



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

Biología y control del agallador
***Andricus quercuslaurinus* en el encino**
Quercus affinis

URIEL M. BARRERA RUIZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

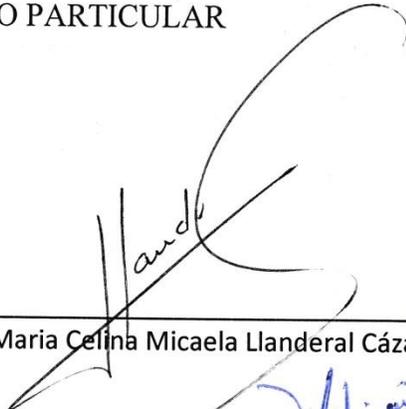
2014

La presente tesis titulada: Biología y control del agallador *Andricus quercuslaurinus* en el encino *Quercus affinis*, realizada por el alumno: Uriel M. Barrera Ruiz, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



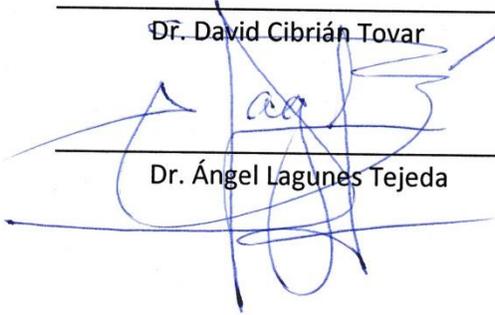
Dra. Maria Ceina Micaela Llanderal Cázares

ASESOR



Dr. David Cibrián Tovar

ASESOR



Dr. Ángel Lagunes Tejeda

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Febrero de 2014

BIOLOGÍA Y CONTROL DEL AGALLADOR *Andricus quercuslaurinus* EN EL ENCINO
Quercus affinis

Uriel M. Barrera Ruiz, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2014

Resumen

Andricus quercuslaurinus es un cinípido agallador de *Quercus affinis* que presenta heterogonia. La generación sexual que induce agallas en las hojas está compuesta por machos y hembras, mientras que la generación alternante induce agallas en ramitas jóvenes y está compuesta solo por hembras, por lo que se conoce como generación asexual. El ciclo biológico de *A. quercuslaurinus* tiene aspectos aún desconocidos. En la presente investigación se describen las características de los huevos ovipositados, el periodo de inducción de las agallas de hoja y algunos otros aspectos del desarrollo del cinípido y de sus agallas. Los estragos causados por este cinípido en la población de *Q. affinis* generaron el interés de los propietarios del lugar donde se instaló un experimento de combate químico en el que se evaluaron el imidacloprid, acefato, spirotetramat y abamectina, todos aplicados por aspersión foliar en el tiempo en que las hembras agámicas ovipositaban. En el experimento de combate químico se encontró que el acefato, imidacloprid y espirotetramat tuvieron efectos significativos sobre las hembras adultas y en la supervivencia de huevos y larvas, por lo que pueden ser una opción a emplear en un programa de manejo de este cinípido plaga.

Palabras clave: Cynipidae, ciclo biológico, etapas de desarrollo, efectividad de insecticidas.

BIOLOGY AND COMBAT OF THE GALL MAKER *Andricus quercuslaurinus* IN THE
OAK *Quercus affinis*

Uriel M. Barrera Ruiz, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2014

Abstract

Andricus quercuslaurinus is a heterogonous cynipid oak gall wasp of *Quercus affinis*. Sexual generation that induces galls on leaves comprises males and females, while alternant generation that induces galls on young branches is composed of only females and is thus known as asexual generation. Aspects of the *A. quercus laurinus* biological cycle are still unknown. This study describes characteristics of oviposited eggs, leaf gall induction period and other development aspects of the cynipid and their galls. The destruction caused by this cynipid in the *Q. affinis* population awakened the interest of the owners of the site where a chemical control experiment was set up. Foliar applications of imidacloprid, acephate, spirotetramat and abamectin were assessed during the time that the agamic females oviposited. The chemical control experiment found that acephate, imidacloprid and spirotetramat had significant effects on female adults and on egg and larva survival and, therefore, can be used in a management program of this cynipid pest.

Key words: Cynipidae, biological cycle, development stages, insecticide effectiveness.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. David Cibrián Tovar por las recomendaciones, las acertadas observaciones, el tiempo brindado y por dirigir la presente tesis.

A la Dra. Celina Llanderal Cázares por su disposición y valiosas observaciones, por el trabajo y tiempo brindados a mi proceso de formación de postgrado y al desarrollo de esta tesis.

Al Dr. Ángel Lagunes Tejeda por el tiempo y las observaciones brindadas durante el desarrollo de esta tesis.

Al M. en C. Victor David Cibrián Llanderal por las valiosas aportaciones, consejos y apoyo antes y durante la realización de ésta tesis.

A los señores Mario Enrique Vázquez Hernández y Enrique Vázquez por las facilidades brindadas para realizar la presente investigación en el predio La Victoria.

Al Sr. Dolores Saavedra López por el apoyo brindado para realizar diversas actividades en la fase de campo de la presente investigación.

A los profesores del Postgrado de Entomología y Acarología del Colegio de Postgraduados, compañeros y amigos que me proporcionaron sus valiosos conocimientos e invaluable experiencia.

Al Colegio de Postgraduados, al Instituto de Fitosanidad y al programa de Entomología y Acarología por considerarme en su programa de postgrado y tener la oportunidad de obtener el grado de Maestro en Ciencias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por proporcionarme el apoyo económico necesario para poder obtener el grado de Maestro en Ciencias.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO 1: Ciclo biológico	4
Resumen	4
CHAPTER 1: Biological cycle.....	5
Abstract.....	5
1.1. Introducción.....	6
1.1.1. Agalladores.....	6
1.1.2. Agallas	7
1.1.3. Cynipidae.....	8
1.1.4. Cynipinae.....	10
1.1.4.1 Formación y desarrollo de la agalla.....	12
1.1.5. Cynipini	12
1.1.5.1. Hospedantes.....	13
1.1.6. Género <i>Andricus</i>	15
1.1.6.1. Especies relacionadas con <i>A. quercuslaurinus</i>	15
1.2. Materiales y Métodos	17
1.2.1. Ciclo biológico en campo.....	17
1.2.2. Preparación del material a fotografiar en laboratorio.....	20

1.3. Resultados.....	21
1.3.1 Ciclo biológico de la generación sexual.....	21
1.3.2. Agallas.....	26
1.3.2.1. Desarrollo de la agalla de la generación sexual.....	29
1.4. Discusión.....	33
1.5. Conclusiones.....	34
1.6. Literatura Citada.....	34
CAPÍTULO 2: Control químico del agallador <i>Andricus quercuslaurinus</i> en <i>Quercus affinis</i>	42
Resumen.....	42
CHAPTER 2: Chemical control of the galler <i>Andricus quercuslaurinus</i> in <i>Quercus affinis</i>	43
Abstract.....	43
2.1. Introducción.....	44
2.2. Materiales y Métodos.....	45
2.2.1. Inspección previa.....	45
2.2.2. Aplicación de insecticidas en aspersion foliar.....	46
2.2.3. Evaluación.....	47
2.2.4. Análisis estadístico.....	48
2.3. Resultados y Discusión.....	48
2.3.1. Efecto sobre las hembras durante la oviposición.....	48

2.3.2. Efecto sobre los huevos	50
2.3.3. Efecto sobre larvas.....	52
2.4. Conclusiones.....	53
2.5. Literatura Citada	54
CONCLUSIONES GENERALES	56
ANEXOS	57
ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBAS DE HIPÓTESIS	57
Evaluación 1	57
Evaluación 2	62
IMÁGENES	71
Ciclo biológico	71
Combate químico.....	72

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Tribus de Cynipinae. Tomada de Abe <i>et al.</i> (2007).....	10
Cuadro 2. Distribución de especies de <i>Quercus</i> en América, de acuerdo a Nixon (2002).	14
Cuadro 3. Fechas de colecta de ramas y/u hojas de <i>Q. affinis</i>	18
Cuadro 4. Dosificación de los tratamientos.....	46
Cuadro 5. Promedios de huevos y de hojas con huevos por brote. Primera evaluación.....	49
Cuadro 6. Promedios de huevos en agallas desarrolladas por brote. Segunda evaluación.....	50
Cuadro 7. Promedios de agallas de <i>A. quercuslaurinus</i> por brote.....	51
Cuadro 8. Promedios de larvas de <i>A. quercuslaurinus</i> por brote. Segunda evaluación.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Huevos de <i>A. quercuslaurinus</i> en el envés de hojas jóvenes.	22
Figura 2. Huevos en el pedicelo de una hoja, rodeados parcialmente por tejido de la planta. Foto tomada el 28 de febrero del 2012.	23
Figura 3. Corte de agalla; notese la estructura de forma lanceolada y color verde oscuro al centro de la imagen, que corresponde a la agalla, con una esfera de superficie lustrosa en su centro que corresponde al huevo. Foto tomada el 27 de marzo del 2012.	24
Figura 5. Agallas de hoja con orificio de emergencia y un adulto en su interior. Foto tomada el 6 de junio del 2012.	25
Figura 4. Adulto (izquierda) y pupa (derecha) en el interior de sus cámaras larvales. Foto tomada el 21 de mayo del 2012.	25
Figura 6. Agallas con tejido nutritivo evidente. Foto izquierda del 25 de abril y foto derecha del 7 de mayo del 2012.	27
Figura 7. Fotografías de agallas maduras y con el agallador próximo a pupar.	28
Figura 8. Huevos con síntomas iniciales del crecimiento de una agalla.	29
Figura 9. Huevo parcialmente cubierto por el tejido de la hoja.	30
Figura 10. Coloración de agallas aún en la etapa de desarrollo; en las fotos superiores se muestra el haz de la hoja y en las fotos inferiores el envés. Foto tomada el 2 de abril del 2012.	31
Figura 11. Vista por el haz y por el envés de una hoja con cuatro agallas. Fotos tomadas el 2 de abril del 2012.	32

Figura 12. Brote de <i>Q. affinis</i> de reciente formación, que puede tener de 8 a 12 hojas. Las avispas ovipositan en las nuevas hojas en desarrollo, normalmente en el envés de ellas	47
Figura 13. Huevos de avispa agalladora <i>A. quercuslaurinus</i> en hojas de <i>Q. affinis</i> . A: huevos ovipositados en el envés de la hoja, su pedúnculo está insertado en la lámina foliar. B: cuatro agallas en desarrollo, conectadas con la vena principal de la hoja.	50
Figura 14. Ciclo biológico de <i>A. quercuslaurinus</i>	71
Figura 15. Distribución de los tratamientos.....	72
Figura 16. Daños de <i>A. quercuslaurinus</i> a <i>Q. affinis</i> . Fotos tomadas el 23 de agosto del 2012.....	73
Figura 17. Daños de <i>A. quercuslaurinus</i> a <i>Q. affinis</i> . Fotos tomadas el 01 de marzo del 2012.	73
Figura 18. Primera aplicación. Foto tomada el 16 de febrero del 2012.	73
Figura 19. Sitio correspondiente al tratamiento acefato. Fecha: 16 de febrero del 2012.....	73
Figura 20. Aspersora motorizada FORZA 25 utilizada para efectuar la aplicación de los tratamientos. Fecha: 16 de febrero del 2012.....	73

INTRODUCCIÓN GENERAL

Andricus quercuslaurinus Melika & Pujade-Villar fue observado por primera vez en diciembre del 2005 en el predio La Victoria, Acaxochitlán, Hidalgo, induciendo agallas en ramas de *Quercus affinis* Scheidw.

Del estudio de Cibrián-Tovar y Cibrián-Llenderal (2009) en torno al ciclo biológico de *A. quercuslaurinus*, se averiguó que esta especie de cinípido presenta dos generaciones alternantes: una asexual o agámica que induce agallas en ramas jóvenes, seguida de una sexual o gámica que las induce en hojas. La generación asexual tiene una duración aproximada de 33 meses y la sexual de tres meses.

En 2006, la presencia de agallas de rama inducidas por *A. quercuslaurinus* provocó la muerte descendente de ramas fuertemente infestadas en árboles de cualquier altura, edad y condición fitosanitaria, reducción progresiva de la copa y apertura del dosel con consecuencias en la capacidad de captación de agua y en la sustitución de especies arbóreas, aparición de brotes epicórmicos, reducción del crecimiento, y eventualmente la muerte de los árboles más infestados. Además, se registró el aumento en longitud de las agallas como consecuencia directa de la infestación del cinípido inquilino *Synergus filicornis* Cameron, lo que incrementó la severidad de los daños y la velocidad con que estos hacen estragos en los árboles infestados.

La afectación en el predio La Victoria requirió de medidas de control como derribo de árboles muertos, fuertemente infestados y aquellos con ausencia casi total de copa, lo cual provocó una drástica reducción en la cantidad de individuos de *Q. affinis*. Los árboles que permanecieron de pie presentaban niveles de infestación bajos o intermedios, algunos de ellos con aparente resistencia a *A. quercuslaurinus*.

La presencia de agallas de *A. quercuslaurinus* se detectó posteriormente en zonas aledañas a este predio. Es posible que este cinípido agallador estuviera presente en otras zonas pero tal vez no generaba niveles de daño tan alto como en La Victoria, o bien, no se le había prestado suficiente atención a su presencia.

El interés de realizar el presente trabajo de investigación partió del efecto negativo en la salud de los árboles, en el cambio en la composición de especies como consecuencia de la acción conjunta de *A. quercuslaurinus* y *S. filicornis* y por la pérdida de más del 85% de la población de *Q. affinis* en varios predios particulares del municipio de Acaxochitlán, lo que hizo de estos cinípidos una plaga de gran importancia en este municipio.

Por ello se abordan dos grandes temas en el presente estudio, uno relacionado con el ciclo biológico de *A. quercuslaurinus* y el otro con el combate de infestaciones mediante la aplicación foliar de insecticidas químicos, cada tema en un capítulo diferente con su propia estructura. El capítulo 1 contiene una revisión de literatura detallada de Cynipidae, que se presenta como base para estandarizar la información sobre la familia y posteriormente se describen las actividades realizadas para conocer con más detalle aspectos de la biología del insecto. El capítulo 2 contiene un artículo sobre combate químico, el cual ya fue sometido a una revista científica.

En la presente investigación se eligió a la generación sexual de *A. quercuslaurinus* para la prueba de combate químico, ya que los adultos emergentes de ésta son los que ovipositan en las ramas para inducir las agallas en las que se desarrolla la generación asexual, por lo que al disminuir su cantidad, se reduce potencialmente la formación de nuevas agallas de rama y los daños que estas producen.

En lo referente al seguimiento del ciclo biológico, antes de iniciar la investigación se conocían parcialmente las etapas de desarrollo del insecto y de las agallas de ambas generaciones de *A. quercuslaurinus*. Al disponer de más información sobre el ciclo biológico y el efecto de los insecticidas probados, sería posible utilizar alguno de estos productos de manera más efectiva.

La presencia cada vez más evidente de las agallas de rama y de los daños en árboles de *Q. affinis*, provocó un interés creciente tanto de los dueños de los predios afectados, como de las autoridades municipales y estatales, los prestadores de servicios y la población en general. Esto llevó a que las investigaciones previas y los resultados de la presente en el apartado de combate químico, se tomaran en cuenta para comenzar a diseñar una estrategia de manejo para *A. quercuslaurinus* y *S. filicornis*.

Los objetivos que se establecieron fueron:

1. Dar seguimiento a la fase sexual del ciclo biológico de *A. quercuslaurinus*, mediante la identificación del periodo de emergencia de las hembras asexuales, el seguimiento de la generación sexual y la identificación de las diferentes etapas de desarrollo, tanto del insecto como de las agallas.
2. Probar el efecto de la aplicación por aspersión foliar de spirotetramat, imidacloprid, acefato y abamectina, en huevos y larvas presentes en el interior de las agallas de la generación sexual y en las hembras adultas de la generación asexual que realizan la oviposición en las hojas.

