

# **Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de biología**



**Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria**

**INTA**

**“Estudios de preferencia del parasitoide *Aphidius colemani* Viereck  
(Hymenoptera: Braconidae) por distintas asociaciones planta  
hospedera - áfido huésped”**

Informe presentado a la Escuela de Biología del  
Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial  
para optar al título de Bachiller en Ingeniería en Biotecnología.

**Luis D. Espinoza Bolaños**

**CARTAGO, 2010**

**ESTUDIOS DE PREFERENCIA DEL PARASITOIDE *APHIDIUS COLEMANI*  
VIERECK (HYMENOPTERA: BRACONIDAE) POR DISTINTAS ASOCIACIONES  
PLANTA HOSPEDERA - ÁFIDO HUÉSPED**

Luis D. Espinoza Bolaños<sup>1</sup>

**RESUMEN**

El accionar de *Aphidius colemani*, endoparásitoide de áfidos, puede favorecerse mediante la introducción al agroecosistema de un hospedero alternativo que le permita establecerse antes de la llegada de una plaga. No obstante, esto es factible sólo si el parasitoide no muestra una preferencia muy marcada por algún hospedero (plaga o alternativo) y es capaz de ciclar entre ambos. El objetivo del presente trabajo fue estudiar la preferencia de *A. colemani* por dos asociaciones planta hospedera-áfido huésped, para ello se realizaron pruebas de opción doble con el parasitoide, ofreciendo las asociaciones: rúcula-*Myzus persicae* (cultivo+plaga) y avena-*Rhopalosiphum padi* (sistema alternativo). Para estudiar la respuesta fisiológica del parasitoide frente a las asociaciones estudiadas se realizaron pruebas sin opción. Otros aspectos del comportamiento biológico de *A. colemani* como: el tiempo de desarrollo, algunos parámetros poblacionales de tablas de vida, la supervivencia del adulto y la fecundidad, también fueron estudiados. Los resultados obtenidos mostraron un parasitismo desigual entre las asociaciones planta-áfido, con un porcentaje mayor sobre su origen previo. Los estudios biológicos realizados evidenciaron que *A. colemani* es capaz de alimentarse, desarrollarse y dejar descendencia sobre las dos asociaciones áfido-planta estudiadas. Los resultados obtenidos aportan pautas importantes en el refinamiento del manejo que debe dársele la estrategia de control biológico planteada en busca de un funcionamiento satisfactorio.

**Palabras clave:** *Aphidius colemani*, *Myzus persicae*, rúcula, hospedera alternativa, preferencia, tablas de vida.

---

<sup>1</sup> INFORME DE TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN, Escuela de Biología, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 2010.

**PREFERENCE STUDIES OF THE PARASITOID *APHIDIUS COLEMANI* VIERECK  
(HYMENOPTERA: BRACONIDAE) FOR DIFFERENT HOST PLANT - GUEST  
APHID ASSOCIATIONS**

Luis D. Espinoza Bolaños

**ABSTRACT**

The performance of *Aphidius colemani*, aphid endoparasitoid, can be improved by the introducing in the agro-ecosystem an alternative host which favors its establishment before the arrival of a plague. However, this is possible only if the parasitoid does not present a very strong preference for a particular host (plague or alternative host) and has the ability for switching from one host to other. The objective of this job was to study the preference of *A. colemani* for two host plant-guest aphid associations. For this, double-choice tests with the parasitoid were undertaken, offering the associations: rocket-*Myzus persicae* (crop+plague) and oat-*Rhopalosiphum padi* (alternative system). For studying the parasitoid physiological response to the proposed associations, no-choice tests where undertaken. Other aspects regarding the biological behavior of *A. colemani* such as: development time, some life-table population parameters, adult's survival and fecundity, were also studied. The obtained results made evident an unequal parasitism between both plant-aphid associations, with a higher percentage on its previous origin. The biological studies which were accomplished, showed *A. colemani* is capable of feeding, developing and reproducing on both aphid-plant associations. Results provide important guidelines in management for the proposed biological control strategy, with the purpose of achieving a satisfactory performance of the parasitoid.

**Keywords:** *Aphidius colemani*, *Myzus persicae*, rocket, alternative host, preference, life-table.

**ESTUDIOS DE PREFERENCIA DEL PARASITOIDE *APHIDIUS COLEMANI*  
VIERECK (HYMENOPTERA: BRACONIDAE) POR DISTINTAS ASOCIACIONES  
PLANTA HOSPEDERA - ÁFIDO HUÉSPED**

**Informe presentado a la Escuela de Biología del  
Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial  
para optar al título de Bachiller en Ingeniería en Biotecnología**

**Miembros del Tribunal**

---

**MSc. Dora Flores Mora,  
Profesor Asesor-ITCR**

---

**Ing. Agr. Andrea V. Andorno,  
Asesor - Institución**

---

**MSc. Vladimir Villalba Velásquez,  
Lector**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, quienes han asumido mi formación y mi vida entera como un proyecto propio y me han brindado el apoyo necesario para salir adelante

Luis

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor desea dejar constancia de su agradecimiento a los siguientes organismos y personas, por su colaboración en el presente trabajo:

A la Vicerrectoría de Vida Estudiantil y Servicios Académicos (VIESA) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (I.T.C.R.), al Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICIT) y al Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) por su apoyo económico, sin el cual habría sido imposible la consecución de los objetivos alcanzados.

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Castelar, Buenos Aires, Argentina. Particularmente al Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola (IMyZA) y a todo su personal, por su apoyo logístico y el cordial trato recibido a lo largo del desarrollo del proyecto.

A la Ing. Agrónoma Andrea V. Andorno, una persona comprensiva y muy comprometida con el proyecto, con quien siempre estaré en deuda. Gracias por su participación indirecta como constante guía y, también, directa en la asistencia para completar las labores más meticulosas y extensas del proyecto.

A los miembros del tribunal evaluador, por su valiosa guía, y muy especialmente a la MSc. Dora Flores Mora, profesora consejera, por sus valiosos aportes, su paciencia y arraigado interés en que el proyecto culminara de la mejor manera.

# ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	17
2.1. Control biológico por conservación .....	17
2.2. El cultivo de rúcula ( <i>Eruca sativa</i> ).....	19
2.3. La plaga, el “pulgón verde del duraznero” ( <i>Myzus persicae</i> ).....	21
2.4. <i>Aphidius colemani</i> y otros enemigos naturales de áfidos .....	25
2.5. La asociación planta - áfido <i>propuesta para el sistema de “hospedera alternativa”</i> 30	
2.6. Importancia de las pruebas de preferencia .....	31
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	35
3.1. Objetivo general.....	35
3.2. Objetivos específicos .....	35
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	36
4.1. Prueba CON opción ( <i>tratamientos mixtos</i> ).....	39
a. Experimento 1: <i>Parasitismo y tiempo de desarrollo</i> .....	39
b. Experimento 2: <i>Parámetros poblacionales, supervivencia y fecundidad</i> .....	40
4.2. Prueba SIN opción ( <i>tratamientos R y A</i> ) .....	44
a. Experimento 3: <i>Parasitismo y tiempo de desarrollo</i> .....	44
b. Experimento 4: <i>Parámetros poblacionales, supervivencia y fecundidad</i> .....	45
<b>5. RESULTADOS</b> .....	46
5.1. Prueba CON opción .....	46
a. Experimento 1: <i>Parasitismo y tiempo de desarrollo</i> .....	46
b. Experimento 2: <i>Parámetros poblacionales, supervivencia y fecundidad</i> .....	49

5.2. Prueba SIN opción.....	53
a. Experimento 3: Parasitismo y tiempo de desarrollo .....	53
b. Experimento 4: Parámetros poblacionales, supervivencia y fecundidad .....	54
<b>6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>59</b>
6.1. Prueba CON opción .....	59
a. Experimento 1: Parasitismo y tiempo de desarrollo .....	59
b. Experimento 2: Parámetros poblacionales, supervivencia y fecundidad .....	62
6.2. Prueba SIN opción.....	68
a. Experimento 3: Parasitismo y tiempo de desarrollo .....	68
b. Experimento 4: Parámetros poblacionales, supervivencia y fecundidad .....	71
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>76</b>
<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>90</b>
9.1. Pruebas de semicampo .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Descripción de los tratamientos .....	39
<b>Tabla 2.</b> Cantidad de momias y porcentaje de parasitismo (media $\pm$ EE) de <i>Aphidius colemani</i> según su procedencia y la asociación planta - áfido ofrecida.....	47
<b>Tabla 3.</b> Tiempo de desarrollo (media $\pm$ EE) de <i>Aphidius colemani</i> según su procedencia y la asociación planta - áfido ofrecida .....	49
<b>Tabla 4.</b> Parámetros poblacionales (media $\pm$ EE) de <i>Aphidius colemani</i> según su procedencia y la asociación planta - áfido ofrecida .....	50
<b>Tabla 5.</b> Tiempo de desarrollo (media $\pm$ EE) de <i>Aphidius colemani</i> en sus huéspedes originales .....	55
<b>Tabla 6.</b> Parámetros poblacionales (media $\pm$ EE) de <i>Aphidius colemani</i> en sus huéspedes originales .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Representación gráfica de un ejemplar de <i>M. persicae</i> .....	21
<b>Figura 2.</b> Ciclo de vida del áfido <i>M. persicae</i> .....	22
<b>Figura 3.</b> Vista macroscópica de una hembra de <i>A. colemani</i> .....	26
<b>Figura 4.</b> Hembra de <i>A. colemani</i> parasitando un ejemplar de <i>M. persicae</i> sobre rúcula..... .....	27
<b>Figura 5.</b> Momias de <i>M. persicae</i> parasitado por <i>A. colemani</i> .....	28
<b>Figura 6.</b> Ciclo biológico de <i>A. colemani</i> .....	29
<b>Figura 7.</b> Componentes del sistema tri-trófico estudiado .....	37
<b>Figura 8.</b> Unidad experimental empleada en el experimento 1 .....	39
<b>Figura 9.</b> Unidad experimental empleada en los experimentos 2 y 4 .....	41
<b>Figura 10.</b> Unidad experimental empleada en el experimento 3 .....	44
<b>Figura 11.</b> Porcentaje de parasitismo de <i>Aphidius colemani</i> en pruebas de opción doble según el origen previo del parasitoide .....	47

<b>Figura 12.</b> Curvas de supervivencia de hembras de <i>A. colemani</i> para las cuatro cohortes estudiadas.....	50
<b>Figura 13.</b> Curvas de fecundidad de <i>A. colemani</i> para las dos procedencias estudiadas.....	51
<b>Figura 14.</b> Porcentaje de parasitismo de <i>Aphidius colemani</i> en prueba sin opción para las dos procedencias del parasitoide estudiadas .....	53
<b>Figura 15.</b> Curvas de supervivencia de <i>A. colemani</i> sobre sus huéspedes originales.....	55
<b>Figura 16.</b> Curvas de fecundidad de <i>A. colemani</i> sobre sus huéspedes originales.....	57
<b>Figura 17.</b> Jaulas empleadas como unidades experimentales en el interior del macrotúnel..	90
<b>Figura 18.</b> Porcentaje de parasitismo en función del tiempo sobre avena - <i>R. padi</i> para las dos procedencias estudiadas de <i>A. colemani</i> , prueba con opción.....	92
<b>Figura 19.</b> Porcentaje de parasitismo en función del tiempo sobre rúcula - <i>M. persicae</i> para las dos procedencias estudiadas de <i>A. colemani</i> , prueba con opción .....	92
<b>Figura 20.</b> Porcentaje de parasitismo en función del tiempo para dos cohortes de <i>A. colemani</i> sobre sus huéspedes originales, en prueba sin opción .....	93

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Pruebas de semicampo .....	90
--	----

## 1. INTRODUCCIÓN

Los áfidos (Hemiptera: Aphididae) constituyen un grupo de insectos muy bien adaptados a la actividad fitófaga, ocupando un lugar destacado entre las principales plagas sobre una gran variedad de cultivos en todos los ecosistemas del mundo (Moran, 1992). Estos insectos ocasionan daños de tipo directo e indirecto.

Los daños de tipo directo son los relativos al debilitamiento de la planta ocasionado por la alimentación de los áfidos. Estos, al succionar savia, alteran el balance de las hormonas de crecimiento del vegetal.

Por otro lado, al ser la savia pobre en proteínas y rica en azúcares, los áfidos deben succionar grandes volúmenes para obtener suficientes proteínas, al tiempo que excretan el exceso de hidratos de carbono en forma de melaza. Estas secreciones favorecen el desarrollo de un complejo fúngico llamado “fumagina”, el cual cubre la superficie de la planta, dando lugar a una reducción de la actividad fotosintética como efecto colateral de la actividad de la plaga (Cabello García & Belda Suarez, 1994). A este daño indirecto debe agregarse otro más grave aún, ya que los áfidos son los principales insectos transmisores de virus vegetales (Castle & Berger, 1993; Syller, 1994; Ramsey *et al.*, 2007).

*Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae), el “pulgón verde del duraznero”, es una de las principales plagas en cultivos bajo cubierta a nivel mundial. Este insecto ocasiona severos daños a los cultivos al alimentarse de la savia que fluye por el floema de las plantas. Entre sus efectos nocivos cabe citar los siguientes: debilitamiento de la planta, baja en la actividad fotosintética, deterioro de los frutos y

transmisión de más de 100 virus vegetales distintos, siendo el principal áfido vector de virus (Ramsey *et al.*, 2007).

En Argentina, *M. persicae* ataca severamente una gran variedad de cultivos de hoja y, particularmente, para la producción de rúcula bajo cubierta, este áfido representa una plaga de gran importancia económica (Andorno *et al.*, 2004). Por otro lado, en Costa Rica, las plantaciones de papa de la región norte de la provincia de Cartago están siendo duramente afectadas por la eficiencia con que este áfido esparce las infecciones virales (Rivera *et al.*, 1993; Hord & Rivera, 1998).

Como todos los áfidos, esta plaga se reproduce a un ritmo sumamente acelerado y esto, aunado al mal manejo de los agroquímicos a nivel mundial, le ha conferido una firme resistencia a la mayoría de los insecticidas sintéticos comerciales. El combate químico de *M. persicae* no es solamente costoso y poco efectivo, sino que además conlleva una severa contaminación de los terrenos y cultivos.

En los últimos años, los efectos nocivos del uso intensivo de agroquímicos han llegado a ser de conocimiento general y esto ha generado una conciencia del peligro directo que su uso implica para la salud humana y del planeta. Como respuesta, las alternativas de producción ecoamigable que se plantean el objetivo de obtener productos libres de químicos mediante tecnologías más limpias, se encuentran en pleno auge.

Ante este panorama, el combate de *M. persicae* mediante agentes de control biológico ha adquirido mucha aceptación y respaldo.

Varios estudios (Messing & Rabasse, 1995; Sampaio<sup>1</sup>, 2001; Takada, 2002) respaldan a la especie *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Braconidae), miembro de la subfamilia Aphidiidae, como un endoparásitoide muy efectivo para el control de las poblaciones de *M. persicae*. Se trata de una avispa parasítica que ovipone dentro del áfido, el huevo eclosiona para dar paso a una larva que va consumiendo al áfido desde adentro hasta que lo mata. Una vez que el parasitoide completa su desarrollo dentro del áfido ya muerto, surge como un nuevo adulto listo para parasitar nuevos pulgones. Si bien el ciclo biológico de *A. colemani* es un poco más lento que el de *M. persicae*, el parasitoide compensa este desbalance satisfactoriamente gracias a su elevada fertilidad y frecuencia de oviposición (Rodríguez *et al.*, 2003).

La acción biocontroladora de *A. colemani* puede verse favorecida mediante la introducción al agroecosistema de un hospedero alternativo que le permita establecerse antes de la llegada de la plaga. Así, se procura que el parasitoide se multiplique sobre una asociación “hospedera alternativa + áfido alternativo” para que pueda ejercer su acción biocontroladora sobre la asociación “cultivo + plaga”.

No obstante, el éxito de esta estrategia se encuentra supeditado al comportamiento de selección del parasitoide en este agroecosistema modificado que se plantea. Ya que, solamente si *A. colemani* es capaz de ciclar entre ambas asociaciones planta – áfido, sería funcional la implementación de la estrategia propuesta.

Por estos motivos, el objetivo del presente trabajo, fue estudiar la preferencia del parasitoide *A. colemani* frente a distintas asociaciones planta – áfido ofrecidas.

Es un hecho que el conocimiento generado a partir de estos estudios resulta provechoso para estructurar una estrategia de manejo ecológico que potencie la acción biocontroladora del parasitoide *A. colemani* dentro de un sistema de hospedera alternativa.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Control biológico por conservación

El control biológico por conservación se refiere al aumento de los enemigos naturales (parasitoides y predadores) presentes en el agroecosistema por manipulación de su ambiente, tornándolo de algún modo más favorable (Van Driesche *et al.*, 2007).

Prácticas como la creación de refugios físicos necesarios para los enemigos naturales, la provisión de lugares para que vivan los hospederos alternativos, la colocación de plantas con flores que sirvan de fuentes de néctar y la plantación de cultivos de cobertura del suelo entre los surcos del cultivo para moderar la temperatura y la humedad relativa, son útiles para potenciar el accionar de las especies benéficas (Van Driesche *et al.*, 2007).

La meta del control biológico por conservación es minimizar los factores que afectan perjudicialmente a las especies benéficas a la vez que se refuerzan aquellos que hacen de los campos agrícolas un hábitat adecuado para los enemigos naturales, lo cual se logra mediante prácticas de manejo del hábitat.

El manejo del hábitat tiene por objetivo modificar la biodiversidad de los agroecosistemas de modo tal que las interacciones en los distintos niveles tróficos sean sustancialmente mejoradas. Una consecuencia directa de esta acción es una regulación de la abundancia de los organismos perjudiciales por sus enemigos naturales (Altieri, 1995; Landis *et al.*, 2000).

Desde la década del 60, la literatura provee cientos de ejemplos de experimentos donde se documenta que la diversificación de cultivos conlleva a la reducción de poblaciones de herbívoros plaga (Van Den Bosch & Telford, 1964; Andow, 1991; Altieri *et al.*, 1996; Van Driesche & Bellows, 1996). La mayoría de los estudios donde se combinan el cultivo principal con otras plantas demuestra que las poblaciones de herbívoros especialistas son menores que aquellas que se presentan en los monocultivos (Risch *et al.*, 1983; Marino & Landis, 1996; Moshe & Bottrell, 1996). Diversos autores confirman la importancia de los huéspedes alternativos, la accesibilidad a refugios y la provisión de fuentes de alimento para incrementar la supervivencia de los insectos benéficos (Corbett & Rosenheim, 1996; Rebek *et al.*, 2005). En otras palabras, es posible estabilizar las comunidades de insectos en agroecosistemas diseñando arquitecturas de la vegetación que incrementen las poblaciones de enemigos naturales.

Conocer las especies plaga, sus enemigos naturales y sus interacciones con el ambiente, facilita el diseño y la aplicación de procedimientos de manejo que sean eficientes en explotar los “puntos débiles” en las defensas de la plaga (Starý & Pike, 1999; Verkerk, 2004). En este aspecto se pueden mencionar técnicas tales como la utilización de hospederas alternativas, los corredores biológicos, el uso de cultivos trampa, la incorporación de plantas con flores, etc. (Altieri *et al.*, 1996).

Dentro de la estrategia denominada manejo del hábitat, el “sistema de hospedera alternativa” para el control de áfidos ha sido propuesto por Starý (1993) en reemplazo al método de “la plaga primero” descrito por Markkula & Tiittanen (1976). El método de “la plaga primero” introduce al invernadero de manera intencional una pequeña población de la plaga con el fin de proveerle recurso al/a los biocontrolador/es. En caso que por alguna razón el biocontrolador no trabaje, la plaga podría incrementarse y provocar daño. Por el contrario, el sistema de

hospedera alternativa consiste en la introducción de una especie vegetal que albergue áfidos inocuos para el cultivo de interés pero que compartan con la plaga algún/os enemigo/s natural/es. El objetivo de esta técnica de control biológico es tener establecido en el ambiente al/a los biocontrolador/es antes de la llegada de la plaga al cultivo.

