



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSGRADO EN FITOSANIDAD
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

**CAPACIDAD DE CONSUMO, RESPUESTA
FUNCIONAL Y BIOLOGÍA DE TRES ESPECIES
DE *Chrysoperla* (NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE)
ALIMENTADAS CON *Melanaphis sacchari*
(HEMIPTERA: APHIDIDAE)**

GONZALO ESPINOSA VÁSQUEZ

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

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2020

La presente tesis titulada: **CAPACIDAD DE CONSUMO, RESPUESTA FUNCIONAL Y BIOLOGÍA DE TRES ESPECIES DE *Chrysoperla* (NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE) ALIMENTADAS CON *Melanaphis sacchari* (HEMIPTERA: APHIDIDAE)**, realizada por el alumno: **Gonzalo Espinosa Vásquez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO


DR. HÉCTOR GONZÁLEZ HERNANDEZ

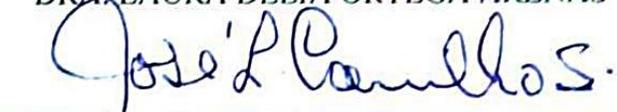
ASESORA


DRA. RAQUEL ALATORRE ROSAS

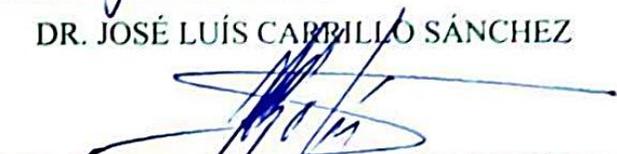
ASESORA


DRA. LAURA DELIA ORTEGA ARENAS

ASESOR


DR. JOSÉ LUÍS CARRILLO SÁNCHEZ

ASESOR


DR. JUAN FERNANDO SOLÍS AGUILAR

ASESOR


DR. J. REFUGIO COMELI FLORES

Montecillo, Texcoco, Estado de México, marzo 2020.

**CAPACIDAD DE CONSUMO, RESPUESTA FUNCIONAL Y BIOLOGÍA DE TRES
ESPECIES DE *Chrysoperla* (NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE) ALIMENTADAS CON
Melanaphis sacchari (HEMIPTERA: APHIDIDAE)**

Gonzalo Espinosa Vásquez, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2020

RESUMEN

El pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari*, es una plaga cosmopolita que afecta de manera importante al cultivo de sorgo. En Norteamérica, se han reportado pérdidas de hasta 100% de rendimiento en este cultivo, principalmente donde no se practica algún manejo contra esta plaga. *M. sacchari* tiene diversos enemigos naturales, entre los cuales se encuentran diversas especies del género *Chrysoperla*. En el presente estudio se exploró el potencial de *Chrysoperla carnea*, *C. externa* y *C. comanche* como agentes de control biológico mediante la determinación de capacidad de consumo, respuesta funcional, tiempo de desarrollo, supervivencia, fecundidad y algunos parámetros poblacionales usando a *M. sacchari* como presa. Los resultados obtenidos indican que *C. carnea* presentó los mejores atributos, tales como la capacidad de consumo que fue de 119.4 ninfas de *M. sacchari* en 24 h, su estado larval logró consumir 486.7 pulgones, presentó una respuesta funcional tipo II, un coeficiente de ataque mayor (0.10) y un tiempo de manipuleo menor (0.10 h) que las otras dos especies. Esta misma especie logró forrajear cerca del 80 % de ninfas aún en la densidad de 64 presas ofrecidas. El tiempo de desarrollo para *C. comanche* alimentada con *Sitotroga cerealella* de huevo a la emergencia del adulto fue de 22.4±0.29 días; mientras que, para *C. carnea* y *C. externa*, fue de 28.86±0.26 y 29.50±0.37 días, respectivamente cuando se alimentaron con *M. sacchari*. La supervivencia del estado larval a pupa de *C. carnea* fue mayor a 93 %, llegando 69 % a adultos, cuando se alimentó con ninfas de *M. sacchari*. La fecundidad por

hembra varió de 374.5 a 488.5 huevos, la cual, no fue significativa entre especies. Los resultados obtenidos en la presente investigación, permiten inferir a *C. carnea* como una opción para el control biológico por aumento de *M. sacchari* en el cultivo del sorgo, sin embargo, se requieren más trabajos de investigación para fijar la cantidad y el momento oportuno de liberación de las crisopas en un programa de control biológico por aumento.

Palabras clave: Plagas del sorgo, *Melanaphis sacchari*, *Chrysoperla carnea*, enemigos naturales.

CONSUMPTION CAPACITY, FUNCTIONAL RESPONSE AND BIOLOGY OF THREE SPECIES OF *Chrysoperla* (NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE) SUPPLIED WITH *Melanaphis sacchari* (HEMIPTERA: APHIDIDAE)

Gonzalo Espinosa Vásquez, DSc.

Colegio de Postgraduados, 2020

ABSTRACT

The yellow sorghum aphid *Melanaphis sacchari* is a cosmopolitan pest that significantly affects sorghum cultivation. In North America, sorghum losses on yield of up to 100% have been reported, mainly where no management strategies were taken against this pest. *M. sacchari* has several natural enemies, among which are several species of the genus *Chrysoperla*. In the present study, the potential of *Chrysoperla carnea*, *C. externa* and *C. comanche* as biological control agents was explored through determining consumption capacity, functional response, development time, survival, fertility and some population parameters using *M. sacchari* as prey. The results obtained indicate that *C. carnea* presented the best attributes, such as the consumption capacity that was 119.4 nymphs of *M. sacchari* in 24 h, its larval stage consumed 486.7 aphids, presented a functional response type II, a coefficient of major attack (0.10) and a shorter handling time (0.10 h), than the other two species. This same species managed to forage about 80.0 % of nymphs even at the density of 64 preys offered. The egg development time to the adult emergency was 22.4 ± 0.29 days for *C. comanche* fed with *S. cerealella*; while, for *C. carnea* and *C. externa*, it was 28.86 ± 0.26 and 29.50 ± 0.37 days, respectively, when they were fed with *M. sacchari*. The survival from larvae to pupae of *C. carnea* was greater than 93.0 %, reaching adults 69.0 % when fed with nymphs of *M. sacchari*. Fertility per female varied from 374.5 to 488.5 eggs, which was not significant different between species. The results obtained in the present investigation, allow to

infer *C. carnea* as an option for biological control due to the increase of *M. sacchari* in sorghum cultivation, however, more research work is required to fix doses and the opportune moment of release of the green lacewings in an augmentative biological control program.

Keywords: Sorghum pests, *Melanaphis sacchari*, *Chrysoperla carnea*, natural enemies.

AGRADECIMIENTOS

A las mexicanas y mexicanos que aportan impuestos, quienes, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) han financiado parte de mi formación académica.

Al Colegio de Postgraduados por haberme dado la oportunidad de entrar a su sistema educativo y formarme con los profesores de excelencia en el área de la Fitosanidad y que me compartieron sus conocimientos y experiencias.

A la Fundación Guanajuato Produce, A.C., por el financiamiento del proyecto “Evaluación de control biológico del pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* en Guanajuato y su compatibilidad con el control químico” en el año 2017, del cual forman partes algunas actividades de esta investigación.

Al Ing. Leobardo Díaz Corro del Comité de Sanidad Vegetal del estado de Morelos por las facilidades que me ofreció para la colecta de ninfas y adultos de *M. sacchari* en cultivos de sorgo en el estado de Morelos.

A los M.C. Hugo C. Arredondo Bernal y Jorge Sánchez del Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB), por proporcionarme ejemplares de *Chrysoperla externa* para llevar a cabo mis trabajos de investigación.

Al Dr. Emigdio Morales Olais por la colecta de *Chrysoperla comanche* en Torreón, Coahuila, la cual, también forma parte de mis trabajos de investigación.

A mi consejero Dr. Héctor González Hernández, por aceptarme formar parte de su equipo de trabajo y brindarme todas las facilidades para realizar mi trabajo de investigación, también le agradezco por la comprensión, apoyo y mucha confianza durante mi formación académica.

A cada uno de los miembros de mi Consejo Particular, Dra. Raquel Alatorre Rosas, Dra. Laura Delia Ortega Arenas, Dr. J. Refugio Lomeli Flores, Dr. José Luís Carrillo Sánchez, Dr. Juan Fernando Solís Aguilar, todos muy bondadosos, que con sus sugerencias y críticas constructivas he logrado concluir esta fase doctoral, gracias por todo el apoyo brindado. Totalmente agradecido con el Dr. Lomeli por invitarme formar parte del proyecto “Evaluación de control biológico del pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* en Guanajuato y su compatibilidad con el control químico” en el año 2017, del cual aproveché para realizar mis trabajos de investigación.

A todos los profesores del posgrado en Fitosanidad por la disponibilidad de transmitir sus conocimientos a nosotros los estudiantes.

A todos los amigos que me regalaron de su valioso tiempo para conocerlos en algún momento durante estos cuatro años de mi formación académica, Carlos Lázaro, Víctor Almaraz, Juan M. Vanegas, Víctor H. García, Reyna Vargas, Jannet Teniente, Marino Cid, Adriana, Guadalupe Velázquez, Oscar Barreto, Eduardo Murillo, Raquel Salas, Trinidad Lomeli, Jesús Gonzaga, Daniel Gómez, Daniel Ramírez, Karen Díaz, Cecilia Velázquez, Liliana, Alberto Agripino, Silvia Colin, Carmela Ortíz, a todos ustedes, muchas gracias por el apoyo moral.

DEDICATORIA

A mis papás Marcelino Espinosa^f y Merced Vásquez^f por todo el apoyo brindado. Mi jefa sabía que su hijo llegaría lejos desde que lo conoció porque el partero se lo dijo, estoy convencido con ese mensaje, también estoy muy agradecido con ella por todas las facilidades y confianza que me ofreció. Dios da y también quita, pero estoy seguro que mis papás están muy orgullosos por este logro que juntos hemos logrado.

A mis herman@s, Guadalupe, Vicky, Angelina y Vicente. Lamento mucho que estemos lejos, pero, comprendemos que es por un bien para todos, lo importante es que somos una familia unida.

A mis cuñad@s Zenorino, Abel, Heriberto Bautista, Severiana, Edwin Axel; a todos mis sobrin@s, gracias por el apoyo moral.

A ti, Ana Laura Simental Paz, por tu apoyo incondicional y confianza que me brindas para alcanzar nuestras metas, que como familia siempre lo logramos.

A mis niños Lander Yoshimé Espinosa Simental y Matías Gonzalo Espinosa Simental, que sin el consentimiento de cada uno les robo el tiempo.

A mis suegros María Elena y Felipe Cruz que siempre están apoyándome en todo.

A mi estimado Dr. Marcelo Acosta Ramos, un tipazo y una persona muy bondadosa, le agradezco por compartir experiencias de vida profesional, seguro que sabré recompensar todo el apoyo que me brinda.

A mis amigos del Centro de Investigación Nacional Agropecuaria (CINNAGRO): Guly, Arleth, Ceci, Lucero, Gaby, Marcelo, Juan Vázquez, Elimelec, Manuel Tejeda, Daniel, Fernando, Miguel Acosta, Alejandro, Juan Acosta, Juan Jesús, entre otros.

**Con admiración
Su amigo, Gonzalo**

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	v
AGRADECIMIENTOS	vii
DEDICATORIA	viii
LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
LITERATURA CITADA	4
CAPÍTULO I. RESPUESTA FUNCIONAL DE TRES ESPECIES DE <i>Chrysoperla</i> (NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE) SOBRE <i>Melanaphis sacchari</i> (HEMIPTERA: APHIDIDAE)	7
1.1. INTRODUCCIÓN	7
1.2. MATERIALES Y MÉTODOS	9
1.2.1. Condiciones generales de los experimentos	9
1.2.2. Cría de insectos.....	9
1.2.3. Arena experimental.....	10
1.2.4. Desarrollo de los experimentos.....	10
1.2.4.1. Capacidad de consumo	10
1.2.4.2. Respuesta funcional	11
1.2.5. Análisis estadístico	11
1.3. RESULTADOS.....	12
1.3.1. Capacidad de consumo	12
1.3.2. Respuesta funcional	13
1.4. DISCUSIÓN	16
1.5. LITERATURA CITADA	19
CAPÍTULO II. DESARROLLO Y DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DE TRES ESPECIES DE <i>Chrysoperla</i> (NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE) ALIMENTADAS CON <i>Melanaphis</i> <i>sacchari</i> (HEMIPTERA: APHIDIDAE)	23
2.1. INTRODUCCIÓN	23

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS	24
2.2.1. Condiciones generales de los experimentos	24
2.2.2. Cría de insectos.....	24
2.2.3. Arena experimental.....	25
2.2.4. Desarrollo de experimentos	25
2.2.4.1. Tiempo de desarrollo de los estados inmaduros de tres especies de <i>Chrysoperla</i>	25
2.2.4.2. Parámetros reproductivos y poblacionales de crisópidos	25
2.2.5. Análisis estadístico	26
2.3. RESULTADOS.....	27
2.3.1. Tiempo de desarrollo	27
2.3.2. Parámetros reproductivos y poblacionales de crisópidos	29
2.3.3. Parámetros poblacionales	30
2.4. DISCUSIÓN	31
2.5. LITERATURA CITADA	36
CAPÍTULO III. CAPACIDAD DE CONSUMO DEL ESTADO LARVAL Y TIEMPO DE DESARROLLO DE TRES ESPECIES DE CRISOPAS ALIMENTADAS CON <i>Melanaphis sacchari</i> (HEMIPTERA: APHIDIDAE)	40
3.1. INTRODUCCIÓN	40
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.2.1. Condiciones generales del experimento	41
3.2.2. Cría de insectos.....	42
3.2.3. Desarrollo del experimento.....	42
3.2.4. Análisis de datos	43
3.3. RESULTADOS.....	43
3.4. DISCUSIÓN	46
3.5. LITERATURA CITADA	51
CONCLUSIONES GENERALES.....	54

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Consumo promedio de tres especies de <i>Chrysoperla</i> sobre el pulgón amarillo del sorgo <i>Melanaphis sacchari</i>	13
Cuadro 2. Parámetros estimados (\pm EE) de regresión logística sobre la proporción de ninfas de <i>Melanaphis sacchari</i> consumidas por tres especies de <i>Chrysoperla</i>	14
Cuadro 3. Parámetros de la respuesta funcional tipo II, estimados con el modelo de Rogers (1972) para tres especies de <i>Chrysoperla</i> sobre ninfas de <i>Melanaphis sacchari</i>	16
Cuadro 4. Días de desarrollo (Promedio \pm EE) de los estados inmaduros de tres especies de <i>Chrysoperla</i> alimentadas con <i>Melanaphis sacchari</i> y <i>Sitotroga cerealella</i>	28
Cuadro 5. Tiempo de desarrollo (días) por parámetro reproductivo (Promedio \pm EE) de tres especies de <i>Chrysoperla</i> , alimentadas con <i>Melanaphis sacchari</i> y <i>Sitotroga cerealella</i>	29
Cuadro 6. Parámetros poblacionales de tres especies de <i>Chrysoperla</i> alimentadas con <i>Melanaphis sacchari</i> y <i>Sitotroga cerealella</i>	30
Cuadro 7. Consumo (Promedio \pm Error Estándar) de cada ínstar larval de tres especies de <i>Chrysoperla</i> , alimentadas con ninfas de <i>Melanaphis sacchari</i>	44
Cuadro 8. Días de desarrollo (Promedio \pm Error Estándar) de tres especies de <i>Chrysoperla</i> alimentadas con <i>Melanaphis sacchari</i>	45

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Curvas de respuesta funcional tipo II (a) y proporción de presas consumidas (b) por *Chrysoperla carnea*, *C. externa* y *C. comanche* a diferentes densidades de *Melanaphis sacchari*..... 15
- Figura 2. Supervivencia en diferentes fases de desarrollo de *Chrysoperla carnea* (1a), *C. comanche* (1b) y *C. externa* (1c), alimentadas con ninfas de pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* (PAS) y *Sitotroga cerealella*. 28
- Figura 3. Porcentaje de supervivencia de diferentes fases biológicas de tres especies de *Chrysoperla* alimentadas con ninfas de *Melanaphis sacchari*..... 46

INTRODUCCIÓN GENERAL

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), es uno de los cereales de mayor importancia en el mundo, su producción en el año 2019 fue de 59.8 millones de toneladas. La producción de este cultivo se concentra en Estados Unidos de América con 8.7 millones de toneladas (Mt) de grano, Nigeria (6.9 Mt), Etiopía (5.2 Mt), India (4.5 Mt) y México (4.0 Mt), los cuales son considerados productores líderes de sorgo en grano (USDA, 2020).