CAPÍTULO 1: Ciclo biológico

Resumen

Andricus quercuslaurinus, una avispa inductora de agallas en *Quercus affinis*, desde 2006 se ha convertido en una plaga que ha causado importantes daños a la población natural de dicho encino en Acaxochitlán, Hidalgo. En este estudio, mediante el levantamiento de datos de campo se amplía la información referente a su ciclo biológico. La emergencia de las hembras de la generación asexual ocurrió a mediados de febrero de 2012; durante la oviposición en el envés de las hojas, las hembras insertaron el pedúnculo del huevo en el tejido foliar, quedando el cuerpo del mismo expuesto en la superficie. Después de la emergencia masiva de las hembras agámicas y durante un periodo que comprendió los siguientes 70 días, se encontraron huevos y agallas foliares en desarrollo. Las larvas estuvieron presentes de finales de abril hasta finales de mayo, cuando inició la formación de pupas, las cuales se encontraron durante la última semana de mayo y la primera de junio. Los nuevos adultos se registraron desde finales de mayo hasta la primera semana de junio, con una proporción sexual 1:1. El ciclo en campo requirió alrededor de 120 días desde la ovipostura hasta la emergencia de hembras y machos que constituyeron la generación sexual de esta especie. Se incluyen ilustraciones de las diferentes etapas de desarrollo y de las agallas inducidas por el insecto. El estudio permitió definir que las etapas de huevo y de emergencia de los adultos son las más susceptibles para aplicar medidas de control del insecto.

Palabras clave: Ciclo de vida, oviposturas, formación de agallas, emergencia de adultos.

CHAPTER 1: Biological cycle

Abstract

Andricus quercuslaurinus, an oak gall wasp, was recognized in 2006 as a pest causing major damage to the natural population of *Quercus affinis* in Acaxochitlán, Hidalgo. This study, through field observations, gives further knowledge on its biological cycle. Emergence of females of the asexual generation occurred in mid-February, 2012. During oviposition, females inserted the egg peduncle into the tissue of the leaf underside, leaving the eggs exposed on the surface. After massive emergence of agamic females and during the following 70 days, eggs and leaf galls in development were found. The larvae were present from the end of April to the end of May when pupa formation initiated. Pupae were found during the last week of May to the first week of June. New adults were recorded from the end of May into the first week of June, with a 1:1 proportion of males to females. The life cycle in the field required 120 days, from oviposition to female and male emergence, in the sexual generation of this species. Illustrations of the different stages of the insect's development and of induced galls are included. The study determined that the stages of egg and adult emergence are those most susceptible to control measures.

Key words: Life cycle, oviposition, gall formation, adult emergence.

1.1. Introducción

Andricus quercuslaurinus Melika & Pujade-Villar es una avispa agalladora que se encontró por primera vez en diciembre del 2005, induciendo agallas en ramas (generación asexual) y en hojas (generación sexual) en los primeros meses de 2006, en individuos de *Quercus affinis* Scheidw. en el predio La Victoria, Acaxochitlán, Hidalgo, México. La especie fue descrita por Melika *et al.* (2009).

La infestación de *A. quercuslaurinus* en su fase asexual produce fuertes estragos en las poblaciones de su encino hospedante *Q. affinis*, en tanto que los de la fase sexual son bastante más reducidos. Cuando *A. quercuslaurinus* se encuentra junto con *S. filicornis*, un cinípido inquilino de sus agallas, las malformaciones, los daños y la velocidad con que estos afectan a la planta hospedante son aparentemente mayores (Cibrián-Tovar & Cibrián-Llenderal, 2009).

Melika *et al.* (2009) reportan una duración de aproximadamente 30 meses para la generación asexual. Aunque estos autores proporcionan una descripción del ciclo biológico, éste aún no se conoce totalmente, por lo que el objetivo de esta parte del trabajo de investigación fue el de obtener información sobre el ciclo biológico de *A. quercuslaurinus* que complemente a la ya existente.

1.1.1. Agalladores

Abrahamson *et al.* (1998a) mencionan que los organismos inductores de agallas se han encontrado en cuatro reinos, dos phyla, dos clases de artrópodos y seis órdenes de insectos, pero solo pocos grupos de plantas tienen muchos agalladores. Más del 90 % de los agalladores ocurren en Norteamérica atacando plantas dicotiledóneas y muchos de estos infestan solo tres familias: Rosaceae, Compositae y Fagaceae. La especificidad de los inductores de agallas es en parte consecuencia de la relación íntima con su planta hospedante.

Abrahamson *et al.* (2003) mencionan que la química de la planta ha jugado un papel apreciable en los cambios del hospedante y en la radiación evolutiva de los insectos herbívoros, aunque se sabe que algunos rasgos de las plantas hospedantes, como su morfología, fenología y vigor de la planta, influyen en la elección del hospedante por los insectos inductores.

1.1.2. Agallas

Stone y Schönrogge (2003) definen a las agallas como estructuras compuestas de tejido de la planta dentro del que se alimentan insectos, los cuales se distinguen de otros refugios generados por ellos, como las hojas enrolladas o las minas de hojas, por el hecho de que las agallas involucran diferenciación activa y crecimiento de tejido de la planta, mientras que Shorthouse *et al.* (2005) definen a las agallas como un crecimiento atípico que provee alimento, refugio y protección para el inductor o su progenie.

Las agallas son nuevos órganos de la planta, ya que ésta las produce en respuesta a un estímulo específico que provee el insecto invasor (Shorthouse *et al.*, 2005) y demandan activamente nutrientes que les provean a los insectos en desarrollo un suministro continuo de alimento (Cooper & Rieske 2009, 2010).

Las agallas se desarrollan como resultado de las interacciones entre el insecto inductor y la planta, en donde el insecto toma el control y redirige el crecimiento y la fisiología de los órganos atacados, concentrando nutrientes y metabolitos de la planta en el tejido de la agalla al elevar la tasa fotosintética en las partes afectadas de la planta y/o por movilización de recursos provenientes de tejidos aledaños (Stone *et al.*, 2002; Stone y Schönrogge, 2003); esta interacción está considerada una de las más complejas en la naturaleza y cada especie de inductor produce agallas que son anatómica y fisiológicamente diferentes a las inducidas por otras especies relacionadas (Shorthouse *et al.*, 2005).

Küster (1903, 1911), citado por Larew (1981), clasificó las agallas en función del grado de diferenciación del tejido de éstas y las agrupó en agallas organoideas y agallas histoideas, que describió como se menciona a continuación:

Las agallas organoideas son modificaciones anormales de órganos de plantas, en las que la anatomía interna del órgano no está completamente alterada, permaneciendo usualmente reconocible. La fasciación, clorosis y escobas de bruja son ejemplos de agallas organoideas, que son producidas por algunas bacterias, ácaros, hongos, insectos y virus (Westphal, 1977).

Las agallas histoideas se caracterizan por tener complejos y en ocasiones, nuevos tipos y arreglos del tejido interno.

A su vez, las agallas histoideas se dividen en kataplásmicas y prosoplásmicas. Las agallas histoideas kataplásmicas poseen una forma externa, tamaño, volumen o periodo de desarrollo no regulares; usualmente el tejido interno de la agalla es menos diferenciado que el de las partes no agalladas y si bien no hay numerosas capas de tejido distintivo, estas agallas pueden tener un tejido nutricio bien definido. Frecuentemente, si la agalla es causada por algún animal, los estadios inmaduros y los adultos viven en su interior y contribuyen a mantener la agalla. También existe la posibilidad de que los agentes cecidógenos (por ejemplo mohos mucilaginosos, nematodos, ácaros, bacterias, hongos y hemipteros) no se localicen en un solo punto en el órgano agallado, sino que están dispersos en el tejido o deambulen y se alimenten sobre la superficie de la planta.

Las agallas histoideas prosoplásmicas son estructuralmente complejas y son causadas principalmente por cecidómidos y cinípidos. Tienen un tamaño y forma definidos, un breve periodo de desarrollo y capas de tejido distintivamente orientadas. Los animales que las causan son usualmente sedentarios, de forma que el área de estimulación y control de la morfogénesis de la agallas es localizada. Usualmente solo la larva del agallador vive dentro de la agalla.

1.1.3. Cynipidae

La familia Cynipidae está constituida por avispas inductoras de agallas e inquilinas fitófagas (Abe & Miura, 2002). Tiene alrededor de 1300 especies descritas (Liljeblad & Ronquist, 1998; Ronquist, 1999), lo que la hace el segundo linaje de insectos agalladores con mayor radiación o diversidad de especies, después de las mosquitas agalladoras. Estas avispas inducen algunas de las agallas más complejas y mejor organizadas; se pueden encontrar en todos los órganos de la planta: flores, hojas, yemas, tallo, ramitas y raíces, y contener de una hasta más de 100 cámaras larvales. (Ronquist & Liljeblad, 2001)

Los cinípidos tienen diversas formas de reproducción, como son la arrenotoquia, telitoquia y heterogonia (partenogénesis cíclica) (Abe & Miura, 2002).

En la arrenotoquia, de los huevos fertilizados se desarrollan hembras diploides y de los no fertilizados se desarrollan machos haploides, mientras que en la telitoquia solo se originan

hembras diploides (Heimpel & de Boer, 2008). La heterogonia es la alternancia obligada de una generación sexual con una asexual, como se explica más adelante.

De acuerdo con Pujade-Villar *et al.* (1999), la heterogonia se restringe a dos tribus de Cynipidae: Pediaspini (con dos especies) y Cynipini (con más de 900 especies descritas), pero solo se conoce el ciclo biológico de un número reducido de especies. Abe (1998) indica que se han encontrado agallas idénticas de hembras asexuales que corresponden a diferentes formas sexuales localizadas en hospedantes diferentes, como en el caso de *Andricus kollari* y *Andricus hispanica* (Hartig) (Stone *et al.*, 2001), *Andricus mukaigawae* (Mukaigawa) y *A. kashiwaphilus* Abe (Abe, 1988, 1991, 1998).

Pujade-Villar *et al.* (1999) mencionan que las agallas de la generación asexual usualmente son las de mayor duración y normalmente aparecen al final del verano-otoño, mientras que las agallas de la generación sexual son efímeras y se pueden encontrar en la primavera y/o a principios del verano. (Pujade-Villar *et al.*, 1999), sin embargo, este aspecto puede tener una fuerte variación (Abe & Miura, 2002). Dentro de Cynipidae los ciclos biológicos son diversos, alcanzando la máxima complejidad en algunos miembros de la tribu Cynipini (Pujade-Villar *et al.*, 1999).

Las formas sexual y asexual de la misma especie difieren morfológicamente, por lo que en muchos casos han sido descritas como especies separadas o incluso de diferentes géneros (Melika & Abrahamson, 2000). Pujade-Villar *et al.* (1999) mencionan que de hecho, muchas de las especies conocidas con base en una de las generaciones pueden ser una generación desconocida de otra especie descrita y en los casos en que la generación alternante no es conocida, normalmente la bisexual, se debe a que las agallas son de tamaño pequeño, efímeras y de apariencia inconspicua.

Cuando el ciclo biológico del cinípido agallador requiere de dos especies de encino hospedantes diferentes, al modelo se le conoce como heteroecia (Pujade-Villar *et al.*, 1999), y es conocida solo en Cynipini en un número restringido de especies de *Andricus* Hartig y *Callirhytis* Föster del Paleártico occidental, en las que la alternancia es entre especies de *Quercus* L. de las secciones *Cerris* y *Quercus* (Stone *et al.*, 2002). En todas las especies de *Andricus* que alternan hospedantes, las hembras asexuales ovipositan en un hospedante de la

sección *Cerris*, y las hembras de la generación sexual lo hacen en uno de la sección *Quercus*, mientras que en *Callirhytis* la situación es inversa.

Los cinípidos son íntimamente dependientes de sus plantas hospedantes debido a lo intrincado de la inducción de la agalla, por lo que usualmente solo atacan una o pocas especies de plantas estrechamente relacionadas. Solo nueve especies de cinípidos- menos del 1% de las especies descritas- se han reportado con más de un género de planta hospedante y algunos de estos registros pueden ser por determinaciones erróneas de ésta última. Muchas de sus plantas hospedantes son longevas (esto es cierto para encinos y rosas, pero muchas de las herbáceas atacadas también son perennes) y la inducción exitosa de las agallas parece depender del tejido y el momento indicados, circunstancias que pueden conducir a una intensa competencia (Ronquist & Liljeblad, 2001).

La especialización de nicho parece ser fuerte y muchos cinípidos son principalmente específicos a un grupo de hospedantes, es decir, la misma especie puede atacar diferentes especies de encinos cercanamente relacionadas, situadas en la misma sección de *Quercus*, sin embargo, nunca saldrá de los límites marcados por ésta (Abrahamson *et al.*, 1998a, 1998b; Pujade-Villar *et al.*, 1999).

1.1.4. Cynipinae

Ronquist (1999) divide a los cinípidos en tres grupos: inquilinos (Synergini), agalladores de herbáceas (Aylacini) y agalladores de plantas leñosas (Diplolepidini, Eschatocerini, Pediaspidini y Cynipini). Abe *et al.*, (2007) dividen a Cynipinae en dos grupos tróficos principales: los inductores de agallas (tribus Aylacini, Diplolepidini, Eschatocerini, Pediaspidini y Cynipini) y los inquilinos asociados a las agallas (tribu Synergini) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tribus de Cynipinae. Tomada de Abe *et al.* (2007).

Tribu	Géneros	Especies	Hospedantes
Aylacini	18	122	Asteraceae, Rosaceae, Lamiaceae, Papaveraceae, Apiaceae, Valerianaceae, Brassicaceae, una especie en Smilax L. (Smilacaceae).

Diplolepidini	2	50	Rosa L. (Rosaceae).
Eschatocerini	1	3	Acacia Mill., Prosopis L. (Fabaceae).
Pediaspini	3	3	Acer (Aceraceae).
Cynipini	27	cerca de 1000	Fagaceae (mayormente Quercus, aunque también Castanea Mill., Chrysolepis Hjelmq. y Lithocarpus Blume).
Synergini	8	cerca de 159	Inquilinos en agallas inducidas por Diastrophus Hartig, Diplolepis –autor- y Cynipini, y palomillas cecidocidas.

En relación a las tribus de Cynipinae, diversos autores mencionan que:

- Los miembros de Aylacini inducen agallas estructuralmente sencillas, predominantemente en ramas, frutos y semillas de plantas herbáceas, por lo que los consideran aparentemente primitivos (Melika, 2006).
- Diplolepidini es una tribu monofilética comúnmente dividida en dos géneros, *Diplolepis* y *Liebelia* Kieffer (Csóka *et al.*, 2005).
- De Pediaspini solo se conoce bien una especie, *Pediaspis aceris* (Gmelin), y dos poco conocidas y de reciente adición, *Himalocynips vigintilis* Yoshimoto y el género sudamericano *Paraulax* Kieffer. (Abe *et al.*, 2007)
- Synergini incluye todos los cinípidos conocidos que se desarrollan como inquilinos dentro de las agallas inducidas por otros insectos. Se reconocen ocho géneros. (Melika *et al.*, 2005)
- De Eschatocerini se han citado únicamente en Argentina y Uruguay (Pujade-Villar *et al.*, 2008).
- Cynipini es el grupo de avispa agalladoras más rico en especies, con cerca de 900 especies en 42 géneros (Pujade-Villar *et al.*, 1999); Abe y Miura (2002), mencionan que son más de 40 géneros; Stone *et al.* (2002), citado por Csóka *et al.*

(2005) y Stone *et al.* (2007), indica que tiene cerca de 1000 especies en 25 géneros alrededor del mundo.

1.1.4.1 Formación y desarrollo de la agalla

La agalla es inducida después de que la hembra ovípara en un tipo de tejido específico de la planta hospedante. Las larvas se alimentan en una capa de tejido particularmente nutritivo de células de la planta que recubre el interior de la cámara larval (Bronner, 1992; Rohfritsch, 1992) desprovista de metabolitos secundarios (Price *et al.*, 1987). Abrahamson *et al.* (2003) indican que el tejido del que se alimentan las larvas tiene niveles marcadamente diferentes de compuestos químicos con respecto a los tejidos no agallados adyacentes. Una capa dura de esclerénquima que rodea la cámara larval, sirve para proteger a la larva de enemigos naturales, encerrando su tejido nutritivo y delimitando el interior de la agalla. La superficie externa del esclerénquima es una zona de células del parénquima que suministran agua y nutrientes al interior de la agalla. Externamente muchas agallas están cubiertas con pelos especializados u otras estructuras diferentes a las del órgano atacado, pero características de la especie que induce la agalla (Ronquist & Liljeblad, 2001).

El fenotipo de la agalla es característico de la especie y generación y es resultado de dos niveles de interacción entre la avispa agalladora y el encino hospedante (Stone & Cook, 1998; Atkinson *et al.*, 2002)

1.1.5. Cynipini

Abe y Miura (2002) mencionan que la heterogonia es una de las características más destacables de esta tribu, y que solo pocas especies son excepcionalmente univoltinas y telitoquias, probablemente a debido a la eliminación de la generación sexual de su especie heterogónica ancestral.

