

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



INTERACCIÓN INSECTO - PLANTA ENTRE *Aegorhinus nodipennis* Hope (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)
y *Corylus avellana* L.

Tesis de grado presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera, como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

MARGARITA AYIL HUEICHAPÁN VELÁSQUEZ

TEMUCO – CHILE

2011

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



INTERACCIÓN INSECTO - PLANTA ENTRE *Aegorhinus nodipennis* Hope (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)
y *Corylus avellana* L.

Tesis de grado presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera, como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

MARGARITA AYIL HUEICHAPÁN VELÁSQUEZ
PROFESOR GUÍA: ANDRÉS EDUARDO QUIROZ CORTEZ
TEMUCO – CHILE

2011

**INTERACCIÓN INSECTO-PLANTA ENTRE *Aegorhinus nodipennis* Hope (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)
Y *Corylus avellana* L.**

PROFESOR GUÍA:

ANDRÉS EDUARDO QUIROZ CORTEZ

DR. EN CIENCIAS MENCIÓN QUÍMICA

DEPTO. DE CIENCIAS QUÍMICAS Y RECURSOS NATURALES

PROFESOR CONSEJERO:

LEONARDO JAVIER PARRA BARDEHLE

DR. EN CIENCIAS DE RECURSOS NATURALES

DEPTO. DE CIENCIAS QUÍMICAS Y RECURSOS NATURALES

CALIFICACIÓN PROMEDIO TESIS: 7,0

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Avellano europeo: <i>Corylus avellana</i> Linnaeus, 1753.	3
2.1.1 Antecedentes generales.	3
2.1.2 Situación mundial del avellano europeo.	4
2.1.3 Situación nacional del avellano europeo.	5
2.1.4 Principales problemas fitosanitarios del avellano europeo.	7
2.1.4.1 Bacterias.	8
2.1.4.2 Hongos.	9
2.1.4.3 Virus.	9
2.1.4.4 Insectos.	9
2.2 <i>Aegorhinus nodipennis</i> (Hope, 1834).....	9
2.2.1 Posición sistemática: <i>A. nodipennis</i>	9
2.2.2 Distribución geográfica de <i>A. nodipennis</i>	10
2.2.3 Descripción morfológica de <i>A. nodipennis</i>	11
2.2.3.1 Estados inmaduros.	11
2.2.3.2 Adulto de <i>A. nodipennis</i>	12
2.2.4 Principales hospederos de <i>A. nodipennis</i>	12
2.2.5 Daño causado por <i>A. nodipennis</i>	13
2.2.6 Control de <i>A. nodipennis</i>	14
2.2.6.1 Control químico.....	14
2.2.6.2 Control físico-mecánico.....	14
2.2.6.3 Control cultural	14
2.2.6.4 Control natural.	15
2.2.6.5 Uso de semioquímicos en manejo de plagas.	15
2.2.7 Importancia económica de <i>A. nodipennis</i>	16
2.3 Fitoquímica de <i>Corylus avellana</i>	16
2.3.1 Compuestos volátiles presentes en plantas	17

2.3.2 Metabolitos secundarios no volátiles.....	18
2.4 Planteamiento del problema	19
3. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1 Material vegetal.....	20
3.2 Insectos	20
3.3 Determinación de la fluctuación poblacional de <i>A. nodipennis</i> en avellano europeo.	20
3.4 Captura de volátiles de <i>Corylus avellana</i> L.	20
3.5 Bioensayos olfatométricos con extractos volátiles de <i>C. avellana</i>	22
3.6 Identificación de compuestos volátiles de <i>C. avellana</i> por CG-DM.....	23
3.7 Bioensayos olfatométricos con compuestos puros.	24
3.8 Bioensayos olfatométricos con diferentes controles.	25
3.9 Análisis de datos.	25
4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	26
4.1 Fluctuación poblacional de <i>A. nodipennis</i> previa a captura de volátiles.	26
4.2 Identificación de compuestos volátiles emitidos por <i>C. avellana</i>	27
4.3 Respuesta olfatométrica de <i>A. nodipennis</i> hacia el extracto total de volátiles de <i>C. avellana</i>	30
4.3.1 Respuesta olfatométrica de <i>A. nodipennis</i> hacia el extracto de volátiles natural de <i>C. avellana</i> liberado en la zona superior de la planta	32
4.3.2 Respuesta olfatométrica de <i>A. nodipennis</i> hacia el extracto de volátiles natural de <i>C. avellana</i> liberado en la zona inferior de la planta.....	34
4.3.3 Respuesta olfatométrica de <i>A. nodipennis</i> hacia compuestos puros.....	35
4.3.4 Respuesta olfatométrica de <i>A. nodipennis</i> hacia diferentes controles.....	37
5. CONCLUSIONES.....	38
6. RESUMEN	39
7. SUMMARY	40
8. LITERATURA CITADA	41
9. AGRADECIMIENTOS	47
10. ANEXOS	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Avellano europeo: a) arbusto, b) fruto inmaduro y c) fruto con cáscara (In-shell)	3
Figura 2a. Kilogramos de avellanas exportados entre 2003-2009.....	6
Figura 2b. US\$ FOB de exportaciones de avellanas europeas entre 2003-2009.	7
Figura 3. Tizón bacteriano en frutos de avellano europeo	8
Figura 4. Huevos de <i>A. nodipennis</i>	11
Figura 5. Adulto <i>A. nodipennis</i>	12
Figura 6. Sistema de atrapamiento de volátiles.....	22
Figura 7. Olfatómetro de cuatro brazos.....	23
Figura 8. Olfatómetro tipo Tubo-Y.....	25
Figura 9. Fluctuación de población de <i>A. nodipennis</i> capturados en <i>C. avellana</i>	26
Figura 10. Distribución de <i>A. nodipennis</i> en deferentes zonas de <i>C. avellana</i>	27
Figura 11_a. Principales grupos químicos (%) identificados desde la zona inferior (ZI) de <i>C. avellana</i>	29
Figura 11_b. Principales grupos químicos (%) identificados desde la zona superior (ZS) de <i>C. avellana</i>	30
Figura 12. Respuesta olfatométrica de <i>A. nodipennis</i> hacia extractos volátiles de <i>C. avellana</i>	32
Figura 13. Respuesta olfatométrica de <i>A. nodipennis</i> hacia extractos volátiles de <i>C. avellana</i> liberados en la zona superior del árbol.....	33
Figura 14. Respuesta olfatométrica de <i>A. nodipennis</i> hacia extractos volátiles de <i>C. avellana</i> liberados en la zona inferior del árbol	35
Figura 15. Respuesta de <i>A. nodipennis</i> frente a compuestos puros.....	36
Figura 16. Respuesta olfatométrica de <i>A. nodipennis</i> hacia diferentes controles.	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficie y producción de avellanas europeas a nivel mundial	5
Tabla 2. Insectos plaga asociado al avellano europeo en Chile.	10
Tabla 3. Posición sistemática de <i>A. nodipennis</i>	11
Tabla 4. Principales hospederos de <i>A. nodipennis</i> en la Región de La Araucanía.	13

1. INTRODUCCIÓN

El avellano europeo (*Corylus avellana* L.) es una especie arbórea perteneciente a la familia Betulaceae, la cual fue introducida a nuestro país por colonizadores europeos que se establecieron en el sur de Chile. Originalmente se utilizó como cerco natural en huertos caseros, para posteriormente usar su fruto como alimento. Actualmente la situación es distinta, debido a su incorporación como cultivo de fruto de nuez, el cual junto con el nogal y almendro, son considerados los cultivos más antiguos del mundo para la producción de fruta seca (Carreño, 1996; Ellena, 2010).

En Chile, las especies de fruto de nuez presentan un interesante potencial de desarrollo (Ellena, 2010). Particularmente el avellano europeo presenta una serie de ventajas, entre las que destacan, 1) escasa producción en los países del hemisferio sur, 2) alto consumo en países latinoamericanos como Brasil y Argentina y 3) producción en contra estación respecto de los principales importadores (Grau, 2007).

Sin embargo, pese a la relevancia que ha adquirido este cultivo en los últimos años, productores frutícolas han manifestado que los principales problemas técnicos a resolver en el avellano europeo son: 1) polinización, 2) desconocimiento a la respuesta productiva de variedades en diferentes zonas agroecológicas y 3) control de plagas y enfermedades (Grau, 2007).

Dentro de este último aspecto, cobra importancia la acción del curculiónido *Aegorhinus nodipennis* o cabrito del coigüe, insecto nativo del cono sur de América (Chile y Argentina). Según Aguilera (2005), el ataque de *A. nodipennis* es similar al provocado por *Aegorhinus superciliosus*, cuya larva provoca galerías en la raíz principal y cuello de su hospedero. El daño causado con ésta acción, es visible en verano con síntomas como amarillamiento de hojas y defoliación temprana en el extremo de sus ramas. El adulto emerge del suelo y trepa para consumir preferentemente ramillas del año y corteza verde, lo cual provoca un anillado que origina un quiebre de las ramillas debido a los vientos estivales. Toda esta actividad provoca un deterioro en la planta que puede derivar en su muerte (Aguilera, 2005).

Dentro de los métodos de control utilizados para éste insecto se encuentra el control químico directo. Este método es ineficaz cuando es dirigido al estado larval debido a que el ataque de éste curculiónido es subterráneo, y cuando se realiza sobre el estado adulto presenta limitantes debido al efecto residual y periodo de carencia de los productos químicos utilizados (Aguilera, 1995).

Por otra parte el uso indiscriminado de plaguicidas sintéticos ha ocasionado no sólo la aparición de poblaciones de insectos cada vez más resistentes a estos productos, sino también un impacto ambiental negativo, afectando a enemigos naturales de los insectos, además de contaminar napas freáticas y aire (Dietz *et al.*, 1991).

Dentro de nuevas alternativas de control se encuentra el etológico, el cual se basa en la utilización de sustancias semioquímicas, cuyo objetivo es alterar la conducta del insecto (Mareggiani, 2001). El término semioquímico proviene del griego *semeon* que significa marca o señal, siendo un compuesto químico originado del metabolismo secundario. Es emitido con un propósito definido hacia el receptor, con lo que se generaría una verdadera comunicación química entre organismos (Law & Regnier, 1971). Las sustancias semioquímicas cuya emisión es significativa para un organismo de una especie diferente a la emisora se denominan: aleloquímicos (Whittaker, 1970).

En interacciones planta-insecto, los compuestos químicos presentes en diferentes órganos de la planta, tales como hojas, tallos y frutos, juegan un rol fundamental en la atracción de los insectos hacia sus plantas hospederas (Liburd, 2004). De hecho, las plantas se han considerado como un campo apropiado para la búsqueda de semioquímicos con potencial uso para el control de plagas agrícolas, dando origen a nuevas e interesantes líneas de investigación (Mareggiani, 2001).

Sin embargo para implementar un método de control etológico se requieren estudios que proporcionen una comprensión más acabada de la interacción insecto-planta.

En base a estos antecedentes, ésta investigación plantea como hipótesis de trabajo que, los compuestos volátiles emitidos por la parte aérea de *C. avellana* generan una respuesta olfativa atrayente por parte de *A. nodipennis*.

Esta tesis tiene como objetivo general, identificar compuestos volátiles emitidos por la parte aérea de *C. avellana* que median la relación con *A. nodipennis*.

Los objetivos específicos asociados al objetivo general son los siguientes:

- 1) Evaluar la conducta olfatométrica de *A. nodipennis* hacia el conjunto de volátiles emitidos por la parte aérea de *C. avellana*.
- 2) Determinar la composición química de los extractos volátiles emitidos por la parte aérea de *C. avellana*.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Avellano europeo: *Corylus avellana* Linnaeus, 1753.

2.1.1 Antecedentes generales.

Corylus avellana, es un árbol originario de Mesopotamia, área geográfica del actual Irán, Irak y Turquía (Ellena, 2010). Se presenta en forma de arbusto monoico de dos a cinco metros de altura, con la copa extendida e irregular (Fig. 1A), las raíces son poco profundas, largas, nudosas y emiten normalmente vástagos de nudosidades. Las hojas son grandes, alternas, ovales, redondeadas, pecioladas, rugosas, pilosas en el haz, de color verde - amarillento y doblemente aserradas. El peciolo es corto y las estípulas son oblongas, obtusas, verdes y caducas (Lemus, 2004), mientras que el fruto corresponde a un aquenio en forma de copa partida. El pericarpio es óseo, la testa es lisa color canela, la cual envuelve usualmente una semilla (Grau, 2003). El fruto puede ser único o reunido en infrutescencias, en grupos de dos o más (Fig. 1B) (Ellena, 2010).

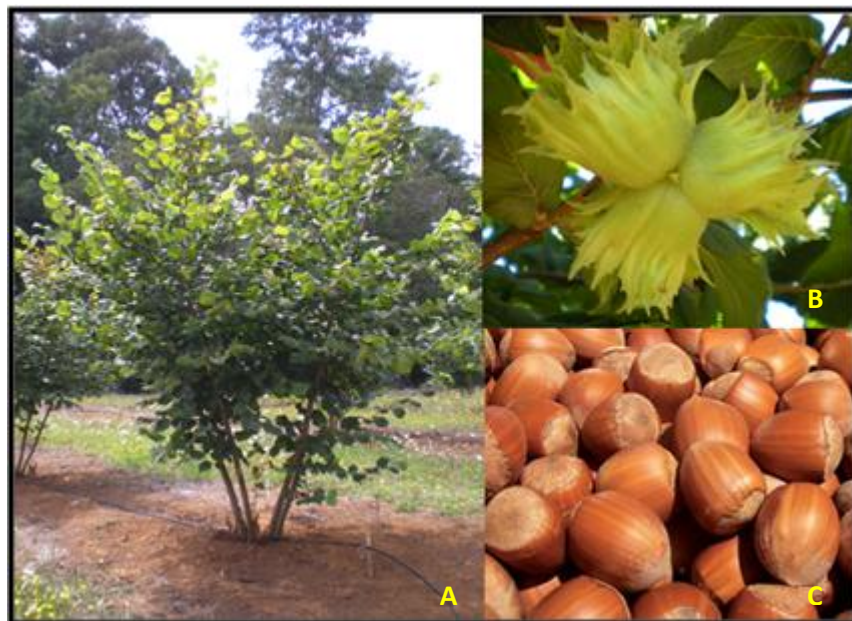


Figura 1. Avellano europeo: A) arbusto, B) fruto inmaduro y C) fruto con cáscara (In-shell).

El avellano europeo desarrolla las flores femeninas en las ramas de primer año y en su base se encuentran los amentos masculinos (Roversi, 2008).

El Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) Carillanca introdujo en la década del '90 el avellano europeo con el fin de establecer la adaptabilidad de la especie como cultivo de producción comercial. El cultivar Barcelona fue uno de los primeros, posteriormente se introdujeron otros 12 cultivares, estableciéndose en huertos experimentales de la Región de La Araucanía (Aguilera, 2005).