Según Alomar & Albajes (2005), no cabe duda que el control biológico por conservación es la modalidad estratégica que menos riesgos entraña para la fauna autóctona de artrópodos, en comparación con el control biológico clásico e inundativo, pues no implica introducir especies externas al agroecosistema.

## **2.2. El cultivo de rúcula (*Eruca sativa*)**

Rúcula es el nombre común otorgado a la especie *Eruca sativa*, de la familia Brassicaceae. Es una hortaliza diploide, anual cuyas hojas poseen un característico sabor picante, lo cual favorece su utilización en fresco como ingrediente para ensaladas (Pignone, 1996; Palada & Crossman, 1999; Morales & Janick, 2002).

La rúcula se encuentra ampliamente distribuida en Europa, donde es un importante cultivo, ya que tradicionalmente se le considera como una delicadeza gastronómica. Por otro lado, en el continente americano *E. sativa* ha aparecido como una planta espontánea en terrenos no cultivados o como maleza invadiendo algunos cultivos y viene cobrando importancia como cultivo a partir de la demanda de inmigrantes europeos y sus descendientes (Pignone 1996; Bermejillo *et al.*, 2006).

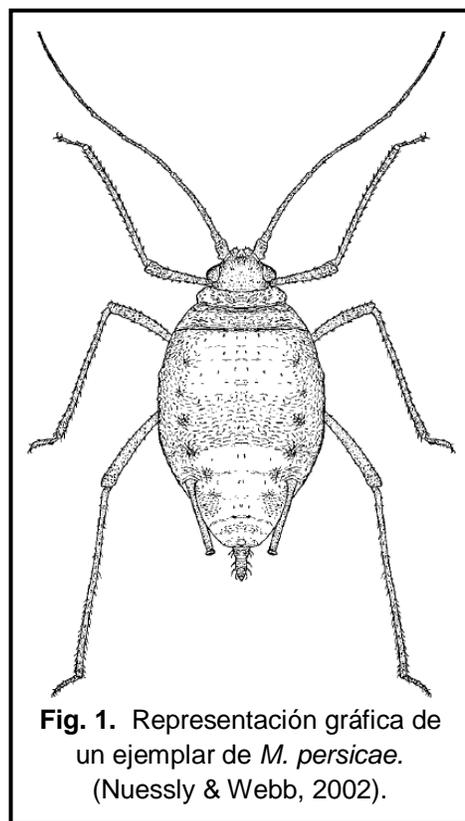
El cultivo de rúcula presenta algunas ventajas como la adaptabilidad de la planta, la cual puede desarrollarse casi sobre cualquier tipo de suelo, y la posibilidad de realizar varias cosechas en poco tiempo, debido a sus rápidos ciclos de producción. Generalmente, la primera cosecha se realiza cortando las hojas desde la base del pecíolo luego de 20-27 días de haber realizado la siembra. Posteriormente, pueden realizarse nuevas cosechas conforme la planta rebrote (Pimpini & Enzo, 1996; Morales & Janick, 2002).

Según Pimpini & Enzo (1996), la cantidad de cosechas que se pueden llevar a cabo varía de acuerdo a la época del año en que se realiza el cultivo. En cultivos de verano, los largos períodos de luz diurna ejercen un estímulo sobre las plantas que las lleva a entrar en floración súbitamente y, en consecuencia, suele ser factible realizar como máximo 2 cosechas. Por otro lado, cuando el cultivo se lleva a cabo desde el otoño hasta la primavera, pueden realizarse aproximadamente 5-6 cosechas.

Con el objetivo de aumentar el rendimiento del cultivo y de obtener un producto de mejor calidad, los productores de rúcula han optado por trabajar en ambientes protegidos. Generalmente, se emplean invernaderos con forma de túnel dentro de los cuales se procura superar las limitaciones climáticas del exterior. Las condiciones óptimas para el cultivo bajo cubierta de *E. sativa* especifican temperaturas entre 22-24 °C durante el día y entre 16-18 °C durante la noche con una Humedad Relativa (HR) siempre por debajo del 60% (Pimpini & Enzo, 1996; Pereira, 2002).

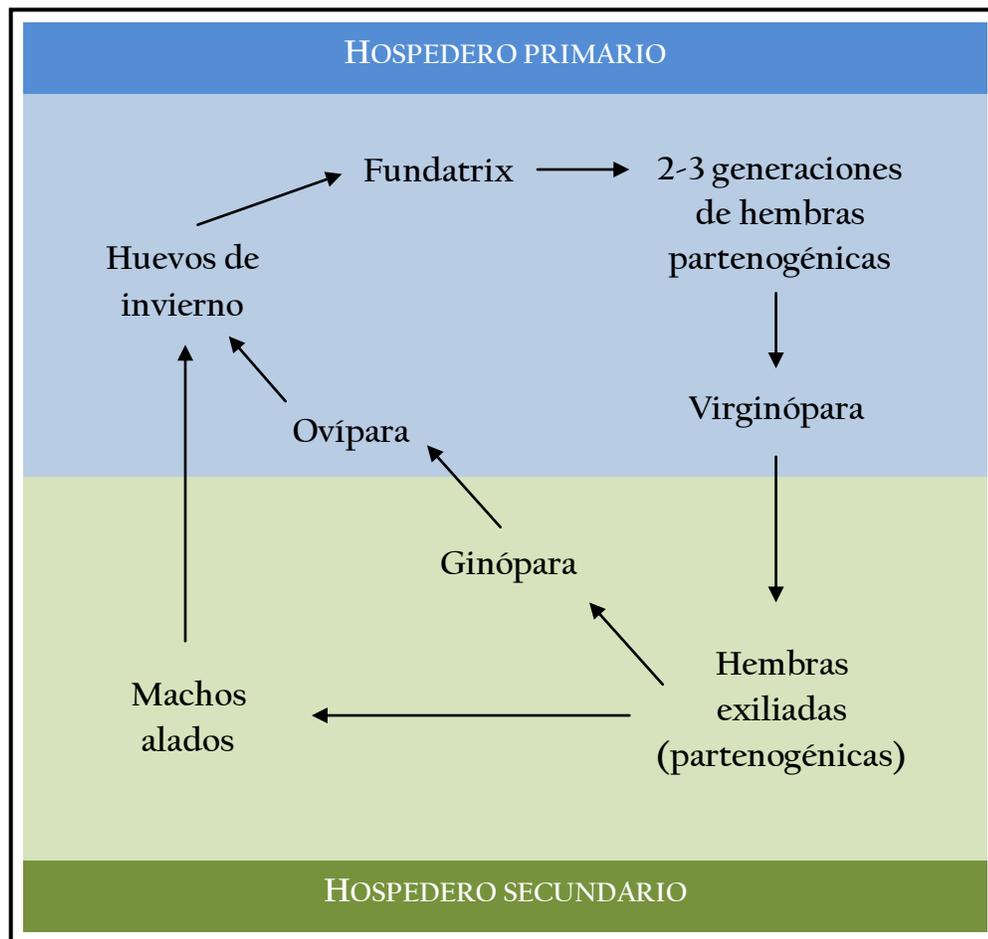
### 2.3. La plaga, el “pulgón verde del duraznero” (*Myzus persicae*)

Entre las especies de áfidos que constituyen serios problemas en los cultivos hortícolas debe destacarse al “pulgón verde del duraznero”, *Myzus persicae* (Sulzer). Es muy polífago y cosmopolita que utiliza como huésped primario a especies del género *Prunus*, pudiendo colonizar como huésped secundario a especies de plantas de más de cuarenta familias botánicas, incluyendo muchas de interés económico (Blackman & Eastop, 1984). Se distingue taxonómicamente por ser un áfido de color verde amarillento con sifones del mismo color, salvo las puntas que son más oscuras, y ligeramente hinchados en la parte distal. Además cuenta con tubérculos convergentes en las bases de sus antenas, las cuales tienden a ser de la misma longitud que su cuerpo. Su cauda es corta y puntiaguda (figura 1) (Cañedo, 1999; Nuessly & Webb, 2002). Las ninfas son amarillentas, de coloración uniforme, destacando los ojos oscuros. La ninfa recién nacida pasa por cuatro estadios en los que efectúa la correspondiente muda del exoesqueleto y del último emerge la adulta que puede ser áptera o alada (Cabello García & Belda Suarez, 1994).



El ciclo biológico de esta especie (figura 2) es heteróico holocíclico, en otras palabras se desarrolla sobre un hospedero primario y otro secundario y presenta tanto una fase sexual como una asexual (Cabello García & Belda Suarez, 1994).

Para tolerar las condiciones adversas del invierno, los áfidos atraviesan esta estación en su forma latente, huevos, en los brotes tiernos y las axilas de las yemas del duraznero. Cerca del inicio de la primavera, los huevos eclosionan y de cada uno surge una hembra fundatrix. Esta forma está adaptada, más que para alimentarse y subsistir por largos períodos de tiempo, para reproducirse en forma masiva y acelerada por medio de partenogénesis. De ella se originan nuevas hembras partenogénicas que se reproducen por dos o tres generaciones hasta que surgen las virginóparas, hembras partenogénicas aladas que emigran a un hospedero secundario (una planta herbácea, generalmente) y originan nuevas hembras partenogénicas llamadas exiliadas (Moran, 1992).



**Fig. 2.** Ciclo de vida del áfido *M. persicae* (Espinoza, 2010).

De las hembras exiliadas, que se reproducen continuamente durante los meses de verano, surgen por vía directa los machos alados de la especie y, además, una forma llamada ginópara, también alada. A finales del otoño, los machos y las ginóparas emprenden el vuelo de retorno al duraznero. Una vez ahí, las ovíparas (hembras sexuales) son originadas a partir de las ginóparas y, luego del apareamiento con los machos, realizan una nueva puesta de huevos para reiniciar el ciclo (Agarwala, 2007).

Así, durante todo el ciclo se realiza una única puesta de huevos y las demás generaciones se originan a partir de hembras partenogénicas que paren crías vivas (viviparismo), las cuales atraviesan cuatro estadios ninfales antes de alcanzar su forma adulta y poder reproducirse. Es importante recalcar que, si bien el ciclo de *M. persicae* en sus orígenes era siempre holocíclico, con la evolución de esta especie en muchos lugares el ciclo ha derivado a anholocíclico (sin fase sexual), o sea que la reproducción de la plaga se realiza netamente por la vía de la partenogénesis originando formas ápteras y aladas. Esto ocurre principalmente en lugares donde las condiciones climáticas son lo suficientemente favorables como para que los áfidos pasen el invierno en una forma activa, lo cual hace innecesaria la producción de huevos y por ende de formas sexuales (Blackman & Eastop, 1984; Moran, 1992; Agarwala, 2007). Este fenómeno es muy común en los invernaderos, donde por concepto las condiciones atmosféricas no pueden ser muy adversas.

*Myzus persicae* es considerado el áfido vector viral más versátil del mundo, pudiendo transmitir más de 100 virus vegetales distintos (Ramsey *et al.*, 2007; Raman, 1985). Indudablemente, es una de las especies más perjudiciales, específicamente sobre cultivos de hoja. En Argentina su presencia se ha registrado en plantaciones de lechuga (*Lactuca sativa*), rúcula (*Eruca sativa*), espinaca (*Spinacia oleracea*), coliflor (*Brassica oleracea* var. botrytis) y brócoli (*Brassica*

*oleracea italica*), entre otros cultivos, en tanto que en Costa Rica esta especie ha sido encontrada en cultivos alimenticios como el duraznero (*Prunus pérsica*), tomate (*Lycopersicon esculentum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y papa (*Solanum tuberosum*), también en cultivos ornamentales como dragones (*Antirrhinum majus*), chinas (*Impatiens turrialba*) y pensamientos (*Viola tricolor*) y en plantas herbáceas de surgimiento espontáneo como lechugilla (*Sonchus* sp.), mostacilla (*Brassica juncea*), ruibarbo (*Rumex* sp.) y verdolaga (*Portulaca oleracea*). (Voegtlin *et al.*, 2003; Cordo *et al.*, 2004; Díaz *et al.*, 2004). Dado lo breve de sus ciclos, su rápida dispersión y las exigencias impuestas por el mercado en términos de calidad, este áfido suele ser un factor limitante para los cultivos de hoja en ambientes protegidos.

En el territorio costarricense, los cultivos más severamente afectados por la acción fitófaga de *M. persicae* han sido las plantaciones paperas (*Solanum tuberosum*) de la región norte de la provincia de Cartago. En este cultivo, *M. persicae* es un vector eficiente de los virus PLRV, PVY, PYA, PVS y PVM, ocasionando cuantiosas pérdidas económicas cada año a los productores de papa (Rivera *et al.*, 1993; Hord & Rivera, 1998). Dentro de este contexto se ha originado un gran interés comercial por hallar alternativas eficaces para el manejo integrado de *M. persicae* en Costa Rica.

El combate de las plagas de áfidos se ha realizado tradicionalmente mediante aplicaciones de pesticidas sintéticos. Si bien estas aplicaciones logran bajar la carga de áfidos en las plantaciones, se han generado fenómenos de adquisición de resistencia, los cuales se ven acelerados por cualidades propias de la plaga como su alto potencial reproductivo y su rapidez para completar ciclos de vida (Radcliffe *et al.*, 1996; Carballo *et al.*, 2004).

La adquisición de resistencia por parte de la plaga y la baja especificidad de los pesticidas, que suelen afectar más gravemente a enemigos naturales de los áfidos que a la plaga en sí, han conllevado a que el combate químico de la plaga se realice aumentando las dosis de pesticidas. Este tipo de estrategia ha ocasionado una acumulación de residuos tóxicos en la cadena alimenticia, lo cual va en detrimento de la salud de los consumidores. Esta situación ha obligado a los técnicos a buscar mejores alternativas en el manejo de la plaga (Radcliffe *et al.*, 1996; Casals, 2001; Tsipouridis *et al.*, 2004).

Una de las alternativas para el combate de plagas con que se cuenta en la actualidad es el control biológico ejercido por los enemigos naturales (predadores y parasitoides). Este tipo de estrategias, amigables con el medio ambiente, satisface la creciente demanda de productos sanos y libres de agroquímicos (Carballo *et al.*, 2004).

#### **2.4. *Aphidius colemani* y otros enemigos naturales de áfidos**

En la actualidad, se han identificado una gran cantidad de insectos, predadores y parasitoides, capaces de actuar como agentes biológicos para el combate de los áfidos. Por ejemplo, entre los predadores de *M. persicae* se destacan *Coccinella septempunctata*, *Harmonia axyridis*, *Scymnus* spp y *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae), *Chrysopa carnea*, *C. perla*, *C. vulgaris* (Neuroptera: Chrysopidae) y *Scaeva pyrastris*, *Syrphus ribesii* y *Episyrphus balteatus* (Diptera: Syrphidae). Además, algunos ejemplos relevantes de parasitoides son *Aphidius colemani*, *A. matricariae*, *Praon volucre*, *P. myzophagus* (Hymenoptera: Braconidae), *Diplazon letatorius* (Hymenoptera: Ichneumonidae); *Syrphophagus aeruginosus* y *Trichostereis syrphii* (Hymenoptera: Encyrtidae); *Aphelinus asychis* y *A. albipodus* (Hymenoptera:

Aphelinidae) y *Telenomus acrobatis* (Hymenoptera: Scelionidae) (Núñez *et al.*, 1992; Tsipouridis *et al.*, 2004; Trandafirescu *et al.*, 2004; Tatsumi & Takada, 2005).

Entre la gran variedad de parasitoides himenópteros se destaca la especie *Aphidius colemani* Viereck, originaria del Norte de la India o Pakistán y que actualmente se encuentra en Norte y Sur de América, Europa y Australia (Starý, 1975). Es miembro de la subfamilia Aphidiidae (Hymenoptera: Braconidae) constituida por más de 400 especies distribuidas por todo el mundo. Todas las especies son endoparásitos solitarios y específicos de áfidos (Starý, 1976; Kavallieratos *et al.*, 2001; Aslan *et al.*, 2004). Los adultos son avispas de 2-3 mm y tienen el cuerpo negruzco con antenas largas (figura 3).



**Fig. 3.** Vista macroscópica de una hembra de *A. colemani* (Espinoza, 2010).

Las hembras, dotadas de una elevada capacidad de búsqueda, son capaces de ubicar el hábitat de sus hospederos mediante señales atrayentes de radiación electromagnética (percibida visualmente), sonido y olor. Actualmente, existe una gran variedad de trabajos donde se ha estudiado la respuesta de los braconidos a señales de olor mediante el uso de olfatómetros o túneles de viento (Ojeda *et al.*, 2001; Douloupaka & Van Emden, 2003; Lo Pinto *et al.*, 2004; Segura *et al.*, 2007; Martínez & Hardie, 2009). Estos insectos se guían en la búsqueda de huéspedes mediante la percepción de señales químicas emitidas por la planta infestada y por la plaga, como sería el caso de feromonas y/o excreciones. Estas señales químicas liberadas por la plaga y que representan un medio para facilitar que sus enemigos naturales la localicen y la ataquen, son llamadas kairomonas.

Es comúnmente aceptado que los compuestos volátiles liberados por la planta atacada pueden ser detectados a mayores distancias que las kairomonas, debido a que la relación de biomasa entre la planta y la plaga es favorable hacia la primera, de manera que las hembras del parasitoide deben primeramente ubicar el hábitat de sus hospederos y, posteriormente, ubicar a sus huéspedes en la planta (Braithwaite & Van Emden, 1994; Rutledge & Wiedenmann, 1999; Lo Pinto *et al.*, 2004).

Una vez que las hembras de *A. colemani* han localizado una población de áfidos, se acercan azarosamente a un individuo y, mediante toques con sus antenas y su ovipositor, realizan pruebas de contacto, olfativas y gustativas para determinar si es apto para ser parasitado (Sampaio<sup>1</sup> *et al.*,

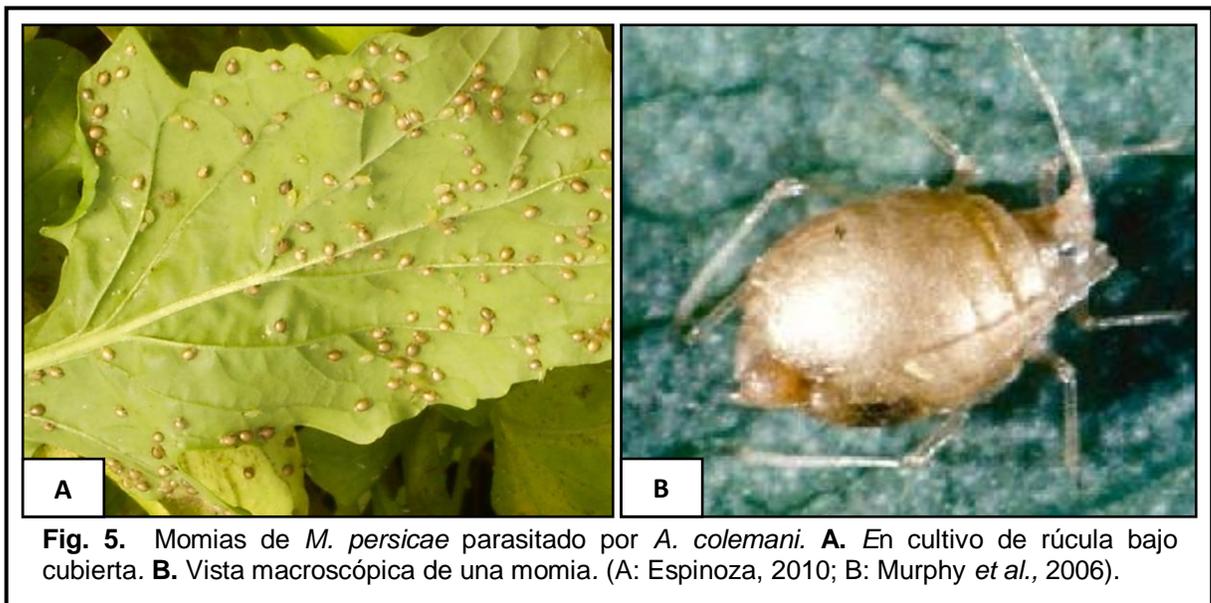


**Fig. 4.** Hembra de *A. colemani* parasitando un ejemplar de *M. persicae* sobre rúcula (Espinoza, 2010).

2001; Sampaio<sup>2</sup> *et al.*, 2001). Cuando ha encontrado un huésped adecuado, la hembra del parasitoide curva su cuerpo, pasando su abdomen bajo su tórax y entre sus patas, para llevar su ovipositor hasta el áfido y perforarlo para así colocar un huevo en su interior (figura 4). Usualmente la hembra coloca un huevo por huésped y en los casos de superparasitismo sólo un parasitoide por huésped es capaz de completar su desarrollo. Por este motivo, *A. colemani* es catalogado como un parasitoide solitario (Van Driesche *et al.*, 2007).