Estimar la riqueza de este grupo es difícil, debido a las especies partenogénicas cíclicas, cuyas generaciones difieren en términos de estructura de la agalla, fenología, y tamaño y morfología del adulto. En áreas geográficas donde las dos partes del ciclo biológico de muchas especies todavía no se conocen (lo cual incluye el neártico y el paléartico oriental), el número de formas descritas puede sobreestimar el número de especies biológicas. La fauna

conocida es más rica en Norte América, con cerca de 700 especies en 22 géneros, según lo indican Melika y Abrahamson (2002), y el Paleártico occidental, con 139 especies en 10 géneros (Stone *et al.*, 2007; Abe *et al.*, 2007). Burks (1979) enlistó 485 especies de cinípidos inductores de agallas en encino desde Norteamérica al norte de México.

1.1.5.1. Hospedantes

Los hospedantes de los miembros de la tribu Cynipini se encuentran en la familia Fagaceae, principalmente en el género *Quercus* (Abe *et al.*, 2007), aunque también en miembros de la subfamilia Castanoidea de Fagaceae, en los géneros *Castanea*, *Castanopsis*, *Chrysolepis* y *Lithocarpus* (Kato & Hijii, 1997; Stone *et al.*, 2002); la excepción es el género *Paraulax* que induce agallas en *Nothofagus* Blume, de la familia Nothofagaceae (Stone *et al.*, 2002).

De acuerdo a Abrahamson *et al.* (1998a), todos los cinípidos muestran una fuerte fidelidad a la especie y órgano del hospedante, demostrando el grado de monofagia entre los inductores de agallas, lo que da como resultado una división efectiva del nicho entre cinípidos.

Autores como Shorthouse (1982), Cornell (1983), Raman (1993, 1996), Abrahamson y Weis (1987) y Abrahamson *et al.* (2003), mencionan que la fuerte especificidad de las avispa cinípida a sus hospedantes es en parte consecuencia de la relación íntima que debe existir entre el inductor de la agalla y su planta hospedante.

Abrahamson *et al.* (2003) sugieren que esta relación íntima puede ser el resultado de la respuesta altamente especializada a la química particular de la planta hospedante, como se ha visto en otros insectos herbívoros. También señalan que el análisis de las asociaciones de las avispa agalladoras, indicó que las comunidades de cinípidos de cada especie de encino son distintivas y específicas a las especies de encino hospedantes; ellos sugieren la posibilidad de que la química de los encinos tenga una influencia fundamental en la elección del encino hospedante por las hembras adultas del cinípido y/o en el desempeño y supervivencia de la progenie.

El 87% de todos los cinípidos que atacan especies de *Quercus* en Norteamérica (Abrahamson *et al.*, 1998a) tienen un rango de hospedantes restringido a pocas especies de encinos relacionadas entre sí (Abrahamson *et al.*, 2003).

Los árboles del género *Quercus*, también conocidos como robles o encinos, son uno de los grupos de plantas leñosas más importantes en muchas regiones del hemisferio norte (Nixon, 2002); están ampliamente distribuidos en América, desde Canadá hasta Colombia (Nixon, 1993b), pero particularmente en Norteamérica. (Abrahamson *et al.*, 1998a); dominan varios tipos de bosque templado, subtropical y tropical (Nixon, 2002). El centro de diversidad de este género en América es en los bosques de montaña de México (Nixon, 1993a), en donde las especies de encinos son en su mayoría árboles de hojas perennes o semiperennes, como dominantes o en asociación con pinos, aunque también se encuentran en asociación como dominantes en vegetación de chaparral (Nixon, 2002).

Nixon (2009) indica que el género *Quercus* comprende aproximadamente 500 especies de árboles y arbustos. Algunas estimaciones del número de especies de *Quercus* en América se muestran en el Cuadro 2; de acuerdo a Nixon (1993b). México alberga entre 130 y 150 especies, mientras que Nixon (2002) indica que son cerca de 140. Aparte de México, en China subtropical-templado y sudeste de Asia se encuentran otros puntos de gran diversidad de *Quercus* (Nixon, 2002).

Cuadro 2. Distribución de especies de *Quercus* en América, de acuerdo a Nixon (2002).

Área	Número de especies	Número de especies endémicas
América (Nuevo Mundo)	202	202
Latinoamérica	148	89
México	140	81
Centroamérica	25	8
Costa Rica	14	0
México/Canadá/E.U.A.	194	186
E.U.A.	89	46

El género *Quercus* está dividido en dos subgéneros: *Quercus* que está ampliamente distribuido y *Cyclobalanopsis* que es estrictamente asiático (Nixon, 1993a). Manos *et al.* (1999) indican que el subgénero *Quercus* se divide en cuatro secciones: *Quercus sensu stricto* (encinos

blancos), *Lobatae* (encinos rojos) y *Protobalanus* (encinos de copa dorada), que se distribuyen en la región neártica, y *Cerris* (un taxón euroasiático endémico) que se distribuye junto con varios miembros de *Quercus* [s.s] en la región paleártica (Stone *et al.*, 2002). Los cinípidos agalladores se pueden encontrar en todas las secciones del subgénero *Quercus*, con excepción de las especies que presentan heteroecia; cada especie esta generalmente asociada solo a un grupo de especies relativamente cercanas de encinos (Stone *et al.*, 2002)

1.1.6. Género *Andricus*

Price (2005) menciona que las avispas agalladoras han colonizado muchos nichos, como hojas, ramas, brotes, ramillas, bellotas y raíces, y que muchos de estos sitios han sido colonizados por el género *Andricus*, el cual es muy diverso en cuanto a morfología de las agallas, que incluye, por ejemplo, agallas espinosas, multiloculares, resinosas y agallas ligera o completamente divididas o pilosas.

Cook *et al.* (2002) indican que las especies de *Andricus* son partenogénicas obligadas con alternancia obligada de una generación sexual con una asexual. Dentro de Cynipini, este género es el más grande y ecológicamente diverso. También indican que en Norte América, las especies de *Andricus* inducen agallas en encinos blancos o rojos (sección *Lobatae*), pero en ningún caso una especie coloniza a ambos.

1.1.6.1. Especies relacionadas con *A. quercuslaurinus*

Melika *et al.* (2009) mencionan que las especies más cercanas morfológicamente a *A. quercuslaurinus* son *Callirhytis quercusclavigera* (Ashmead), *Callirhytis quercuscornigera* (Osten Sacken) y *Callirhytis quercuspunctata* (Bassett); además indican que las hembras y machos de la generación sexual de *A. quercuslaurinus* son muy parecidos a los de la generación sexual de *C. quercuscornigera* (Osten Sacken). Estos autores señalan que las hembras asexuales dentro del grupo de especies de *Callirhytis* (sensu Weld), como las que se mencionan con anterioridad, inducen agallas de rama en encinos rojos, en forma de

hinchazón. La similitud entre los dos géneros es grande y requiere la revisión cuidadosa para su reacomodo taxonómico (Pujade-Villar¹, Com. Pers).

La generación asexual de *C. quercuscornigera* induce sus agallas en ramas de *Quercus incana* Bartr., *Quercus imbricaria* Michaux, *Quercus ilicifolia* Wangenh., *Quercus laevis* Walt., *Quercus nigra* L., *Quercus palustris* Muenchhausen, *Quercus rubra* L., *Quercus velutina* Lamarck, *Quercus hemisphaerica*, *Quercus laurifolia* Michaux, *Quercus phellos* L., *Quercus myrtifolia* Willd y *Quercus falcata*, mientras que las agallas de hoja de la generación sexual se ha observado en *Q. palustris* y *Q. phellos* (Melika & Buss, 2002). Eliason y Potter (2000) describieron el ciclo biológico de esta avispa agalladora e indican que la generación asexual tiene una duración de aproximadamente 33 meses, mientras que la sexual es de ocho a nueve semanas, es decir, la duración total del ciclo biológico es de cerca de tres años. Esta avispa agalladora está distribuida desde Massachusetts hasta Georgia, Iowa y Florida (Melika et al., 2009).

C. quercusclavigera induce agallas en ramas de *Quercus laurifolia* que son conocidas como agallas espinosas de papa (Dixon, 1992); está distribuida en Florida, Estados Unidos (Melika et al., 2009).

Dixon (1992) menciona que cuando las infestaciones de *C. quercuscornigera* y *C. quercusclavigera* son severas, sus agallas se pueden encontrar en individuos de todas las edades, tanto en áreas boscosas como en residenciales, provocando muerte descendente de la copa y muerte de árboles.

C. quercuspunctata tiene como hospedantes a *Quercus coccinea* Muenchhausen, *Q. palustris* y *Q. velutina*, distribuido en Maine, E.U.A., y Ontario, Canadá (Melika et al., 2009). Su ciclo biológico consta de una generación sexual en hojas durante la primavera y una asexual en ramas durante el verano. Las agallas de rama son globosas, irregulares, leñosas y rodean las ramitas y ramas en las que se desarrollan; en ocasiones se desarrollan tan cerca unas agallas de otras, que forman masas continuas (Anónimo, 2013)

¹ Dr. Juli Pujade Villar, Profesor titular, Universitat de Barcelona; e-mail: jpujade@ub.edu.

1.2. Materiales y Métodos

Las colectas de material vegetal se realizaron en el Predio La Victoria, Acaxochitlán, Hidalgo, México, ubicado entre 2100 y 2194 m.s.n.m., entre las coordenadas 98°11'54.00" y 98°11'20.00" longitud O, y 20°10'07.16" y 20°10'22.69" de latitud N.

1.2.1. Ciclo biológico en campo

Para identificar las fechas de emergencia de las hembras adultas de la generación asexual se realizaron varias colectas de agallas de rama previas a su emergencia. La mayor parte de las agallas de rama colectadas se colocó en cajas de cría de insectos, las cuales midieron 41.5 cm de ancho por 41.8 cm de profundidad y 96 cm de altura, mismas que se ubicaron en un invernadero-insectario de la División de Ciencias Forestales (DICIFO), de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), en Chapingo, Estado de México, México. Solo con algunas ramas se efectuó la disección de agallas para determinar el desarrollo de los individuos.

Debido a que existe una estrecha relación entre la avispa agalladora y su hospedante, se realizaron dos recorridos previos a la emergencia para identificar las plantas de *Q. affinis* con nuevos brotes, ya que las hembras adultas los requieren para ovipositar en ellos. El primer recorrido se realizó el 17 de enero del 2012 y el segundo el 7 de febrero de ese mismo año. En estas fechas se observaron agallas de rama en individuos de *Q. affinis* de todas las edades.

Anterior a la emergencia de los adultos de la generación agámica, se realizó la inspección de agallas de rama para determinar el grado de desarrollo de las larvas, pupas y adultos, y poder estimar el inicio de la emergencia.

El proceso de inspección se realizó como se describe a continuación:

- Algunas de las agallas colectadas se fraccionaron y extrajeron al menos 20 cámaras larvales.
- Se disectó cada cámara larval, se extrajo el insecto del interior y se determinó si correspondía a *A. quercuslaurinus*, a *S. filicornis* o a algún parasitoide, y se depositó en un frasco con alcohol al 70%. Las larvas de *A. quercuslaurinus*

tienen mandíbulas pequeñas de dos dientes, mientras que las de *S. filicornis* tiene mandíbulas más grandes y bien esclerosadas. En cuanto a las pupas, el cuerpo de *A. quercuslaurinus* es de color café oscuro y el de *S. filicornis* tiene el dorso de color oscuro y los costados y vientre de color amarillo.

- Para las observaciones se consideró el desarrollo únicamente de los individuos de *A. quercuslaurinus*.

Cuando se detectó la presencia de las primeras pupas con desarrollo alar casi completo, la revisión de agallas se hizo al menos dos veces a la semana. Las fechas en las que se realizaron colectas de material vegetal, ya sea ramas agalladas, brotes nuevos u hojas agallas, se indican en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Fechas de colecta de ramas y/u hojas de *Q. affinis*.

2011		2012		
	Ramas	Hojas	Ramas	Hojas
1 de octubre	*		10 de enero	*
5 de noviembre	*		17 de enero	*
19 de noviembre	*		24 de enero	*
4 de diciembre	*		07 de febrero	*
17 de diciembre	*		16 de febrero	*
			23 de febrero	*
			01 de marzo	*
			12 de marzo	*
			27 de marzo	*
			02 de abril	*
			25 de abril	*
			07 de mayo	*

21 de mayo	*
06 de junio	*
16 de junio	*
20 de junio	*
26 de junio	*

Posterior a la emergencia masiva de las hembras asexuales el 16 de febrero del 2012, se continuó colectando material vegetal en diferentes fechas, con la finalidad de observar el desarrollo del agallador y sus agallas en hojas.

Con el fin de poder almacenar la mayor cantidad de agallas, y con esto obtener la mayor cantidad posible de insectos emergidos de las larvas, las ramas colectadas se sometieron a una selección previa, como se describe a continuación:

- Las ramas colectadas se inspeccionaron y con ayuda de tijeras se separó solo el segmento de rama con agallas.
- Los segmentos de rama seleccionados se introdujeron en las cajas de cría, hasta que la pila de ramas alcanzó una altura aproximada de 20 cm, después de lo cual se cerró la cámara de emergencia, cerciorándose de que quedara bien sellada para evitar la fuga de insectos. Se utilizaron tantas cajas de cría como fue necesario, en función de la cantidad de ramas con agallas, generalmente dos a tres cajas de cría por fecha de colecta.
- Una vez que se almacenaron todas las ramas con agallas, las cajas de cría se acomodaron sobre una mesa acondicionada para este propósito y se les colocó una etiqueta con el nombre del inductor de las agallas (*A. quercuslaurinus*), la fecha y lugar de colecta y el nombre del colector.

Para el seguimiento de la emergencia de los adultos de la generación sexual se siguió un procedimiento similar al utilizado con la generación asexual y una vez que se detectó la

presencia de los primeros adultos, se complementaron las observaciones de laboratorio con las de las cajas de cría.

En cuanto a la emergencia de las hembras adultas de la generación asexual en campo, se realizaban inspecciones del estado de desarrollo del agallador en el sitio de colecta. Una vez que se detectó la emergencia masiva, se comenzó la búsqueda de los huevos y del patrón y características de las oviposturas, desarrollo de las agallas y desarrollo del inductor *A. quercuslaurinus*.

La búsqueda de huevos se realizó en hojas recién colectadas. Las hojas en cada fecha se almacenaron lo antes posible en un refrigerador y se inspeccionaron a lo largo de 15 días. El procedimiento que se siguió para la búsqueda de huevos y en revisiones posteriores del desarrollo de la agalla y del agallador, fue el siguiente:

1. Se seleccionó un brote y con ayuda de un microscopio estereoscópico, se le desprendieron las hojas, una por una.
2. Se examinó la totalidad de la superficie del haz y envés de cada hoja.
3. A algunas hojas se les fotografió usando el microscopio y el software que se menciona más adelante.
4. Las agallas encontradas se disectaron, y de algunas se tomaron fotografías.

Se observaron los cambios en el desarrollo del inductor y de las agallas a lo largo de las fechas de colecta del 16 y 23 de febrero y 27 de marzo del 2012.

1.2.2. Preparación del material a fotografiar en laboratorio

Las fotografías de huevos, larvas, pupas y adultos y de las agallas de hoja, fueron tomadas con una cámara Leica DFC295[®] acoplada a un microscopio estereoscópico Leica M80, mediante el programa Leica Application Suite V3.0[®].

A los individuos que se encontraban en las agallas al momento de tomar las fotografías, después de realizar la remoción pertinente del tejido, se les sometió a una limpieza con el fin de retirar partículas de tejido que obstaculizaran la toma.

1.3. Resultados

1.3.1 Ciclo biológico de la generación sexual

En la revisión en campo del 10 y 17 de enero de 2012 no se encontraron brotes nuevos, indicio de que aún no se iniciaba la oviposición. Tampoco se encontraron huevos en las fechas de colecta del 24 de enero y 7 de febrero cuando se revisaron algunos brotes.

En las agallas de rama colectadas el 24 de enero, las pupas presentaron diferentes grados de desarrollo, desde aquellas que comenzaban a pigmentarse hasta pupas completamente pigmentadas, pero con desarrollo alar incompleto, además de algunas hembras adultas, por lo que se asumió que los insectos estaban próximos a emerger.

