



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**INGENIERÍA EN AGRONOMÍA PARA LA
PRODUCCIÓN SUSTENTABLE**

TESIS

**Extracto de *Ruta graveolens* L. como bioinsecticida en campo abierto
para el manejo de *Dactylopius coccus* en nopal**

Para obtener el título de:

Ingeniera Agrónoma para la Producción Sustentable

PRESENTA:

JESSICA MARTINEZ LARA

Directora

Dra. Iridiam Hernández Soto

Codirector

Dr. Manasés González Cortázar

Asesores:

Dra. Mariana Saucedo García

Dra. Eliazar Aquino Torres

Dr. Jaime Pacheco Trejo

Santiago Tulantepec de Lugo, Guerrero, Hidalgo., febrero de 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales

Academic Areas of Agricultural and Forest Sciences

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 27 de febrero de 2026

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a la pasante de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía Para La Producción Sustentable, **Jessica Martínez Lara**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado “**Extracto de *Ruta graveolens* L. como bioinsecticida en campo abierto para el manejo de *Dactylopius coccus* en nopal**”, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

PRESIDENTE Dr. Jaime Pacheco Trejo
SECRETARIO Dra. Eliazar Aquino Torres
VOCAL 1 Dra. Iridiam Hernández Soto
VOCAL 2 Dr. Manasés González Cortazar
VOCAL 3 Dra. Mariana Saucedo García

Jaime Pacheco Trejo
Eliazar Aquino Torres
Iridiam Hernández Soto
Manasés González Cortazar
Mariana Saucedo García

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

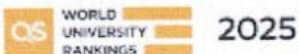
Atentamente
“Amor, Orden y Progreso”

Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos
Coordinador de la Licenciatura en
Ingeniería en Agronomía Para La Producción Sustentable



Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,
México. C.P. 43775.
Teléfono: 7717172001 Ext. 42173
profe_5566@uaeh.edu.mx

“Amor, Orden y Progreso”



Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi directora de tesis, Dra. Iridiam Hernández Soto, por su apoyo, tiempo y dedicación en la realización de esta investigación, por compartirme parte de su conocimiento y guiarme en lo largo de este tiempo, mi admiración completa.

Mi gratitud se extiende a mi codirector y asesores de tesis el Dr. Manasés González Cortázar, la Dra. Mariana Saucedo García, la Dra. Eliazar Aquino Torres y el Dr. Jaime Pacheco Trejo.

De igual forma le agradezco a mis profesores de la licenciatura, por compartirme sus conocimientos.

A mis papás, porque gracias a ellos yo pude continuar con mis estudios, por siempre confiar en mí, por nunca dejarme sola y siempre apoyarme en todo, gracias por todo su sacrificio porque gracias a ello yo estoy aquí, gracias por hacerme la persona que soy hoy en día, estaré siempre agradecida con ustedes. Los amo.

Gracias a mi familia y todas las personas que han confiado en mí y decir que lo lograría.

Agradezco a mi grupo de amigos y en especial a Mario, ya que gracias a su compañía y apoyo me motivaron a seguir adelante, gracias por todos los momentos vividos.

Y por último agradecer a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y al Instituto de Ciencias Agropecuarias, por contribuir de manera fundamental a mi formación académica y profesional.

Índice general

Resumen	1
1. Introducción	2
2. Antecedentes	3
3. Marco Teórico	4
3.1 Cultivo de nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	4
3.2 Producción del nopal en México	5
3.3 Manejo Agronómico	6
3.4 Grana cochinilla	8
3.5 Ruda	9
3.6 Extractos vegetales como bioproductos	10
3.7 Regulaciones y desafíos de los bioproductos	11
4. Justificación	13
5. Hipótesis	13
6. Objetivo general	13
6.1 Objetivos específicos	13
7. Materiales y métodos	14
7.1 Establecimiento y manejo del nopal	14
7.2 Material vegetal y obtención de bioplaguicida	15
7.3 Aplicación de los tratamientos	16
7.4 Evaluación del extracto, así como efectos en la grana	17
7.5 Análisis estadístico	18
8. Resultados y discusiones	18
9. Conclusión y perspectivas del proyecto	21
10. Referencias	22

Índice de figuras

Figura 1. Extractos naturales contra plagas del nopal	4
Figura 2. Morfología del nopal.....	5
Figura 3. Estados con mayor producción de nopal en 2024.....	6
Figura 4. Requerimientos para el nopal.....	7
Figura 5. Etapas fenológicas del nopal.....	8
Figura 6. Aspecto de plantas con afectación de grana cochinilla en toda la planta (a) y en la tuna (b), Ciclo biológico de la cochinilla (c), adulto macho (d).....	9
Figura 7. Ruda (<i>Ruta graveolens</i> L.).....	10
Figura 8. Metabolitos de la ruda.....	10
Figura 9. Lugar experimental	15
Figura 10. Planta madre de ruda (a), secado de ruda (b), pesado del material vegetal (c), proceso de obtención de infusión del extracto (d), extracto de ruda (e).....	16
Figura 11. Materiales ocupados para el experimento	17
Figura 12. Aplicación de tratamientos.....	17
Figura 13. Mortalidad de grana cochinilla (Individuos).....	19
Figura 14. Índice de infestación de grana cochinilla.....	21

Resumen

El cultivo de nopal (*Opuntia ficus-indica*) es de gran importancia económica, cultural y alimentaria en México; sin embargo, su producción se ve seriamente afectada por la presencia de grana cochinilla (*Dactylopius coccus*), una plaga que provoca clorosis, debilitamiento de las plantas y en infestaciones severas, la muerte del cultivo. Ante los efectos negativos del uso continuo de plaguicidas químicos, surge la necesidad de evaluar alternativas ecológicas y sustentables para el manejo de las plagas. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de un bioproducto elaborado a partir de *Ruta graveolens* L. (ruda) sobre grana cochinilla en el cultivo de nopal en condiciones de campo abierto, comparándolo con un insecticida químico comercial y un testigo, el experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con tres tratamientos (T1: Insecticida químico (Foley® Rey, Clorpirifos etil al 36.65% y Permetrina al 4.54%) 2 mL L⁻¹; T2: Bioplaguicida de ruda 75 mL L⁻¹; T0: Testigo) con diez repeticiones por tratamiento, realizando aplicaciones foliares semanales durante seis semanas. El extracto de ruda se obtuvo mediante infusión y su eficiencia se evaluó a través de dos parámetros: mortalidad e índice de infestación de la plaga. Los resultados mostraron que el bioproducto presentó una mayor eficiencia durante las primeras semanas de evaluación, con reducciones del 25% en infestación y mortalidad respecto al control (testigo), superando incluso al insecticida químico. A partir de la tercera semana, ambos tratamientos mostraron un comportamiento similar, lo cual se atribuye a la degradación de los compuestos bioactivos del extracto vegetal por factores ambientales como la luz solar, la humedad y la lluvia, así como su almacenamiento del bioproducto. En conclusión, el bioproducto a base de ruda demostró ser una alternativa viable, eficaz y amigable para el manejo de la grana cochinilla en el cultivo de nopal, especialmente como parte de estrategias de manejo integrado de plagas y agricultura sostenible.