*Aphidius colemani* es un parasitoide koinobionte, esto significa que el áfido parasitado no muere inmediatamente, sino que a medida que la larva del parasitoide se desarrolla, va consumiendo el interior de su huésped y termina por matarlo justo

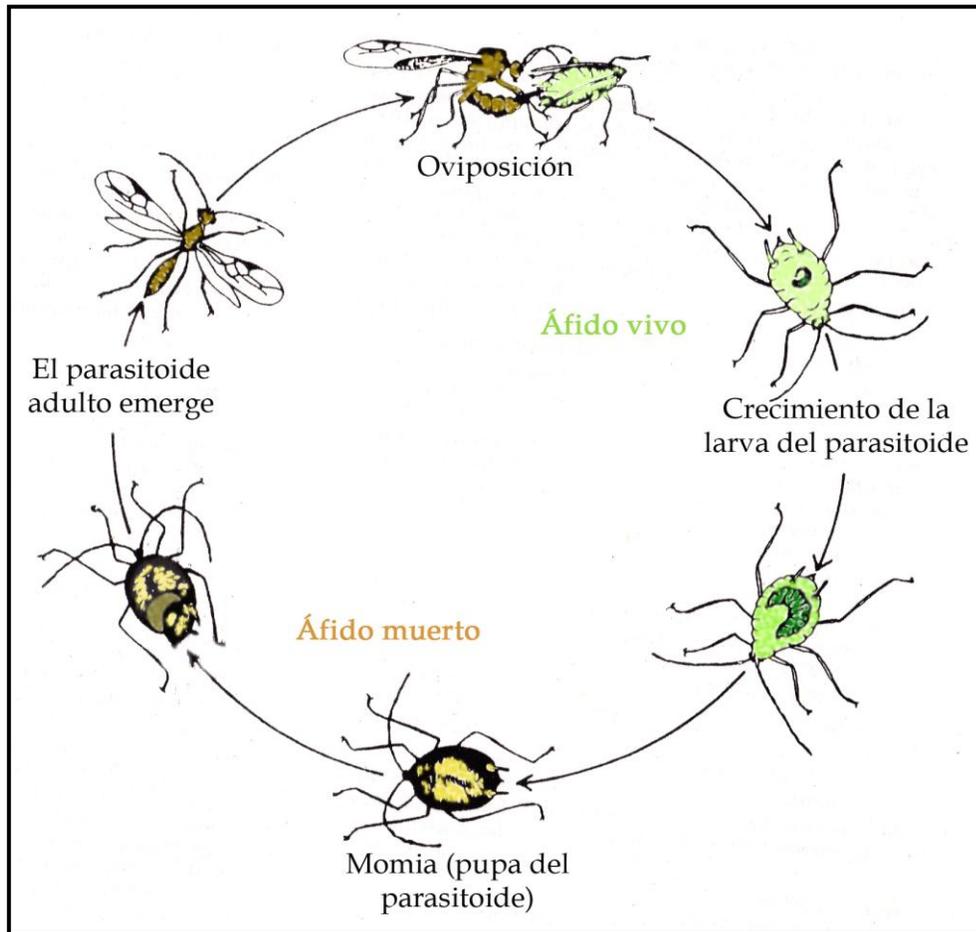
antes de su transformación a pupa. Para ese momento, la larva se encuentra cubierta por la piel de un áfido sin vida. Entonces, la larva recorta un pequeño agujero en el vientre de la piel de su hospedero y utiliza una secreción de sus glándulas de seda para adherirse a la superficie de la planta. Luego, se cubre con un capullo e inicia la formación de la pupa, al tiempo que la piel del áfido se endurece y cambia de color. A este áfido parasitado sin entrañas, de aspecto inflado y coloración dorada se le llama “momia” (figura 5) (Hagvar & Hofsvang, 1991).



De esta momia, a través de un orificio redondo emerge el nuevo adulto, que puede ser hembra (si proviene de un huevo previamente fertilizado mediante unión sexual) o macho (huevo no fertilizado). La vida del adulto suele comprender 2-3 semanas, alcanzando un pico máximo de fecundidad en los tres primeros días.

El tiempo de desarrollo de *A. colemani* (huevo – adulto) (figura 6) abarca aproximadamente 12-14 días a temperaturas de 20-21 °C (Hagvar & Hofsvang, 1991). Las hembras presentan una elevada fecundidad y frecuencia de oviposición, de manera que son capaces de parasitar hasta 400 áfidos a lo largo de su vida (Rodríguez *et al.*, 2003; Torres *et al.*, 2007). Además actúa de forma indirecta, pues

la presencia del parasitoide en una planta infestada genera la liberación de una feromona de alarma en los áfidos, ocasionando que estos caigan de la planta sin siquiera ser atacados (Ives *et al.*, 1999).



**Fig. 6.** Ciclo biológico de *A. colemani* (Hagvar & Hofsvang, 1991).

*Aphidius colemani* es comercializado en muchos países del mundo, principalmente para el combate de *Myzus persicae* y *Aphis gossypii* en cultivos hortícolas y ornamentales, siendo particularmente efectivo cuando se le emplea en sistemas bajo cubierta (Van Steenis, 1995; Takada, 2002; Schelt & Wäckers, 2003).

## **2.5. La asociación planta – áfido *propuesta para el sistema de “hospedera alternativa”***

La avena (*Avena sativa*) es una planta herbácea anual de fecundación autógena, perteneciente a la familia de las gramíneas, de hojas planas y alargadas, con raíces fibrosas abundantes y profundas (Assefa, 2006). Es considerada una planta de estación fría, muy sensible a las altas temperaturas.

Dado que su coeficiente de transpiración es relativamente alto, sus necesidades hídricas son las más elevadas de todos los cereales de invierno, aunque le puede perjudicar un exceso de humedad. Es una planta rústica, poco exigente en cuanto a suelo, pues se adapta a terrenos muy diversos. Prefiere los suelos profundos y arcillo-arenosos, ricos en cal y que retengan humedad (García, 2007).

*Rhopalosiphum padi*, conocido como el “pulgón de la avena”, es un áfido de aproximadamente 1,5 - 2,3 mm, de color verde oliva pardo con manchas rojizas características en la base de los sifones y la cauda. Las patas son del mismo color que el cuerpo. Sus antenas son cortas con seis segmentos antennales. Sus sifones se afinan hacia el ápice y son de color más claro que el cuerpo (Imwinkelried *et al.*, 2004). Su hospedero primario es el cerezo aliso (*Prunus padus*) y tiene la capacidad de desarrollarse sobre gramíneas (principalmente avena, maíz, trigo y cebada) como hospederas secundarias. Debido a lo poco común de su hospedero primario, el cual se encuentra escasamente en Europa, Asia y África, suele reproducirse por vía anholocíclica sobre gramíneas como la avena (Simon *et al.*, 1996).

El pulgón verde del duraznero, *M. persicae*, es muy diferente a *R. padi*. Existen diferencias taxonómicas evidentes y también a nivel de sus hábitos de alimentación, principalmente porque el primero se alimenta de hortalizas mientras el segundo lo hace exclusivamente de gramíneas y por lo general no es capaz de habitar en plantas dicotiledóneas (Rodríguez *et al.*, 2003). No obstante, tienen en común al parasitoide *A. colemani* como enemigo natural. Numerosos estudios respaldan la capacidad del parasitoide *A. colemani* de parasitar y desarrollarse sobre *R. padi* (Messing & Rabasse, 1995; Bezemer *et al.*, 2005; Ode *et al.*, 2005).

Ante este panorama, investigadores como Andorno *et al.* (2007) sugieren que el sistema de hospedera alternativa resultante de introducir en el cultivo de rúcula, plantas de avena como hospedera y *R. padi* como huésped alternativo del parasitoide *A. colemani*, enemigo natural del áfido plaga *M. persicae*; es una opción promisoriosa para potenciar el accionar biocontrolador de *A. colemani* sobre los cultivos de rúcula infestados con *M. persicae* sin que los herbívoros introducidos pongan en riesgo la limpieza fitosanitaria del cultivo.

## **2.6. Importancia de las pruebas de preferencia**

Como se mencionó anteriormente, el proceso de selección de huésped realizado por las hembras de *A. colemani* implica una serie de pasos, desde la localización del hábitat del huésped hasta la aceptación y regulación de su fisiología por parte de las larvas del parasitoide. La aceptación de un huésped depende de su reconocimiento como un sitio apto para la oviposición, alimentación y desarrollo de las formas jóvenes del parasitoide (Hagvar & Hofsvang, 1991).

La realización de un estudio donde se emplee el sistema de hospedera alternativa implica que el parasitoide debe elegir entre dos opciones: 1) la planta hospedera alternativa + el pulgón alternativo y 2) el cultivo + la plaga. Ante esta situación, el insecto podría responder parasitando en mayor medida una de ambas opciones o podría parasitar ambas de manera semejante. Esto implica que el parasitoide debe reconocer las señales físicas y químicas de cada asociación planta - áfido y manifestar si tiene preferencia por alguna de ellas. Una manera de medir este efecto podría ser a través de la cantidad de áfidos que decide parasitar en cada asociación.

Además de los estímulos ya descritos mediante los cuales un parasitoide se guía en la selección de su huésped pueden existir otro tipo de factores condicionantes de su preferencia por un huésped en particular. Sands & Van Driesche (2002) sugieren que este puede ser el caso de la experiencia previa de los parasitoides con una asociación planta hospedera - fitófago huésped.

Se ha demostrado que si al emerger un parasitoide, éste entrara en contacto con cadáveres o con productos de su fitófago huésped, su preferencia podría verse alterada, inclinándose hacia el huésped del cual emergió. No obstante, esto es solamente una posibilidad, en algunos casos la experiencia de oviposición de un parasitoide no condiciona su preferencia por algún fitófago huésped (Ojeda *et al.*, 2001; Sands & Van Driesche, 2002).

Existen buenas razones para estudiar la preferencia de un agente de control biológico. Los motivos para realizar este tipo de estudios pueden originarse en la necesidad de probar la especificidad de un agente de control biológico, o bien, de generar conocimientos que puedan ser aprovechados para estructurar una estrategia

de manejo ecológico que permita optimizar el rendimiento del biocontrolador en cuestión (Rutledge & Wiedenmann, 1999; Raffa *et al.*, 2002).

Según Sampaio<sup>1</sup> *et al.* (2001), existen dos formas de evaluar la preferencia de un parasitoide. La primera es a través de la proporción de huéspedes parasitados en función del número de huéspedes ofrecidos y la segunda consiste en relacionar las cifras de huéspedes aceptados y rechazados con la cantidad de encuentros del parasitoide con un huésped.

Las pruebas con opción consisten en ofrecer al agente de control biológico dos o más posibles hospederos al mismo tiempo, entre los cuales suele estar la especie “blanco” (sobre la cual se desea estudiar su acción biocontroladora). Presentan la ventaja de que permiten estudiar el comportamiento de selección del agente de biocontrol en condiciones donde los insectos encuentran varios posibles hospederos y son capaces de percibir sus señales atrayentes en un mismo espacio temporal.

Por otro lado, en las pruebas sin opción cada posible hospedero es presentado por separado al parasitoide, esto con el propósito de observar hasta donde es capaz de afectar este agente de control a la especie fitófaga ofrecida. Son consideradas pruebas rigurosas donde se fuerza al parasitoide a elegir entre actuar sobre la especie ofrecida o no actuar. De esta forma se procura disminuir la posibilidad de obtener falsos negativos, ya que en las pruebas con opción las especies ligeramente atrayentes podrían ser ignoradas por el parasitoide si éste se enfoca a oviponer exclusivamente en otras especies que le generan mayor atracción (Edwards, 1999).

Las pruebas con y sin opción son complementarias. Al realizar ambas de manera apropiada, es posible comprender a fondo el comportamiento de selección del parasitoide estudiado, lo cual faculta al investigador para sugerir una estrategia de manejo apropiado con miras a potenciar la acción biocontroladora de dicho parasitoide sobre la especie blanco. Dentro de una estrategia de hospedera alternativa, la meta debe ser hallar el escenario donde se facilite la ocurrencia de dos procesos beneficiosos en paralelo: la acción biocontroladora en el cultivo y la multiplicación del biocontrolador en la hospedera alternativa.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo general

Estudiar la preferencia del parasitoide de áfidos, *Aphidius colemani*, entre las asociaciones rúcula - *Myzus persicae* y avena - *Rhopalosiphum padi*.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Evaluar, en términos del parasitismo logrado, si el origen previo del parasitoide afecta la elección de una asociación planta hospedera - áfido huésped.
- Determinar el tiempo de desarrollo del parasitoide en los períodos comprendidos de huevo a pupa y de pupa a adulto en las distintas asociaciones planta hospedera - áfido huésped.
- Estimar algunos parámetros biológicos del parasitoide en las distintas asociaciones planta hospedera - áfido huésped.
- Estudiar la supervivencia y la fecundidad correspondiente a los adultos en las distintas asociaciones planta hospedera - áfido huésped.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el Laboratorio del Insectario de Investigaciones para Lucha Biológica, perteneciente al Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola (IMyZA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicado en Castelar, provincia de Buenos Aires, Argentina.

El material vegetal empleado se cultivó en un invernadero de vidrio con una temperatura controlada, con el fin de asegurar la disponibilidad de las plantas necesarias a lo largo de la investigación. Los áfidos huéspedes y el parasitoide utilizados en esta investigación, procedieron de crías mantenidas durante más de 10 generaciones en las instalaciones del laboratorio. A continuación se describen estas crías:

- Crías de áfidos:
  - *M. persicae* criado sobre rúcula.
  - *R. padi* criado sobre avena.
  
- Crías de parasitoide:
  - *A. colemani* criado sobre rúcula - *M. persicae*.
  - *A. colemani* criado sobre avena - *R. padi*.

Estas crías se iniciaron a partir de material recolectado en cultivos orgánicos de hortalizas de hoja en Los Cardales, provincia de Buenos Aires en el 2003.

Antes de iniciar con los experimentos se realizó un entrenamiento básico sobre la correcta manipulación de los insectos, el reconocimiento de los estadios ninfales de los áfidos y el sexado de los adultos del parasitoide.

Para las pruebas de preferencia, se utilizó el sistema de hospedera alternativa compuesto por *Eruca sativa* (rúcula) - *Myzus persicae* como la asociación “cultivo – plaga”, *Avena sativa* (avena) - *Rhopalosiphum padi* como la asociación “hospedera alternativa - áfido alternativo”, y el parasitoide *Aphidius colemani* (figura 7).

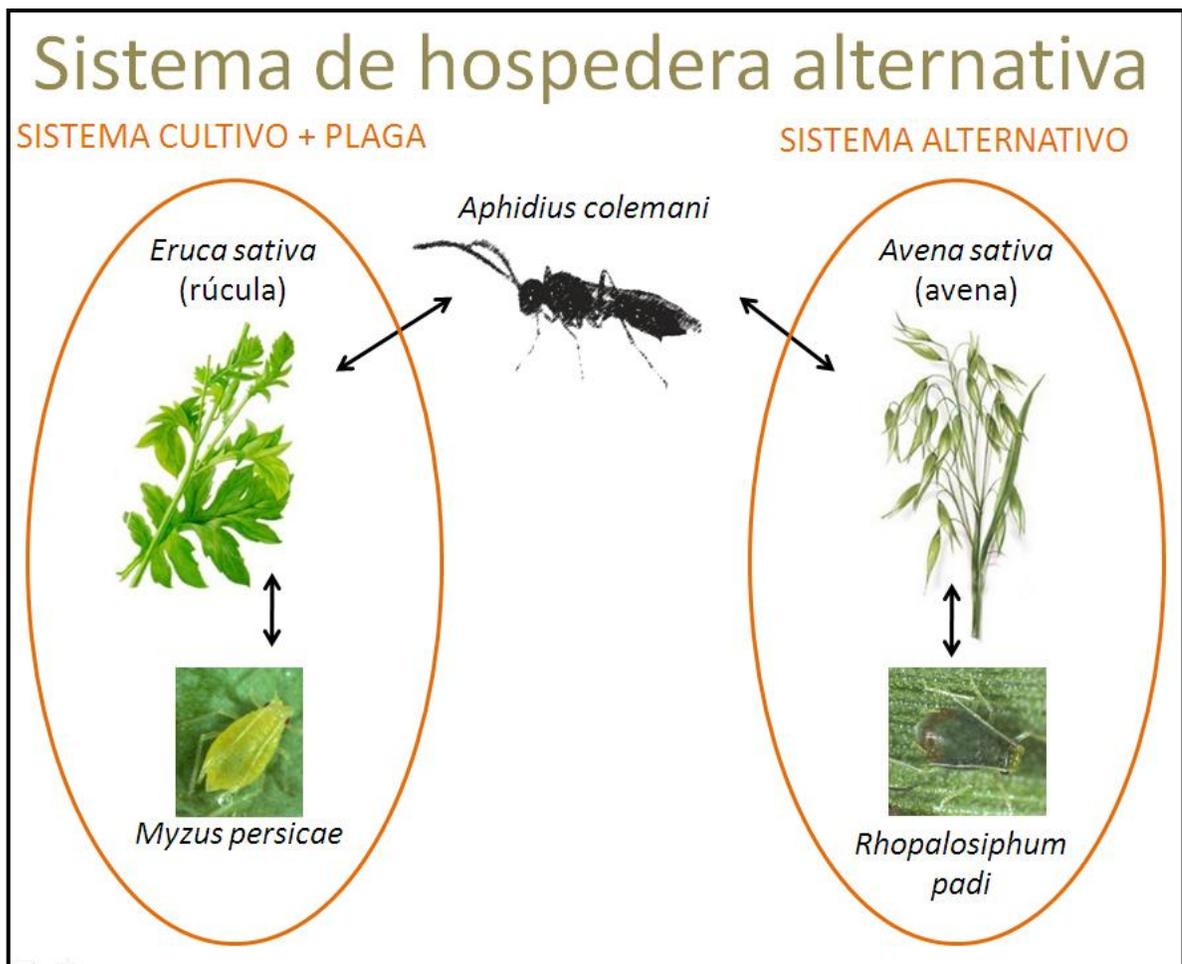


Fig. 7. Componentes del sistema tri-trófico estudiado (Espinoza, 2010).