En las cajas de cría se detectó que las primeras hembras comenzaron a emerger el 2 de febrero, mientras que el 16 de febrero se observó en campo la presencia masiva de hembras asexuales en vuelo, por lo que se asumió que las hembras realizarían la oviposición inmediatamente después de emerger y en los días subsecuentes.

En las colectas del 16 y 23 de febrero del 2012, a los costados de la vena principal por el envés de la hoja y en los costados del pedicelo, se observaron los primeros huevos de forma ovoide, transparentes, de superficie lisa y lustrosa, sin ornamentaciones evidentes y de aproximadamente 0.150 μm en la parte no insertada en el tejido (Figura 1). En la semana del 23 de febrero la presencia de huevos fue notoria en gran cantidad de hojas.

Al realizar un corte trasversal a uno de los huevos, se encontró que estaba insertado parcialmente en la epidermis de la hoja mediante su pedicelo, lo que significa una diferencia con lo que indican Vårdal *et al.* (2003), respecto a que en algunos cinípidos el huevo esta embebido en el tejido de la planta.

Los huevos permanecieron con apariencia hialina por aproximadamente una semana (del 16 de febrero al 23 de febrero), para posteriormente adquirir un color blanquecino en uno de los

extremos, como se muestra en la Figura 1, parte superior izquierda; el cambio de color comenzó en un área reducida cerca del extremo distal del huevo y se extendió hasta que el resto de éste adquirió un color blanquecino uniforme.

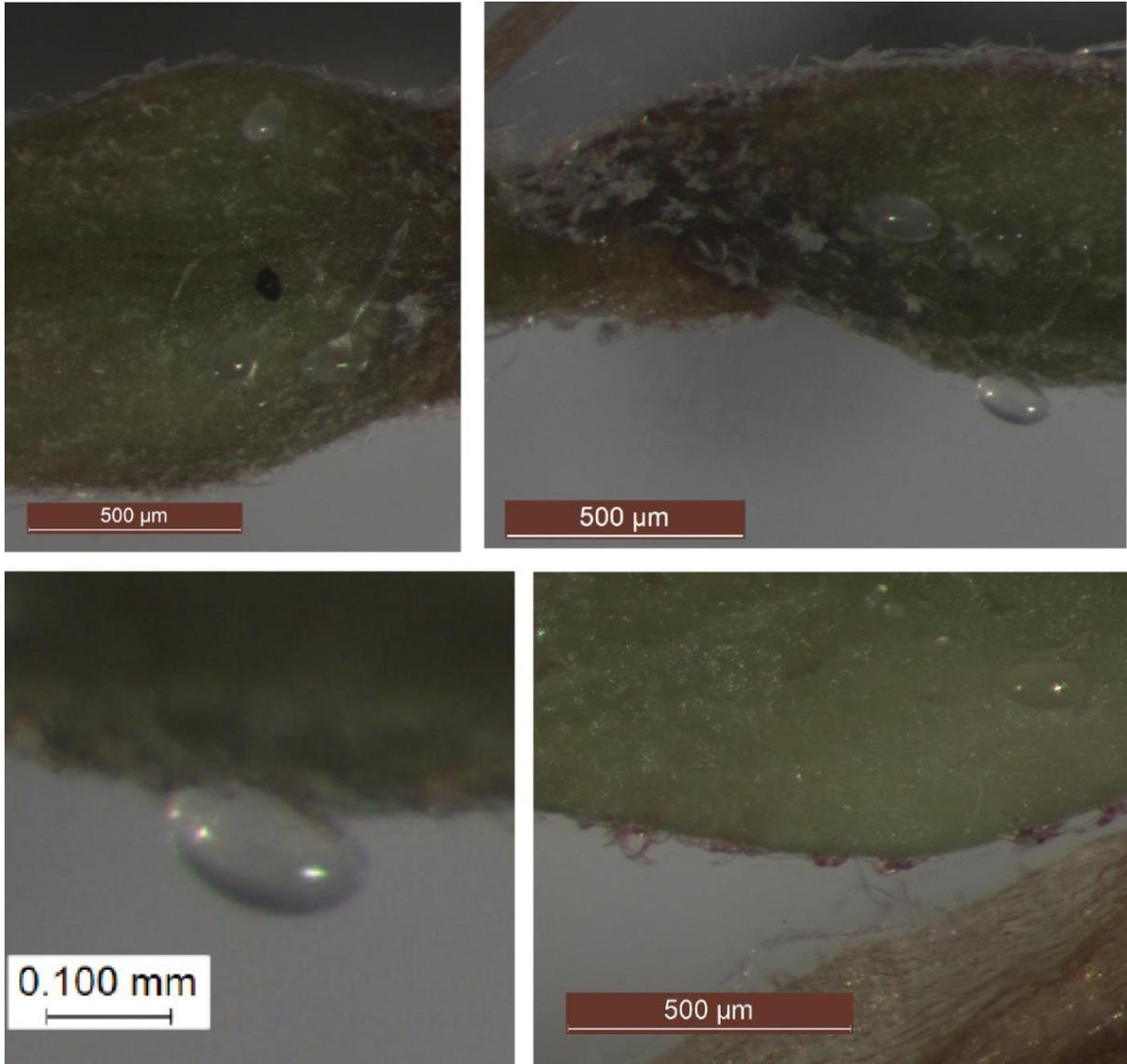


Figura 1. Huevos de *A. quercuslaurinus* en el envés de hojas jóvenes.

La mayoría de los huevos se encontraron en la lámina foliar, entre la parte media y la base y a los costados o cerca de la nervadura central, aunque también se encontraron varios huevos en los costados del pedicelo, como se observa en la Figura 2. Por lo general, en la lámina foliar los huevos se encontraban espaciados y en grupos de dos a tres, o individuales y distribuidos a

lo largo y en los costados de la vena principal. El número de huevos por hoja varió de uno a siete.



Figura 2. Huevos en el pedicelo de una hoja, rodeados parcialmente por tejido de la planta. Foto tomada el 28 de febrero del 2012.

Cuando en el pedicelo se encontró más de un huevo, éstos estaban generalmente cerca uno del otro, en uno o en ambos costados. La cantidad de huevos por pedicelo varió de uno hasta cinco.

En una inspección de hojas colectadas el 1 de marzo del 2012, se encontraron huevos expuestos total o parcialmente, como el que se muestra en la Figura 3, y huevos ya completamente rodeados por el tejido de la agalla en desarrollo. En hojas colectadas el 12 de marzo de ese año fue más común encontrar huevos casi totalmente rodeados por la agalla.

Vårdal *et al.* (2003) indican que el tejido de la planta atacada eventualmente produce una agalla. Se observó que los huevos quedaron cubiertos por el tejido de la hoja en menos de un

mes, lo que denota un rápido crecimiento y formación de nuevos tipos de tejidos diferentes a los originales de la hoja.

El 27 de marzo se encontraron pocas agallas en las que el huevo estuvo cubierto por el tejido de la planta hospedante. Al disectar algunas de estas agallas se observó al huevo de forma esférica, color hialino, con la superficie lisa y lustrosa (Figura 3).



Figura 3. Corte de agalla; notese la estructura de forma lanceolada y color verde oscuro al centro de la imagen, que corresponde a la agalla, con una esfera de superficie lustrosa en su centro que corresponde al huevo. Foto tomada el 27 de marzo del 2012.

El 2 de abril, en las agallas examinadas, los huevos estaban completamente cubiertos por el tejido de la hoja. Las agallas se distinguían por tener una coloración rojiza por el haz, mientras que por el envés se apreciaba la deformación del tejido sobre la vena principal.

El 25 de abril se encontraron en su mayoría larvas de instares intermedios y algunas larvas de instares tempranos. Para el 7 de mayo hubo presencia de larvas con desarrollo intermedio; pocas con menos desarrollo y algunas de últimos instares.

En la colecta del 21 de mayo la mayoría de individuos correspondieron a larvas de últimos instares y ya se encontraron pupas, en las que se apreció el desarrollo de los apéndices y una ligera pigmentación de la cápsula cefálica, así como pocas larvas de instares intermedios y los primeros adultos que se encontraron activos, pero que aún no comenzaban a realizar el orificio de emergencia (Figura 4). Estos adultos pueden corresponder a las primeras oviposturas de las

hembras de la generación asexual, en tanto que las larvas de último instar y las pupas corresponderían a las hembras que salieron durante la emergencia masiva y las larvas de instares intermedios a las ovipositoras posteriores a la emergencia masiva.

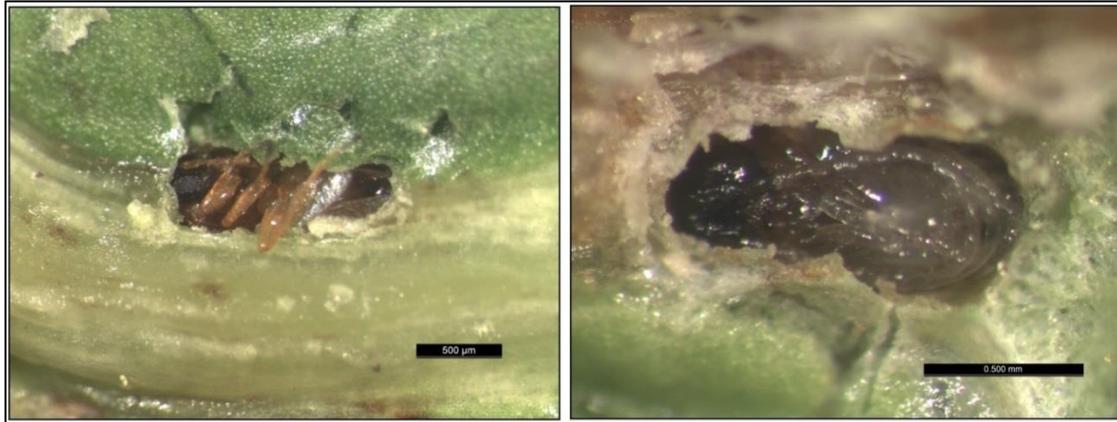


Figura 5. Adulto (izquierda) y pupa (derecha) en el interior de sus cámaras larvales. Foto tomada el 21 de mayo del 2012.

El 6 de junio se encontró que la mayoría de individuos estuvieron en estado de pupa, con diversos grados de desarrollo, y en menor cantidad larvas de último instar y adultos. En la Figura 5 se muestran agallas en las que se aprecia un pequeño orificio de emergencia en el haz de la hoja, elaborado por el adulto.



Figura 4. Agallas de hoja con orificio de emergencia y un adulto en su interior. Foto tomada el 6 de junio del 2012.

Los hallazgos hechos en esta fecha de colecta indicaron que la emergencia de los adultos comenzó alrededor del 10 de junio y, considerando el estado de desarrollo de las pupas encontradas, se calculó que se extendería por cerca de 20 días más.

El 16 de junio se encontraron pocas larvas de último instar, pupas con desarrollo casi completo y más adultos que en la fecha anterior, además de orificios de emergencia y agallas vacías.

El 20 de junio aumentó la cantidad de pupas, adultos y orificios de emergencia y se redujo la cantidad de larvas de último instar con respecto a la fecha anterior.

El 26 de junio se encontró que la mayoría de cámaras larvales en las que el agallador completó su desarrollo, tenían en su mayoría un orificio de emergencia. En esta fecha de colecta se encontraron algunas larvas de último instar y pupas poco desarrolladas, que pueden provenir de las oviposaduras más tardías hechas por las hembras de la generación asexual. Debido a lo anterior, se considera que la emergencia comenzó en la primera semana de junio, y que la emergencia masiva debió ocurrir entre el 20 y 26 de junio.

Los nuevos adultos fueron hembras y machos que mantenían una proporción sexual de 50:50.

Hay que destacar que desde que hubo larvas, se encontraron individuos atacados por ecto o endo parasitoides o por uno o varios hongos, siendo estos últimos los principales organismos encontrados en las larvas muertas dentro de las cámaras larvales.

1.3.2. Agallas

Como se mencionó con anterioridad en la introducción, las agallas de los cinípidos de la tribu Cynipini, en la cual se encuentra *A. quercuslaurinus*, se clasifican como histoides prosoplasmáticas, que son las agallas estructuralmente más complejas dentro de la clasificación de Küster (1903) y se caracterizan por tener un tamaño y forma definidos, un breve periodo de desarrollo y capas de tejido distintivamente orientadas (Larew, 1981).

En las agallas de *A. quercuslaurinus* se aprecia esta diferenciación del tejido (Figura 6). En un corte longitudinal de una agalla de hoja se reconoce una capa de tejido nutritivo bien desarrollada y las capas de la parte exterior de la agalla bien diferenciadas.



Figura 6. Agallas con tejido nutritivo evidente. Foto izquierda del 25 de abril y foto derecha del 7 de mayo del 2012.

En las agallas foliares el grosor del tejido nutritivo tiene mayor espesor cuando las larvas se encuentran en los primeros instares y se reduce paulatinamente conforme la larva crece, hasta que al final del estadio larval la pared de la cámara tiene una consistencia coriácea, siendo más evidente este cambio al final del último instar larval y comienzo de la pupación (Figura 7).

La cámara larval tiene una forma ovalada y el grosor de la capa de tejido nutritivo varía en diferentes zonas de ésta, siendo más gruesa en los extremos y más delgada en la parte central.

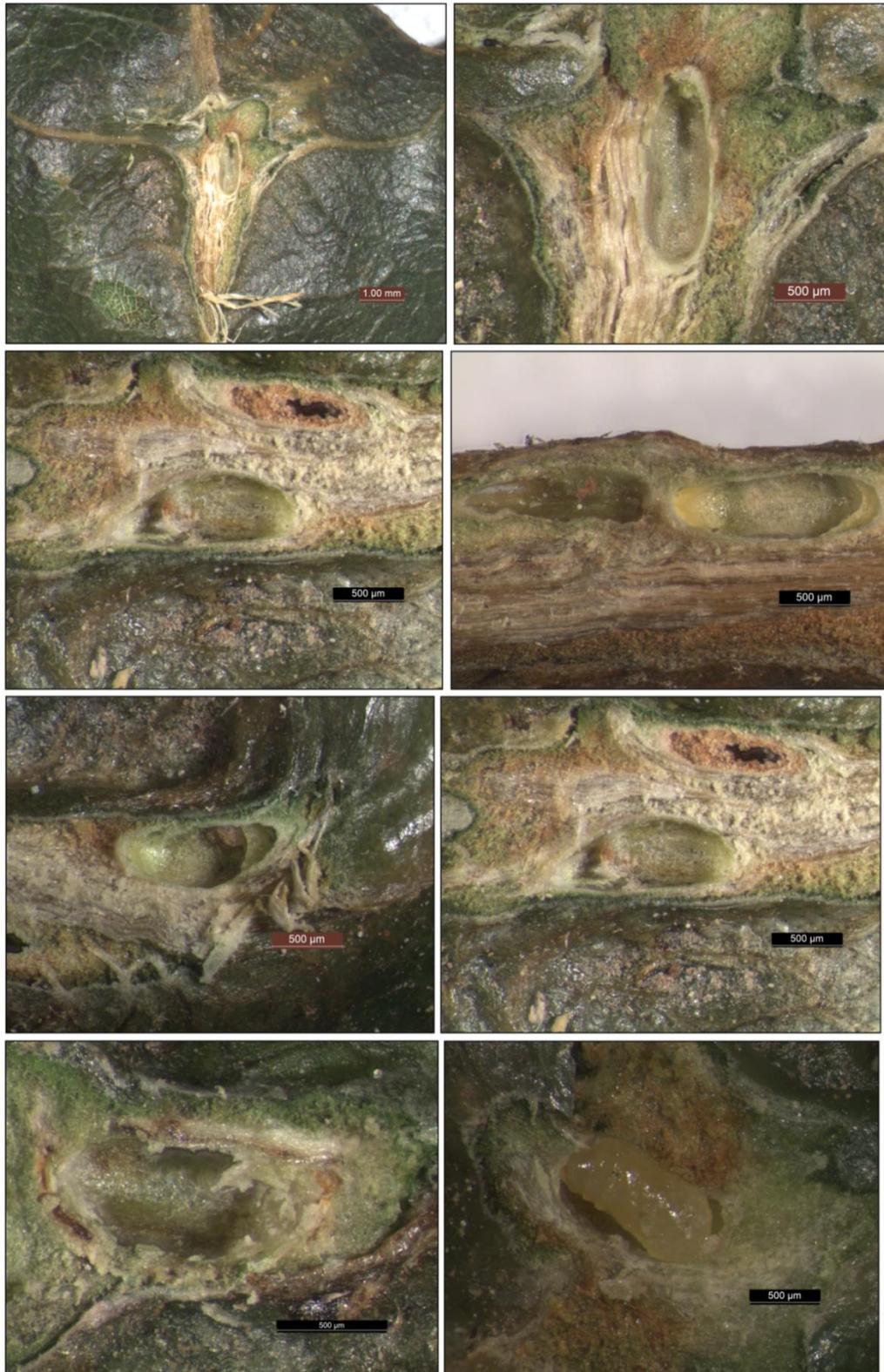


Figura 7. Fotografías de agallas maduras y con el agallador próximo a pupar.