En México, se sembraban alrededor de 2 millones de hectáreas de sorgo hasta el año 2014 a nivel nacional, con una producción aproximada de 8 millones de toneladas, donde los principales estados productores son Tamaulipas, Guanajuato, Sinaloa y Michoacán, sin embargo, a partir del 2015, dicha superficie disminuyó hasta llegar a 1.3 millones de ha en 2019 (SIAP, 2015, 2020).

Entre las principales plagas que atacan a este cultivo se encuentran el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), gusano soldado *S. exigua* (Hübner), gusano trozador *Agrotis ipsilon* (Hufnagel), mosca midge *Contarinia sorghicola* (Coquillet), chinche café *Oebalus mexicana* (Sailer), gallina ciega *Phyllophaga* spp., pulgón del cogollo *Rhopalosiphum maidis* Fitch, pulgón de los cereales *Schizaphis graminum* (Rondani), pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Rodríguez-del-Bosque y Terán, 2018). Esta última especie se considera la causa de la disminución de la superficie de siembra de sorgo en nuestro país en los últimos años. Sus primeras colonias se observaron a finales de 2013 y en poco tiempo se convirtió en la plaga más importante en diversas regiones productoras de sorgo del país (Rodríguez-del-Bosque y Terán, 2015; SENASICA, 2015). Es una plaga originaria de África que afecta a algunos cultivos de la familia Poaceae en diversas regiones del mundo (Singh *et al.*, 2004; Blackman y Eastop 2015; Bowling *et al.*, 2016).

M. sacchari puede atacar en cualquier etapa del cultivo, aunque tiene mayor impacto durante la formación y desarrollo del grano, lo que podría afectar hasta 100 % del rendimiento si el cultivo se mantiene libre de manejo de dicha plaga (Villanueva *et al.*, 2014; Rodríguez-del-Bosque y Terán, 2015; Bowling *et al.*, 2016). La coloración púrpura en hojas, seguida de clorosis, necrosis, retraso del crecimiento, retraso en floración y poco llenado de grano son daños directos, mientras el desarrollo de la fumagina sobre la mielecilla constituye un daño indirecto (Singh *et al.*, 2004).

Entre las tácticas para el manejo del pulgón amarillo destacan el uso de los insecticidas (Bowling *et al.*, 2016; Michaud *et al.*, 2017), extractos vegetales (Rodríguez *et al.*, 2016), variedades tolerantes (Peterson *et al.*, 2018), y diversos enemigos naturales como parte del control biológico (SENASICA, 2018).

En el mundo se reportan alrededor de 45 especies de enemigos naturales de *M. sacchari*, agrupadas como entomopatógenos, parasitoides y depredadores (Singh *et al.*, 2004; Colares *et al.*, 2015; Bowling *et al.*, 2016), de las cuales, al menos 20 se asocian a esta plaga en México (Cortez-Mondaca *et al.*, 2016; López-Gutiérrez *et al.*, 2016; Rodríguez-Vélez *et al.*, 2016; Vázquez-Navarro *et al.*, 2016), donde se encuentran varias especies de crisopas (Neuroptera: Chrysopidae), uno de los grupos más importantes en programas de control biológico a nivel mundial (New, 2001; Souza y Carvalho, 2002; López-Arroyo *et al.*, 2003; Souza, 2010; Gamboa *et al.*, 2016).

Chrysoperla carnea, *C. externa* y *C. comanche*, tres especies pertenecientes al orden Neuroptera, tienen alta adaptabilidad en diversas condiciones ambientales, pueden presentar compatibilidad con agentes microbianos, su cría masiva es relativamente sencilla por lo que se consiguen en diversos laboratorios de reproducción de enemigos naturales, principalmente en Norteamérica, Europa y Pakistán (Daane *et al.*, 1996; Tauber *et al.*, 2000; Zaki y Gesraha 2001; Uddin *et al.*, 2005). Las larvas de *Chrysoperla* son muy móviles, tienen alta capacidad depredadora

y son eficientes consumidores de áfidos, cóccidos, trips, aleiródidos, entre otras (McEwen *et al.*, 2001; Souza y Carvalho, 2002; Villenave *et al.*, 2006; Nájera-Rincón y Souza, 2010; Gamboa *et al.*, 2016).

La capacidad depredadora, capacidad de búsqueda y tiempo de manipuleo de larvas de crisopas en diferentes densidades de *M. sacchari* (Cédola y Botto, 1996; Wiedenmann y Smith, 1997) se determinan mediante estudios de respuesta funcional, con la cual se estima el número de presas consumidas por un depredador en función de la densidad de presas disponibles (Holling, 1959). Además de estudiar otros aspectos biológicos, tales como consumo total del estado larval, tiempo de desarrollo de los estados biológicos, supervivencia, longevidad de adultos, tasa de fecundidad y algunos parámetros poblacionales, que permitan tomar una decisión sobre el uso de crisopas dentro del programa de manejo integral de plagas (Chi y Yang 2003; Atlihan *et al.*, 2004; Gautam *et al.*, 2009; Khan *et al.*, 2017). Por lo tanto, los objetivos del presente estudio fueron:

1. Determinar el tipo de respuesta funcional que presentan *Chrysoperla carnea*, *C. comanche* y *C. externa* alimentadas con el pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari*.
2. Comparar el consumo durante el estado larval de *C. carnea*, *C. comanche* y *C. externa*, alimentadas con pulgón amarillo del sorgo *M. sacchari*.
3. Conocer el tiempo de desarrollo, supervivencia, fecundidad y parámetros poblacionales de *C. carnea*, *C. comanche* y *C. externa*, al ser alimentadas con ninfas de *M. sacchari*.

LITERATURA CITADA

- Atlihan, R., M. B. Kaydan, and M. S. Özgökçe. 2004. Feeding activity and life history characteristics of the generalist predator, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) at different prey densities. *Journal of Pest Science* 77: 17-21.
- Blackman, R., and V. Eastop. 2015. *Aphids on the World's Plants. Identification and Information Guide*. Consultada en enero de 2019. <http://www.aphidsonworldsplants.info>.
- Bowling, R., M. Brewer, D. Kerns, J. Gordy, N. Seiter, N. Elliott, and E. Maxson. 2016. Sugarcane Aphid (Hemiptera: Aphididae): A New Pest on Sorghum in North America. *Journal of Integrated Pest Management*, 7: 1-13.
- Cédola, C. y E. Botto. 1996. Evaluación de la respuesta funcional de *Amblyseius idaeus* Moraes y McMurtry, 1983 y *Phytoseiulus macropilis* (Banks, 1905) (Acarina: Phytoseiidae) en condiciones de laboratorio. *Revista Chilena de Entomología* 23: 15–18.
- Chi, C., and T. Yang. 2003. Two-sex life table and predation rate of *Propylea japonica* Thunberg (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology* 32: 327–333.
- Colares, F., J. Michaud, C. Bain, and J. Torres. 2015. Indigenous aphid predators show high levels of preadaptation to a novel prey, *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae). *Journal Economic Entomology* 108: 2546–2555.
- Cortez-Mondaca, E., M. López-Buitimea, J. I. López-Arroyo, F. Orduño-Cota y G. Herrera-Rodríguez. 2016. Especies de Chrysopidae asociadas al pulgón del sorgo en el norte de Sinaloa, México. *Southwestern Entomologist* 41: 541–545.
- Gamboa, S., B. Souza y R. Morales. 2016. Actividad depredadora de *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae) sobre *Machrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae) en cultivo de *Rosa* sp. *Revista Colombiana de Entomología* 42: 54–58.
- Gautam, S., A. K. Singh and R. D. Gautam. 2009. Comparative life table analysis of Chrysopids reared on *Phenacoccus solenopsis* Tinsley in laboratory. *Journal Biological Control* 23: 393 – 402.
- Holling, C. S., 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist* 91, 385–398.
- Khan, J., E. U. Haq, T. Mahmood, A. Rasool, N. Aslam, H. Shah, A. Blouch, M. M. Mahmood, and I. Ahmad. 2017. Life table attributes of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) reared on *Corcyra cephalonica* (Lepidoptera: Pyralidae) eggs under laboratory condition. *International Journal of Biosciences* 10: 52 – 59.
- López-Arroyo, J. I., L. Valencia y G. Loera. 2003. Introducción a Chrysopidae (Neuroptera): taxonomía y bioecología. *In: López Arroyo, J.I., Rocha-Peña, M.A. (Eds.). Memoria del Curso*

- Nacional Identificación y Aprovechamiento de Depredadores en Control Biológico: Chrysopidae y Coccinellidae. Monterrey, Nuevo León, México, pp. 30–34.
- López-Gutiérrez, D. R., M. D. Salas-Araiza, O. A. Martínez-Jaime y E. Salazar-Solís. 2016. Géneros de Aphidiidae (Hymenoptera) parasitando al pulgón amarillo de la caña de azúcar *Melanaphis sacchari* Zehntner, 1897 (Hemiptera: Aphididae) en Irapuato, Guanajuato, México. *Entomología Mexicana* 3: 365–368.
- McEwen, P. K., T. R. New, and A. Whittington. 2001. *Lacewings in the crop management*. Cambridge University Press. 546 p.
- Michaud, J., R. Whitworth, H. Schwarting, B. McCornack, and S. Zukoff. 2017. *Sorghum Insect Management*. K-State Research and Extension. 1-10 p.
- Nájera-Rincón, M.B. y B. Souza. 2010. *Insectos Benéficos. Guía para su identificación*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA) – Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Fundación Produce Michoacán, COECyT Michoacán, México. 73 p.
- New, T.R. 2001. Introduction to the systematics and distribution of Coniopterygidae, Hemerobiidae, and Chrysopidae used in pest management. *In*: McEwen, P., New, T.R., Whittington, A. E. (Eds.), *Lacewings in the crop environment*. Cambridge University, UK, pp. 6–28.
- Peterson, G., J. Armstrong, B. Pendleton, M. Stelter, and M. Brewer. 2018. Registration of RTx3410 through RTx3428 *Sorghum* Germplasm Resistant to Sugarcane Aphid [*Melanaphis sacchari* (Zehntner)]. *Journal of Plant Registrations* 12: 391–398.
- Rodríguez, R., C. Cerna, F. Ochoa y B. Hernández. 2016. Evaluación de extractos vegetales sobre pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*) (Hemiptera: Aphididae) en Sorgo en Guanajuato. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias* 7: 18-24.
- Rodríguez-del-Bosque, L. A. y A. P. Terán. 2018. Manejo integrado del pulgón amarillo del sorgo en Tamaulipas. Folleto técnico. INIFAP. Tamaulipas, México. 72 p.
- Rodríguez-del-Bosque, L. A. y A. Terán. 2015. *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae). A new sorghum insect pest in México. *Southwestern Entomologist* 40: 433–434.
- Rodríguez-Vélez, J. M., B. Rodríguez-Vélez, M. A. Sarmiento-Cordero, M. Palomares-Pérez y H. C. Arredondo-Bernal. 2016. Especies de Coccinellidae (Coleoptera: Cucujoidea) asociado con *Melanaphis sacchari* Zehntner (Hemiptera: Aphididae) en Tamaulipas, México. *Entomological News* 126: 97–105.
- SENASICA. 2015. Programa de trabajo de la campaña contra el pulgón amarillo a operar con recursos del componente de Sanidad Vegetal del Programa de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria 2015 en el estado de Nayarit. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). Oficio 03553. Ciudad de México, México. 13 p.

- SENASICA. 2018. Estrategia operativa del programa fitosanitario contra pulgón amarillo del sorgo. Folleto técnico. 5 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. Avances de siembras y cosechas: resumen nacional por cultivo. Consultada en febrero de 2020 en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Avances de siembras y cosechas: resumen nacional por cultivo. Consultada en febrero de 2020 en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do
- Singh, B. U., P. G. Padmaja and N. Seetharama. 2004. Biology and management of the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Homoptera: Aphididae), in sorghum: a review. *Crop Protection* 23: 739-755.
- Souza, B., and C. F. Carvalho. 2002. Population dynamics and seasonal occurrence of adults of *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) in a citrus orchard in southern Brazil. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 47: 295–304.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2020. World sorghum production 2019/2020. Consulta en enero de 2020, disponible en: <http://www.worldagriculturalproduction.com/crops/sorghum.aspx>
- Vázquez-Navarro, J. M., J. C. Carrillo-Aguilera y B. A. Cisneros-Flores. 2016. Estudio poblacional en un cultivar de sorgo forrajero infestado con pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* (Zehntner, 1897) (Hemiptera: Aphididae) en la Comarca Lagunera. *Entomología Mexicana* 3: 395–400.
- Villanueva, R. T., M. Brewer, M. O. Way, S. Biles, D. Sekula, E. Bynum, J. Swart, C. Crumley, A. Knutson, P. Porter, R. Parker, G. Odvody, C. Allen, D. Ragsdale, W. Rooney, G. Peterson, D. Kerns, T. Royer y S. Armstrong. 2014. Sugarcane aphid: a new pest of sorghum. Texas A&M Agrilife Extension. Ento-035, College Station, TX. 4 p. Available: <http://ccag.tamu.edu/sorghum-insect-pests/> (2018, march 6).
- Villanave, J., B. Deutsch, T. Lode, and E. Rat-Morris. 2006. Pollen preference of the *Chrysoperla* species (Neuroptera: Chrysopidae) occurring in the crop environment in western France. *European Journal Entomology* 103: 771 – 777.
- Wiedenmamm, R. N., and J. W. Smith. 1997. Attributes of natural enemies in ephemeral crop habitats. *Biological Control* 10: 16–22.

**CAPÍTULO I. RESPUESTA FUNCIONAL DE TRES ESPECIES DE *Chrysoperla*
(NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE) SOBRE *Melanaphis sacchari* (HEMIPTERA:
APHIDIDAE)**

1.1. INTRODUCCIÓN

El pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae), afecta a los cultivos de caña de azúcar *Saccharum officinarum* L. y sorgo *Sorghum bicolor* L. de diversas regiones del mundo (Singh *et al.*, 2004; Blackman y Eastop, 2015). En el 2013, *M. sacchari* se detectó en Tamaulipas, México, con daños severos en el cultivo de sorgo (Rodríguez-del-Bosque y Terán, 2015) y posteriormente se dispersó en la mayoría de las áreas productoras de sorgo del país (SENASICA, 2015).

M. sacchari puede presentarse en cualquier etapa del cultivo, aunque tiene mayor impacto durante la formación y desarrollo del grano, lo que reduce entre 30 y 100% del rendimiento (Villanueva *et al.*, 2014; Rodríguez-del-Bosque y Terán, 2015; Bowling *et al.*, 2016).