A continuación se describen los tratamientos evaluados:

TABLA 1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS				
Tipo de prueba	Tratamiento	Material vegetal empleado	Áfido empleado	Procedencia del parasitoide
Sin opción	Rúcula (R)	Rúcula	<i>M. persicae</i>	Rúcula - <i>M. persicae</i>
Sin opción	Avena (A)	Avena	<i>R. padi</i>	Avena - <i>R. padi</i>
Con opción	Mixto (M <sub>Mp</sub> ) <sup>*</sup>	Avena + Rúcula	<i>R. padi</i> (en avena) + <i>M. persicae</i> (en rúcula)	Rúcula - <i>M. persicae</i>
Con opción	Mixto (M <sub>Rp</sub> ) <sup>*</sup>	Avena + Rúcula	<i>R. padi</i> (en avena) + <i>M. persicae</i> (en rúcula)	Avena - <i>R. padi</i>

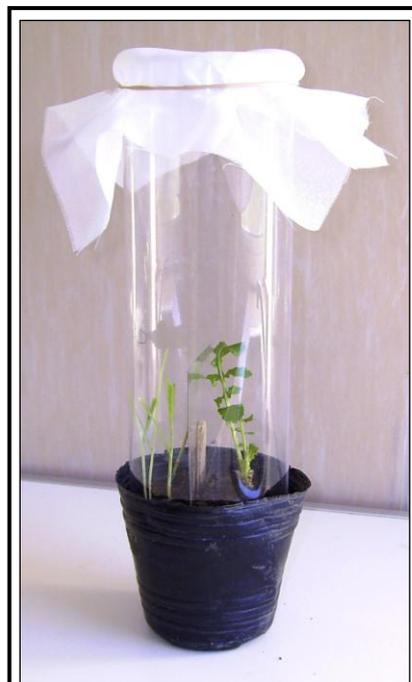
\* Tratamientos mixtos: Se les asignó la letra M y un subíndice, Mp (*Myzus persicae*) o Rp (*Rhopalosiphum padi*), para distinguir entre los tratamientos mixtos de ambas procedencias.

Los tratamientos del tabla 1 fueron evaluados en pruebas de laboratorio bajo las siguientes condiciones ambientales: 22°C, 50-70% HR y fotoperíodo 12L:12O utilizando una incubadora vegetal Peet Lab® modelo MGC-350HPY-2 .

#### 4.1. Prueba CON opción (tratamientos mixtos)

##### a. Experimento 1: Parasitismo y tiempo de desarrollo

La unidad experimental consistió en una maceta de ¼ litro con tres plantas de avena con tres días de crecimiento desde su germinación y una planta de rúcula con dos hojas verdaderas. Estas macetas fueron cubiertas por un cilindro hueco de acetato de aproximadamente 25 cm de altura, cuyo extremo superior fue cubierto por una malla de voile fina sujeta por una banda elástica. En la maceta, las plantas de avena ocuparon una mitad y la de rúcula la mitad restante. Para separar físicamente las especies vegetales, se colocó entre ellas una lámina de acetato (figura 8).



**Fig. 8.** Unidad experimental empleada en el experimento 1 (Espinoza, 2010).

En cada unidad experimental, las plantas de rúcula y avena fueron infestadas con 100 ninfas de 2<sup>o</sup>-3<sup>o</sup> estadio de *M. persicae* y *R. padi* respectivamente.

Mediante pruebas de opción doble se probaron sobre el sistema rúcula / avena – *Myzus persicae* / *Rhopalosiphum padi* las siguientes procedencias del parasitoide:

- criado sobre la asociación rúcula - *M. persicae* (estudiada en tratamiento M<sub>Mp</sub>).
- criado sobre la asociación avena - *R. padi* (estudiada en tratamiento M<sub>Rp</sub>).

Hembras fecundadas del parasitoide (n=20), de menos de 24 horas de vida y sin experiencia previa de oviposición fueron expuestas individualmente a las plantas de rúcula y avena infestadas dentro de las unidades experimentales. Transcurridas 48 horas se retiró la hembra del parasitoide y se registró el número de ninfas del/de los huésped/es parasitados (momias). Las momias obtenidas fueron individualizadas en tubos hasta la emergencia de los adultos.

Para estimar el porcentaje de parasitismo se empleó la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Cantidad de momias observadas}}{\text{Cantidad de pulgones ofrecidos inicialmente}} \cdot 100$$

También se estimó el tiempo de desarrollo en días, discriminado entre huevo-pupa y entre pupa- adulto.

El análisis estadístico de los resultados obtenidos para porcentaje de parasitismo se llevó a cabo mediante una prueba de bondad de ajuste con repeticiones, y un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores (procedencia y asociación planta-huésped) fue empleado para analizar el tiempo de desarrollo (Sokal & Rohlf, 1981).

### ***b. Experimento 2: Parámetros poblacionales, supervivencia y fecundidad***

En este ensayo, la unidad experimental fue ligeramente distinta. Se utilizaron macetas más pequeñas con una sola asociación planta - áfido, tres plantas de avena infestadas con *R. padi* o una planta de rúcula infestada con *M. persicae*. Las macetas fueron cubiertas por un cilindro hueco de acetato similar al empleado en el experimento 1 (figura 9).

De las momias obtenidas en el experimento 1, para cada una de las asociaciones planta - áfido y para cada procedencia del parasitoide, se tomaron al azar 10 hembras previamente fecundadas, con menos de 24 horas de vida y sin experiencia previa de oviposición y colocaron individualmente dentro de una unidad experimental conteniendo la misma asociación planta - áfido de la cual habían emergido, según fuera el caso para cada hembra en particular.



**Fig. 9.** Unidad experimental empleada en los experimentos 2 y 4 (Espinoza, 2010).

Las plantas y los áfidos de las unidades experimentales fueron renovados diariamente, ofreciendo pulgones en cantidades decrecientes, de la siguiente manera:

- Día 1 - 3: 100 pulgones.
- Día 4 - 6: 50 pulgones.
- Día 7- muerte del parasitoide: 25 pulgones.

Se registró la cantidad de días de vida y la cantidad de momias originadas a través de ese tiempo por cada una de las hembras del parasitoide. A partir de la confección de tablas de vida se estimaron los siguientes parámetros poblacionales mediante el programa TABLAVI (La Rossa y Kahn, 2003):

- Tasa reproductiva neta ( $R_0$ ), definida como el promedio de descendientes producidos por cada hembra por generación.
- Tasa intrínseca de crecimiento natural ( $r_m$ ), definida como la cantidad de descendientes producidos por cada hembra por día. Representa el crecimiento poblacional de tipo instantáneo. La  $r_m$  se calculó mediante sucesivas iteraciones de la ecuación de Lotka (Southwood, 1994):

$$\sum l_x m_x e^{-r_m x} = 1$$

- Tiempo generacional medio (T), definido como el promedio de tiempo que transcurre entre el nacimiento de un individuo y el nacimiento de uno de sus descendientes.
- Tiempo de duplicación (D), definido como el tiempo requerido por una población para duplicar su número.

Las posibles diferencias entre los tratamientos estudiados fueron determinadas mediante un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores (procedencia del parasitoide y asociación planta - huésped ofrecida). Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ) (Sokal & Rohlf, 1981).

La supervivencia del adulto del parasitoide ( $l_x$ ), se definió como la proporción de individuos de una cohorte inicial que sobrevive hasta la edad  $x$  (expresada en días). La fecundidad específica por edades de los adultos ( $m_x$ ) se expresó como el promedio de áfidos parasitados (=momias)/♀/día.

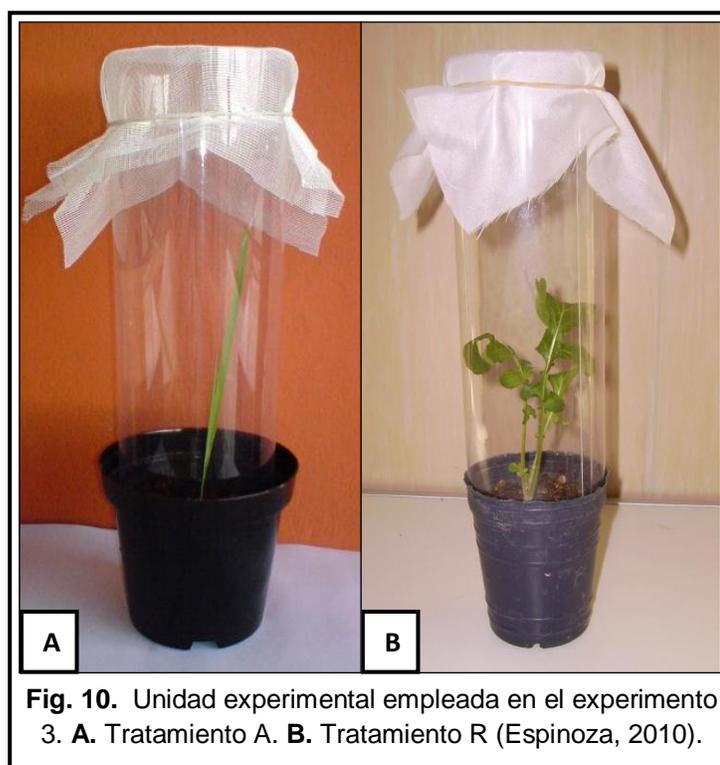
Además, se obtuvo el valor de mediana de supervivencia ( $l_{x\ 50}$ ), definida como la edad (en días) en la cual la mitad de la población de hembras del parasitoide habían muerto, para cada cohorte estudiada.

Las curvas de supervivencia se analizaron siguiendo el método Kaplan-Meier. Se utilizó la prueba estadística de Wilcoxon para comprobar la homogeneidad entre las cohortes estudiadas. Este análisis fue elegido por ser el más adecuado para los datos con los que se trabajó (curvas que se cruzan entre sí) (Gramatges, 2002).

## 4.2. Prueba SIN opción (tratamientos R y A)

### a. Experimento 3: Parasitismo y tiempo de desarrollo

La unidad experimental consistió en una maceta de ¼ litro con cuatro plantas de avena con tres días de crecimiento desde su germinación o una sola planta de rúcula con dos hojas verdaderas. La maceta fue cubierta por un cilindro hueco de acetato de aproximadamente 25 cm de altura, cuyo extremo superior fue cubierto por una malla de voile fina sujetada por una banda elástica (figura 10).



En cada unidad experimental, las plantas de rúcula y avena fueron infestadas con 200 ninfas de 2<sup>o</sup>-3<sup>o</sup> estadio de *M. persicae* y *R. padi* respectivamente.

Sobre el sistema rúcula - *M. persicae* y avena - *R. padi* se probaron nuevamente las distintas procedencias del parasitoide, pero esta vez mediante pruebas sin opción. Este ensayo se condujo siguiendo la misma metodología que el experimento 1.

El análisis estadístico de los resultados obtenidos para porcentaje de parasitismo y tiempo de desarrollo se llevó a cabo mediante un análisis de varianza (ANOVA).

***b. Experimento 4: Parámetros poblacionales, supervivencia y fecundidad***

Se condujo siguiendo la misma metodología que el experimento 2.

Los resultados obtenidos para los parámetros poblacionales fueron analizados mediante un ANOVA.

Las curvas de supervivencia se analizaron siguiendo el método Kaplan-Meier. Se utilizó la prueba estadística Log-rank para comprobar la homogeneidad entre las cohortes estudiadas. Este análisis fue elegido por ser el más adecuado para los datos con los que se trabajó (curvas que no se entrecruzan) (Gramatges, 2002).

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Prueba CON opción

#### a. Experimento 1: Parasitismo y tiempo de desarrollo

Los resultados obtenidos para el parasitismo de *A. colemani* en las pruebas con opción realizadas en el laboratorio, se presentan a continuación en la tabla 2:

**Tabla 2.** Cantidad de momias y porcentaje de parasitismo (media  $\pm$  EE) de *Aphidius colemani* según su procedencia y la asociación planta - áfido ofrecida.

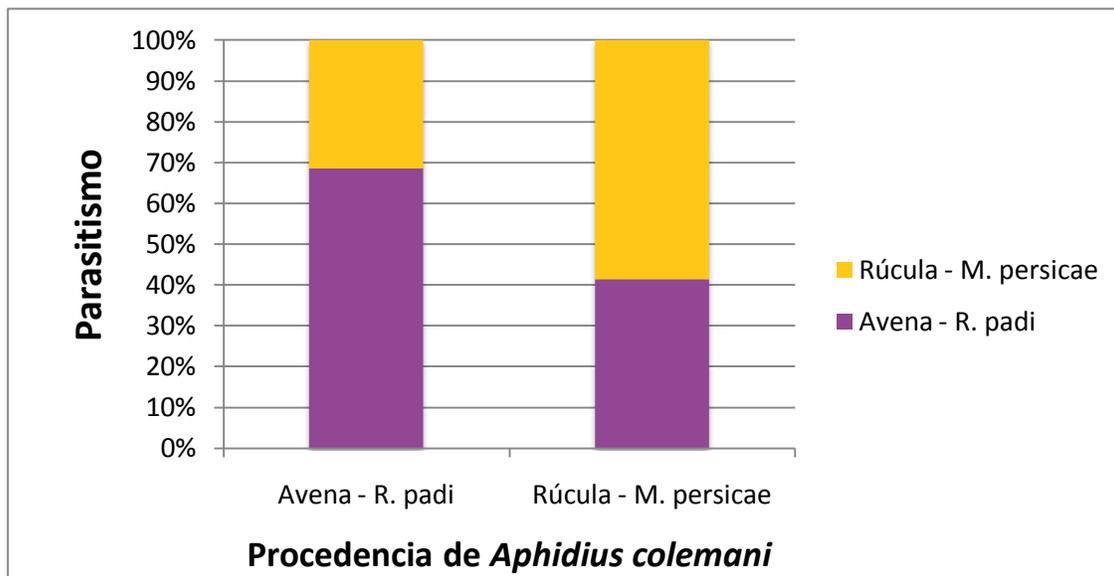
Procedencia del parasitoide	Asociación planta-áfido	N	Cantidad de momias	% Parasitismo observado*	% Parasitismo relativo**
Avena - <i>R. padi</i>	Avena - <i>R. padi</i>	18	34,94 $\pm$ 3,97	34,94	69
	Rúcula - <i>M. persicae</i>	17	16,12 $\pm$ 3,67	16,12	31
Rúcula - <i>M. persicae</i>	Avena - <i>R. padi</i>	18	6,33 $\pm$ 1,00	6,33	41
	Rúcula - <i>M. persicae</i>	17	9,00 $\pm$ 1,39	9,00	59

\* Se calculó como cantidad de momias \* pulgones ofrecidos / 100.

\*\* Proporción de momias correspondientes a cada asociación planta - áfido. Se calculó para cada procedencia.

Los máximos valores de cantidad de momias y parasitismo observado los mostraron los parasitoides de la procedencia avena - *R. padi* para ambas asociaciones planta - áfido ofrecidas.

El parasitismo relativo sobre cada asociación planta hospedera - áfido huésped fue desigual con un porcentaje mayor sobre su huésped original. Se obtuvo un 69% de parasitismo sobre la asociación avena - *R. padi*, cuando ésta misma fue su procedencia; y un 59% sobre rúcula - *M. persicae* al estudiar el parasitoide procedente de esta asociación. Prueba de Bondad de Ajuste con repeticiones: procedencia avena - *R. padi* estadístico  $G= 123,32$ ; g.l.=1;  $P<0,05$ ; procedencia rúcula - *M. persicae* estadístico  $G= 7,064$ ; g.l.=1;  $P<0,05$  (figura 11).



**Fig. 11.** Porcentaje de parasitismo de *Aphidius colemani* en pruebas de opción doble según el origen previo del parasitoide.

Mediante la observación directa de los áfidos parasitados se determinó el tiempo de desarrollo de huevo a pupa y de pupa a adulto. Se consideró que el estado de pupa coincide con la formación de la momia (Hagvar & Hofsvang, 1991).

Para evaluar si la procedencia influye sobre algunos parámetros biológicos y poblacionales de *A. colemani* se empleó un ANOVA de dos factores: **Procedencia** del parasitoide (criado sobre la asociación avena - *R. padi* y criado sobre la asociación rúcula - *M. persicae*) y **Asociación** planta - áfido ofrecida (avena - *R. padi* y rúcula - *M. persicae*).

La tabla 3 muestra el tiempo de desarrollo expresado en días de los períodos huevo - pupa y pupa-adulto para cuatro cohortes de *Aphidius colemani*. Para el período huevo - pupa, la interacción “Procedencia × Asociación” resultó significativa ( $F_{(3, 69)}=4,63$ ;  $p=0,0349$ ). Para el período pupa-adulto se observó un efecto significativo de la procedencia ( $F_{(1,69)} = 34,67$ ;  $p<0,001$ ), mostrando una mayor duración de este período cuando el parasitoide fue criado sobre rúcula - *M. persicae*.

**Tabla 3.** Tiempo de desarrollo (media  $\pm$  EE) de *Aphidius colemani* según su procedencia y la asociación planta - áfido ofrecida.

<b>Procedencia del parasitoide</b>	<b>Asociación planta-áfido</b>	<b>N</b>	<b>Huevo- pupa (días)</b>	<b>Pupa- adulto (días)</b>
Avena - <i>R. padi</i>	Avena - <i>R. padi</i>	20	8,11 $\pm$ 0,11a	4,97 $\pm$ 0,12 a
	Rúcula - <i>M. persicae</i>	20	8,13 $\pm$ 0,13 a	5,17 $\pm$ 0,18 a
Rúcula - <i>M. persicae</i>	Avena - <i>R. padi</i>	20	8,71 $\pm$ 0,16 b	5,90 $\pm$ 0,09 b
	Rúcula - <i>M. persicae</i>	20	7,96 $\pm$ 0,23 a	5,75 $\pm$ 0,12 b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p<0.05$ ). ANOVA, Test de Tuckey.

**b. Experimento 2: Parámetros poblacionales, supervivencia y fecundidad**

No se observaron diferencias significativas en la tasa reproductiva neta ( $R_0$ ) entre las cuatro cohortes estudiadas ( $F_{(1,34)}=1,236$ ;  $p=0,273$ ). De igual manera ocurrió para el tiempo de duplicación (D) ( $F_{(1,28)}=0,53$ ;  $p=0,472$ ).

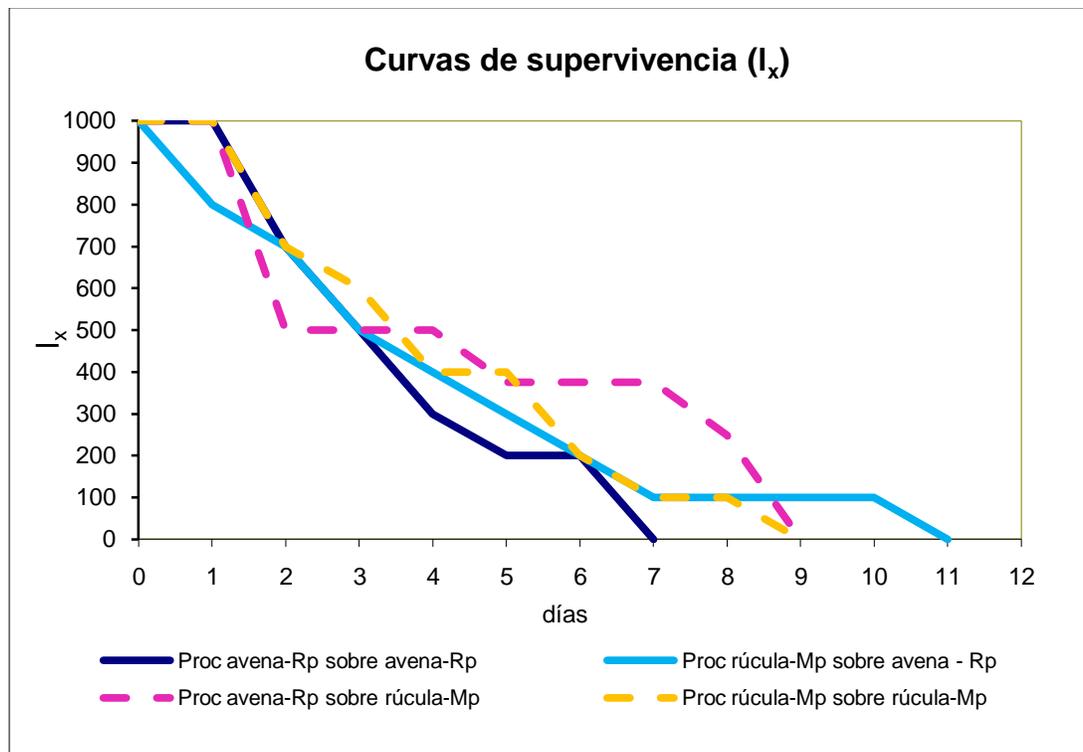
Por otro lado, la tasa intrínseca de crecimiento ( $r_m$ ) fue significativamente mayor cuando la procedencia del parasitoide fue rúcula - *M. persicae* ( $F_{(1,34)}=8,85$ ;  $p=0,0054$ ), mientras que el tiempo generacional medio (T) fue menor para esta misma procedencia ( $F_{(1,28)}= 15,72$ ;  $p<0,001$ ) (Tabla 4).