1.3.2.1. Desarrollo de la agalla de la generación sexual

El desarrollo de las agallas se apreció desde el 1° de marzo. Antes de esta fecha, la mayoría de huevos encontrados no presentaron indicios del desarrollo de agalla, lo que puede indicar que los huevos que ya presentaban indicios fueron ovipositados por las primeras hembras que emergieron.

Al principio, el tejido de la planta hospedante comenzó a crecer ligeramente alrededor del huevo, comenzando por la región cercana a la vena central y extendiéndose hacia la región distal del huevo que se encontraba expuesta (Figura 8).



Figura 8. Huevos con síntomas iniciales del crecimiento de una agalla.

El tejido de la hoja rodeó paulatinamente al huevo, iniciando por la parte del huevo que estaba en contacto con la epidermis de la hoja y extendiéndose hacia el extremo hasta cubrirlo completamente (Figura 9). Conforme el tejido crecía alrededor del huevo, la agalla deformaba el tejido y se hacía más evidente.



Figura 9. Huevo parcialmente cubierto por el tejido de la hoja.

En algunas de las agallas colectadas el 27 de marzo del 2012, la capa de tejido nutritivo de color blanquecino y consistencia gelatinosa ya estaba completamente formada, después de lo cual el huevo eclosionó y la larva de primer instar comenzó a alimentarse.

En el extremo opuesto a la vena principal, la agalla desarrolló una estructura similar a un canal, apreciable solo por el envés de la hoja, que posiblemente es el resultado de la forma en que el tejido cubrió inicialmente al huevo durante las primeras etapas del crecimiento de la agalla; este canal limita casi con el borde externo de la cámara larval, ya que solo los separa una pared de tejido.

La larva se alimenta del tejido nutritivo, cuya formación es probablemente estimulada por la alimentación de la larva. En las agallas jóvenes, en las que se encontraron huevos o larvas de primeros instares en cámaras larvales casi o completamente formadas, la capa de tejido nutritivo abarcaba la mayoría del espacio interno de la cámara larval; en agallas que estaban próximas a llegar al estado de madurez, se encontraron larvas de últimos instares alimentándose de una capa de tejido nutritivo más delgada que la de etapas tempranas de

desarrollo, mientras que en agallas maduras en las que los individuos se encontraban al final del estadio larval o con poco tiempo como pupa, la capa de tejido nutritivo adquirió una consistencia coriacea.

Conforme las agallas crecían, tomaron el aspecto característico de las agallas de hoja maduras; además del cambio de tamaño y aspecto, también se observó un cambio de coloración de la agalla: las jóvenes tenían un color verde más claro que el de la hoja pero similar a ella, y conforme la agalla se acercaba a la etapa de madurez fue adquiriendo una coloración rojiza por el haz y un color verde claro por el envés, como se muestra en la Figura 10.



Figura 10. Coloración de agallas aún en la etapa de desarrollo; en las fotos superiores se muestra el haz de la hoja y en las fotos inferiores el envés. Foto tomada el 2 de abril del 2012.

Cuando había más de una agalla, la distribución de éstas fue generalmente alternada, es decir, había agallas en ambos lados de la nervadura central, por ejemplo, en la Figura 11 se observa el haz y el envés de una hoja con cuatro agallas, dos a cada lado, además de estar distribuidas en pares en dos áreas diferentes, un par cerca de la base y el otro en la parte media de la hoja, pero todas a los costados de la nervadura central; en las agallas con este nivel de desarrollo aún no es evidente la cámara larval.



Figura 11. Vista por el haz y por el envés de una hoja con cuatro agallas. Fotos tomadas el 2 de abril del 2012.

Las hojas con agallas en la lámina foliar mostraban deformaciones causadas por la presencia y desarrollo de las mismas; el grado de deformación de la hoja estuvo en función de la cantidad de agallas por hoja y la ubicación de éstas. Las agallas en el pedicelo provocaban la alteración de la orientación de la lámina foliar.

En las agallas maduras la coloración se acentuó ligeramente, y en algunas de ellas la cámara larval se podía apreciar como una protuberancia de forma ovalada cerca de la nervadura central, aunque por lo general era difícil distinguirla. Las agallas maduras se encontraron a partir de la colecta del 7 de mayo, y para la del 21 de ese mes la mayoría de agallas ya estaba en esta etapa.

1.4. Discusión

A. quercuslaurinus tiene similitudes con otras especies como *C. quercuscornigera*, *C. quercusclavigera* y *C. quercuspunctata*, que de acuerdo con Melika *et al.* (2009) guardan cercanía morfológica, siendo *C. quercuscornigera* la más cercana.

El ciclo biológico de *C. quercuscornigera*, al igual que *A. quercuslaurinus*, tiene una duración de aproximadamente tres años; la generación sexual induce agallas en las hojas de sus hospedantes, mientras que la asexual lo hace en ramas (Dixon, 1992). Cuando sus poblaciones son altas eventualmente provoca la muerte de sus hospedantes, lo que la convierte en una plaga que ha sido estudiada por múltiples investigadores como Dixon (1992) y Eliason y Potter (2000, 2001) entre otros, que han generado información referente a su ciclo biológico, insectos asociados al agallador y a sus agallas, y sobre diferentes estrategias de combate que se han probado, entre ellas la inyección al tronco y aspersión foliar de diversos insecticidas.

Las diferencias entre estas especies de cinípidos radican en el número de hospedantes, ya que para *C. quercuscornigera* se reportan 13 especies de *Quercus* para la generación asexual y una para la sexual, de acuerdo con Melika y Buss (2002), y para *A. quercuslaurinus* se reporta a *Q. affinis* y *Q. laurina* como hospedantes de ambas generaciones, según Melika *et al.* (2009).

Vårdal (2004) indica que los huevos de los cinípidos son “típicamente ovalados y alargados y llevan un pedúnculo en su extremo anterior”. Barrera (2010) describió los huevos de la generación asexual de *A. quercuslaurinus*, que es la que induce las agallas de rama, indicando que son blanquecinos, alargados, de forma ovoide y con un pedúnculo. En la presente investigación se observó que los huevos de *A. quercuslaurinus* se encuentran insertados al parecer solo por el pedúnculo y situados en el haz de la hoja, por lo que el cuerpo del huevo queda expuesto, lo que constituye uno de los hallazgos más importantes de la investigación, ya que implica que el huevo permanece por un periodo de tiempo expuesto al ambiente y a la posible depredación o parasitismo. Vårdal *et al.* (2003) indican que *Dryocosmus kuriphilus* (Yasumatsu) es otra especie cuyos huevos son depositados en lugares algo expuestos, entre las hojas de yemas jóvenes de *Rosa sp.*

Después de 15 días se observaron indicios del desarrollo de la agalla, lo que sugiere que el huevo y/o la hembra de *A. quercuslaurinus* son responsables del proceso de inducción de ésta, el cual ocurre en alrededor de dos semanas. Vårdal (2004) menciona que los mecanismos de inducción de las agallas de cinípidos y su desarrollo aún permanecen indefinidos, pero que es probable que ocurran como una respuesta química de la planta hospedante a secreciones del inductor.

Después de la inducción, el tejido de la agalla creció hasta rodear completamente al huevo y se diferenció para formar la cámara larval y el tejido externo de la agalla. Vásquez-Cedillo (2009) reportó el ciclo biológico de la generación sexual y el crecimiento de la agalla, aunque no se indican algunos detalles como las características de los huevos ovipositados.

1.5. Conclusiones

El presente estudio complementa la información ya existente sobre *A. quercuslaurinus* y ayuda a discernir con mayor precisión el ciclo biológico.

Uno de los hallazgos más relevantes de la investigación es el encontrar que el huevo es insertado parcialmente en el tejido de la hoja, por lo que queda expuesto al efecto de factores medio-ambientales aproximadamente 15 días, hasta que el tejido de la hoja lo cubre. El periodo que permanece expuesto el huevo y el periodo de emergencia de los adultos, pueden constituir las etapas más vulnerables del ciclo biológico de *A. quercuslaurinus*.

1.6. Literatura Citada

ABE, Y. (1988). Two host races in *Andricus mukaigawae* (Mukaigawa) (Hymenoptera: Cynipidae). *Applied Entomology and Zoology*, 23(4), 381-387.

----- (1991). Host race formation in the gall wasp *Andricus mukaigawae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 58, 15-20.

----- (1998). Karyotype differences and speciation in the gall wasp *Andricus mukaigawae* (s. lat.) (Hym.: Cynipidae) with description of the new species *A. kashiwaphilus*. *Entomologica Scandinavica*, 29(2), 131-135.

- , & MIURA, K. (2002). Doses *Wolbachia* Induce unisexuality in oak gall wasps? (Hymenoptera: Cynipidae). *Annals of Entomological Society of America*, 95(5), 583-586.
- , MELIKA, G., & STONE, G. N. (2007). The diversity and phylogeography of cynipid gallwasps (Hymenoptera:Cynipidae) of the Oriental and eastern Palearctic regions, and their associated communities. *Oriental Insects*, 41(1), 169-212.
- ABRAHAMSON, W. G., & WEIS, A. E. (1987). Nutritional ecology of arthropod gall makers. En: Slansky, Jr. E, & Rodriquez J. G. (Eds.). *Nutritional ecology of insects, mites, spiders, and related invertebrates* (pp. 235-258). New York, NY: John Wiley & Sons.
- ABRAHAMSON, W. G., HUNTER, M. D., MELIKA, G., & PRICE, P. W. (2003). Cynipid gall-wasp communities correlate with oak chemistry. *Journal of Chemical Ecology*, 29(1), 209-223.
- ABRAHAMSON, W. G., MELIKA, G.; SCRAFFORD, R., & CSÓKA, G. (1998a). Gall-inducing insects provide insights into plant systematic relationships. *American Journal of Botany*, 85(8), 1159-1165.
- ABRAHAMSON, W. G., MELIKA, G.; SCRAFFORD, R., & CSÓKA, G. (1998b). Host-plant associations and specificity among cynipid gall-inducing wasps of eastern USA. En: USDA, Forest Service. *The Biology of Gall-Inducing Arthropods* (pp. 226-240). General Technical Report NC-199:
- ANÓNIMO. (2013). Gouty oak gall, *Callirhytis quercuspunctata*. En: Anónimo. *Oak pests: A guide to the major insects, diseases, air pollution and chemical injury*. Forest Helth Protection, Southern Region, USDA Forest Service. URL: <http://www.fs.fed.us/r8/foresthealth/pubs/oakpests/p33.html>, consultada el 14 de noviembre del 2013.

- ATKINSON, R. J., MCVEAN, G. A. T., & STONE, G. N. (2002). Use of population genetic data to infer oviposition behavior: species-specific patterns in four oak gallwasps (Hymenoptera: Cynipidae). *Proc. R. Soc. Lond. B*, 269(1489), 383-390.
- BARRERA, U. M. (2010). Ciclo biológico de la fase agámica de *Andricus quercuslaurinus* Melika&Pujade-Villar (Hymenoptera: Cynipidae: Cynipini). Universidad Autónoma Chapingo- Departamento de Parasitología Agrícola.
- BRONNER, R. (1992). The role of nutritive cells in the nutrition of cynipids and cecidomyids. En: Shorthouse, J. D., & Rohfritsch, O. (Eds.). *Biology of insect-induced galls* (pp. 118-140). Oxford, U.K.: Oxford Univ. Press.
- BURKS, B. D. (1979). Superfamily Cynipoidea. En: Krombein, K. V., Hurd, Jr. P. D., Smith, D. R., & Burks, B. D. (Eds.). *Catalog of hymenoptera in America north of Mexico, vol. 1, Symphyta and Apocrita* (pp. 1045-1107). Washington, DC: Smithsonian Institution Press.
- CIBRIÁN-TOVAR, D., & CIBRIÁN-LLANDERAL, V. D. (2009). Manual para la identificación y manejo de plagas y enfermedades en encinos de los municipios de Acaxochitlán y El Arenal, Hidalgo. Fundación Produce Hidalgo. Informe.
- COOK, J. M., ROKAS, A., PAGEL, M., & STONE G. N. (2002). Evolutionary shifts between host oak sections and host plant organs in *Andricus* gallwasps. *Evolution*, 56(9),1821-1830.
- COOPER, W. R., & RIESKE, L. K. (2009). Woody stem galls interact with foliage to affect community associations. *Environmental Entomology*, 38(2), 417-424.
- COOPER, W. R., & RIESKE, L. K. (2010). Gall structure affects ecological associations of *Dryocosmus kuriphilus* (Hymenoptera: Cynipidae). *Environmental Entomology*, 39(3):787-797.
- CORNELL, H. V. (1983). The secondary chemistry and complex morphology of galls formed by the Cynipinae (Hymenoptera): why and how?. *American Midland Naturalist*, 110, 225-232.

- CSÓKA, G., STONE, G. N., & MELIKA, G. (2005). The biology, ecology and evolution of gall wasps. En: Raman, A., Schaeffer, C. W., & Withers, T. M. (Eds). *Biology, ecology and evolution of gall-inducing arthropods* (pp. 573-642). Enfield, New Hampshire, USA: Science Publishers Inc..
- DIXON, W. N. (1992). Spined or horned galls on oaks in Florida induced by gall wasps, *Callirhytis quercusclaviger* (Ashmead) and *Callirhytis cornigera* (Osten Sacken) (Hymenoptera: Cynipidae). *Entomology Circular No. 355*, Novembre/December.
- EJLERSEN, A. (1978). The spatial distribution of spangle galls (*Neuroterus spp.*) on oak (Hymenoptera: Cynipidae). *Entomol Meddel.*, 46, 19-25.
- ELIASON, E. A., & POTTER, D. A. (2000). Biology of *Callirhytis cornigera* (Hymenoptera: Cynipidae) and its associated gall community in Kentucky. *Environ. Entomol.* 29: 551-559.
- ELIASON, E.A., & POTTER, D.A. (2001). Biology and management of the horned oak gall wasp on pin oak. *Journal of arboriculture*, 27(2), 92-100.
- HEIMPEL, G. E., & DE BOER, J. G. (2008). Sex determination in the Hymenoptera. *Annu. Rev. Entomol.*, 53, 209-230.
- KATO, K., & HIJII, N. (1997). Effects of gall formation by *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hym., Cynipidae) on the growth of chestnut trees. *J. Appl. Entomol. Z. Angew. Entomol.*, 121, 9-15.
- KÜSTER E. (1903). Pathologische pflanzenanatomie: In ihren Grundzügen. G. Fischer, Jena. (Traducción al inglés por Dorrance F. (1913). Univ. of Wisconsin.)
- (1911). Die gallen der pflazen: Ein lehrbuch für botaniker und entomologen. Leipzig: Verlag Von S. Hirzel.
- LAREW, G. H. (1981). A comparative anatomical study of galls caused by the major cecidogenetic groups, with special emphasis on the nutritive tissue. Tesis de Doctorado en Filosofía, Oregon State University, USA.