La producción en contra estación respecto a los principales importadores tales como, Turquía, Italia y Estados Unidos, la insuficiente producción de países del hemisferio sur y la creciente demanda de países latinoamericanos, ubica a Chile con un gran potencial para el desarrollo de éste fruto de nuez (Grau, 2007).

Se estima que en Chile existen unas 13 mil hectáreas plantadas, distribuidas entre la Región del Maule hasta la Región de Los Lagos, siendo las principales variedades utilizadas Barcelona y Tonda Giffoni (Cruzat, 2010). El fruto del avellano europeo se destina en su mayor parte a la industria de procesamiento. Los cultivares, dependiendo de las características organolépticas del fruto, tienen como destino la industria del procesamiento o consumo como *snack*, similar a otros frutos de nuez tal como ocurre con la almendra y pistacho. En efecto, sobre el 70% del consumo mundial del fruto es demandado por la industria chocolatera y repostera (Grau, 2007). La venta del fruto se realiza en formatos de frutos con cáscara (In-Shell) (Fig. 1C) y frutos descascarados (Kernel) (Cruzat, 2010).

Actualmente, Chile es líder a nivel del hemisferio sur en producción de avellanas europeas, con proyecciones de transformarse en uno de los principales productores del mundo (Ellena, 2010).

Frente a esta nueva especie frutal la información sobre el manejo, producción, polinización, adaptabilidad de variedades a nuestra zona y el control de plagas y enfermedades es escasa, siendo estos los principales problemas técnicos a los cuales se ven enfrentados los productores.

2.1.2 Situación mundial del avellano europeo.

Según FAOSTAT (2008), existe una superficie mundial de 567.264 ha con una producción de 831.364 ton, siendo los principales productores Turquía, Italia, EE.UU. y España. Del total producido, el 99% se ubica en el hemisferio norte.

En Tabla 1 se indica los principales países productores de avellanas europeas en el mundo.

Tabla 1. Superficie y producción de avellanas europeas a nivel mundial.

País	Toneladas	Superficie (ha)
(Promedio 2005-2007)		
Turquía	563.333	400.000
Italia	120.244	68.288
USA	31.631	11.500
España	21.709	20.000
Azerbaiyán	27.817	17.378
Irán	17.963	19.500
Georgia	15.831	7.700
China	14.197	9.000
Otros	19.639	13.898
Total	832.364	567.264

Fuente: FAOSTAT (2008).

2.1.3 Situación nacional del avellano europeo.

Chile presenta el mayor potencial de crecimiento del cultivo de avellano europeo sobre bases climáticas y de disponibilidad de suelos, además de condiciones óptimas tales como, tratados de libre comercio que facilitan las exportaciones, apoyo financiero del estado para el establecimiento del huerto, en comparación a otros países latinoamericanos. Según Cruzat (2010) se estima una tasa de crecimiento del cultivo de 1.000 - 1.500 ha/año.

Este último autor indica que existen dos zonas productoras de avellanas europeas en nuestro país:

- 1) Zona norte, desde la Región del Maule a la Región del Biobío. En esta zona existe baja pluviometría, cosechas tempranas y baja incidencia de la bacteria *Xanthomona*, existiendo problemas con insectos curculiónidos que afectan el cultivo.

- 2) Zona sur, ubicada entre la Región de La Araucanía y la Región de Los Lagos. Esta zona se caracteriza por una alta pluviometría, cosechas tardías, alta incidencia de la bacteria *Xanthomona* y problemas de curculiónidos.

Los frutos secos constituyen una de las bases de la alimentación mediterránea debido a su consumo en dietas con abundante contenido en alimentos de origen vegetal como cereales y sus derivados, frutas, verduras, legumbres y frutos secos. Por ello, el aumento en las exportaciones de este fruto ha ido en aumento, principalmente a Europa.

En el primer cuatrimestre de 2008, Chile exportó a Italia US\$ 1.103.699, cifra que representa una variación del 361% respecto al mismo periodo del 2007, observándose una evidente tendencia positiva para los exportadores chilenos. El año anterior la lista de exportadores de avellanas a Italia estaba encabezada por Estados Unidos con un total de US\$ 2.456.457, sin embargo, los volúmenes de este país han disminuido debido al ataque de algunas plagas que han afectado su producción (PROCHILE, 2008).

En la figura 2 (a y b) se muestra un resumen de exportaciones de avellanas chilenas en un periodo de siete años.

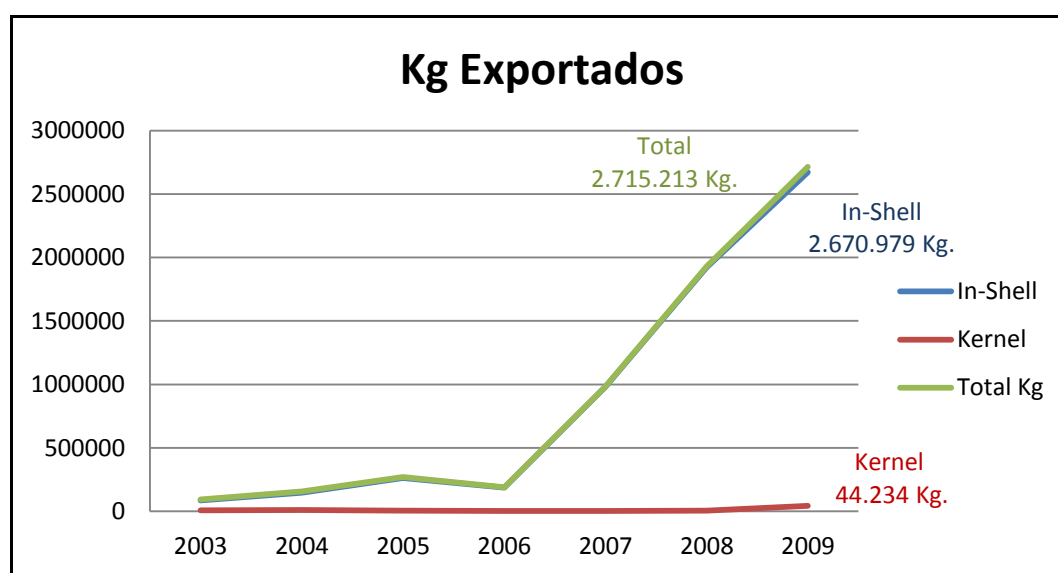


Figura 2a. Kilogramos de avellanas exportados entre 2003-2009.

Fuente: Elaboración propia, en base a información de Cruzat (2010).

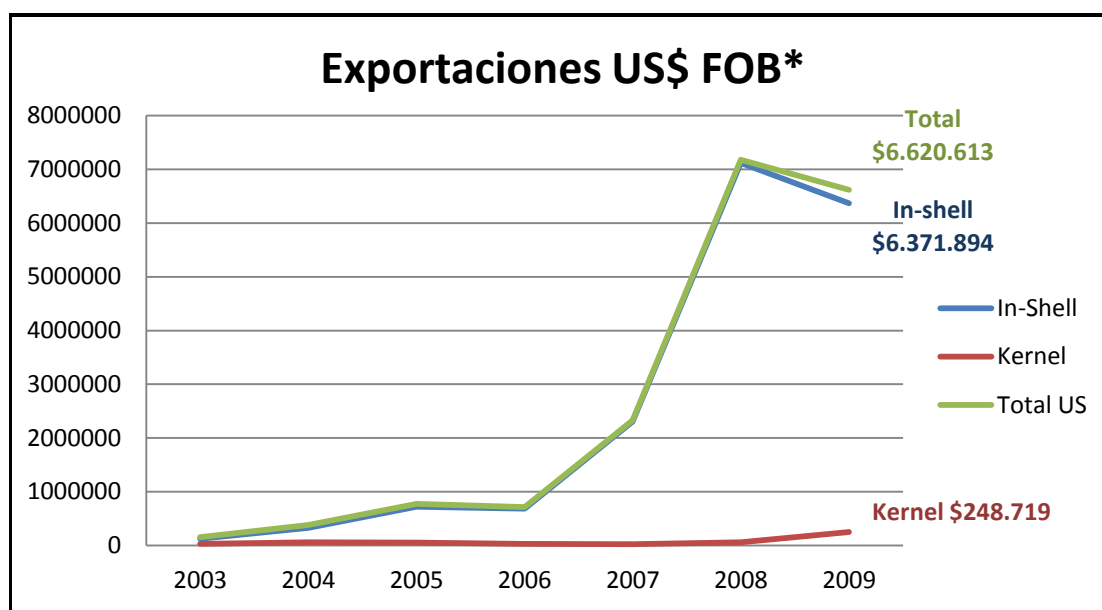


Figura 2b. US\$ FOB de exportaciones de avellanas europeas entre 2003-2009.

Fuente: Elaboración propia, en base a información de Cruzat (2010).

*US\$ FOB: Abreviatura empleada en el comercio de uso universal y que significa que la mercancía es puesta a bordo por el expedidor, libre de todo gasto, siendo de cuenta del destinatario los fletes, aduanas, etc.

El crecimiento exponencial de la producción de avellano europeo en los últimos años es debido a la entrada en producción comercial de los primeros huertos comerciales establecidos en el país entre 2003 y 2006. La exportación en kilogramos de avellanas europeas a partir del 2006 se elevó para permanecer en constante crecimiento, debido a que la mayoría de los huertos comerciales tienen un fin exportador, principalmente frutos tipo in-shell.

Las exportaciones en US\$FOB estrechamente ligadas a los kilogramos producidos han tenido un crecimiento exponencial, a un promedio de 0,601 US\$FOB/Kg de avellanas europeas.

2.1.4 Principales problemas fitosanitarios del avellano europeo.

Según Grau (2003), Chile se encuentra libre de la mayoría de las plagas y enfermedades que afectan a ésta especie en sus principales países productores. A continuación se presenta una revisión de plagas y enfermedades presentes en el avellano europeo.

2.1.4.1 Bacterias.

La especie *Xanthomonas campestris* (Dowson, 1939), afecta principalmente árboles jóvenes, y en particular plantas débiles. Los daños se presentan fundamentalmente en brotes apicales nuevos y cuando el ataque es severo, en la corteza de los árboles. Las plantas que son atacadas pueden presentar un retroceso en su desarrollo afectando la entrada en producción de inflorescencias masculinas. Esto implica retraso en la productividad del huerto por falta de polen (Ellena, 2010).

Xanthomonas arboricola pv. *corylina* (Vauterin *et al.*, 1995) conocida como Tizón bacteriano, afecta yemas, hojas, tallos, ramas y ocasionalmente ataca la nuez. Se caracteriza por producir atizonamiento de hojas y yemas, brotación desuniforme, hojas con manchas pequeñas, acuosas, de color verde amarillento y posteriormente color café rojizo, con forma y tamaño variable, canchales especialmente en torno a las yemas afectadas, pudiendo extenderse hasta circundar ramas y ramillas ocasionando clorosis y caída de hojas. Sobre el involucro (cubierta del futo formado por un verticilo de brácteas) y cáscara de la nuez (Fig. 3), provoca manchas café oscuro a negro, rodeadas por una zona acuosa en lesiones nuevas y levemente hendididas en lesiones anteriores (Aguilera *et al.*, 2011).



Figura 3. Tizón bacteriano en frutos de avellano europeo.

Fuente: Scortichini (2004).

2.1.4.2 Hongos.

Las especies *Armillaria mellea* (P.Karst., 1881), y *Rosellinia necatrix* (Berlex Prill., 1904), se manifiestan en zonas muertas en la corteza de la raíz, donde, alrededor se observan estructuras de los hongos en forma de hilos negros. Los avellanos enfermos presentan hojas con un tono amarillento y brotes desecándose a lo largo de la rama. *R. necatrix* produce en hojas y ramas del árbol idénticos síntomas a los ocasionados por *A. mellea*, sin embargo, solo éste último produce rizomorfos (Grau, 2003).

2.1.4.3 Virus.

El virus del mosaico de la manzana (*ApMV*) es una enfermedad común del avellano en plantaciones comerciales de EE.UU. y Europa. Sin embargo, su detección ha sido poco frecuente en Chile (Aguilera *et al.*, 2011).

2.1.4.4 Insectos.

Dentro de este grupo, los curculiónidos son considerados los agentes con mayor incidencia negativa en avellanos europeos. Esto se debe a la frecuencia con que se encuentran en huertos y sobre todo por el hábito de vida del estado larvario, destacándose la presencia de *Aegorhinus superciliosus* y *Aegorhinus nodipennis* (Aguilera, 2005). Tanto adultos como larvas de *A. nodipennis* y *A. superciliosus* son consideradas especies simpátridas y sincrónicas debido a que suelen encontrarse en el mismo hospedero y al mismo tiempo (Aguilera *et al.*, 2011).

En Tabla 2 se enlista los principales insectos asociados al avellano europeo en nuestro país.

2.2 *Aegorhinus nodipennis* (Hope, 1834).

2.2.1 Posición sistemática: *A. nodipennis*.

Según Artigas (1994), la especie *A. nodipennis* pertenece al orden Coleoptera, familia Curculionidae y género *Aegorhinus* (Tabla 3).

2.2.2 Distribución geográfica de *A. nodipennis*.

Klein & Waterhouse (2000), lo sitúan desde la Región de Valparaíso hasta la Región de La Araucanía. Por otra parte, Aguilera (2005) informó que esta especie se distribuye en nuestro país desde la Región del Biobío hasta la Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. Éste autor también lo cita en las localidades argentinas de Neuquén y Río Negro.

Tabla 2. Insectos plaga asociado al avellano europeo en Chile.