**Tabla 4.** Parámetros poblacionales (media  $\pm$  EE) de *Aphidius colemani* según su procedencia y la asociación planta - áfido ofrecida.

Procedencia del parasitoide	Asociación planta-áfido	N	$R_0$	$r_m$	T	D
Avena - <i>R. padi</i>	Avena - <i>R. padi</i>	10	20,240 $\pm$ 5,913 a	0,190 $\pm$ 0,017 a	16,074 $\pm$ 0,495 a	3,613 $\pm$ 0,344 a
	Rúcula - <i>M. persicae</i>	8	23,668 $\pm$ 13,71 a	0,195 $\pm$ 0,045 a	17,458 $\pm$ 0,404 a	3,233 $\pm$ 1,205 a
Rúcula - <i>M. persicae</i>	Avena - <i>R. padi</i>	10	39,075 $\pm$ 6,579 a	0,250 $\pm$ 0,009 b	14,731 $\pm$ 0,327 b	2,771 $\pm$ 0,102 a
	Rúcula - <i>M. persicae</i>	10	28,587 $\pm$ 4,301 a	0,222 $\pm$ 0,008 b	15,188 $\pm$ 0,255 b	3,124 $\pm$ 0,115 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p<0.05$ ). ANOVA, Test de Tuckey.

Las curvas de supervivencia ( $l_x$ ) obtenidas para las cuatro cohortes estudiadas se presentan a continuación, en la figura 12:



**Fig. 12.** Curvas de supervivencia de hembras de *A. colemani* para las cuatro cohortes estudiadas.

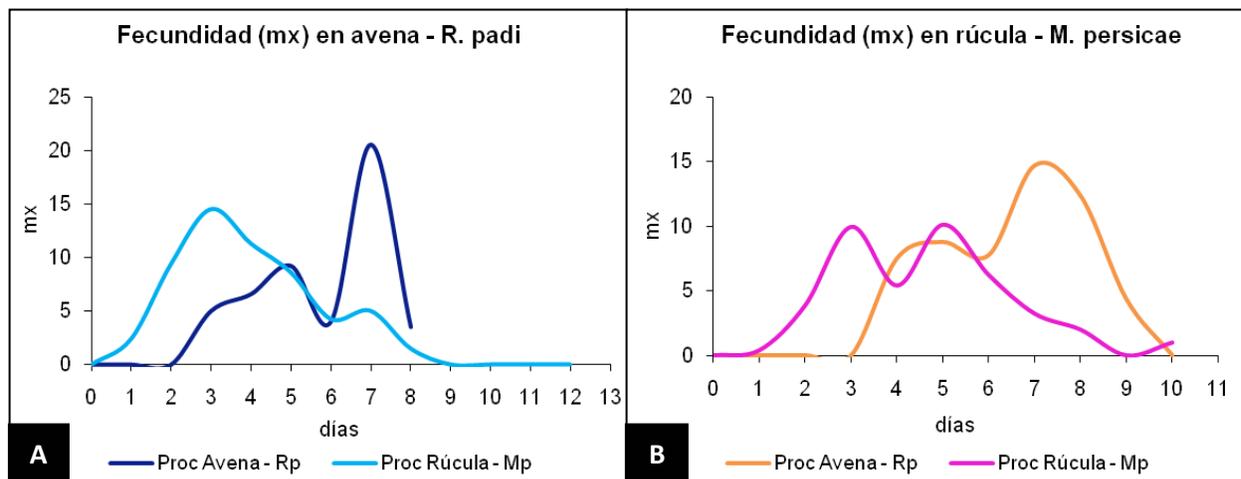
No se encontraron diferencias significativas entre las curvas de supervivencia de las cuatro cohortes estudiadas ( $\chi^2=2,157$ ; g.l.=3;  $p=0,540$ ). El 50 % de las hembras de la población ( $l_{x50}$ ) sobrevivieron hasta el día 3 aproximadamente (figura 12).

Según la clasificación para curvas de supervivencia propuesta por Pearl (1928), tres de las cuatro cohortes estudiadas presentaron en su inicio una curva de Tipo I, pues en su primer día de vida adulta estas hembras presentaron una

mortalidad nula. Este fue el caso del parasitoide de la procedencia rúcula - *M. persicae* desarrollado sobre rúcula - *M. persicae* y el de la procedencia avena - *R. padi* desarrollado sobre las dos asociaciones planta - áfido estudiadas. Luego del día 1, estas tres curvas adquirieron una apariencia de tipo II, pues los parasitoides adultos comenzaron a morir en forma más o menos constante.

La cohorte de *A. colemani* de la procedencia rúcula - *M. persicae* que se desarrolló sobre avena - *R. padi*, fue la única que presentó una curva de tipo II desde el nacimiento de las hembras.

Las curvas de fecundidad media diaria ( $m_x$ ) obtenidas para las cuatro cohortes estudiadas se presentan a continuación, en la figura 13:



**Fig. 13.** Curvas de fecundidad de *A. colemani* para las dos procedencias estudiadas.

**A.** Parasitoide sobre avena - *R. padi*. **B.** Parasitoide sobre rúcula - *M. persicae*.

Se observó cómo el parasitoide de la procedencia rúcula - *M. persicae* inició su período reproductivo con alrededor de dos días de anticipación respecto a los individuos de la procedencia avena - *R. padi*, indistintamente de la asociación planta hospedera - áfido huésped sobre la cual se desarrolló. Además, la duración del período reproductivo fue mayor para la procedencia rúcula - *M. persicae*, constando de aproximadamente 9 y 8 días sobre las asociaciones avena - *R. padi* y rúcula - *M. persicae*, respectivamente. El período reproductivo de las hembras de la procedencia avena - *R. padi* fue de aproximadamente 6 y 7 días para las mismas asociaciones áfido - planta.

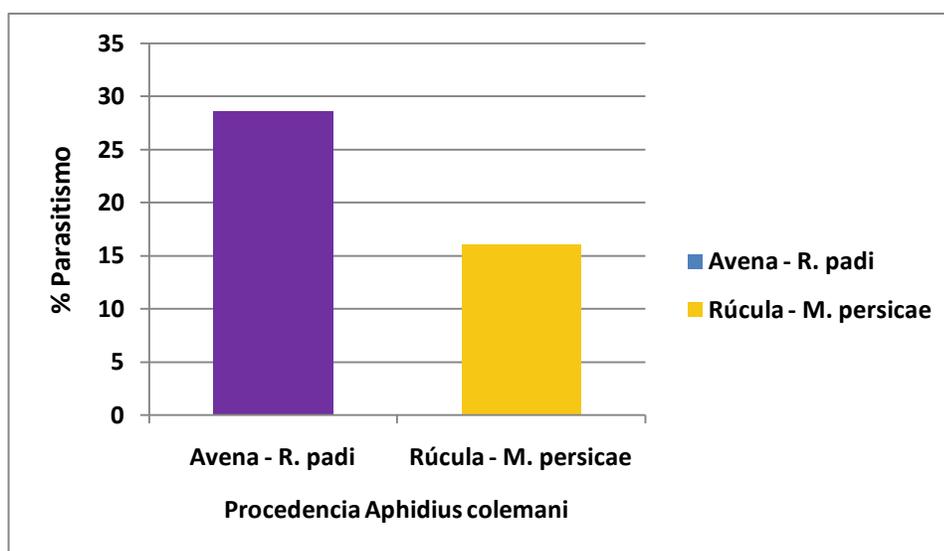
El parasitoide de la procedencia avena - *R. padi* presentó un período prereproductivo de 2 y 3 días cuando se desarrolló sobre avena - *R. padi* y rúcula - *M. persicae*, respectivamente. Por otro lado, el parasitoide de la procedencia rúcula - *M. persicae* únicamente mostró un período reproductivo cuando se desarrolló sobre rúcula - *M. persicae*, siendo de apenas un día de duración.

Los máximos valores de fecundidad media diaria en la procedencia avena - *R. padi* se encontraron en los últimos días de su período reproductivo. De manera que aproximadamente en el día 7, esta procedencia alcanzó un valor máximo de aproximadamente 20 momias/♀/día al desarrollarse sobre avena - *R. padi* y de 15 momias/♀/día sobre rúcula - *M. persicae*. Por otro lado, la procedencia rúcula - *M. persicae* presentó su pico máximo de fecundidad al inicio de su período reproductivo (día 3) con 15 momias/♀/día sobre avena - *R. padi* y alrededor de 10 momias/♀/día sobre rúcula - *M. persicae* (figura 13).

## 5.2. Prueba SIN opción

### a. Experimento 3: Parasitismo y tiempo de desarrollo

El parasitismo de *A. colemani* de la procedencia avena - *R. padi* sobre esta misma asociación planta - áfido alcanzó un valor de 28,58% ( $57,15 \pm 1,37$  momias,  $n=20$ ), el cual resultó significativamente superior al 16,05% ( $32,10 \pm 1,29$  momias,  $n=20$ ) obtenido para la procedencia rúcula - *M. persicae* en la prueba sin opción ( $F_{(1,34)}=13,24$ ;  $p=0,0009$ ) (figura 14).



**Fig. 14.** Porcentaje de parasitismo de *Aphidius colemani* en prueba sin opción para las dos procedencias del parasitoide estudiadas.

La tabla 5 muestra el tiempo de desarrollo expresado en días de los períodos huevo - pupa y pupa - adulto para dos cohortes de *Aphidius colemani*. Para ambos períodos, el efecto de la asociación planta - áfido resultó significativo, el período

huevo-pupa fue mayor sobre la asociación avena - *R. padi* ( $F_{(1, 37)} = 26,46$ ;  $p < 0,001$ ), mientras que para el período pupa adulto la duración fue mayor para la asociación rúcula - *M. persicae* ( $F_{(1, 37)} = 31,15$ ;  $p < 0,001$ ).

**Tabla 5.** Tiempo de desarrollo (media  $\pm$  EE) de *Aphidius colemani* en sus huéspedes originales.

Procedencia del parasitoide	Asociación planta-áfido	N	Huevo- pupa (días)	Pupa- adulto (días)
Avena - <i>R. padi</i>	Avena - <i>R. padi</i>	20	9,05 $\pm$ 0,12 a	4,52 $\pm$ 0,06 a
Rúcula - <i>M. persicae</i>	Rúcula - <i>M. persicae</i>	20	8,13 $\pm$ 0,14 b	5,54 $\pm$ 0,18 b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (ANOVA,  $p < 0,05$ ),

#### **b. Experimento 4: Parámetros poblacionales, supervivencia y fecundidad**

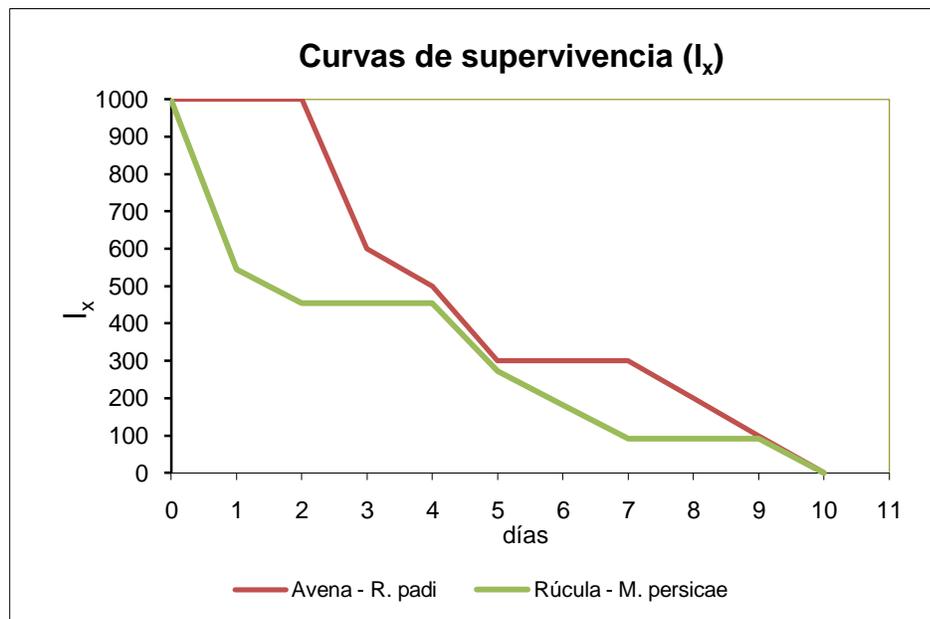
Se encontraron diferencias significativas entre las dos cohortes estudiadas únicamente para los valores de tiempo generacional medio (T) ( $F_{(1,19)}=8,26$ ;  $p=0,010$ ), cuyo valor fue mayor en la asociación avena - *R. padi*. Los demás parámetros estudiados no difirieron significativamente ( $F R_0_{(1,19)}=0,17$ ;  $p=0,683$ ), ( $F r_m_{(1,19)}=0,11$ ;  $p=0,749$ ) y ( $F D_{(1,19)}=0,07$ ;  $p=0,788$ ) (Tabla 6).

**Tabla 6.** Parámetros poblacionales (media  $\pm$  EE) de *Aphidius colemani* en sus huéspedes originales.

Procedencia del parasitoide	Asociación planta-áfido	N	$R_0$	$r_m$	T	D
Avena - <i>R. padi</i>	Avena - <i>R. padi</i>	10	25,082 $\pm$ 7,894a	0,199 $\pm$ 0,019 a	16,422 $\pm$ 0,308 a	3,444 $\pm$ 0,349 a
Rúcula - <i>M. persicae</i>	Rúcula - <i>M. persicae</i>	11	21,252 $\pm$ 5,124 a	0,207 $\pm$ 0,015 a	14,903 $\pm$ 0,419 b	3,328 $\pm$ 0,253 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (ANOVA,  $p < 0.05$ ).

Las curvas de supervivencia ( $l_x$ ) obtenidas para las dos cohortes estudiadas se presentan a continuación, en la figura 15:



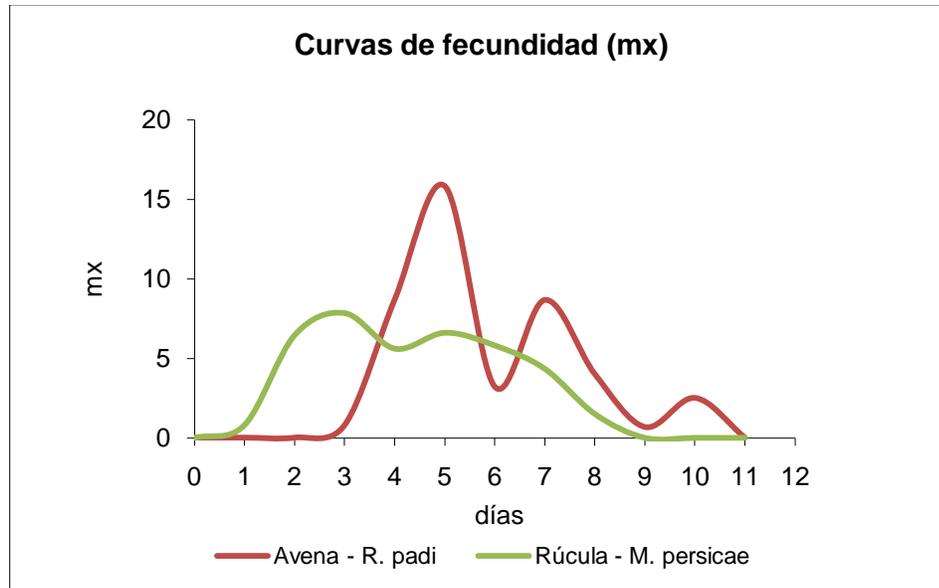
**Fig. 15.** Curvas de supervivencia de *A. colemani* sobre sus huéspedes originales.

No se encontraron diferencias significativas entre las curvas de supervivencia ( $l_x$ ) obtenidas para las dos cohortes estudiadas ( $\chi^2=2,886$ ; g.l.=1;  $p=0,089$ ). El 50 % de las hembras de la población sobrevivieron hasta el día 4 aproximadamente en la procedencia avena – *R. padi* (figura 15).

Las hembras de *A. colemani* desarrolladas sobre avena - *R. padi* presentaron en su inicio una curva de tipo I, siendo que durante sus primeros dos días de vida adulta estas presentaron una mortalidad nula. Posteriormente, la curva de esta cohorte adquirió una apariencia de tipo II, pues los parasitoides adultos comenzaron a morir en forma más o menos constante (Pearl, 1928).

El parasitoide desarrollado sobre rúcula - *M. persicae* presentó una curva de tipo II desde el nacimiento de las hembras (Pearl, 1928).

Las curvas de fecundidad media diaria ( $m_x$ ) obtenidas para las dos cohortes estudiadas se presentan a continuación, en la figura 16:



**Fig. 16.** Curvas de fecundidad de *A. colemani* sobre sus huéspedes originales.

Estas curvas evidenciaron similitudes y diferencias en el período reproductivo de los parasitoides de ambas asociaciones planta - áfido estudiadas. Ambos períodos reproductivos constaron de aproximadamente 8 días, pero el parasitoide de la asociación rúcula - *M. persicae* lo inició aproximadamente dos días antes que el parasitoide de la asociación avena - *R. padi*.

El parasitoide de ambas cohortes presentó período prereproductivo, siendo de mayor duración para los insectos desarrollados sobre avena - *R. padi* (3 días) que para los desarrollados sobre rúcula - *M. persicae* (1 día).

El máximo de fecundidad media diaria se encontró en alrededor de 16 momias/♀/día para la asociación avena - *R. padi*, mientras que para la asociación rúcula - *M. persicae* fue de 6 momias/♀/día. Ambos picos de fecundidad se presentaron en los primeros días del período reproductivo de los parasitoides de ambas asociaciones planta - áfido, día 5 y 3 respectivamente.

Con base en los resultados expuestos hasta ahora, se realizó un ensayo preliminar a nivel de semicampo con el propósito de validar las experiencias desarrolladas en el laboratorio. De manera que se estudiaron los mismos tratamientos pero la unidad experimental fue distinta. Esto permitió estudiar la respuesta del parasitoide, bajo condiciones semejantes a las de un cultivo real bajo cubierta (ver Anexo 1).

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Prueba CON opción

#### a. Experimento 1: Parasitismo y tiempo de desarrollo

Los resultados obtenidos para este experimento evidenciaron que el origen previo del parasitoide influyó en la elección entre las asociaciones planta hospedera - áfido huésped ofrecidas. Para ambas procedencias evaluadas se obtuvo un porcentaje mayor sobre su huésped original, un 69% para la procedencia avena - *R. padi* y un 59% para rúcula - *M. persicae*.

Este efecto del origen previo de *A. colemani* sobre su preferencia como parasitoide ya ha sido registrado por otros investigadores. Por ejemplo, Bilu *et al.* (2006) hallaron que hembras de *A. colemani* procedentes de pimiento - *M. persicae* y rábano - *M. persicae* pasaban más tiempo y parasitaban en mayor medida sobre la asociación de la cual provenían, lo cual les permitió concluir que el origen previo de las hembras del parasitoide podría condicionar su comportamiento de selección. Asimismo, en pruebas de preferencia mediante el uso de olfatómetro, Grasswitz (1998) encontró que aún una corta experiencia previa (15 minutos) sobre la asociación pimiento - *M. persicae* bastaba para intensificar la cantidad de vuelos de adultos de *A. colemani* dirigidos hacia esta asociación planta - áfido en particular.