El control químico ha sido el método más utilizado para el control de *M. sacchari* desde sus primeras detecciones en México, aun cuando este método suele generar contaminación ambiental, daños a la salud humana, eliminación de enemigos naturales y desarrollo de poblaciones plaga resistentes (Gilden *et al.*, 2010; Pino *et al.*, 2013). El desconocimiento de la plaga y el uso irracional de insecticidas acrecentaron el problema al hacer incosteable la producción de sorgo, por lo que en algunas regiones del país se disminuyó la superficie de siembra destinada para este grano. En el estado de Guanajuato, segundo productor nacional de sorgo, se redujo hasta 61% del área sembrada en el 2016 con respecto al año anterior (González-Domínguez, 2016).

En el contexto actual del manejo integrado de plagas, la conservación y uso de enemigos naturales es una estrategia relevante para el manejo de plagas agrícolas (Paredes *et al.*, 2013; Baños

et al., 2016). En el mundo se reportan 45 especies de enemigos naturales de *M. sacchari* (Singh *et al.*, 2004; Colares *et al.*, 2015; Bowling *et al.*, 2016), de las cuales, al menos 26 se han registrado asociadas a esta plaga en México (Cortez-Mondaca *et al.*, 2016; López-Gutiérrez *et al.*, 2016; Rodríguez-Vélez *et al.*, 2016; Vázquez-Navarro *et al.*, 2016); entre las cuales se encuentran varias especies de crisopas (Neuroptera: Chrysopidae), uno de los grupos más importantes en programas internacionales de control biológico (New, 2001; López-Arroyo *et al.*, 2003). Las larvas de los crisópidos son muy móviles, por lo que presentan alta capacidad de búsqueda sobre diversas plagas fitófagas, tales como áfidos, cóccidos, trips, aleiródidos, entre otras, ya que depredan activamente sobre estos insectos (Souza y Carvalho, 2002; Valencia *et al.*, 2006; Nájera-Rincón y Souza, 2010; Gamboa *et al.*, 2016).

Previo a la liberación masiva de crisopas, es importante conocer su efectividad sobre *M. sacchari* mediante estudios de capacidad depredadora, capacidad de búsqueda y tiempo de manipuleo en diferentes densidades de la presa (Cédola y Botto, 1996; Wiedenmann y Smith, 1997). Estas características se obtienen mediante estudios de respuesta funcional, con la cual se estima el número de presas consumidas por un depredador, en función de la densidad de la presa disponible (Holling, 1959a), lo que permite estimar el potencial de los enemigos naturales como agentes de control biológico de plagas (Fernández-Arhex y Corley, 2003).

En México se propone el uso de crisopas para el manejo del pulgón amarillo del sorgo, sin embargo, se desconoce el potencial de estos entomófagos como agentes de control de dicha plaga, por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar la capacidad de consumo y la respuesta funcional de *Chrysoperla carnea* (Stephens), *C. externa* (Hagen) y *C. comanche* (Banks), sobre el pulgón amarillo del sorgo *M. sacchari*.

1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

1.2.1. Condiciones generales de los experimentos

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Control Biológico del Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México, México. Los experimentos se desarrollaron en condiciones ambientales de 25 ± 2 °C, $60 \pm 10\%$ de HR y fotoperiodo 12:12 (L:O).

1.2.2. Cría de insectos

Las ninfas y adultos de *M. sacchari* se recolectaron en plantas de sorgo en Yecapixtla, Morelos, México, en el año 2017, con estos se estableció una cría sobre plantas de sorgo (híbrido UPM-219) trasplantadas en macetas de 7.0 L de capacidad, en un invernadero en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

Las crías de los depredadores se establecieron con individuos procedentes de diferentes regiones agrícolas o laboratorios del país. Los adultos de *C. carnea* se recolectaron de plantas de trigo *Triticum aestivum* L. en Cortazar, Guanajuato. Los adultos de *C. comanche* se recolectaron en huertas de nogal *Juglans regia* L. en Torreón, Coahuila, mientras que los especímenes de *C. externa* fueron proporcionados por personal del Centro Nacional de Referencia de Control Biológico de la Dirección General de Sanidad Vegetal, SENASICA, en Tecomán, Colima, México. Las tres especies se mantuvieron en condiciones controladas de laboratorio (mencionadas en la sección 2.2.1) para incrementar sus colonias. Para ello, los adultos se introdujeron en cámaras de oviposición, las cuales consistían de tubos de PVC (21.0 cm de altura y 10.5 cm de diámetro); se les ofreció una solución de levadura de cerveza y miel (1:1) como alimento mediante algodón humedecido, el cual se cambiaba cada 48 h.

Los huevos obtenidos de cada especie de crisopas (≤ 6 h de edad) se colocaron individualmente en rejillas plásticas de 50 celdas (cada una de 3.38 cm^3) y cubrieron por ambos lados con tela

organza para evitar escape de larvas. Las larvas eclosionadas se alimentaron con huevos refrigerados de *Sitotroga cerealella* (Oliver) hasta alcanzar el tercer ínstar.

1.2.3. Arena experimental

La arena experimental consistió de una caja Petri de plástico de 4.0 cm de diámetro y 1.5 cm de altura, con la tapa perforada ($\varnothing = 2.0$ cm) y cubierta de tela organza para permitir la ventilación. En la base de la caja se vertieron 2.0 mL de agar-agua y sobre esta capa se colocó un disco de hoja de sorgo del híbrido UPM-219. Con este dispositivo se mantuvo la turgencia de la hoja de sorgo, lo que permitió el establecimiento y alimentación de *M. sacchari* durante el presente estudio.

1.2.4. Desarrollo de los experimentos

1.2.4.1. Capacidad de consumo

La máxima capacidad de consumo en 24 h se determinó en tres especies de crisopas (tratamientos): *C. carnea*, *C. externa*, *C. comanche* y un testigo (sin depredador), siguiendo un diseño completamente aleatorio y con 20 repeticiones para cada tratamiento. En cada arena experimental se transfirieron 150 ninfas de tercero y cuarto estadio de *M. sacchari*, se dejaron 3 h para que las ninfas se establecieran, posteriormente se introdujo a la arena una larva de crisopa de tercer ínstar de ≤ 48 h de edad, con ayuno previo por 24 h, mientras que el tratamiento testigo estuvo libre del depredador. El experimento se mantuvo en las mismas condiciones climáticas que la cría. Las larvas de crisopas se retiraron a las 24 h y se registró el número de presas consumidas; estas fueron aquellas que mostraron un cuerpo colapsado o con daño mecánico o nula movilidad ante un estímulo producido por el contacto con las cerdas de un pincel No. 000.

A partir de los datos obtenidos en este experimento, se definieron las densidades de la presa a usar en el siguiente ensayo.

1.2.4.2. Respuesta funcional

En el experimento se usaron larvas de tercer ínstar de ≤ 48 h de edad de tres especies de *Chrysoperla* (mencionadas en la sección 2.4.1), utilizando como presa ninfas de *M. sacchari* de tercer y cuarto estadio (en proporción 1:1). Para cada especie del depredador se evaluaron siete densidades de la presa (8, 16, 32, 64, 128, 192 y 256 pulgones), además de un testigo para cada densidad (libre del depredador).

A las tres horas después de establecidas las ninfas de *M. sacchari*, se introdujo a la arena una larva del depredador con previo ayuno por 24 h. El tiempo de exposición de las presas a los depredadores fue por 24 h, posteriormente se retiraron los depredadores y se registró el número de presas consumidas (para lo cual se aplicaron los criterios mencionados en la sección 2.2.4.1). Se consideró como variable respuesta la proporción de número de presas consumidas en función de las presas ofrecidas. El diseño experimental fue completamente al azar con siete tratamientos y 10 repeticiones, además se incluyó un testigo sin depredador.

1.2.5. Análisis estadístico

Con los datos de presas consumidas por las tres especies de *Chrysoperla*, se verificó el cumplimiento de los supuestos de homogeneidad de varianzas (prueba de Bartlett) y normalidad (prueba de Shapiro-Wilk). Posteriormente se sometieron a un ANOVA y comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), usando el programa SAS (SAS Institute, 2002).

La estimación de la respuesta funcional se realizó con el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2002), contemplando dos fases de acuerdo al procedimiento sugerido por Juliano (1993, 2001). En la primera fase se estimó el tipo de curva de depredación para cada especie de *Chrysoperla* mediante una regresión logística (Juliano, 1993). Dicho procedimiento utiliza la proporción de presas consumidas (N_e/N_0) en relación a la densidad de presas ofrecidas (N_0). Los

coeficientes lineales (P0), cuadráticos (P1) y cúbicos (P2) se obtuvieron con el método de máxima cercanía y la función polinomial (Juliano, 2001) con la fórmula:

$$Ne/No = \exp (Po + P1No + P2n2o + P3N3o) / 1 + \exp (Po + P1No + P2N2o + P3N3o)$$

Dónde: Ne= número de presas consumidas, No= densidad inicial de presas, P0 (intercepto), P1, P2, y P3 = coeficiente lineal, cuadrado y cúbico, respectivamente.

En la segunda fase se usó el modelo de Rogers (1972):

$$Ne=No (1-\exp^{-a'Tt + a'ThNa})$$

Dónde: Ne= número de presas consumidas, No= número de presas ofrecidas, exp= la base del logaritmo natural, a´= la constante de ataque, Th= tiempo de manipuleo y Tt= tiempo total de exposición depredador/presa, con este modelo se estimaron los parámetros de respuesta funcional (coeficiente de ataque y tiempo de manipuleo) a través de una regresión no lineal (Proc NLIN), considerando la cantidad de presas consumidas respecto a la densidad de presas ofrecidas.

1.3. RESULTADOS

1.3.1. Capacidad de consumo

La capacidad de consumo de larvas de tres especies de *Chrysoperla* osciló de 77.0 a 131.0 ninfas de *M. sacchari* en 24 h. El consumo promedio fue estadísticamente diferente entre los depredadores ($F_{3,76}=1309.37$; $P<0.0001$), *C. carnea* consumió 119.4 ninfas, con un rango de 106.0 – 131.0 presas; mientras que, *C. externa* consumió 100.0 y *C. comanche* 97.4 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Consumo promedio de tres especies de *Chrysoperla* sobre el pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari*.

Tratamiento	Rango de consumo	Consumo promedio
<i>Chrysoperla carnea</i>	106.0 – 131.0	119.4 a
<i>Chrysoperla externa</i>	83.0 – 112.0	100.0 b
<i>Chrysoperla comanche</i>	83.0 – 113.0	97.4 b

N= 150 ninfas del pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari*; las medias seguidas de letras diferentes fueron significativamente diferentes con $P = 0.05$.

1.3.2. Respuesta funcional

Los parámetros estimados mostraron que las tres especies de *Chrysoperla* al alimentarse de ninfas de *M. sacchari* presentaron una respuesta funcional tipo II (Cuadro 2). Los depredadores incrementaron su tasa de consumo hasta alcanzar un punto máximo de 118.0 en *C. comanche*, 121.0 en *C. externa* y 138.0 en *C. carnea* en la densidad de 256 presas (Figura 1a). La depredación sobre ninfas de *M. sacchari* varió entre especies de *Chrysoperla* en las densidades de 128, 192 y 256 presas ($F_{2,27}=22.55$, $P<0.001$; $F_{2,27}=116.26$, $P<0.001$ y $F_{2,27}=64.93$, $P<0.001$, respectivamente), donde *C. carnea* tuvo mayor capacidad de consumo promedio en estas densidades (Figura 1a).

Las tres especies de *Chrysoperla* presentaron una proporción de consumo mayor a 95.0 % en la primera densidad de *M. sacchari*, sin embargo, dicha proporción disminuyó al incrementar el número de la presa. Así, en la densidad de 256 la proporción de consumo fue de 52.0, 44.0 y 42.0 % para *C. carnea*, *C. externa* y *C. comanche*, respectivamente (Figura 1b). *C. carnea* fue la especie que consumió un mayor número de presas en todas las densidades evaluadas.

Los parámetros estimados con el modelo de Rogers (1972) indicaron que el coeficiente de ataque en *C. carnea* fue 0.10, mientras que para *C. externa* y *C. comanche* fue de 0.07 para cada una (Figura 3). El tiempo promedio de manipuleo presentó una relación inversa respecto al parámetro de coeficiente de ataque y fue variable entre especies, con 0.12 h en *C. comanche*, 0.11 en *C. externa* y 0.10 en *C. carnea* (Cuadro 3).

Cuadro 2. Parámetros estimados (\pm EE) de regresión logística sobre la proporción de ninfas de *Melanaphis sacchari* consumidas por tres especies de *Chrysoperla*.

Especies	Parámetros			
	Intercepto (P ₀)	Lineal (P ₁)	Cuadrático (P ₂)	Cúbico (P ₃)
<i>C. carnea</i>	4.13* (\pm 0.34)	-0.05* (\pm 0.01)	0.00* (\pm 0.00)	-4.36E-07* (\pm 1.16E-07)
<i>C. externa</i>	2.74* (\pm 0.24)	-0.02* (\pm 0.01)	0.00* (\pm 0.00)	-5.20E-08* (\pm 9.61E-08)
<i>C. comanche</i>	1.57* (\pm 0.18)	-0.01* (\pm 0.01)	0.00* (\pm 0.00)	-1.53E-07* (\pm 8.40E-08)

Valores seguidos por * son significativos con $p < 0.05$; EE: Error estándar.

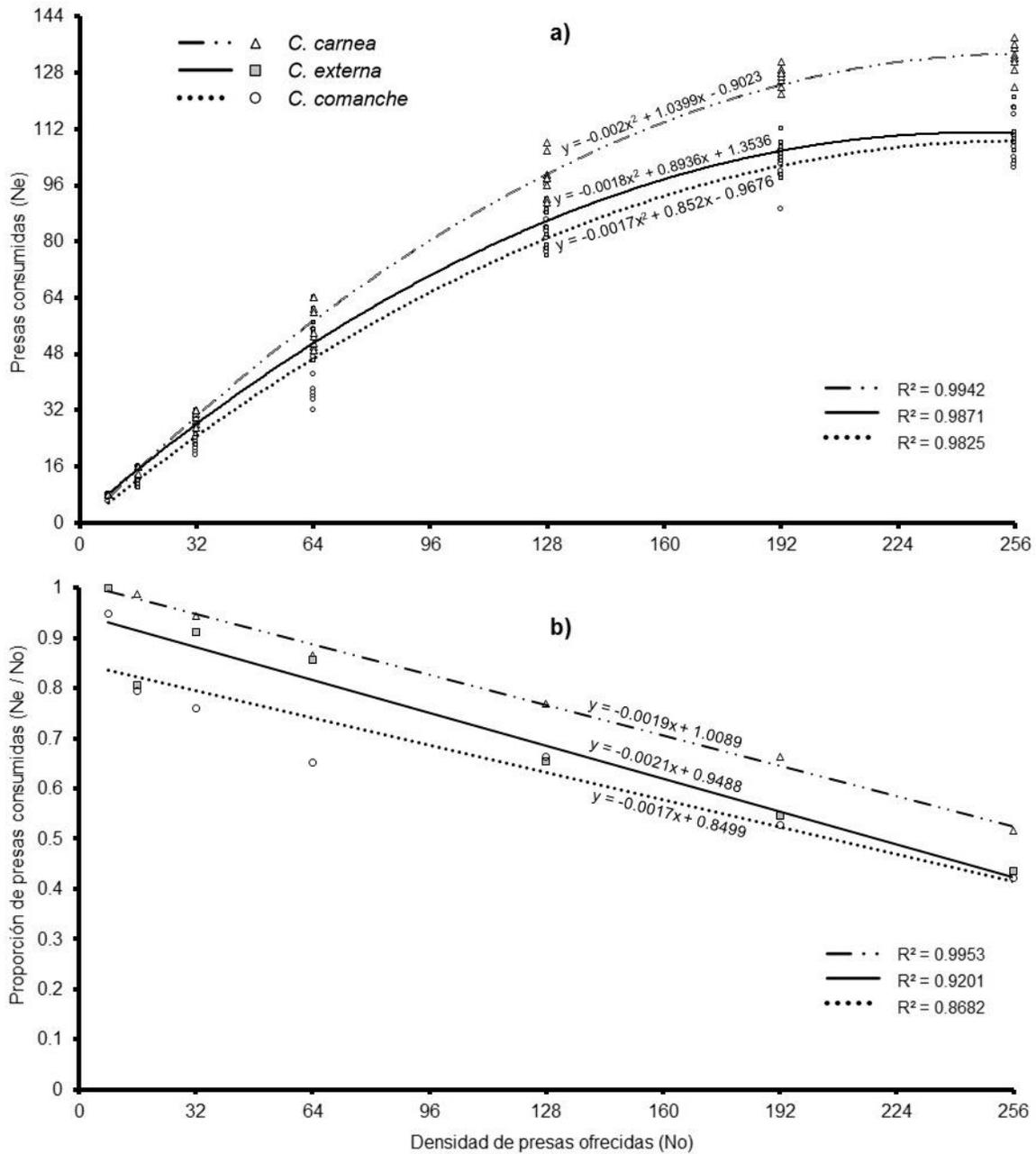


Figura 1. Curvas de respuesta funcional tipo II (a) y proporción de presas consumidas (b) por *Chrysoperla carnea*, *C. externa* y *C. comanche* a diferentes densidades de *Melanaphis sacchari*.