Orden Hemiptera

Nombre vulgar	Nombre científico	Familia
Pulgón del avellano	<i>Myzocallis coryli</i> (Goeze)	Aphididae
Chinche parda de los frutales	<i>Leptoglossus chilensis</i> (Spinola)	Coreidae
Chicharra grande común	<i>Tettigades chilensis</i> (Amyot & Serville)	Cicadidae
Chinche verde del campo	<i>Nezara viridula</i> (Lineus)	Pentatomidae
Conchuela negra del olivo	<i>Saissetia oleae</i> (Olivier)	Coccidae
Conchuela café del duraznero	<i>Parthenolecanium persicae</i> (Fabricius)	Coccidae

Orden Lepidoptera

Nombre vulgar	Nombre científico	Familia
Cuncuna de los penachos	<i>Orgyia antiqua</i> (Lineus)	Lymantriidae
Cuncuna de los pinos	<i>Ormiscodes cinnamomea</i> (Feisth)	Saturniidae
Cuncuna peluda del pimienta	<i>Macromphalia ancilla</i> (Philippi)	Lasiocampidae
Cuncuna verde espinuda	<i>Adetomeris erytrops</i> (Blanchard)	Saturniidae
Bicho del cesto	<i>Thanatopsyche chilensis</i> (Philippi)	Psychidae

Orden Coleoptera

Nombre vulgar	Nombre científico	Familia
Sierra de sur	<i>Callisphyris macropus</i> (Newman)	Cerambycidae
Cabrito del maitén	<i>Aegorhinus superciliosus</i> (Guérin)	Curculionidae
Cabrito del avellano	<i>Aegorhinus nodipennis</i> (Hope)	Curculionidae
Burrito del poroto	<i>Graphognathus leucoloma</i> (Boheman)	Curculionidae
Burrito espinoso	<i>Hybreoleptos tuberculifer</i> (Boheman)	Curculionidae
Burrito de la vid	<i>Naupactus xantographus</i> (Germar)	Curculionidae
Capachito de los frutales	<i>Asynonychus cervinus</i> (Boheman)	Curculionidae
San Juan verde	<i>Hylamorphia elegans</i> (Burmeister)	Scarabaeidae
Pololo verde grande	<i>Brachysternus prasinus</i> (Guérin-Ménéville)	Scarabaeidae
Pololo grande café	<i>Aulacopalpus</i> sp.	Scarabaeidae
Pololo de patas largas	<i>Sericoides</i> sp.	Scarabaeidae

Fuente: Aguilera *et al.* (2011).

Tabla 3. Posición sistemática de *A. nodipennis*

Reino	Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Especie
Animalia						
	Arthropoda					
		Insecta				
			Coleoptera			
				Curculionidae		
					<i>Aegorhinus</i>	
						<i>nodipennis</i>

2.2.3 Descripción morfológica de *A. nodipennis*.

2.2.3.1 Estados inmaduros.

Los huevos son de tonalidades blancas amarillentas, algo ovalados de 140 mm de longitud y 100 mm de ancho (Fig. 4). La larva es blanca, pilosa, con cabeza color café, de 0,25 cm a 0,28 cm de largo recién emergida. Plenamente desarrollada mide 2 cm de largo y 0,06 cm de ancho. Pupa exarata, similar a la de *A. superciliosus* (Aguilera *et al.*, 2011).



Figura 4. Huevos de *A. nodipennis*.

2.2.3.2 Adulto de *A. nodipennis*.

Los adultos de *A. nodipennis* (Fig. 5) tienen el cuerpo alargado con medidas que oscilan entre 1,80 cm de largo por 0,60 cm de ancho; de color negro mate, cuerpo rectangular, con escamas blancas en los costados a la altura del primer par de patas, las cuales son largas del tipo caminadoras. Presentan manchas escamosas blancas o azul violeta en la parte apical de los fémures (Aguilera *et al.*, 2011).



Figura 5. Adulto *A. nodipennis*.

2.2.4 Principales hospederos de *A. nodipennis*.

A. nodipennis entre otros insectos, es un elemento habitual en la selva valdiviana. El género *Aegorhinus* constituye un caso definido de endemismo de la zona sur del Maule y centro sur (Solervicens & Elgueta, 1994). En Tabla 4 se detalla los principales hospederos informados para *A. nodipennis*.

2.2.5 Daño causado por *A. nodipennis*.

Según Aguilera (2005), durante la primavera los insectos adultos emergen del suelo y trepan a su hospedero para alimentarse preferentemente de las ramillas del año. Consumen corteza verde, provocando un anillado que produce quiebre de ramillas, lo cual es favorecido con los vientos estivales. Los hospederos atacados subterráneamente por larvas presentan galerías en la raíz principal y cuello. En consecuencia, durante el verano se produce amarillamiento de hojas y una defoliación temprana en el extremo de sus ramas. La pupación se produce en cámaras interiores rodeadas de aserrín, construidas en el interior del leño, bajo el cuello del hospedero.

Tabla 4. Principales hospederos de *A. nodipennis* en la Región de La Araucanía.

Nativos		
Nombre vulgar	Nombre científico	Familia
Coigüe	<i>Nothofagus dombeyi</i> O.	Nothofagaceae
Lenga	<i>Nothofagus pumilio</i> K.	Nothofagaceae
Roble	<i>Nothofagus obliqua</i> O.	Nothofagaceae
Canelo	<i>Drimys winteri</i> J.R.	Winteraceae
Exóticos		
Nombre vulgar	Nombre científico	Familia
Almendro	<i>Prunus dulcis</i> W.	Rosaceae
Frambueso	<i>Rubus ideaus</i> L.	Rosaceae
Arándano	<i>Vaccinium corymbosum</i> L.	Ericaceae
Abedul	<i>Betula pendula</i> L.	Betulaceae
Avellano europeo	<i>Corylus avellana</i> L.	Betulaceae

Fuente: Klein & Waterhouse (2000); Aguilera (2005).

2.2.6 Control de *A. nodipennis*.

No existen referencias bibliográficas que señalen métodos de control para este insecto, sin embargo, debido a sus similitudes con *A. superciliosus*, se utiliza diferentes estrategias insertas dentro de un Manejo Integrado de Plagas (MIP).

Los métodos de control han sido dirigidos inicialmente al estado de larva con resultados poco satisfactorios debido al hábito subterráneo que presenta. Por este motivo, actualmente el control está orientado hacia el adulto, estado sobre el cual se están investigando alternativas que puedan regular eficazmente las poblaciones de este insecto (Aguilera *et al.*, 2011).

2.2.6.1 Control químico.

Carrillo (1993), recomienda la utilización de insecticidas de la familia de los carbamatos como es el caso de carbofuran. Sin embargo, estos productos presentan un periodo de carencia mínimo de 30 días, siendo esta condición una limitante según el manejo que se requiera para las diversas especies frutales.

Existen productos organofosforados tales como asinfosetil y asinfosmetil, que en dosis de 280 cc y 300 g de ingrediente activo respectivamente, logran controlar las poblaciones adultos, sin embargo estos presentan un largo efecto residual (Aguilera, 1995). Otro producto alternativo es diazinon (organofosforado) que en dosis de 520 g controla adultos en follaje (Guerrero & Aguilera, 1989).

2.2.6.2 Control físico-mecánico.

Este método consiste en la colecta manual y periódica de los insectos en estado adulto y posterior incineración de estos (Aguilera, 1995).

2.2.6.3 Control cultural.

Este método se realiza en forma preventiva, evitando la infestación de la plantación, con el uso de barreras físicas para evitar la entrada de individuos al huerto (Aguilera, 1995). Para ello se

recomienda preparar bien el suelo a plantar, complementar con la aplicación de insecticida, si corresponde (Carrillo, 1993).

2.2.6.4 Control natural.

No hay registros de enemigos naturales entomófagos asociados a *A. nodipennis* (Aguilera *et al.*, 2011).

2.2.6.5 Uso de semioquímicos en manejo de plagas.

El término semioquímico proviene del griego “*semeon*” que significa marca o señal, asumiendo que el compuesto químico es emitido con un propósito definido hacia el receptor, con lo que se generaría una verdadera comunicación química (Dicke & Sabelis, 1988).

Las sustancias semioquímicas que intervienen en interacciones dentro de una misma especie reciben el nombre de feromonas (Karlson & Lüscher, 1959). Por otra parte, las sustancias semioquímicas cuya emisión es significativa para un organismo de una especie diferente a la emisora se denominan aleloquímicos (Whittaker, 1970).

Según Nordlung & Lewis (1976), los aleloquímicos se agrupan en cuatro categorías: alomonas, kairomonas, sinomonas, apneuronas. La clasificación se ha restringido a las tres primeras. La categoría apneurona no se ha utilizado desde que fue propuesta, posiblemente porque es difícil distinguir apneuronas producidas por microorganismos en la materia no viviente (Dicke & Sabelis, 1988). Las alomonas son sustancias producidas o adquiridas por un organismo, que en un contexto natural y en contacto con un individuo de otra especie producen en el receptor una reacción de comportamiento o fisiológica favorable al emisor. Las kairomonas son compuestos que, en contacto con individuos de otra especie, producen en el receptor una respuesta favorable a este último. Las sinomonas producen una respuesta adaptativa favorable, tanto para el emisor como para el receptor (Nordlung, 1981).

Para las estrategias de control de plagas se puede utilizar el comportamiento instintivo de los propios insectos para la manipulación y regulación de sus poblaciones (Metcalf & Luckmann, 1982).

Las kairomonas pueden utilizarse en un MIP como atrayentes de alimentación o de oviposición de parasitoides, tanto para monitorear sus poblaciones como para atraerlos hacia aquellos sitios donde su presencia favorezca el control biológico de una plaga (Hall & Menn, 1999).

La identificación química de las kairomonas vegetales que atraen a insectos plaga puede ser aprovechada para obtener, mediante mejoramiento genético convencional o ingeniería genética, plantas con bajos niveles de estos compuestos, y en consecuencia, con menor atractivo a la plaga (Hall & Menn, 1999). En efecto, como alternativa a la utilización de insecticidas sintéticos se han desarrollado productos constituidos por microorganismos entomopatógenos, semioquímicos y otras alternativas de manejo de plagas correspondiendo estos productos a insecticidas llamados de tercera generación (Baptista, 2003; Fuentes, 2003). El uso de semioquímicos es una forma indirecta de manejar a los insectos plaga ya sea al atraer a los depredadores naturales de éstos o al actuar de forma de repelente (Tooker *et al.*, 2002).

2.2.7 Importancia económica de *A. nodipennis*.

A. nodipennis, *A. superciliosus* y *M. coryli*, constituyen los principales problemas entomológicos del avellano europeo en la zona sur (Aguilera, 1995).

Aguilera (2005), menciona como plagas subterráneas importantes en avellano europeo a las especies de curculiónidos *A. superciliosus* y *A. nodipennis*.

A. nodipennis es considerado un insecto peligroso, por lo que se sugiere las mismas precauciones y acciones de control que para *A. superciliosus* (Aguilera *et al.*, 2011).

2.3 Fitoquímica de *Corylus avellana*.

Existen pocos estudios sobre la fitoquímica de avellano europeo. Santino *et al.* (2003) menciona la biosíntesis de ácido linoleico y ácido linolénico como compuestos que dan origen volátiles de hojas verdes (green leaf volátiles= GLV) de avellano europeo. También Amaral *et al.* (2005) reportaron que los principales compuestos fenólicos en extractos de hojas, correspondieron a ácido 5-cafeoilquímico, miricetina-3-ramnosa, quercentina-3-ramnosa y kanferol-3-ramnosa.

Oliveira *et al.* (2007) analizaron muestras acuosas de hojas de avellano europeo por medio de cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) acoplado a un detector de arreglo diodo (DAD). Diversos

ácidos hidrocínicos y derivados fenólicos fueron detectados. Entre ellos se encuentran: ácido 3, 4, 5-cafeoilquínico, ácido cafetil-tartárico, ácido *p*-cumaril-tartárico, miricetina-ramnosa, quercentina-3-ramnosa y kanferol-3-ramnosa. Además se obtuvieron ácido *p*-cumárico y derivados de miricetina (3) y quercentina (1).

2.3.1 Compuestos volátiles presentes en plantas.

Entre las sustancias químicas que median las relaciones bióticas, los metabolitos secundarios desempeñan un papel significativo. En las dos últimas décadas ha surgido interés por metabolitos secundarios volátiles debido a sus propiedades como atrayentes de polinizadores y como señales para ubicar fuentes de alimento y anidación (Knudsen *et al.*, 1993). Estos volátiles están altamente involucrados en las interacciones planta-herbívoro y planta-planta. Se ha demostrado la utilidad de metabolitos secundarios volátiles en la defensa, protección y comunicación de las plantas (Marín & Céspedes, 2007)

Los terpenos son los compuestos volátiles más relevantes, seguidos de los derivados de ácidos grasos (hidrocarburos saturados e insaturados), bencenoides y fenilpropanoides (Dudareva *et al.*, 2004).

La emisión de estos compuestos resulta de la difusión de los volátiles a través de un gradiente de presión de vapor, desde los compartimientos celulares de la planta, donde hay relativamente altas concentraciones, hacia el aire que rodea la hoja donde la concentración es relativamente baja (Peñuelas & Llusià, 2003).

Los compuestos volátiles juegan un papel preponderante en el ciclo de vida de las plantas al transmitir y proporcionar información con el ambiente que las rodea; poseen propiedades tan diversas que generan redes interactivas muy complejas con implicaciones ecológicas, fisiológicas y atmosféricas (Peñuelas & Llusià, 2001).

Los insectos tienen la capacidad de discernir entre la planta hospedera y las no hospederas. La selección de un hospedero involucra escoger una planta dentro de un grupo de especies, apropiada para alimentarse de ella, sobrevivir y desarrollarse. Los insectos hacen uso de una gran variedad de modalidades sensoriales entre las que se encuentran señales visuales, olfatorias y gustativas, las que les permiten orientarse y encontrar hospederos apropiados (Marín & Céspedes, 2007).

Existen diversas teorías acerca de la localización de hospederos mediante la utilización de compuestos volátiles. Una de las que tiene mayor aceptación indica que la localización se da por el

reconocimiento de mezclas de compuestos en diferentes proporciones, más que por el reconocimiento de un compuesto específico (Bruce *et al.*, 2005).

Los compuestos volátiles están presentes como mezclas en las plantas y se supone que estas mezclas pueden atraer y/o repeler a insectos fitófagos con mayor eficacia que un compuesto en particular. Las razones para estos supuestos son: 1) los efectos sinérgicos y aditivos que pueden ocurrir en estas mezclas y 2) que estas mezclas funcionan de una forma análoga (Espinosa-García, 2001).

2.3.2 Metabolitos secundarios no volátiles.

Parte de la respuesta contra el daño que ocasiona el ataque de herbívoros y patógenos en las plantas superiores, es la síntesis y acumulación de metabolitos secundarios (MS). Estos provienen de las rutas de metabolismo primario como la glucólisis y el ciclo de Krebs, sin embargo no parecen tener una función directa en procesos fotosintéticos, respiratorios, asimilación de nutrientes, transporte de solutos o síntesis de proteínas, carbohidratos o lípidos. Estos metabolitos tienen funciones ecológicas específicas como atrayentes o repelentes de animales, muchos son pigmentos que proporcionan color a flores y frutos, jugando un papel esencial en la reproducción atrayendo insectos polinizadores, o atrayendo animales que van a utilizar los frutos como fuente de alimento, contribuyendo de esta forma a la dispersión de semillas. La herida que se produce por la depredación por insectos como por el daño mecánico indicado por factores físicos, son condiciones que se traducen en una respuesta de defensa de la planta, la cual provoca la activación de la biosíntesis de MS, ésta también depende de la etapa de desarrollo de la planta y sus niveles constitutivos sólo se incrementan como parte de la respuesta al estrés biótico o abiótico. Su biosíntesis y almacenamiento ocurre en diferentes lugares de la planta e incluso de la misma célula vegetal (Sepúlveda *et al.*, 2003, Pérez-Urria & Avalos, 2009).