Palabras clave: agricultura sostenible, control botánico, infestación, plaga, reducción de insectos

1. Introducción

El nopal conocido científicamente como *Opuntia ficus-indica*, es un género de cactus con 98 géneros y más de 1,500 especies. Para México se considera una diversidad de 54 géneros y 850 especies, de las cuales se estima que más de 400 especies son endémicas, aunque Roberts (1989) señala que 1,000 son reconocidas como especies mexicanas. *O. ficus-indica* es parte integral de la riqueza del campo mexicano; también se usa en platillos típicos y tradicionales, medicina tradicional (digestivos, diabetes y heridas cutáneas), además, es utilizado como suplemento alimenticio para animales (González et al., 2024). Se produce en 27 entidades del país, destacando la Ciudad de México, Estado de México, Morelos, San Luis Potosí, Jalisco, Aguascalientes, Hidalgo y Puebla, estos aportan casi 95% de la producción nacional (Anaya et al., 2008). En 2024 la producción de nopal en México registrado fue de 844,255.67 toneladas (SIAP, 2025). Sin embargo, esta producción se ve afectada por la presencia de plagas como la grana cochinilla (*Dactylopius coccus*), un insecto parásito que vive sobre las pencas (cladodios) del nopal. Estos insectos tienen un ciclo de vida de 70 a 90 días, donde la hembra nunca realiza metamorfosis y pasa toda su vida en una forma de aspecto similar a las ninfas, fijada por su estilete a la superficie de la planta succionando la savia para alimentarse. El macho pasa por varias etapas y a los 45 días, sale del capullo en forma de palomita que fecunda a las hembras (Juárez et al., 2024). *D. coccus* ocasiona daño por alimentación (succión de savia) lo que produce clorosis y disminución en el rendimiento de nopal; una infestación por esta plaga mayor al 75% en la superficie de los cladodios causa la muerte de la planta. Aunque no hay cifras exactas de pérdidas ocasionadas por grana se han reportado alrededor de 100,000 ha dañadas (Palafox et al., 2018).

Una alternativa para el control de esta plaga son los extractos vegetales debido a que las plantas producen una gran diversidad de metabolitos secundarios, con funciones que incluyen la inhibición del crecimiento de larvas o insectos hasta la muerte de este mismo (Romero et al., 2015). *Ruta graveolens* L., comúnmente conocida como ruda o ruda de jardín, contiene una reserva única de diversos metabolitos secundarios que le confieren grandes propiedades medicinales y/o repelentes. A pesar de su amplio uso y estudio, especialmente respecto a sus propiedades farmacológicas, y que se afirma que los extractos y el aceite esencial de *R.*

graveolens L. suprimen las plagas de insectos almacenadas, existen escasos datos que permitan una validación clara (Perera et al., 2017).

Diversos trabajos han evaluado el extracto de ruda con plagas, por ejemplo, Vélez y colaboradores (2022), evaluaron el efecto insecticida de extractos de ruda (*R. graveolens* L.), cebolla (*Allium cepa* L.), flor de muerto (*Tagetes erecta* L.) y menta (*Mentha* L.) como alternativa ecológica para el control del pulgón verde (*Myzus persicae*) y mosca blanca (*Bemisia tabaci*); los resultados obtenidos confirman que el uso de extractos particularmente de ruda y flor de muerto representan una opción agroecológica para el control de *M. persicae* y *B. tabaci* en el cultivo de pimiento. Rodríguez y colaboradores (2020), evaluaron la actividad insecticida de nueve extractos vegetales entre ellos *R. graveolens* L. en adultos de *Bemisia tabaci* Genn, bajo condiciones experimentales *in vitro*. El extracto etanólico de *R. graveolens* L. tuvo mayor efectividad contra adultos de *B. tabaci* Genn, ya que ocasionó un 35.7% de mortalidad al término de las 72 horas. Romero y colaboradores (2015), determinaron la actividad insecticida de los extractos etanólicos de neem (*Azadirachta indica* A.Juss.), vinca rosea (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don), ruda (*R. graveolens* L.), trinitaria (*Bougainvillea spectabilis* Willd.), cariaquito (*Lantana camara* L.) y yuquilla (*Ruellia tuberosa* L.) sobre los adultos de mosca blanca (*B. tabaci* Genn) en condiciones de laboratorio; los extractos de ruda y neem causaron una mortalidad de 99.1 y 95.6% a las 72 horas respectivamente. Por lo mencionado anteriormente en esta investigación se consideró relevante evaluar la actividad plaguicida de *R. graveolens* L. contra la grana cochinilla (*D. coccus*) del nopal (*O. ficus-indica*), para conocer su efecto en el control y/o prevención de ésta y así proponerla como una alternativa ecológica de insecticida para su uso en prácticas agrícolas.

2. Antecedentes

Las alternativas ecológicas surgen como soluciones para mitigar el impacto ambiental de las actividades humanas, promoviendo el uso adecuado de los recursos y reduciendo la contaminación. Algunas de las razones por las cuales surgen son: el cambio climático, contaminación ambiental, sobreexplotación de los recursos, pérdida de biodiversidad e incluso el bienestar y salud humana. En la Figura 1 se muestran algunas alternativas ecológicas para el control de plagas en nopal. Es importante mencionar que aún no existen

estudios específicos que evalúen el efecto de la ruda en contra de la cochinilla del cultivo del nopal.

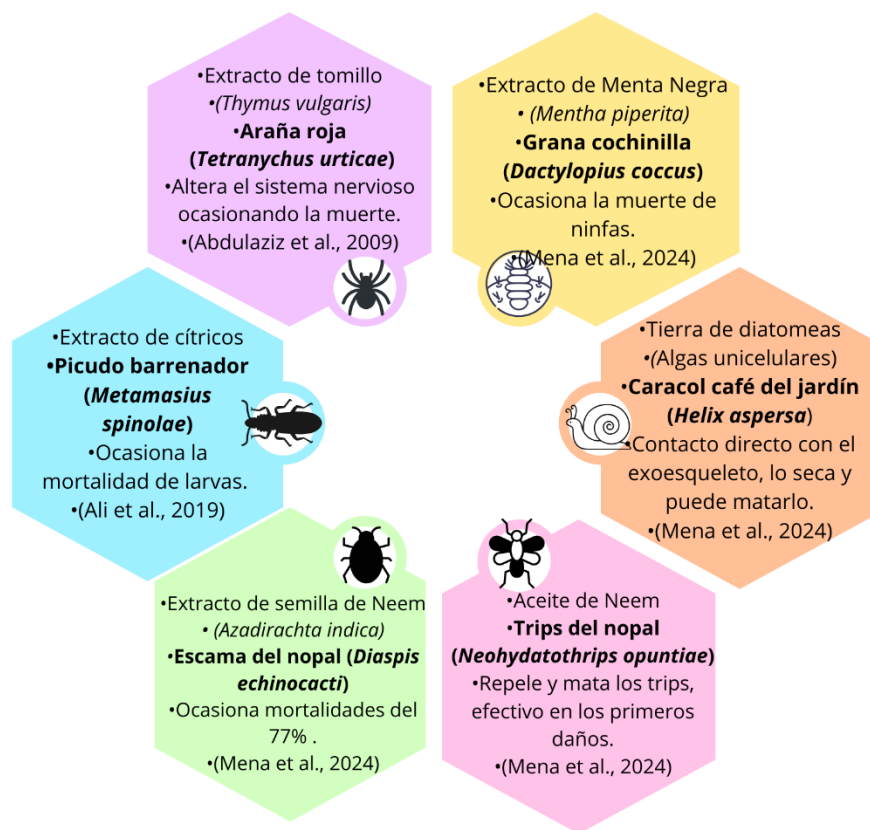


Figura 1. Extractos naturales contra plagas del nopal. **Fuente:** Elaboración propia

3. Marco Teórico

3.1 Cultivo de nopal (*Opuntia ficus-indica*)

Los nopales son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar de 3.5 a 5 m de altura. Los tallos pueden ser suculentos y articulados o cladodios, comúnmente llamados pencas, presentan forma ovalada de hasta 60 a 70 cm de longitud. Cuando miden de 10 a 12 cm son tiernos y se pueden consumir como verdura. Sobre ambas caras del cladodio se presentan las yemas llamadas areolas, que tienen la capacidad de desarrollar nuevos cladodios, flores y raíces aéreas según las condiciones ambientales (FAO, 2006) (Fig. 2). Las areolas presentan en su cavidad espinas, que generalmente son de dos tipos: algunas pequeñas, agrupadas en gran número (gloquidios), en México comúnmente conocidas como

aguates y las grandes que son hojas modificadas. Los tallos se lignifican con el tiempo y pueden llegar a transformarse en verdaderos tallos leñosos, agrietados, de color ocre blanzuzco a grisáceo (FAO, 2006).