Probablemente, los parasitoides reconocieron las kairomonas y compuestos volátiles de las plantas hospederas en las cuales se criaron (Brimah & Van Emden, 1994; Sands & van Driesche, 2002; Lo Pinto *et al.*, 2004) y respondieron parasitando

en mayor medida las asociaciones correspondientes a su origen previo. Sin embargo, aún cuando la preferencia estuvo volcada hacia la asociación del origen previo del parasitoide, fue claramente notorio que *A. colemani* también fue capaz de dejar una porción nada despreciable de su descendencia sobre la otra opción de planta hospedera - áfido huésped ofrecida.

En síntesis, se halló que el “acostumbramiento” generado al criar el parasitoide durante más de 10 generaciones exclusivamente en una asociación planta hospedera - áfido huésped, ocasionó una preferencia por la asociación a la cual estuvo expuesto durante todo ese tiempo (Messing & Rabasse, 1995). Sin embargo, aún con el fenómeno de preferencia ya descrito, *A. colemani* sigue siendo fisiológicamente compatible con ambas asociaciones planta - áfido ofrecidas, indistintamente de su procedencia. Esto último es trascendental ya que, según Starý (1993), para que el sistema de hospedera alternativa sea eficaz, el parasitoide debe ser capaz de ciclar entre el sistema plaga - cultivo y el sistema alternativo.

La estimación del tiempo de desarrollo es de suma importancia, ya que es uno de los parámetros que permite estimar el potencial del parasitoide como agente de biocontrol, siendo lo deseable un breve período de desarrollo perimaginal (De Bach, 1964). El tiempo de desarrollo para el período pupa - adulto mostró diferencias significativas entre ambas procedencias, siendo de mayor duración en la procedencia rúcula - *M. persicae*. Para este período no se encontró un efecto de la asociación planta - áfido sobre la cual se desarrolló el parasitoide.

Según Sampaio *et al.* (2005), el comportamiento biológico de *A. colemani* puede verse influenciado por el entorno del cual proviene. En el presente trabajo, el hecho de contar con dos procedencias distintas de *A. colemani* implica que se

utilizaron parasitoides adaptados a distintos entornos y fuentes de alimento. Por ello, es normal que las procedencias difieran en cuanto al tiempo de desarrollo para ambos períodos estudiados (huevo-pupa y pupa-adulto).

El tiempo de desarrollo promedio de los estadios inmaduros para el parasitoide de la procedencia avena - *R. padi* fue de  $13,08 \pm 0,15$  días y  $13,22 \pm 0,22$  días sobre las asociaciones avena - *R. padi* y rúcula - *M. persicae*, respectivamente. Para la procedencia rúcula - *M. persicae*, se obtuvieron valores de  $14,61 \pm 0,22$  días y  $13,71 \pm 0,30$  días sobre las mismas asociaciones. Estos resultados son bastantes similares a los reportados por otros autores. Por ejemplo, Soglia *et al.* (2006) reportan un tiempo de desarrollo de  $17,0 \pm 3,14$  y  $16,3 \pm 2,34$  días sobre dos cultivares de crisantemo (Yellow Snowdon y White Reagan, respectivamente) infestados con *Aphis gossypii*, a 22 °C. Sampaio *et al.* (2005) estimaron tiempos de  $12,1 \pm 0,04$ ,  $12,4 \pm 0,08$  y  $12,3 \pm 0,05$  días sobre pepino infestado con *Aphis gossypii* para poblaciones de *A. colemani* de diferentes regiones climáticas, a 22 °C. Y finalmente, Sampaio *et al.* (2008) obtuvieron un tiempo de desarrollo de  $12,2 \pm 0,10$  días para *A. colemani* sobre col infestada con *M. persicae*, a 22 °C.

Según Sequeira & Mackauer (1992), el tiempo de desarrollo en un áfido dado es un indicador confiable de su calidad como fuente de alimento para el parasitoide que lo ataca. Esto permite afirmar que las dos crías de pulgones empleadas aportaron individuos en condiciones aceptables para el adecuado desarrollo de *A. colemani*.

## **b. Experimento 2: Parámetros poblacionales, supervivencia y fecundidad**

Los valores obtenidos para la tasa reproductiva neta ( $R_0$ ) no difirieron significativamente entre las cuatro cohortes estudiadas.

En cuanto a la tasa intrínseca de crecimiento ( $r_m$ ), se observaron diferencias significativas entre las dos procedencias de parasitoide utilizadas, siendo que las hembras procedentes de rúcula - *M. persicae* mostraron un valor de  $r_m$  significativamente mayor en ambas asociaciones planta - áfido ofrecidas. El valor mínimo de  $r_m$  se obtuvo para el parasitoide procedente de avena - *R. padi* que se desarrolló sobre avena - *R. padi* ( $r_m=0,190\pm0,017$ ) y el valor máximo correspondió al procedente de rúcula - *M. persicae* desarrollado sobre avena - *R. padi* ( $r_m=0,250\pm0,009$ ). *A. colemani* mostró una capacidad innata de crecimiento poblacional ( $r_m>0$ ) para las dos procedencias utilizadas y ambas asociaciones planta - áfido ofrecidas.

Torres *et al.* (2007) llevaron a cabo un estudio biológico mediante tablas de vida de *A. colemani* en pepino infestado con *Aphis gossypii*. Estos autores obtuvieron valores de  $R_0=194,8$  y  $r_m=0,384$ , de manera que en ambos casos reportaron valores superiores a los obtenidos en el presente trabajo. No obstante estos investigadores estimaron el potencial reproductivo de *A. colemani* de una manera distinta, a través de disecciones de áfidos (y no mediante la cantidad de momias observadas), lo cual les permitió tomar en cuenta aquellos casos en que las hembras ovipusieron y la larva no llegó a formar una momia. A esto se le suma el hecho de que trabajaron bajo condiciones más artificiales (discos foliares de pepino dentro de cajas petri) para favorecer la expresión del máximo potencial reproductivo del parasitoide. Por esta razón, es lógico que sus resultados muestren valores más elevados.

Chi & Su (2006) reportan una tasa reproductiva neta ( $R_0$ ) de  $46,0 \pm 6,8$  y una tasa intrínseca de crecimiento ( $r_m$ ) de  $0,264 \pm 0,010$  para *Aphidius gifuensis* en col infestada con *M. persicae*. Estos reportes son más cercanos a los resultados obtenidos en el presente trabajo. La investigación de Chi & Su (2006) comparte importantes similitudes con el trabajo en discusión, sobre todo en lo referente a la estimación del potencial reproductivo de su parasitoide a través del número de momias observadas y en cuanto a la unidad experimental utilizada.

Según Vivan *et al.* (2002), diversos autores consideran que un enemigo natural puede ser efectivo cuando, entre otros criterios, su tasa intrínseca de crecimiento poblacional ( $r_m$ ) es igual o mayor que la de la plaga que se desea combatir. De manera que cuanto mayor sea el valor de  $r_m$ , mayor será el éxito de una especie en un ambiente dado.

Estudios realizados con *M. persicae* (Cividanes & Souza, 2003; Andorno *et al.*, 2007) han demostrado que la capacidad innata para aumentar en número ( $r_m$ ) de esta especie se ve considerablemente influenciada por la temperatura. En el presente trabajo se obtuvo un valor máximo de  $r_m = 0,250 \pm 0,009$ , para *A. colemani* a  $22^\circ\text{C}$ . A una temperatura similar,  $23^\circ\text{C}$ , Cividanes & Souza (2003) obtuvieron un valor de  $r_m = 0,235$  para *M. persicae* sobre col. Esta comparación permite afirmar que los resultados obtenidos para la tasa intrínseca de crecimiento ( $r_m$ ) se mantuvieron dentro de lo aceptable para un parasitoide cuya efectividad en el control de *M. persicae* es ampliamente reconocida (Van Steenis, 1995; Takada, 2002; Schelt & Wäckers, 2003).

En lo referente al tiempo generacional medio ( $T$ ), se observaron diferencias significativas entre las dos procedencias del parasitoide utilizadas, siendo que las

hembras procedentes de rúcula - *M. persicae* mostraron un valor de T significativamente menor en ambas asociaciones planta - áfido ofrecidas. En otras palabras, el parasitoide de la procedencia avena - *R. padi* presentó mayor tiempo entre generaciones consecutivas.

El valor mínimo de T se obtuvo para el parasitoide procedente de rúcula - *M. persicae* que se desarrolló sobre avena - *R. padi* ( $T=14,731\pm 0,327$ ) y el valor máximo correspondió al procedente de avena - *R. padi* desarrollado sobre rúcula - *M. persicae* ( $T=17,458\pm 0,404$ ).

Torres *et al.* (2007) reportan un tiempo generacional medio (T) de 13,74 días para *A. colemani* en pepino infestado con *Aphis gossypii*, a 22 °C. Chi & Su (2006) obtuvieron un valor de  $T=14,5\pm 0,2$  para *Aphidius gifuensis* en col infestada con *M. persicae*, a 22 °C. Estos valores de T fueron cercanos a los obtenidos en el presente estudio, especialmente para la procedencia rúcula - *M. persicae* del parasitoide.

La evaluación de estos parámetros biológicos y poblacionales evidenció que el parasitoide de ambas procedencias estudiadas puede establecerse y aumentar en número sobre las asociaciones avena - *R. padi* y rúcula - *M. persicae*. Se encontraron diferencias significativas entre las procedencias estudiadas de *A. colemani* para la tasa intrínseca de crecimiento ( $r_m$ ) y el tiempo generacional medio (T), favoreciendo en ambas ocasiones a la procedencia rúcula - *M. persicae*. El estudio de los parámetros biológicos del parasitoide sugieren que los insectos de esta procedencia se encuentran en mejor disposición de controlar la plaga de *M. persicae* que los de la procedencia avena - *R. padi*. Posiblemente los mejores valores de  $R_0$  y  $r_m$  para *A. colemani* en rúcula - *M. persicae*, se deban a que el áfido *R. padi* no proporciona un medio óptimo para el desarrollo del parasitoide, algunos

autores lo han descrito como un huésped de calidad pobre (Ode *et al.*, 2005; Bilu *et al.*, 2006).

Si bien no se encontraron diferencias significativas entre las curvas de supervivencia ( $l_x$ ) de las cuatro cohortes estudiadas, fue posible observar algunas particularidades en el comportamiento de las curvas de acuerdo a la asociación planta - áfido sobre la cual se desarrolló el parasitoide.

Las curvas de supervivencia ( $l_x$ ) de los parasitoides desarrollados sobre avena - *R. padi*, indistintamente de su procedencia, mostraron una distribución constante de la mortalidad en el tiempo hasta llegar a los últimos días de vida adulta. La mediana de supervivencia ( $l_{x50}$ ) fue de 3 días para ambas procedencias. Es decir, al final del día 3 de vida adulta, solamente la mitad de la cohorte de hembras continuaba con vida.

En la asociación rúcula - *M. persicae* los parasitoides mostraron una mortalidad repartida en tramos de tiempo. En este caso, la  $l_{x50}$  fue de 2 días y 3,5 días para los parasitoides de las procedencias avena - *R. padi* y rúcula - *M. persicae*, respectivamente.

Se ha visto que una planta, como fuente de alimento, puede afectar el tamaño, el tiempo de desarrollo y la supervivencia tanto de los herbívoros que alberga como también de los enemigos naturales que se alimentan de dichos herbívoros (Bottrell *et al.*, 1998). Dado que en el laboratorio no hubo escases de recursos, condiciones de hacinamiento, variaciones de temperatura, humedad relativa o alguna otra fuente de mortalidad externa, las diferencias observadas en el comportamiento de las curvas

de supervivencia ( $l_x$ ) podrían atribuirse a la asociación planta hospedera - áfido huésped sobre la cual se desarrolló el parasitoide y a las interacciones dentro de este sistema tri-trófico. Esto permite suponer que probablemente la asociación rúcula - *M. persicae* proporcionó un entorno más inestable a los parasitoides y por este motivo su tasa de supervivencia fluctuó más notoriamente que para las avispas desarrolladas en la otra asociación estudiada.

El parasitoide de la procedencia rúcula - *M. persicae* presentó un período reproductivo más largo y más temprano que el correspondiente a los individuos de la procedencia avena - *R. padi*, en ambas asociaciones planta - áfido estudiadas. La duración del período reproductivo se mantuvo entre un máximo de 9 días y un mínimo de 6 días.

Los máximos valores de fecundidad media diaria en la procedencia avena - *R. padi* se encontraron en los últimos días de su período reproductivo (alrededor del día 7), lo cual resulta totalmente atípico. Lo más común es que las hembras de *A. colemani* alcancen su máximo de fecundidad diaria pocos días después de emerger y que luego comience a disminuir gradualmente, como ocurrió con la procedencia rúcula - *M. persicae* (Hagvar & Hofsvang, 1991).

En un sistema tri-trófico “planta hospedera - áfido huésped - parasitoide”, tanto la planta como la especie de áfido huésped y las interacciones entre ambos niveles tróficos influyen en el desarrollo de los parasitoides que completan el sistema. Bottrell *et al.* (1998) discuten sobre la forma en que la planta hospedera puede afectar el desempeño tanto de los áfidos huéspedes como de los parasitoides que se alimentan de ellos; y, según Bai (1991), está comprobado que la calidad de los áfidos parasitados influye sobre el tamaño y la fecundidad de los parasitoides desarrollados

en su interior. Así, es posible concluir que la asociación planta - áfido de la cual proviene *A. colemani* es capaz de afectar el potencial reproductivo del parasitoide. La cría durante reiteradas generaciones sobre una determinada asociación planta - áfido, genera particularidades en el desarrollo y comportamiento del parasitoide por efecto de las interacciones con los dos eslabones restantes del sistema tri-trófico planteado.

Torres *et al.* (2007) reportan una duración de 6 días para el período reproductivo de *A. colemani* en pepino infestado con *Aphis gossypii*, a 22 °C, lo cual resulta bastante similar a lo observado para la procedencia avena - *R. padi* (6 y 7 días sobre avena - *R. padi* y rúcula - *M. persicae*, respectivamente). Además, estos autores observaron hembras de parasitoide que mostraron su máximo de fecundidad diaria en su primer día de vida y ovipusieron el 89,4% de sus huevos al cabo de 3 días de vida. En cuanto a la distribución de la fecundidad diaria en el tiempo, los hallazgos de estos investigadores concuerdan con lo visto en la procedencia rúcula - *M. persicae*, donde el máximo de fecundidad diaria se ubicó entre los tres primeros días de vida de las hembras.

De las cuatro cohortes evaluadas, fue el parasitoide procedente de avena - *R. padi* y desarrollado sobre la misma asociación el que alcanzó el máximo valor de fecundidad diaria, con 20,5 momias/♀/día.

Bai (1991), en una descripción de los parasitoides del género *Aphidius*, afirma que las hembras son capaces de oviponer un promedio de 40-100 huevos diarios. Por otro lado, Torres *et al.* (2007) reportan un máximo de fecundidad diaria de  $188,6 \pm 5,25$  huevos/♀/día. Es importante remarcar que este valor de fecundidad diaria, que se encuentra por encima del promedio citado, fue obtenido al estimar el

potencial reproductivo de *A. colemani* mediante disecciones de *Aphis gossypii* expuesto al parasitoide en placas petri. Este tipo de disecciones se utiliza para estimar el potencial reproductivo del parasitoide mediante el conteo de larvas en el interior de la plaga. El número de larvas encontradas es considerado una estimación confiable de la cantidad de huevos que las hembras del parasitoide depositan en el interior de la plaga. Así, es posible tomar en cuenta a aquella parte de la descendencia que perece por parasitismo incompleto (la larva muere antes de matar al huésped) y superparasitismo (la hembra ovipone más de un huevo en un mismo huésped), lo cual resulta imposible mediante el conteo de momias realizado en el presente trabajo. Por esta razón es lógico que el valor máximo de fecundidad diaria sea superior en el trabajo conducido por Torres *et al.* (2007). De todas maneras, se puede considerar que la fecundidad fue baja para todas la cohortes estudiadas.

## **6.2. Prueba SIN opción**

### **a. Experimento 3: Parasitismo y tiempo de desarrollo**

Con base en las nociones aportadas por Hill (1999), es factible afirmar que una prueba sin opción donde se cuantifique el parasitismo de una especie mide la habilidad de las formas adultas del parasitoide para sobrevivir, madurar y dejar su descendencia en una asociación áfido - planta a evaluar. Este tipo de pruebas contribuye en la definición del rango de hospederos que fisiológicamente puede ocupar el parasitoide evaluado.

Los resultados obtenidos para este experimento significan que *A. colemani* es fisiológicamente capaz de parasitar, sobrevivir y madurar en las asociaciones avena -

*R. padi* y rúcula - *M. persicae*. Sin embargo, se hizo notorio que la asociación avena - *R. padi* permitió un mayor parasitismo de *A. colemani* que la asociación rúcula - *M. persicae*.

Porcentajes de parasitismo de 44,4% (Sampaio<sup>1</sup> *et al.*, 2001) y 39,5% (Sampaio<sup>2</sup> *et al.*, 2001) fueron reportados para *A. colemani* en *M. persicae* mantenido sobre pimiento a 23 °C. Además, en otra investigación, se obtuvo un porcentaje de parasitismo de 21,2% en *M. persicae* mantenido sobre col a 22°C (Sampaio *et al.*, 2008).

En este experimento se obtuvo un 16,05% de parasitismo de *A. colemani* sobre *M. persicae* mantenido sobre rúcula. Este valor resulta similar al reportado por Sampaio *et al.* (2008). Sin embargo, se puede considerar un porcentaje bajo, especialmente si se toma en consideración que *M. persicae* es la especie que el presente trabajo se ha planteado como plaga a controlar.

De estos hallazgos se concluye que, para la exitosa implementación del sistema de hospedera alternativa compuesto por rúcula / avena – *M. persicae* / *R. padi*, es imperativo establecer un manejo eficiente del cultivo de rúcula. Las prácticas agrícolas deben orientarse a modificar el microambiente generado en este cultivo, con el objetivo de favorecer el accionar del parasitoide *A. colemani*.

En lo referente a los resultados del tiempo de desarrollo de *A. colemani*, el período huevo - pupa fue 1 día más largo en avena - *R. padi*, mientras que el período pupa - adulto fue 1 día más largo en rúcula - *M. persicae*. De manera que, al final, el

tiempo de desarrollo de los estadios inmaduros fue muy similar para ambas asociaciones planta hospedera - áfido huésped estudiadas.

Como ya se ha mencionado, este tipo de particularidades en el tiempo de desarrollo de *A. colemani*, parecen ser una consecuencia de la forma en que los individuos de las crías de parasitoide utilizadas se han adaptado para sobrevivir en un entorno (asociación planta - áfido) determinado (Sampaio *et al.*, 2005).

El tiempo de desarrollo promedio de los estadios inmaduros de *A. colemani* fue de  $13,57 \pm 0,11$  días y  $13,68 \pm 0,28$  días sobre las asociaciones avena - *R. padi* y rúcula - *M. persicae*, respectivamente. Estos resultados concuerdan con los hallazgos ya citados de múltiples autores que han estimado una duración de entre 12-17 días para el tiempo de desarrollo de *A. colemani* sobre *M. persicae* sobre distintas plantas hospederas (Sampaio *et al.*, 2005; Soglia *et al.*, 2006; Sampaio *et al.*, 2008).

Dado que el tiempo de desarrollo en un áfido determinado es un indicador de su calidad nutricional (Sequeira & Mackauer, 1992), se puede afirmar que las dos crías de pulgones empleadas aportaron individuos en condiciones aceptables para el adecuado desarrollo de *A. colemani*. Estos resultados concuerdan con lo visto en el experimento 1.