Los MS más extensamente estudiados corresponden a: 1) Terpenoides, como el poligodial proveniente de *Polygonum hydropiper* L. el cual inhibe fuertemente la alimentación de diversos insectos herbívoros. Otro ejemplo es la cucurbitacina de las raíces del pepino (*Cucumis sativus* L.), la cual presenta acción nematocida, 2) Alcaloides tales como, berberina, palmatina y sanginaria, tóxicos a insectos y vertebrados. También destacar el efecto bactericida de alcaloides presentes en el lupino como por ejemplo, lupanina, angustifolina y 13-hidroxilupanina, y 3) Fenilpropanoides como, naringenina y kaempferol del arroz (*Oryza sativa* L.), inhiben el crecimiento de la bacteria *Xanthomonas oryzae* (Sepúlveda *et al.*, 2003).

2.4 Planteamiento del problema.

El insecto nativo *A. nodipennis* posee la capacidad de infestar avellano europeo en el centro sur de Chile, lo cual ha llevado a la utilización de diferentes métodos para su control.

El concepto de MIP se basa en el reconocimiento de que para el control de plagas no hay un solo enfoque que ofrezca una solución universal y que la mejor protección del cultivo se puede suministrar por medio de una fusión de varias tácticas y prácticas que tienen base en principios ecológicos sensatos (Dent, 1993).

El control químico es el de mayor uso entre los productores de avellano europeo, por ser el más cómodo y de fácil uso. Sin embargo, el control químico de este curculiónido en estado larvario es ineficaz y en estado adulto presenta problemas de persistencia en los frutos por su alto efecto residual y tóxico.

Frente a este escenario surge la alternativa del control etológico de plagas mediante la utilización de sustancias semioquímicas, que presentan como características, ser altamente inocuos al ambiente y elevada efectividad a bajas concentraciones. Sin embargo, para implementar este método de control, se requieren estudios que proporcionen una comprensión más acabada de los factores que median la localización y elección de hospedero por parte de *A. nodipennis*.

Las sustancias semioquímicas identificadas podrían conducir en el futuro al desarrollo de un método de control etológico contra *A. nodipennis*, inserto en estrategias de MIP.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Material vegetal.

Para el estudio, se utilizaron plantas de avellano europeo variedad Barcelona de 7 años de edad, ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, perteneciente a la Universidad de La Frontera, situado en el sector Boroa, comuna Freire, Región de La Araucanía.

3.2 Insectos.

Los adultos de *A. nodipennis* fueron colectados de forma manual entre enero y febrero de 2011 en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Carillanca, ubicado en la comuna de Vilcún, Región de La Araucanía. Posteriormente los insectos se trasladaron al Laboratorio de Ecología Química de la Universidad de La Frontera, donde fueron colocados en placas plásticas individuales (5 cm de diámetro X 2 cm de alto) y se mantuvieron en un tiempo de ayuno que vario entre 40 y 60 horas, antes de comenzar los bioensayos olfatométricos.

3.3 Determinación de la fluctuación poblacional de *A. nodipennis* en avellano europeo.

La captura de adultos *A. nodipennis* se realizó por medio de la búsqueda visual en la canopia del árbol, en un determinado tiempo usando métodos relativos de captura (Metcalf & Luckmann, 1982). Las capturas de *A. nodipennis* se realizaron durante enero-febrero de 2011, en el Campo Experimental Maquehue en un total de 17 árboles. Los insectos se registraron una vez por semana entre las 11:00 y 15:00 hrs.

3.4 Captura de volátiles de *Corylus avellana* L.

Para esta experiencia se utilizó una variación de la metodología descrita para el atrapamiento de volátiles en diferentes especies de *Nothofagus* (Quiroz *et al.*, 1999). El equipo de extracción (Fig. 6)

consistió en dos bolsas plásticas, situadas estratégicamente, una en la zona superior del árbol (ZS= 1,65 m del suelo aprox.) y la otra ubicada en la zona inferior del mismo (ZI= 50 cm del suelo aprox.) con el objetivo de determinar si existen diferencias entre los perfiles de volátiles de ambas zonas. Cada bolsa fue provista de una salida, las cuales se conectaron columnas de vidrio rellenas de Porapak Q, que actuó como matriz adsorbente de volátiles. Éstas columnas adsorbentes se conectaron en su parte superior a una línea de vacío que impulsó la entrada de aire con los compuestos volátiles hacia el interior de las columnas (Fig. 6A).

En las entradas de las bolsas plásticas se introdujeron tuberías de teflón (Fig. 6B₂), que permiten bombear aire hacia el interior. Ésta salida se selló con teflón con el objetivo de evitar la entrada de aire contaminado al sistema (Fig. 6B₁). Este sistema fue conectado a un sistema de bombas por un período de 24 horas (Fig. C), las cuales extrajeron el aire a una tasa de 550 ml/min e introdujeron aire limpio con un flujo de 550 ml/min.

Los extractos volátiles naturales atrapados se eluyeron desde el Porapak Q con hexano (1mL/columna) para su posterior análisis en un cromatógrafo de gases acoplado a un detector de masas (CG-DM). Para los ensayos olfatométricos, los volátiles fueron eluidos con hexano (1mL/columna).



Figura 6. Sistema de atrapamiento de volátiles. A) Sistema colectando volátiles de avellano europeo, B₁) sello de teflón, B₂) tubería teflón, C) Sistema de bombas.

3.5 Bioensayos olfatométricos con extractos volátiles de *C. avellana*.

La respuesta conductual de hembras de *A. nodipennis* fue evaluada probando el extracto natural de *C. avellana*. Para ello, se utilizó un olfatómetro adaptado del propuesto por Vet *et al.* (1983) (40 cm x 40 cm x 2,5 cm) (Fig. 7). Las olfatometrías se realizaron según la metodología descrita por Tapia *et al.* (2005), la cual consistió en la observación de los movimientos del insecto al interior de un espacio denominado arena. La arena de observación fue dividida en cinco secciones; una zona central cuadrada y cuatro zonas correspondientes a los brazos, dos de ellos conteniendo aire enriquecido con extracto

natural de *C. avellana* y los otros dos brazos con hexano como control. Las muestras se prepararon aplicando 25 μ L de extracto natural sobre un trozo de papel filtro Whatman N°1. Éste papel filtro se colocó en un tubo de vidrio (7 cm de longitud x 1,5 cm de d.i.) y luego se introdujo en el respectivo brazo del olfatómetro. El insecto fue depositado en el centro del olfatómetro en donde se generó un flujo de aire (800 mL/min) mediante el cual los estímulos a ensayar fueron conducidos hacia el interior del sistema. Se observó y registró constantemente la posición del insecto durante 20 minutos (N=19).

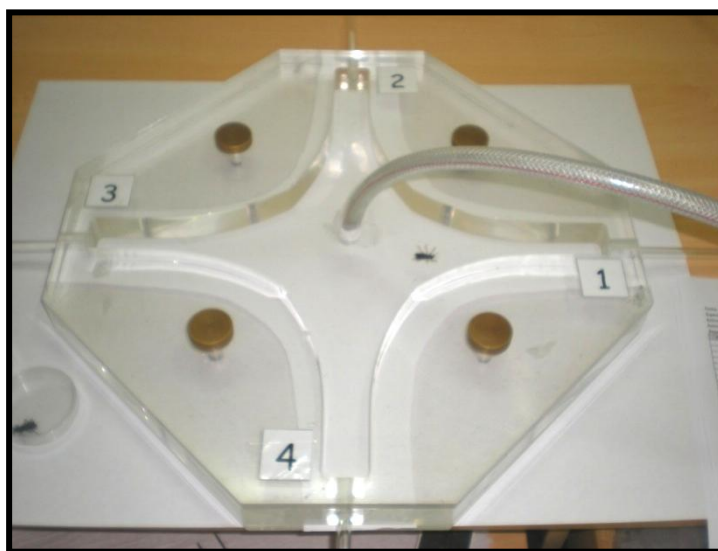


Figura 7. Olfatómetro de cuatro brazos adaptado de Vet *et al.* (1983). Zonas 1 y 3 contienen el aire con los volátiles de avellano europeo (estímulo), las zonas 2 y 4 contienen aire con hexano (control). La zona central del olfatómetro corresponde a la zona de decisión del insecto.

3.6 Identificación de compuestos volátiles de *C. avellana* por CG-DM.

Se inyectó 1 μ L de cada extracto de volátiles en un cromatógrafo de gases (Focus GC; Thermo Electron Corporation) acoplado a espectrómetro de masas (DSQ; Thermo Electron Corporation) provisto de una columna capilar apolar HP-1 Ultra (25m x 0,2mm x 0,33 μ m). La temperatura del inyector se fijó en 260°C y el cromatógrafo de gases se mantuvo a una temperatura de 40°C por 5 minutos (programado para subir 5°C/min). La temperatura del detector de masas se fijó en 260°C y la energía del haz de electrones en 70 eV. La identificación de los principales componentes de cada extracto se llevó a cabo mediante la búsqueda en una biblioteca de espectros de masas. Para ello se usó un algoritmo de

comparación con una técnica de búsqueda reversa que verifica las máximas principales de los compuestos de referencia que estén presentes en el espectro de masas problema (Tapia *et al.*, 2007).

3.7 Bioensayos olfatométricos con compuestos puros.

Los compuestos puros evaluados fueron: (Z)-3-hexenol, 4-etilbenzaldehído, 2-nonanona, linalol y eucaliptol debido a que: 1) existen reportes de su actividad biológica hacia diferentes insectos, 2) al menos uno está presente en el perfil de volátiles de *C. avellana* y 3) su disponibilidad en el Laboratorio de Ecología Química de la Universidad de La Frontera en el periodo de investigación de esta tesis. Para la actividad olfatométrica de *A. nodipennis* hacia compuestos en forma individual se utilizó un olfatómetro tipo Tubo-Y, según la metodología descrita por Gunawardena *et al.* (1998). Para ello, 50 µL de solución en concentraciones de 0,1 ppm, 1 ppm y 10 ppm fueron aplicados sobre papel filtro Whatman N°1, el que fue introducido en un tubo de vidrio (7 cm de longitud x 1,5 cm de d.i.) una vez evaporado el solvente y luego, insertado en uno de los brazos del Tubo-Y. Como control se utilizó hexano (Fig. 8). Un insecto fue introducido en la zona baja del Tubo-Y denominada “pierna”, y el sistema fue conectado a una trampa de vacío con un flujo de 800mL/min. Se definió como respuesta, la entrada del insecto a uno de los brazos del Tubo-Y, y como no respuesta, a la ausencia de elección a los 5 min de comenzado el bioensayo, con lo que el experimento fue descartado. Por cada insecto se utilizó un Tubo-Y distinto y la posición de estímulo y control fue alternada, para evitar sesgos de posición (Tooker *et al.*, 2005). Se utilizaron 30 insectos por cada concentración.

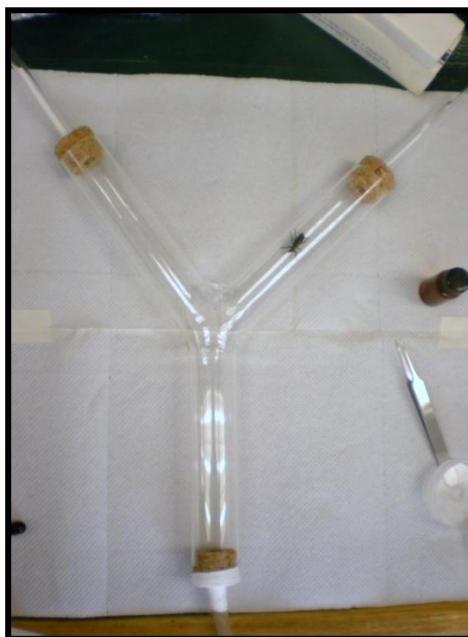


Figura 8. Olfatómetro tipo Tubo-Y.

3.8 Bioensayos olfatométricos con diferentes controles.

Con el objetivo de descartar cualquier interferencia en la elección del insecto hacia algunos de los brazos del olfactómetro, se evaluó la respuesta olfatométrica del insecto hacia dos controles correspondientes a hexano y aire mediante la metodología adaptada del propuesto por Vet *et al.* (1983) antes descrita. Se realizaron diez bioensayos y la respuesta de cada insecto fue registrada durante 20 minutos.

3.9 Análisis de datos.

Para evaluar la respuesta olfatométrica de *A. nodipennis* se compararon los tiempos de permanencia promedio del insecto en las tres zonas del olfactómetro, utilizando la prueba no-paramétricas de Friedman a un nivel de significancia de $P \leq 0,05$. Si fue necesario, la separación de grupo se llevó a cabo aplicando la prueba de Conover. En cuanto a la evaluación estadística de los compuestos puros y la distribución de la población de insectos, se usó la prueba de Chi-cuadrado (Conover, 1999).

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Fluctuación poblacional de *A. nodipennis* previa a captura de volátiles.

Al observar la figura 9 se aprecia que durante las dos primeras colectas (fines de enero) se obtuvieron las mayores capturas de *A. nodipennis* con 45 y 11 individuos respectivamente. Durante febrero, la población de este curculiónido disminuyó obteniéndose registros que no superaron los 10 insectos/muestreo. Similar situación fue reportada por Parra *et al.* (2009) quienes reportaron que la fluctuación poblacional de *A. superciliosus* decae durante el periodo estival, específicamente a fines de enero principio de febrero. En cuanto a la ubicación de los insectos en los arboles muestreados, hubo una preferencia por la zona superior la cual fue estadísticamente significativa con respecto a la zona inferior, según la prueba de Chi-cuadrado ($P= 0,000285$) (Fig. 10).