Las flores son sésiles, hermafroditas y solitarias, se desarrollan normalmente en el borde superior de las pencas, su color es variable donde pueden ser rojas, amarillas, blancas, entre otros colores. En la mayor parte del mundo la planta florece una vez al año (FAO, 2006), (Fig. 2). El fruto es una falsa baya con ovario ínfero simple y carnoso. La forma y tamaño de los frutos es variable. Los tipos de frutos pueden ser ovoides, redondos, elípticos y oblongos, con los extremos aplanados, cóncavos o convexos. Entre los colores del fruto destacan ejemplares de color rojo, anaranjado, púrpura, amarillo y verde, con pulpas del mismo color. La cáscara de los frutos difiere mucho en grosor, siendo también variable la cantidad de pulpa; esta última presenta numerosas semillas, que se consumen junto con la pulpa (FAO, 2006).

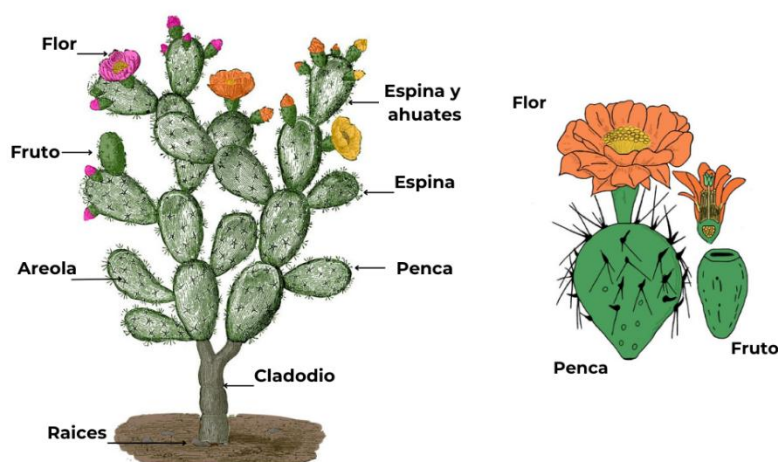


Figura 2. Morfología del nopal. **Fuente:** Imagen modificada de Nicholson, George The Illustrated Dictionary of Gardening. Recuperado de: https://etc.usf.edu/clipart/82800/82841/82841_optunia_7.htm

3.2 Producción del nopal en México

Los nopales son originarios de América y se les encuentra distribuidos en todo el continente creciendo en forma silvestre en las planicies áridas del centro y norte de México, aunque

también se les reporta en climas subtropicales y tropicales, la mayor variación y diversidad se presenta en las zonas semiáridas. En México, el nopal culturalmente se le encuentra asociado a eventos primordiales de nuestra nación como el lugar de la Fundación de Tenochtitlán (Argentel et al., 2024). Tenochtitlán en náhuatl proviene de la integración de Te (tl) “piedra” y noch(tli) tuna, que integradas a ti (estativo) y tlan “lugar en el que abundan las tunas”. Las nopaleras silvestres en la República Mexicana ocupan una superficie cercana a los tres millones de hectáreas distribuidas principalmente en los estados de Zacatecas, San Luis Potosí y Jalisco, aunque de estas solo unas 250 mil ha son usadas bajo explotación comercial (Argentel-Martínez et al., 2024). En la actualidad la producción de nopal se mantiene constante y alguno de los estados más productores se muestran en la Figura 3.

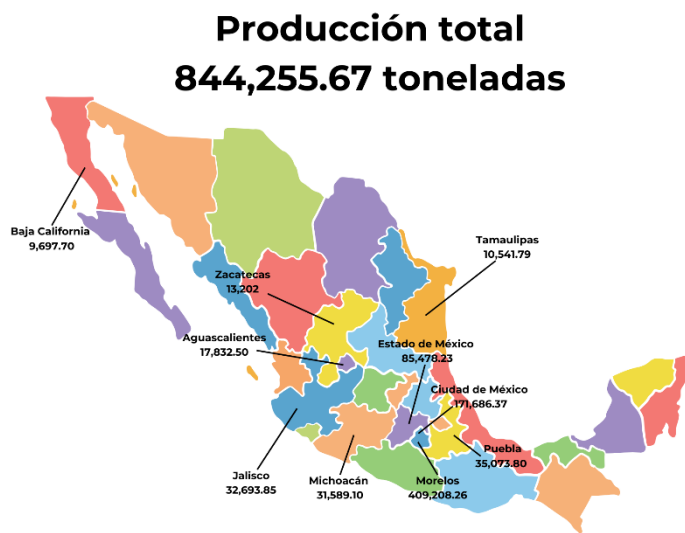


Figura 3. Estados con mayor producción de nopal en 2024. **Fuente:** Información modificada de INIFAP, 2024

3.3 Manejo Agronómico

El manejo adecuado del cultivo de nopal es crucial para asegurar una cosecha abundante y de calidad. Para tener una buena producción se recomienda llevar a cabo las siguientes prácticas para tener unos buenos resultados. Selección del terreno: El nopal prefiere suelos bien drenados, con un pH entre 6.5 – 8.5, el tipo de suelo puede ser arcilloso, franco-arenoso, calcáreos y con textura franca (Perales et al., 2024). Clima: El clima ideal para el cultivo de nopal son temperaturas cálidas entre 14°C - 28°C, con precipitaciones anuales de 300 - 800

mm. Es una planta que tolera bien la sequía, pero se debe evitar la exposición a heladas prolongadas. Preparación del suelo: Principalmente se deben de eliminar malas hierbas posteriormente se realizará un subsuelo total con una profundidad de 60 – 80 cm para romper las capas superficiales, después se realizará un barbecho profundo para eliminar la compactación y voltear el suelo (Perales et al., 2024). Plantación del cultivo: La plantación del nopal se realiza generalmente mediante esquejes. Se deben de plantar en forma vertical dejando 20 cm entre planta y planta y 10 cm entre cada hilera, permitiendo suficiente espacio para el desarrollo de las plantas y la circulación de aire (Perales et al., 2024). Riego: Durante el establecimiento del cultivo, es importante mantener el suelo ligeramente húmedo para favorecer el enraizamiento. En los meses de sequía es importante realizar riegos ligeros por gravedad, la cual se debe aplicar cada 8 o 15 días, dependiendo de las necesidades de la plantación (De Lira et al., 2024). Fertilización: Es una planta que no es exigente en cuanto a fertilización, pero presentan buenos resultados si se aplica la fertilización orgánica, aplicar 10 kg de estiércol seco al momento de la siembra y posteriormente hacer lo mismo antes del temporal de lluvias (De Lira et al., 2024).

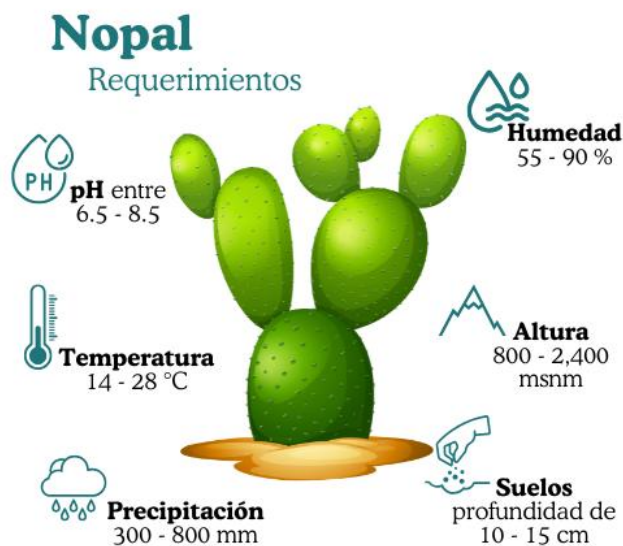


Figura 4. Requerimientos para el nopal. **Fuente:** Imagen modificada de agrokrebs. Recuperado de: <https://www.facebook.com/100050170223423/posts/1379350232549425/>

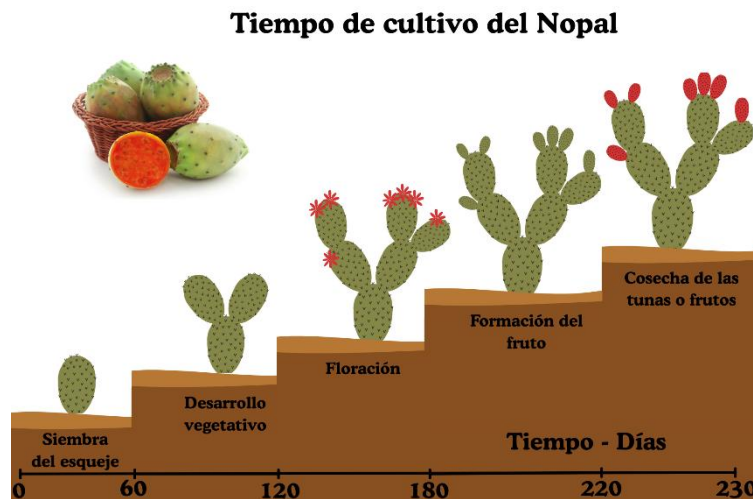


Figura 5. Etapas fenológicas del nopal. **Fuente:** Imagen modificada de Mauricio Agricultor. Recuperado de: <https://www.facebook.com/100071342187353/posts/869206358800762/>

3.4 Grana cochinilla

La familia *Dactylopidae* tiene solo un género, *Dactylopius* con nueve especies las cuales son: *D. tomentosus* (Lamark), *D. confusus* (Cockerell), *D. ceylonicus* (Green) y *D. opuntiae* (Cockerell) se encuentran en América del norte desde Nuevo México, Arizona y Texas en EE.UU. y en todo México. Sin embargo *D. ceylonicus* (Green) y *D. opuntiae* son las más ampliamente distribuidas en la República Mexicana y *D. coccus* Costa, la grana fina que se encuentra en México y Perú, existiendo discrepancia en el origen de esta última (Mena et al., 2024). Las especies de cochinilla se identifican mediante sus características morfológicas y la variedad del nopal que parasitan, aunque se han realizado avances en la identificación de poblaciones de cochinilla mediante marcadores genéticos (Mena et al., 2024).

La presencia de la cochinilla se determina por las masas algodonosas cerca de la base de las espinas (Fig. 6), al aplastar una de ellas se produce un líquido rojizo, la alimentación de la hembra y las ninfas va ocasionando el debilitamiento general de la planta haciendo que los nuevos brotes sean débiles y en menor cantidad. Las altas densidades de insectos pueden provocar la caída de pencas e incluso la muerte de la planta (Fig. 6 a), cuando el ataque es sobre los frutos serán menos turgentes, pseudomaduros, amarillentos, poco dulces y de baja calidad debido a la presencia del insecto (Fig. 6 b) (Mena et al., 2024).

Este insecto presenta dimorfismo sexual, la hembra es sésil, áptera, rechoncha y de forma ovoide de 0.2 - 0.25 cm de longitud (Fig.6 c), mientras que el macho es como una mosquita de cuerpo rojizo con alas blancas, el cuerpo está cubierto de un polvo blanco y en el extremo del abdomen presenta dos filamentos blanquecinos con el aparato bucal atrofiado, tienen un periodo de vida muy corto (3 a 4 días), cuyo único objetivo es copular con la hembra y fertilizar los huevecillos (Fig. 6 d). La hembra presenta metamorfosis simple con huevo, ninfa I, ninfa II y adulto, mientras que el macho presenta metamorfosis completa con huevo, ninfa I, ninfa II, prepupa, pupa y adulto con un ciclo biológico de 77 días en la hembra y 43 en los machos. Las hembras adultas empiezan a ovipositar cuatro semanas después de la fecundación, ovipositando de 131 a 160 huevecillos en promedio con un rango entre 62 a 617 durante un periodo de 15 a 21 días, después de esto la hembra muere, considerándose un promedio de dos meses de vida (Mena et al., 2024).



Figura 6. Aspecto de plantas con afectación de grana cochinilla en toda la planta (a) y en la tuna (b), Ciclo biológico de la cochinilla (c), adulto macho (d). Fotos Dr. Jaime Mena Covarrubias CEZAC. **Fuente:** Mena-Covarrubias, 2024

3.5 Ruda

R. graveolens L. (Fig. 7), es una planta perteneciente a la familia de las Rutaceae, es nativa de la región del Mediterráneo, presenta diferentes usos como planta de ornamento, aromática, gastronómica y medicinal. Se ha reportado que contiene más de 200 metabolitos derivados de alcaloides, cumarinas, flavonoides, entre otros (Fig. 8). También se han encontrado metabolitos con propiedades antitumorales, antioxidantes, antiinflamatorios y antimicrobianos. En control de plagas se ha demostrado el efecto de repelencia e insecticida en coleópteros como el gorgojo del frijol (*Acanthoscelides obtectus*) y el escarabajo de las

patatas (*Leptinotarsa decemlineata*), también presenta efectos contra ácaros parásitos de abejas (Villegas et al., 2014).



Figura 7. Ruda (*Ruta graveolens* L.) **Fuente:** INSTITUTO IDEMA, 2023

ALCALOIDES	CUMARINAS	FLAVONOIDES
<ul style="list-style-type: none">Tienen toxicidad directa a insectos masticadores. <p>(Bhambhani et al., 2021)</p>	<ul style="list-style-type: none">Tienen compuestos fenólicos que se metaboliza en un compuesto tóxico y afecta el intestino del insecto. <p>(Xia et al., 2023)</p>	<ul style="list-style-type: none">Tiene efectos nocivos en la disminución de la supervivencia y la alteración del crecimiento y desarrollo de los insectos. <p>(Riddick, E. W. 2021)</p>

Figura 8. Metabolitos de la ruda. **Fuente:** Elaboración propia

3.6 Extractos vegetales como bioproductos

Los bioproductos son compuestos naturales y biológicos que se utilizan para controlar diversas plagas agrícolas que infectan plantas en bosques, jardines, tierras de cultivo, etc. Existen diferentes tipos de biopesticidas que se han desarrollado a partir de diversas fuentes: pesticidas microbianos, pesticidas bioquímicos (feromonas de insectos, extractos y aceites esenciales de origen vegetal, reguladores de crecimiento de insectos), productos transgénicos (Kumar et al., 2021). El aumento de la demanda de alimentos para el sustento de la población está en constante crecimiento con ello el desarrollo y la adopción de productos químicos sintéticos como una estrategia rápida y efectiva para controlar las plagas y enfermedades de

los cultivos (Lengai et al., 2020). Aunado a la demanda de alimentos producidos orgánicamente, los pesticidas botánicos están ganando particularmente importancia ya que son eficaces en el manejo de diferentes plagas de cultivos, son baratos, se biodegradan fácilmente, tienen diversos modos de acción, sus fuentes están fácilmente disponibles y tienen baja toxicidad para organismos no objetivo. El modo de acción se atribuye a la composición fitoquímica en diferentes plantas (Lengai et al., 2020).