#### **b. Experimento 4: Parámetros poblacionales, supervivencia y fecundidad**

Tres de los cuatro parámetros poblacionales evaluados ( $R_0$ ,  $r_m$ , y  $D$ ) no difirieron significativamente entre las dos asociaciones planta - áfido sometidas a prueba.

Se obtuvieron valores de tasa reproductiva neta ( $R_0$ ) de  $25,082 \pm 7,894$  y  $21,252 \pm 5,124$  para las asociaciones avena - *R. padi* y rúcula - *M. persicae*, respectivamente. Esto significa que las hembras de *A. colemani* utilizadas en esta prueba fueron capaces de producir un máximo de aproximadamente 25 hembras nuevas a lo largo de su vida.

En cuanto a la tasa intrínseca de crecimiento ( $r_m$ ), se obtuvieron valores de  $0,199 \pm 0,019$  y  $0,207 \pm 0,015$  para las asociaciones avena - *R. padi* y rúcula - *M. persicae*, respectivamente. *A. colemani* mostró una capacidad innata de crecimiento poblacional ( $r_m > 0$ ) para ambas asociaciones planta - áfido estudiadas.

Se dice que un enemigo natural puede ser efectivo cuando su tasa intrínseca de crecimiento ( $r_m$ ) es igual o mayor que la de la plaga que se desea combatir (Vivan *et al.*, 2002), y los valores de tasa intrínseca de crecimiento ( $r_m$ ) obtenidos en la prueba sin opción fueron más bajos que el reportado por Cividanes & Souza (2003) para *M. persicae* sobre col a 23 °C ( $r_m = 0,235$ ). Es decir, se obtuvieron valores un poco bajos de  $r_m$  para *A. colemani*, los cuales no alcanzaron lo que se espera de un enemigo natural tan eficiente en el control de este áfido plaga.

Finalmente, el tiempo generacional medio (T) mostró diferencias significativas entre las dos cohortes de parasitoide evaluadas, siendo que las hembras desarrolladas sobre rúcula - *M. persicae* mostraron un valor de T estadísticamente menor que las desarrolladas sobre la otra asociación observada. En otras palabras, el parasitoide de la asociación avena - *R. padi* presentó mayor tiempo entre generaciones consecutivas.

Se obtuvieron valores de tiempo generacional medio (T) de  $16,422 \pm 0,308$  días y  $14,903 \pm 0,419$  días para las asociaciones avena - *R. padi* y rúcula - *M. persicae*, respectivamente. Estos resultados concuerdan con los de Torres *et al.* (2007) (T=13,74 días, para *A. colemani* en pepino infestado con *Aphis gossypii*, a 22 °C) y Chi & Su (2006) (T= $14,5 \pm 0,2$  días, para *Aphidius gifuensis* en col infestada con *M. persicae*, a 22 °C).

No se encontraron diferencias significativas entre las curvas de supervivencia ( $l_x$ ) de las dos cohortes estudiadas.

La curva de supervivencia ( $l_x$ ) de los parasitoides desarrollados sobre avena - *R. padi*, mostró una mortalidad nula hasta el día 2 de vida adulta, cuando las hembras comenzaron a morir en forma relativamente constante. Mientras que los parasitoides desarrollados sobre rúcula - *M. persicae* comenzaron a morir en forma constante desde antes de cumplir su primer día de vida adulta.

El parasitoide desarrollado sobre la asociación rúcula - *M. persicae* inició su período reproductivo aproximadamente 2 días antes que el correspondiente a la otra

asociación estudiada. No obstante, la duración del período reproductivo para ambas cohortes fue muy semejante, aproximadamente 8 días.

Los máximos valores de fecundidad media diaria se encontraron en los días 5 y 3 para los parasitoides de las asociaciones avena - *R. padi* y rúcula - *M. persicae*, respectivamente. En ambos casos, se trató del segundo día de su período reproductivo. Si bien el comportamiento de las curvas de fecundidad fue muy similar entre ambas asociaciones, la diferencia de los valores máximos de fecundidad media diaria es muy grande. El pico máximo de fecundidad diaria en la asociación rúcula - *M. persicae* no alcanzó siquiera la mitad del valor máximo de la otra asociación planta - áfido estudiada. Esta baja fecundidad actuó en detrimento de la tasa reproductiva neta ( $R_0$ ) y la tasa intrínseca de crecimiento ( $r_m$ ), como se discutió anteriormente.

Torres *et al.* (2007) reportan una duración de 6 días para el período reproductivo de hembras de *A. colemani*, las cuales mostraron su máximo de fecundidad diaria en su primer día de vida y ovipusieron el 89,4% de sus huevos al cabo de 3 días de vida. En comparación, los períodos reproductivos obtenidos en este experimento fueron 2 días más extensos y, de la misma manera, presentaron sus picos máximos de fecundidad diaria en sus inicios.

Aún con bajos valores de fecundidad diaria, particularmente para el parasitoide desarrollado en la asociación rúcula - *M. persicae*, la evaluación de estos parámetros biológicos y poblacionales permitió dilucidar aspectos importantes del comportamiento de los parasitoides en las asociaciones planta - áfido estudiadas. Estos hallazgos pueden y deben ser aprovechados en investigaciones futuras,

enfocadas a establecer estrategias de manejo del agroecosistema que permitan favorecer la acción biocontroladora de *A. colemani*.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las pruebas sin opción, como herramientas para definir el rango fisiológico de hospederos que puede ocupar un parasitoide, permitieron concluir que *Aphidius colemani* es capaz de parasitar sobre ambas asociaciones planta - áfido estudiadas.
- Las pruebas de opción doble permitieron evidenciar en el sistema de hospedera alternativo compuesto por “rúcula / avena – *Myzus persicae* / *Rhopalosiphum padi*”, que la procedencia del parasitoide *A. colemani* influyó en forma significativa sobre la elección entre las asociaciones planta hospedera - áfido huésped estudiadas, generándose una preferencia por la asociación del origen previo del parasitoide.
- Aún con la identificación de este fenómeno de preferencia, también se evidenció que *A. colemani* es capaz de sobrevivir, desarrollarse y dejar descendencia sobre la asociación hospedera alternativa - áfido alternativo, indistintamente de la procedencia del parasitoide. Esto es un aliciente para la realización de nuevas investigaciones enfocadas a definir estrategias de manejo orientado a favorecer el ciclado entre las asociaciones planta - áfido estudiadas y el accionar biocontrolador del afidiino en estudio.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- AGARWALA, B.K. 2007. Phenotypic plasticity in aphids (Homoptera: Insecta): Components of variation and causative factors. *Current Science* 93 (3): 308-313.
- ALOMAR, O. & R. ALBAJES. 2005. Control Biológico de Plagas: Biodiversidad Funcional y Gestión del Agroecosistema. *Biojournal* 1: 1-10.
- ALTIERI, M. A. 1995. Manejo integrado de plagas. En: *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Ed. Clades, pp. 199-209.
- ALTIERI, M. A., C. I. NICHOLLS & M. S. WOLFE. 1996. Biodiversity- a central concept in organic agriculture: Restraining pests and diseases. En: *Fundamentals of Organic Agriculture*. 11th IFOAM International Scientific Conference, Copenhagen. Proceedings 1: 91-112.
- ANDORNO, A., E. BOTTO, R. LA ROSSA & R. MÖHLE. 2004. Estudios preliminares sobre la diversidad biológica de áfidos y sus enemigos naturales asociados a cultivos orgánicos de hortalizas bajo cubierta. Implicancias para su empleo en el desarrollo de estrategias de control biológico. XXVII Congreso Argentino de Horticultura. Villa de Merlo, San Luis, Argentina. 21 – 24 de septiembre de 2004.
- ANDORNO, A., S. LÓPEZ & E. BOTTO. 2007. Asociaciones áfido-parasitoide (Hemiptera: Aphididae; Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae) en cultivos hortícolas orgánicos en Los Cardales, Buenos Aires, Argentina. *Rev. Soc. Entomol. Argent.* 66 (1-2): 171-175.

- ANDOW, D. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology* 36: 561-586.
- ASSEFA, G. 2006. *Avena sativa* L. Record from Protabase. Brink, M. & Belay, G. (Eds.). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa), Wageningen, Netherlands.
- ASLAN, M. M., N. UYGUN & P. STARÝ. 2004. A Survey of Aphid Parasitoids in Kahramanmaras, Turkey (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae; and Hymenoptera: Aphelinidae). *Phytoparasítica* 32 (3): 255-263.
- BAI, B.B. 1991. Conspecific and heterospecific interactions in two species of aphid parasitoids, *Aphidius ervi* and *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Aphidiidae, Aphelinidae). Tesis de Doctorado, Simon Fraser University, Canadá.
- BEGON, M., C.R. TOWNSEND & J.L. HARPER. 2006. Ecology: From individuals to ecosystems (4<sup>a</sup> Ed.). Estados Unidos de América: Blackwell Publishing.
- BERMEJILLO, A.I., M.F. FILIPPINI, F. PIMPINI, E.R. ANTONIOLLI, G. NARANJO, V. NOVELLO & P. RODRÍGUEZ. 2006. Una alternativa de producción sustentable en Mendoza: Cultivo de rúcula y otras aromáticas en sistema de raíz flotante. Universidad Nacional de Cuyo, Luján de Cuyo, Mendoza. Argentina.
- BEZEMER, T.M., G.B. DE DEYN, T.M. BOSSINGA, N.M. VAN DAM, J.A. HARVERY & W.H. VAN DER PUTTEN. 2005. Soil community composition drives aboveground plant–herbivore–parasitoid interactions. *Ecology Letters*, 8: 652–661.

- BILU, E., K.R. HOPPER & M. COLL. 2006. Host choice by *Aphidius colemani*: effects of plants, plant - aphid combinations and the presence of intra-guild predators. *Ecological Entomology*, 31: 331–336.
- BLACKMAN, R. L. & V. F. EASTOP. 1984. Aphids on the world's crops. An identification guide. 466 p. John Wiley & Sons. Chichester. Reino Unido.
- BOTTRELL, D.G., P. BARBOSA & F. GOULD. 1998. Manipulating natural enemies by plant variety selection and modification: A realistic strategy? *Annu. Rev. Entomol.*, 43: 347-367.
- BRAIMAH, H. & H.F. VAN EMDEN. 1994. The role of the plant in host acceptance by the parasitoid *Aphidius rhopalosiphi* (Hymenoptera: Braconidae). *Bulletin of Entomological Research*, 84: 303-306.
- CABELLO GARCÍA, T. & J. BELDA SUAREZ. 1994. Áfidos plaga (Homoptera: Aphididae) en cultivos hortícolas bajo plásticos. En: Moreno Vázquez R. (ed.), *Sanidad Vegetal en la Horticultura Protegida*. Cursos Superiores, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, pp. 157-177.
- CAÑEDO, V. 1999. Afidio vectores de virus importantes en la producción de tubérculos-semillas: Identificación y estudio de poblaciones. En Producción de Tubérculos-Semillas de Papa Manual de Capacitación CIP (Fascículo 3.8). Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- CARBALLO, M., E. CANO, P. CHAPUT, O. FERNÁNDEZ, L. GONZÁLEZ, A.K. GRUBER, F. GUAHARAY, E. HIDALGO, C. NARVÁEZ, J.A. LÓPEZ, C. RIZO, A. RODRÍGUEZ, C. RODRÍGUEZ & D. SALAZAR. 2004. *Control Biológico de Plagas Agrícolas*. Serie Técnica. Manual Técnico, Nº 53. 1ª ed. Managua: CATIE.

- CASALS, P. 2001. Incidencia de insecticidas sobre los enemigos naturales en remolacha. Universidad de Concepción. Campus Chillán. Chile.
- CASTLE, S. J. & P. H. BERGER. 1993. Rates of growth and increase of *Myzus persicae* on virus infected potatoes according to type of virus-vector relationship. *Ent. Exp. Appl.* 69(1): 51-57.
- CHI, H., & H. Y. SU. 2006. Age-Stage, Two-Sex Life Tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and Its Host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with Mathematical Proof of the Relationship Between Female Fecundity and the Net Reproductive Rate. *Environmental Entomology*, 35(1): 10-21.
- CIVIDANES, F.J. & V.P. SOUZA. 2003. Exigências Térmicas e Tabelas de Vida de Fertilidade de *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) em Laboratório. *Neotropical Entomology*, 32(3):413-419.
- CORBETT, A. & ROSENHEIM, J. 1996. Impact of a natural enemy overwintering refuge and its interaction with the surrounding landscape. *Ecological Entomology* 21 (2): 155 - 164.
- CORDO, H. A.; G. LOGARZO; K. BRAUN & O. DI IORIO. 2004. *Catálogo de Insectos Fitófagos de la Argentina y sus Plantas Asociadas*. Sociedad Entomológica Argentina ediciones. Buenos Aires, Argentina. ISBN 987-21319-1-0. 720 pp.
- DE BACH, P. 1964. Biological Control of Insect Pests and Weeds. De Bach P and E. Schlinger (eds.) Chapman and Hall, London. Pp. 844.

- DÍAZ, F., E. ARCAYA & M. MARCOS. 2004. Nuevos áfidos presa de *Pseudodoros clavatus* (Fabricius, 1794) (Diptera, Syrphidae) potencial agente de control Biológico. *Boln. Asoc. esp. Ent.*, 28(1-2): 245-249.
- DOULOUMPAKA, S. & H.F. VAN EMDEN. 2003. A maternal influence on the conditioning to plant cues of *Aphidius colemani* Viereck, parasitizing the aphid *Myzus persicae* Sulzer. *Physiol. Entomol.* 28: 108-113.
- EDWARDS, P.B. 1999. The use of choice tests in host-specificity testing of herbivorous insects. En: WITHERS, T.M., L. BARTON BROWNE & J. STANLEY (Eds). Host specificity testing in Australia: Towards improved assays for biological control. Pp. 35-43.
- GARCÍA, A. 2007. Manual de producción y paquete tecnológico de avena (*Avena sativa*). Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla, Puebla, México.
- GRAMATGES, A. 2002. Aplicación y técnicas del análisis de supervivencia en las investigaciones clínicas. *Rev. Cubana Hematol. Inmunol. Hemoter.* [online]. 18(2).
- GRASSWITZ, T.R. 1998. Effect of Adult Experience on the Host-Location Behavior of the Aphid Parasitoid *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae). *Biological Control*, 12(3): 177-181.
- HAGVAR, E.B. & T. HOF SVANG. 1991. Aphid parasitoids (Hymenoptera, Aphidiidae): Biology, host selection and use in biological control. *Biocontrol News and Information* 12(1): 13-41.

- HILL, R.L. 1999. Minimising uncertainty - in support of no-choice tests. En: WITHERS, T.M., L. BARTON BROWNE & J. STANLEY (Eds). Host specificity testing in Australia: Towards improved assays for biological control. Pp. 1-10.
- HORD, M. J. & C. RIVERA. 1998. Prevalencia y distribución geográfica de los virus PVX, PVY, PVA, PVM, PVS y PLRV en el cultivo de la papa en la zona norte de Cartago, Costa Rica. *Agron. Costarr.* 22(2): 137-143.
- IMWINKELRIED, J. M., F.D. FAVA & E.V. TRUMPER. 2004. Pulgones que atacan al cultivo de trigo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Boletín 7. pp. 2.
- IVES, A.R., S.S. SCHOOLER, V.J. JAGAR, S.E. KNUTESON, M. GRBIC & W.H. SETTLE. 1999. Variability and Parasitoid Foraging Efficiency: A Case Study of Pea Aphids and *Aphidius ervi*. *The American Naturalist*, 154 (6): 652-673.
- KAVALLIERATOS, N. G., D. P. LYKOURESSIS, G. P. SARLIS, G. J. STATHAS, A. SANCHIS SEGOVIA & C. G. ATHANASSIOU. 2001. The Aphidiinae (Hymenoptera: Ichneumonoidea: Braconidae) of Greece. *Phytoparasitica* 29(4): 306-340.
- LA ROSSA, F. & N. KAHN. 2003. Dos programas de computadora para confeccionar tablas de vida de fertilidad y calcular parámetros biológicos y demográficos en afidos (Homoptera: Aphidoidea). R.I.A. INTA 32 (3): 127-152.
- LANDIS, D. A., S. D. WRATTEN & G. M. GURR. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* 45: 175-201.

- LO PINTO, M., E. WAJNBERG, S. COLAZZA, C. CURTY & X. FAUVERGUE. 2004. Olfactory response of two aphid parasitoids, *Lysiphlebus testaceipes* and *Aphidius colemani*, to aphid-infested plants from a distance. The Netherlands Entomological Society, *Entomologia Experimentalis et Applicata* 110: 159-164.
- MARKKULA, M. & K. TIITTANEN. 1976. "Pest in first" and "natural infestation" methods in the control of *Tetranychus urticae* Koch with *Phytoseiulus persimilis* A.-H. on glasshouse – cucumbers (Acari). *Annu. Agric. Fenn.* 15: 81-85.
- MARINO P. & LANDIS D. 1996. Effects of landscape structure on parasitoid diversity and parasitism in agroecosystems. *Ecological Applications* 6(1): 276-284.
- MARTÍNEZ, A.S. & J. HARDIE. 2009. Hygroreception in olfactometer studies. Department of Life Sciences, Imperial College London, Ascot, Berkshire. The Royal Entomological Society, Reino Unido.
- MESSING, R.H. & J.M. RABASSE. 1995. Oviposition behaviour of the polyphagous aphid parasitoid *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 52 (1): 13-17.
- MORALES, M. & J. JANICK. 2002. Arugula: A promising speciality leaf vegetable. Trends in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA.
- MORAN, N. A. 1992. The evolution of aphid life cycles. *Annu. Rev. Entomol.* 37: 321-348.
- MOSHE, C. & D. G. BOTTRELL. 1996. Movement of an insect parasitoid in simple and diverse plant assemblages. *Ecological Entomology* 21: 141-149.

- MURPHY, G., G. FERGUSON & L. SHIPP. 2006. Factsheet: Aphids in greenhouse crops. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Ontario, Canadá.
- NUESSLY, G. S. & S. E. WEBB. 2002. Insect Management for Leafy Vegetables (Lettuce, Endive and Escarole). ENY-475 (IG161). Entomology & Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- NÚÑEZ, E., E. J. TIZADO & J. M. NIETO. 1992. Coccinélidos (Col.: Coccinellidae) predadores de pulgones (Hom. Ahididae) sobre plantas cultivadas de León. *Bol. San. Veg. Plagas*, 18: 765-775.
- ODE, P. J., K. R. HOPPER & M. COLL. 2005. Oviposition vs. offspring fitness in *Aphidius colemani* parasitizing different aphid species. *Entomol. Exp. Appl* 115: 303-310.
- OJEDA, M., L. RODRÍGUEZ & H. NIEMEYER. 2001. Evaluación olfatométrica del parasitoide *Aphidius ervi* (Hymenoptera: Braconidae), de diferentes proveniencias y niveles de experiencia de oviposición, frente a volátiles de plantas y complejos planta-hospedero. *Rev. Chilena Ent.*, 28: 63-69.
- PALADA, M.C. & S. CROSSMAN. 1999. Evaluation of tropical leaf vegetables in Virgin Islands. Perspectives on new crops and new uses. ASHS Press, VA.
- PEARL, R. 1928. The Rate of Living. Knopf, New York.
- PEREIRA, E.R. 2002. Cultivo da rúcula e do rabanete sob túneis baixos cobertos com plástico com diferentes níveis de perfuração. Universidade de São Paulo, Estado de São Paulo. Brasil.