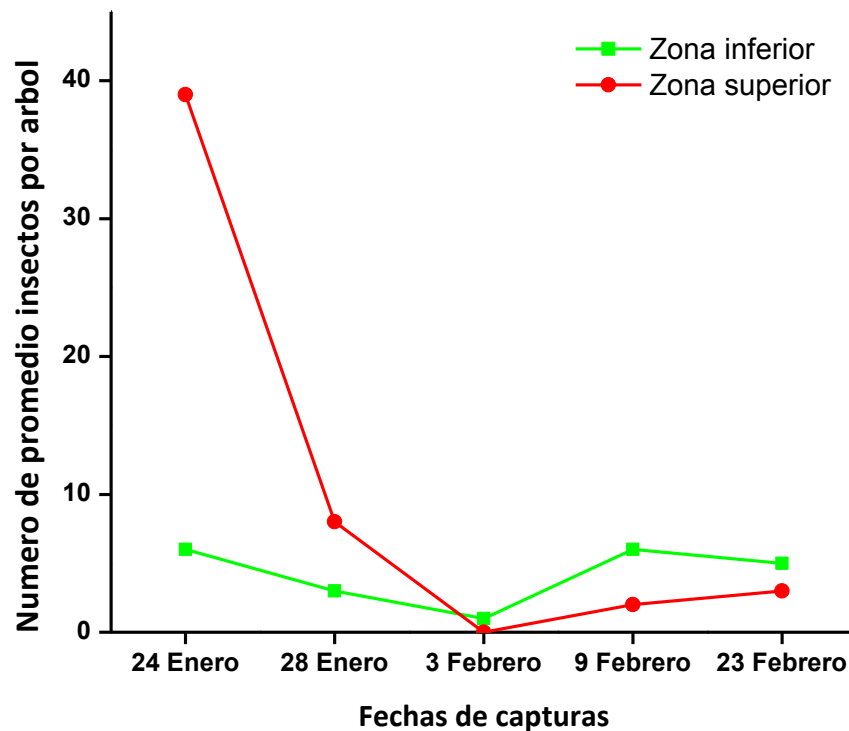


Figura 9. Fluctuación poblacional de *A. nodipennis* en *C. avellana* durante enero-febrero de 2011. Campo Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera.

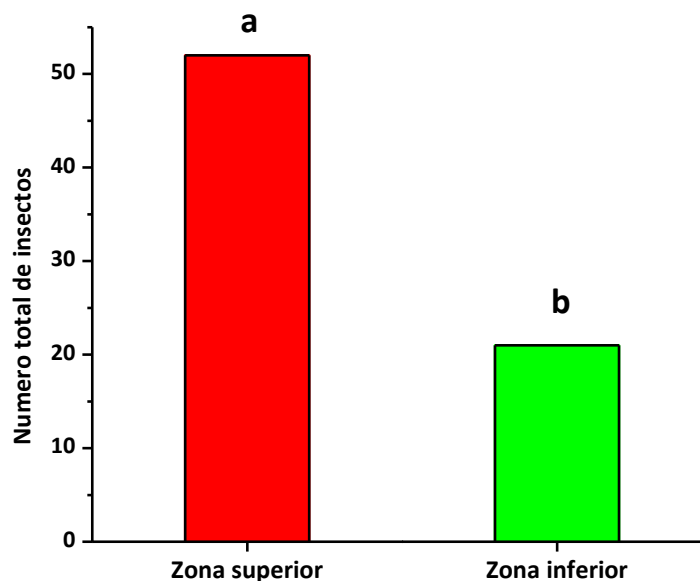


Figura 10. Distribución de *A. nodipennis* en diferentes zonas de *C. avellana* durante enero-febrero de 2011. Campo Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Letras diferentes indican diferencia estadística según prueba no paramétrica de Chi-cuadrado.

Visualmente fue posible constatar que existió daño en ramillas y hojas de avellano europeo provocado por el ataque de diversos insectos entre ellos, *A. nodipennis* y otros no identificados en este trabajo.

4.2 Identificación de compuestos volátiles emitidos por *C. avellana*.

Los volátiles obtenidos desde *C. avellana* (ZS y ZI) fueron analizados por cromatografía de gases acoplado a un detector de masa (GC-DM). Se identificaron 91 compuestos para *C. avellana* de los cuales 46 compuestos correspondieron a la ZS (48,42%) y 49 compuestos a la ZI (51,57%).

Los compuestos químicos identificados se pueden agrupar en los siguientes grupos: a) alquenos (4,12%), b) alcanos (29,90%), c) compuestos carbonílicos (18,56%), d) volátiles de hojas verdes (GLV) (7,22%), e) terpenos (14,43%), f) compuestos aromáticos (8,25%), g) halogenuros (3,09%), h)

hidroperóxidos (3,09%), i) alcoholes (3,09%), j) éteres (1,03%), k) fenoles (2,06%), l) aminas (2,06%) y m) ácidos carboxílicos (1,03%).

Los compuestos volátiles emitidos por una planta generalmente son mezclas complejas de muchos compuestos orgánicos que representan pequeñas cantidades respecto al peso total de la planta (Marín & Céspedes, 2007). Una vez que los compuestos volátiles son emitidos por una planta, cualquier organismo que los perciba puede verse afectado por ellos, o bien ser un potencial usuario de ésta información (Langenheim, 1994). En particular, la emisión de compuestos volátiles puede tener consecuencias desfavorables para la planta emisora. Los compuestos semioquímicos, y en particular las kairomonas, son una fuente de información clave utilizada por la mayor parte de insectos en su interacción reproductiva y con predadores, así como para localización de hospederos. Para que este modo de selección resulte eficaz, un insecto debería detectar los principales volátiles emitidos por sus hospederos así como, algunos compuestos secundarios. Por otro lado, también deberían percibir e interpretar las emisiones de especies no hospederas (Wadhams, 1992).

Dentro de los grupos químicos identificados en esta investigación destacan terpenos y GLV, debido a que son abundantes las citas bibliográficas en las que la actividad kairomonal se centra principalmente, aunque no en exclusiva, sobre estos grupos. Los GLV corresponden a compuestos volátiles de seis átomos de carbono, que están presentes a nivel de trazas en plantas no dañadas, pero se emiten en grandes cantidades al producirse daño por acción de algún herbívoro (Turlings *et al.*, 1995). Muchas plantas producen y emiten terpenoides en la mayor fracción de los compuestos orgánicos volátiles (Guenther *et al.*, 1995), por ejemplo monoterpenos almacenados en plantas constituyen defensas inducibles en ellas (Gershenzon & Croteau, 1993). En este sentido los trabajos de Van Beek & De Groot (1986), Morgan & Mandava (1990) y Byers (1995) constituyen claros ejemplos del papel que desempeñan los terpenos en la relación entre insectos y sus hospederos. A su vez Wadhams (1992), ilustra el rol desempeñado por los GLV, específicamente en la interacción de *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera: Chrysomelidae), *Mamestra brassicae* L. (Lepidoptera: Noctuidae) y *Otiorhynchus sulcatus* Fabricius (Coleoptera: Curculionidae) con sus hospederos.

Al comparar los volátiles de *C. avellana* en ambas zonas (ZS y ZI) se desprende que los alcanos conforman porcentualmente la mayor proporción (ZI=36%; ZS=23,40%), seguido de compuestos carbonílicos, (ZI= 20%; ZS= 17,02%), terpenos (ZI=14%; ZS= 14,89%) y GLV (ZI= 6%; ZS= 8,5%), (Fig. 11_a y 11_b). Si bien, las proporciones son similares en ambas zonas, existen diferencias en los compuestos identificados. En el caso de los terpenos se identificó en ZS: cardeno, α -pineno, neodihidrocarveol,

sabineno, β -pineno, β -bourboneno y escualeno. En ZI destacaron: α -pineno, camfeno, β -terpineno, β -pineno, limoneno, 3-careno y selinano (Anexo 1).

Respecto a los GLV identificados en la ZS se encuentran: 3-hexanol, 2-hexanol, acetato de (4E)-hexenilo y en la ZI: hexanal y 3-hexanol (Anexo 1).

Cuando una planta es atacada por un herbívoro, ésta libera volátiles (principalmente GLV) que están ligados con la defensa indirecta de las plantas debido a que atraen parasitoides o depredadores de los herbívoros que las están consumiendo (Rose *et al.*, 1996; Keesler & Baldwin, 2001). La presencia de un mayor número de GLV en la ZS, puede indicar que en esta zona existiría un mayor daño mecánico por parte de herbívoros. En efecto, en ésta investigación se constató que en la ZS del avellano europeo hubo una mayor presencia de *A. nodipennis* comparada con ZI (Fig.10).

También fue posible identificar compuestos aromáticos tales como: 4-etilbenzaldehído y 3,5-dimetilbenzaldehído en la ZS y 3-etilbenzaldehído, 4-etilbenzaldehído, 3,5-dimetilbenzaldehído y 4-(metilfenil)-piridina en la ZI.

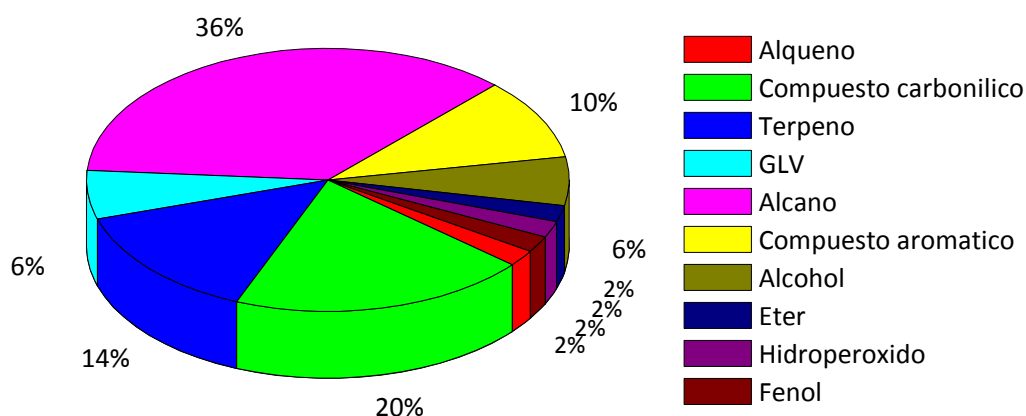


Figura 11a. Principales grupos químicos (%) identificados desde la zona inferior (ZI) de *C. avellana*.

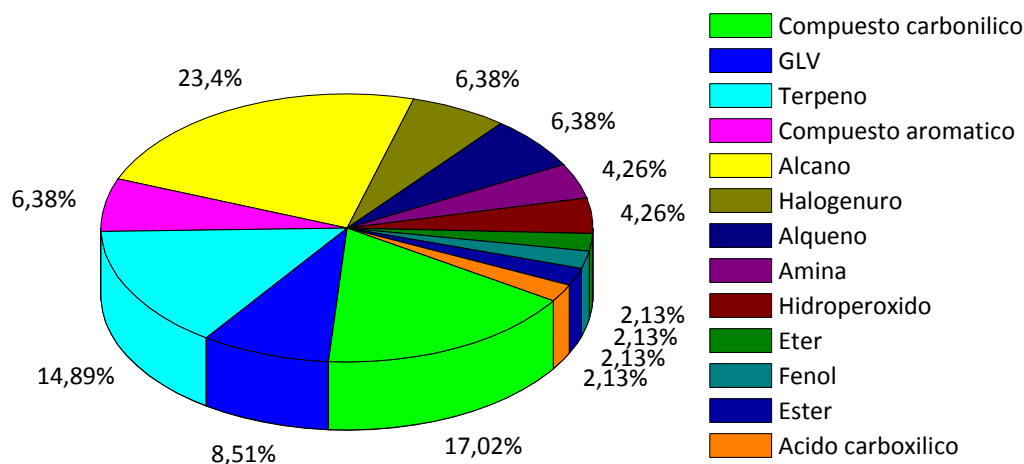


Figura 11_b. Principales grupos químicos (%) identificados desde la zona superior (ZS) de *C. avellana*.

La emisión de compuestos volátiles depende de factores internos (genéticos y bioquímicos) como externos (bióticos y abióticos) (Marín & Céspedes, 2007). En efecto, la mayor presencia de *A. nodipennis* en una determinada zona y la ubicación espacial de cada zona muestreada, permiten explicar la diferencia de los compuestos liberados e identificados desde un mismo individuo pero de zonas diferentes (ZS y ZI).

4.3 Respuesta olfatométrica de *A. nodipennis* hacia el extracto total de volátiles de *C. avellana*.

En el proceso de selección de la planta hospedera, los compuestos volátiles emitidos por plantas, ceras epicuticulares y constituyentes químicos internos tanto del mesófilo como del floema, desempeñan un papel importante (Fuentes-Contreras *et al.*, 2001).

Los resultados obtenidos en los bioensayos olfatométricos, muestran una preferencia significativa hacia el estímulo volátil emitido por *C. avellana*. Esta preferencia fue estadísticamente significativa ($P \leq 0,05$) al ser comparada con la zona de control y la zona de decisión (Fig. 12).

La preferencia de insectos hacia sus plantas hospederas, ha sido demostrado para coleópteros escolitidos de coníferas, *Ips typographus* L., *Ips duplicatus* S., *Tomicus piniperda* L. y *Tomicus minor* H. en relación con volátiles de corteza y hojas de *Betula pendula* L., *Betula pubescens* E. y *Populus tremula* L. (Zhang & Schlyter, 1999).

También se ha reportado que en la planta de algodón se han identificado terpenos tales como, pineno, limoneno, mirceno y ocimeno, comprobándose que estos compuestos actúan como señal química en la localización de hospedero para los insectos *Popillia japonica* Newman (Coleoptera: Scarabaeidae) y *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae) (Shahida-Perveen *et al.*, 2001). Este reporte coincide con los resultados de la presente tesis, debido a que también se identificaron los terpenos, α y β pineno y limoneno que constituyen parte del extracto natural de volátiles que fue atrayente a *A. nodipennis*.

En nuestro país, Parra *et al.* (2009) estudiaron la preferencia olfatométrica de *A. superciliosus* (Coleoptera: Curculionidae) hacia volátiles de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.). Este trabajo concluyó que el insecto mostró preferencia por el estado de cuaja de frutos y pinta, en donde los principales grupos químicos identificados correspondieron a terpenos, alcanos, compuestos carbonílicos, compuestos carboxílicos y GLV.

En cuanto a la identificación de algunos compuestos en la presente investigación, estos coinciden con los resultados reportados por Alasalvar *et al.* (2003) quienes identificaron grupos y compuestos químicos volátiles presentes en frutos descascarados de avellano europeo, como: α -pineno, 3-careno (terpenos), benzaldehído (compuestos aromático), y hexanal (aldehído).

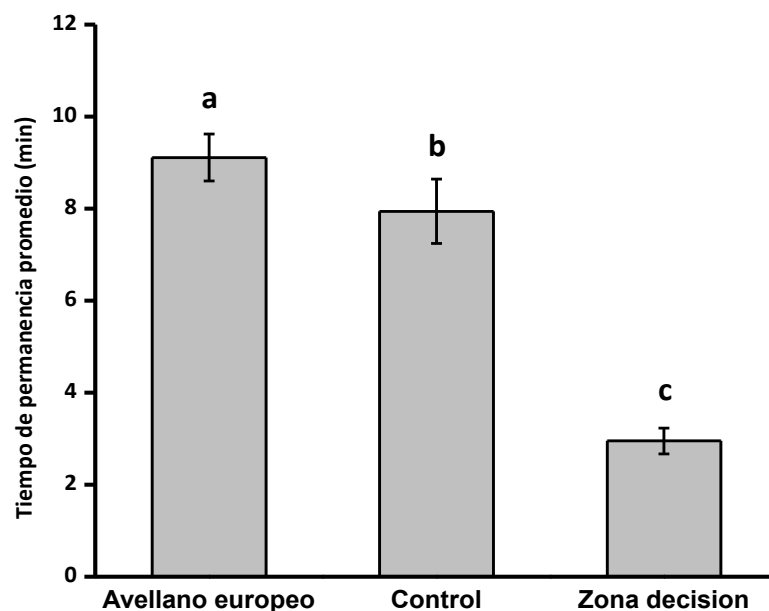


Figura 12. Respuesta olfatométrica de *A. nodipennis* hacia extractos volátiles de *C. avellana*. Líneas verticales sobre las barras indican error estándar. Letras diferentes indican diferencia significativa según la prueba no-paramétrica de Friedman ($P \leq 0,05$) (N=19).