- LILJEBLAD, J., & RONQUIST, F. (1998). A phylogenetic analysis of higher-level gall wasp relationships (Hymenoptera: Cynipidae). *Systematic Entomology*, 23, 229-252.
- MANOS, P. S., DOYLE, J. J., & NIXON, K. C. (1999). Phylogeny, biogeography, and processes of molecular differentiation in *Quercus* subgenus *Quercus* (Fagaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 12(3), 333-349.
- MELIKA, G. (2006). Gall Wasps of Ukraine. Cynipidae. *Vestnik zoologii, supplement 21*, 1-2: 1-644.
- , & ABRAHAMSON, W. G. (2000). Historical review and current state of the world generic classification of oak gall wasps (Hymenoptera: Cynipidae: Cynipini). En: Austin, A. D., & Dowton, M. (Eds.). *Hymenoptera. Evolution, Biodiversity and Biological Control* (pp. 218-230). Australia: CSIRO publishing.
- , & ABRAHAMSON, W. G. (2002). Review of the world genera of oak cynipid wasps (Hymenoptera: Cynipidae: Cynipini). En: Melika, G., & Thuroczy, C. (Eds.). *Parasitic Wasps: Evolution, Systematics, Biodiversity and Biological Control* (pp. 150-190). Budapest: Agroinform.
- & BUSS, E. A. (2002). Description of the sexual generation of *Callirhytis quercuscornigera* and a new inquiline (Hymenoptera: cynipidae). *Florida Entomologist*, 85(4), 625-631.
- , CIBRIÁN-TOVAR, D., CIBRIÁN-LLANDERAL, V. D., TORMOS, J., & PUJADE-VILLAR, J. (2009). New species of oak gallwasp from Mexico (Hymenoptera: Cynipidae: Cynipini) – a serious pest of *Quercus laurina* (Fagaceae). *Dugesiana*, 16(2), 67-73.
- , ROS-FARRE, P., PENZES, Z. S., ÁCS, Z., & PUJADE-VILLAR, J. (2005). *Ufo abei* Melika et Pujade-Villar (Hymenoptera: Cynipidae: Synergini) new genus and new species from Japan. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 51, 313-327.

- NIXON, K. C. (1993a). Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification of sectional names. *Annals of Forest Science*, 50, 25-34.
- (1993b). The genus *Quercus* in Mexico. En: Ramamoorthy, T. P., Bye, R., Lot, A., & Fa, J.(Eds.), *Biological diversity of Mexico: origins and distribution* (pp. 447-458). Oxford: Oxford University Press.
- (2002). The oak (*Quercus*) biodiversity of California and adjacent regions. *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-184*, 3-20 pp.
- (2009). An overview of *Quercus*: classification and phylogenetics with comments on differences in wood anatomy. 2nd National Oak Wilt Symposium, International Society of Arboriculture.
- PRICE, P. W. (2005). Adaptive radiation of gall-inducing insects. *Basic and Applied Ecology*, 6, 413-421.
- , FERNANDES, G. W., & WARING, G. L. (1987). Adaptive nature of insect galls. *Environ. Entomol.*, 16, 15-24.
- PUJADE-VILLAR, J., BELLIDO, D., SEGÚ, G., & MELIKA, G. (1999). Current state of knowledge of heterogony in Cynipidae (Hymenoptera, Cynipoidea). *Ses. Entom. ICHN-SCL*, 11, 87-107
- PUJADE-VILLAR, J., EQUIHUA-MARTÍNEZ, A., & ROS-FARRE, P. (2008). Los cinípidos mexicanos no asociados a encinos (Hymenoptera: Cynipidae), perspectivas de estudio. *Orsis*, 23, 87-96.
- RAMAN, A. (1993). Chemical ecology of gall insect-host plant interactions: substances that influence the nutrition and resistance of insects and the growth of galls. En: Ananthakrishnan, T N., & Raman, A. (Eds.). *Chemical ecology of phytophagous insects* (pp. 227-250). New Delhi: Oxford and IBM Publishing.

- (1996). Nutritional diversity in gall-inducing insects and their evolutionary relationships with flowering plants. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 22, 133-143.
- ROHFRITSCH, O. (1992). Patterns in gall development. En: Shorthouse, J. D., & Rohfritsch, O. (Eds.). *Biology of insect-induced galls* (pp. 60-86). Oxford, U.K.: Oxford Univ. Press.
- RONQUIST, F. (1999). Phylogeny, classification and evolution of the Cynipoidea. *Zool. Scripta*, 28, 139-164.
- , & LILJEBLAD. (2001). Evolution of the gall wasp–host plant association. *Evolution*, 55(12), 2503-2522. doi: 10.1554/0014-3820(2001)055[2503:EOTGWH]2.0.CO;2
- SHORTHOUSE, J. D. (1982). Resource exploitation by gall wasps of the genus *Diplolepis*. En: Visser, J. H., & Minks, A. K. (Eds.). *Proceedings of the Fifth International Symposium of Insect-Plant Relationships* (pp. 193-198). Wageningen, Pudoc.
- , WOOL, D., & RAMAN, A. (2005). Gall-inducing insects – Nature’s most sophisticated herbivores. *Basic and Applied Ecology*, 6, 407-411.
- STONE, G. N., & COOK, J. M. (1998). The structure of cynipid oak galls: patterns in the evolution of an extended phenotype. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 265, 979-988.
- STONE, G. N., & SCHÖNROGGE, K. (2003). The adaptive significance of insect gall morphology. *TRENDS in Ecology and Evolution* 18(10), 512-522.
- STONE, G. N., MELIKA, G., & CSÓKA, G. (EDS.). (2007). *The Oak gallwasps of the Western Palearctic*. London, U.K.: The Ray Society.
- STONE, G. N., ATKINSON, R.; ROKAS, A.; CSÓKA, G., & NIEVES-ALDREY, J. L. (2001). Differential success in northwards range expansion between ecotypes of the marble gallwasp *Andricus kollari*: a tale of two lifecycles. *Molecular Ecology*, 10, 761-778.

- STONE, G. N., SCHÖNROGGE, K., ATKINSON, R. J., BELLIDO, D., & PUJADE-VILLAR, J. (2002). The population biology of oak gall wasps (Hymenoptera: Cynipidae). *Annual Review of Entomology*, 47, 633-668.
- VÅRDAL, H. (2004). From parasitoids and inquilines: Morphological evolution in cynipoid wasps. *Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* 932.
- , SAHLÉN, G., & RONQUIST, F. (2003). Morphology and evolution of the cynipoid egg (Hymenoptera). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 139, 247-260.
- VÁSQUEZ-CEDILLO, R. (2009). Ciclo biológico de la fase gámica de la avispa agalladora del encino *Andricus quercuslaurinus* Mlika & Pujade-Villar (Hymenóptera: Cynipidae). Universidad Autónoma Chapingo-Departamento de Parasitología Agrícola.
- WESTPHAL, E. (1977). Morphogenese, ultrastructure, et etialogie de quelques galles c'eriophyides (Acariens). *Marcellia*, 39, 193-375.

CAPÍTULO 2: Control químico del agallador *Andricus quercuslaurinus* en *Quercus affinis*

Resumen

En Acaxochitlán, Hidalgo, México, las infestaciones severas de *A. quercuslaurinus* causan extensa mortalidad de árboles, convirtiéndolo en una plaga importante, por lo que es necesaria la aplicación de medidas de control. Al no disponer de información sobre la efectividad de productos insecticidas contra esta especie, se probaron los insecticidas imidacloprid, espirotetramat, acefato y abamectina, aplicados en aspersion foliar cuando la población de avispa adulta estuvo en el periodo de oviposición y una repetición durante el desarrollo inicial de las agallas de hoja, cuando hubo huevos y primeros instares larvales. Se encontró que el imidacloprid, espirotetramat y acefato tuvieron efectos significativos en la mortalidad de *A. quercuslaurinus*.

Palabras clave: Imidacloprid, espirotetramat, acefato, abamectina, Cynipini.

CHAPTER 2: Chemical control of the galler *Andricus quercuslaurinus* in *Quercus affinis*

Abstract

In Acaxochitlán, Hidalgo, México, severe incidence of *A. quercuslaurinus* has caused widespread death of trees, making it a major pest requiring control measures. Because no information was available on the effectiveness of insecticides against this species, leaf applications imidacloprid, spirotetramat, acephate and abamectin were tested during the adult wasp oviposition period; a repetition of the application was done during the initial development of leaf galls, when eggs were present and during the first larval instars. It was found that imidacloprid, spirotetramat and acephate had significant effect on *A. quercuslaurinus* mortality.

Key words. Imidacloprid, spirotetramat, acephate, abamectin, Cynipini.

2.1. Introducción

A. quercuslaurinus es una avispa agalladora reportada por primera vez en Acaxochitlán, Hidalgo, México, sobre ramas del encino rojo *Q. affinis*. Valencia (2004) indica que este encino se encuentra distribuido en los estados de Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz, y sus poblaciones morfológicamente representativas, de acuerdo a González-Rodríguez *et al.* (2004), se localizan entre los 1600 y 2800 m.s.n.m. e indican que existen áreas de hibridación entre *Q. affinis* y *Quercus laurina* en las zonas donde se traslapan estas especies. Acaxochitlán se sitúa en los límites del área de hibridación.

A. quercuslaurinus, descrito por Melika *et al.* (2009), presenta alternancia obligada de una generación sexual con una duración aproximada de seis meses que induce la formación de agallas en hojas, con una asexual que lo hace en ramas y cuya duración es de aproximadamente 30 meses.

Cibrián-Tovar y Cibrián-Llenderal (2009) mencionan que este cinípido es una plaga de gran importancia en el municipio de Acaxochitlán, debido a que ha causado la pérdida de más del 85% de la población de *Q. affinis* en algunos predios particulares. Los árboles sufren infestaciones consecutivas durante varios años, que en un principio causan defoliación y muerte de ramillas terminales, posteriormente se pierde la copa original que es sustituida por brotes epicórmicos en ramas y tronco y al final sobreviene la muerte del árbol. Los árboles de diferentes edades y altura son atacados. A nivel de comunidad forestal ocurre un cambio en favor de especies no atacadas, como *Quercus crassifolia* y *Pinus patula*. Entre los impactos económicos de la infestación se incluyen la reducción de volumen por hectárea, la reducción de la tasa de crecimiento y formación de nueva madera y la alteración al ciclo hidrológico, lo cual es de preocupación para los productores de trucha de la región, ya que la calidad y cantidad de agua es afectada por la deforestación, causada en buena medida por la plaga.

La severidad de esta plaga es única en México para Cynipidae, aunque en Estados Unidos existen *Callirhytis quercusclaviger* (Ashmead) (Dixon, 1992) y *Callirhytis cornigera* (Osten Sacken) (Dixon, 1992; Eliason & Potter, 2000, 2001), ambas con una biología y daños similares a *A. quercuslaurinus*.

No se tienen productos registrados para el control de esta plaga y debido a la severidad de la misma y a la urgencia de aplicar medidas de combates que pudieran al menos frenar la tasa de avance en la región, se decidió realizar el presente trabajo con el objetivo de evaluar el efecto de los insecticidas imidacloprid, acefato, abamectina, y spirotetramat sobre adultos, huevos y primeros instares larvales de *A. quercuslaurinus* en agallas de hoja.

2.2. Materiales y Métodos

El sitio en donde se instalaron los experimentos fue el predio La Victoria, Acaxochitlán, Hidalgo, ubicado entre las coordenadas 98°11'54.00" y 98°11'20.00" longitud O, y 20°10'07.16" y 20°10'22.69" de latitud N, entre 2100 y 2194 m.s.n.m..

2.2.1. Inspección previa

Con el fin de identificar las mejores fechas de aplicación de tratamientos, se hicieron inspecciones para determinar las fechas de vuelo y oviposición de las hembras de la generación agámica que emergieron en 2012 y que fue abundante en ese año. El 17 de enero se efectuó una inspección en diversos sitios del predio, para identificar plantas de *Q. affinis* con nuevos brotes de crecimiento que la avispa requiere para insertar sus huevos, pero estos no se encontraron, indicando con ello que aún no se iniciaba la oviposición. El 24 de enero se hizo otra inspección y se encontraron nuevos brotes en los árboles adultos, pero no en los que se encuentran en el sotobosque, por lo que se asumió que los insectos estaban próximos a emerger. Para determinar el desarrollo de los individuos, se colectaron ramas con agallas, éstas se diseccionaron y se verificó que la mayoría fueron pupas en diferente grado de desarrollo, desde aquellas que comenzaban a pigmentarse hasta pupas completamente pigmentadas, pero con desarrollo alar incompleto, además de algunas hembras adultas. Una parte de las ramas colectadas se colocó en cajas de emergencia de 41.5 cm de ancho por 41.8 cm de profundidad y 96 cm de altura mismas que se ubicaron en un invernadero-insectario de la División de Ciencias Forestales (DICIFO), de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), en Chapingo, Estado de México, México.

En las cajas de emergencia se detectó que las primeras hembras comenzaron a emerger el 2 de febrero, por lo que se procedió a realizar una nueva colecta de material vegetal el 7 del mismo

mes. Al examinar las agallas de esta última fecha se encontró que la mayoría de las hembras ya estaban formadas pero poco activas, además de pupas completamente pigmentadas pero con las alas no completamente desarrolladas, por lo que se estimó que la fecha de emergencia inicial sería entre el 12 y el 20 de febrero del 2012. Por esta razón se decidió hacer dos aplicaciones, la primera en coincidencia con el tiempo de emergencia de adultos y por lo tanto con la oviposición, y la segunda con el desarrollo de las agallas foliares, ya que se consideró que es el periodo de mayor susceptibilidad de los insectos a los insecticidas.

2.2.2. Aplicación de insecticidas en aspersión foliar

Con un diseño experimental completamente al azar, en este experimento se evaluaron cuatro insecticidas: imidacloprid, spirotetramat, acefato y abamectina, y como testigo se utilizó agua. Las dosis utilizadas por tratamiento, que se muestran en el Cuadro 4, corresponden a la dosis media utilizada con fines agrícolas.

Cuadro 4. Dosificación de los tratamientos.

Tratamiento	Ingrediente activo (%) en producto comercial	Dosificación de producto comercial
Imidacloprid	30.20	1.00 L/ha
Spirotetramat	15.30	0.75 L/ha
Abamectina	1.80	0.25 L/ha
Acefato	97.00	1.20 kg/ha
Testigo		

Se decidió aplicar los insecticidas antes mencionados en aspersión foliar, debido a que éste método de aplicación es operativamente más sencillo de implementar en amplias extensiones de bosque que la inyección al tronco o al suelo.

Las unidades experimentales fueron cuadrados de 10 X 10 m, con no menos de 20 metros de alejamiento entre ellas, con plantas de *Q. affinis* de no más de 2 m de altura y con buena cantidad de follaje. Los tratamientos se asignaron al azar en las unidades experimentales.

La primera aplicación de insecticidas fue el 16 de febrero y la segunda el 11 de marzo del 2012, ambas con una aspersora motorizada.

Se seleccionaron cinco árboles por tratamiento, similares en altura y cantidad de follaje, a los que se les asignó un número al azar del uno al cinco.

2.2.3. Evaluación

Para la evaluación se realizó la recolecta de material vegetal aproximadamente 15 días después de cada una de las dos aplicaciones, es decir, la primera recolecta de follaje fue el 3 de marzo y la segunda el 27 de marzo de 2012.

La metodología seguida para la recolecta de material vegetal consistió en cortar no menos de cuatro brotes nuevos (Figura 15), de al menos cuatro puntos a lo largo del borde externo de la copa de los árboles marcados en cada uno de los tratamientos.



Figura 12. Brote de *Q. affinis* de reciente formación, que puede tener de 8 a 12 hojas. Las avispas ovipositan en las nuevas hojas en desarrollo, normalmente en el envés de ellas

Los brotes colectados se colocaron en el interior de bolsas de plástico resellables, etiquetadas con el tratamiento y número del árbol correspondiente, que se almacenaron temporalmente en una hielera y finalmente en un refrigerador.

La evaluación de los tratamientos en cada una de las dos aplicaciones se realizó con el procedimiento siguiente: de cada árbol se seleccionaron al azar cinco brotes del material vegetal colectado y a cada brote se le desprendieron todas las hojas. Se revisó cada hoja con la finalidad de buscar huevos o agallas. Cuando se encontró algún huevo, éste se revisó para determinar si estaba vivo o muerto, y si presentaba indicios de formación de agalla o no. Las agallas encontradas fueron diseccionadas para determinar el desarrollo de los individuos de *A. quercuslaurinus*, y si estos se encontraban vivos, muertos o parasitados. Todos los individuos encontrados se conservaron en alcohol al 70%. Se registró para cada hoja el número de huevos, larvas, pupas y adultos vivos y muertos, así como de agallas en desarrollo y aquellas en las que éste se detuvo. Los datos se transcribieron a una hoja de cálculo de Excel.

2.2.4. Análisis estadístico

Una vez obtenidos los datos de la primera y segunda evaluación de los tratamientos, se procedió a realizar el análisis de varianza, las pruebas de hipótesis correspondientes y las pruebas de Tukey para cada una de las variables, con $P=0.05$. El análisis de varianza y la prueba Tukey se realizaron mediante el programa SAS System for Windows 9.0.

2.3. Resultados y Discusión

Los resultados se presentan de acuerdo al desarrollo del insecto durante las dos evaluaciones.

2.3.1. Efecto sobre las hembras durante la oviposición

Debido a que la primera aplicación se efectuó durante el periodo de emergencia masiva de las hembras asexuales de *A. quercuslaurinus*, éstas entraron en contacto con los insecticidas aplicados, lo que produjo un efecto diferencial en la oviposición de acuerdo al insecticida empleado.

De acuerdo con el Cuadro 5, el insecticida que mayor efecto tuvo en la disminución de la oviposición fue el acefato, ya que los promedios de huevos por brote y de hojas con huevos encontrados en los árboles tratados fue de cero y significativamente diferente del testigo y de la abamectina, aunque no fue diferente de los promedios obtenidos con espirotetramat e imidacloprid, ya que los promedios con estos últimos dos productos fueron menores que los

valores obtenidos en el testigo y ligeramente mayores al obtenido con acefato, pero sin llegar a tener diferencias estadísticamente significativas. El tratamiento con abamectina tuvo el valor más alto de oviposición, sin diferencia con el testigo, pero sí del resto de los insecticidas, lo que indica que este producto no fue eficiente para prevenir la oviposición.

Al realizar el análisis considerando las hojas con huevos por brote se encontró que el acefato y el espirotetramat tuvieron promedios no significativamente distintos, pero el primero sí fue significativamente distinto de imidacloprid, testigo y abamectina.

Cuadro 5. Promedios de huevos y de hojas con huevos por brote. Primera evaluación.

Tratamiento	Huevos por brote*	Hojas con huevos*
Acefato	0.0 a	0.0 a
Spirotetramat	1.68 ab	1.08 ab
Imidacloprid	1.96 ab	1.20 b
Testigo	3.36 bc	1.76 bc
Abamectina	5.12 c	2.80 c

n= 25 brotes. *Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey a P=0.05).

Las diferencias en los promedios se pudo deber a las características de cada insecticida. El acefato es un organofosforado con propiedades sistémicas, pero también con un efecto por contacto directo o por ingestión (Christiansen *et al.*, 2011) y es posible que causara la muerte de adultos al posarse éstos sobre las hojas antes de ovipositar. El espirotetramat, de acuerdo a Brück *et al.* (2009), es un insecticida sistémico derivado del ácido tetrámico de movimiento acropétalo y basipétalo en las plantas, que inhibe la síntesis de ácidos grasos en insectos, por lo que afecta el desarrollo de los estadios larvales y reduce la capacidad de reproducción de las hembras mediante la disminución de su fecundidad y la fertilidad de los huevos. El imidacloprid es un insecticida neonicotinoide con acción sistémica y de contacto (Gervais *et al.*, 2010), que reduce la supervivencia de los adultos que entran en contacto con él y de los inmaduros que se alimentan de tejido contaminado con este insecticida. La abamectina es un

acaricida-insecticida del grupo químico de la avermectina, de acción lenta, por lo que se requiere de varios días para matar los insectos objetivo, con movimiento translaminar y limitado movimiento sistémico, y que actúa principalmente por ingestión, aunque también tiene algo de actividad por contacto (Hoover *et al.*, 2011).

2.3.2. Efecto sobre los huevos

En esta investigación se observó que cuando la hembra oviposita, inserta el pedúnculo del huevo en el tejido foliar, quedando el extremo distal del huevo sobre el tejido de la hoja, (Figura 13A), y en pocos días el tejido foliar rodea y cubre al huevo para posteriormente desarrollar la agalla (Figura 13B). En la segunda evaluación se apreció que muchos de los huevos todavía estaban expuestos, con la agalla en desarrollo. En el Cuadro 6 se observa que en el testigo el promedio de huevos desarrollados por brote fue significativamente mayor que los obtenidos con los insecticidas.

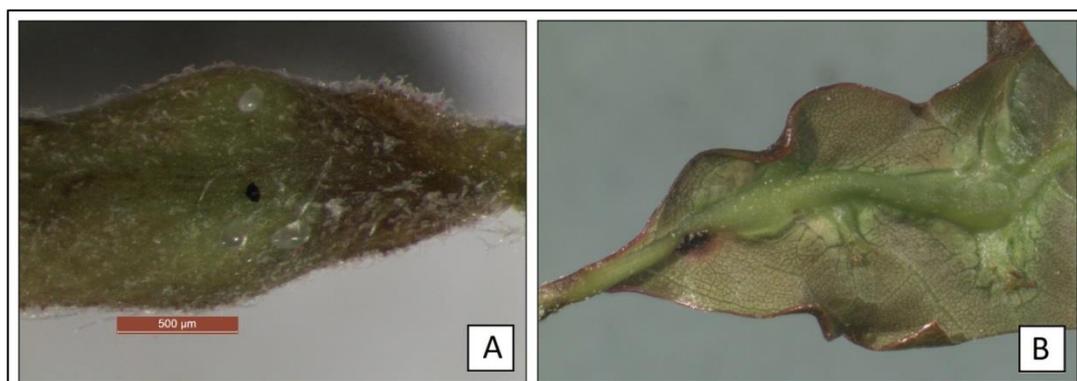


Figura 13. Huevos de avispa agalladora *A. quercuslaurinus* en hojas de *Q. affinis*. A: huevos ovipositados en el envés de la hoja, su pedúnculo está insertado en la lámina foliar. B: cuatro agallas en desarrollo, conectadas con la vena principal de la hoja.

Cuadro 6. Promedios de huevos en agallas desarrolladas por brote. Segunda evaluación.

Tratamiento	Huevos visibles en agallas semidesarrolladas*
-------------	---

Acefato	0.04 a
Spirotetramat	0.84 a
Abamectina	1.44 a
Imidacloprid	1.44 a
Testigo	3.2 b

n= 25 brotes. *Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey a P=0.05).

Para la fecha de la segunda evaluación, llevada a cabo el 27 de marzo, se registró un aumento en los promedios de las variables hojas con agallas y agallas por brote en todos los tratamientos (Cuadro 7). Lo anterior se podría atribuir a que después del 3 de marzo, fecha de la primera evaluación, de los árboles vecinos que también estuvieron infestados, posiblemente llegaron hembras que ya estaban en vuelo o que recién emergieron, las cuales pudieron ovipositar en las unidades experimentales, de modo que en los días que transcurrieron hasta la segunda evaluación hubo desarrollo de nuevas agallas.

Cuadro 7. Promedios de agallas de *A. quercuslaurinus* por brote.

Tratamiento	Hojas con agallas		Tratamiento	Agallas por brote	
	Evaluación 1	Evaluación 2		Evaluación 1	Evaluación 2
	3/III/2012	27/III/2012		3/III/2012	27/III/2012
Acefato	0.0 a*	0.04 a	Acefato	0.0 a	0.04 a
Spirotetramat	0.6 bc	1.12 a	Spirotetramat	0.76 ab	1.44 ab
Imidacloprid	1.04 bc	1.6 ab	Imidacloprid	1.16 abc	2.2 ab
Testigo	1.44 c	3.36 bc	Abamectina	2.28 bc	3.96 bc
Abamectina	1.52 c	4.72 c	Testigo	3.04 c	6.32 c

n= 25 brotes. *Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey a P=0.05).

Al comparar los resultados de ambas evaluaciones (Cuadro 7) se observa un mejor efecto de los insecticidas en la segunda, ya que los productos acefato, espirotetramat e imidacloprid se separaron significativamente del promedio obtenido en el tratamiento testigo, con excepción del imidacloprid en la variable hojas con agallas. La abamectina no fue diferente del testigo y por ello se confirma su poca efectividad para el control de la formación de agallas. De acuerdo con los resultados, el acefato y el espirotetramat logran reducir la formación de agallas en las hojas y por ello se puede sugerir su uso para control de infestaciones.

2.3.3. Efecto sobre larvas

El ciclo biológico de la avispa es rápido en las hojas, de tal forma que para la evaluación realizada el 27 de marzo, ya hubo larvas vivas dentro de las agallas y por ello fue posible identificar el efecto de los insecticidas en su población. En el Cuadro 8 se muestran los resultados obtenidos.

Cuadro 8. Promedios de larvas de *A. quercuslaurinus* por brote. Segunda evaluación.

Tratamiento	Larvas		
	Vivas	Muertas	Total
Acefato	0.0 a	0.0 a	0.0 a
Spirotetramat	0.6 ab	0.0 a	0.6 a
Imidacloprid	0.6 ab	0.16 ab	0.76 ab
Abamectina	1.88 bc	0.6 b	2.48 bc
Testigo	3.04 c	0.12 ab	3.16 c

n= 25 brotes. *Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey a P=0.05).

De nueva cuenta el tratamiento con acefato demostró alto control de los insectos, ya que no hubo larvas en desarrollo en la única agalla que se encontró en los brotes tratados con este insecticida. Con los insecticidas espiroteramat e imidacloprid se tuvieron valores bajos de agallas desarrolladas y por lo tanto de larvas vivas, aunque no fueron significativamente distintos del acefato. La abamectina mostró valores reducidos pero no diferentes de éstos dos últimos y no distinto del testigo, lo que refuerza la conclusión sobre su ineffectividad en el control de la avispa.

Se tienen pocos estudios de control sobre insectos similares al estudiado aquí, entre ellos los de Burgess *et al.* (1972), Morgan y Frankie (1986) y Eliason y Potter (2001). Destaca el estudio de Eliason y Potter (2000) sobre *Callirhythis cornígera*, en el que de manera secuenciada y acorde al ciclo biológico de una generación sexual, probaron el efecto de la aspersión a la copa de árboles con diferentes concentraciones de bifentrina y clorpirifos contra la emergencia de los adultos de agallas de rama, el efecto de la inyección al tronco de soluciones concentradas de abamectina, imidacloprid y bidrín contra larvas jóvenes en agallas de hoja y cuando las larvas estuvieron en desarrollo, probaron mediante aspersiones al follaje los insecticidas dimetoato, acefato, abamectina e imidacloprid. Sus resultados indican reducciones significativas de las poblaciones objetivo con la mayoría de los insecticidas usados, de tal manera que las nuevas infestaciones en ramas derivadas de la generación gámica tratada fueron similares a las encontradas en árboles no tratados, aparentemente por la reducción de los enemigos naturales, principalmente parasitoides. En el presente caso se tuvieron resultados aceptables de control con acefato, espirotetramat e imidacloprid. Por lo anterior, de aplicarse un tratamiento masivo en el bosque infestado, se prefiere recomendar espirotetramat como insecticida a utilizar debido a que no produce la muerte de los adultos de insectos de otras especies, y solo en árboles individuales de alto valor aplicar cualquiera de los otros dos productos.

2.4. Conclusiones

Para la atención de la infestación observada en Acaxochitlán se requiere un enfoque de manejo integral en donde el uso de los insecticidas solo sea parte de las acciones a realizar y aunque en este trabajo se tuvieron resultados concluyentes con los insecticidas probados en la

población de la avispa agalladora, falta conocer los impactos en los enemigos naturales para tener un mejor criterio de decisión. Una posibilidad interesante es revisar la susceptibilidad de los híbridos de *Q. laurina* X *Q. affinis* a la avispa y analizar la posibilidad de restaurar los rodales ahora diezmados, con planta de vivero menos propensa a la infestación.

2.5. Literatura Citada

BRÜCK, E., ELBERT, A., FISCHER, R., KRUEGER, S., KÜHNHOLD, J., KLUEKEN, A. M., VAN WAETERMEULEN, X. (2009). Movento®, an innovative ambimobile insecticide for sucking insect pest control in agriculture: Biological profile and field performance. *Crop protection*, 28, 838-844.

BURGESS, E. E., WILLIAMS, H. E., WILKINSON, R. E., & HEINRICHS, E. A. (1972). Field tests of insecticides against *Plagiotrochus cornigerus*. *Journal of Economic Entomology*, 65: 1484-1485.

CHRISTIANSEN, A., GERVAIS, J., BUHL, K., & STONE, D. (2011). Acephate technical fact sheet. National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services. URL: <http://npic.orst.edu/factsheets/acephatech.pdf>,

CIBRIÁN-TOVAR, D., & CIBRIÁN-LLANDERAL, V. D. (2009). Manual para la identificación y manejo de plagas y enfermedades en encinos de los municipios de Acaxochitlán y El Arenal, Hidalgo. Fundación Produce Hidalgo. Informe.

DIXON, W. N. (1992). Spined or horned galls on oaks in Florida induced by gall wasps, *Callirhytis quercusclaviger* (Ashmead) and *Callirhytis cornigera* (Osten-Sacken) (Hymenoptera: Cynipidae). Fla. Dept. Agric. & Consumer Services Division of Plant Industry, Entomology Circular No. 355.

ELIASON, E. A., & POTTER, D. A. (2000). Impact of whole-canopy and systemic insecticidal treatments on *Callirhytis cornigera* (Hymenoptera: Cynipidae) and Associated Parasitoids on Pin Oak. *Journal of Economic Entomology*, 93(1), 165-171. doi: 10.1603/0022-0493-93.1.165. URL: <http://www.bioone.org/doi/full/10.1603/0022-0493-93.1.165>.

- ELIASON, E.A., & POTTER, D.A. (2001). Biology and management of the horned oak gall wasp on pin oak. *Journal of arboriculture*, 27(2), 92-100.
- GERVAIS, J. A., LUUKINEN, B., BUHL, K., & STONE, D. (2010). Imidacloprid technical fact sheet. National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services. URL: <http://npic.orst.edu/factsheets/imidacloprid.pdf>.
- GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A., ARIAS, D. M., VALENCIA, S., & OYAMA, K. (2004). Morphological and RAPD Analysis of hybridization between *Quercus affinis* and *Quercus laurina* (Fagaceae), two mexican red oaks. *American Journal of Botany*, 91(3), 401-409. URL: <http://www.jstor.org/stable/4123735>.
- HOOVER, G. A., MOORMAN, G. W., RICHARDS, K. M., & GRIPP, S. I. 2011. Woody ornamental insect, mite, and disease management. Pennsylvania, USA: Penn State College of Agriculture Sciences.
- MELIKA, G., CIBRIÁN-TOVAR, D., CIBRIÁN-LLANDERAL, V. D., TORMOS, J., & PUJADE-VILLAR, J. (2009). New species of oak gallwasp from Mexico (Hymenoptera: Cynipidae: Cynipini) – a serious pest of *Quercus laurina* (Fagaceae). *Dugesiana*, 16(2),67-73.
- MORGAN, D. L., & FRANKIE, G. W. (1982). Biology and control of the mealy-oak gall. *Journal of Arboriculture*, 8, 230-233.
- VALENCIA, S. A. (2004). Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, diciembre (075), 33-53.

CONCLUSIONES GENERALES

En la presente investigación se aclararon aspectos del ciclo biológico y de la biología de *A. quercuslaurinus* que se desconocían, como la apariencia de los huevos al ser ovipositados y de las agallas en estados tempranos de desarrollo, se aclaró la duración del estadio de huevo y los meses en que hay presencia de larvas, pupas y adultos próximos a emerger. Se obtuvo nueva información referente a las etapas de desarrollo de las agallas.

En la prueba de combate químico se encontró que el acefato, espirotetramat e imidacloprid, generaron una reducción significativa de la población de la generación sexual en las plantas tratadas, por lo que se podrían considerar como alternativas en un plan de manejo. La elección de cual de estos tres insecticidas es más conveniente usar, se debe hacer tomando en cuenta el ciclo biológico de *A. quercuslaurinus*, así como las hojas de seguridad y las características de cada uno de los insecticidas, con la finalidad de conseguir los mejores resultados con los menores efectos adversos en poblaciones de insectos u organismos no objetivos.

ANEXOS

ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBAS DE HIPÓTESIS

Evaluación 1

Variable dependiente: Huevos de *A. quercuslaurinus* por brote.

ANAVA

Fuente	GL1	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	5	666.7733	133.3547	9.51	<0.0001
Error	144	2018.8	14.0194		
Total correcto	149	2685.5733			

1: Grados de libertad.

Fuente	GL ₁	Anova SS	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	5	666.7733	133.3547	9.51	<0.0001

1: Grados de libertad.

Pruebas de hipótesis

Ho: T1=T2=T3=T4=T5=T6

Ha: al menos dos tratamientos son diferentes.

Regla de decisión: se rechaza Ho si P-value< α .

P-value α

<0.0001< 0.05

Por lo tanto, se rechaza H_0 . Con un nivel de significancia del 5% se puede concluir que al menos dos tratamientos son diferentes.

Variable dependiente: Hojas con huevos de *A. quercuslaurinus* por brote.

ANAVA

Fuente	GL ₁	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	5	177.68	35.536	12.76	<0.0001
Error	144	400.96	2.7844		
Total correcto	149	578.64			

1: Grados de libertad.

Fuente	GL ₁	Anova SS	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	5	177.68	35.536	12.76	<0.0001

1: Grados de libertad.

Pruebas de hipótesis

Ho: T1=T2=T3=T4=T5=T6

Ha: al menos dos tratamientos son diferentes.

Regla de decisión: se rechaza Ho si P-value< α .

P-value α

<0.0001< 0.05

Por lo tanto, se rechaza Ho. Con un nivel de significancia del 5% se puede concluir que al menos dos tratamientos son diferentes.

Variable dependiente: Hojas con agallas de *A. quercuslaurinus* por brote.

ANAVA

Fuente	GL ₁	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	5	67.8733	13.5747	3.95	0.0022
Error	144	495.2	3.4389		
Total correcto	149	563.0733			

1: Grados de libertad.

Fuente	GL ₁	Anova SS	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	5	67.8733	13.5747	3.95	0.0022

1: Grados de libertad.

Pruebas de hipótesis

Ho: T1=T2=T3=T4=T5=T6

Ha: al menos dos tratamientos son diferentes.

Regla de decisión: se rechaza Ho si P-value< α .

P-value α

0.0022 < 0.05

Por lo tanto, se rechaza Ho. Con un nivel de significancia del 5% se puede concluir que al menos dos tratamientos son diferentes.

Variable dependiente: Agallas de *A. quercuslaurinus* por brote.

ANAVA

Fuente	GL ₁	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	5	333.4933	66.6987	6.13	<0.0001
Error	144	1568.08	10.8894		
Total correcto	149	1901.5733			

1: Grados de libertad.

Fuente	GL ₁	Anova SS	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	5	333.4933	66.6987	6.13	<0.0001

1: Grados de libertad.

Pruebas de hipótesis

Ho: T1=T2=T3=T4=T5=T6

Ha: al menos dos tratamientos son diferentes.

Regla de decisión: se rechaza Ho si P-value< α .

P-value α

<0.0001< 0.05

Por lo tanto, se rechaza Ho. Con un nivel de significancia del 5% se puede concluir que al menos dos tratamientos son diferentes.

Evaluación 2

Variable dependiente: Hojas con agallas de *A. quercuslaurinus* por brote.

ANAVA

Fuente	GL ₁	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	5	357.6333	71.5267	11.69	<0.0001
Error	144	881.0400	6.1183		
Total correcto	149	1238.6733			

1: Grados de libertad.

Fuente	GL ₁	Anova SS	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	5	357.6333	71.5267	11.69	<0.0001

1: Grados de libertad.

Pruebas de hipótesis

H₀: T₁=T₂=T₃=T₄=T₅=T₆

H_a: al menos dos tratamientos son diferentes.

Regla de decisión: se rechaza H₀ si P-value< α .

P-value α

<0.0001 < 0.05

Por lo tanto, se rechaza H₀. Con un nivel de significancia del 5% se puede concluir que al menos dos tratamientos son diferentes.

Variable dependiente: Huevos en agallas de *A. quercuslaurinus* desarrolladas por brote.

ANAVA

Fuente	GL ₁	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	5	145.0133	29.0027	7.22	<0.0001
Error	144	578.4800	4.0172		
Total correcto	149	723.4933			

1: Grados de libertad.

Fuente	GL ₁	Anova SS	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	5	145.0133	29.0027	7.22	<0.0001

1: Grados de libertad.

Pruebas de hipótesis

Ho: T1=T2=T3=T4=T5=T6

Ha: al menos dos tratamientos son diferentes.

Regla de decisión: se rechaza Ho si P-value< α .

P-value α

<0.0001< 0.05

Por lo tanto, se rechaza Ho. Con un nivel de significancia del 5% se puede concluir que al menos dos tratamientos son diferentes.

Variable dependiente: Agallas de *A. quercuslaurinus* por brote.

ANAVA

Fuente	GL ₁	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	5	713.9200	142.7840	11.58	<0.0001
Error	144	1776.0800	12.3339		
Total correcto	149	2490.0000			

1: Grados de libertad.

Fuente	GL ₁	Anova SS	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	5	713.9200	142.7840	11.58	<0.0001

1: Grados de libertad.

Pruebas de hipótesis

Ho: T1=T2=T3=T4=T5=T6

Ha: al menos dos tratamientos son diferentes.

Regla de decisión: se rechaza Ho si P-value< α .

P-value α

<0.0001< 0.05

Por lo tanto, se rechaza Ho. Con un nivel de significancia del 5% se puede concluir que al menos dos tratamientos son diferentes.

Variable dependiente: Hojas con larvas vivas de *A. quercuslaurinus* por brote.

ANAVA

Fuente	GL ₁	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	5	74.0533	14.8107	6.97	<0.0001
Error	144	305.9200	2.1244		
Total correcto	149	379.9733			

1: Grados de libertad.

Fuente	GL ₁	Anova SS	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	5	74.0533	14.8107	6.97	<0.0001

1: Grados de libertad.

Pruebas de hipótesis

Ho: T1=T2=T3=T4=T5=T6

Ha: al menos dos tratamientos son diferentes.

Regla de decisión: se rechaza Ho si P-value< α .

P-value α

<0.0001< 0.05

Por lo tanto, se rechaza Ho. Con un nivel de significancia del 5% se puede concluir que al menos dos tratamientos son diferentes.

Variable dependiente: Hojas con larvas muertas de *A. quercuslaurinus* por brote.

ANAVA

Fuente	GL ₁	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	5	6.9333	1.3867	3.48	0.0053
Error	144	57.3600	0.3983		
Total correcto	149	64.2933			

1: Grados de libertad.

Fuente	GL ₁	Anova SS	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	5	6.9333	1.3867	3.48	0.0053

1: Grados de libertad.

Pruebas de hipótesis

Ho: T1=T2=T3=T4=T5=T6

Ha: al menos dos tratamientos son diferentes.

Regla de decisión: se rechaza Ho si P-value< α .

P-value α

0.0053 < 0.05

Por lo tanto, se rechaza Ho. Con un nivel de significancia del 5% se puede concluir que al menos dos tratamientos son diferentes.

Variable dependiente: Total de hojas con larvas de *A. quercuslaurinus* por brote.

ANAVA

Fuente	GL ₁	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	5	108.5333	21.7067	6.882	<0.0001
Error	144	458.6400	3.1850		
Total correcto	149	567.1733			

1: Grados de libertad.

Fuente	GL ₁	Anova SS	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	5	108.5333	21.7067	6.882	<0.0001

1: Grados de libertad.

Pruebas de hipótesis

Ho: T1=T2=T3=T4=T5=T6

Ha: al menos dos tratamientos son diferentes.

Regla de decisión: se rechaza Ho si P-value< α .

P-value α

<0.0001< 0.05

Por lo tanto, se rechaza Ho. Con un nivel de significancia del 5% se puede concluir que al menos dos tratamientos son diferentes.

Variable dependiente: Larvas vivas de *A. quercuslaurinus* por brote.

ANAVA

Fuente	GL ₁	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	5	187.3133	37.4627	6.61	<0.0001
Error	144	815.7600	5.6650		
Total correcto	149	1003.0733			

1: Grados de libertad.

Fuente	GL ₁	Anova SS	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	5	187.3133	37.4627	6.61	<0.0001

1: Grados de libertad

Pruebas de hipótesis

Ho: T1=T2=T3=T4=T5=T6

Ha: al menos dos tratamientos son diferentes.

Regla de decisión: se rechaza Ho si P-value< α .

P-value α

<0.0001< 0.05

Por lo tanto, se rechaza Ho. Con un nivel de significancia del 5% se puede concluir que al menos dos tratamientos son diferentes.

Variable dependiente: Larvas muertas de *A. quercuslaurinus* por brote.

ANAVA

Fuente	GL ₁	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	5	9.8733	1.9747	3.95	0.0022
Error	144	72.0000	0.5000		
Total correcto	149	81.8733			

1: Grados de libertad.

Fuente	GL ₁	Anova SS	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	5	9.8733	1.9747	3.95	0.0022

1: Grados de libertad.

Pruebas de hipótesis

Ho: T1=T2=T3=T4=T5=T6

Ha: al menos dos tratamientos son diferentes.

Regla de decisión: se rechaza Ho si P-value< α .

P-value α

0.0022 < 0.05

Por lo tanto, se rechaza Ho. Con un nivel de significancia del 5% se puede concluir que al menos dos tratamientos son diferentes.

Variable dependiente: Total de larvas de *A. quercuslaurinus* por brote.

ANAVA

Fuente	GL ₁	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	5	246.3733	49.2747	6.85	<0.0001
Error	144	1035.52	7.1911		
Total correcto	149	1281.8933			

1: Grados de libertad.

Fuente	GL1	Anova SS	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	5	246.3733	49.2747	6.85	<0.0001

1: Grados de libertad.

Pruebas de hipótesis

Ho: T1=T2=T3=T4=T5=T6

Ha: al menos dos tratamientos son diferentes.

Regla de decisión: se rechaza Ho si P-value< α .

P-value α

<0.0001< 0.05

Por lo tanto, se rechaza Ho. Con un nivel de significancia del 5% se puede concluir que al menos dos tratamientos son diferentes.

IMÁGENES

Ciclo biológico

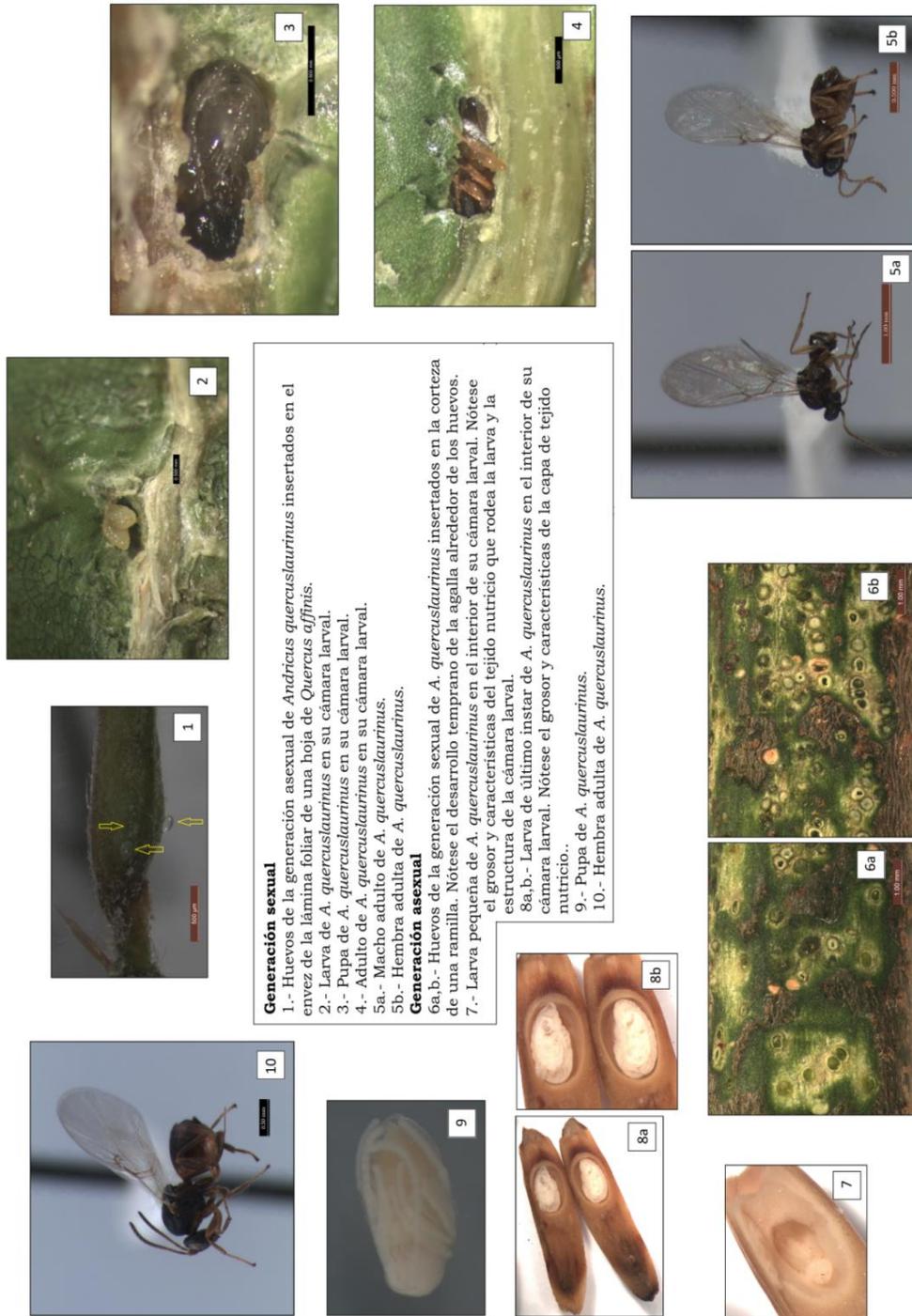


Figura 14. Ciclo biológico de *A. quercuslaurinus*.

Combate químico

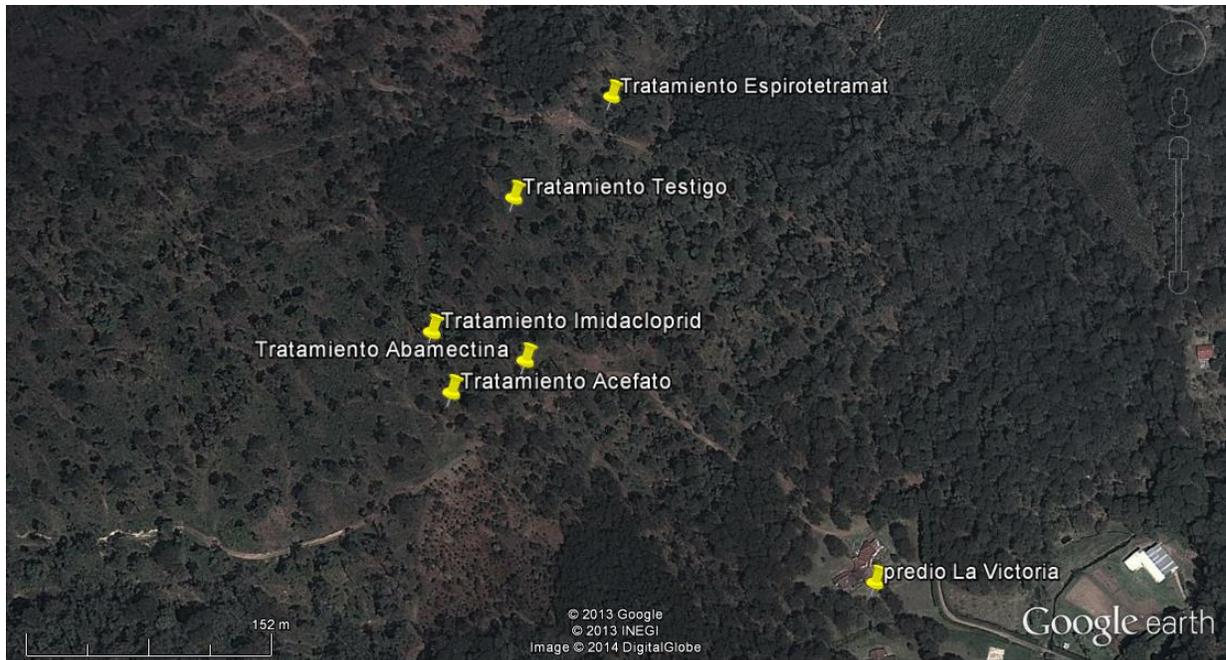


Figura 15. Distribución de los tratamientos.



Figura 16. Daños de *A. quercuslaurinus* a *Q. affinis*. Fotos tomadas el 23 de agosto del 2012.



Figura 17. Daños de *A. quercuslaurinus* a *Q. affinis*. Fotos tomadas el 01 de marzo del 2012.



Figura 18. Primera aplicación. Foto tomada el 16 de febrero del 2012.



Figura 19. Sitio correspondiente al tratamiento acefato. Fecha: 16 de febrero del 2012.



Figura 20. Aspersora motorizada FORZA 25 utilizada para efectuar la aplicación de los tratamientos. Fecha: 16 de febrero del 2012.