- PIGNONE, D. 1996. Rocket: A mediterranean crop for the world. Project on underutilized mediterranean species. IPGRI.
- PIMPINI, F. & M. ENZO. 1996. Rocket: A mediterranean crop for the world. Project on underutilized mediterranean species. IPGRI.
- RADCLIFFE, T., D. RAGSDALE & A. LAGNAOUI. 1996. Los fungicidas afectan el control de áfidos. Red River Valley Potato Growers Association.
- RAFFA, K.F., N.P. HAVILL & E.V. NORDHEIM. 2002. How many choices can your test animal compare effectively? Evaluating a critical assumption of behavioral preference tests. *Oecologia*, 133: 422-429.
- RAMAN, K.V. 1985. Transmisión de virus de papa por áfidos. Boletín de Información Técnica 2. Centro Nacional de la Papa, Lima, Perú. 23 pp.
- RAMSEY, J.S., A. WILSON, M. DE VOS, Q. SUN, C. TAMBORINDEGUY, A. WINFIELD, G. MALLOCH, D.M. SMITH, B. FENTON, S.M. GRAY & G. JANDER. 2007. Genomic resources for *Myzus persicae*: EST sequencing, SNP identification, and microarray desing. *BMC Genomics* 8: 423.
- REBEK, E., CLIFFORD, S. & LAWRENCE, M. 2005. Influence of floral resource plants on control of an armored scale pest by the parasitoid *Encarsia citrina* (Craw.) (Hymenoptera: Aphelinidae). *Biological Control*, 37(3): 320-328.
- RISCH, S., D. ANDOW & M. ALTIERI. 1983. Agroecosystem diversity and pest control: data, tentative conclusions and new research directions. *Environmental Entomology*, 12: 625-629.

- RIVERA, C., W. VILLALOBOS, M.V. SÁNCHEZ, C. ZUMBADO & C.M. RODRÍGUEZ. 1993. Identification and distribution of melon-infecting virus and their vectors in two provinces of Costa Rica. *Turrialba* 43: 210-215. Citado por: SÁNCHEZ, M., R. AGÜERO & C. RIVERA. 2001. Plantas hospederas de *Aphis gossypii* (Aphididae), vector de virus del melón *Cucumis melo* (Cucurbitaceae) en Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 49(1): 305-311.
- RODRÍGUEZ, M.P., M.M. SÁNCHEZ, M. NAVARRO & V. APARICIO. 2003. *Aphidius colemani* enemigo natural de pulgones. *Revista Horticultura* 171: 50-53.
- RUTLEDGE, C.E. & R.N. WIEDENMANN. 1999. Habitat Preferences of Three Congeneric Braconoid Parasitoids: Implications for Host-Range Testing in Biological Control. *Biological Control* 16: 144-154.
- SANDS, D. & R.G. VAN DRIESCHE. 2002. Host range testing techniques for parasitoids and predators. 1st International Symposium on Biological Control of Arthropods. Honolulu, Hawaii, United States of America. pp. 41-53.
- SAMPAIO, M.V., V.H.P. BUENO & B.F. DE CONTI. 2008. The effect of the quality and size of host aphid species on the biological characteristics of *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae). *Eur. J. Entomol.* 105: 489-494.
- SAMPAIO<sup>1</sup>, M. V., V. BUENO & J.C. VAN LENTEREN. 2001. Prefêrencia de *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae) por *Myzus persicae* (Sulzer) e *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Neotrop. Entomol.*, 30 (4): 655-660.
- SAMPAIO<sup>2</sup>, M. V., V. BUENO & R. PEREZ-MALUF. 2001. Parasitismo de *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae) em diferentes densidades de

- Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Neotrop. Entomol.* 30 (1): 81-87.
- SAMPAIO, M.V., V.H.P. BUENO, S.M.M. RODRIGUES & M.C.M. SOGLIA. 2005. Resposta à temperatura de *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera, Braconidae, Aphidiinae) originário de três regiões climáticas de Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 49(1): 141-147.
- SCHELT, J.V. & F. WÄCKERS. 2003. The biological control of *Aulacorthum solani* (Kaltenbach) (Homoptera: Aphididae) in greenhouse grown pepper; research on a tri-trophic system. Pp. 21-27 *en* SOARES, A.O, M.A. VENTURA, V. GARCIA & J.-L. HEMPTINNE (Eds) 2003. Proceedings of the 8th International Symposium on Ecology of Aphidophaga: Biology, Ecology and Behaviour of Aphidophagous Insects. Arquipélago. Life and Marine Sciences. Supplement 5: x + 112 pp.
- SEGURA, D., M. VISCARRET, S. OVRUSKI & J. CLADERA. 2007. Claves químicas utilizadas por un parasitoide en la búsqueda de hospedadores: Pruebas de elección en olfatómetro y arenas experimentales. II Reunión Argentina de Parasitoidólogos. Córdoba. Argentina.
- SEQUEIRA, R. & M. MACKAUER. 1992. Nutritional ecology of an insect host-parasitoid association: The pea aphid - *Aphidius ervi* system. *Ecol. Soc. Amer.*, 73: 183-189.
- SIMON, J.C., D. MARTÍNEZ, A. LATORRE, A. MOYA & P.D.N. HEBERT. 1996. Molecular Characterization of Cyclic and Obligate Parthenogens in the Aphid *Rhopalosiphum padi* (L.). *Biological Sciences*, 263 (1369): 481-486.

- SOGLIA, M.C.M., V.H.P. BUENO, M.V. SAMPAIO, S.M.M. RODRIGUES & C.A.S. LEDO. 2006. Desenvolvimento e Parasitismo de *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) e *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Braconidae) em *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) em Duas Cultivares de Crisântemo. *Neotropical Entomology*, 35(3):364-370.
- SOKAL R. & J. ROHLF. 1981. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. 2nd ed., W. H. Freeman and Company, San Francisco. 859 pp.
- SOUTHWOOD, T.R.E. 1994. Ecological methods. De. Chapman y Hall, 524 p.
- STARÝ, P. 1975. *Aphidius colemani* Viereck: Its taxonomy, distribution, and host range. *Acta Entomologica Bohemoslovaca* 72: 156–163.
- STARÝ, P. 1976. *Aphid Parasities (Hymenoptera, Aphidiidae) of the Mediterranean Area*. Academia Nakladatelstvi Ceskoslovenske Akademie Ved.
- STARÝ, P. 1993. Alternative host and parasitoid in first method in aphid pest management in glasshouses. *J. Appl. Ent.* 116: 187-191.
- STARÝ, P. & K. S. PIKE. 1999. Uses of beneficial insect diversity in agroecosystem management. En: *Biodiversity in Agroecosystem*. Collins W. & Qualset C. Eds. CRC Press., pp. 49-68.
- SYLLER, J. 1994. The effects of temperature on the availability and acquisition of Potato leaf roll luteovirus by *Myzus persicae*. *Ann. Appl. Biol.* 124:141-149.

- TAKADA, H. 2002. Parasitoids (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae; Aphelinidae) of four principal pest aphids (Homoptera: Aphididae) on greenhouse vegetable crops in Japan. *Appl. Entomol. Zool.*, 37(2): 237-249.
- TATSUMI, E. & H. TAKADA. 2005. Evaluation of *Aphelinus asychis* and *A. albipodus* (Hymenoptera: Aphelinidae) as biological control agents against three pest aphids. *Appl. Entomol. Zool.*, 40(2): 379–385.
- TORRES, A., V. BUENO, M. SAMPAIO & B. DE CONTI. 2007. Tabela de Vida de Fertilidade de *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae) em *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology* 36 (4): 532-536.
- TRANDAFIRESCU, M., I. TRANDAFIRESCU, C. GAVAT & V. SPITA. 2004. Entomophagous complexes of some pests in apple and peach orchards in southeastern Romania. Orchard Management in sustainable fruit production. *J. Fruit Ornam. Plant Res. Special ed.*, 12: 253-261.
- TSIPOURIDIS, C., I. XATZICHARISIS & T. THOMIDIS. 2004. Integrated control of the most damaging pests of peach trees in Greece. Pomology Institute, Naoussa, Greece. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 37: 275-281.
- VAN DEN BOSCH, R. & A. D. TELFORD. 1964. Modificación del ambiente y control biológico. *En: El alcance del control biológico*. De Bach P. & E. Schlinger eds. Chapman & Hall, London, pp. 547-581.
- VAN DRIESCHE, R.G., M.S. HODDLE & T.D. CENTER. 2007. Control de plagas y malezas por enemigos naturales. Traducción por E. Ruiz Cancino y J. Blanca

Coronado. Technology transfer. Biological control. Forest Health Technology Enterprise Team. USDA. 12 p.

VAN DRIESCHE, R. G. & T. BELLOWS S. 1996. Natural enemy conservation. En: *Biological Control*. Chapman & Hall, pp. 105-127.

VAN STEENIS, M.J. 1995. Evaluation of four aphidiine parasitoids for biological control of *Aphis gossypii*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 75: 151-157.

VERKERK, R. H. 2004 Manipulation of tritrophic interactions for IPM. En: *Integrated Pest Management. Potential, Constraints and Challenges*. Koul O., Dhaliwal G. & Cuperus G. Eds. CABI Publish., pp. 55-71.

VIVAN, L.M., J.B. TORRES, R. BARROS & A. VEIGA. 2002. Tasa de crecimiento poblacional del chinche depredador *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) y de la presa *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) en invernadero. *Rev. Biol. Trop.* 50(1): 145-153.

VOEGTLIN, D., W. VILLALOBOS, M. SÁNCHEZ, G. SABORÍO & C. RIVERA. 2003. Guía de los áfidos alados de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 1(2): 140-144.

## 9. ANEXOS

### 9.1. Pruebas de semicampo

Las experiencias fueron conducidas en un macrotúnel experimental de 180 m<sup>2</sup> durante los meses de julio y agosto. En condiciones semicontroladas a través del uso de jaulas de inclusión de 55x60x80cm (Figura 17). Se utilizó un diseño completamente al azar para comparar los cuatro tratamientos evaluados en el laboratorio. Se utilizaron 6 réplicas para cada tratamiento. En cada jaula se



**Fig. 17.** Jaulas empleadas como unidades experimentales en el interior del macrotúnel (Espinoza, 2010).

sembró una línea de avena, rúcula o ambas, que fue inicialmente infestada con 1000 ninfas de 2<sup>o</sup>- 3<sup>o</sup> estadio de las especies de áfidos *R. padi* (para avena) o *M. persicae* (para rúcula) en los tratamientos simples. En los tratamientos mixtos se colocaron 500 ninfas de cada especie de áfido sobre el cultivo correspondiente.

Una vez que el material vegetal de las unidades experimentales había sido infestado, se esperó una semana antes de realizar la liberación de *A. colemani* con el propósito de asegurar el asentamiento de la plaga en el cultivo.

Luego, se liberaron cuatro hembras fecundadas del parasitoide con menos de 24 horas de vida y sin experiencia previa de oviposición en cada jaula. Para el caso de los tratamientos de la procedencia avena - *R. padi* se realizó una sola liberación

de cuatro hembras por jaula, en tanto que para los tratamientos de la procedencia rúcula - *M. persicae* se realizaron dos liberaciones, de dos hembras cada una, con dos días de diferencia, debido a dificultades para obtener suficientes hembras en el momento preciso de este ensayo.

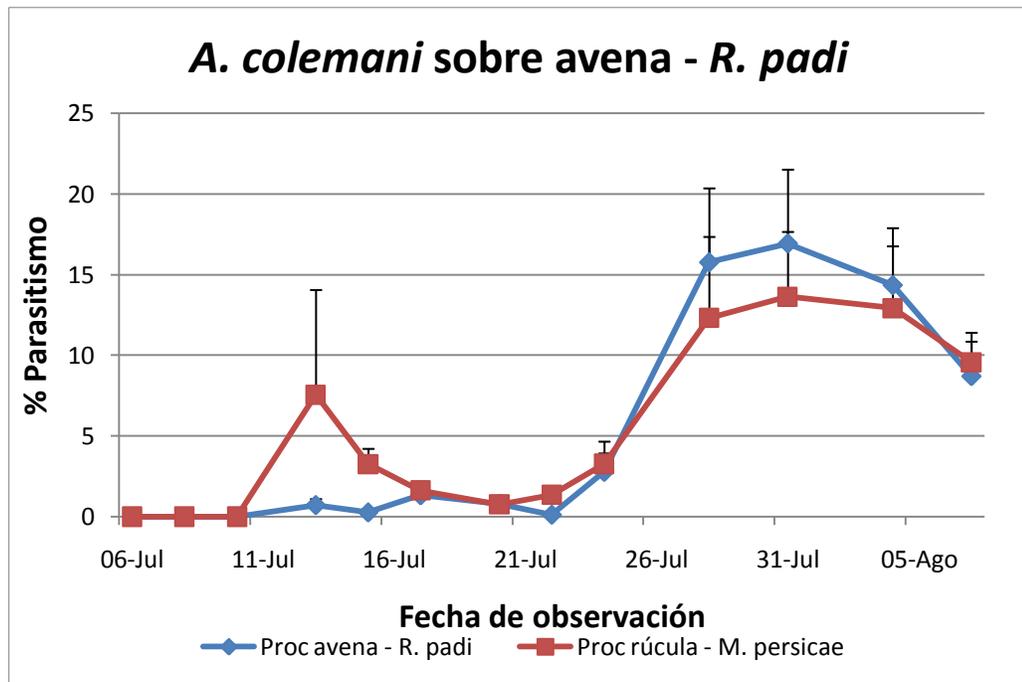
Los parasitoides liberados no fueron extraídos en ningún momento, ni tampoco se extrajeron las momias que estos originaron.

Se realizaron recuentos cada dos días sobre 15 hojas de avena y/o rúcula tomadas al azar que se iniciaron el día previo a la liberación del parasitoide. Se contabilizó el número de áfidos y momias/15 hojas/jaula. Los recuentos finalizaron aproximadamente a los 35-40 días de iniciado el ensayo.

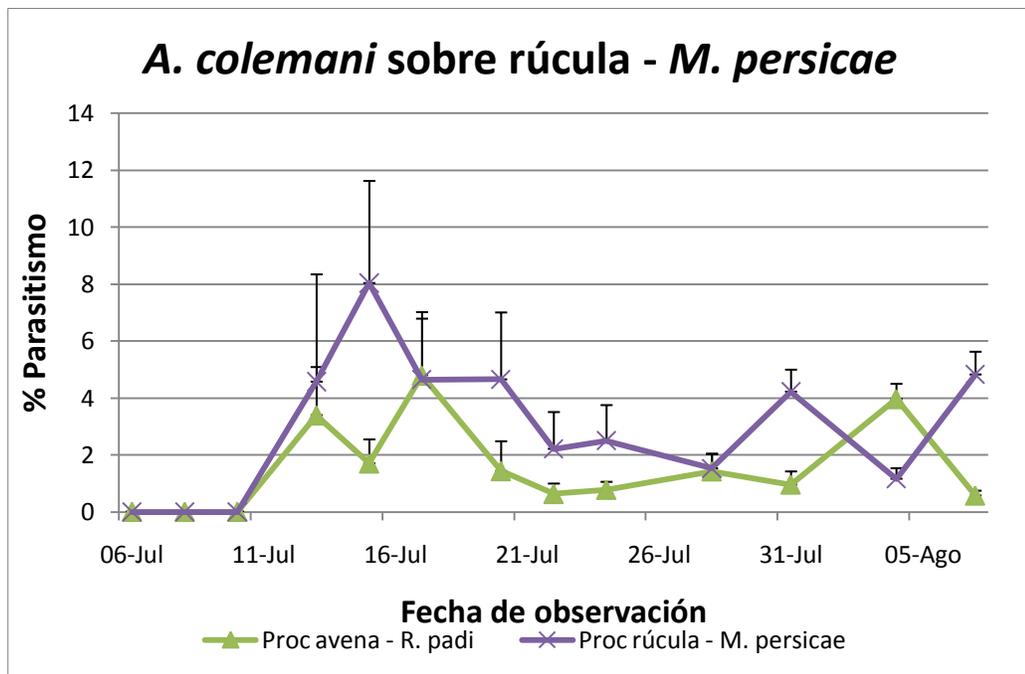
## **Resultados obtenidos**

Por diversos motivos, principalmente de orden climático (la temperatura fluctuó entre  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), las poblaciones de insectos utilizadas en el ensayo de semicampo no lograron establecerse de forma óptima en las líneas de cultivo del invernadero. Por esta razón, los resultados obtenidos en esta etapa del trabajo solamente serán aprovechados en forma descriptiva.

En la prueba de opción doble se obtuvieron los resultados de porcentaje de parasitismo ilustrados en las siguientes figuras:

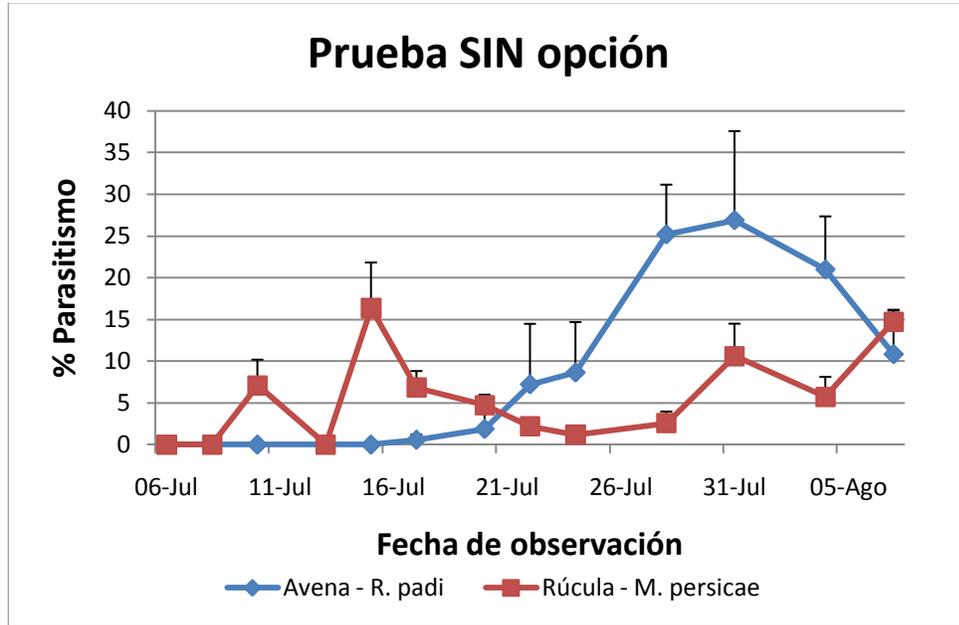


**Fig. 18.** Porcentaje de parasitismo en función del tiempo sobre avena - *R. padi* para las dos procedencias estudiadas de *A. colemani*, prueba con opción.



**Fig. 19.** Porcentaje de parasitismo en función del tiempo sobre rúcula - *M. persicae* para las dos procedencias estudiadas de *A. colemani*, prueba con opción.

Los resultados obtenidos en la prueba sin opción se observan en la figura a continuación:



**Fig. 20.** Porcentaje de parasitismo en función del tiempo para dos cohortes de *A. colemani* sobre sus huéspedes originales, en prueba sin opción.

Los resultados de las pruebas con y sin opción reflejaron un mayor porcentaje de parasitismo sobre la asociación avena - *R. padi*, en comparación con la asociación rúcula - *M. persicae*, indistintamente de la procedencia del parasitoide. No obstante, también se demostró a nivel de semicampo, que el parasitoide fue capaz de desempeñarse sobre la otra asociación planta - áfido ofrecida.

El aporte más relevante de estas pruebas en semicampo fue la posibilidad de demostrar que bajo condiciones de cultivo bajo cubierta, el parasitoide *A. colemani* fue capaz de alimentarse, desarrollarse y dejar descendencia en las dos asociaciones planta hospedera - áfido huésped que forman parte del sistema de hospedera alternativa propuesto.

Los resultados obtenidos ameritan nuevas investigaciones orientadas a establecer estrategias de manejo aplicables al sistema propuesto para favorecer el control de la plaga de *M. persicae* en el cultivo bajo cubierta de rúcula.