Cuadro 3. Parámetros de la respuesta funcional tipo II, estimados con el modelo de Rogers (1972) para tres especies de *Chrysoperla* sobre ninfas de *Melanaphis sacchari*.

Especies	Coeficiente de ataque (a)		Tiempo de manipuleo (Th)	
	Media \pm EE	Coeficiente*	Media \pm EE	Coeficiente*
<i>C. carnea</i>	0.10 \pm 0.00	0.10	0.10 \pm 0.00	0.10
<i>C. externa</i>	0.07 \pm 0.00	0.07	0.11 \pm 0.00	0.11
<i>C. comanche</i>	0.07 \pm 0.00	0.07	0.11 \pm 0.00	0.12

* Intervalos de confianza al 95%; EE: Error estándar.

1.4. DISCUSIÓN

Las larvas de *Chrysoperla* son depredadoras de un amplio rango de especies de insectos plaga (Principi y Canardi, 1984), entre ellas *M. sacchari*. Uno de los parámetros que define si un enemigo natural como las crisopas son candidatas para un programa de control biológico por aumento es la respuesta funcional, la cual evalúa la potencialidad de consumo de los depredadores (Fernández y Corley, 2003) para estabilizar el sistema presa-depredador mediante la capacidad de búsqueda y tiempo de manipuleo (van Lenteren y Bakker, 1976).

Las larvas de tercer ínstar de *C. carnea* presentaron una alta capacidad de depredación, ya que en promedio consumieron 79.6 % de ninfas de *M. sacchari* en 24 h, mientras que *C. externa* y *C. comanche* depredaron el 66.6 y 64.9 %, respectivamente. La cantidad de presas consumidas por *C. carnea* fue mayor a la reportada para otras presas como: *Brevicoryne brassicae* L. (Hemiptera: Aphididae), *Hyalopterus pruni* (Geoffro) (Hemiptera: Aphididae), *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) y *Pieris brassicae* (L.) (Lepidoptera: Pieridae) (Atlihan *et al.*, 2004; Huang y Enkegaard, 2010; Landeros *et al.*, 2013), esto se debió posiblemente a la buena turgencia que mantuvo el disco de hoja de sorgo en la arena experimental, lo cual permitió el establecimiento y alimentación grupal de las ninfas de *M. sacchari*, que permitió a los depredadores el encuentro facilitado.

La respuesta funcional determinada para *C. carnea*, *C. externa* y *C. comanche* en el presente trabajo fue del tipo II (Figura 1a), la cual es común para los depredadores invertebrados (Holling, 1959a, García *et al.*, 2007; Baños *et al.*, 2016), incluyendo estos mismos depredadores sobre otras presas (Holling, 1959a; Atlihan *et al.*, 2004; Fernandez-Arhex y Corley, 2004; Monteiro *et al.*, 2005; Ail-Catzim *et al.*, 2012). Las tres curvas se diferenciaron a partir de la densidad de 32, donde resalta *C. carnea* como la especie con mayor consumo, aún hasta la densidad de 256 ninfas de *M. sacchari* (Fig. 1a). Cabe mencionar que conforme se incrementó la cantidad de presas ofrecidas, el consumo de los tres depredadores disminuyó hasta estabilizarse, lo cual indica que, los depredadores alcanzaron su nivel de saciedad o que tuvieron mayor probabilidad de escape (Hassell *et al.*, 1977; Begon *et al.*, 1995).

De acuerdo con Holling (1959a, 1959b, 1961), la respuesta tipo II es de forma curvilínea, debido que la tasa de consumo del depredador aumenta en función del incremento de la densidad de la presa hasta alcanzar un máximo, para después permanecer constante. Este tipo de respuesta, además de la eficiencia de búsqueda, incluye el tiempo de manipuleo, que se define como el tiempo que le dedica el depredador en perseguir, dominar, consumir y digerir las presas. A pesar que la respuesta funcional tipo III indica potencial para regular la dinámica poblacional de la relación presa-depredador (Hassell *et al.*, 1977; Hassell, 1978), en la presente investigación se observó que *C. carnea* forrajea cerca del 80.0 % de presas, aún en la densidad de 64 ninfas de *M. sacchari*.

El coeficiente de ataque en *C. carnea* fue superior en un 30.0 % y el tiempo de manipuleo hasta un 17.0 % inferior que en *C. externa* y *C. comanche* (Cuadro 3), lo que indica que dicha especie presenta mayor tasa de ataque y en consecuencia, menor tiempo de manipuleo de su presa, dando como resultado un consumo mayor de presas en 24 h en comparación con las otras especies evaluadas. El tiempo de manipuleo obtenido es similar a lo encontrado por Atlihan *et al.* (2004)

en *C. carnea* sobre *H. pruni*. Sin embargo, Ail-Catzim *et al.* (2012) obtuvieron valores superiores del coeficiente de ataque y tiempo de manipuleo de *C. carnea* sobre ninfas de *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae), mientras que Palomares-Pérez *et al.* (2019) obtuvieron un tiempo de manipuleo mayor con *C. externa* alimentada con *M. sacchari*. Contrario a ello, Landeros *et al.* (2013) obtuvieron un mayor coeficiente de ataque y un menor tiempo de manipuleo sobre huevos de *T. vaporariorum* con la misma especie depredadora, mismo comportamiento al observado por Hassanpour *et al.* (2009) sobre hembras adultas de *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae).

El que *C. carnea* haya presentado los atributos de mayor consumo, mayor coeficiente de ataque y menor tiempo de manipuleo sobre *M. sacchari*, posiblemente se debió a que los adultos fueron recolectados en una región donde la plaga ha mantenido en asociación constante con el cultivo de sorgo. De acuerdo con Colares *et al.* (2015) se considera que *C. carnea* está preadaptada a la presa, de tal manera que este depredador obtenido de áreas agrícolas del estado de Guanajuato, podría ser propuesto como un agente clave para regular la población de *M. sacchari*.

En resumen, *C. carnea* depredó un máximo de 131.0 ninfas de *M. sacchari*, presenta una respuesta funcional tipo II y forrajea al 80.0 % de presas aún hasta la densidad de 64 ninfas ofrecidas; atributos que sugieren considerarla como candidata para un programa de control biológico de *M. sacchari* en el cultivo del sorgo.

1.5. LITERATURA CITADA

- Ail-Catzim, C., E. Cema-Chávez, J. Landeros-Flores y L. Aguirre-Urbe. 2012. Respuesta funcional de diferentes instares larvales de *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) sobre ninfas de *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Psyllidae). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias 44: 279–288.
- Atlihan, R., B. Kaydan, and M. S. Ozigokce. 2004. Feeding activity and life history characteristics of generalist predator, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae), at different prey densities. Journal of Pest Science 77: 17–21.
- Auad, A. M., C. F. Carvalho, B. Souza, and L. R. Barbosa. 2003. Biological aspects of *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) fed on eggs, larvae of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). Revista Brasileira de Milho e Sorgo 2: 106–111.
- Baños, H., G. T. Ruiz, B. M. Del Toro, and C. I. Miranda. 2016. Consumo y respuesta funcional de *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Hemiptera: Miridae) frente a estadios inmaduros de *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). Revista de Protección Vegetal 31: 217–223.
- Begon, M., J. Harper, and C. Townsend. 1995. Ecología: individuos, poblaciones y comunidades. Ed. Omega. Barcelona, Spain. 500 p.
- Blackman, R. L., and V. F. Eastop. 2015. Aphids on the world's plants. An online identification and information guide. Available: <http://www.aphidsonworldsplants.info> (2018, march 11).
- Bowling, D. R., J. M. Brewer, L. D. Kerns, J. Gordy, N. Seiter, N. E. Elliott, G. D. Buntin, M. Way, T. Royer, S. Biles, and E. Maxson. 2016. Sugarcane aphid (Hemiptera: Aphididae): a new pest on sorghum in North America. Journal of Integrated Pest Management 7: 1–13.
- Castro-López, M. A. y J. W. Martínez-Osorio. 2016. Capacidad reguladora de *Chrysoperla externa* (Hagen) sobre mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) en tomate bajo invernadero. Revista Ciencia y Agricultura 13: 57–66.
- Cédola, C. y E. Botto. 1996. Evaluación de la respuesta funcional de *Amblyseius idaeus* Moraes y McMurtry, 1983 y *Phytoseiulus macropilis* (Banks, 1905) (Acarina: Phytoseiidae) en condiciones de laboratorio. Revista Chilena de Entomología 23: 15–18.
- Colares, F., J. Michaud, C. Bain and J. Torres. 2015. Indigenous aphid predators show high levels of preadaptation to a novel prey, *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae). Journal of Economic Entomology 108: 2546–2555.
- Cortez-Mondaca, E., M. López-Buitimea, J. I. López-Arroyo, F. J. Orduño-Cota y G. Herrera-Rodríguez. 2016. Especies de Chrysopidae asociadas al pulgón del sorgo en el norte de Sinaloa, México. Southwestern Entomologist 41: 541–545.
- Fernandez-Arhex, V., and J. C. Corley. 2003. The functional response of parasitoids and its implications for Biological control. Biocontrol Science and Technology 13: 403–413.

- Fernandez-Arhex, V. y J. C. Corley. 2004. La respuesta funcional: una revisión y guía experimental. *Ecología Austral* 14: 83–93.
- Figueira, L. K., C. F. Carvalho y B. Souza. 2000. Biología e exigencia térmicas de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) alimentada con ovos de *Alabama argillaea* (Hübner, 1818) (Lepidoptera: Noctuidae). *Ciência e Agrotecnologia* 24: 319–326.
- Gamboa, S., B. Souza y R. Morales. 2016. Actividad depredadora de *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae) sobre *Machrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae) en cultivo de *Rosa* sp. *Revista Colombiana de Entomología* 42: 54–58.
- Gilden, R. C., K. Huffling, and B. Sattler. 2010. Pesticides and health risks. *Journal of Obstetric, Gynecologic & Neonatal Nursing* 39: 103–109.
- González-Domínguez, J. L. 2016. Grandes aprendizajes en la producción de sorgo. Consulta en marzo de 2018. Disponible: <http://www.inforural.com.mx/grandes-aprendizajes-la-produccion-sorgo/>.
- Hassanpour, M., G. Nouri-Ganbalani, J. Mohaghegh, and A. Enkegaard. 2009. Functional response of different larval instars of the green lacewing, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae), to the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Journal of Food Agriculture and Environment* 7: 424–428.
- Hassell, M. P., J. H. Lawton, and J. R. Beddington. 1977. Sigmoid functional response by invertebrate predators and parasitoids. *Journal of Animal Ecology* 46: 249–262.
- Hassell, M. P. 1978. *The dynamics of arthropod predator-prey systems*. Princeton University Press, Princeton.
- Holling, C. S. 1959a. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist* 91: 385–398.
- Holling, C. S. 1959b. The components of predation as revealed by a study of small-mammal predation of the European pine sawfly. *The Canadian Entomologist* 91: 293–320.
- Holling, C. 1961. Principles of insect predation. *Annual Review of Entomology* 6: 163–182.
- Juliano S. A. 1993. Nonlinear curve fitting: predation and functional response curves. *In*: Scheiner, S. M., Gurevitch, J. (Eds.). *Design and analysis of ecological experiments*. Chapman and Hall, Nueva York, pp. 159 – 182.
- Juliano, S. A. 2001. Nonlinear curve fitting: predation and functional response curves. *In*: Scheiner, S. M., Gurevitch, J. (Eds.). *Design and analysis of ecological experiments*. 2nd edition, Chapman and Hall, New York, pp. 178 – 196.
- Landeros F. J., A. L. Guevara, U. L. Aguirre, C. E. Cerna, Z. M. Badii, and F. Y. Ochoa. 2013. Respuesta funcional de *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) sobre huevos de

- Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Southwestern Entomologist* 38: 345-352.
- Van Lenteren, J. C., and K. Bakker. 1976. Functional responses in invertebrates. *Netherlands Journal of Zoology* 26: 567–572.
- Luna, H., A. Canizal, J. Luna, and V. Castrejon. 2017. Comportamiento de búsqueda y capacidad depredadora de *Chrysoperla externa* sobre *Frankliniella occidentalis*. *Southwestern Entomologist* 42: 463–476.
- López-Arroyo., J. I., L. Valencia y G. Loera. 2003. Introducción a Chrysopidae (Neuroptera): taxonomía y bioecología. *In: López Arroyo, J.I., Rocha-Peña, M.A. (Eds.). Memoria del Curso Nacional Identificación y Aprovechamiento de Depredadores en Control Biológico: Chrysopidae y Coccinellidae. Monterrey, Nuevo León, México, pp. 30–34.*
- López-Gutiérrez, D. R., M. D. Salas-Araiza, O. A. Martínez-Jaime y E. Salazar-Solís. 2016. Géneros de Aphidiidae (Hymenoptera) parasitando al pulgón amarillo de la caña de azúcar *Melanaphis sacchari* Zehntner, 1897 (Hemiptera: Aphididae) en Irapuato, Guanajuato, México. *Entomología Mexicana* 3: 365–368.
- Monteiro, T., A. Boica y J. Barbosa. 2005. Resposta funcional de *Chrysoperla externa* a *Aphis gossypii* em cultivares de algodoeiro. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)* 74: 41–47.
- Nájera-Rincón, M. B. y B. Souza. 2010. Insectos Benéficos. Guía para su identificación. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA) – Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Fundación Produce Michoacán, COECyT Michoacán, México. 73p.
- New, T. R. 2001. Introduction to the systematics and distribution of Coniopterygidae, Hemerobiidae, and Chrysopidae used in pest management. *In: McEwen, P., New, T.R., Whittington, A. E. (Eds.), Lacewings in the crop environment. Cambridge University, UK, pp. 6–28.*
- Paredes, D., M. Campos y L. Cayuela. 2013. El control biológico de plagas de artrópodos por conservación: técnicas y estado del arte. *Ecosistemas* 22: 56–61.
- Pino, O., Y. Sánchez, and M. Rojas. 2013. Plant secondary metabolites as an alternative in pest management. I: Background, research approaches and trends. *Revista de Protección Vegetal* 8: 81–94.
- Principi, M. M., and M. Canard. 1984. Feeding habits. *In: Canard, M., Séméria, Y., New, T.R. (Eds), Biology of Chrysopidae: chapter 4: life histories and behavior. Dr W. Junk Publishers, The Hague, pp. 76–92.*
- Rodríguez-del-Bosque, L. A., and A. Terán. 2015. *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae). A new sorghum insect pest in México. *Southwestern Entomologist* 40: 433–434.