3.7 Regulaciones y desafíos de los bioproductos

Los bioproductos se pueden usar con fungicidas sintéticos para proporcionar control de enfermedades y cambiar gradualmente el uso de fungicidas convencionales. Los residuos de bioproductos son menos dañinos para los organismos vivos y el medio ambiente y son relativamente más seguros, incluso se pueden aplicar justo antes de la cosecha. Esto ayuda a los productores a satisfacer la demanda de los consumidores que desean adquirir alimentos más naturales, saludables y seguros en relación con el uso de fungicidas sintéticos (Cenobio et al., 2024). Al igual que cualquier insumo agropecuario, los bioproductos deben estar registrados para poder ser comercializados en el mercado. La mayoría de los países no cuenta con una regulación específica para el registro de estos productos y existe heterogeneidad, tanto en los requisitos exigidos como en las definiciones y los distintos tipos de bioproductos incluidos en las normativas. Como parte del proceso de registro de un bioproducto es necesario demostrar su eficacia y su seguridad mediante ensayos de laboratorio y de campo (FAO, 2023). Los criterios específicos requeridos para el uso comercial de estos productos deben incluir la toxicidad, la eficiencia de la producción y la seguridad del producto (Cenobio et al., 2024).

En América Latina, el registro de bioproductos suele requerir ensayos de eficiencia y seguridad en laboratorio y campo. Sin embargo, las autoridades regulatorias carecen, en muchos casos, de protocolos estandarizados y actualizados para evaluar su eficacia y seguridad. Esto provoca que los bioplaguicidas se sometan a procesos similares a los plaguicidas químicos, incluyendo pruebas toxicológicas, mientras que los biofertilizantes y bioestimulantes enfrentan requisitos más simples (FAO, 2023). Desde 1995, Colombia cuenta con una regulación específica que diferencia los bioproductos de los productos químicos, aunque el registro de bioplaguicidas sigue siendo más costoso y lento que el de

biofertilizantes. En Brasil no existe una legislación específica para los bioproductos, aunque existen disposiciones legales sobre el control biológico y biofertilizantes en las normas vigentes para agroquímicos, pese a no contar con un régimen específico, los bioproductos se registran bajo los rótulos de productos biológicos. Argentina se encuentra en la elaboración de una normativa específica para bioproductos, mientras que Centroamérica trabaja con normativas conjuntas y proyectos de armonización regional, que enfrenta limitaciones de infraestructura para realizar los ensayos requeridos (FAO, 2023).

A nivel internacional, Europa regula los bioproductos bajo las mismas disposiciones aplicables a los productos químicos, siguiendo la Directiva 91/414/CEE del Consejo relativa a la comercialización de productos fitosanitarios y la Directiva 98/8/CE sobre biocidas, que cubre los requisitos para aceites y extractos. Desde la adopción de la Directiva 91/414/CEE del Consejo, que posteriormente fue sustituida por el Reglamento (CE) n.º 1107/2009, que permite registrar sustancias “de bajo riesgo” o “básicas” mediante procedimientos simplificados para pequeñas y medianas empresas. En África, países como Sudáfrica, Kenia y Nigeria cuentan con directrices específicas que regulan los biofungicidas y bioinsecticidas a través de leyes agrícolas y sanitarias nacionales. En América del Norte, el Instituto de Revisión de Materiales Orgánicos (OMRI) certifica bioproductos para producción orgánica, basándose en estándares del Programa Nacional Orgánico (NOP) de EE. UU., el Régimen Orgánico Canadiense (COR) y la Ley de Productos Orgánicos (LPO) de México (Cenobio et al., 2024).

Por el momento, solo las empresas más grandes pueden asumir los costos de investigación necesarios para preparar un documento de registro. El mercado de agroquímicos muestra claramente el impacto de las regulaciones actuales en el uso y las preferencias de los consumidores. La agricultura orgánica se practica en 188 países y más de 96 millones de hectáreas de tierras agrícolas son cultivadas orgánicamente por al menos 4.5 millones de agricultores. Actualmente, la agricultura ecológica sigue creciendo, lo que pone de manifiesto la importancia de crear alternativas respetuosas con el medio ambiente para la producción de cultivos (Cenobio et al., 2024).

4. Justificación

El nopal (*O. ficus-indica*) tiene una gran importancia por la amplia cantidad de usos que tiene, entre los que se pueden citar: la alimentación humana ya sea por el consumo de nopales y/o tunas o como forraje para los animales, medicinal, ornamental, elaboración de quesos, dulces y bebidas, combustible o como base para obtención de energía alternativa (Argentel et al., 2024). Sin embargo, su producción se está viendo afectada por diferentes plagas principalmente por grana cochinilla (*D. coccus*) la cual va disminuyendo los rendimientos del nopal. Actualmente se buscan alternativas ecológicas para poder controlar y/o repeler la presencia del insecto sin afectar el medio ambiente. Los bioproductos representan una alternativa ecológica para controlar diversas plagas agrícolas. Particularmente, la ruda (*R. graveolens* L.) tiene una reserva única de diversos metabolitos secundarios que le confieren diferentes propiedades medicinales y/o repelente para controlar plagas y enfermedades en los cultivos (Perera et al., 2017). Por ello, esta investigación evalúa el efecto de un bioplaguicida a base de ruda en el cultivo de nopal, con la finalidad de validar su eficacia como una alternativa sustentable en la producción hortícola.

5. Hipótesis

La aplicación de un bioplaguicida a base de ruda (*R. graveolens* L.) controla y/o repele la presencia de grana cochinilla (*D. coccus*) en el cultivo de nopal (*O. ficus-indica*), reflejado en la mortalidad, reducción e infestación de cochinilla en el cultivo.

6. Objetivo general

Evaluar el efecto de un extracto a base de ruda (*R. graveolens* L.) sobre grana cochinilla (*D. coccus*) en el cultivo de nopal (*O. ficus-indica*), con el fin de validar su uso como una alternativa ecológica para el control y/o repelencia de esta plaga en el cultivo.

6.1 Objetivos específicos

- Elaborar un bioplaguicida a base de ruda (*R. graveolens* L.) mediante el método de infusión, estandarizando el proceso de preparación y método de aplicación, con el fin de asegurar su eficacia del producto para su uso en el control de la grana cochinilla.

- Determinar el efecto del extracto a base de ruda en el porcentaje de mortalidad de grana cochinilla, para establecer su potencial como alternativa biológica al uso de plaguicidas químicos.
- Evaluar visualmente el grado de infestación de grana cochinilla después de la aplicación del extracto de ruda, mediante la comparación con tratamiento químico y el registro de indicadores de daño en cladodios.