4.3.1 Respuesta olfatométrica de *A. nodipennis* hacia el extracto de volátiles natural de *C. avellana* liberado en la zona superior de la planta.

Al observar la figura 13 se aprecia que no hubo diferencia estadísticamente significativa al comparar la respuesta de *A. nodipennis* hacia el extracto de la zona superior de la planta y el control ($P \geq 0,05$).

La no elección hacia la zona superior de *C. avellana* podría ser explicada debido a que se identificó un 8,5% de GLV. Estos son compuestos volátiles que forman parte de los mecanismos de defensa de las plantas los que pueden influir en las tasas de oviposición y depredación, tal como ocurre en el caso del tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) quien libera volátiles (GLV, entre otros) que resultan repelentes hacia las hembras de *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) evitando que depositen sus huevos en esta planta (Marín & Céspedes, 2007).

Los GLV generados por el daño en papa (*Solanum tuberosum* cv. Desiree) funcionan como defensa directa contra áfidos. Vancanneyt *et al.* (2001) demostró el impacto de los volátiles de papa sobre el desarrollo de *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). Estos áfidos fueron alimentados con plantas: 1) modificadas genéticamente (para limitar la emisión de GLV) y 2) plantas no modificadas. Los áfidos fueron significativamente más fecundos en las plantas modificadas que en las plantas no modificadas.

En base a los muestreos de población de *A. nodipennis* realizados en este trabajo se logró determinar que existió un mayor porcentaje de insectos en la zona superior de los árboles. (Fig. 10). *A. nodipennis* junto con otros insectos (no identificados en este trabajo) podrían haber realizado el daño que pudo provocar la mayor emisión de GLV en esta zona.

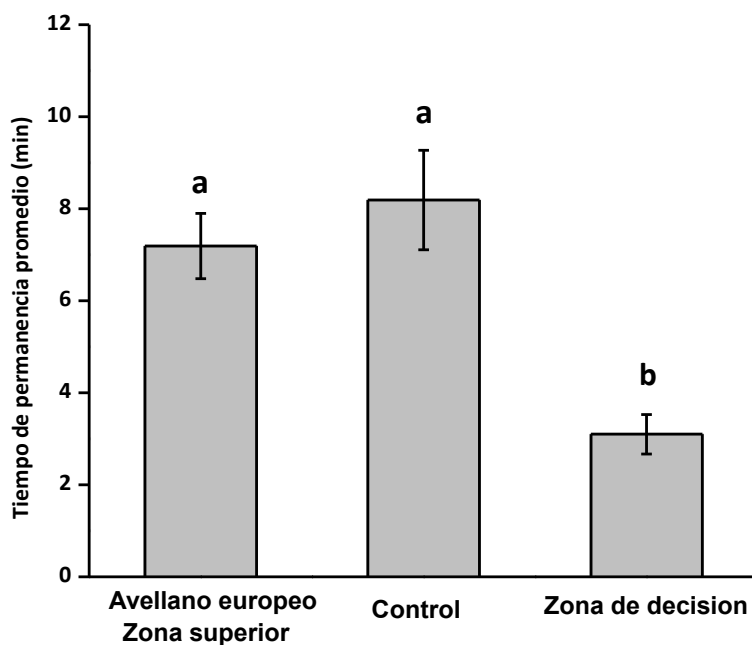


Figura 13. Respuesta olfatométrica de *A. nodipennis* hacia extractos volátiles de *C. avellana* liberados en la zona superior del árbol. Líneas verticales sobre las barras indican error estándar. Letras diferentes indican diferencia significativa según la prueba no-paramétrica de Friedman ($P \geq 0,05$) (N=9).

4.3.2 Respuesta olfatométrica de *A. nodipennis* hacia el extracto de volátiles natural de *C. avellana* liberado en la zona inferior de la planta.

Los resultados obtenidos en la evaluación (Fig. 14), muestran una mayor permanencia del insecto bajo el estímulo odorífico liberado por *C. avellana* en su ZI, la cual fue estadísticamente significativa ($P \leq 0,05$).

En esta zona fue posible identificar un 6% de GLV, cifra menor a la encontrada en la ZS. Como se mencionó anteriormente los GLV son responsables de un mecanismo de defensa de las plantas y al existir un menor porcentaje de GLV en esta zona, el éxito de la interacción de *A. nodipennis* con *C. avellana* es mayor.

Parra *et al.* (2009), identificaron en volátiles de arándano, la presencia de limoneno y 4-etilbenzaldehído. Al realizar el estudio del comportamiento de *A. superciliosus* hacia estos compuestos en forma individual, concluyeron que existe una atracción hacia ellos. Lo coincidente con el presente estudio es que estos compuestos se encuentran presentes en la ZI de *C. avellana*, no así en la ZS, lo cual podría explicar la atracción de *A. nodipennis* hacia este extracto.

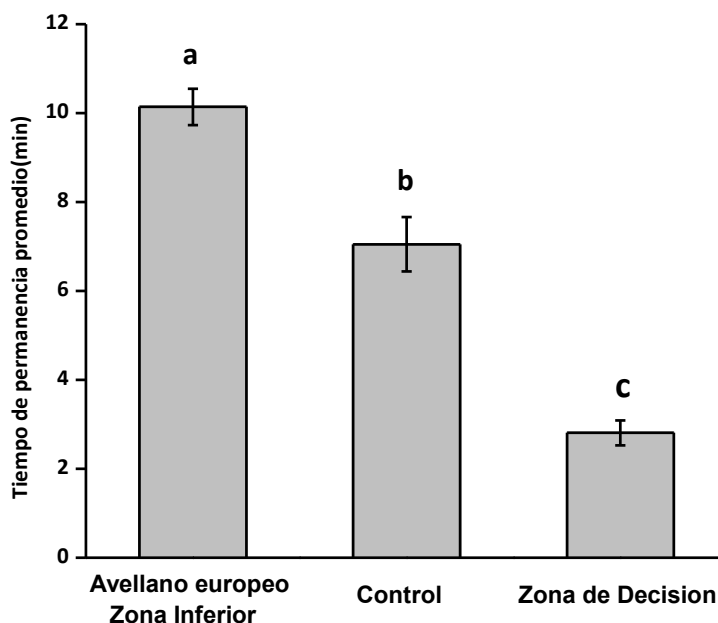


Figura 14. Respuesta olfatométrica de *A. nodipennis* hacia extractos volátiles de *C. avellana* liberados en la zona inferior del árbol. Letras diferentes indican diferencia significativa según la prueba no-paramétrica de Friedman ($P \leq 0,05$) ($N=10$).

4.3.3 Respuesta olfatométrica de *A. nodipennis* hacia compuestos puros.

Son varios los efectos que se han asociado en particular a terpenos. Entre ellos se encuentran: 1) defensiva contra patógenos y herbívoros, 2) información entre distintas zonas de una misma planta, entre plantas distintas y entre plantas y animales (en particular microorganismos) y 3) otras funciones como la estabilización y protección de las membranas celulares contra las altas temperaturas (Langenheim, 1994; Dudareva *et al.*, 2004).

La respuesta olfatométrica de *A. nodipennis* hacia compuestos puros se presentan en la figura 15. Según el análisis estadístico, se observó una preferencia olfatométrica significativa hacia los compuestos: 4-etilbenzaldehído, linalol y eucaliptol, en una de las tres concentraciones evaluadas.

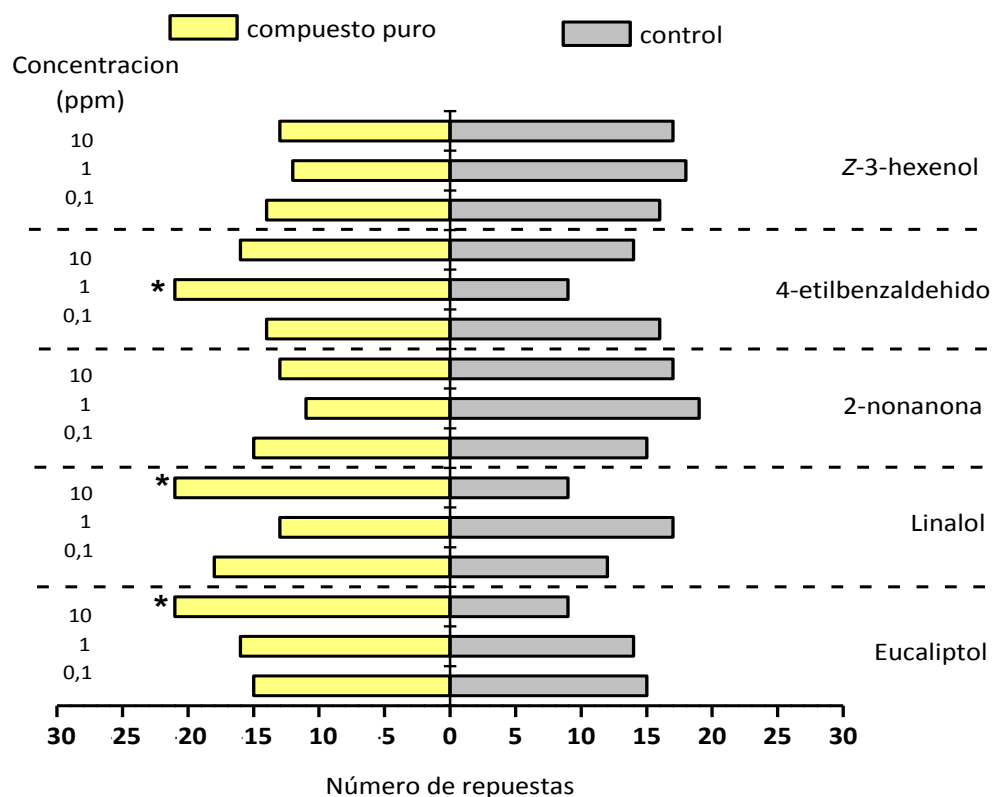


Figura 15. Respuesta de *A. nodipennis* frente a compuestos puros. Asteriscos indican diferencias significativas según la prueba estadística Chi-cuadrado ($P \leq 0,05$; $N=30$).

Todos los compuestos evaluados presentan antecedentes de actividad biológica en diversos insectos, así por ejemplo, Wakefield *et al.* (2005) reportaron que 2-nonanona fue atrayente hacia *Ahasverus advena* (Waltl) (Coleoptera: Cucujidae). El compuesto aromático 4-etilbenzaldehido identificado en el perfil de volátiles de *C. avellana* en esta investigación, también ha sido descrito como atrayente en *Sitophilus granarius* L. y *A. superciliosus* (Coleoptera: Curculionidae) (Collins *et al.*, 2007; Parra *et al.*, 2009). En cuanto a eucaliptol, este compuesto es responsable de la atracción del gorgojo *Cosmopolites sordidus* Germar a varios cultivares de banana y de la atracción de *A. superciliosus* hacia arándano (Ndiege *et al.*, 1996; Parra *et al.*, 2009), aunque también ha sido reportado como tóxico a *Sitophilus granarius* L. (Kordali *et al.*, 2006).

Ikeda *et al.* (1993) estudiaron la respuesta de *Anaglyptus subfasciatus* Pic y *Demonax transilis* Bates (Coleoptera: Cerambycidae) hacia 14 compuestos puros provenientes de diferentes géneros de flores, concluyendo que acetato de bencilo y linalol son los más estimulantes para las dos especies.

Si bien los compuestos linalol, eucaliptol, 2-nonanona y (Z)-3-hexenol, no fueron identificados en el perfil de volátiles de *C. avellana*, estos compuestos se han identificado y reportado en plantas como arándano y frambueso, en donde *A. nodipennis* ha sido reportado causando daño.

4.3.4 Respuesta olfatométrica de *A. nodipennis* hacia diferentes controles.

La respuesta olfatométrica de *A. nodipennis* hacia diferentes controles se muestra en la figura 16.

La no respuesta de *A. nodipennis* hacia el compuesto control utilizado (hexano) demuestra que no existe una interferencia de éste hacia la elección de preferencia en el olfatómetro.

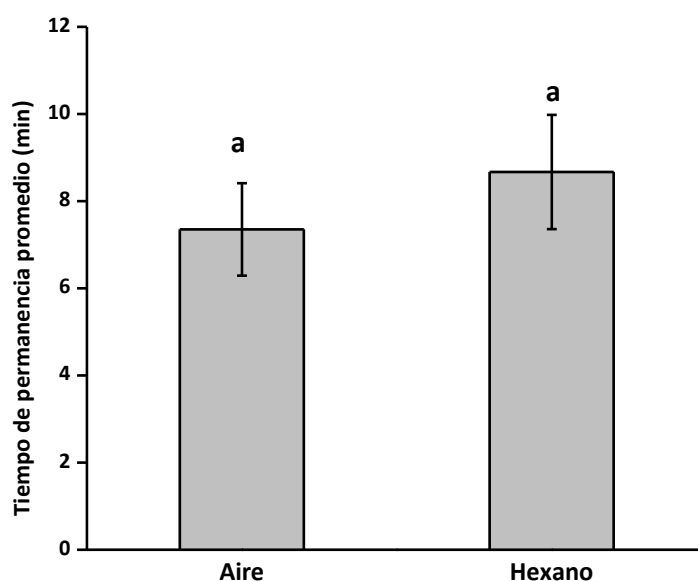


Figura 16. Respuesta olfatométrica de *A. nodipennis* hacia diferentes controles. Letras iguales indican ausencia de diferencia significativa según la prueba no-paramétrica de Friedman ($P=0,2365$) ($N=10$).

5. CONCLUSIONES

- El conjunto de volátiles emitidos por *Corylus avellana* elicito una conducta olfatométrica de atracción por parte de *Aegorhinus nodipennis*.
- Durante este estudio se logro determinar la conducta olfatométrica de *Aegorhinus nodipennis* hacia extractos volátiles emitido por *Corylus avellana* en diferentes zonas (inferior y superior), en donde el insecto mostro preferencia por la zona inferior de *Corylus avellana*.
- Los principales grupos químicos identificados en el extracto de volátiles de *Corylus avellana* correspondieron a terpenos, alcanos, compuestos carbonílicos y volátiles de hojas verdes (GLV).
- 4-etilbenzaldehido presente en el perfil de volátiles de *Corylus avellana* produjo una respuesta conductual de atracción sobre *Aegorhinus nodipennis*.
- Al evaluar los extractos volátiles, presentes en el perfil de volátiles de *Corylus avellana*, se pudo comprobar que resultaron ser efectivos en producir un efecto atrayente sobre *Aegorhinus nodipennis*, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada: "Los compuestos volátiles emitidos por la parte aérea de *Corylus avellana* generan una respuesta olfativa atrayente por parte de *Aegorhinus nodipennis*".

6. RESUMEN

Aegorhinus nodipennis es un insecto nativo del cono sur de América el cual se distribuye en Chile desde la Región de Valparaíso hasta la Región de Aysén. Sus hospederos son coigüe, roble, abedul además de otras especies exóticas. Durante la década del '90 se introdujeron al sur del país frutales exóticos con proyecciones comerciales, entre ellos *Corylus avellana*, frutal de nuez conocido como avellano europeo. La migración de *A. nodipennis* hacia *C. avellana* ha provocado daños en huertos comerciales, siendo una plaga de difícil control. Dentro de nuevas alternativas de control se encuentra el etológico, que se basa en la utilización de sustancias semioquímicas que alteran la conducta del insecto. Es así como, compuestos químicos presentes en diferentes órganos de la planta, juegan un rol fundamental en la atracción de insectos hacia sus plantas hospederas, de hecho, las plantas se han considerado como un campo apropiado para la búsqueda de semioquímicos con potencial uso para el control de plagas. El objetivo de este estudio fue identificar compuestos volátiles emitidos por la parte aérea de *C. avellana* que median la relación con *A. nodipennis*. Para ello, se colectaron volátiles desde la parte aérea del avellano europeo en diferentes zonas de la planta (superior e inferior), utilizando como matriz adsorbente Porapak-Q. Estos volátiles fueron analizados en un cromatógrafo de gases acoplado a un detector de masas (CG-DM). Se identificaron varios grupos químicos, incluyendo, compuestos carbonílicos, volátiles de hojas verdes (GLV), terpenos y alcanos. La respuesta olfatométrica de *A. nodipennis* hacia el extracto de olores provenientes de *C. avellana* fue estudiada en un olfatómetro de cuatro brazos, mientras que la actividad del insecto hacia cinco diferentes compuesto individuales, se evaluó en un olfatómetro tipo Tubo-Y. Se observó que, el extracto de volátiles provenientes del avellano europeo elicitaban una respuesta olfativa de atracción por parte de *A. nodipennis*, sin embargo al evaluar por separado zona superior e inferior, sólo en esta última se generó una respuesta significativa de atracción. Por otra parte 4-etilbenzaldehído, linalol y eucaliptol a diferentes concentraciones produjo una conducta de atracción por parte de *A. nodipennis*. Los resultados de ésta investigación sugieren que la conducta de localización del hospedero por *A. nodipennis* es mediada en parte por semioquímicos volátiles liberados por el avellano europeo.

7. SUMMARY

Aegorhinus nodipennis is a native insect of the southern Chile and Argentina which is distributed in our country from Región de Valparaíso to Región de Aysén. Their hosts are coigüe, oak, birch and other exotic species. During the 90's were introduced to southern exotic fruit trade projections, including *Corylus avellana*, fruit known as hazelnut. The migration of *A. nodipennis* toward *C. avellana* has caused damage in commercial orchards, being a pest difficult to control. Among the new control alternative is the ethological, based on the use of semiochemicals that alter the behavior of the insect. Thus, chemical compounds present in different plant organs, play a fundamental role in attracting insects to their host plants, in fact, plants have been considered as an appropriate field to search for semiochemicals with potential use for pest control. The aim of this study was to identify volatile compounds emitted by the aerial part of *C. avellana* that mediate the relationship with *A. nodipennis*. To do this, volatiles from the aerial part of the hazelnut in different parts of the plant (up and down) we collected, using Porapak-Q as adsorbent matrix. These volatiles were analyzed in a gas chromatograph coupled to a mass detector (GC-DM). We identified several chemical groups, including carbonyl compounds, green leaf volatiles (GLV), terpenes and alkanes. Olfactory response of *A. nodipennis* to extract volatiles from *C. avellana* was studied in a four-arm whole insect activity on five different individual compound was evaluated in an Y-Tube olfactometer. It was observed that the extract of volatiles from the hazelnut elicited an attraction response by *A. nodipennis*, however, when evaluated separately up and down zone, only the latter elicited an attraction response. In the other hands 4-ethyl-benzaldehyde, linalool and eucalyptol at different concentrations elicited an attraction behavior by *A. nodipennis*. The results of this investigation suggest that the host location behavior of is mediated in part by volatile semiochemicals released by the hazelnut.

8. LITERATURA CITADA

- Aguilera, A. 1995.** Control selectivo de plagas en frutales de la zona sur, pp. 141-180. *En* A. Aguilera, A. Andrade, J. Díaz, N. Espinoza, R. Galdames, & H. Norambuena (eds.). *Seminario de Protección Vegetal*. Instituto Nacional de Investigaciones Carillanca, Temuco, Chile.
- Aguilera, A. 2005.** Plagas subterráneas del avellano europeo. *Tierra Adentro* 62: 16-17.
- Aguilera, A., J. Guerrero, & R. Rebolledo. 2011.** Plagas y enfermedades del avellano europeo en La Araucanía, Chile, Ediciones Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.
- Alasalvar, C., F. Shahidi, & K. Cadwallader. 2003.** Comparison of natural and roasted turkish tombul hazelnut (*C. avellana* L.) volatiles and flavors by DHA/GC/MS and descriptive sensory analysis. *J. Agric. Food Chem.* 51: 5067-5072.
- Amaral, J. S., F. Ferreres, P.B. Andrade, P. Velentão, C. Pinheiro, A. Santos, & R. Seabra. 2005.** Phenolic profile of hanzelnut (*Corylus avellana* L.) leaves cultivars grown in Portugal. *Nat. Prod. Res.* 19: 157-163.
- Artigas, J. 1994.** Entomología Económica: insectos de interés agrícola, forestal, medico y veterinario (nativos, introducidos y susceptibles de ser introducidos). Eds. Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- Baptista, G. 2003.** Bases para el manejo de insecticidas, pp 17-28. *En* G. Silva & R. Hepp (eds). *Breve historia de los insecticidas*. TRAMA Impresores S.A. Chillan, Chile.
- Bruce, T. J. A., L. J. Wadhams, & C. M. Woodcock. 2005.** Insect host location: a volatile situation. *Trends Plant Sci.* 10: 269-274.
- Byers, J. 1995.** Host tree chemistry affecting colonization in bark beetles. pp. 154-213. *En* R. Carde & W. Bell. *Chemical Ecology of Insects*. Chapman and Hall, New York.
- Carrillo, R. 1993.** Plagas insectiles en arbustos frutales menores, pp. 63-86. *En* P. Barriga & M. Neira (eds.). *Cultivos no tradicionales*. Uniprint S. A., Valdivia, Chile.
- Carreño, D. 1996.** Frutos secos. *Chile Hortofrutícola* 7: 38-48.
- Collins, L. E., G. P. Bryning, M. E. Wakefield, J. Chambers, & P. D. Cox. 2007.** Progress towards a multi-species lure: Identification of components of food volatiles as attractants for three storage beetles. *J. Stored Prod. Res.* 43: 53-63.
- Conover, W. J. 1999.** Practical nonparametric statistic. John Wiley & Sons, INC., New York, USA.
- Cruzat, C. 2010.** Situación actual y perspectivas del cultivo del avellano europeo. CHILENUT, Santiago, Chile.

Dent, D. 1993. Integrated insect pest management. pp. 439-533. *En: Insect Pest management*. CAB International, Wallingford, UK.

Dicke, M., & M.W. Sabelis. 1988. Infochemical terminology: based on cost-benefit analysis rather than origin of compounds?. *Funct. Ecol.* 2: 131-139.

Dietz, F. J., F. van der Ploeg, & J. van der Straaten. 1991. Environment policy and the economy. Elsevier. 331 p.

Dudareva, N., E. Pichersky, & J. Gershenzon. 2004. Biochemistry of plant volatiles. *Plant Physiol.* 135: 1893-1902.

Ellena, M. 2010. Polinización y Manejo del Avellano Europeo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional Carillanca. Boletín INIA N° 202, 88 p.

Espinosa-García, F. J. 2001. La diversidad de los metabolitos secundarios y la teoría de la defensa vegetal, pp. 231-249. *En* A. L. Anaya, F. J. Espinosa-García, & R. Cruz-Ortega (eds.). *Relaciones químicas entre organismos: aspectos básicos y perspectivas de su aplicación*. Plaza y Valdés S.A., México.

FAOSTAT. 2008. Food and Agricultural commodities production. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Conectado el 1 de febrero de 2011.

Fuentes-Contreras, E., E. Gianoli, & A. Quiroz. 2001. Ecología Química de las relaciones entre áfidos y plantas, pp. 305-377. *En* A. L. Anaya, F. J. Espinosa-García, & R. Cruz-Ortega (eds.). *Relaciones químicas entre organismos: aspectos básicos y perspectivas de su aplicación*. Plaza y Valdés S.A., México.

Fuentes, E. 2003. Bases para el manejo de insecticidas, pp 293-307. *En* G. Silva & R. Hepp (eds). *Breve historia de los insecticidas*. TRAMA Impresores S.A. Chillan, Chile.

Gershenzon J., & R. Croteau. 1993. Terpenoid biosynthesis: the basic pathway and formation of monoterpenes, sesquiterpenes, and diterpenes. pp. 333-338. *En* T. Moore (ed). *Lipid metabolism in plant* CRC. Press, Boca Raton, Florida. USA.

Grau, P. 2003. Avellano europeo. Manual de plantación y manejo. Centro Regional de Investigación Quilamapu. Chillán, Chile. Boletín INIA N° 108. 83 p.

Grau, P. 2007. Resultados de últimas investigaciones en avellano europeo en Chile. Seminario Avances tecnológicos y experiencias en avellano europeo en el sur de Chile. Instituto Nacional Investigación Agropecuaria Carillanca, Temuco, Chile.

Guerrero, J., & A. Aguilera. 1989. Plagas y enfermedades en el arándano chileno. *Próxima Década* 76: 24-29.

Guenther A., N. Hewitt, D. Erickson, R. Fall, C. Geron, T. Graedel, P. Harley, L. Klinger, M. Lerdau, W. McKay, T. Pierce, B. Scholes, R. Steinbrecher, R. Tallamraju, R. Taylor, & P. A. Zimmerman. 1995. Global model of natural volatile organic compound emission. *J. Geophys. Res.* 100: 8873 – 8892.

- Gunawardena, N., F. Kern, E. Janssen, Ch. Meegoda, D. Schäfer, O. Vostrowsky, & H. Jürgen Bestmann. 1998.** Host attractants for red weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*: Identification, electrophysiological activity, and laboratory bioassay. J. Chem. Ecol. 24: 425-437.
- Hall, F. R., & J. J. Menn. 1999.** Biopesticides: Use and delivery. Human Press. New Jersey.
- Ikeda, T., E. Ohya, H. Makihara, T. Nakashima, A. Saitoh, K. Tate, & K. Kojima. 1993.** Olfactory responses of *Anaglyptus subfasciatus* Pic and *Demonax transilis* Bates (Coleoptera: Cerambycidae) to flower scents. J. Jpn. For. Soc. 75: 108-112.
- Karlson, P., & M. Lüscher. 1959.** Pheromones a new term for a class of biologically active substances. Nature 183: 155-156.
- Keesler A., & I. T. Baldwin. 2001.** Defensive function of herbivore-induced plant volatile emission in nature. Science 291: 2141-2144.
- Klein C., & D. F. Watherhouse. 2000.** Distribution and importance of arthropods associated with agriculture and forestry in Chile (Distribución e importancia de los artropodos asociados a la agricultura y silvicultura en Chile) ACIAR. Monograph N°68. 231 p.
- Knudsen J. T., L. Tollsten, & L. G. Bergstrom. 1993.** Floral scents – a checklist of volatile compounds isolated by head-space techniques. Phytochemistry 33:253-280.
- Kordali, S., I. Aslan, O. Calmasur, & A. Fakir. 2006.** Toxicity of essential oils isolated from three *Artemisa* species and some of the major components to granary weevil, *Sitophilus granaries* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). Ind. Crop & Prod. 23: 162-170.
- Langenheim, J. H. 1994.** Higher plant terpenoids: a phytocentric overview of their ecological roles. J. Chem. Ecol. 20: 1223-1280.
- Law, J. H., & F. E. Regnier. 1971.** Pheromones. Annual Rev. Biochem. 40: 533-548.
- Lemus, G. 2004.** El cultivo del avellano (*Corylus avellana*). Proyecto FIA N° C.96-I-1-025. Chile.
- Liburd, O. 2004.** Identification of host volatile compounds for monitoring blueberry argot fly. Small Fruits Review 3: 307-312.
- Mareggiani, G. 2001.** Manejo de insectos plaga mediante sustancias semioquímicas de origen vegetal. Manejo Integrado de Plagas 60: 22-30.
- Marín J., & C. Céspedes. 2007.** Compuestos volátiles de las plantas. Origen, emisión, efectos, análisis y aplicaciones al agro. Rev. Fitotec. Mex. 4: 327-351.
- Metcalf, R. L., & W. H. Luckmann. 1982.** Introduction to Insect Pest Management. John Wiley and Sons, New York, USA.

Morgan E. D. & N. B. Mandava. 1990. Insect Attractants and Repellents. CRC Handbook of Natural Pesticides. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, USA.

Ndiege, I. O., W. J. Budenberg, D. O. Otieno, & A. Hassanali. 1996. 1,8-cineole: an attractant for the banana weevil, *Cosmopolites sordidus*. Phytochemistry. 42:369-371.

Nordlung, D. A., & W. J. Lewis. 1976. Terminology of chemical releasing stimuli in intraspecific and interspecific interactions. J. Chem. Ecol. 2: 211-220.

Nordlung, D.A. 1981. Semiochemicals: a review of the 30 terminology. pp.13-28. En D. A. Nordlung, R.L. Jones, & W.J. Lewis (eds). *Semiochemicals: their role in pest controls*. John Wiley & Son, New York.

Oliveira, I., A. Sousa, P. Valentão, P. B. Andrade, I. Ferreira, F. Ferreres, A. Bento, R. Seabra., L. Estevinho, & J.A. Pereira. 2007. Hazel (*Corylus avellana* L.) leaves as source of antimicrobial and antioxidative compounds. Food Chem. 105: 1018-1025.