- Rodríguez-Vélez, J. M., B. Rodríguez-Vélez, M. A. Sarmiento-Cordero, M. Palomares-Pérez y H. C. Arredondo-Bernal. 2016. Especies de Coccinellidae (Coleoptera: Cucujoidea) asociado con *Melanaphis sacchari* Zehntner (Hemiptera: Aphididae) en Tamaulipas, México 1. Entomological News 126: 97–105.
- Rogers, D. 1972. Random search and insect population models. J. Anim. Ecol. 41, 369–383.
- SENASICA, 2015. Programa de trabajo de la campaña contra el pulgón amarillo a operar con recursos del componente de Sanidad Vegetal del Programa de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria 2015 en el estado de Nayarit. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). Oficio 03553. Ciudad de México, México. 13 p.
- Setokuchi, O. 1979. Damage to forage sorghum by *Longiunguis sacchari* (Zehntner) (Aphididae). Proceeding of the Association of Plant Protection of Kyushu 22, 139–141.
- Singh, B. U., Padmaj, P.G., Seetharama, N., 2004. Biology and management of the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae). In sorghum a review. Crop Protection 23: 739–755.
- Souza, B., and C. F. Carvalho. 2002. Population dynamics and seasonal occurrence of adults of *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) in a citrus orchard in southern Brazil. Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae 47: 295–304.
- Valencia, L. A., R. J. Romero, C. J. Valdez, J. L. Carrillo y V. López. 2006. Taxonomía y registros de Chrysopidae (Insecta: Neuroptera) en el estado de Morelos, México. Acta Zoológica Mexicana 22: 17–61.
- Villanueva, R. T., M. J. Brewer, M. O. Way, S. Biles, D. Sekula, E. Bynum, J. Swart, C. Crumley, A. Knuton, R. Porter, G. Parker, D. Odvody, W. Regsdale, G. Rooney, D. Peterson, T. Kerns, and S. Armstrong. 2014. Sugarcane aphid: a new pest of sorghum. Texas A&M Agrilife Extension. Ento-035, College Station, TX. 4 p. Available: <http://ccag.tamu.edu/sorghum-insect-pests/> (2018, march 6).
- Vázquez-Navarro, J. M., J.C. Carrillo-Aguilera y B. A. Cisneros-Flores. 2016. Estudio poblacional en un cultivar de sorgo forrajero infestado con pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* (Zehntner, 1897) (Hemiptera: Aphididae) en la Comarca Lagunera. Entomología Mexicana 3: 395–400.
- Wiedenmamm, R. N., and J. W. Smith. 1997. Attributes of natural enemies in ephemeral crop habitats. Biological Control 10: 16–22.

**CAPÍTULO II. DESARROLLO Y DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DE TRES
ESPECIES DE *Chrysoperla* (NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE) ALIMENTADAS
CON *Melanaphis sacchari* (HEMIPTERA: APHIDIDAE)**

2.1. INTRODUCCIÓN

El pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae), es una plaga cosmopolita que afecta a algunos cultivos de la familia Poacea en diversas regiones del mundo (Singh *et al.*, 2004; Blackman y Eastop 2015). En el 2013, *M. sacchari* se detectó atacando sorgo *Sorghum bicolor* L. en Tamaulipas, México, causando daños severos (Rodríguez-del-Bosque y Terán 2015).

Entre los enemigos naturales de *M. sacchari* se encuentran diversas especies del género *Chrysoperla*, las cuales comúnmente son halladas en los sistemas agrícolas depredando áfidos, trips, cóccidos, aleiródidos, ácaros y huevos de diferentes insectos plaga (Saminathan *et al.*, 1999; Singh and Manoj 2000; Zia *et al.*, 2008). *Chrysoperla carnea*, *C. externa* y *C. comanche*, tienen alta adaptabilidad en diversas condiciones ambientales, diversidad de alimentos, además, pueden presentar compatibilidad con agentes microbianos, su cría masiva es relativamente fácil y están disponibles de manera comercial, principalmente en Norteamérica, México, Europa y Pakistán (Daane *et al.*, 1996; Tauber *et al.*, 2000; Zaki and Gesraha 2001; Uddin *et al.*, 2005). Las larvas de *Chrysoperla* son usadas a nivel mundial por ser depredadoras voraces y eficaces sobre varios artrópodos plaga (McEwen *et al.*, 2001; Villenave *et al.*, 2006).

Para incluir un enemigo natural en un programa de control biológico, es importante conocer algunos aspectos biológicos, tales como el tiempo de desarrollo de sus estados biológicos, la supervivencia, la longevidad y la fecundidad de adultos, ya que el conjunto de estos aspectos son importantes para implementar eficiente manejo integrado de plagas (Chi y Yang 2003; Atlihan *et*

al., 2004; Gautam *et al.*, 2009; Khan *et al.*, 2017). Considerando que a nivel de campo se ha reportado a *Chrysoperla carnea*, *C. externa* y *C. comanche* alimentándose de *Melanaphis sacchari* y que las tres especies están comercialmente disponibles en México, el presente estudio tuvo como objetivo determinar el tiempo de desarrollo y desempeño reproductivo de estas tres especies cuando se alimentaron con *M. sacchari* y comparar estos resultados con los obtenidos al ser alimentado con huevos de *Sitotroga cerealella*, que es la presa que comúnmente se utiliza en su cría masiva.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. Condiciones generales de los experimentos

La cría de los depredadores y el desarrollo de los experimentos se realizaron en una cámara bioclimática en condiciones controladas de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, $60 \pm 10\%$ de HR y fotoperiodo 12:12 (L:O), en el Laboratorio de Control Biológico del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

2.2.2. Cría de insectos

Las ninfas y adultos de *M. sacchari* se mantuvieron en plantas de sorgo (híbrido UPM-219) trasplantadas en macetas de 7.0 L, en condiciones de invernadero en el Campus Montecillo, del Colegio de Postgraduados. Estas plantas se colocaron en jaulas de $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ m construidas con tubos de PVC, forradas con tela de organdí para evitar la entrada de enemigos naturales.

Los adultos de *C. carnea*, *C. externa* y *C. comanche* se mantuvieron permanentemente en cámaras de oviposición, las cuales consistieron de tubo de PVC de 21.0 cm de altura y 10.5 cm de diámetro, con sus extremos cubiertos con tela de organdí para permitir la ventilación.

2.2.3. Arena experimental

La arena experimental consistió de una caja Petri de plástico de 3.0 cm de diámetro y 1.5 cm de altura, con la tapa perforada ($\varnothing = 1.5$ cm) y cubierta de tela de organdí para permitir la ventilación.

2.2.4. Desarrollo de experimentos

2.2.4.1. Tiempo de desarrollo de los estados inmaduros de tres especies de *Chrysoperla*

El experimento se realizó con un total de 200 huevos de *C. carnea*, 100 de *C. externa* y 100 de *C. comanche* de ≤ 6 horas de edad. Para cada especie el experimento se dividió en dos grupos con la misma cantidad de huevo, a un grupo se le proporcionó ninfas de tercero y cuarto estadio de *M. sacchari* y a la otra mitad se le ofreció huevos de *Sitotroga cerealella*. La unidad experimental consistió de un huevo de crisópido dentro de la arena experimental y una vez que eclosionaron las larvas, se les proporcionó alimento *ad libitum* con ninfas de *M. sacchari* o huevos de *S. cerealella* cada día durante el estado larval. Cada 24 h se realizaron observaciones para registrar el cambio de las fases biológicas de los depredadores (L1, L2, L3, pupa y adulto).

Para cada especie de depredador y sus respectivos tratamientos, se determinó el tiempo de desarrollo y supervivencia de huevo, los tres ínstares larvales (L1, L2 y L3), pupa y adulto.

2.2.4.2. Parámetros reproductivos y poblacionales de crisópidos

A partir de los adultos de ≤ 12 horas de edad emergidos en el experimento anterior y por cada tipo de alimento (*M. sacchari* y *S. cerealella*), se formaron 20 parejas (macho y hembra) de *C. carnea*, 10 de *C. externa* y 10 de *C. comanche*. Cada pareja se colocó en una cámara de oviposición (tubo de PVC de 7.6 cm de diámetro y 10 cm de altura), que en los extremos se cubrió con tela de organdí para permitir la ventilación. Dentro de la cámara se colocó una cartulina negra como sustrato de oviposición. Los adultos se alimentaron diariamente con miel y levadura de cerveza a

una proporción de 1:1. Cada 24 horas se registró el número de huevos puestos, que posteriormente se retiraron del sustrato de oviposición. Este procedimiento se siguió en todas las unidades experimentales hasta la muerte de las hembras.

Para cada especie de depredador y tipo de alimentación, se determinó el tiempo de preoviposición, oviposición y postoviposición, total de huevos ovipositados (fecundidad total) por hembra, longevidad de adultos (machos y hembras) y los parámetros poblacionales se determinaron siguiendo la metodología utilizada por Maia *et al.* (2000). Estos fueron los siguientes: Tasa reproductiva básica o tasa de reemplazo (R_0), que es el número promedio de prole hembra producido por cada hembra por generación; la Tasa finita de crecimiento poblacional (λ) que es el número de individuos de cada individuo por unidad de tiempo; el Tiempo generacional (T) de la cohorte que es la edad promedio de las hembras en una cohorte en el momento de nacimiento de su descendencia; la Tasa intrínseca de crecimiento (r_m), definida como la capacidad de multiplicación de una población en el lapso de una generación; el doble de tiempo generacional, que es el lapso de tiempo necesario para duplicar la población inicial.

2.2.5. Análisis estadístico

El tiempo de desarrollo de L1, L2, L3, pupa y adultos se comparó mediante una prueba no paramétrica con Kruskal-Wallis. Los datos de parámetros reproductivos se sometieron a un ANOVA y se usó la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la separación de medias, todos los análisis se llevaron a cabo usando el paquete estadístico Infostat versión 2018 (Balzarini *et al.*, 2018), mientras que, los parámetros poblacionales se analizaron con el programa Lifetable (Maia *et al.*, 2000) mediante el programa SAS versión 9.0 (2002).

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Tiempo de desarrollo

El tiempo de desarrollo de *C. carnea*, *C. externa* y *C. comanche* alimentadas con huevos de *S. cerealella* y ninfas de *M. sacchari* varió de acuerdo a la especie, dieta y las fases biológicas. El periodo de incubación de huevos fue alrededor de 3 días para *C. comanche* y 4 para *C. carnea* y *C. externa* alimentadas con ambas presas. Respecto al desarrollo de los instares larvales, el 1er instar de *C. comanche* alimentado con *S. cerealella* y *C. externa* con ambas presas, tuvieron un tiempo de desarrollo que osciló entre 3.3 y 3.6 días, mientras que *C. carnea* se desarrolló en cerca de 4 días. En el segundo instar larval *C. carnea* y *C. comanche* alimentadas con dos tipos de presas completaron su desarrollo en menor tiempo, que osciló entre 3.0 y 3.5 días, mientras que *C. externa* duró su desarrollo en 3.8 días. El tercer instar de los tres depredadores se desarrolló entre 5.5 y 6.5 días cuando se alimentaron con *M. sacchari*, en cambio, cuando se alimentaron con *S. cerealella*, dicho desarrollo fue entre 3.5 a 4.8 días. El tiempo de desarrollo de huevo a la emergencia del adulto fue de 22.4 ± 0.29 días para *C. comanche* alimentada con *S. cerealella*; mientras que, para *C. carnea* y *C. externa* fue de 28.86 ± 0.26 y 29.50 ± 0.37 días, respectivamente, cuando se alimentaron con ninfas de *M. sacchari* (Cuadro 4).

La supervivencia que presentó *C. carnea* fue de 100.0, 94.0 y 93.0 % para larvas de primero, segundo y tercer instar, respectivamente, en ambas presas, llegando el 69.0 % a adultos, cuando se les ofreció ninfas de *M. sacchari* y 77.0 % con huevos de *S. cerealella* (Figura 2a). *C. comanche* presentó una supervivencia ligeramente mayor en todas sus fases biológicas cuando se alimentó con *M. sacchari*, sin embargo, cuando se alimentó con *M. sacchari* y *S. cerealella*, registró 98.0 y 82.0 % para larvas de primer instar y 72.0 y 60.0 % para pupa, respectivamente (Figura 2b). *C. externa* presentó una supervivencia de 88.0 y 92.0 % en larva de primer instar y 70.0 y 76.0 % a

pupa, cuando se le ofreció *M. sacchari* y *S. cerealella*, respectivamente, llegando el 60.0 % a adulto, cuando se le ofreció ninfas de *M. sacchari* y 72.0 % cuando su alimentación fue con huevos de *S. cerealella* (Figura 2c).

Cuadro 4. Días de desarrollo (Promedio±EE) de los estados inmaduros de tres especies de *Chrysoperla* alimentadas con *Melanaphis sacchari* y *Sitotroga cerealella*.

Presas	Periodo de incubación	Ínstares larvales			Pupa	Tiempo de desarrollo del adulto
		L1	L2	L3		
<i>C. carnea</i>						
<i>M. sacchari</i>	3.98±0.02b	4.18±0.11b	3.43±0.07b	5.99±0.15de	11.27±0.13c	28.86±0.26c
<i>S. cerealella</i>	4.00±0.00b	3.88±0.07b	3.52±0.06b	4.13±0.09b	10.73±0.09b	26.25±0.18b
<i>C. externa</i>						
<i>M. sacchari</i>	4.08±0.04b	3.35±0.08a	3.87±0.10c	6.46±0.24e	11.74±0.35c	29.50±0.37c
<i>S. cerealella</i>	4.00±0.04b	3.59±0.10a	3.80±0.07c	4.82±0.15c	10.84±0.19bc	27.05±0.29b
<i>C. comanche</i>						
<i>M. sacchari</i>	3.12±0.05a	4.09±0.13b	3.35±0.09ab	5.53±0.23cd	10.19±0.23b	26.28±0.43b
<i>S. cerealella</i>	3.14±0.05a	3.39±0.10a	3.0±0.11a	3.53±0.09a	9.33±0.23a	22.39±0.29a

Medias con letras iguales en cada columna son estadísticamente iguales con Kruskal-Wallis.

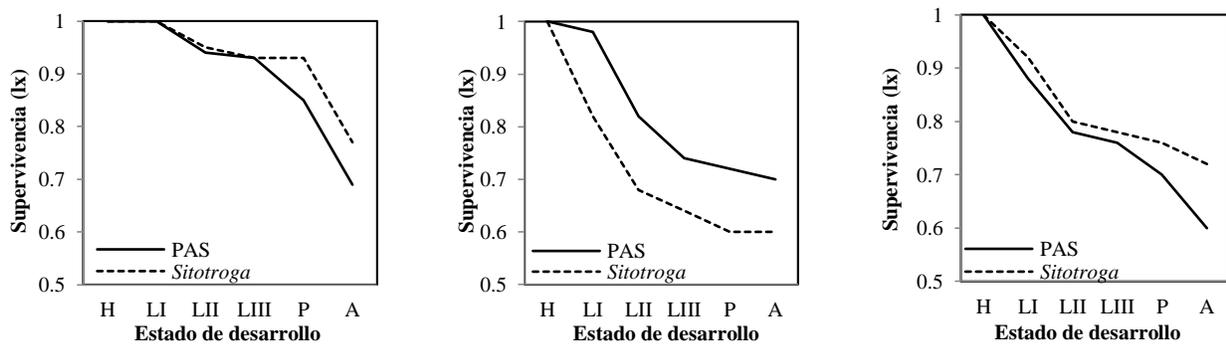


Figura 2. Supervivencia en diferentes fases de desarrollo de *Chrysoperla carnea* (1a), *C. comanche* (1b) y *C. externa* (1c), alimentadas con ninfas de pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* (PAS) y *Sitotroga cerealella*.