7. Materiales y métodos

7.1 Establecimiento y manejo del nopal

El experimento se llevó a cabo en la comunidad de San Nicolás Tecomatlán (Fig. 9), municipio de Ajacuba, Hidalgo (20° 10' 54" Norte, 99° 2' 14" Oeste y altitud 2, 197 m). La región presenta un clima semiseco templado y subhúmedo con lluvias en verano, una temperatura de 12 - 18 °C, una precipitación de 500 - 700 mm y una humedad relativa de 86% en septiembre y 56% en abril (INEGI, 2010). El material vegetal con el que se trabajó fue con *O. ficus-indica* variedad milpa alta, el cual se encontraba sembrado en hileras con una separación de 40 cm entre planta y planta. El cultivo tenía un tiempo de establecimiento de 2 años y una altura de 80 cm, el cual se podó seguidamente para consumo humano y así evitar su mayor crecimiento. El suelo donde se encontraba es de tipo leptosol, no contaba con sistema de riego por lo cual dependía de riego por lluvias temporales. Su fertilización al inicio del cultivo fue de abono (estiércol) de borrego, sin aplicación de fertilización formulada. Dentro de las labores culturales se practicó el deshierbe manual y podado de los nopales.



Figura 9. Lugar experimental. **Fuente:** Google Earth

7.2 Material vegetal y obtención de bioplaguicida

El material vegetal que se utilizó para la elaboración del bioplaguicida fue ruda (*R. graveolens* L.), que se obtuvo del mismo lugar de donde se realizó el estudio (San Nicolas Tecomatlán, Ajacuba) (Fig. 10 a). El material fue colectado y secado en papel estraza a temperatura ambiente (20 – 22°C) por 30 días (Fig. 10 b). Para obtener el bioplaguicida, se realizó una infusión (Fig. 9 d), con 100 g de ruda (Fig. 10 c) en 1 litro de agua purificada durante 15 minutos, una vez que se realizó la infusión se dejó reposar hasta temperatura ambiente, posteriormente se filtró y se almacenó en una botella de plástico transparente y se mantuvo a temperatura ambiente (Fig. 10 e) (SADER, 2022).



Figura 10. Planta madre de ruda (a), secado de ruda (b), pesado del material vegetal (c), proceso de obtención de infusión del extracto (d), extracto de ruda (e)

7.3 Aplicación de los tratamientos

El experimento fue completamente al azar con tres tratamientos los cuales se describen a continuación (Fig. 11): T1: Insecticida químico (Foley® Rey, Clorpirifos etil al 36.65% y Permetrina al 4.54%) 2 mL L⁻¹; T2: Bioplaguicida de ruda 75 mL L⁻¹; T0: Testigo (sin aplicación de bioplaguicida, ni insecticida químico) con diez repeticiones por tratamiento (FAO, 2019).



Figura 11. Materiales ocupados para el experimento

La aplicación de los tratamientos se realizó mediante aplicación foliar (Fig. 12), empleando la solución antes mencionada más 2 mL de adherente Inex-A, se aplicó 40 mL de cada solución por planta, se realizó una vez por semana durante seis semanas, las aplicaciones se realizaron durante la tarde a una temperatura promedio de 26°C, con una luminosidad de 75 – 81% y una pluviosidad del 80% (FAO 2019).



Figura 12. Aplicación de tratamientos

7.4 Evaluación del extracto, así como efectos en la grana

Para evaluar el efecto de la ruda aplicada en el cultivo de nopal (*O. ficus-indica*), se midieron dos parámetros: mortalidad e índice de infestación de grana cochinilla (*D. coccus*). La mortalidad se determinó con el porcentaje de cochinilla muerta tras la aplicación del

tratamiento, donde se seleccionaron ciertos individuos por planta antes de la aplicación (Perales et al., 2024). El índice de infestación se evaluó visualmente tomando en cuenta la escala de infestación propuesta por Vanegas-Rico et al., (2010) la cual fue adaptada con los siguientes niveles 0= 0 individuos, 1= 1 a 3 individuos, 2= 4 a 6 individuos, 3= 7 a 10 individuos; se asignó un valor inicial antes de la aplicación de cada tratamiento (Perales et al., 2024).

7.5 Análisis estadístico

Se realizó un análisis multivariado de medidas repetidas acompañada de una prueba de medias de hotelling ($\alpha \leq 0,05$) con el software Infostat 2020.

8. Resultados y discusiones

Los resultados para la mortalidad de grana cochinilla no obtuvieron diferencias significativas. Sin embargo, en la semana 0, indica homogeneidad al inicio del experimento (Fig. 13). Semana 1, se obtuvo una mortalidad considerable en los tratamientos. El bioproducto mostro una mortalidad de 40% respecto al control, mientras que Foley® tuvo un 160% más mortalidad que el control (no reducción) (Fig. 13). Semana 2, se obtuvo una mortalidad de 28% tanto el bioproducto como el Foley® con respecto al control (Fig. 13). Semana 3, se obtuvo una mortalidad de 44% con el bioproducto respecto al control, mientras que con el Foley® tuvo una mortalidad de 22%, sin embargo, dichas variaciones no fueron estadísticamente significativas (Fig. 13). Semana 4, los valores de mortalidad fueron bajos en todos los tratamientos cercano al 0% por lo cual no presentaron diferencias significativas entre ellos (Fig. 13). Semana 5, se obtuvo una mortalidad de 25% con el bioproducto respecto al control, mientras que el Foley® presento un 100% más mortalidad respecto al control. Como se puede observar en la gráfica (Fig. 13) a partir de la semana 3 el bioproducto se comenzó a comportar igual al tratamiento con Foley®, esto se debe que con el paso del tiempo ambos productos pueden perder eficacia o mostrar el mismo patrón, por ejemplo, menor mortalidad, ya que las poblaciones de insectos pueden aumentar la actividad de enzimas reduciendo su toxicidad al producto (Bosch-Serra et al., 2021). De igual forma la pérdida de actividad biológica podría explicarse debido a que en ese periodo de evaluación se presentaron diversos cambios climáticos donde hubo días soleados y días lluviosos, lo que

también debió afectar su actividad es su almacenamiento ya que se mantuvo en una botella de plástico transparente y no se metió a refrigeración lo que pudo ayudar a su rápida degradación del bioproducto, otro aspecto que debió de afectar su eficacia fue el horario de aplicación ya que se aplicaba en las tardes cuando todavía había mucha exposición solar, por otro lado, se pudo haber presentado una hormesis, la cual inhibe su acción del bioproducto (An et al., 2005). Lengai y colaboradores mencionan que la naturaleza biológica de los productos botánicos hace que su degradación sea rápida por su exposición al aire, la luz solar, la humedad y las altas temperaturas lo cual es suficiente para descomponer sus compuestos del extracto, de igual forma mencionan que el almacenamiento de extractos vegetales degrada su eficacia como insecticida, lo que indica que se degradan igual de rápido tras la aplicación (Lengai et al., 2020).

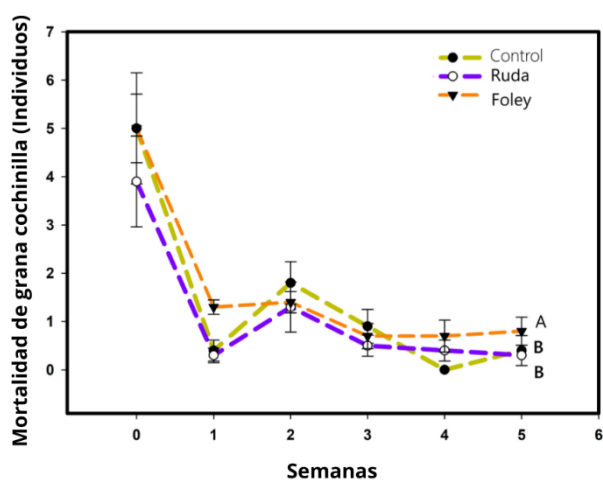


Figura 13. Mortalidad de grana cochinilla (Individuos). Control (T0: Testigo): plantas sin aplicación de bioplaguicida ni insecticida químico; Bioproducto (T1: extracto a base de ruda) dosis 75 mL L^{-1} ; Foley (T2: insecticida químico (Clorpirifos etil al 36.65 % y Permetrina al 4.54 %)) dosis de 2 mL L^{-1} . Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de hotelling ($\alpha \leq 0,05$); $n=10$ error estándar

En los resultados para la infestación de grana cochinilla no se presentaron diferencias significativas, sin embargo, se pudo observar que si hubo una reducción de infestación de grana. En la semana 0 todos los tratamientos iniciaron con un promedio de infestación moderado con valores cercanos a 2 en la escala, es decir de 4 a 6 individuos por planta (Fig. 14). Semana 1, se obtuvo una disminución de la infestación de 1.7 a 1.6 (15.8% menos) con el bioproducto mientras que con el Foley® de 2.0 a 1.5 (21.1% menos) con respecto al control

(Fig. 14). Semana 2, se obtuvo una disminución de la infestación de 1.6 a 1.3 (7.1% menos) con el bioproducto mientras que con el Foley® se disminuyó la infestación de 1.5 a 1.2 (14.3% menos) con respecto al control (Fig. 14). Semana 3, se obtuvo una disminución de la infestación de 1.3 a 1 (9.1% menos) con el bioproducto mientras que con el Foley® se disminuyó la infestación de 1.2 a 1.1 (igual al control) con respecto al control (Fig. 14). Semana 4, se obtuvo una disminución de la infestación de 1 a 0.8 (11.1% menos) con el bioproducto mientras que con el Foley® se disminuyó la infestación de 1.1 a 0.8 (11.1% menos) con respecto al control (Fig. 14). Semana 5, se obtuvo una disminución de la infestación de 0.8 a 0.6 (25% menos) con el bioproducto mientras que con el Foley® se disminuyó la infestación de 0.8 a 0.6 (25% menos) con respecto al control (Fig. 14). Como se puede observar a partir de la semana 3 el bioproducto comenzó a comportarse igual al tratamiento con Foley®, anteriormente se explicó por qué el bioproducto y el Foley® pueden comportarse de la misma forma; sin embargo, se puede observar en la gráfica (Fig. 14) que los tratamientos si tuvieron una disminución de la infestación de grana cochinilla, esto se explica porque al hacer uso de estos tratamientos (Foley® y bioproducto) pueden causar repelencia, inhibición, mortalidad o bien afectar aspectos fisiológicos de los insectos como: el sistema respiratorio, la transmisión nerviosa, la alimentación, el metabolismo energético, la integridad de la cutícula, la capacidad reproductiva y la homeostasis interna de las plagas, así, haciendo una disminución de la infestación de grana cochinilla en los cladodios del nopal (Vélez et al., 2022).

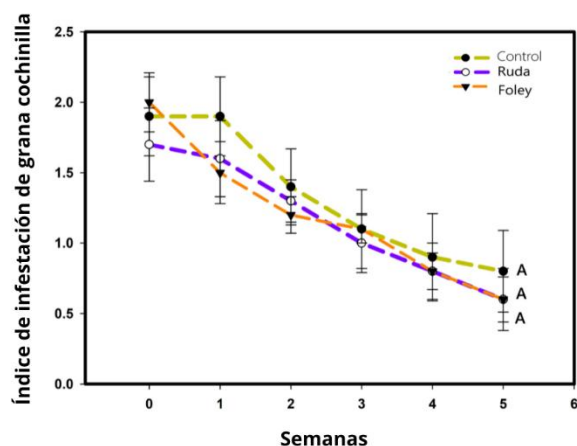


Figura 14. Índice de infestación de grana cochinilla. Control (T0: Testigo): plantas sin aplicación de bioplaguicida ni insecticida químico; Bioproducto (T1: extracto a base de ruda) dosis 75 mL L⁻¹; Foley (T2: insecticida químico (Clorpirifos etil al 36.65 % y Permetrina al 4.54 %)) dosis de 2 mL L⁻¹. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de hotelling ($\alpha \leq 0,05$); n=10 error estándar. El índice de infestación se evaluó visualmente tomando en cuenta la escala de infestación propuesta por Vanegas et al., 2010; la cual presenta los siguientes niveles 0=0 individuos 1=1 a 3 individuos, 2= 4 a 6 individuos, 3=7 a 10 individuos; se asignó un valor inicial antes de la aplicación de cada tratamiento (Perales et al., 2024)

9. Conclusión y perspectivas del proyecto

Con base a los resultados, el bioproducto elaborado a partir de extracto de *R. graveolens* L. demostró una alta eficiencia inicial en el control de la grana cochinilla (*D. coccus*) en nopal (*O. ficus-indica*), evidenciando una disminución rápida de la plaga atribuida a la presencia de los metabolitos secundarios que contiene. Estos compuestos afectan diversos procesos fisiológicos de la plaga, lo que permite reducir su infestación en los cladodios durante las primeras etapas posteriores a la aplicación. Conforme avanzó el periodo de evaluación, el comportamiento del bioproducto (extracto de ruda) fue similar al del insecticida químico (Foley®), sin embargo, este comportamiento no implica que ambos tratamientos compartan el mismo modo de acción, ya que los extractos vegetales actúan principalmente mediante metabolitos secundarios como alcaloides, flavonoides y cumarinas, los cuales generan efectos antialimentarios. La disminución de la eficiencia del bioproducto se asocia a la naturaleza de los compuestos vegetales, los cuales son susceptibles a factores ambientales que aceleran su degradación. Los resultados confirman que los productos botánicos

constituyen una alternativa viable y ecológica dentro del manejo integrado de plagas, al ofrecer actividad biológica efectiva y un menor impacto ambiental en comparación con los insecticidas químicos.

Como perspectivas futuras, se recomienda evaluar diferentes formulaciones y concentraciones del bioproducto de ruda para que permitan prolongar su efecto en campo, así como observar su estabilidad frente a distintas condiciones climáticas. Asimismo, sería pertinente estudiar su aplicación en otros cultivos y sistemas productivos, así como su integración con otras estrategias de manejo integrado de plagas. De igual forma, se sugiere realizar estudios que consideren el impacto ambiental y la viabilidad económica del bioproducto para fortalecer su aceptación en la agricultura sostenible.

10. Referencias

- Abdulaziz, A. M., Saleh, M., & Wardlaw, R. (2009). Acaricidal activity of plant extracts and their main terpenoids on the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Alexandria Science Exchange Journal*, 30(3), 344–349. <https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2009.3248>
- Ali, M., Mohanny, K., Mohamed, G., & Allam, R. (2019). Efficacy of some promising plant essential oils to control the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier (Coleoptera: Curculionidae) under laboratory conditions. *SVU-International Journal of Agricultural Sciences*, 1(2), 12–45. <https://doi.org/10.21608/svuijas.2019.67092>
- An, M., Pratley, J. E., Haig, T., & Liu, D. L. (2005). Whole-range assessment: A simple method for analysing allelopathic dose–response data. *Nonlinearity in Biology, Toxicology, Medicine*, 3(2), 245–259. <https://doi.org/10.2201/nonlin.003.02.006>
- Anaya-Pérez, M. A., & Bautista-Zane, R. (2008). El nopal forrajero en México: del siglo XVI al siglo XX. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 5(2), 167–183. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722008000200001
- Argentel-Martínez, L., Peñuelas-Rubio, O., Perales Aguilar, L., González Gaona, E., & García Munguía, A. M. (2024). Introducción al cultivo del nopal. En *El nopal*:

- Ecofisiología del nopal en México (cap. 1). Pantanal Editora. <https://doi.org/10.46420/9786585756211cap1>
- Berhe, Y. K., Portillo, L., & Viguera-Guzmán, A. L. (2022). Resistance of *Opuntia ficus-indica* cv. 'Rojo Pelón' to *Dactylopius coccus* (Hemiptera: Dactylopiidae) under greenhouse conditions. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 24, 290–306. <https://doi.org/10.56890/jpacd.v24i.509>
- Bhambhani, S., Kondhare, K. R., & Giri, A. P. (2021). Diversity in chemical structures and biological properties of plant alkaloids. *Molecules*, 26(11), 3374. <https://doi.org/10.3390/molecules26113374>
- Bosch-Serra, D., Rodríguez, M. A., Avilla, J., Sarasúa, M. J., & Miarnau, X. (2021). Esterase, glutathione S-transferase and NADPH-cytochrome P450 reductase activity evaluation in *Cacopsylla pyri* L. (Hemiptera: Psyllidae) individual adults. *Insects*, 12(4), 329. <https://doi.org/10.3390/insects12040329>
- Cenobio-Galindo, A. D. J., Hernández-Fuentes, A. D., González-Lemus, U., Zaldívar-Ortega, A. K., González-Montiel, L., Madariaga-Navarrete, A., & Hernández-Soto, I. (2024). Biofungicides based on plant extracts: On the road to organic farming. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(13), 6879. <https://doi.org/10.3390/ijms25136879>
- De Lira Ramos, K. V., Perales Aguilar, L., Perales-Segovia, C., González Gaona, E., & Mena Covarrubias, J. (2024). Manejo anual del cultivo. En *El nopal: Ecofisiología del nopal en México* (cap. 4). Pantanal Editora. <https://doi.org/10.46420/9786585756211cap4>
- Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2025). Anuario estadístico de la producción agrícola. Gobierno de México. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). Manual on pesticide application equipment. FAO. <https://www.fao.org/sustainable-agricultural-mechanization/guidelines-operations/pesticides-application-guidelines/en/>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). Regulatory frameworks for biofertilisers, biopesticides and biostimulants in agriculture: Challenges and opportunities for harmonization (CC9060ES). FAO. <https://doi.org/10.4060/cc9060es>

González Gaona, E., García Munguía, A. M., Padilla Ramírez, J. S., García Munguía, A., & Perales Aguilar, L. (2024). Características de los nopales. En *El nopal: Ecofisiología del nopal en México* (cap. 2). Pantanal Editora. <https://doi.org/10.46420/9786585756211cap2>

Instituto IDEMA. (2023). Monografía: planta aromática la ruda. Instituto idema. https://books.instituto-idema.org/sites/default/files/2023_07_10_19_23_19_joseflores.280497gmail.com_monografia_planta_aromatica_la_ruda.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Compendio de información geográfica municipal: Ajacuba, Hidalgo. https://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13005.pdf

Juárez López, C. R., López Márquez, C. Y., & Rös, M. (2024). Rescate de un insecto desconocido y casi extinto en Oaxaca. *Amerika*, (29). <https://doi.org/10.4000/1330v>

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), 1185. <https://doi.org/10.3390/plants10061185>

Lengai, G. M. W., Muthomi, J. W., & Mbega, E. R. (2020). Phytochemical activity and role of botanical pesticides in pest management for sustainable agricultural crop production. *Scientific African*, 7, e00239. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00239>

Mena Covarrubias, J., González Gaona, E., de Lira Ramos, K. V., Perales-Segovia, C., Tafoya, F., Sánchez Lucio, R., & Zúñiga Valenzuela, R. (2024). Plagas insectiles del nopal y su control. En C. Perales-Segovia, E. González-Gaona, O. Peñuelas Rubio,

- et al. (Eds.), El nopal: Principales plagas y enfermedades del nopal en México (cap. 2). Pantanal Editora. <https://doi.org/10.46420/9786585756204cap2>
- Nahar, L., El-Seedi, H. R., Khalifa, S. A. M., Mohammadhosseini, M., & Sarker, S. D. (2021). Ruta essential oils: Composition and bioactivities. *Molecules*, 26(16), 4766. <https://doi.org/10.3390/molecules26164766>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2006). Utilización agroindustrial del nopal. FAO. <https://www.fao.org/4/a0534s/a0534s00.htm>
- Palafox-Luna, J. A., Rodríguez-Leyva, E., Lomeli-Flores, J. R., Viguera-Guzmán, A. L., & Vanegas-Rico, J. M. (2018). Ciclo de vida y fecundidad de *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) en *Opuntia ficus-indica* (Caryophyllales: Cactaceae). *Agrociencia*, 52(1), 103–114. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000100103
- Perales-Rosas, D., Valle de la Paz, M., Aguilar Zárate, P., & Nieto Aquino, R. (2024). Efectividad biológica de insecticidas en el control de cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae*) en Morelos, México. *Revista Científica y Tecnológica*, 10(2). <https://doi.org/10.51896/tectzapic/TCRV9896>
- Perales-Segovia, C., Sánchez Lucio, R., Perales Aguilar, L., García Munguía, C. A., & Mena Covarrubias, J. (2024). Selección del sitio y plantación del nopal. En *El nopal: Ecofisiología del nopal en México* (cap. 3). Pantanal Editora. <https://doi.org/10.46420/9786585756211cap3>
- Perera, A., Karunaratne, M., & Chinthaka, S. D. (2017). Biological activity and secondary metabolite profile of *Ruta graveolens* leaves against maize weevil infestations. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(2), 233–241.
- Riddick, E. W. (2021). Potential of quercetin to reduce herbivory without disrupting natural enemies and pollinators. *Agriculture*, 11(6), 476. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060476>

- Rodríguez-Montero, L., Berrocal-Jiménez, A., Campos-Rodríguez, R., & Madriz-Martínez, M. (2020). Determinación de la actividad biocida de extractos vegetales para el combate de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Tecnología en Marcha*, 33(3), 117–129. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i3.4373>
- Romero, R., Morales, P., Pino, O., Cermeli, M., & González, E. (2015). Insecticide activity of six ethanolic plant extracts against whitefly. *Revista de Protección Vegetal*, 30(Supl. 1), 23–28. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522015000400005
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). Estrategia de acompañamiento técnico: Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos. 10. Elaboración de extractos vegetales. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737322/10_Extractos_vegetales.pdf
- Vélez-Ruiz, M. C., Meza-Vera, R. J., Abasolo-Pacheco, F., & Álvarez-Romero, P. I. (2022). Use of botanical extracts to control the aphid (*Myzus persicae*: Aphididae) and whitefly (*Bemisia tabaci*: Aleyrodidae) in pepper crop (*Capsicum annuum*: Solanaceae) in Ecuador. *Terra Latinoamericana*, 40. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1454>
- Villegas-Mendoza, J. M., Santes-Hernández, Z., Rivera-Sánchez, G., Mireles-Martínez, M., Rosas-García, N. M., & Paz-González, A. D. (2014). Evaluación tóxica a nivel laboratorio de extracto acético y tres metabolitos de ruda (*Ruta graveolens*) contra el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). *Entomología Mexicana*, 1, 185–189. <https://www.acaentmex.org/entomologia/revista/2014/CB/035.pdf>
- Xia, T., Liu, Y., Lu, Z., & Yu, H. (2023). Natural coumarin shows toxicity to *Spodoptera litura* by inhibiting detoxification enzymes and glycometabolism. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(17), 13177. <https://doi.org/10.3390/ijms241713177>