Parra, L., A. Mutis, R. Ceballos, M. Lizama, F. Pardo, F. Perich, & A. Quiroz. 2009. Volatiles released from *Vaccinium corymbosum* were attractive to *Aegorhinus superciliosus* (Coleoptera: Curculionidae) in an olfactometric bioassay. Environ. Entomol. 38: 781-789.

Peñuelas, J., & J. Llusià. 2001. The complexity of factors driving volatile organics compound emissions by plants. Biol. Plantarum 44: 481-487.

Peñuelas, J. & J. Llusià. 2003. BVOCs: plant defense against climate warming?. Trends Plant Sci. 8: 105-108.

Pérez-Urria Carril, E & A. Avalos García. 2009. Metabolismo secundario de plantas. REDUCA 2: 119-145.

PROCHILE. 2008. Chile es el primer exportador de avellanas con cáscara a Italia. Disponible en <http://prochile.cc.cl/noticias/noticia.php?sec=8646>. Conectado el 16 de marzo de 2011.

Quiroz, A., E. Fuentes, C. C. Ramírez, G. B. Russell, & H. M. Niemeyer. 1999. Host-plant chemicals and distribution of *Neuquenaphis* on *Nothofagus*. J. Chem. Ecol. 25: 1043-1054.

Rose U. S. R., A. Manukian, R.R. Heath, & J.H. Tumlinson. 1996. Volatile semiochemicals released from undamaged cotton leaves. Plant Physiol. 111: 487-495.

Roversi, A. 2008. Poda del Avellano europeo. Seminario Internacional Avellano europeo en Chile Tendencias en manejo agronómico y proyecciones comerciales del rubro. CVTA – INIA Carillanca – Innova Chile, Temuco.

Santino, A., A. De Paolis, A. Gallo, A. Quarta, & G. Mita. 2003. Biochemical and molecular characterization of hazelnut (*Corylus avellana*) seed lipoxygenase. Eur. J. Biochemical. 270: 4365-4375.

- Scortichini, M. 2004.** Diagnostic protocols for regulated pests. *Xanthomonas arboricola* pv. *corylina*. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 34: 179-181.
- Sepúlveda G., H. Porta, & M. Rocha. 2003.** La Participación de los Metabolitos Secundarios en la Defensa de las Plantas. Revista Mexicana de Fitopatología 21: 355-363.
- Shahida-Perveen S., T.M. Qaisrani, F. Siddiqui, R. Perveen & S.H.M. Naqvi. 2001.** Cotton Plant volatiles and insect's behavior. Pak. J. Biol. Sci. 4: 554-558.
- Solervicens, J., & M. Elgueta. 1994.** Insectos de follaje de bosques pantanosos del norte chico, centro y sur de Chile. Rev. Chilena Ent. 21: 135-164.
- Tapia S., F. Pardo, F. Perich, & A. Quiroz. 2005.** Clover root borer *Hylastinus obscurus* (Marsham) (Coleoptera: Scolytidae) has no preference for volatiles from root extracts of disease infected red clover. Acta Agric. Scand. 55: 158-160.
- Tapia, T., F. Perich, F. Pardo, G. Palma, & A. Quiroz. 2007.** Identification of volatiles from differently aged red clover (*Trifolium pratense*) root extracts and behavioural responses of clover root borer (*Hylastinus obscurus*) (Marsham) (Coleoptera: Scolytidae) to them. Biochem. Syst. Ecol. 35: 61-67.
- Tooker, J., W. Koenig, & L. Hanks. 2002.** Altered host plant volatiles are proxies for sex pheromones in the gall wasp *Antistrophus rufus*. Proc. Natl. Acad. Sci. 99: 15486-15491.
- Tooker, J., A. Crumrin, & L. Hanks. 2005.** Plant volatiles are behavioral cues for adult females of the gall wasp *Antistrophus rufus*. Chemoecology 15: 85-88.
- Turlings T., J. Loughrin, P. McCall, W. Lewis, & J. H. Tumlinson. 1995.** How caterpillar-damaged plants protect themselves by attracting parasitic wasps. Proceedings of the National Academy of Science (USA) 92: 4169-4174.
- Van Beek, T. A., & A. De Groot, 1986.** Terpenoid antifeedants, part I. An overview of terpenoid antifeedants of natural origin. Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas 105: 513-527.
- Vancanneyt, G., C. Sanz, T. Farmaki, M. Pameque, F. Ortego, P. Castanera, & J.J. Sánchez -Serrano. 2001.** Hydroperoxide lyase depletion in transgenic potato plants leads to an increase in aphid performance. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 98: 8139-8144.
- Vet, L., J. C. Van Lenteren, M. Heymans, & E. Meelis. 1983.** An airflow olfactometer for measuring olfactory responses of hymenopterous parasitoids and other small insects. Physiol. Entomol. 8: 97-106.
- Wadhams, L. J. 1992.** The perception of semiochemicals. pp: 152-162. *En*: J. M. Crampton, & I. Eggleston (eds.). *Insect Molecular Science*. Proceedings 16th Symposium of the Royal Entomological Society London.

Wakefield, M. E., G. P. Bryning, L. E. Collins, & J. Chambers. 2005. Identification of attractive components of carob volatiles for the foreign grain beetle, *Ahasverus advena* (Waltl) (Coleoptera: Cucujidae). *J. Stored Prod. Res.* 41: 239-253.

Whittaker, R. H. 1970. The biochemical ecology of higher plants, pp. 43-70. *En* E. Sondheimer, & J.B. Simeone (eds.) *Chemical Ecology*. Acad. Press, New York.

Zhang, Q. H., & F. Schlyter. 1999. Host selection and nonhost compounds with potential for forest protection against conifer bark beetles. *PhD Research Project of Zhang Q.* Disponible en http://www-vv.slu.se/fs/zhang/sjfr_qhz.htm. Conectado el 11 Septiembre 2011.

9. AGRADECIMIENTOS

La autor de esta investigación agradece el apoyo y financiamiento al: Laboratorio de Ecología Química-UFRO, Proyecto FONDECYT Nº 1100812, Proyecto FONDECYT 3110085 y al Campo Experimental Maquehue de la Universidad de La Frontera.

10. ANEXOS

Anexo 1. Compuestos liberados desde diferentes zonas de la parte aérea del avellano europeo (*C. avellana*).

Nº	TR ¹	Match	R-Match	Prob ²	Nombre	Z. superior	Z. inferior	Grupo Químico
1	3.83	885	888	23,3	1,3,5-Cicloheptatrieno		x	Alqueno
2	3.86	816	845	77,5	Acetato de isobulito		x	Compuesto carbonílico (éster)
3	3.95	944	944	81	3-Hexanona		x	Compuesto carbonílico (cetona)
4	3.99	898	898	63	2-Hexanona		x	Compuesto carbonílico (cetona)
5	4.10	851	852	88,5	Dietoximetano	x		Ester
6	4.10	557	712	39,8	Hexanal		x	GLV ³ (aldehído)
7	4.15	879	885	76,4	3-Hexanol		x	GLV (alcohol)
8	4.20	490	851	34,9	Ácido 2,2- dimetil-3-butenico	x		Ácido carboxílico
9	4.20	861	861	37,5	4-Metil-2-pentanol		x	Alcohol
10	4.25	843	870	49,3	3-Metil-hexano	x		Alcano
11	4.36	786	814	13,9	2,4-Dimetil-hexano		x	Alcano
12	4.66	576	858	9,18	2-Propenilideno-ciclo buteno	x		Alqueno
13	4.73	909	909	72,4	3-Hexanona	x		Compuesto carbonílico (cetona)
14	4.76	909	909	56,1	2-Hexanona	x		Compuesto carbonílico (cetona)
15	4.85	531	678	27,2	R-(-)-Ciclo hexiletilamina	x		Amina

Anexo 1. Continuación

16	4.89	769	771	72,5	3-Hexanol	x		GLV (alcohol)
17	4.93	810	814	33,7	2-Hexanol	x		GLV (alcohol)
18	5.09	714	758	17,8	2,4-Dimetil-hexano	x		Alcano
19	5.42	844	851	68,3	Etanoato de 3-metilbutilo		x	Compuesto carbonílico (éster)
20	5.49	797	832	22,9	Etanoato de 2-metilbutilo		x	Compuesto carbonílico (éster)
21	5.61	820	862	28,6	di-tert-Butildicarbonato	x		Compuesto carbonílico (éster)
22	5.64	792	920	22,1	2-Metil-nitro-propano	x		Halogenuro
23	5.73	824	826	41,5	Butiléter		x	Éter
24	5.77	670	778	30,8	Etilbenceno	x		Compuesto aromático
25	5.90	663	848	42,5	5-(1-Metiletilideno)-1,3ciclopentadieno	x		Alqueno
26	5.95	745	778	26,3	1-Cloro-3-metil-butano	x		Alcano
27	6.01	820	852	31,5	3-Metil-hexano	x		Alcano
28	6.10	817	848	35,1	2,2-Dimetil-3-hexanona	x		Compuesto carbonílico (cetona)
29	6.17	795	859	71,3	Etanoato de pentilo		x	Compuesto carbonílico (éster)
30	6.20	707	821	36,3	Cardeno	x		Terpeno

Anexo 1. Continuación

31	6.22	809	837	25,4	Nonano		x	Alcano
32	6.28	549	695	10,1	1-Cloro hexano	x		Halógeno
33	6.44	502	521	8,18	1,1-di-(4-Metilciclohexil)dodecano	x		Alcano
34	6.61	562	795	56,5	Acetato de pentilo		x	Compuesto carbonílico (cetona)
35	6.66	863	893	30,7	Nonano		x	Alcano
36	6.89	889	894	13,2	1 <i>R</i> - α -Pino		x	Terpeno
37	7.11	693	797	32,1	2-Metil-propanoato de isopropilo		x	Compuesto carbonílico (éster)
38	7.17	860	882	33,7	Camfeno		x	Terpeno
39	7.27	923	927	20,2	1 <i>R</i> - α -Pino	x		Terpeno
40	7.33	734	778	34,9	Hidroperoxihexano		x	Hidroperóxido
41	7.42	759	769	53	1-Etilbutil-hidroperoxido	x		Hidroperóxido
42	7.54	519	621	5,25	Neodihidrocarveol	x		Terpeno
43	7.54	775	821	11,6	4-Etil-octano		x	Alcano
44	7.62	769	775	62,4	1-Metilpentil-hidroperóxido	x		Hidroperóxido
45	7.64	820	825	21,3	5-Metil-nonano		x	Alcano

Anexo 1. Continuación

46	7.75	588	811	9,89	β -Terpineno		x	Terpeno
47	7.82	794	837	11,5	β - Pineno		x	Terpeno
48	7.84	741	781	11,4	3-Etil-octano	x		Alcano
49	7.92	718	751	34,9	3-Metil-nonano		x	Alcano
50	7.94	576	676	23,4	5-Metil-nonano	x		Alcano
51	8.06	882	883	18,4	Sabineno	x		Terpeno
52	8.13	819	868	19,4	(-)- β -Pineno	x		Terpeno
53	8.27	740	752	10,9	(1-Metilpropil)-ciclohexano		x	Alcano
54	8.36	811	833	35	Acetato de (4E)-4-hexenilo		x	GLV (éster)
55	8.58	723	792	26,2	Acetato de 3-metil-4-pentelino	x		GLV (éster)
56	8.63	764	809	40,6	Acetato de (4E)-4-hexenilo	x		GLV (éster)
57	8.69	940	940	31,4	Decano	x	x	Alcano
58	9.19	776	862	21,5	Limoneno		x	Terpeno
59	9.70	717	805	13,4	3-Careno		x	Terpeno
60	10.34	605	753	76,5	2-Undecen-4-ol		x	Alcohol

Anexo 1. Continuación

61	11.45	827	884	13,6	Undecano		x	Alcano
62	11.55	711	829	48,6	1-Octen-4-ol		x	Alcohol
63	12.28	826	899	25,1	3-Etilbenzaldehído		x	Compuesto aromático
64	12.39	826	852	38,1	4-Etilbenzaldehído	x	x	Compuesto aromático
65	12.71	724	839	17,5	3,5-Dimetilbenzaldehído	x	x	Compuesto aromático
66	12.85	754	861	24,6	4-Etildecano		x	Alcano
67	12.92	402	722	6,56	2-Metil-benzofuran		x	Compuesto aromático
68	12.94	421	475	10,1	1,1-Dimetilindano	x		Halogenuro (cloro)
69	13.01	887	919	20,8	2,6-Dimetildecano		x	Alcano
70	13.85	717	736	7,49	Isobutilciclohexano	x		Alcano
71	13.90	740	753	23,1	1-Hexil-3-metil-ciclopentano		x	Alcano
72	14.25	920	920	29,2	Dodecano	x	x	Alcano
73	14.95	786	858	23,5	1-(4-Etilfenil)-etanona		x	Compuesto carbonílico (cetona)
74	15.03	873	917	32,7	1-(2,4-Dimetilfenil)-etanona		x	Compuesto carbonílico (cetona)
75	15.09	871	881	26,1	1-(3,4-Dimetilfenil)-etanona	x		Compuesto carbonílico (cetona)

Anexo 1. Continuación

76	15.58	829	867	30,8	1-(4-Etilfenil)-etanona	x		Compuesto carbonílico (cetona)
77	15.91	631	684	24,9	2,2,8,8-Tetrametil-5-nonanona	x		Compuesto carbonílico (cetona)
78	17.37	644	711	11	Selinano		x	Terpeno
79	18.23	442	622	8,51	Hexilisopropileter	x		Éter
80	18.24	504	747	26,3	5-Metil-nonano		x	Alcano
81	18.37	495	559	13,1	Pentanoato de 1,4-dietilhexilo	x		Compuesto carbonílico (éster)
82	18.64	420	614	11,1	Bifenilamina	x		Amina
83	18.65	416	772	15,9	4-(Metilfenil)-piridina		x	Compuesto aromático Heterocíclico
84	18.77	633	699	14,2	2,2-Dimetil tridecano		x	Alcano
85	18.80	465	628	21,9	β -Bourboneno	x		Terpeno
86	19.22	772	766	12	Octilciclohexeno	x		Alqueno
87	19.51	934	936	35	Tetradecano	x	x	Alcano
88	21.76	882	898	61,9	2,4-Di-tert-butilfenol	x	x	Fenol
89	23.09	745	887	6,91	2-Metil-octano		x	Alcano
90	23.64	800	826	19,2	3-Metil-pentadecano		x	Alcano
91	44.42	916	916	44,9	Escualeno	x		Terpeno

¹TR: Tiempo de retención²Prob: Probabilidad³GLV: volátiles hojas verdes (green leaf volatiles)