2.3.2. Parámetros reproductivos y poblacionales de crisópidos

La longevidad y fecundidad por cada hembra varió entre especies y entre tipos de presas ofrecidas. El tiempo de preoviposición en *C. carnea* fue de 6.25 ± 0.49 y 10.50 ± 1.45 días en *C. comanche*, cuando se alimentaron con ninfas de *M. sacchari*; mientras que, *C. carnea*, *C. comanche* y *C. externa*, alimentadas con huevos de *S. cerealella* y *C. externa* alimentadas con ninfas de *M. sacchari* presentaron menor tiempo de preoviposición (Cuadro 5). El tiempo de oviposición y postoviposición por las hembras no fue significativo entre especies con sus respectivas presas. La fecundidad por hembra varió de 374.5 a 488.5, pero no hubo diferencias significativas entre especies de depredadores y tipo de alimentación (Cuadro 5). La longevidad en hembras entre las especies no fue significativamente diferente, en cambio, los machos de *C. comanche* vivieron 31.3 días cuando se les proporcionó ninfas de *M. sacchari*, mientras *C. carnea* tuvo una longevidad de 56.1 días cuando se alimentó con *S. cerealella* (Cuadro 5).

Cuadro 5. Tiempo de desarrollo (días) por parámetro reproductivo (Promedio \pm EE) de tres especies de *Chrysoperla*, alimentadas con *Melanaphis sacchari* y *Sitotroga cerealella*.

Presas	Pre oviposición	Oviposición	Post oviposición	Número de huevos/hembra	Longevidad	
					hembra	Macho
<i>C. carnea</i>						
<i>M. sacchari</i>	$6.25 \pm 0.49b$	$54.10 \pm 5.16a$	$3.00 \pm 0.81a$	$374.55 \pm 44.92a$	63.30a	52.35bc
<i>S. cerealella</i>	$4.90 \pm 0.29a$	$54.10 \pm 3.81a$	$2.10 \pm 0.84a$	$488.5 \pm 30.87a$	61.05a	56.05c
<i>C. comanche</i>						
<i>M. sacchari</i>	$10.50 \pm 1.45c$	$52.00 \pm 2.40a$	$2.20 \pm 0.47a$	$394.4 \pm 50.61a$	64.60a	31.30 ^a
<i>S. cerealella</i>	$6.20 \pm 0.44bc$	$51.80 \pm 4.67a$	$2.80 \pm 0.76a$	$470.4 \pm 63.93a$	60.80a	51.00bc
<i>C. externa</i>						
<i>M. sacchari</i>	$4.30 \pm 0.42a$	$49.50 \pm 5.60a$	$2.10 \pm 0.62a$	$439.0 \pm 66.17a$	55.90a	38.30ab
<i>S. cerealella</i>	$5.40 \pm 0.40ab$	$48.40 \pm 3.96a$	$2.70 \pm 0.72a$	$408.8 \pm 45.45a$	56.60a	47.80bc

Medias con letras iguales en cada columna son estadísticamente iguales con Kruskal-Wallis.

2.3.3. Parámetros poblacionales

Las tres especies de *Chrysoperla* presentaron una tasa neta de reproducción que osciló entre 139.5 a 157.5 hembras cuando se alimentaron con ninfas de *M. sacchari* y de 155.7 a 191.8 con huevos de *S. cerealella*. *C. carnea*, *C. externa* y *C. comanche* presentaron una tasa intrínseca de incremento de 0.097, 0.101 y 0.094 al consumir *M. sacchari* y 0.111, 0.109 y 0.110 con *S. cerealella*, respectivamente. El tiempo medio de generación de las tres especies fue de 48.71 a 54.01 días cuando la dieta ofrecida fue *M. sacchari* y entre 46.5 y 47.1 cuando se alimentaron con *S. cerealella*. El doble tiempo generacional de *C. carnea*, *C. externa* y *C. comanche* fue de 7.12, 6.83 y 7.40 días cuando se les ofreció *M. sacchari*, respectivamente y en este mismo orden de depredadores el doble tiempo generacional fue de 6.21, 6,38, 6.27 días, respectivamente, cuando se alimentaron con *S. cerealella*. La tasa finita de incremento de *C. carnea*, *C. externa* y *C. comanche* fue de 1.101, 1.107 y 1.098, respectivamente, cuando se alimentaron con *M. sacchari* y de 1.118, 1.115 y 1.117, respectivamente, cuando dichos depredadores se alimentaron con *S. cerealella* (Cuadro 6).

Cuadro 6. Parámetros poblacionales de tres especies de *Chrysoperla* alimentadas con *Melanaphis sacchari* y *Sitotroga cerealella*.

Presas	Tasa neta de reproducción (Ro)	Tasa intrínseca de incremento (rm)	Tiempo medio de generación (T)	Doble tiempo (DT)	Tasa finita de incremento (λ)
<i>C. carnea</i>					
<i>M. sacchari</i>	139.557	0.097	50.886	7.142	1.101
<i>S. cerealella</i>	191.834	0.111	47.130	6.215	1.118
<i>C. externa</i>					
<i>M. sacchari</i>	139.697	0.101	48.714	6.836	1.107
<i>S. cerealella</i>	155.693	0.109	46.493	6.384	1.115
<i>C. comanche</i>					
<i>M. sacchari</i>	157.366	0.094	54.014	7.401	1.098
<i>S. cerealella</i>	169.344	0.110	46.483	6.278	1.117

2.4. DISCUSIÓN

La presente investigación aporta diversos aspectos biológicos de *Chrysoperla carnea*, *C. comanche* y *C. externa* cuando se alimentaron con *M. sacchari* y *S. cerealella*.

Tiempo de desarrollo

El ciclo biológico de *C. carnea* se completó en 28 y 26 días cuando se le ofreció *M. sacchari* y *S. cerealella*, respectivamente. Sin embargo, las tres especies de depredadores completaron su desarrollo en mayor tiempo cuando se alimentaron con *M. sacchari* que cuando consumieron *S. cerealella* (Cuadro 4). El periodo de incubación de huevos de *C. carnea* fue similar al reportado por El-Serafi *et al.* (2000), Qadeer (2012) y Khan *et al.* (2013).

El tercer instar larval de las tres especies de crisópidos fue el que se desarrolló en mayor tiempo, principalmente cuando las larvas se alimentaron con *M. sacchari*. El-Serafi *et al.* (2000) encontraron que cuando *C. carnea* se alimenta con *Aphis gossypii* Glover, *Rhopalosiphum maidis* Fitch y *A. nerii* Boyer, el tiempo de desarrollo es aún mayor. En cambio, en el presente estudio dicho instar se desarrolló en menor tiempo cuando las larvas se alimentaron con huevos de *S. cerealella*, el cual fue alrededor de 4 días, lo que es similar a lo encontrado por Afzal and Khan (1978), Sattar *et al.* (2011), Khan *et al.* (2013) y Huerta-Rodríguez *et al.* (2018). En general, el tiempo de desarrollo del estado larval fue más largo en *C. carnea* y *C. externa*, registrando 13.6 días cada una cuando se le ofreció *M. sacchari*. Un tiempo similar se encontró cuando *C. carnea* se alimentó con *A. gossypii*, *Brevicoryne brassicae* L. y *Schizaphis graminum* (Rondani) (El-Serafi *et al.*, 2000; Khan *et al.*, 2013).

La duración del estado de pupa y el tiempo de desarrollo de huevo a adulto fue más largo en *C. carnea* y *C. externa* cuando se alimentaron con ambas dietas, sin embargo, Sattar *et al.* (2011), Khan *et al.* (2013) y Huerta-Rodríguez *et al.* (2018), encontraron menor tiempo de desarrollo

cuando *C. carnea* se alimentó con *M. sacchari*, *A. gossypii*, *S. avenae*, *R. maidis*, *S. graminum* y *A. nerii*., esto es probablemente por las horas luz, pues ellos realizaron sus experimentos a 18 h luz y 6 h oscuridad.

Parámetros reproductivos

La longevidad en hembras de las tres especies de crisópidos alimentadas con dos dietas fue similar. Sin embargo, al comparar nuestros resultados con otros estudios, se encontró que las hembras de *C. carnea* son más longevas cuando se alimentan con otras presas, ya que es afectada de acuerdo al tipo de alimentación que reciben las larvas y adultos (El-Serafi *et al.*, 2000; Khan *et al.*, 2013; Huerta-Rodríguez *et al.*, 2018).

C. comanche fue la especie que presentó mayor periodo de preoviposición cuando se alimentó con ambas dietas, mientras que, *C. carnea* presentó menor tiempo cuando se alimentó con huevos de *S. cerealella*, incluso este tiempo fue aún menor que lo reportado por El-Serafi *et al.* (2000) y Khan *et al.* (2013). Aparentemente la dieta ofrecida en el presente estudio no afectó los periodos de oviposición y post-oviposición, sin embargo, el periodo de oviposición registrado en *C. carnea* fue más del doble que lo encontrado cuando se alimenta de *A. gossypii*, *S. avenae*, *R. maidis* y *A. nerii*, mientras que el periodo de post-oviposición fue mayor sobre estas mismas presas y *S. graminum* (El-Serafi *et al.*, 2000; Khan *et al.* 2013).

La tasa de fecundidad en las tres especies de crisópidos evaluados fue similar de acuerdo a las dietas ofrecidas, aunque es importante mencionar que en la presente investigación *C. carnea* produjo 23.3 % más huevos cuando se alimentó con huevos de *S. cerealella* que con *M. sacchari*. Por el contrario, *C. carnea* alimentada con *M. sacchari* presentó 36.6, 42.4, 54.6 y 79.7 % más su fecundidad que cuando se alimentó con *A. nerii*, *S. graminum*, *B. tabaci* y *Phenacoccus solenopsis* Tinsley, respectivamente (El-Serafi *et al.*, 2000; Gautam *et al.*, 2009; Jokar and Zarabi, 2012).

En la presente investigación se revela que el tipo de dieta ofrecida a los depredadores afecta solamente al periodo de preoviposición, no así la oviposición, postoviposición, fecundidad y longevidad de las hembras. Sin embargo, es importante considerar que la dieta y el tiempo de oviposición sí podrían definir la tasa de fecundidad (Tesfaye y Gautam 2002; Usman *et al.*, 2006; Nawaz *et al.*, 2008; Balouch *et al.*, 2016; Farrokhi *et al.*, 2017).

Parámetros poblacionales

El valor de la tasa reproductiva básica (R_0) fue menor en las tres especies de *Chrysoperla* estudiadas cuando se alimentaron con ninfas de *M. sacchari*, ya que el valor de R_0 indica que cada hembra es reemplazada por 139.6, 139.7 y 157.4 hembras de *C. carnea*, *C. externa* y *C. comanche*, respectivamente, en el lapso de una generación; mientras que, el número de hembras reemplazadas por cada hembra de los tres depredadores cuando se alimentaron con huevos de *S. cerealella* fue mayor, con valores de 191.8, 155.6 y 169.3, respectivamente, en el lapso de una generación. Cabe mencionar que la R_0 de *C. carnea* cuando consumió *M. sacchari* fue superior que cuando se alimenta de otras presas, tales como *Corcyra cephalonica* (Stainton) (Lepidoptera: Pyralidae), *Chilo infuscatellus* Snellen (Lepidoptera: Pyralidae), *Aleurolobus barodensis* Mask (Hemiptera: Aleyrodidae), *B. brassicae* y *B. tabaci* (Jokar and Zarabi, 2012; Saljoqi *et al.*, 2015; Khan *et al.*, 2017; Sultan *et al.*, 2017).

La tasa intrínseca de incremento (r_m) obtenida para *C. carnea*, *C. externa* y *C. comanche* fue menor cuando los depredadores se alimentaron con *M. sacchari*, lo cual es similar a lo registrado cuando *C. carnea* se alimentó con diversas presas (Saljoqi *et al.*, 2015; Sultan *et al.*, 2017).

La tasa finita de incremento (λ) obtenida para las tres especies de *Chrysoperla* alimentadas con *M. sacchari* fue similar a la obtenida por Sultan *et al.* (2017), mientras que, El-Serafi *et al.* (2000),

Jokar and Zarabi (2012) y Khan *et al.* (2017) obtuvieron la λ con valores superiores al ofrecer diversos tipos de presas al *C. carnea*.

El tiempo generacional (T) fue superior cuando a las especies de *Chrysoperla* se les ofreció *M. sacchari*, con valores de 50.9, 48.7 y 54.0 días para *C. carnea*, *C. externa* y *C. comanche*, respectivamente, mientras que en este mismo orden de depredadores, éste fue de 47.1, 46.5 y 46.5 días, respectivamente cuando se les proporcionó *S. cerealella*, es decir que las hembras en el momento del nacimiento de su descendencia, tenían esa edad promedio. El tiempo generacional (T) en una población con reproducción continua, se interpreta como la edad a la cual, si todo el esfuerzo reproductivo estuviera concentrado en ella, la tasa de reemplazo sería la misma que con el esfuerzo reproductor repartido entre varias edades. El tiempo generacional encontrado en *C. carnea* alimentada con *M. sacchari* fue similar a lo obtenido cuando se alimenta con *B. brassicae*, *Anerii*, *A. barodensis*, *Ch. infuscatellus* (El-Serafi *et al.*, 2000; Saljoqi *et al.*, 2015; Sultan *et al.*, 2017). Sin embargo, se ha reportado que cuando este mismo depredador se alimenta de otras presas, el tiempo generacional es aún mucho menor que lo encontrado en el presente trabajo (Jokar and Zarabi, 2012; Khan *et al.*, 2017).

El doble de tiempo generacional encontrado en todos los casos del presente trabajo es similar a los que reportan Sultan *et al.* (2017) con *C. carnea*, en cambio, se encontró el DT de este mismo depredador sobre otras presas, que los valores fluctúan alrededor de 4.4 días (Jokar and Zarabi 2012; Khan *et al.*, 2017).

En el presente estudio, el desarrollo del estado inmaduro de las tres especies de crisopas ocurrió en 26.7 días en promedio, mientras que, *M. sacchari* lo hace entre 5.35 y 9.04 días. La supervivencia que presentan las crisopas es baja, comparada con la de *M. sacchari* (mayor de 90.0 %); la cual puede presentar una fecundidad de hasta 60.0 ninfas por hembra en cultivares con

exceso de nitrógeno. La R_0 y DT de cada una de las especies de crisopas fue más del doble y más de tres veces en tiempo generacional que lo que ha presentado *M. sacchari* y la r_m también se ha registrado que es mucho mayor en *M. sacchari* (Du *et al.*, 2018; Toledo-Hernández *et al.*, 2018; Lama *et al.*, 2019). Los parámetros reproductivos y poblacionales de las tres especies de *Chrysoperla* indican que presentan una desventaja sobre *M. sacchari*, debido que este áfido se desarrolla en menor tiempo, registra un tiempo generacional muy corto, además de una alta supervivencia, aunque estas características podrían deberse a algunos factores como la temperatura, la humedad relativa, el fotoperiodo u otros factores bióticos, por lo que se requieren más trabajos de investigación sobre esta plaga para fijar el momento oportuno para la liberación de las crisopas si se decide establecer un programa de control biológico por aumento utilizando estos depredadores.

2.5. LITERATURA CITADA

- Afzal, M., and M. R. Khan. 1978. Life history and feeding behavior of green lacewing, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). Pakistan Journal Zoology 19: 83 – 90.
- Atlihan. R., M. B. Kaydan, and M. S. Özgökçe. 2004. Feeding activity and life history characteristics of the generalist predator, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) at different prey densities. Journal of Pest Science 77: 17-21.
- Balouch, S., A. Bukero, I. A. Nizamani, M. I. Kumbhar, L. B. Rajput, R. A. Buriro, A. R. Shah, N. A. Qureshi, J. A. Sheikh, S. A. Nahiyoon, and Z. Rajput. 2016. Rearing of Adult Green Lacewing, *Chrysoperla carnea* (Stephens) on Different Artificial Diets in the laboratory. Journal of Basic & Applied Sciences 12: 289 – 292. Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Casanoves F, Di Rienzo JA, Robledo CW. 2008. Infostat. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Blackman, R. L., and V. F. Eastop, 2015. Aphids on the world's plants. An online identification and information guide. Available: <http://www.aphidsonworldsplants.info> (2018, march 11).
- Chi, C., and T. Yang. 2003. Two-sex life table and predation rate of *Propylea japonica* Thunberg (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae). Environmental Entomology 32: 327–333.
- Daane, K. M., G. Y. Yokota, Y. Zheng, and K. S. Hagen. 1996. Inundative release of common green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae) to suppress *Erythroneura variabilis* and *E. elegantula* (Homoptera; Cicadellidae) in vineyards. Environmental Entomology 25: 1224 – 1234.
- Du, J., Q. Zhan, B. Huang, Y. Liu, J. Li, D. Wu, Y. Tang, and J. Li. 2018. Biological Characteristics and Life Table Parameters of the Sorghum Aphid (*Melanaphis sacchari*) on Different Sorghum and *Sorghum bicolor*×*Sorghum sudanense* Cultivars. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Sciences) 33: 191–197.
- El-Serafi, H. A. K., A. H. Abdel-Salam, and N. F. Abdel-Baky. 2000. Effect of four aphid species on certain biological characteristics and life table parameters of *Chrysoperla carnea* Stephen and *Chrysopa septempunctata* Wesmael (Neuroptera: Chrysopidae) under laboratory conditions. Pakistan Journal of Biological Sciences 3: 239 – 245.
- Farrokhi, M., G. Gharekhani, S. Iranipour, and M. Hassanpour. 2017. Effect of different artificial diets on some biological traits of adult green lacewing *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) under laboratory conditions. Journal of Entomology and Zoology Studies 5: 1479 – 1484.
- Gautam, S., A. K. Singh, and R. D. Gautam. 2009. Comparative life table analysis of Chrysopids reared on *Phenacoccus solenopsis* Tinsley in laboratory. Journal Biological Control 23: 393 – 402.

- Huerta-Rodríguez, J. O., A. Huerta-de la Peña, A. Aragón-García, and C. Carmona-Fernández. 2018. Consumption and Developmental Capacity of *Chrysoperla carnea* (Stephens) on the Sugarcane Aphid (*Melanaphis sacchari* Zehntner) in Puebla, México. *Southwestern Entomologist* 43: 417 – 432.
- Jokar, M., and M. Zarabi. 2012. Investigation effect three diets on life table parameters *Chrysoperla carnea* (Steph.) (Neuroptera: Chrysopidae) under Laboratory Conditions. *Egyptian Academic Journal Biological Sciences* 5: 107 – 114.
- Khan, J., E. U. Haq, H. I. Javed, T. Mahmood, A. Rasool, N. Akhtar, and S. Abid. 2013. Biological parameters and predatory potential of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) feeding on wheat aphid *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae) under laboratory conditions. *Pakistan Journal of Agricultural Research* 26: 328 – 334.
- Khan, J., E. U. Haq, T. Mahmood, A. Rasool, N. Aslam, H. Shah, A. Blouch, M. M. Mahmood, and I. Ahmad. 2017. Life table attributes of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) reared on *Corcyra cephalonica* (Lepidoptera: Pyralidae) eggs under laboratory condition. *International Journal of Biosciences* 10: 52 – 59.
- Lama, L., B. E. Wilson, J. A. Davis, and T. E. Reagan. 2019. Influence of sorghum cultivar, phenological stage, and fertilization on development and reproduction of *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae). *Florida Entomologist* 102: 194 – 201.
- Maia, A. H. N., A. J. Luiz, and C. Campanhola. 2000. Statistical inference on associated fertility life table parameters using jackknife technique: computational aspects. *Journal of Economic Entomology* 93: 511 – 518.
- McEwen, P. K., T. R. New, and A. Whittington. 2001. *Lacewings in the crop management*. Cambridge University Press.
- Nawaz, M., M. Ashfaq, and A. Amjad. 2008. Studies on improvement of artificial diet and its effect on biological characters of *Chrysoperla carnea* Stephens. *Pakistan Journal of Entomology* 30: 73 – 76.
- Qadeer, A., R. Muhammad, N. Ahmad, J. Ahmed, and N. Suleman. 2012. Effect of different photoperiods on the biological parameters of *Chrysoperla carnea* under laboratory conditions. *Journal Basic and Applied Sciences* 136: 638 – 640.
- Rodríguez-del-Bosque, L., A. Terán. 2015. *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae). A new sorghum insect pest in México. *Southwestern Entomologist* 40, 433–434.
- Saljoqi, A. U., N. Asad, J. Khan, E. Haq, S. Rehman, Z. Huma, H. Saeed, M. Nadeem, M. Salim, B. Ahmad, and H. Zada. 2015. The impact of temperature on biological and life table parameters of *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae) fed on cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus). *Journal of Entomology and Zoology Studies* 3: 238 – 242.

- Saminathan, V.R., R. Baskaran, and N. Mahadeva. 1999. Biology and Predatory potential of Green Lacewing (*Chrysoperla carnea*) (Neuroptera: Chrysopidae) on different insect host. Indian Journal of Agricultural Sciences 69: 502 – 505.
- SAS Institute. 2002. SAS/STAT User's Guide, version 9.0. SAS Institute Inc., Cary, NC
- Sattar, M., G. H. Abro, and T. S. Syed. 2011. Effect of different hosts on biology of *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) in laboratory conditions. Pakistan Journal of Zoology 43: 1049 – 1054.
- Singh, N. N., and K. Manoj. 2000. Potentiality of *Chrysoperla carnea* in suppression of mustard aphid population. Indian Journal of Entomology 62: 323 – 326.
- Singh, B. U., P. G. Padmaj, and N. Seetharama. 2004. Biology and management of the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae). In sorghum a review. Crop Protection 23: 739–755.
- Sultan, A., M. F. Khan, S. Siddique, M. F. Akbar, and A. Manzoor. 2017. Biology and Life Table Parameters of the Predator, *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836) (Neuroptera: Chrysopidae) on Sugarcane Whitefly, Sugarcane Stem Borer and Angoumois Grain Moth. Egyptian Journal of Biological Pest Control 27: 7 – 10.
- Tauber, M. J., C. A. Tauber, K. M. Daane, and K. S. Hagen. 2000. Commercialization of predators: Recent lesson from green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae). American Entomologist 46: 26 – 38.
- Tesfaye, A., and R. D. Gautam. 2002. Effect of adult food supplements on reproductive attributes and longevity of *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae). Annals of Plant Protection Sciences 10: 198 – 201.
- Toledo-Hernández, E., V. M. Hernández-Velázquez, and G. Peña-Chora. 2018. An artificial diet for the sugarcane aphid (*Melanaphis sacchari* Zehntner) (Hemiptera: Aphididae) with potential uses for in vitro toxicological studies. Florida Entomologist 101: 395 – 398.
- Uddin, J., N. J. Holliday, and P. A. Mackay. 2005. Rearing lacewings, *Chrysoperla carnea* and *Chrysopa oculata* (Neuroptera: Chrysopidae), on prepupae of alfalfa leaf cutting bee, *Megachile rotundata* (Hymenoptera: Megachilidae). Proceedings of the Entomological Society of Manitoba 61: 11 – 19.
- Usman, A., M. Naem, Z. Salihah, M. Ulhaq, and M. Q. Saeed. 2006. Effect of different adult diets on *Chrysoperla carnea* (Steph.) (Neuroptera: Chrysopidae), a biological control agent. Sarhad Journal of Agriculture 22: 37 – 40.
- Villenave, J., B. Deutsch, T. Lode, and E. Rat-Morris. 2006. Pollen preference of the *Chrysoperla* species (Neuroptera: Chrysopidae) occurring in the crop environment in western France. European Journal Entomology 103: 771 – 777.

- Zaki, F. N., and M. A. Gesraha. 2001. Production of the green lacewing, *Chrysoperla carnea* (Steph.) (Neuroptera: Chrysopidae) reared on semi-artificial diet based on algae, *Chlorella vulgaris*. *Journal of Applied Entomology* 125: 97 – 98.
- Zia, K., F. Hafeez, R. R. Khan, M. Arshad, and U. N. Ullah. 2008. Effectiveness of *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) on the population of *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae) in different cotton genotypes. *Journal of Agriculture and Social Sciences* 4: 112 – 116.

**CAPÍTULO III. CAPACIDAD DE CONSUMO DEL ESTADO LARVAL Y TIEMPO
DE DESARROLLO DE TRES ESPECIES DE CRISOPAS ALIMENTADAS CON
Melanaphis sacchari (HEMIPTERA: APHIDIDAE)**

3.1. INTRODUCCIÓN

En México, los principales estados productores de sorgo han sido Tamaulipas, Guanajuato, Sinaloa y Michoacán, donde en el 2014 se sembraban alrededor de 2 millones de ha, con una producción de más de 8 millones de ton; sin embargo, en 2018 la superficie del cultivo disminuyó hasta llegar a 1.3 millones de ha, con una producción de 4.5 millones de toneladas (SIAP, 2015, 2019), muy posiblemente debido a las primeras infestaciones en 2013 del pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae) en México y la subsecuente pérdida de casi 100 % de la producción en parcelas donde no se realizó control, y en poco tiempo se convirtió como la plaga más importante en diversas regiones productoras de sorgo (Rodríguez-del-Bosque y Terán, 2015; SENASICA, 2015).

El control químico es la principal táctica que se ha utilizado para el control de *M. sacchari*, sin embargo, probablemente por el uso irracional de insecticidas podría suprimir de manera importante la población de enemigos naturales (Pino *et al.*, 2013). A nivel mundial se registran al menos 47 especies de enemigos naturales asociadas con *M. sacchari* (Singh *et al.*, 2004; Colares *et al.*, 2015), entre estas se encuentran varias especies de crisopas. Los adultos de estos insectos tienen una distribución amplia, con buen potencial como agentes de control biológico en diversos cultivos de importancia agrícola, éstos se alimentan regularmente de polen, néctar y mielecilla, mientras que, las larvas son depredadoras, muy voraces sobre un amplio rango de insectos, principalmente sobre aquellos de cuerpo blando (New, 2001; Athhan *et al.*, 2004; Mansoor *et al.*, 2013).

Aunque se han reportado varias especies alimentándose del *M. sacchari*, se desconocen algunos aspectos de su biología, uno de estos es la capacidad de consumo de las larvas de los crisópidos, lo cual es importante evaluar antes de su incorporación dentro de un programa de manejo integral de plagas (Salamanca-Bastidas *et al.*, 2010; Paredes *et al.*, 2013), por tal razón, el objetivo del presente estudio fue comparar la capacidad de consumo del estado larval de *Chrysoperla carnea*, *C. comanche* y *C. externa*, alimentadas con el pulgón amarillo del sorgo *M. sacchari* en condiciones de laboratorio.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Condiciones generales del experimento

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Control Biológico del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Los experimentos se desarrollaron en condiciones de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, $60 \pm 10\%$ de HR y fotoperiodo 12:12 (L:O) en una cámara bioclimática.

La arena experimental consistió de una caja Petri de plástico de 4.0 cm de diámetro y 1.5 cm de altura, con la tapa perforada ($\varnothing = 2.0$ cm) y cubierta de tela de organza para permitir la ventilación. En la base de la caja se vertieron 2.0 mL de agar-agua y sobre esta capa, antes de que se solidificara, se colocó un disco de hoja de sorgo del híbrido UPM-219, esto con la finalidad de mantener la turgencia de la hoja de sorgo, para permitir el establecimiento y alimentación de *M. sacchari* durante el desarrollo del experimento. Las arenas se remplazaron cada tercer día hasta terminar el estudio.

3.2.2. Cría de insectos

Las ninfas de tercer y cuarto estadio de *M. sacchari* se obtuvieron a partir de una colonia establecida sobre plantas de sorgo en condiciones de invernadero en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Los huevos de *C. carnea*, *C. comanche* y *C. externa* se obtuvieron a partir de colonias establecidas con adultos de cada especie, los cuales se mantenían en cámaras de oviposición que consistieron de tubos de PVC (21.0 cm de altura y 10.5 cm de diámetro), mantenidas en condiciones controladas de temperatura y humedad (mencionadas en el apartado de condiciones generales del estudio). A los adultos se les ofreció una dieta elaborada a base de levadura de cerveza y miel (1:1), mediante algodón humedecido y la cual se les cambiaba cada dos días.

3.2.3. Desarrollo del experimento

El experimento se inició con huevos de ≤ 6 h de edad de cada especie de *Chrysoperla*, los cuales se colocaron de manera individual en una arena experimental para evitar el canibalismo entre larvas al eclosionar. Como alimento para las larvas, se utilizaron ninfas de tercero y cuarto estadio de *M. sacchari*. De acuerdo a los datos preliminares, cada 24 h se les ofrecían 50, 70 y 100 pulgones, a las larvas de primero, segundo y tercer ínstar larval de crisópidos, respectivamente. El experimento se estableció bajo condiciones controladas en un diseño completamente al azar con 20 repeticiones para cada uno de los tres tratamientos: *C. carnea*, *C. comanche* y *C. externa*.

Cada 24 h se registró el número de ninfas de *M. sacchari* consumidas, además se determinó el porcentaje de supervivencia y el tiempo de desarrollo de los instares larvales, pupa y adulto de cada especie de *Chrysoperla*.

3.2.4. Análisis de datos

Los datos de pulgones consumidos por las larvas, el tiempo de desarrollo y la supervivencia de cada fase biológica de las tres especies de crisopas se sometieron a un análisis de varianza, posteriormente se les aplicó una prueba de separación de medias con Tukey ($\alpha=0,05$), todos los análisis se realizaron con SAS (2002).

3.3. RESULTADOS

Las especies de *Chrysoperla* tuvieron un consumo variado durante su estado larval, el cual mostró diferencia significativa entre las especies, donde *C. comanche* registró un consumo de 400.82 ninfas de *M. sacchari*, mientras que, las otras dos especies mostraron mayor capacidad de consumo, pero sin mostrar diferencias significativas entre ellas, con un máximo de 486.70 ninfas de *M. sacchari* consumidas por *C. carnea*. El consumo de las tres especies de crisópidos no varió en el 1er. ínstar larval, donde el rango fue de 107.60 ± 0.86 a 119.85 ± 0.80 pulgones (Cuadro 7). El segundo ínstar larval de *C. comanche* consumió 79.05 ± 1.52 pulgones, mientras que, *C. carnea* y *C. externa* consumieron mayor número de pulgones, pero sin mostrar significancias entre estas dos especies. El tercer ínstar larval de las tres especies de crisopas registró mayor capacidad de consumo de ninfas de *M. sacchari* que los otros ínstaes juntos, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre especies, registrando un rango de consumo de 212.94 ± 1.48 a 250.70 ± 1.29 pulgones durante dicha fase larval (Cuadro 7).

Cuadro 7. Consumo (Promedio \pm Error Estándar) de cada ínstar larval de tres especies de *Chrysoperla*, alimentadas con ninfas de *Melanaphis sacchari*.

Depredador	Ínstares larvales			Total
	L1	L2	L3	
<i>C. carnea</i>	119.85 \pm 0.80a	116.15 \pm 1.20a	250.70 \pm 1.29a	486.70a
<i>C. comanche</i>	107.60 \pm 0.86a	79.05 \pm 1.52b	212.94 \pm 1.48a	400.82b
<i>C. externa</i>	116.05 \pm 0.89a	122.94 \pm 1.34a	246.39 \pm 1.50a	474.17 ^a
<i>P</i>	0.1029	<0.0001	0.1785	0.0013

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa con Tukey ($\alpha=0.05$). L1: larvas de primer ínstar, L2: larvas de segundo ínstar y L3: larvas de tercer ínstar.

Respecto al tiempo de desarrollo de las tres especies de *Chrysoperla* cuando se alimentaron con ninfas de *M. sacchari* se observó que el desarrollo de huevo a adulto varió significativamente (Cuadro 8), por ejemplo, *C. comanche* lo completó en 22.80 \pm 0.34 días, mientras, *C. externa* y *C. carnea* en alrededor de 27.0 días. El periodo de incubación para *C. comanche* fue de 3.0 días, mientras que de 4.0 días para cada una de las otras dos especies. Los ínstaes larvales completaron su desarrollo en diferente tiempo, de acuerdo a cada especie del depredador. El primer ínstar de *C. externa* se desarrolló en 4.0 días; para el segundo ínstar el desarrollo fue similar para *C. carnea* y *C. externa*, mientras que, en *C. comanche* fue menor (2.61 \pm 0.12 días); el tercer ínstar larval no presentó diferencias significativas entre las especies de depredadores, sin embargo, el tiempo de desarrollo osciló de 3.47 \pm 0.26 a 4.17 \pm 0.22 días. La pupa tuvo un tiempo de desarrollo similar en *C. externa* y *C. carnea*, pero diferente y menor en *C. comanche* (9.40 \pm 0.13 días).

Cuadro 8. Días de desarrollo (Promedio \pm Error Estándar) de tres especies de *Chrysoperla* alimentadas con *Melanaphis sacchari*.

Tratamientos	Periodo de incubación	Ínstares larvales			Pupa	Adultos
		L1	L2	L3		
<i>C. carnea</i>	4.00 \pm 0.00a	3.90 \pm 0.07ab	3.10 \pm 0.07a	3.70 \pm 0.13a	11.20 \pm 0.42a	26.90 \pm 0.45a
<i>C. comanche</i>	3.00 \pm 0.00b	3.60 \pm 0.11b	2.61 \pm 0.12b	3.47 \pm 0.26a	9.40 \pm 0.13b	22.80 \pm 0.34b
<i>C. externa</i>	4.00 \pm 0.00a	4.00 \pm 0.08a	3.33 \pm 0.18a	4.17 \pm 0.22a	11.00 \pm 0.38a	27.07 \pm 0.58a
<i>P</i>	<0.0001	0.0063	0.0009	0.0601	<0.0017	<0.0001

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa con Tukey ($\alpha=0.05$). L1: larvas de primer ínstar, L2: larvas de segundo ínstar y L3: larvas de tercer ínstar.

La supervivencia de los adultos de *C. externa*, *C. comanche* y *C. carnea* fue de 70.0, 75.0 y 95.0 %, respectivamente. El estado larval de *C. carnea* siempre mantuvo una supervivencia de 100.0%, mientras que, para su estado de pupa fue de 97.0 %. *C. comanche* tuvo un 100.0 % de supervivencia en larvas de primer ínstar, llegó a 85.0 % a tercer ínstar y disminuyó a 75.0 % en pupa. *C. externa* inició con una supervivencia de 95.0 % en larvas de primer ínstar, 90.0 % para segundo y tercer ínstar, llegando a pupa 70.0 % (Figura 3).

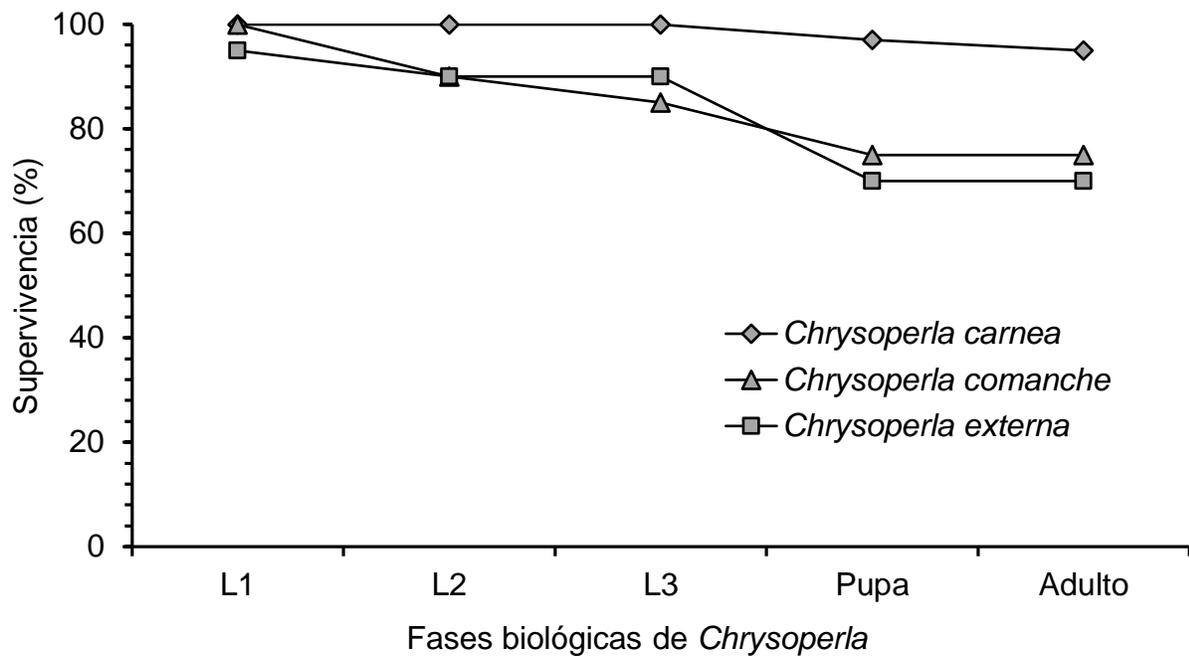


Figura 3. Porcentaje de supervivencia de diferentes fases biológicas de tres especies de *Chrysoperla* alimentadas con ninfas de *Melanaphis sacchari*.

3.4. DISCUSIÓN

La eficiencia alimentaria de los depredadores varía de acuerdo a los recursos disponibles, los cuales alteran algunos aspectos biológicos de éstos, principalmente el tiempo de desarrollo de las fases biológicas y la supervivencia (Messina and Sorenson 2001; Peckarsky *et al.*, 2008).

Tasa de consumo

Los resultados del presente estudio indican que *C. carnea*, *C. externa* y *C. comanche* se alimentan eficientemente de ninfas de *M. sacchari* y son capaces de completar su ciclo utilizando estas presas. Las larvas de primer ínstar tienen menor tasa de consumo que las de tercer ínstar (Cuadro 7). Nuestros resultados indican que no hubo diferencia en la tasa de consumo de larvas de primero y tercer ínstar, donde *C. carnea* consumió el doble (250.70 ± 1.29) de lo que consumieron

las larvas de primer ínstar (119.85 ± 0.80 presas). El consumo registrado para cada uno de los ínstares larvales en la presente investigación es mayor al reportado para *C. carnea* sobre *A. gossypii* (Balasubramani and Swamiappan, 1994; Kabir et al., 2018; Manjunatha et al., 2018); *R. maidis* (Kabir et al., 2018) y *B. tabaci* (Manjunatha et al., 2018).

Los resultados encontrados en el presente estudio por tanto, indican que las tres especies de *Chrysoperla* exhibieron alta capacidad de consumo, tan sólo el tercer ínstar larval consumió más que el total de los dos primeros. Esta misma tendencia se registra en diversas investigaciones con larvas de tercer ínstar de *C. carnea* sobre *A. gossypii*, *R. maidis* (Kabir et al., 2018); *B. tabaci*, *A. gossypii* (Balasubramani and Swamiappan, 1994); *A. gossypii*, huevos de *S. cerealella* y *Ephestia kuehniella* (Saleh et al., 2017); *A. gossypii*, *Sitobium avenae*, *R. maidis* y *A. nerii* (El-Serafi et al., 2000); *B. tabaci*, *A. gossypii*, *Amrasca devastans*, *Phenacoccus solenopsis* (Solangi et al., 2013) y *A. devastans* (Saeed and Razaq, 2015). Sin embargo, Panth et al. (2017) encontraron que el último ínstar larval de *C. carnea* consumió menor número de individuos de *Brevicoryne brassicae*, *A. craccivora* y *A. fabae*, comparado con los resultados que se obtuvieron en la presente investigación. En cambio, Kabir et al. (2018) encontraron resultados similares en el tercer ínstar larval de *C. carnea* sobre *A. gossypii* y *R. maidis*. Sin embargo, algunos autores reportan mayor voracidad de larvas de tercer ínstar de *C. carnea* sobre *B. tabaci*, *A. gossypii*, *A. devastans*, *P. solenopsis*, *M. persicae*, *S. avenae*, *R. maidis*, *S. cerealella* (El-Serafi et al., 2000; Liu and Chen, 2001; Solangi et al., 2013; Vivek et al., 2013; Saleh et al., 2017). Al parecer el mayor consumo de las larvas de tercer ínstar de *C. carnea* puede relacionarse a su tamaño y a mayores requerimientos dietéticos para concretar su fase larval (Atthan et al., 2004; Ulhaq et al., 2006; Sattar et al., 2007).

En cuanto al consumo total, *C. carnea* y *C. externa* registraron mayor tasa de consumo (486.70 y 474.17, respectivamente) que *C. comanche*. Estos hallazgos son similares a los registrados con

el estado larval de *C. carnea* al alimentarse con *A. gossypii*, *E. kuehniella*, *Heliothis armigera*, *B. tabaci* y *A. nerii* (Balasubramani and Swamiappan, 1994; El-Serafi *et al.*, 2000; Saleh *et al.*, 2017). Mientras que, en algunos trabajos se ha registrado menor tasa de consumo de *C. carnea* sobre *R. maidis*, *Eriosoma lanigerum*, *A. fabae*, *A. craccivora*, *B. brassicae*, *B. tabaci*, *A. gossypii*, *Lypaphis erysimi* y *P. solenopsis* (Rashid *et al.*, 2012; Rana *et al.*, 2017; Panth *et al.*, 2017; Kabir *et al.*, 2018; Manjunatha *et al.*, 2018), mientras que, en otras investigaciones se registran mayor consumo del mismo depredador (*C. carnea*) sobre *C. cephalonica*, *S. cerealella*, *P. solenopsis*, *A. gossypii*, *S. avenae* y *R. maidis* (El-Serafi *et al.*, 2000; Rashid *et al.*, 2012; Rana *et al.*, 2017; Saleh *et al.*, 2017). La variación en la tasa de consumo podría deberse al estadio ninfal de la presa sobre la cual se esté alimentando, es decir entre menor sea el tamaño de la presa, mayor sería la tasa de consumo del depredador y viceversa, esto lo constatan los resultados obtenidos por Rashid *et al.* (2012), Saeed and Razaq (2015), Saleh *et al.* (2017) y Manjunatha *et al.* (2018).

Desarrollo de crisopas

El tiempo de desarrollo de los adultos de depredadores, no presentó diferencias significativas entre *C. carnea* y *C. externa* con valores de 26.90 ± 0.45 y 27.07 ± 0.58 días, respectivamente, mientras que, *C. comanche* se desarrolló en 22.80 ± 0.34 días cuando se le ofreció *M. sacchari* (Cuadro 8). El periodo de incubación de huevos de las tres especies de *Chrysoperla* fue similar al registrado por El-Serafi *et al.* (2000) y Javed *et al.* (2013) sobre diversas presas, tales como *Schizaphis graminum*, *A. gossypii*, *R. maidis*, *A. nerii*, entre otras.

El desarrollo de las larvas de cada especie fue similar en cada ínstar, aunque en el primero y segundo ínstar de *C. comanche* se registró menor tiempo de desarrollo que *C. carnea* y *C. externa*, mientras que, el tercer ínstar no presentó diferencia significativa, donde el tiempo de desarrollo fue de 3.47 ± 0.26 días para *C. comanche* a 4.17 ± 0.22 para *C. externa*. Los valores registrados del

tiempo de desarrollo larval en el presente estudio son similares a los obtenidos en *C. carnea* sobre otras presas como *A. gossypii*, *P. solenopsis*, *S. graminum*, *B. tabaci*, *H. armigera* y *B. brassicae* (Balasubramani and Swamiappan, 1994; Javed *et al.*, 2013; Saleh *et al.*, 2017). En cambio, las larvas del mismo crisópido (*C. carnea*) presentan mayor tiempo de desarrollo cuando se han alimentado con *A. neri* y *A. devastans* (El-Serafi *et al.*, 2000; Saeed y Razaq, 2015) y este mismo depredador presentó menor tiempo de desarrollo larval al alimentarse con *S. avenae*, huevos de *H. armigera*, huevos de *Corcyra cephalonica*, *S. cerealella* y *E. kuehniella* (El-Serafi *et al.*, 2000; Balasubramani and Swamiappan, 1994; Saleh *et al.*, 2017). El periodo de pupa y desarrollo del adulto fueron mayores en *C. carnea* y *C. externa*, sin observar diferencias significativas con respecto a *C. comanche*, esta última presentó menor tiempo de desarrollo en el presente estudio. En diversos trabajos se ha registrado un menor tiempo para ambos estados biológicos (pupa y adulto) de las tres especies de depredadores evaluados cuando se les ofrece otras presas, tales como con *A. devastans*, *P. solenopsis*, *A. gossypii*, *S. avenae*, *H. armigera*, *B. tabaci*, *S. cerealella* y *E. kuehniella* (Balasubramani and Swamiappan, 1994; Saeed and Razaq, 2015); en cambio, en otros estudios se señala que *C. carnea* presenta un mayor tiempo de desarrollo de huevo a adulto cuando se alimenta con *A. neri* y *R. maidis*, respectivamente (Obrycki *et al.*, 1989; El-Serafi *et al.*, 2000).

Es preciso comentar que las larvas tienen capacidad de alimentarse de diversas especies de insectos de cuerpo blando, por lo que conviene que entre mayor sea el periodo del estado larval del depredador en los cultivos agrícolas, mayor sería su tasa de consumo total sobre las presas (Albuquerque *et al.*, 2001; McEwen *et al.*, 2001; Villenave *et al.*, 2006).

Supervivencia

Los resultados obtenidos en este estudio indican para *C. externa*, *C. comanche* y *C. carnea* un porcentaje de supervivencia de adultos de 70.0, 75.0 y 95.0 %, respectivamente.

El primer instar larval de *C. carnea* y *C. comanche* presentaron una supervivencia de 100.0 %, mientras que *C. externa* un 95.0 %. Esta tendencia es similar a lo obtenido por Javed *et al.* (2013) durante el estado larval de *C. carnea* sobre *S. graminum*.

De las tres especies, *C. carnea* mantuvo la misma supervivencia hasta el tercer ínstar larval, la cual disminuyó un 5.0 % al alcanzar el estado de adulto. Con este mismo depredador, se obtuvieron resultados similares cuando se le ofreció *A. gossypii*, *S. avenae*, *R. maidis*, *Brevenia rehi*, *B. brassicae*, *A. fabae*, *E. lanigerum* y *M. persicae* (El-Serafi *et al.*, 2000; Liu and Chen, 2001; Panth *et al.*, 2017). Sin embargo, estos resultados son superiores a los encontrados sobre *R. maidis*, *Mamestra brassicae* y *Lipaphis erysimi* (Obrycki *et al.*, 1989; Klingen *et al.*, 1996; Liu and Chen, 2001).

En general, el desarrollo, la tasa de consumo y la supervivencia de los depredadores, son afectadas por las presas que consumen, incluso por las plantas hospederas donde se encuentran las presas (Legaspi *et al.*, 1996). Algunas presas pueden ser nutricionalmente inadecuadas o la presencia de polvo ceroso podría afectar negativamente la tasa de consumo del depredador, tal es el caso de *A. nerii*, el cual es tóxico para diversos enemigos naturales, incluyendo *C. carnea* (Rothschild *et al.*, 1970; