium* sp. (Tamayo, 2020). Rivera et al., (2017), mencionan que el cultivo de aguacate es afectado por gran diversidad de plagas, específicamente *Frankliniella* spp. y *Scirtothrips* spp. (trips), los barrenadores pequeño y grande de la semilla *Conotrachelus perseae*, *Heilipus pittieri* *H. trifasciatus*, el barrenador del tronco y ramas *Copturomorpha* sp., las arañas café *Oligonychus punicae* y cristalina *O. perseae*, entre otras más (Rivera et al., 2017).

El género *Frankliniella* es uno de los más representativos dentro del orden Thysanoptera en Costa Rica, donde se ha documentado una alta biodiversidad de trips. Desde finales del siglo XX, se han llevado a cabo estudios continuos sobre estos insectos en el país (Retana & González, 2011). Según Rodríguez et al. (2023), en la región central de Costa Rica, del género *Frankliniella*, se encontraron tres especies en árboles de aguacate durante la floración: *F. alonso*, *F. doris*, y *F. nita*.

También se identificó una sola especie en el follaje: *F. sandovalensis*, y una especie tanto en el follaje como en la floración: *F. cephalica*.

Los trips, insectos distribuidos a nivel mundial, se caracterizan por ser muy pequeños, de 0,4 mm a 15,0 mm, con cuerpos alargados y delgados, y con ojos grandes compuestos (Solís, 2016). Kondo et al. (2013), indican que estos insectos causan lesiones en hojas, flores y frutos como resultado de su alimentación; en los frutos ocasionan cicatrices y malformaciones que provocan alteraciones en su cáscara, que a su vez reducen su valor en el mercado.

Según, el Instituto Colombiano de Agricultura (ICA), (2021), los ácaros y trips son de las plagas que tienen mayor impacto económico en las pérdidas del cultivo de aguacate, debido a las prácticas fitosanitarias utilizadas para su manejo. El uso de químicos sintéticos es la principal alternativa para el manejo de trips, ya que estos productos son los que mayor impacto tienen en las poblaciones de esta plaga (Lemus et al., 2017). Sin embargo, el uso indiscriminado de agroquímicos en el cultivo de aguacate sobre los trips afecta las poblaciones de polinizadores naturales, perjudicando los rendimientos del cultivo y puede generar el desarrollo de resistencia en las poblaciones de insectos (Jiménez, 2016).

Debido a la afectación de los polinizadores al utilizar productos químicos para controlar trips en aguacate, se ha recurrido al uso de bioplaguicidas. Los bioplaguicidas son compuestos naturales derivados de diferentes materiales de origen biológico que son utilizados para manejar múltiples plagas agrícolas (Kumar et al., 2021). Por ejemplo, el quitosano es uno de los biopolímeros más estudiados y utilizados en la agroindustria, debido a su potencial en la protección de plantas, por sus características biodegradables, biocompatibles, baja toxicidad, inmunogenicidad, actividad bactericida, fungicida, antiviral y biocida (Giraldo, 2015).

Por otro lado, el neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) es una planta con múltiples propiedades; sus hojas tienen actividad antioxidante y antibacteriana sobre el crecimiento de patógenos (Munguía et al., 2017), y puede tener una acción efectiva contra más de 200 especies de insectos y un manejo seguro para los seres humanos y animales (Pijoan 2004).

Debido a la problemática que enfrentan los plaguicidas sintéticos en relación con los polinizadores y a la falta de una molécula actualmente registrada para el manejo de trips en aguacate, se plantea la necesidad de desarrollar y evaluar un bioplaguicida que ayude al manejo de trips. Por lo

cual, esta propuesta tiene como objetivo, evaluar la eficiencia de una formulación a base de neem y quitosano para el manejo de trips en el cultivo de aguacate a nivel de campo.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la eficiencia de la encapsulación de neem con quitosano para el manejo de trips en el cultivo de aguacate como alternativa de los insecticidas sintéticos que actualmente se utilizan.

Objetivos Específicos

1. Formular emulsiones a base de distintas dosis de quitosano y neem.
2. Realizar la caracterización estructural de las emulsiones formuladas a base de quitosano y neem mediante el uso del equipo de medición DLS (Dynamic Light Scattering).
3. Determinar el efecto insecticida de las formulaciones de quitosano y neem para el manejo de trips en el cultivo de aguacate cv. Hass, a nivel de campo.

2-MARCO TEORICO

2.1-Cultivo de aguacate

El aguacate es una planta perenne, de la familia Lauraceae, del género *Persea*, que cuenta con 85 especies y se encuentra desde el sur de los Estados Unidos de Norteamérica hasta Chile (Dorado-Guerra et al., 2017). El origen del aguacate se remonta a las partes altas del centro y este de México y fue mayormente consumido en México y Centroamérica por muchos años, hasta que posterior a la colonización, llegó a otros países fuera del continente (Sánchez-Colín et al., 2001). Según la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA), México es el principal productor mundial de aguacate, registrando una producción anual de 644 mil t, seguido por Republica Dominicana con 387 mil t (SAGARPA, 2017). La producción promedio mundial del cultivo de aguacate es de 10 t/ha, mientras que para Costa Rica apenas se registran datos de producción de una tonelada de aguacate por ha (Ruiz, 2020).

En Costa Rica la producción de aguacate se centra en dos regiones, la primera corresponde a las plantaciones de altura, ubicada en la zona de Los Santos (León Cortes, Tarrazú y Dota), donde la principal actividad agrícola es el café, pero, hace más de 25 años se introdujo el cultivo de aguacate y actualmente se ha convertido en la segunda actividad más importante de la zona (Umaña, 2010). La otra zona, denominada de bajura, corresponde principalmente a los cantones de San Mateo, Esparza y Orotina; esta zona se caracteriza por producir variedades antillanas. La actividad aguacatera comprende aproximadamente 1800 ha, distribuidas en 800 pequeños y medianos productores (García, 2019).

El aguacate es un cultivo con muchas exigencias, puede llegar a sembrarse hasta los 2500 m.s.n.m., pero se recomienda sembrar entre 800 a los 2000 m.s.n.m. Los requerimientos climáticos y condiciones de suelo para el establecimiento del cultivo, van a depender de muchos factores como el lugar donde se establezca el cultivo y también de la variedad que se utilice (Miller, 2010). El árbol de aguacate entre mayor altitud menos precipitación requiere, la humedad ambiental debe ser menor al 65 % y la temperatura debe estar entre 20 a 30°C; con respecto a los requerimientos de suelo, el cultivo de aguacate se desarrolla en texturas de suelo francos arcillosos y limosos con buena profundidad y con un pH de 6 a 7,5 (Mora y Acuña, 2015).

2.1.1- Características botánicas

Es un árbol que en promedio puede llegar alcanzar hasta 20 metros de altura, sin embargo, en plantaciones comerciales, no se debe dejar crecer más de cinco metros, con el fin de facilitar el manejo (Pérez-Álvarez et al., 2019). Su tallo es leñoso con diámetros hasta de 80 cm en árboles grandes, presentan un sistema radicular superficial con profundidad de 1 a 1,5 m, tiene hojas simples con nervaduras enteras, sus flores son hermafroditas y su fruto es característico de una baya que posee pericarpio (Gutiérrez, 2014).

En términos genéticos, se ha estudiado el número de cromosomas en algunas especies, como *P. americana*, *P. nubigena*, *P. borbonia* y *P. longipes*, todas con $2n = 24$ cromosomas. Sin embargo, se han estudiado especies tetraploides y triploide (Cañas, 2018). Uno de los avances en el ámbito aguacatero se produjo a finales del siglo XIX, cuando se establecieron hibridaciones entre cultivares de la raza guatemalteca y germoplasma mexicano en California, así como entre germoplasma cubano en Florida de raza antillana y la raza guatemalteca (Pérez et al., 2015).

Por otro lado, Barrientos (2017), menciona que en el cultivo del aguacate se buscan múltiples características generales, como genéticas, botánicas, de un buen rendimiento y resistencia a plagas. Al seleccionar nuevas variedades, se busca asegurar su calidad, su buen comportamiento en postcosecha, su entrada temprana a la etapa productiva, su rendimiento y eficiencia productiva. También, se busca el tamaño y vigor del árbol, la forma del árbol, la época de producción, la ausencia de alternancia en la producción, la concentración de la producción, la tolerancia a temperaturas frías/cálidas, y la resistencia a plagas y enfermedades.

2.1.2- Variedades

En la actualidad se registran tres razas diferentes de aguacate a nivel mundial: la mexicana *Persea americana* var. *drymifolia*, la guatemalteca *P. americana* var. *guatemalensis* y la antillana *P. americana* var. *americana* (León et al., 2018). *Persea americana* var. *Drymifolia* es una especie mexicana, conocida comúnmente como variedad Hass, que ha crecido significativamente en producción en muchos países, y también han aumentado los volúmenes de exportación (Salazar-García et al., 2016). Esta variedad se reconoce por ser de piel rugosa, tiene sabor más suave y textura mantecosa, suele tener un tamaño mediado o pequeño (Ramírez, 2022). Para la maduración, el fruto se oscurece, pasando de verde a morado intenso, también tiene un manejo excelente en bodega con

una respuesta positiva al etileno, además, esta variedad tiene diferentes etapas fenológicas durante todo el año (Juri, 2010).

En Guatemala, la variedad predominante de aguacate es la *P. americana var. guatemalensis*. Esta variedad tiene un tamaño de fruto mediano a grande, con forma esférica y color verde opaco. El pedúnculo del fruto tiene forma de tronco de cono y su característica principal es su cáscara gruesa (Gómez, 2017). Por otro lado, las variedades antillanas *P. americana var. americana*, tienen el fruto de mayor tamaño y se caracterizan por su color rojizo; sin embargo, esta raza es más sensible al frío (Herrera, 2009).

2.1.3-Desarrollo del fruto

El cultivo de aguacate presenta un comportamiento fenológico distintivo (Figura 1). Las etapas de floración, formación y madurez del fruto, así como la brotación vegetativa y dormancia, se superponen, se acortan o se alargan debido a las condiciones climáticas, a las prácticas de manejo y a la variabilidad genética (Bartolí, 2008). Se caracteriza por tener un crecimiento rítmico con dos o más flujos de crecimiento vegetativo al año; los flujos reproductivos son aquellos brotes o crecimientos que dan lugar a la floración (Alcaraz et al., 2013).

Figura 1

Diagrama fenológico de flujos de crecimiento vegetativo, de floración y fructificación en árboles de aguacate cv. hass.



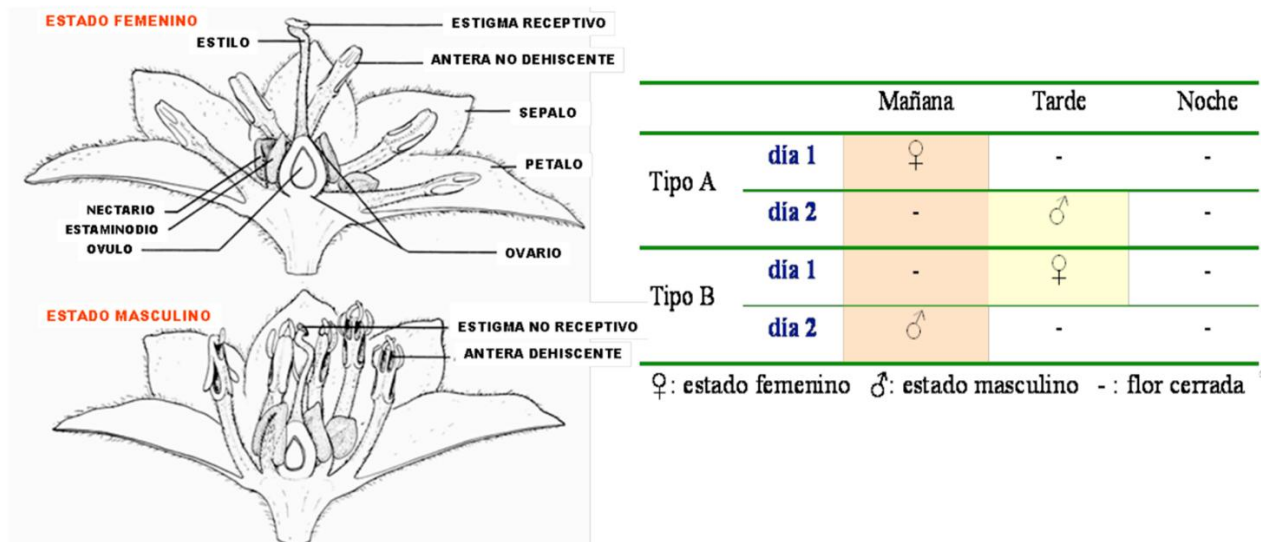
Nota. La imagen muestra el ciclo fenológico del aguacate cv. Hass, destacando las etapas clave de su desarrollo, desde la brotación hasta la producción de los frutos. De Díaz et al. (2017).

La floración es un proceso clave y delicado que ocurre de manera abundante y puede prolongarse en el tiempo según condiciones climáticas como la temperatura, la humedad relativa y la disponibilidad de luz (Figura 1). Altas temperaturas y baja humedad pueden afectar la viabilidad del polen y reducir la tasa de cuajado, en estas condiciones, menos del 1 % de las flores logran cuajar (Martín, 2023). Las flores del aguacate son hermafroditas y perfectas, se agrupan en inflorescencias

en panículas, ubicadas en la parte terminal o subterminal del último crecimiento vegetativo de las ramas. En aguacate, existen dos tipos de flores A y B (Figura 2), con funcionalidad floral no coincidente, de modo que cuando las flores del tipo A tienen el estigma receptivo las del tipo B están liberando polen y viceversa, lo que hace posible la polinización cruzada (Agüero, 2012).

Figura 2

Esquema de la flor de aguacate durante sus dos aperturas.



Nota. A) Estado femenino: con el estigma receptivo y estambres inclinados con anteras no dehiscentes. Estado masculino: con estigma no receptivo y estambres erectos con anteras dehiscentes. B) Comportamiento floral y solapes de los tipos A y B de aguacate. De Cabezas, (2003).

Tras la polinización y fecundación de la flor, el ovario comienza a crecer, marcando el inicio del cuaje del fruto. Esta etapa implica cambios como la marchitez y caída de los órganos de la flor relacionados con la polinización, la expansión del ovario para albergar las semillas y la persistencia del fruto en desarrollo. El proceso de formación del fruto por medio del cuaje involucra un conjunto de procesos hasta que el pedúnculo del fruto se vaya engrosando (Alcaraz y Hormaza, 2021) (Tabla 1).

Tabla 1

Etapas de floración y fructificación al año según sea la variedad de aguacate Hass.

Variedad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
	Floración Normal						Floración Loca					

Nota. En la figura se puede apreciar las etapas de floración y fructificación de acuerdo con los meses del año. Elaborado a partir de Bartolí (2018).

2.1.4-Enfermedades y plagas

Las enfermedades en el cultivo de aguacate son muy comunes, así como en otros cultivos (Soto y Leonel, 2013). Dos de las enfermedades más comunes son la marchitez causada por los patógenos *Phytophthora cinnamomi* y *Phytophthora citricola*. Estas enfermedades afectan el follaje de los árboles de aguacate y uno de los primeros signos es la aparición de coloraciones amarillentas en el follaje y frutos, donde el grado de severidad da el grado de defoliación y la reducción de brotes, pudiendo llegar a ocasionar la muerte del árbol (Téliz, 2007).

El aguacate es un fruto muy valorado por su alta aceptación y sus propiedades nutricionales, convirtiéndose en uno de los productos alimenticios diarios para el ser humano. Por lo tanto, los productores tienen la responsabilidad de tomar decisiones adecuadas para el manejo de plagas. Las plagas son de gran importancia económica en el cultivo de aguacate, ya que la mayoría afecta el rendimiento y la calidad del fruto (Vivas-Carmona, 2017).

Entre las principales plagas que atacan al aguacate se encuentran los insectos chupadores de hojas, como trips, cochinillas y pulgones, así como los ácaros. Además, los barrenadores de troncos y ramas, así como los perforadores de frutos y semillas cuyo impacto económico es aún mayor (Londoño, 2008).

Con respecto a los trips, existen dos géneros principales que atacan la planta de aguacate: *Frankliniella* y *Scirtothrips* (Rengifo-Mejía, 2021). Estos insectos causan daños significativos a los brotes reproductivos, lo que afecta la fecundación, y en los frutos provocan deformaciones que perjudican la calidad de estos. Esta plaga puede llegar a afectar más del 25 % de la fruta y las lesiones que causa pueden ser la entrada de nuevos patógenos. Es importante tomar medidas de manejo para prevenir la propagación de esta plaga y asegurar una buena producción de aguacate (González et al., 2017).

2.2-Trips

Los trips son insectos de cuerpo pequeño, alargado y cilíndrico. La coloración es variable y tienen cuatro alas, presentan aparato bucal de tipo picador, las antenas están formadas por seis o nueve artejos y este tipo de plaga está distribuida en todos los continentes, desde las regiones templadas a las regiones tropicales (Goldarazena, 2015).

2.2.1-Clasificación taxonómica

Los trips que afectan al cultivo de aguacate pertenecen al Phylum Arthropoda y al Orden Thysanoptera (Villalobos, 2015). Actualmente el orden Thysanoptera tiene descritas 5000 especies, las cuales están distribuidas en ocho familias, donde las familias Thripidae y Phlaeothripidae conforman el 93 % de estas especies descritas (Calixto, 2002).

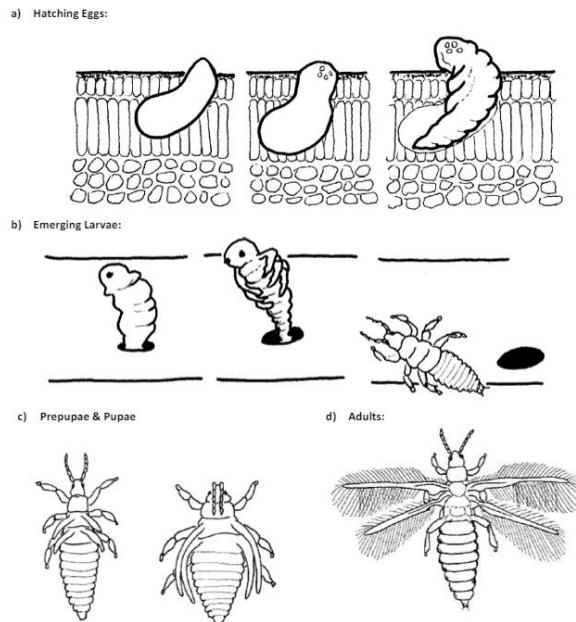
2.2.2-Ciclo de vida

Según Juárez (2018), los trips presentan metamorfosis completa, su ciclo dura alrededor de tres semanas, pero varía de acuerdo con las condiciones ambientales como temperatura, humedad. Los trips son difíciles de ver a simple vista; los adultos en promedio miden 0,5- 1,5 mm.

En todo el ciclo de esta plaga ocurren variaciones en la longitud de cada estadio, en general el proceso tiene varias etapas: huevo, ninfa, prepupa, pupa y adultos. El ciclo inicia con las hembras cuando depositan huevos directamente del tejido hospedero, las larvas emergen y se alimentan de la planta, esta larva pasa por 2 mudas y entra al estadio de prepupa, donde dura 1 día y los brotes de las alas se desarrollan. Luego la pupa inmóvil se forma con las antenas dobladas y los adultos emergen de la pupa después de 2-3 días (Figura 3) (López, 2020).

Figura 3

Ciclo de vida de trips desde la eclosión del huevo hasta adulto.



Nota. A) Desarrollo del huevo en el tejido hospedero, b) proceso de emergencia de la larva en la planta hospedera, c) estadio de prepupa y pupa, d) adulto. De Molinatti (2016).

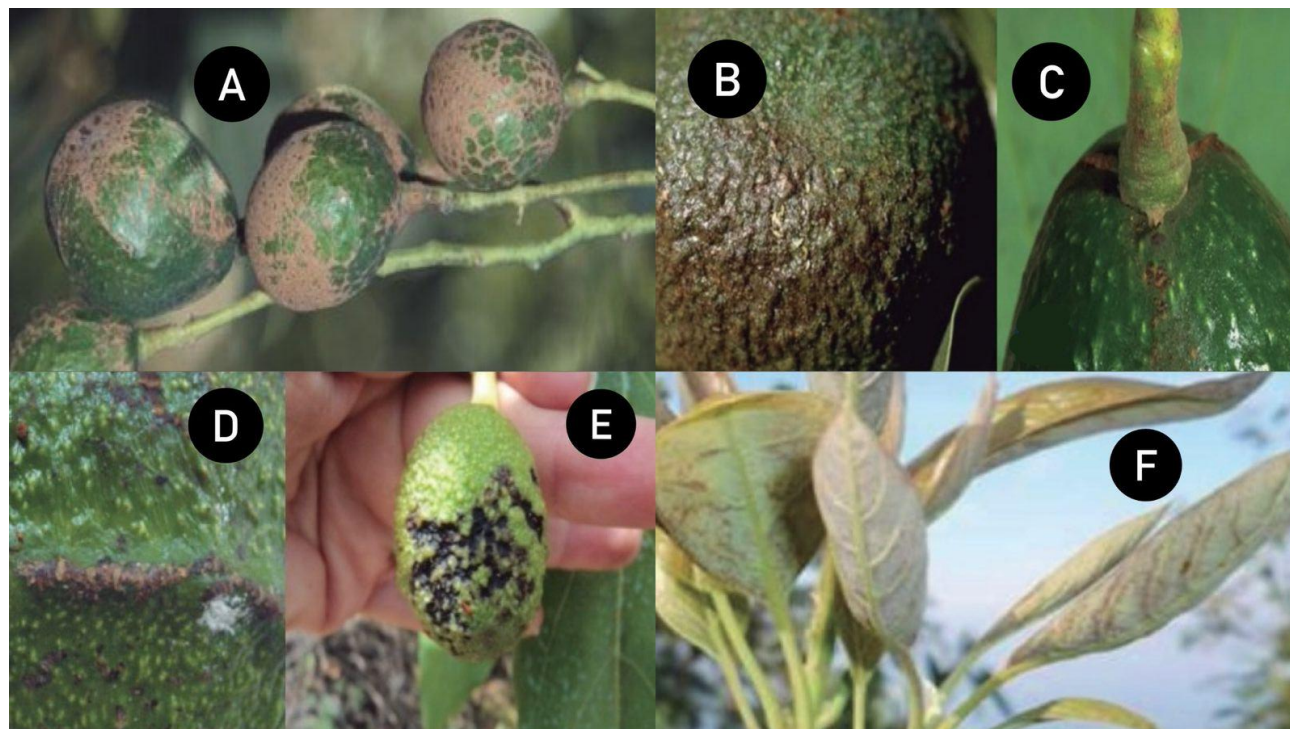
2.2.3-Lesiones

Los trips ocasionan lesiones en hojas y frutos de aguacate como resultado de la alimentación (Figura 4), al tener un aparato bucal de tipo raspador-chupador, estos insectos raspan las células y luego chupan los líquidos de la capa superior (Sela, 2020). Maldonado et al., (2017), mencionan que estos insectos en los frutos llegan a causar lesiones como cicatrices, marcas y provocar alteraciones en la cáscara de frutos recién formados y a su vez estos insectos reducen la fecundación de flores y provoca la caída.

También provocan lesiones en las hojas, creando áreas pálidas o cafés debido a la alimentación en las capas de las células de la epidermis y a su vez originan puntos de entradas a otros patógenos. Todos estos daños provocados por los trips tanto en frutos como en hojas en el cultivo de aguacate ocasionan desvalorización del producto en el mercado, lo que en muchos casos se traducen a grandes pérdidas económicas (González et al., 2020).

Figura 4

Daños en cultivo de aguacate provocado por trips.



Nota. A) patrón de lesiones severas en el pericarpio, B) decoloración marrón o amarillo pálido en el fruto, C) cicatrización por alimentación de trips, D) Crestas, E) manchas necróticas y F) afectación en follaje. Tomado de Solís, (2016).

2.2.4-Manejo de trips

Para el manejo de esta plaga hay muchas alternativas, sin embargo, no todas son eficientes, el manejo químico es uno de los más utilizados para la disminución de estos insectos, pero es nocivo para la salud humana y puede llevar a provocar resistencia y perjudicar los insectos polinizadores (Jaramillo, 2018).

Monitoreo

Según Londoño (2015), se recomienda muestrear en época de floración y realizar el muestreo cada 15 días. Se muestrean flores y hojas mediante golpeteo en una superficie blanda y verificando la presencia de trips. También se muestrean frutos y el tamaño de la muestra debe de ser 100 frutos por ha y revisar la afectación que estos presentan.

Manejo biológico

Es el uso de organismos vivos para suprimir una plaga y busca mitigar los efectos nocivos, reducir o reemplazar el uso de plaguicidas e integra estrategias compatibles y sinérgicas para el manejo de plagas (Cotes, 2018). Se han identificado géneros de insectos que pueden depredar trips; especies como *Orius* spp. (Hemíptero), se han utilizado para manejar trips y poblaciones de araña roja y mosca blanca (Mula, 2012).

Manejo químico

Aunque el manejo químico es el método más comúnmente utilizado para el manejo trips, también es el más perjudicial y a menudo menos eficaz. En el caso del cultivo de aguacate, donde la flor es hermafrodita y la polinización es esencial, el uso de pesticidas causa la pérdida del hábitat de los insectos y afecta a varios tipos de polinizadores, lo que representa una gran problemática para el ecosistema (Carabalí et al., 2017).

Actualmente, en Costa Rica no hay productos químicos registrados para el manejo de trips en aguacate para los géneros *Scirtothrips* o *Frankliniella*, sin embargo, los productos que más se utilizan son los que contienen el ingrediente activo (i.a.) spinetoram. Por ejemplo, el Solaris™ 6 SC es un insecticida que actúa por contacto e ingestión, una vez que su i.a. (spinetoram) entra en contacto con el insecto, éste deja inmediatamente de alimentarse y muere en pocas horas (Corteva, 2023).

2.3-Bioplaguicidas

Son derivados de materiales naturales como animales, plantas, microorganismo y minerales. Además, se caracterizan por ser altamente específicos contra plagas y generalmente no ocasionan ningún riesgo para el ser humano (Nava et al., 2012). Existen muchos tipos de bioplaguicidas entre ellos se encuentran los pesticidas microbianos, bioquímicos, feromonas de insectos, extractos a base de plantas y aceites esenciales, reguladores de crecimiento de insectos y productos de OGM (organismos genéticamente modificados) (Kumar et al., 2021).

Algunos de los bioplaguicidas que existen son pesticidas microbianos como, por ejemplo: *Phthorimaea operculella* granulovirus o PhopGV, bacterias *Bacillus thuringiensis* var. *Tenebrionis*, hongos *Beauveria bassiana*, botánicos azadiractina y bioquímicos como abamectina (Sporleder & Lacey, 2013).

En la actualidad los biopesticidas cubren aproximadamente el 2% de los protectores de plantas, estos productos son una excelente alternativa a los plaguicidas. Muchos de ellos se basan en plantas

disponibles como beshram, neem, ajo, tripala, pinos, kesia y muchas otras que pueden procesarse fácilmente (Kumar y Singh, 2015).

En la agricultura, hay muchos productos naturales que se utilizan para el manejo de plagas, por ejemplo, la celulosa, la quitina, el quitosano y el aceite de neem son utilizados como alternativas naturales. El quitosano presenta propiedades antimicrobianas contra bacterias y hongos al inhibir la germinación de esporas y desestabilizar membranas celulares (Pérez, 2010). Por otro lado, el aceite de neem tiene propiedades insecticidas de amplio espectro y actúa como repelente debido a la azadiractina, su principal i.a., además de afectar el equilibrio hormonal de los insectos en etapas juveniles (Navarro, 2014).

2.3.1-Quitina y quitosano

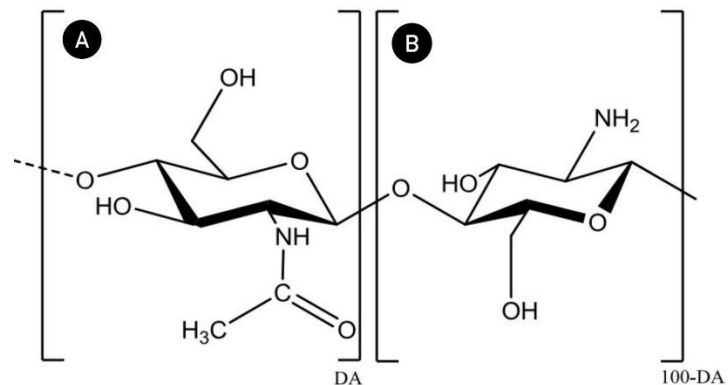
Según Sierra et al. (2013), después de la celulosa, la quitina y el quitosano son los biopolímeros más abundantes, presentes en hongos, insectos y algas. Tanto la quitina como el quitosano son ampliamente utilizados en muchos sectores como el alimentario, químico, biotecnológico, agrícola y veterinario, además de la medicina. Ambos biopolímeros se consideran una alternativa a los bactericidas y fungicidas químicos debido a su bajo riesgo al ser humano (Monter et al., 2016).

Estos biopolímeros poseen propiedades como la biodegradabilidad y biocompatibilidad, además de ser recursos renovables y abundantes (Mármol et al., 2012). La quitina es insoluble en la mayoría de los disolventes y requiere disolventes específicos para su disolución debido a su estructura molecular, y por el contrario, el quitosano es insoluble en disolventes orgánicos puros, pero soluble en ácidos acuosos, gracias a los grupos amino libres que presenta.

También, el quitosano presenta diversas alomorfos según su preparación, grado de acetilación y depolimerización, manteniendo un solo pico característico de la quitina debido a la reducción de puentes de hidrógeno, lo que lo hace menos estable estructuralmente (Figura 5) (Pacheco, 2013).

Figura 5

Estructuras químicas de biopolímeros quitina y quitosano.



Nota. A) Estructura química de la quitina, B) estructura del quitosano. De Pacheco, (2013).

2.3.2-Nanoquitina

La nanoquitina es una forma a nanoescala de la quitina, compuesta por nanofibrillas semicristalinas altamente orientadas, con nanocristales incrustados en una matriz amorfa (Susana et al., 2021). Estas estructuras jerárquicas, conocidas como mesoestructuras, mantienen la reactividad química y biológica de la quitina original, diferenciándose del quitosano, que es una forma desacetilada y soluble de la quitina.

La nanoquitina ofrece un gran potencial para el desarrollo de nuevos materiales de ingeniería, gracias a su estructura única y adaptabilidad química, lo que permite optimizar su rendimiento en diversas aplicaciones. Su estudio busca crear alternativas más sostenibles y eficaces en comparación con los métodos tradicionales de procesamiento de la quitina, reduciendo residuos y mejorando las perspectivas medioambientales (Bai et al., 2022).

2.3.3-Neem

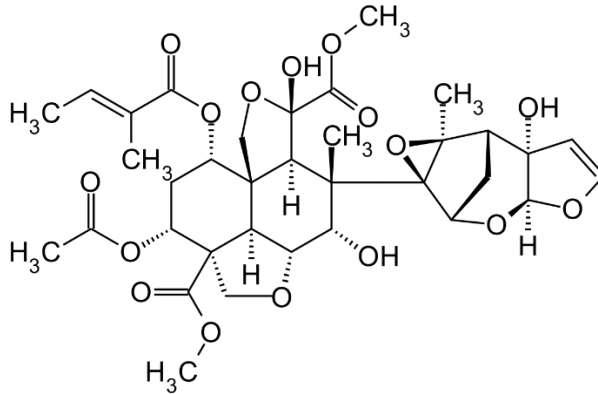
El neem es un árbol originario de la India, de hoja perenne, de la familia Meliaceae, se caracteriza por tener importantes fitoconstituyentes, y se ha implementado con éxito en el manejo de plagas agrícolas (Ghosh et al., 2021). El aceite de neem constituye un excelente insecticida natural para controlar larvas, rompiendo los ciclos reproductivos y no dejando que las larvas de trips se desarrollen y lleguen a su estado adulto (Guerra, 2021).

El neem tiene acción para manejar plagas, sus propiedades de repelencia ayudan a la inhibición del apetito, la ovoposición, el crecimiento, la reproducción y la esterilización (Hernández y Torrentes,

2020). Los compuestos que posee el neem son terpénicos, ácidos grasos, aceite esencial, azadiractina (Figura 6), nimbina. Además, presenta propiedades purgantes, antivirales, antiparasitarias, antimicrobiales, por lo cual, es utilizado en la salud, agricultura y la industria (Arriola, 2013).

Figura 6

Estructura química de la azadiractina.



Nota. De Angulo et al. (2022).

Estudios realizados por Wylie y Merrell (2022), han demostrado que el neem, además de sus propiedades antibacterianas contra diversos patógenos, contiene azadiractina, una sustancia activa con amplio espectro insecticida. La azadiractina ha mostrado eficacia a dosis tan bajas como 10 ppm contra más de 220 especies de insectos plaga pertenecientes a los órdenes Blattodea, Caelifera, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Ensifera, Hemiptera, Isoptera, Lepidoptera, Phasmida, Phthiraptera, Siphonaptera y Thysanoptera (Nodo, 2022).

Este compuesto actúa principalmente como inhibidor del apetito, del desarrollo y de la oviposición, además de tener un efecto repelente. Su mecanismo de acción afecta el ciclo vital de las plagas interfiriendo en los procesos hormonales, como la ecdisona, alterando el metabolismo proteico de los insectos inmaduros y afectando los quimiorreceptores, lo que resulta en una inhibición del apetito (Junquera, 2022).

A diferencia de los insecticidas convencionales, la azadiractina no mata directamente a los parásitos, sino que interrumpe su ciclo vital, lo que reduce gradualmente la población de plagas. Además, los bioplaguicidas a base de neem han sido evaluados en cultivos como la caña de azúcar para el manejo de *Perkinsiella saccharicida* Kirkaldy (Hem: Delphacidae), demostrando ser altamente específicos y seguros para los organismos benéficos, las personas y el medio ambiente (Morán, 2017).

2.4-Emulsiones

Una emulsión es un sistema opaco, heterogéneo, de dos fases líquidas inmiscibles entre sí (agua y aceite), donde una de las fases es dispersada en la otra como gotas de tamaño coloidal o microscópico (usualmente de alrededor de 1 μm). Al líquido dispersado se le llama fase dispersa y al dispersante, fase continua. Existen dos tipos de emulsiones simples, aceite en agua (O/W) y agua en aceite (W/O), dependiendo de cuál de las dos fases contiene las gotas (Vincent et al., 1998).

Las emulsiones hechas por medio de la agitación de dos líquidos inmiscibles puros son muy inestables y rápidamente se rompen en sus fases separadas nuevamente. Las emulsiones pueden ser estabilizadas con la adición de un material o componente que protege de la recoalescencia a las nuevas gotas formadas. Un emulsionante o emulsificante es una molécula de bajo peso molecular que facilita la formación de la emulsión y ayuda a establecer la estabilización adecuada (Vincent et al., 1998).

Entre las aplicaciones de las emulsiones se destacan su uso en la industria alimentaria y farmacéutica. Esto se debe a la escasa solubilidad en agua y/o baja permeabilidad de compuestos nutraceuticos y farmacéuticos como la curcumina (Shaht et al., 2016), la hesperidina (Dammak y Sobral, 2017), el resveratrol (Matos et al., 2018) y la anfotericina B (Richter et al., 2018), entre otros. Esta estrategia permite, no solo el aislamiento de moléculas bioactivas de interés del entorno que las rodea, sino también facilita la solubilidad y biodisponibilidad de las sustancias emulsificadas. Asimismo, contribuye a la mejora del empaquetado, transporte y comercialización de dichas sustancias (Pino y Araguez, 2021).

Entre los componentes convencionales utilizados como emulsificantes se encuentran tensoactivos sintéticos, polímeros y nanopartículas. Algunos ejemplos de materiales poliméricos que se utilizan son: quitosano, alginato de sodio, pectinas, ciclodextrinas, grasas, aceites y muchos otros materiales que se utilizan (Ortiz-Romero et al., 2021).

En particular, el quitosano se obtiene mediante la desacetilación alcalina de la quitina, y presenta una amplia variedad de propiedades biológicas, tales como biodegradabilidad, biocompatibilidad, baja toxicidad, actividad antimicrobiana de amplio espectro y capacidad para formar películas y emulsiones. Debido a estas características, el quitosano es un material atractivo para aplicaciones en biotecnología e industria (Espinosa et al., 2020).

El quitosano es utilizado para la estabilización de emulsiones, según Pérez et al. (2017), el quitosano ha mostrado tener mejor estabilidad en cuanto al comportamiento del pH, fuerza iónica y

en procesos de estrés térmico. Se han realizado números estudios en emulsiones O/W donde demuestran que el quitosano es un excelente agente de coagulación/floculación (C/F) que permite la separación del del efluente en una fase acuosa clarificada y otra fase oleosa que sedimenta (Pérez et al., 2020). La funcionalidad del quitosano, la incorporación de aceites esenciales de canela, naranja, limón recubiertos a base de quitosano son efectivos para prolongar la vida en anaquel de muchos cultivos como, por ejemplo, las fresas (Anaya et al., 2020).

3-SECCIÓN EXPERIMENTAL

3.1-Ubicación del estudio

La formulación de las emulsiones se elaboró en el Laboratorio de Investigación y Tecnología de Polímeros (POLIUNA) de la Escuela de Química de la Universidad Nacional (UNA), ubicado en el Campus Omar Dengo, Heredia. Durante el proceso, se contó con la colaboración de otras entidades de la Universidad Nacional, como el Laboratorio de Control Biológico de la ECA, el Laboratorio de Física y el Laboratorio de Fitoquímica (LAFIT). Además, se contó con la colaboración de la empresa privada INBOX Technology LATAM de Costa Rica.

3.1.1-Fase de campo

Las pruebas de campo se realizaron en una finca dedicada a la producción de café en asociación con aguacate Hass, ubicada en San José de la Montaña, cantón de Barva, Heredia, propiedad de la señora Felicia Ruíz. La finca abarca aproximadamente 6 ha y está dividida en 4 secciones, de las cuales solo 2 están plantadas con café en asociación con aguacate, mientras que las otras se mantienen solo con café. Los árboles de aguacate tienen cuatro años y se encuentran a una altitud media de entre 1438 y 1530 m s.n.m (10°5'21.89" N, 84°6'29.65" W).

3.1.2-Reactivos

El aceite vegetal de neem se obtuvo de la empresa Neem Botánica de Costa Rica. La nanaocelulosa y la nanoquitina fueron suministrados por el Laboratorio POLIUNA. Para la fase de campo, se emplearon trampas pegajosas de color azul, adquiridas en la empresa Chemtica Internacional S.A., Heredia. El insecticida utilizado como testigo fue el Solaris, que actúa por contacto e ingestión: la sustancia activa, spinetoram, al entrar en contacto con el insecto, lo hace dejar de alimentarse y finalmente morir. El cual, se adquirió en Coopelibertad, Heredia.

3.1.3- Determinación de la concentración de azadiractina

Para determinar la concentración de azadiractina presente en los aceites utilizados en este estudio y verificar su presencia, se emplearon técnicas de espectrofotometría ultravioleta y cromatografía de capa fina (TLC, por sus siglas en inglés). La TLC es una técnica que permite separar mezclas de compuestos con base en sus diferencias de polaridad (Quiroga, 2013).

El análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Fitoquímica (LAFIT), utilizando Cromatografía de Capa Fina de Alto Rendimiento (HPTLC, por sus siglas en inglés). Para ello, se empleó un equipo marca CAMAG®, que incluyó un muestreador automático ATS4, una cámara de desarrollo manual y un sistema de visualización y digitalización TLC Visualizer 3. El procesamiento de datos se realizó mediante el software VisionCATS.

Las placas utilizadas fueron de gel de sílice con revelador de fluorescencia a 254 nm. Las muestras y los estándares se aplicaron en volúmenes que oscilaron entre 4 μ L y 20 μ L, previamente disueltos en metanol. La longitud de onda seleccionada para la visualización y cuantificación fue de 366 nm. La azadiractina presente en la muestra fue contrastada con un estándar analítico, verificándose tanto la absorbancia como el valor de la relación frontal (Rf).

Para homogenizar la muestra, se vertieron todos los aceites disponibles en un solo recipiente. Posteriormente, se colocó una pequeña cantidad de la muestra sobre una placa de vidrio recubierta con fase estacionaria, aplicándola por goteo. La placa se introdujo en una cámara de desarrollo con la fase móvil (solvente), permitiendo la ascensión del líquido por capilaridad. La velocidad de desplazamiento de cada compuesto dependió de su afinidad relativa con la fase estacionaria y la fase móvil.

3.2-Formulación de las emulsiones

3.2.1-Formulación de emulsiones Pickering empleando nanocelulosa y nanoquitina como estabilizantes

La metodología para la formulación de una emulsión Pickering se basó en la reportada por Liu et al. (2023). Se utilizó nanocelulosa de piña y nanoquitina de camarón al 1 %, las cuales fueron diluidas en agua destilada a diferentes concentraciones (0,5 %, 0,25 %, 0,1 % m). Estas diluciones se mezclaron con diferentes porcentajes de aceite de neem (0,9, 0,6 y 0,3 %) en presencia de un Ultra-

Turrax (IKA T-25). De manera similar, fueron formuladas las emulsiones en presencia de nanoquitina. Adicionalmente, otras concentraciones de nanoquitina fueron empleadas. En total, se prepararon 9 emulsiones variando las concentraciones de nanofibras (nanocelulosa y nanoquitina) y aceite de neem.

3.3-Caracterización estructural de las emulsiones formuladas.

3.3.1-Determinación del índice de cremado

Se realizaron pruebas preliminares de estabilidad en las emulsiones ya elaboradas para la determinación del índice de cremado. El fenómeno de cremado o “creaming” consiste en la separación de las fases acuosa y oleosa, monitoreando el volumen despejado en función del tiempo (Celis et al., 2009).

Se evaluaron un total de nueve emulsiones durante un mes completo, realizando mediciones a los 4, 8, 15 y 30 días. Las emulsiones se mantuvieron en una cámara de flujo en reposo y temperatura ambiente, y se midieron cuidadosamente con una regla.

3.3.2-Determinación del tamaño de partículas de las emulsiones.

Se utilizó un analizador de tamaño de partículas por difracción láser, Mastersizer 3000Lab de la empresa INBOX Technology LATAM de Costa Rica. Este equipo utiliza una celda a través de la cual se hace pasar la muestra por dispersión húmeda, mientras un láser mide el tamaño de las partículas conforme pasan por la celda. Se siguió el modelo de análisis general para partículas con formas irregulares con un cálculo de sensibilidad normal aplicando el software Mastersizer 3000.

El procedimiento consistió en tomar una muestra de 2 ml de las emulsiones previamente preparadas en el laboratorio para su aplicación en campo y depositar tres gotas en la unidad de dispersión del Mastersizer. El proceso en la unidad de dispersión tomó entre tres y cinco minutos, durante los cuales la muestra pasó por la celda y empezó a medir el tamaño de las partículas de la emulsión.

Para observar y medir el tamaño de la dispersión, se utilizó un microscopio binocular con cámara integrada marca Leica DM1000 Led flex cam c3. Dicho procedimiento se llevó a cabo en el Laboratorio de Control Biológico de la ECA.

Para el procedimiento, se preparó una pequeña muestra de 2 ml de volumen total, utilizando las mismas condiciones de elaboración que las emulsiones preparadas para aplicar en campo, pero en este caso se prepararon para poder observarlas el mismo día. Se tomó una gota de cada emulsión y se

colocó en un portaobjetos para posteriormente observar en el microscopio la distribución de las partículas en la muestra. Las emulsiones se observaron a 10x y 40x de aumento.

3.4-Efecto insecticida de las formulaciones en campo.

Para las pruebas de campo, se preparó 1.5 L de una emulsión conteniendo nanoquitina como estabilizante en agua y aceite neem como fase oleosa. Por un lado, se preparó una solución de nanoquitina al 0.04 %, diluyendo 400 gramos de nanoquitina a una concentración de 0.5 % previamente elaborada en 4.6 litros de agua destilada, obteniendo un volumen total de 5 litros de solución. Esta muestra fue sometida a un proceso de microfluidización, realizando dos pasadas a través del microfluidizador dentro de un rango de presión entre 7000 y 10,000 psi para homogeneizar las partículas.

Una vez obtenida la nanoquitina microfluidizada, se procedió a la formulación de emulsiones con concentraciones de aceite de neem al 1 %, 3 % y 5 % m. El volumen final de cada emulsión fue de 1.5 litros por tratamiento. El porcentaje de aceite de neem (1 %, 3 % y 5 % m) se calculó en relación con la masa total de la emulsión. El volumen restante hasta completar los 1.5 litros se completó con la solución de nanoquitina al 0.04 %.

3.4.1-Distribución de los tratamientos

El área de estudio abarcó un total de 2706.6 m², donde se encuentran aproximadamente 40 árboles de aguacate distribuidos en 10 calles, con 4 árboles en cada calle. Para el ensayo, se seleccionaron 20 árboles en total. La selección de los árboles y la asignación de tratamientos se realizaron de manera aleatoria. Los tratamientos fueron identificados por 4 colores diferentes y los porcentajes de productos a aplicar se detallan en la Tabla 3.

Para las aplicaciones, se evaluaron tres formulaciones distintas que contenían diferentes porcentajes de aceite de neem. Estas formulaciones se compararon con un testigo, el producto químico llamado Solaris 6 SC (spinetoram 6%).

Tabla 2

Tratamientos y dosis utilizadas en las aplicaciones en la plantación de aguacate.

Tratamiento	Color	Producto	Cantidad de azadiractina	Volumen Total (ml)	Dosis por Árbol
--------------------	--------------	-----------------	---------------------------------	---------------------------	------------------------

T1	Azul	5 % aceite de neem + Nanoquitina	5524,36 mg	1500 ml	300 ml
T2	Gris	3 % aceite de neem + Nanoquitina	3349,35 mg	1500 ml	300 ml
T3	Verde	1 % aceite de neem + Nanoquitina	1104,045 mg	1500 ml	300 ml
T4	Negro	1,5 ml Químico (Solaris)	—	1500 ml	300 ml

Se seleccionó spinetoram 6% como tratamiento testigo debido a que es el ingrediente activo más utilizado en las zonas productoras de aguacate en nuestro país. Aunque este producto no está específicamente autorizado para el manejo de trips en aguacate, su uso es generalizado en la región. Por esta razón, se empleó como referencia para comparar con el manejo convencional aplicado en los cultivos.

Por otro lado, no se incluyó un tratamiento sin control absoluto, ya que el ensayo se realizó en una finca comercial con un programa establecido para el manejo de trips. La administración de la finca no autorizó la exclusión total del control de la plaga, pues esto habría comprometido la producción y generado más pérdidas en la cosecha.

3.4.2-Dosificación y frecuencia de aplicación de tratamientos

La aplicación de los tratamientos se realizó con una bomba de espalda marca Protecno, con una capacidad de 17 litros y una boquilla 0,2 mm. Cada tratamiento se preparó en un volumen de 1,5 litros y se aplicó puro, sin dilución en agua. Se aplicaron 300 ml por árbol, lo que equivalía aproximadamente a 20 segundos de descarga de la boquilla, asegurando cubrir todo el árbol por completo con el producto (Figura 7).

Figura 7

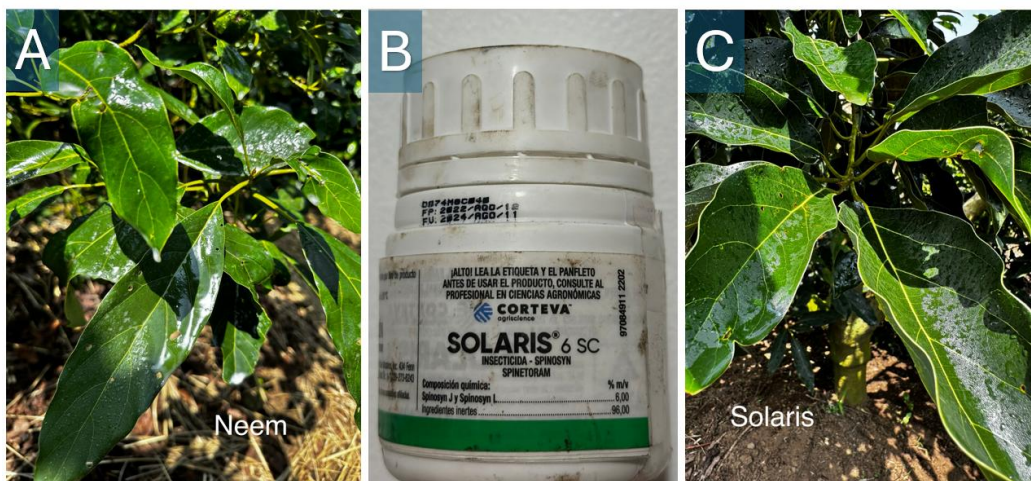
Aplicación de los tratamientos en campo con bomba de espalda Protecno.



Las aplicaciones se realizaron en orden de menor a mayor porcentaje de aceite de neem para no alterar las formulaciones, y por último se aplicó el producto químico, el cual se preparó diluyendo 1,25 ml en 1,5 litros de agua (Figura 8). La frecuencia de aplicación fue de una vez al mes, y en total se realizaron tres aplicaciones. Estas se llevaron a cabo en horas de la mañana y siempre en condiciones de clima soleado.

Figura 8

Productos utilizados en tratamientos de campo para manejar trips



Nota. A) Formulación de neem + nanoquitina, B) producto químico aplicado en campo, C) T4 tratamiento químico.

3.4.3-Variable de respuesta

Poblaciones de trips

Para el muestreo de las poblaciones de trips, se empleó el método de trampas pegajosas de color azul. Se colocaron estructuras metálicas de dos metros de altura, sobre las cuales se fijaron láminas de 12 x 10 cm recubiertas con pegamento (Figura 9). Se colocaron un total de 20 trampas, una por cada árbol, y estas se recolectaron y reemplazaron cada 15 días. Para la recolección, se utilizaron bolsas de polipropileno de 7 x 11 pulgadas, identificadas con la muestra y la fecha de recolección. El sistema de trampeo se activó un mes antes de iniciar las aplicaciones, con el fin de obtener dos conteos base del estado de la población.

Figura 9

Método de trampeo empleado en el ensayo para manejar trips en aguacate.



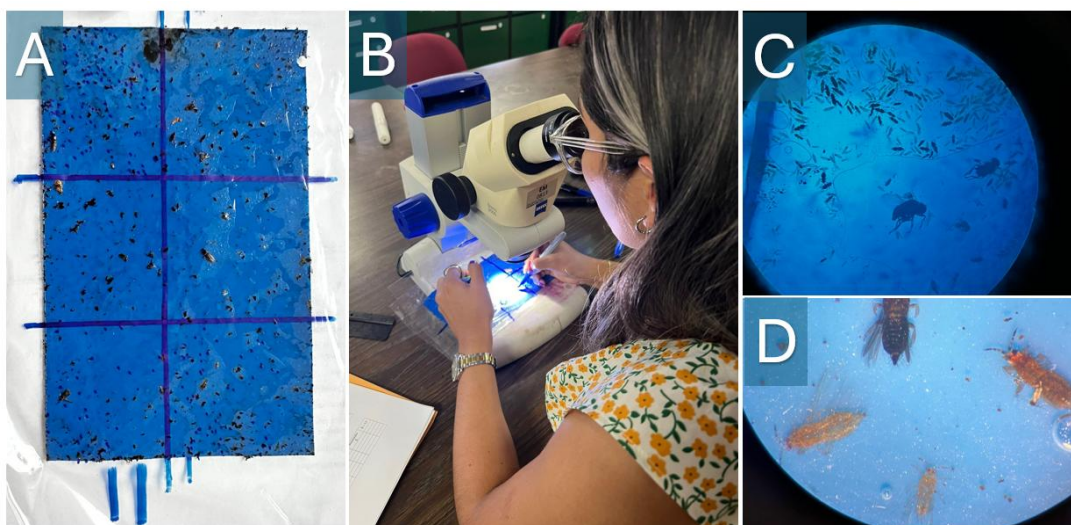
Nota. Representación de trampas y tratamientos al azar, A) T3 color verde + trampa, B) Colocación de trampas pegajosas en las estructuras metálicas, C) T1 color azul + trampa.

Posteriormente, las trampas pegajosas se analizaron en el Laboratorio de Entomología Agrícola de la ECA, UNA. Para procesar las trampas, se dividieron en seis cuadros iguales por ambos lados utilizando una regla. Luego, se seleccionaron al azar tres de esos cuadros por cada lado de la

trampa para un total de 6 con un dado y se procedió a contar la totalidad de trips, tanto larvas como adultos, en cada cuadro, registrando los datos en la bitácora. El promedio por cuadro se calculó usando la información de ambas caras de la trampa, y luego este promedio se multiplicó por el total de cuadros para obtener un total aproximado por lámina (Figura 10).

Figura 10

Método de conteo de trampas para la población de trips en el laboratorio.



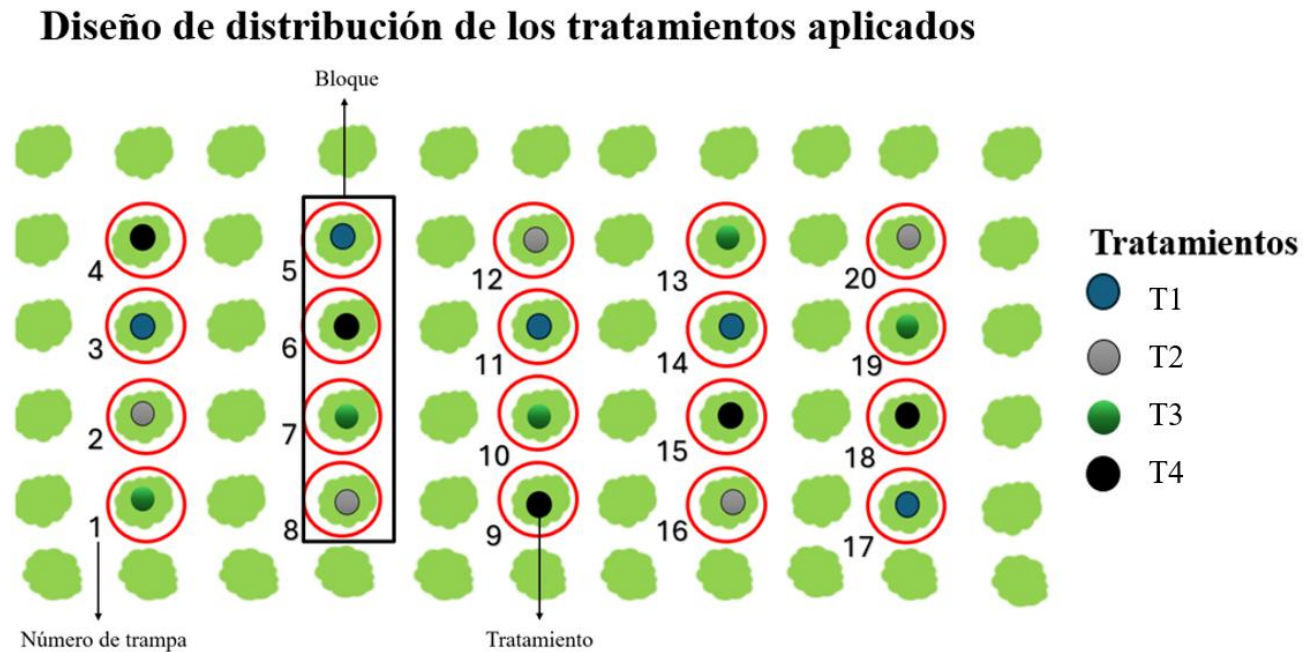
Nota. Conteo poblacional de trips, A) División de las trampas, B) Conteo en estereoscopio en laboratorio, C) Visión del lente de estereoscopio a bajo aumento, D) Representación a alto aumento de cómo se ven los trips en estereoscopio.

3.4.4-Diseño estadístico

Se implementó un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, lo que totalizó 20 unidades experimentales, cada una representada por un árbol de aguacate. La selección de los árboles para el ensayo se realizó dejando una calle de borde y alternando calles entre tratamientos, como se muestra en la (Figura 11). La distribución de los tratamientos fue aleatorizada, aplicándose cada uno en una calle distinta dentro de cada repetición. La estructura experimental fue bifactorial con interacción, donde el primer factor incluyó los cuatro tratamientos y el segundo factor correspondió a las fechas de evaluación.

Figura 11

Distribución de los tratamientos aplicados en el ensayo de trips en campo en árboles de aguacate.



3.4.5-Análisis estadístico

Se realizó un análisis exploratorio de la variable conteo de trips tomando las medidas de resumen más importantes, así como su representación gráfica utilizando el programa R (R Core Team, 2024).

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre la variable de respuesta estudiada (Abundancia), se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con medidas repetidas en el tiempo bajo la teoría de los modelos lineales mixtos. El modelo lineal para el experimento bifactorial fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$\text{con: } i = 1 \dots 4 \quad j = 1 \dots 7, \quad k = 1 \dots 5$$

Con

Y_{ijk} : variable de respuesta del i -ésimo tratamiento, j -ésimo fecha de evaluación y la k -ésima repetición.

μ : media general

α_i : efecto de la i -ésimo tratamiento.

γ_j : efecto de la j -ésimo fecha de evaluación

δ_{ij} : efecto adicional (interacción) para la combinación de los niveles i del tratamiento y j fecha de evaluación.

ε_{ijk} : término de error que se distribuye normal independiente con media cero y varianza constante.

Se comprobó los supuestos del ANOVA con gráficos diagnósticos (cuantiles de los términos de error, gráficos de residuos y gráficos de residuos vs. predichos) y se escogió el mejor modelo en función de los criterios de Akaike (AIC) y de información Bayesiano (BIC). En las variables donde existan diferencias estadísticas entre los tratamientos, se realizó las comparaciones de medias por medio de la prueba de Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ($p \leq 0.05$) permitiendo la formación de grupos excluyentes y no transición entre tratamientos.

4-RESULTADOS

4.1- Determinación de la concentración de azadiractina

La concentración de azadiractina presente en el aceite de neem se determinó por medio de la técnica TLC basado en espectrofotometría ultravioleta y cromatografía de capa fina (TLC) empleando la metodología descrita por (Quiroga, 2013). Se determinó que la muestra contiene 82.7 mg Az/g de aceite. El análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Fitoquímica (LAFIT).

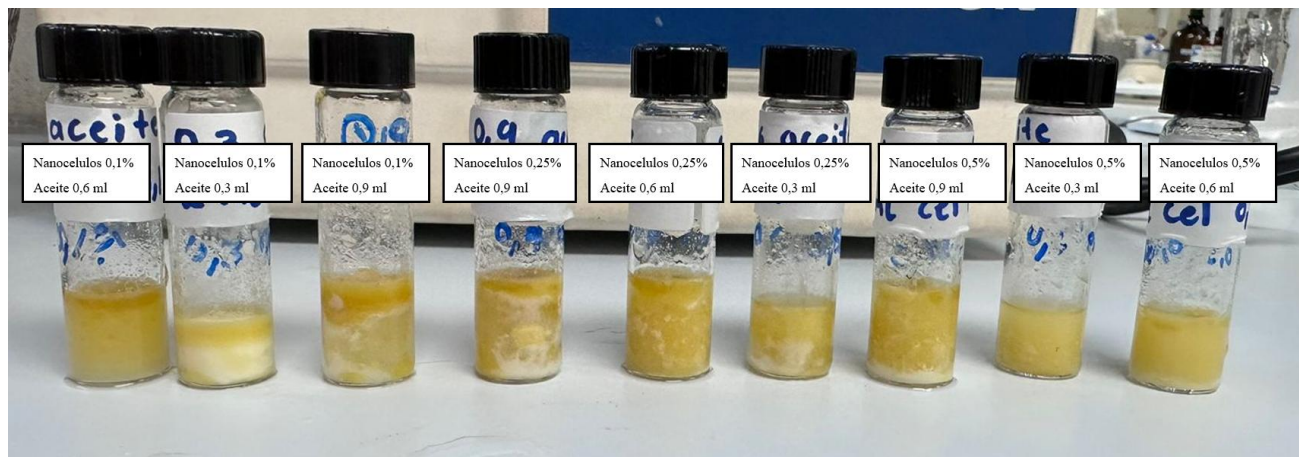
4.2-Emulsiones a base de nanoquitina y aceite de neem.

4.2.1- Emulsiones Pickering empleando nanocelulosa como estabilizantes

Inicialmente, las formulaciones con nanocelulosa al 0.5%, 0.25% y 0.1% mostraron poca estabilidad en el tiempo. Las emulsiones con menores concentraciones de nanocelulosa (0.25% y 0.1%) y mayor contenido de aceite de neem, presentaron separación de fases más rápida y formación de grumos en general (Figura 12). En particular, la emulsión con 0.1% mostró la mayor inestabilidad. Aunque la concentración de 0.5% mantuvo mejor estabilidad inicial, también evidenció separación de fases a largo plazo. Adicionalmente, la fluidez de las emulsiones formuladas resultó relativamente alta, lo cual podría influir negativamente durante la aplicación en el campo. En la Figura 12, se puede observar las diferentes formulaciones variando la concentración de nanocelulosa y aceite. Puede notarse que la homogeneidad de las formulaciones varía en función de las concentraciones utilizadas.

Figura 12

Emulsiones Pickering empleando nanocelulosa como surfactante.

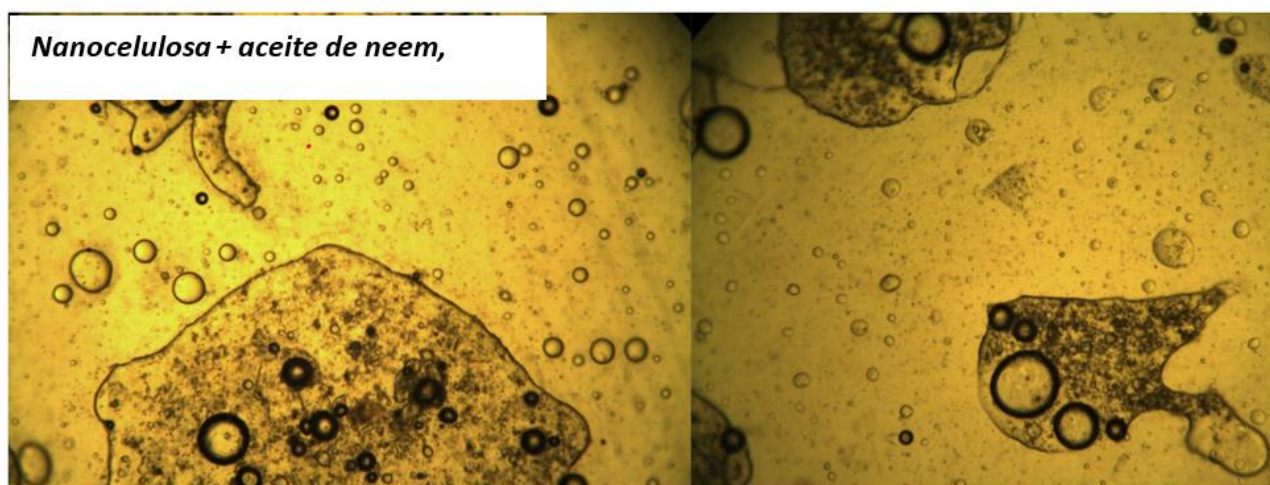


Nota: Emulsiones pickering de nanocelulosa 0.5 %, 0.25 % y 0.1 % + aceite de neem a 45%, 30% y 15% del volumen total.

Los resultados indican que las concentraciones empleadas de nanocelulosa y aceite de neem no logran formar una emulsión estable y manejable para su aplicación en campo. En su lugar, se obtuvo una dispersión altamente viscosa, lo cual podría estar relacionado con el tamaño de partícula. Al observar las dispersiones en presencia de nanocelulosa bajo el microscopio, se evidencia una heterogeneidad significativa en la muestra. Esto sugiere que a la concentración empleada de nanocelulosa, esta no actúa eficazmente como agente estabilizante en emulsiones de agua y aceite, generando estructuras no uniformes y sin la cohesión esperada para una emulsión estable (Figura 13).

Figura 13

Micrografía a 10x de una emulsión pickering estabilizada con nanocelulosa.

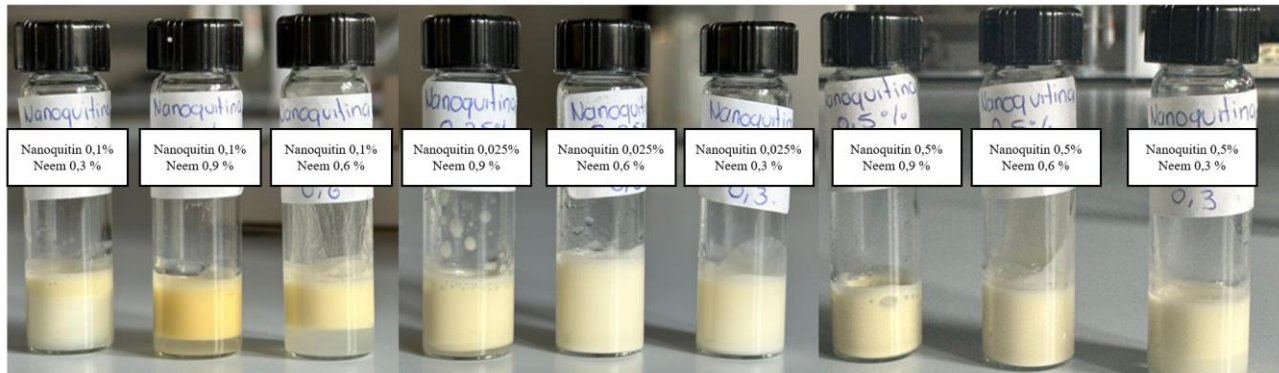


4.1.2 Emulsiones pickering empleando nanoquitina como estabilizante

Las formulaciones que usaron nanoquitina como estabilizante, mostraron un comportamiento más favorable respecto a las formulaciones con nanocelulosa. En la Figura 14 se muestran diferentes emulsiones empleando nanoquitina como estabilizante y diferentes cantidades de aceite adicionado, en las cuales se nota mayor homogeneidad de la dispersión.

Figura 14

Emulsiones Pickering empleando nanoquitina como surfactante.



4.3- Caracterización estructural de las emulsiones formuladas

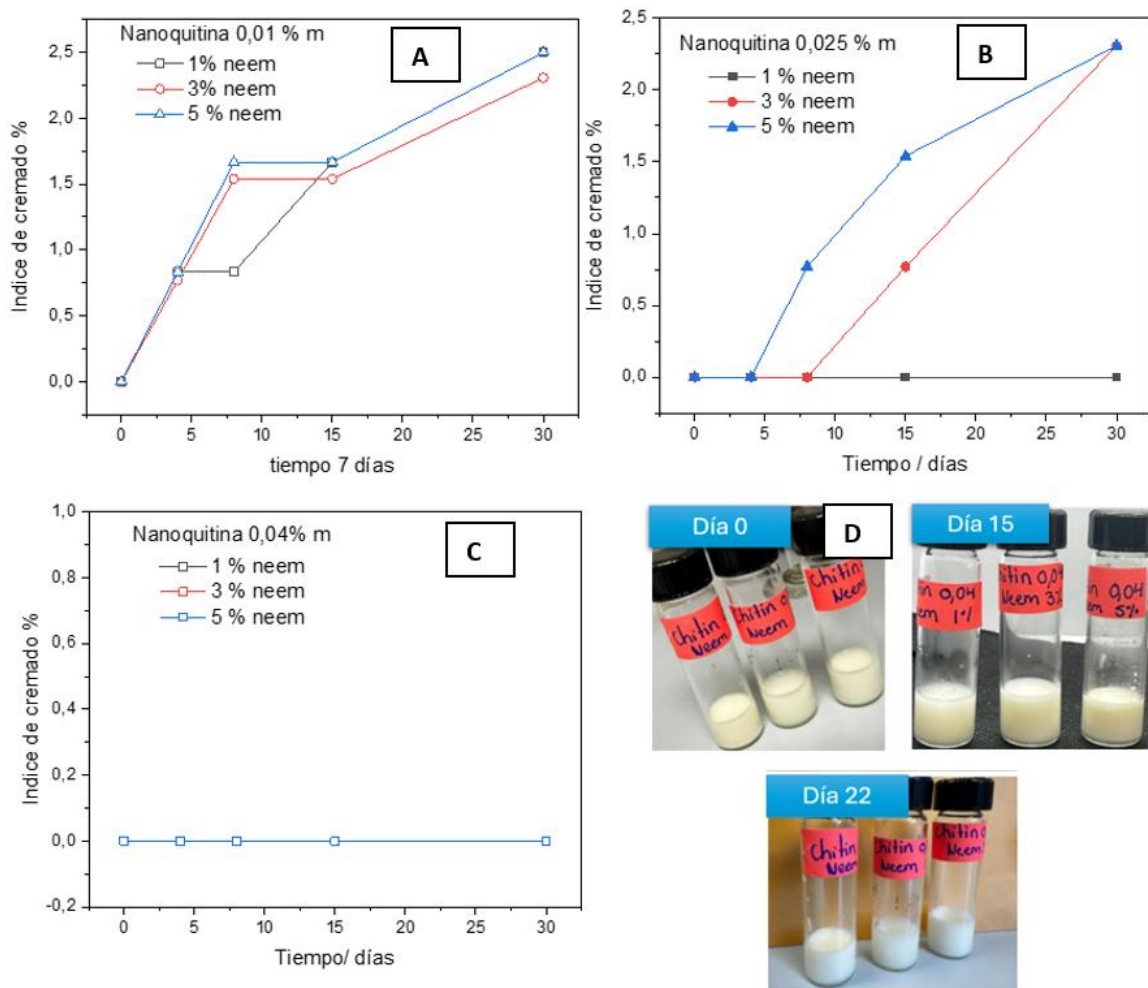
4.3.1- Índice de cremado

La estabilidad de las dispersiones se estudió mediante la determinación del índice de cremado, el cual se reporta como $H_s/H_t \times 100$, donde H_t es la altura total de la emulsión y H_s es la altura de la emulsión o la capa turbia en el fondo del recipiente que contiene la emulsión.

Se evaluaron diferentes porcentajes de aceite de neem y nanoquitina. En la figura 15 se muestran los resultados de índice de cremado en función del tiempo.

Figura 15

Índice de cremado para las emulsiones formuladas empleando nanoquitina como estabilizante.



De acuerdo con la Figura 15A, se puede observar que la formulación con 0.01% m de nanoquitina presentó separación a partir del cuarto día, y la formulación con 0.025% m mostró creaming a partir del octavo día (15B). En contraste, a una mayor concentración de nanoquitina (0.04% m) mayor resistencia a la agregación durante el tiempo de evaluación (15C). En la Figura 15D se muestran las emulsiones formuladas desde el primer día y hasta el día 22.

4.3.2-Determinación del tamaño de partícula mediante difracción láser

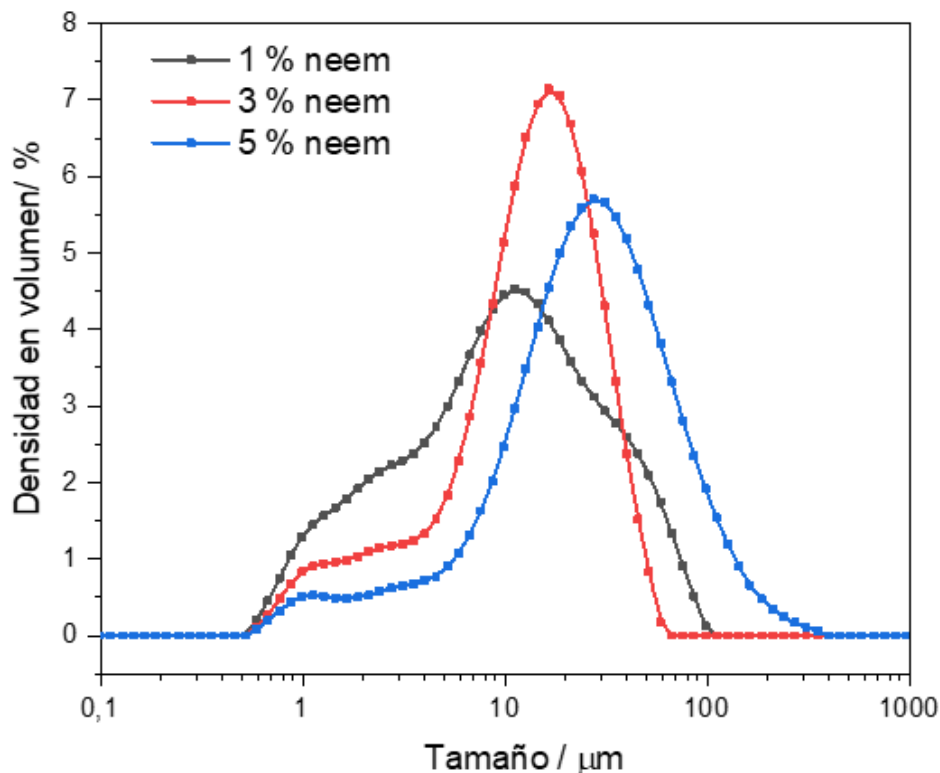
El tamaño de partículas de la emulsión aceite/agua fue evaluado mediante difracción láser, empleando un Mastersizer 3000 Lab. En la Figura 16, se observa que la muestra de neem al 1% presenta las partículas más pequeñas, sin embargo, esta emulsión también muestra la distribución de tamaño de partículas más amplia y menos uniforme, lo que sugiere una mayor heterogeneidad en su estructura.

Por otro lado, la muestra de neem al 3% presenta partículas de tamaño intermedio y destaca por su distribución de tamaño más uniforme centrado en 10 micras, con menor anchura en la distribución de partículas, lo que indica una mayor homogeneidad en la emulsión.

Finalmente, la muestra de neem al 5% contiene las partículas de mayor tamaño. La mayoría del volumen de las partículas en esta muestra se encuentra en tamaños grandes, lo que reduce el área de superficie específica. Aunque la distribución de tamaños es algo más amplia y menos uniforme que la de la muestra al 3%, es aún más homogénea en comparación con la muestra de neem al 1%.

Figura 16

Diámetro hidrodinámico de emulsiones conteniendo diferente porcentaje de aceite de neem y Nanoquitina al 0,04% m.

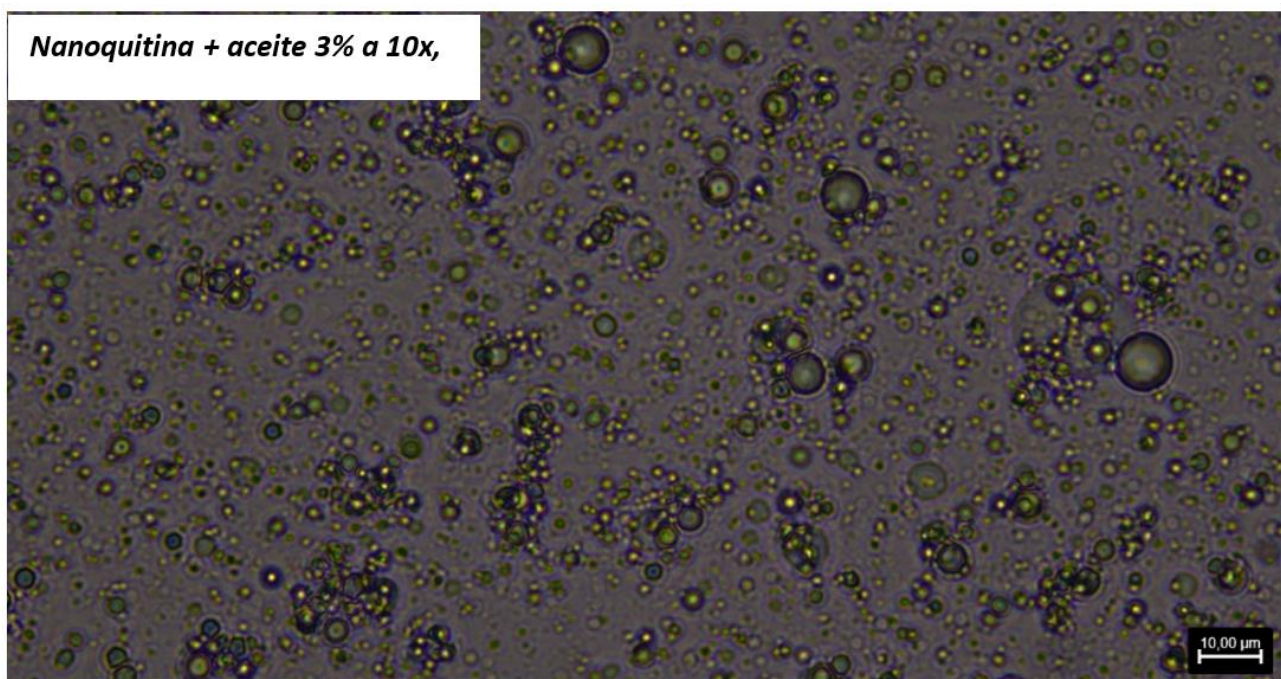


4.3.2-Microscopía óptica

Adicionalmente, la emulsión se caracterizó en un microscopio óptico a un aumento de 10x, con el cual se observaron gotas más homogéneas que las formuladas con nanocelulosa (Figura 17). Esto sugiere que la gota constituida por aceite en el interior se encuentra dispersa en medio acuoso y estabilizada por partículas de nanoquitina en la superficie. El tamaño promedio de las gotas aproximadamente es menor de 10 micrómetros (μm), el cual es característico de este tipo de muestras.

Figura 17

Imagen de microscopía óptica de dispersiones empleando nanoquitina como estabilizante.

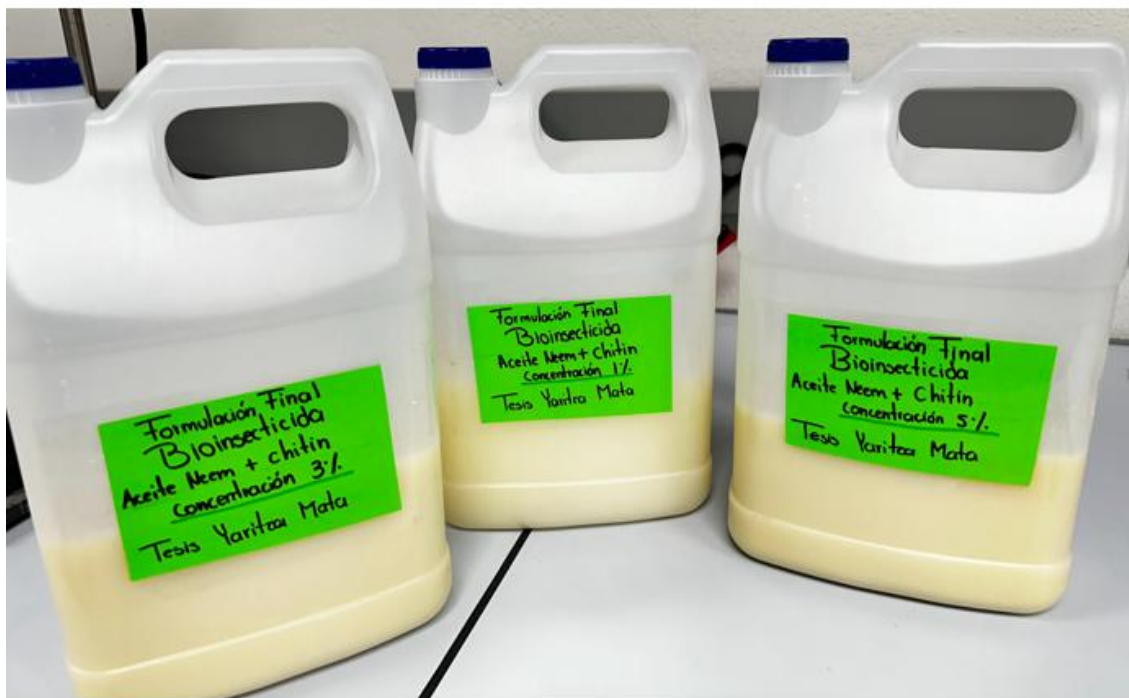


4.4-Determinación del efecto insecticida de las formulaciones de nanoquitina y aceite de neem.

A partir de los resultados obtenidos, se decidió utilizar una concentración de nanoquitina del 0,04% para estabilizar emulsiones conteniendo diferentes porcentajes de aceite de neem (1%, 3% y 5%). Para lo cual se formuló un volumen de 1.5 L de las emulsiones para realizar las pruebas en campo (Figura18).

Figura 18

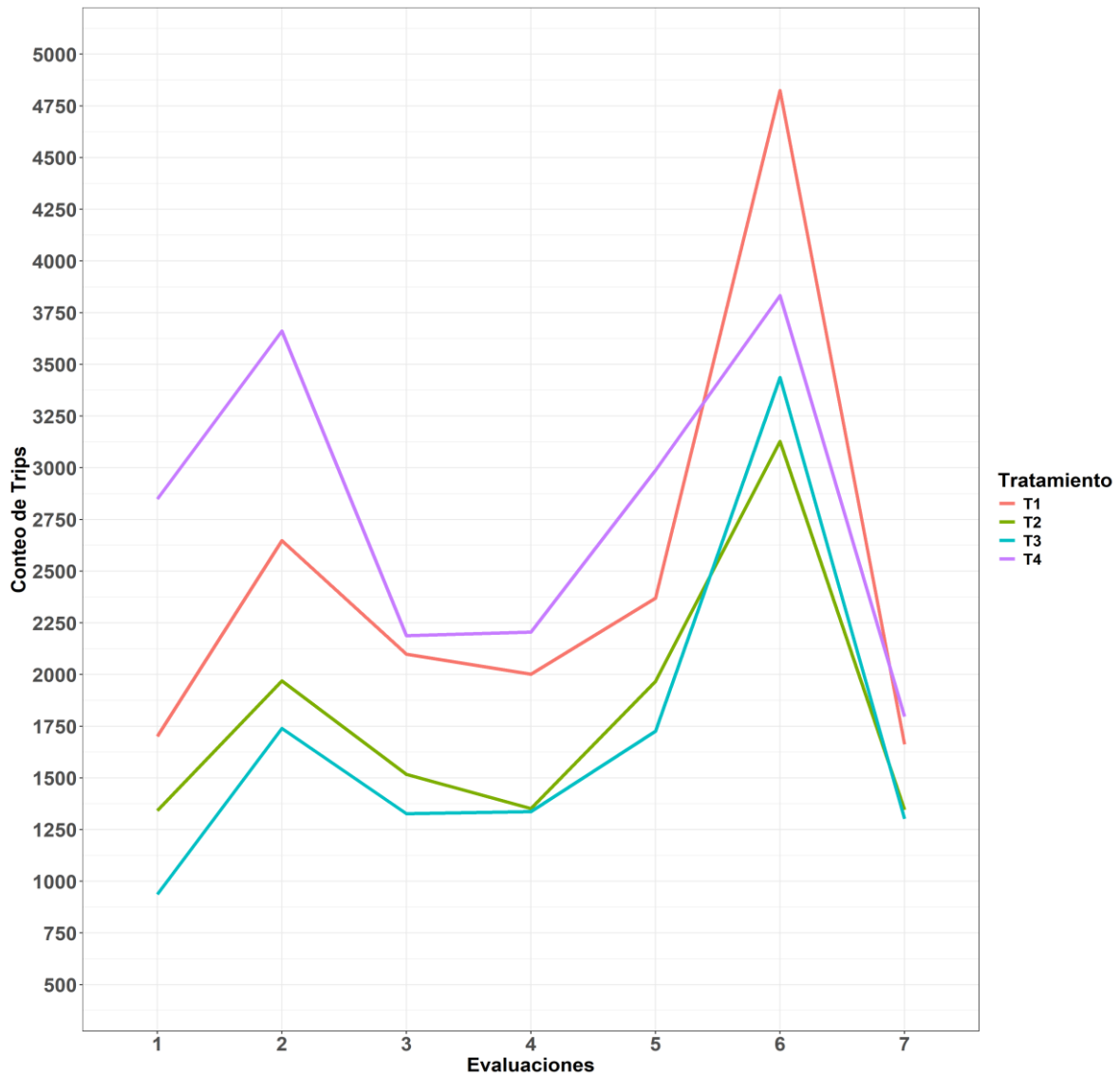
Formulaciones finales a base de nanoquitina y neem para aplicaciones en aguacate.



En la figura 19, se puede observar la cantidad de individuos (trips) en función del efecto de los tratamientos siendo este similar en todos, lo que cambia es la magnitud. De la fecha 1 a la 5 los tratamientos con neem al 1 % y 3 % + nanoquitina al 0,04% siempre mantuvieron la densidad poblacional más baja que el químico en aproximadamente 2000 trips y el tratamiento con neem al 5% + nanoquitina al 0,04%.

Figura 19

Cantidad de trips en función de los tratamientos.



Nota. T1- Nanoquitina + Neem al 5 %, T2- Nanoquitina + Neem al 3 %, T3- Nanoquitina + Neem al 1 % y T4- Solaris.

Los resultados del análisis de la varianza para la variable conteo de trips concluye que no existe evidencia significativa ($p < 0,05$) para rechazar la hipótesis de interacción entre tratamiento-evaluación y sí existe evidencia significativa para ($p < 0,05$) para los efectos individuables de momento de evaluación y tratamientos (Tabla 3).

Tabla 3

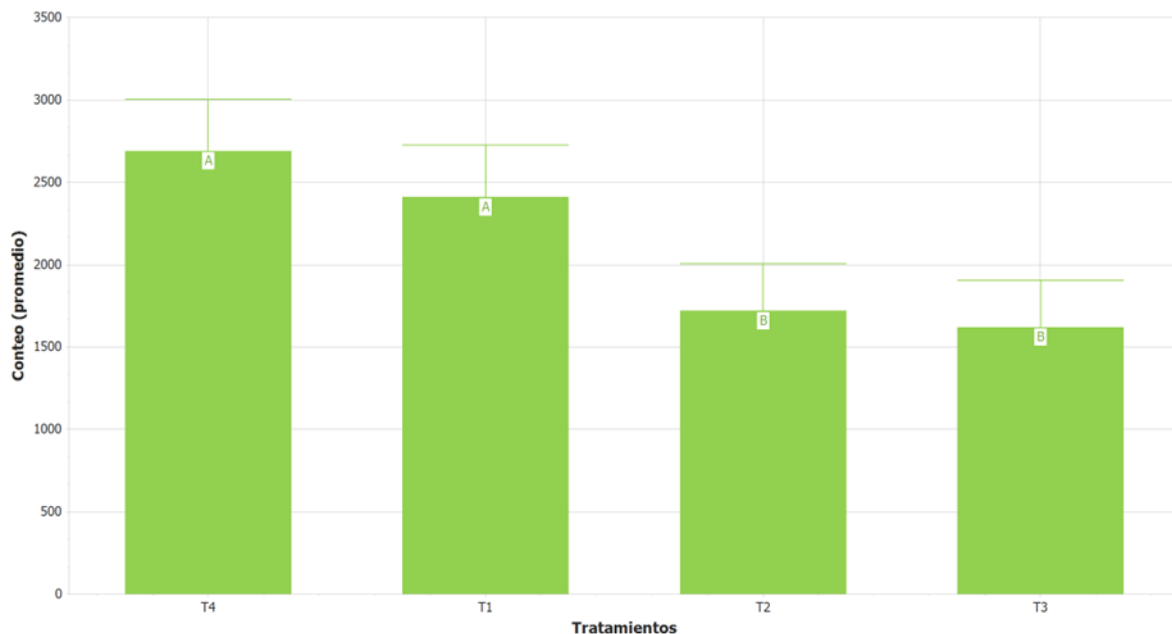
Valores del estadístico *F* y *p*-valor asociado para la variable analizada para el ensayo.

<i>Variable</i>	<i>Efecto fijo</i>	<i>Estadístico F</i>	<i>p</i> -valor
<i>Abundancia</i>	<i>Tratamiento</i>	4.30	0.0281
	<i>Evaluación</i>	8.24	<0.0001
	<i>Tratamiento-Evaluación</i>	0.78	0.7220

En relación con los resultados anteriores, los tratamientos que tuvieron un efecto positivo en la disminución de la población de trips fueron el T2 (nanoquitina + Neem al 3 %) y el T3 (nanoquitina + Neem al 1 %) en comparación con el T4 (Spinetoram 6 %) y T1 (nanoquitina + Neem al 5 %) (Figura 20).

Figura 20

Gráfico de barras de las medias de conteo para cada tratamiento.

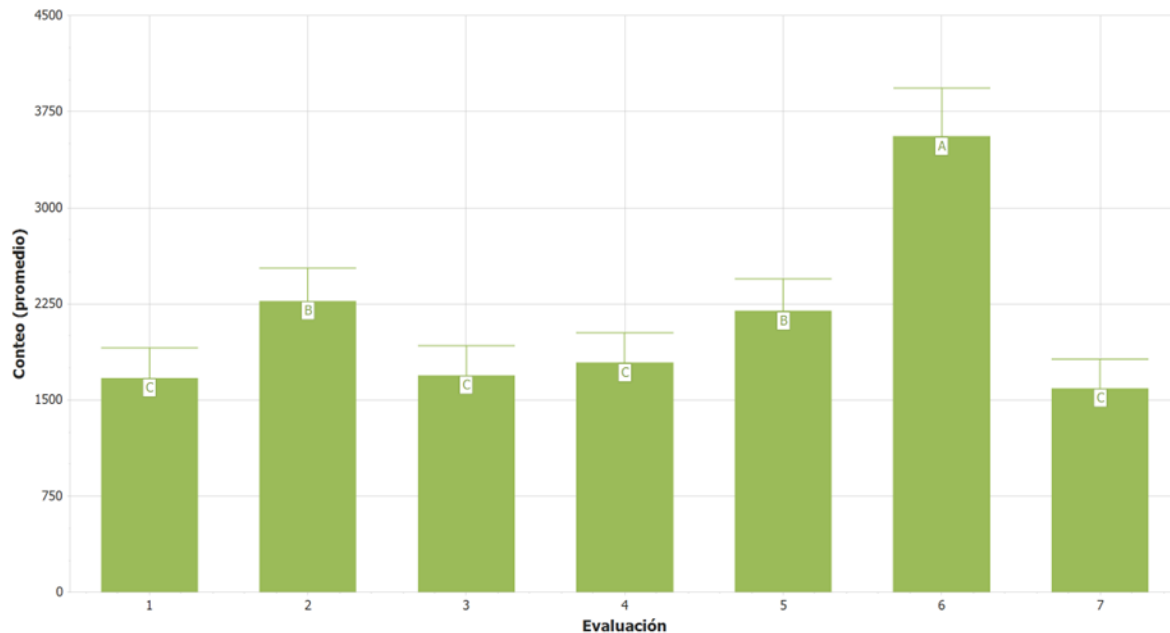


Nota. Medias con letra común son no diferentes estadísticamente ($p > 0.05$). T1- nanoquitina + Neem al 5 %, T2- nanoquitina + Neem al 3 %, T3- nanoquitina + Neem al 1 % y T4- Solaris.

En la Figura 21 se observa como la dinámica de los trips tiene tres momentos, el de más baja población se da en las fechas 1, 3, 4 y 7, luego en la fecha 2 hubo un aumento significativo y el de mayor densidad poblacional fue en la fecha 6.

Figura 21

Gráfico de barras de las medias de conteo para cada fecha de evaluación.



Nota. Medias con letra común son no diferentes estadísticamente ($p > 0.05$).

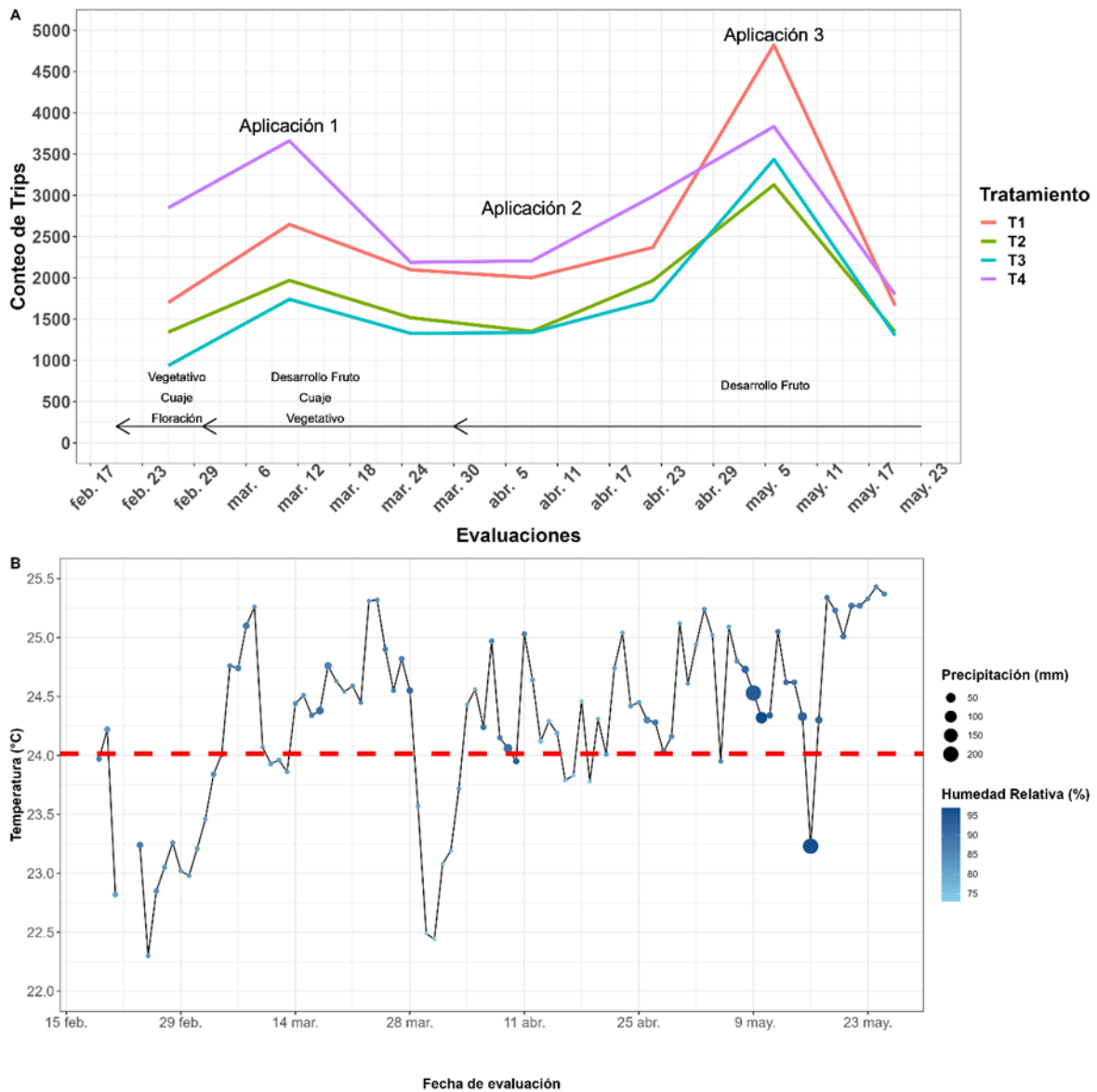
En la Figura 22, se muestran los resultados de la dinámica del comportamiento de los trips en función de los tratamientos durante la época de evaluación, su relación con las etapas del cultivo y condiciones atmosféricas.

Durante la segunda aplicación, se registraron las poblaciones más bajas de trips, sin que el cultivo se encontrara en una etapa fenológica que pudiera influir en los resultados. En contraste, durante la tercera aplicación, el tratamiento T1 (nanoquitina + aceite de neem al 5 %) presentó el pico más alto de población de trips, coincidiendo con la etapa de desarrollo del fruto.

En la Figura 22-B se aprecia el comportamiento de las condiciones atmosféricas durante el desarrollo del ensayo; las temperaturas se mantuvieron mayormente por encima de los 24°C, con dos anomalías por debajo de los 22°C. La humedad relativa osciló entre 75 % y 85 %, y las precipitaciones fueron bajas en general, con un único pico de 200 mm cuando la temperatura era menor de 23°C.

Figura 22

Dinámica del comportamiento de los trips en función de los tratamientos durante la época de evaluación, su relación con las etapas del cultivo y condiciones atmosféricas.



Nota. T1- nanoquitina + Neem al 5 %, T2- nanoquitina + Neem al 3 %, T3- nanoquitina + Neem al 1 % y T4- Solaris. La línea roja punteada representa el promedio de la temperatura °C.

5. DISCUSIÓN

5.1-Formulación de biopesticida a base de nanoquitina y aceite de neem.

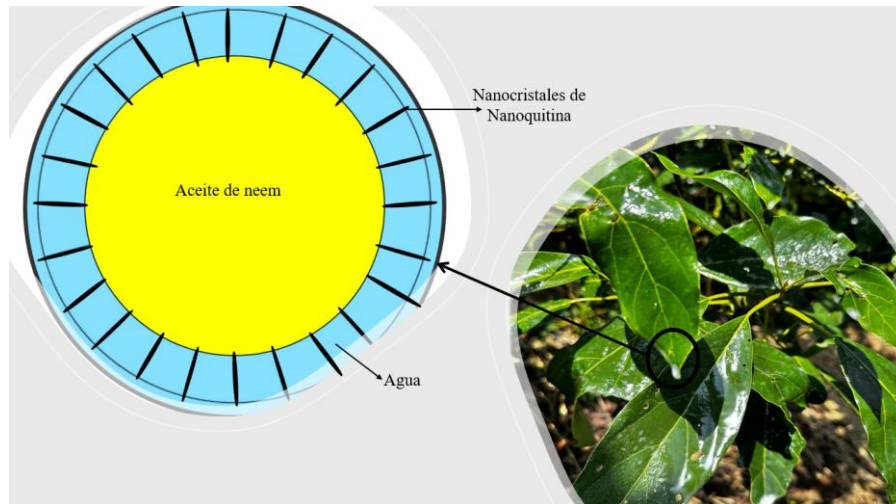
El neem (*Azadirachta indica*) es ampliamente reconocido por sus propiedades insecticidas, atribuidas principalmente a la azadiractina, su compuesto bioactivo más relevante (González et al., 2020). Estudios previos han reportado efectos positivos a dosis de 5 mg de azadiractina por gramo de aceite. En esta investigación, se determinó que el aceite utilizado contiene 82.7 mg de azadiractina por gramo de aceite, el valor más alto en comparación a estudios previos.

Por otro lado, la quitina y su principal derivado, el quitosano, son polímeros de gran valor en la agricultura y la biotecnología debido a sus aplicaciones en sostenibilidad agrícola y conservación de alimentos. De manera similar, la nanoquitina es un material intermedio entre la quitina y el quitosano, caracterizado por su bajo grado de desacetilación y su alta dispersabilidad en agua. En esta investigación, se trabajó con nanoquitina debido a sus propiedades beneficiosas, empleando una concentración del 0.04% m, que resultó ser la más estable y adecuada para obtener una emulsión manejable en campo.

En este estudio, la formulación de un biopesticida a base de nanoquitina y aceite de neem se fundamenta en las propiedades biocidas y de estabilización de emulsiones de ambos compuestos. Debido a que el fenómeno de estabilización es por la adhesión interfacial de partículas de polímero (cristales de nanoquitina o nanocelulosa), el tipo de emulsión resultante es conocida como emulsión Pickering. Los resultados obtenidos con diferentes estabilizantes, indican que la nanocelulosa no demostró ser un estabilizante efectivo en emulsiones a altas concentraciones de aceite, pero también debido a la naturaleza hidrofílica de la nanocelulosa, que está constituido por numerosos grupos hidroxilo (-OH) en su superficie, facilitando su dispersión en la fase acuosa, pero limita su interacción con la fase oleosa del aceite de neem (Beltrán, 2022), lo que impide su adhesión a la superficie interfacial entre el aceite y el agua (Whitby, 2019; Dong & Hao, 2017). Consecuentemente, la nanocelulosa forma grumos en lugar de estabilizar las gotas de aceite, dado que sus partículas tienden a agruparse en la fase acuosa (Gaytán, 2022), impidiendo la formación de una emulsión estable.

Figura 23

Nanocrisales de nanoquitina estabilizando la emulsión agua-aceite.



Por el contrario, la nanoquitina resultó ser un estabilizante más eficaz bajo las mismas condiciones. Su estructura química, que combina características hidrofílicas e hidrofóbicas, le permite adsorberse en la interfaz aceite-agua (Figura 23), creando una capa uniforme que reduce la coalescencia y sedimentación de las gotas de aceite, lo que favorece la estabilidad de la emulsión (León et al., 2019). Los grupos amino e hidroxilos (-OH) en la nanoquitina le confieren afinidad por el agua, mientras que las partes hidrofóbicas (acetilos) interactúan con el aceite, facilitando la formación de una emulsión estable (Álvarez et al., 2011; Rodríguez, 2009).

5.2- Caracterización de las formulaciones de biopesticida a base de nanoquitina y aceite de neem.

La estabilidad de una emulsión Pickering se basa en la acumulación de partículas sólidas en la interfaz entre las fases de aceite y agua (Aranberri, 2020). La nanoquitina actúa como un agente estabilizante de emulsiones Pickering, donde los nanocrisales se adhieren a la interfaz aceite-agua, formando una capa protectora que evita que las gotas de aceite se unan o calezcan (Leiro, 2022). Esto se puede representar en la Figura 23, donde las gotas de aceite se encuentran dispersas en medio acuoso estabilizado por cristales de nanoquitina. La homogeneidad indicada en la micrografía de la Figura 16, sugiere que la nanoquitina logra una cobertura sobre la superficie de las gotas de aceite, protegiéndolas de la coalescencia.

Los resultados obtenidos indican una distribución homogénea en el tamaño de gota, con un promedio cercano a 10 μm . La estabilidad interfacial obtenida por la adición de nanoquitina minimiza la separación de fases y al lograr esta estabilidad, se mejora la durabilidad de la formulación en

condiciones de almacenamiento y aplicación en campo, lo cual es crucial en el manejo de plagas agrícolas (Noboa et al., (2017).

Según Portillo (2018), las gotas de este tamaño ofrecen además una cobertura óptima sobre las superficies de las hojas, incrementando la adherencia del producto y la eficacia de la interacción con insectos plaga como los trips (Thysanoptera), que tienden a ubicarse en el envés de las hojas. Este comportamiento de la plaga puede ser aprovechado por la emulsión, ya que una distribución homogénea de gotas facilita una acción más uniforme del biocida en estas zonas de alta incidencia de plaga (Lezaun, 2023).

De acuerdo con Wieland (2021), las gotas de entre 0.1 y 20 μm se consideran microemulsiones, que, en contraste con emulsiones más gruesas, suelen formarse espontáneamente sin requerir energía adicional, como el calentamiento o la agitación intensa. Esto no solo es un beneficio desde el punto de vista de procesamiento, sino que implica que estas emulsiones son termodinámicamente estables, es decir, que tienen una tendencia menor a separarse con el tiempo.

La determinación del índice de cremado sugiere que una mayor concentración de nanoquitina (0.04%) resultó en una mayor resistencia al cremado, debido al fortalecimiento de la capa protectora en la superficie de las gotas, lo que previene su separación. En concentraciones más bajas (0.01% y 0.025%), el índice de cremado fue más alto debido a una menor cobertura interfacial, lo que permitió que las gotas de aceite se acercaran y formaran agregados. Esto puede explicarse por la tendencia termodinámica de las emulsiones a experimentar coalescencia y floculación a medida que las gotas crecen en tamaño (Hinojosa y Aguilar, 2019).

Adicionalmente, se observó que al incrementar la concentración de aceite de neem, la estabilidad de la emulsión disminuye, evidenciado por la formación de grumos. Este fenómeno se atribuye al aumento en la tensión interfacial y a la dificultad de lograr una cobertura uniforme de las gotas de aceite con el estabilizante. De acuerdo con la teoría de estabilidad de emulsiones, las partículas sólidas se adsorben en la interfaz entre las fases acuosa y oleosa, creando una barrera física que previene la coalescencia (Cifuentes et al., 2019). Sin embargo, cuando la concentración de aceite es elevada, esta barrera se ve comprometida, favoreciendo la inestabilidad de la emulsión.

Estudios previos también han señalado que emulsiones más viscosas y concentradas pueden dificultar su distribución uniforme sobre superficies foliares, reduciendo la efectividad en el control biológico (Kassis et al., 2017). En contraste, emulsiones más diluidas favorecen una mejor cobertura

y, por ende, una mayor exposición de los trips al compuesto activo, maximizando su eficacia (López, 2019).

Otras investigaciones como las de Monroy y Pereira (2020) indicaron que concentraciones elevadas de surfactantes pueden inducir la aglomeración, lo cual afecta negativamente la estabilidad de las emulsiones. Por ello, en este estudio se trabajó con una concentración de nanoquitina del 0.04% y bajas concentraciones de aceite (1%, 3% y 5%) en relación con el volumen total, optimizando el balance entre estabilidad y efectividad.

Se ha observado que el tamaño de las partículas en estas formulaciones puede variar considerablemente en función del método de preparación y los disolventes empleados. Por ejemplo, el uso de diferentes disolventes no solo afecta el tamaño de las partículas, sino también la eficiencia de encapsulación, lo cual es esencial para mejorar la estabilidad y efectividad de las emulsiones (Gaspar, 2023).

Otro método de caracterización empleado en las emulsiones formuladas fue la distribución de tamaño de partículas, evaluada mediante difracción láser. Los resultados mostraron que la emulsión con nanoquitina al 0,04% + neem al 1% presentó partículas de menor tamaño pero mayor polidispersidad. El aumento del área de superficie debido a la disminución promedio del tamaño de la gota, permite una interacción más efectiva con el medio, facilitando una mayor adsorción del emulsionante en la interfaz, lo que genera partículas estables y una emulsión resistente a la coalescencia (Lezaun, 2023). Este comportamiento presenta ventajas con respecto a las aplicaciones en la formulación de biopesticidas, ya que las partículas pequeñas tienden a mejorar la adherencia al objetivo, aumentando la probabilidad de contacto y acción efectiva sobre la plaga, como en el caso del aceite de neem frente a los trips (Sihdu, 2018).

La formulación al 3% mostró una distribución de tamaño de partículas intermedia y más uniforme, lo cual es coherente con los resultados observados en la dinámica poblacional de trips (Figura 19), donde las formulaciones al 1% y al 3% tuvieron un desempeño superior en el manejo de la plaga. Una distribución uniforme de partículas mejora la homogeneidad y estabilidad de la emulsión, cruciales para aplicaciones agrícolas, ya que garantizan una cobertura consistente y mayor adherencia sobre el objetivo, maximizando la eficacia del tratamiento en el campo (García y Mácola, 1997; Turitich, 2018).

Por otro lado, la formulación al 5% presentó partículas de mayor tamaño, lo cual reduce el área superficial específica y, consecuentemente, la interacción con el medio. Sin embargo, este incremento resultó ser ligero. Aunque las partículas grandes tienden a desfavorecer la estabilidad física de la emulsión debido a su menor área de superficie específica y menor tendencia a la separación, también conducen a una emulsión menos uniforme en comparación con la formulación al 3% (Sánchez et al., 2009). Las partículas con menor área superficial suelen ser menos reactivas, ya que hay menos superficie disponible para las interacciones químicas (Gómez, 2014). Este fenómeno puede limitar la eficacia del biopesticida, ya que la cobertura y el contacto directo con los trips no es tan efectivo como en formulaciones con partículas más pequeñas y uniformes (Schaaf, 2013).

5.3- efecto insecticida de las formulaciones de nanoquitina y aceite de neem.

En la Figura 19 se presenta el comportamiento de los tratamientos evaluados para el manejo de trips en el cultivo de aguacate. De los cuatro tratamientos, T2 y T3 resultaron ser los más efectivos, mostrando una reducción significativa en la población de trips a lo largo de las evaluaciones.

La efectividad de estos tratamientos puede explicarse en términos de la composición y características particulares de cada una de las formulaciones. T2 (nanoquitina 0.04% + neem 3%) y T3 (nanoquitina 0,04%+ neem 1%) contienen concentraciones optimizadas de nanoquitina y aceite de neem, lo cual contribuye a su estabilidad y efectividad. La nanoquitina en ambas formulaciones actúa como un estabilizante eficiente, manteniendo la emulsión en equilibrio y previniendo la separación de fases, como lo describe Cruz et al. (2023).

Además, T2 y T3 presentan un tamaño de partículas menor en comparación con T1, lo que incrementa el área superficial y facilita una interacción más efectiva con el entorno de aplicación. Esta mayor área superficial permite una mejor adsorción de las partículas en las plantas, maximizando la exposición y, por ende, el efecto biocida contra los trips (Matos et al., 2020).

Por otro lado, los tratamientos T1 (nanoquitina + neem al 5%) y T4 (químico Solaris) registraron las poblaciones más altas de trips, superando los 2500 individuos (ver Figura 20). Desde el primer conteo hasta la séptima evaluación, ambos tratamientos mantuvieron consistentemente niveles de población superiores a los de otros tratamientos, lo cual sugiere un manejo menos efectivo.

Estudios previos han demostrado que los trips pueden desarrollar resistencia a insecticidas químicos (Lemus et al., 2017), lo que podría explicar por qué el producto convencional utilizado en T4 no logró un manejo adecuado en este caso. Además, un factor que influye en la menor efectividad

de T4 es el ciclo de vida de los trips, que incluye fases en el suelo (prepupa y pupa) y en el follaje (huevo, larvas y adultos). Como señala Solís (2016), esta dualidad en el ciclo de vida complica el manejo químico, ya que las aplicaciones deben dirigirse tanto al suelo como al follaje.

Se reportó una correlación entre las aplicaciones de emulsiones y las fluctuaciones de la población de trips, así como una influencia significativa de las condiciones atmosféricas, como la temperatura y la humedad relativa.

Los resultados obtenidos en las fechas 1, 3 y 4 muestran los momentos de densidades más bajas de trips en el cultivo de aguacate. Estos períodos de baja población podrían estar relacionados con fases fenológicas en las que el cultivo es menos susceptible o atractivo para la plaga. Según Oguh et al. (2019), la aparición de primordios florales y foliares principalmente en los meses de agosto, septiembre (primera fructificación), y diciembre a febrero (segunda fructificación) es crucial, ya que los trips tienden a incrementar su número cuando las plantas presentan brotes y flores nuevas, las cuales son particularmente susceptibles a su alimentación.

Asimismo, la fase conocida como "cabeza de fósforo" o "cerillo", durante la formación inicial de frutos en septiembre y principios de octubre, representa otra etapa vulnerable del cultivo (Mojica et al., 1999). De este modo, las bajas poblaciones de trips en las fechas señaladas podrían atribuirse a que el cultivo ya había superado estas fases críticas de susceptibilidad.

Por otro lado, el aumento abrupto en la población de trips registrado en la fecha 2 (11 de marzo) coincide con condiciones climáticas favorables para la reproducción y dispersión de esta plaga. Como se observa en la figura 22, se registraron temperaturas superiores a 25°C y niveles elevados de humedad relativa. Bara y Laing (2021), destacan que tanto la temperatura como la humedad relativa impactan significativamente el ciclo de vida de los trips, siendo las temperaturas en torno a los 24°C y una humedad relativa entre el 75% y 85%, condiciones óptimas para su desarrollo. Estas condiciones incrementan el riesgo para el cultivo durante las etapas fenológicas más susceptibles.

Por último, el mayor registro de población de trips se obtuvo en la fecha 6, particularmente en el tratamiento T1 (nanoquitina 0,04% + neem 5%). Este resultado confirma que T1 no fue uno de los tratamientos más efectivos para el manejo de la plaga. Además, al analizar las condiciones climáticas previas a esta fecha, se observó que hubo altas precipitaciones (ver Figura 22B). Esto coincide con lo señalado por Yee et al. (2001), quienes mencionan que la elevada humedad asociada a lluvias intensas puede favorecer la aparición y propagación de plagas, lo que podría explicar el aumento en la población de trips observado en este periodo.

6. CONCLUSIONES.

El uso de nanoquitina ha demostrado ser un estabilizante eficaz en emulsiones Pickering, contribuyendo a la formación de una capa protectora en la interfaz aceite-agua, previniendo la coalescencia y sedimentación. Este comportamiento mejora la estabilidad de la emulsión y, en consecuencia, su desempeño biocida. Sin embargo, es importante considerar que concentraciones más altas mayores a 0,04% m de nanoquitina pueden comprometer la estabilidad, afectando la efectividad del biopesticida en el campo.

Es fundamental verificar la presencia y concentración de azadiractina en el aceite de neem, ya que este compuesto es clave para asegurar su eficacia biocida. Para optimizar el desempeño de la formulación del biopesticida, es esencial mantener un equilibrio adecuado entre la concentración de aceite de neem y el estabilizante, asegurando que este último represente siempre más del 80% del volumen de aceite⁴, de acuerdo a nuestro estudio. Un exceso de aceite de neem puede comprometer la estabilidad de la emulsión, reduciendo su efectividad y afectando los resultados esperados.

Se requiere una caracterización detallada de las emulsiones, como tamaño de partícula (gota) y estabilidad, para comprender su comportamiento en campo. Estos análisis permiten predecir su desempeño biocida y optimizar las condiciones de aplicación para maximizar su efectividad en el control de trips

Aunque todas las formulaciones evaluadas mostraron efectividad en el control de la plaga, la variabilidad en la respuesta se debe a factores ambientales que influyen en el comportamiento de los tratamientos. Esto resalta la importancia de considerar condiciones externas como la temperatura, la humedad relativa, precipitaciones y el ciclo de vida de la plaga al diseñar estrategias de manejo.

La eficacia de las emulsiones no solo depende de su formulación, sino también de la sincronización de su aplicación con las fases fenológicas del cultivo. Adaptar las estrategias de manejo integrado de plagas a cada etapa fenológica puede optimizar los resultados y mejorar el control, ya que se evidenció que algunas fases del cultivo de aguacate son más susceptibles y favorecen el desarrollo de trips.

Finalmente, el uso de emulsiones a base de aceite de neem conteniendo azadiractina encapsuladas con nanoquitina podría reducir la dependencia de plaguicidas convencionales, lo que

contribuiría a disminuir el impacto ambiental asociado al manejo de plagas en cultivos de aguacate. Esto sugiere que este enfoque tiene un gran potencial para promover prácticas agrícolas más sostenibles.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio exhaustivo del comportamiento del aceite de neem en distintas concentraciones de azadiractina, debido a que la eficacia biocida de esta formulación está estrechamente vinculada a la concentración de este compuesto activo. Es importante evaluar cómo los diferentes porcentajes de azadiractina impactan la efectividad en el manejo de la plaga de trips en campo. Además, se sugiere comparar aceites de neem provenientes de diferentes marcas y procesos, ya que su composición y propiedades pueden variar considerablemente. Este enfoque permitirá identificar la fuente más eficiente y rentable, optimizando el rendimiento del biopesticida en diferentes condiciones agronómicas.

Para mejorar el manejo sobre los trips, se recomienda implementar un manejo integrado que combine prácticas de monitoreo constante y una estrategia de aplicación bien planificada para asegurar un manejo efectivo en todas las etapas del desarrollo de la plaga.

Se sugiere realizar estudios adicionales que exploren el uso prolongado de las emulsiones de neem bajo diversas condiciones climáticas. Además, sería beneficioso investigar su interacción con otros métodos biológicos, como el uso de controladores biológicos específicos, para promover un manejo más sostenible y ecológico de los trips en aguacate.

Dado que las condiciones de campo pueden variar, es fundamental llevar a cabo un monitoreo constante de la efectividad de las formulaciones a lo largo del tiempo y en diferentes épocas del año. Esto permitirá realizar ajustes oportunos en las aplicaciones y asegurar que el manejo de trips sea sostenido y efectivo.

Investigar el uso de surfactantes o estabilizantes alternativos en la formulación de emulsiones biopesticidas. Esto incluye explorar productos derivados de materiales naturales, que podrían ofrecer propiedades estabilizantes similares a las de los surfactantes comerciales, pero a un costo más bajo y con menor impacto ambiental. Además, es importante evaluar el potencial de residuos agrícolas o subproductos, que podrían ser aprovechados como recursos sostenibles en la formulación. Estos materiales, considerados generalmente como desechos, podrían tener propiedades funcionales de

estabilización de emulsiones, lo que añadiría valor económico y ambiental al proceso de producción del biopesticida.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agüero, R. (2012). Crecimiento y maduración del fruto en aguacate (*Persea americana* mill.) cv. Hass. [Tesis de licenciatura, Universidad de Almería]. <https://core.ac.uk/download/pdf/143456545.pdf>
- Alarcón, L. (2018). Fábrica de nano y microparticulas de β -quitina a partir de la pluma de calamar gigante (*Dosidius gigas*) y evaluación de sus efectos en las propiedades mecánicas y barrera al vapor de agua de películas PVOH/Quitosano. [Tesis de grado, Universidad de Chile].
- Alcaraz, M., & Hormaza, J. (2021). Fruit set in avocado: pollen limitation, pollen load size, and selective fruit abortion. *Agronomy*, 11(8), 1603. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081603>
- Alcaraz, M., Thorp, T. & Hormaza, J. (2013). Phenological growth stages of avocado (*Persea americana*) according to the bbch scale. *Scientia Horticulturae*, 164, 434-439. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.051>.
- Almeyda, H., Álvarez, M., Pecina, V., y Acosta, E. (2018). Caracterización molecular de aguacate criollo de Nuevo León, México. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(2). <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n2.69551>
- Alpizar, C., De Oliveira, J., Jiménez, E., Hernández, J., Berrocal, A., & Romero, J. (2013). Fasciola hepática en ganado bovino de carne en Siquirres y lesiones anatómo-histopatológicas de hígados bovinos decomisados en mataderos de Costa Rica. *Agronomía costarricense.*, vol.37 n.2. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242013000200001
- Álvarez, A., Castro, R., Izaguirre, C., Morillo, P. y García, P. (2011). Degradación y desacetilación de quitina coloidal por acción de una quitinasa bacteriana y una desacetilasa de quitina fúngica. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 12(6). <https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2020/04/2011-alvarez.pdf>
- Anaya, L., Pérez, A., Ruvalcaba, J., Sánchez, J., Romero, R., y Montalvo, E. (2020). Funcionalización de los recubrimientos a base de quitosano para la conservación postcosecha de frutas y hortalizas. TIP. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas.* <https://www.redalyc.org/journal/432/43266574017/html/>

- Angulo, Á., Gardea, A., Rocha, V., García, S., Carrillo, A., Cháidez, C., y Partida, I. (2022). Contenido de azadiractina a en semillas de nim (*Azadirachta indica* a. juss) colectadas en Sinaloa, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(4), 305. <https://doi.org/10.35196/rfm.2004.4.305>
- Aranberri, I. (2020). Estabilidad De Las Emulsiones De Pickering Utilizadas En La elaboración De Productos agroquímicos. *AnQuimRSEQ*, 105, 13. <https://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/article/view/1611>
- Arriola, J. (2013). Evaluación de tres insecticidas a base de neem sobre el manejo de adultos de mosca blanca (*Bemisia tabaci*; Aleyrodidae) en pepino. [Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar].
- Bai, L., Liu, L., Esquivel, M., Tardy, L., Huan, S., Niu, X., Liu, S., Yang, G., Fan, Y., & Rojas, O. (2022). Nanochitin: chemistry, structure, assembly, and applications. *Chemical Reviews*, 122(13), 11604-11674. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00125>
- Barceló, T., González, Y., y Cambara, D. (2024). Propiedades fisicoquímicas del aceite extraído de las semillas de *Azadirachta indica* A. Juss en uantánamo. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852024000100063
- Barrientos, A. (2017). Presente y futuro de los portainjertos y variedades de aguacate en el mundo y México. [Congreso]. Memorias Del V Congreso Latinoamericano Del Aguacate. México. http://www.avocadosource.com/Journals/Memorias_VCLA/2017/Memorias_VCLA_2017_PG_002.pdf
- Bartolí, L. (2008). Manual técnico del cultivo del aguacate hass (*Persea americana* l.). Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). <https://www.avocadosource.com/books/AlfonsoJose2008.pdf>
- Beltrán, C. (2022). Emulsiones pickering como medio de encapsulación de compuestos bioactivos. [Revisión Literaria, Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/48124/cabeltran.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bernal, J., y Diaz, C. (2008). Generalidades del cultivo de aguacate. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13460/43104_50480.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Cabezas, C. (2003). Polinización y fecundación en el cv. "Hass" de aguacate (*Persea americana* Mill.). Proyecto fin de carrera. Universidad de Almería. 214 pp.
- Calixto, C. (2005). Taxonomía del suborden Terebrantia (Insecta: Thysanoptera) en la Sabana de Bogotá. *Scielo*, 31(2), 207-213. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v31n2/v31n2a17.pdf>
- Cañas, G. (2018). Estudio de diversidad genética e identificación racial de ecotipos de aguacate (*Persea americana* mill.) donadores de semilla para portainjertos en el departamento de antioquia. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Colombia]. https://www.avocadosource.com/international/colombia_papers/CanasGloria2018.pdf
- Carabalí, A., Pinchao, Y., Peña, J., Lamprea, I. y Carabalí, D. (2017). Insectos polinizadores del aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass en Colombia. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7402360>
- Celis, M., Gil, A., Forgiarini, A., & García, L. (2009). Characterization of monomer emulsions in terms of droplet size and stability: effect of emulsifier concentration. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 30(9), 1384–1389. <https://doi.org/10.1080/01932690902735595>
- Cotes, A. (2018). Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros. https://www.cenicana.org/wpcontent/uploads/2019/10/Control_biologico_fitopatogeno_insectos_acaros.pdf
- De la Cruz, E., Bravo, V., y Ramírez, F. Manual de plaguicidas de Centro América: Azadiractina. IRET. <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/37-azadiractina>
- Dammak, I., & Sobral, P. (2017). Formulation optimization of lecithin-enhanced pickering emulsions stabilized by chitosan nanoparticles for hesperidin encapsulation. *Journal of Food Engineering*, 229, 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.001>
- Díaz, C., Bernal, J., Builes, S., Caicedo, A., Carabalí, A., Casamitjana, M., Córdoba, Ó., Duque, M., Forero, F., Londoño, M., Londoño, M., García, J., Kondo, T., Osorio, N., Rodríguez, G., Rodríguez, A., Rondón, T., Ruiz, D., Sandoval, A., ... Vega, C. (2020). Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>

- Díaz, C., Estrada, J. y Vélez, A. (2017). Ecofisiología del aguacate cv. Hass en el trópico andino colombiano.
<http://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/162/146/11211?inline=1>
- Dong, C., & Hao, J. (2017). Honeycomb films with ordered patterns and structures. *Elsevier eBooks*, pp. 207-229. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409547-2.12641-1>
- Dorado, D., Grajales, L., y Rebolledo, A. (2017). Requerimientos hídricos del cultivo de aguacate (*Persea americana*) variedad Hass en zonas productoras de Colombia. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7402322>
- Espinosa, K., Sáenz, A., y Castañeda, A. (2020). Películas de quitosano propiedades y aplicaciones. *Afinidad*, 77, 591. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/377418>
- FAO. (2020). Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (bpa) en el cultivo de aguacate. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.
- Garbanzo, M. (2011). Buenas prácticas de cultivo de variedad Hass. En Gutiérrez, G. Orías, N. Mojica, F. Bonilla, N y Zúñiga, D (Eds.), *Manual de Aguacate* (2nd ed., p. 96).
- García, A., & Cruz, K. (2020). Microscopía de fuerza atómica como herramienta en la investigación de asfaltos. *Infraestructura Vial*, 22(40), 20-27. <https://doi.org/10.15517/iv.v22i40.42057>
- García, J. y Mácola, G. (1997). Dinámica poblacional del thrips *tabaci* en ajo (Mendoza, Argentina). *Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias*. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/10010/292cap-8.pdf
- García, M. (2019). Aguacate de Bajura. Municipalidad Abangares. <https://www.abangares.go.cr/index.php/mn-gestionmunicipal/descubre-abangares/aguacate-de-bajura>
- Gaytán, F. (2022). Síntesis y caracterización de nanocelulosa a partir de *Eichhornia Crassipes*. [Tesis de Grado, Universidad De Guanajuato]. http://repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/6333/1/FRANCISCO%20JAVIER%20GAYT%C3%81N%20LARA_Tesis24.pdf

- Ghosh, S., Mali, S., Bhowmick, N., & Pratap, A. (2021). Neem oil as natural pesticide: Pseudo ternary diagram and computational study. *Journal of the Indian Chemical Society*, 98(7), 100088. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2021.100088>
- Giraldo, J. (2015). Propiedades, obtención, caracterización y aplicaciones del quitosano. University of Concepcion. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3350.9287>
- Goldarazena, A. (2015). Orden Thysanoptera. *Ide@-Sea*, 52, 1-20. http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_52.pdf
- Gómez, A. (2014). Formulación y caracterización de nano-emulsiones de aceite de parafina tipo agua-en-aceite (W/O). [Tesis de Maestría, Centro De Investigación En Materiales Avanzados Posgrado]. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/472/1/Tesis%20Aurea%20Guadalupe%20G%C3%B3mez%20Vega.PDF>
- Gómez, A. (2017). Monografía del aguacate. www.academia.edu. https://www.academia.edu/33976446/Monograf%C3%ADa_del_aguacate
- González, L., Suárez, S., Mogollón, O., Ortiz, P., & Ordinola, A. (2020). Efecto repelente del aceite de neem (*Azadirachta indica* A. Juss) contra zancudos (*Anophelex* spp) en lechones. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(1), e17544. <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i1.17544>
- González, H., Baños, B., García, S., y Gutiérrez, P. (2020). Situación actual del manejo poscosecha y de enfermedades fungosas del aguacate ‘Hass’ para exportación en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(7). <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2402>
- González, H., Ortega, D., Santillán, T., Johansen, R., Lomelí, R., Ochoa, S., Villegas, N., Vargas, M., Guzmán, A., Avendaño, J., Lázaro, C., Guzmán, S., y Bravo, D. (2017). Plagas y enfermedades del cultivo del aguacate. [Congreso]. *Memorias Del V Congreso Latinoamericano Del Aguacate*. México. <https://www.bibliotecahorticultura.com/publicaciones/tecnicas-de-cultivo/sanidad-vegetal/memorias-del-v-congreso-latinoamericano-del-aguacate-2017/>
- Gualtieri, M., Villalta, C., Guillen., A., Lapenna, E., & Andara, E. (2004). Determinación de la actividad antimicrobiana de los extractos de la *Azadirachta Indica* A. Juss (Neem). *INHRR* v.35 n.1. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-04772004000100003

- Guerra, G. (2021). El aceite de neem (*Azadirachta indica* A. Juss) una alternativa a los insecticidas químicos. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 25(1). <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/441/4412169016/index.html>
- Gutiérrez, N. (2014). Aguacate. agricultura y desarrollo rural. <https://sader.jalisco.gob.mx/catalogo-plantas/aguacate>
- Hernández, J., y Torrentes, A. (2020). Elaboración de un extracto con función bioinsecticida a partir de las semillas del árbol de neem (*Azadirachta indica* A. Juss) para combatir la plaga de la mosca blanca (*B. tabaci*) en cultivo de tomate. [Seminario De Graduación Para Optar Al Título De Licenciatura En Química Industrial]. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Herrera, F. (2009). El cultivo del aguacate (Palta), razas y variedades. *Engomix*, 15. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/cultivo-aguacate-palta-razas-t27788.htm>
- Instituto Colombiano de Agricultura (ICA). (2021). Manejo fitosanitario del cultivo de aguacate Hass. <https://www.ica.gov.co/getattachment/4b5b9b6f-ecfc-46e1-b9ca-b35cc1cefee2/->
- Inungaray, M., Munguía, R., Martínez, A., González, T., y Herrera, R. (2017). Propiedades antioxidantes de infusiones de neem (*Azadirachta indica*) encapsuladas con proteína de soya. *Nova Scientia*, 9(18), 167. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.819>
- Jaramillo, I. (2018). Reconocimiento y control de plagas y enfermedades de mayor importancia económica en *Persea americana* Mill: Revisión sistemática. Universidad Politécnica Salesiana. https://www.academia.edu/41686177/Reconocimiento_y_control_de_plagas_y_enfermedades_de_mayor_importancia_econ%C3%B3mica_en_Persea_americana_Mill_Revisi%C3%B3n_sistem%C3%A1tica
- Jiménez, R. (2016). Evaluación de los servicios de polinización de *Apis mellifera* L. (Himenóptera: Apidae) en el cultivo del aguacate (*Persea americana* mill var. Hass) y su aporte en la producción. San Pablo de León Cortés, San José, Costa Rica. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica]. Repositorio Académico institucional. <http://hdl.handle.net/11056/13486>
- Juárez, E. (2018). Determinación de especies de trips (Thysanoptera: Thripidae) en cinco variedades de rosas Rosa híbrida en localidades de Tenancingo y Villa Guerrero, estado de México. *Journal of Materials Processing Technology*. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/40646>

- Juri, M. (2010). Características generales de las paltas. ODEPA. <https://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/2307.pdf>
- Kale, S., & Deore, S. (2016). Emulsion micro emulsion and nano emulsion: A Review. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 8(1), 39–47. <https://doi.org/10.5530/srp.2017.1.8>
- Kondo, T., Carabalí, A., Milena, A., Vallejo, C., Herney, É., Devia, V., Eugenia, M., y Zuluaga, L. (2013). Capítulo VI introducción insectos y ácaros. Actualización Tecnológica y Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) En El Cultivo de Aguacate.
- Kumar, J., Ramlal, A., Mallick, D., & Mishra, V. (2021). An overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance. *Plants* 10(6). <https://doi.org/10.3390/plants10061185>
- Kumar, S., & Singh, A. (2015). Biopesticides: present status and the future prospects. *Journal of biofertilizers & biopesticides*, 06(02). <https://doi.org/10.4172/jbfbp.1000e129>
- Lárez, C. (2008). Algunas potencialidades de la quitina y quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica. *Revista científica UDO Agrícola*, 8, 1-22. https://www.researchgate.net/publication/216597815_Algunas_potencialidades_de_la_quitina_y_el_quitosano_para_usos_relacionados_con_la_agricultura_en_Latinoamerica
- Leceta, I., Peñalba, M., Arana, P., Guerrero, P., y de la Caba, K. (2015). Ageing of chitosan films: Effect of storage time on structure and optical, barrier and mechanical properties. *European Polymer Journal*, 66, 170–179. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.02.015>.
- Leira, P. (2022). Nanopartículas de quitosano y fosvitina, caracterización y aplicaciones en la industria alimentaria. [Tesis de Maestría, Universidad de Oviedo]. https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/64131/TFM_PalomaLeiroEscribano.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Lemus, B., Solorzano, A., y Pérez, D. (2017). Control del complejo de trips del aguacate con insecticidas botánicos. [Congreso]. Memorias Del V Congreso Latinoamericano Del Aguacate. México. http://www.avocadosource.com/Journals/Memorias_VCLA/2017/Memorias_VCLA_2017_PG_055.pdf
- Londoño, M. (2008). Insectos. En Jorge, A. Bernal, E. y Cipriano, A. Díaz, D (Eds.), Tecnología para el cultivo del aguacate (p.119-154). CORPOICA.

- Londoño, M. (2015). Manejo integrado de plagas en aguacate. En Jaramillo, J (Eds.), *Memorias y Resúmenes* (pp. 60–93).
- López, L. (2020). Bichos en el sustrato los trips. *PROMIX*, 6(8). <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/bichos-en-el-sustrato-los-trips/#:~:text=Los%20trips%20son%20una%20plaga,diferentes%20partes%20de%20la%20planta.>
- MAG y IICA (Ministerio de Agricultura y Ganadería e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (2019). Plan nacional de fortalecimiento del sector aguacatero. Versión final (p. 36).
- Maldonado, I., Ramírez, F., Rubí, M., Antonio, X., y Lara, V. (2017). Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4). <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i4.259>
- Mármol, Z., Páez, G., Rincón, M., & Gutiérrez, E. (2012). Quitina y Quitosano, polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/235431334_Quitina_y_Quitosano_polimeros_amigables_Una_revision_de_sus_aplicaciones
- Mármol, Z., Paéz, G., Rincón, M., Arauja, K., Aiello, C., Chandler, C & Gutiérrez, E. Chitin and chitosan friendly polymer. A review of their applications. *Revista tecnocientífica URU*. https://www.researchgate.net/profile/Cateryna-Aiello-Mazzarri/publication/235431334_Quitina_y_Quitosano_polimeros_amigables_Una_revision_de_sus_aplicaciones/links/02bfe51195a2862f9e000000/Quitina-y-Quitosano-polimeros-amigables-Una-revision-de-sus-aplicaciones.pdf
- Martín, J. (2023). Floración y polinización en aguacate en el sur de España. *PlataformaTierra*. <https://www.plataformatierra.es/innovacion/floracion-y-polinizacion-aguacate-sur-espana>
- Matos, M., Laca, A., Rea, F., Iglesias, Ò., Rayner, M., & Gutiérrez, G. (2018). O/W emulsions stabilized by OSA-modified starch granules versus non-ionic surfactant: Stability, rheological behaviour and resveratrol encapsulation. *Journal of Food Engineering*, 222, 207-217. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.009>

- Matos, M., Luque, S., y Gutiérrez, G. (2020). Formación y estabilidad de emulsiones para encapsulación de biocompuestos. *Anales de Química*. 116(2), 69-80.
- Miller, P. (2010). *Persea americana*. EcuRed. https://www.ecured.cu/Persea_americana
- Mojica, H., Hernandez, H., Naime, J. y Becerril, R. (1999). Fluctuación poblacional y daño de trips en aguacate cv. Hass. http://209.143.153.251/WAC4/WAC4_p291.pdf
- Molinatti, P. (2016). Thrips biology and control in floriculture crops. British Columbia. <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/agriculture-and-seafood/animal-and-crops/plant-health/thrips-floriculture.pdf>
- Monter, J., Tirado, J., Zamudio, P., Ríos, C., De Jesús Ornelas, J., Salgado, R., Espinosa, V., & Hernández, F. (2016). Extraction and characterization of physicochemical morphological, and structural properties of chitin and chitosan from *Brachystola magna* (Girard). *Revista Mexicana De Ingeniería Química*, 15(3), 749-761. <https://doi.org/10.24275/rmiq/bio1028>
- Mora, J., y Acuña, J. (2015). Curso producción de aguacate en bajura. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10790.pdf>
- Morán, E. (2017). Uso de bioinsecticida a base de neem *Azadirachta indica* para el manejo de saltahoja en agroecosistema de caña de azúcar, Guayas, Ecuador. *Manglar*, 14(1). <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/74>
- Mula, J. A. (2012). Manejo y control de *Frankliniella occidentalis*. *Agromática*. <https://www.agromatica.es/frankliniella-occidentalis/>
- Nava, E., García, C., Camacho, J., y Vásquez, E. (2012). Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai*, 8, 17–29. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46125177003.pdf>
- Navarro, R. (2023). Aceite de neem: beneficios y propiedades. *Consejos de Farmacia Online Atida*. <https://www.atida.com/es-es/blog/2021/10/aceite-de-neem-beneficios-y-propiedades/>
- Noboa, G., Márquez, L. y López, J. (2017). Tamaño de gota: Factor determinante sobre la velocidad de clarificación de una emulsión o/w. *vol. 38 (3), p 259-264*. <https://www.redalyc.org/journal/5075/507555085007/html/>

- Nodo, P. (2022). Descubre el uso del extracto de neem para control de plagas. Artículos de agricultura orgánica | Blog. <https://mycsainc.com/newsletter/blog/2019/11/02/uso-del-extracto-de-neem-para-control-de-plagas/>
- Ortega, C. (2023). Análisis estadístico: Qué es, usos y cómo realizarlo. QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/analisis-estadistico/#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20estad%C3%ADstico%20es%20una,obtener%20informaci%C3%B3n%20significativa%20y%20%C3%BAtil.>
- Ortiz, N., Martínez, A., González, M., Rutiaga, M., y Gallegos, A. (2021). Avances en las investigaciones sobre la encapsulación mediante gelación iónica: una revisión sistemática. *Tecnológicas*, 24(52), e1962. <https://doi.org/10.22430/22565337.1962>
- Pacheco, N. (2013). Extracción biotecnológica de quitina para la producción de quitosanos: caracterización y aplicación. [Tesis doctoral, Universidad Autónoma Metropolitana]. https://www.researchgate.net/publication/278642653_Extraccion_biotecnologica_de_quitina_para_la_produccion_de_quitosanos_caracterizacion_y_aplicacion
- Pérez, D., Fernández, M., Soler, D., Rodríguez, Y., y Nogueira, A. (2017). Estabilidad física de bases emulsionadas e hidrosolubles con quitosana y acetato de quitosana. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*. <http://jppres.com/jppres>
- Pérez, J., Santos, M. J., y Zaritzky, N. (2020). Aplicación del biopolímero quitosano para la coagulación/floculación de efluentes emulsionados de petróleo. Transformar diálogos de saberes en diálogos de haceres. <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/10962>
- Pérez, S., Ávila, G., y Coto, O. (2019). El aguacatero (*Persea americana* Mill.) *Cultivos Tropicales*, 36(2), 111-123. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193239249016.pdf>
- Pijoan, M. (2004). El neem. *Offarm*. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-el-neem-13061804>
- Pino, J., y Araguez, Y. (2021). Conocimientos actuales acerca de la encapsulación de aceites esenciales. *CENIC Ciencias Químicas*, 52, 010–025. <https://www.redalyc.org/journal/1816/181669387003/html/>
- Quiroga, P. (2013). Cromatografía en capa fina (TLC). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/150635>

- Ramos, G., Esquivel, M., Madrigal, S., y Villegas, L. (2019). Desarrollo de un apósito biodegradable con potencial actividad protectora para el tratamiento de infecciones. Memorias Del I Congreso Internacional de Ciencias Exactas y Naturales. <https://doi.org/10.15359/cicen.1.55>
- Ramos, M. (2022). 7 variedades de aguacate y sus características. Mejor con Salud. <https://mejorconsalud.as.com/variedades-aguacate/>
- Rengifo, A. (2021). Determinación de niveles de daño económico por thrips en Aguacate Hass en Abejorral, Antioquia. Encuentro Sennova Del Oriente Antioqueño. <https://doi.org/10.23850/22565035.3050>
- Retana A., & González, A. (2011). Estudio de campo de las especies de thrips (*Terebrantia*: Thripidae) más comunes en los cultivares de aguacate (*Persea americana* Mill) de altura en Costa Rica. *Métodos en Ecología y Sistemática*, 6(1–2), 44–56.
- Richter, A., Feitosa, J., Paula, H., Goycoolea, F., & De Paula, R. (2018). Pickering emulsion stabilized by cashew gum- poly-l-lactide copolymer nanoparticles: Synthesis, characterization and amphotericin B encapsulation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 164, 201-209. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2018.01.023>
- Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J., Rubí-Arriaga, M., Domínguez-López, A., Acosta-Guadarrama, D., & Figueroa-Figueroa, D. (2017). Spatial modeling thrips (Insecta: Thysanoptera) in growing avocado (*Persea americana*). *Revista Colombiana de Entomología*, 43(2). <https://doi.org/10.25100/socolen.v43i2.5933>
- Rodríguez, A., Cambero, J., González, H., & Vargas, A. (2023). El género *Frankliniella* (Thysanoptera: Thripidae) en *Persea americana* Mill. cv Hass en la región central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 51360. <https://doi.org/10.15517/am.2023.51360>
- Rodríguez, A., Ramírez., M., Rivero, D., Bosquez, E., Barrera, L. y Bautista, S. (2017). Chemical-structural properties and biological activity of chitosan on phytopathogenic microorganisms. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2009000500012
- Romero-Serrano, A., y Pereira, J. (2020). Estado del arte: Quitosano, un biomaterial versátil. Estado del Arte desde su obtención a sus múltiples aplicaciones. *INGENIERÍA UC*, 27(2). <https://www.redalyc.org/journal/707/70764230002/>

- Saborit, K. (2015). Micropartículas porosas nanoestructuradas de quitosano acarreadoras de moléculas bioactivas. [Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo]. <https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/64/1/Saborit%20Pino%20Karla%20Zuleika.pdf>
- SAGARPA. (2017). México: Primer productor mundial de aguacate. <https://www.gob.mx/senasica/articulos/mexico-primer-productor-mundial-de-aguacate?idiom=es/#:~:text=Con%20una%20producci%C3%B3n%20de%20un,mil%20546%20toneladas%20al%20a%C3%B1o.>
- Salazar-García, S., Medina-Carrillo, R., & Álvarez-Bravo, A. (2016). Initial evaluation of some aspects of quality fruit avocado 'Hass' produced in three regions of Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7. <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263145278005.pdf>
- Sánchez, R., Gutiérrez, M., García, P., Ortiz, C., Volke, H. y Ribuños, J. (2009). Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agricultura técnica en México*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000200002#:~:text=Las%20part%C3%ADculas%20de%20mayor%20tama%C3%B1o,porosidad%20dentro%20de%20la%20misma
- Sánchez-Colín, S., Mijarez-Oviedo, P., Kópez-López, L., y Barrientos-Priego, A. (2001). Historia del aguacate en México. CICTAMEX S. C. https://www.avocadosource.com/Journals/CICTAMEX/CICTAMEX_1998-2001/CICTAMEX_1998-2001_PG_171-187.pdf
- Schaaf, A. (2013). Pesticides use and toxicity: survey in the agricultural zone of San Vicente, Santa Fe, Argentina. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*, vol.4 no.2. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000200012
- Sela, G. (2020). Trips: su daño y control. *Cropaia*. <https://croipaia.com/es/blog/trips/>
- Shah, B., Li, Y., Jin, W., An, Y., He, L., Li, Z., & Xu, W. (2016). Preparation and optimization of pickering emulsion stabilized by chitosan-tripolyphosphate nanoparticles for curcumin encapsulation. *Food Hydrocolloids*, 52, 369-377. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.07.015>

- Sierra, D., Orozco, O., Quintana, M., & Ospina, W. (2013). Optimización de un protocolo de extracción de quitina y quitosano desde caparazones de crustáceos. *Scientia Et Technica*, 18(1), 260-266. <https://doi.org/10.22517/23447214.7555>
- Solís, P. (2016). Plan de manejo de trips en el cultivo del aguacate Hass. <http://repiica.iica.int/docs/B4226e/B4226e.pdf>
- Soto, L., y Leonel, E. (2013). Manual técnico del cultivo de aguacate en Honduras (*Persea americana* Mill). <http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/handle/123456789/222>
- Sporleder, M., & Lacey, L. A. (2013). Biopesticidas. Elsevier eBooks, 463-497. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-386895-4.00016-8>
- Tamayo, P. (2020). Enfermedades y desórdenes abióticos. En Bernal, J y Cipriano, A (Eds.), Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate: Vol. capítulo VII. Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA
- Téliz. (2007). Plagas y enfermedades del cultivo del aguacate. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. https://www.icia.es/icia/download/noticias/Eduardo_Torres.pdf
- Turitich, L. (2018). Producción y caracterización de emulsiones elaboradas con aceites vegetales ricos en ácidos grasos omega-3 utilizando la mazada como agente emulgente. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Barcelona]. https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2018/hdl_2072_365415/TFM_Ituritichcantero.pdf
- Umaña, G. (2010). Caracterización de la agrocadena de aguacate, zona de los Santos. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-4284.pdf>
- valenzuela, C. y Arias., I. (2012). Potenciales aplicaciones de películas de quitosano en alimentos de origen animal: una revisión. Avances en Ciencias Veterinarias V27 N° 1. <file:///C:/Users/Casa/Downloads/publicaroracv,+Journal+manager,+21997-69537-1-CE.pdf>
- Villalobos, V. (2015). Ficha técnica (Thysanoptera: Thripidae). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/472510/Ficha_t_cnica_Frankliniella_parvula.pdf
- Vivas-Carmona, L. (2017). El manejo integrado de plagas (MIP). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 5(2). <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2017.050200067>

Whitby, C. (2019). Nanoparticles at Fluid Interfaces: From Surface Properties to Biomedical Applications. *Elsevier eBooks*, pp. 127-146. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.10459-x>

Wylie, R., & Merrell, S. (2022). The antimicrobial potential of the neem tree *Azadirachta indica*. *Frontiers in Pharmacology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphar>.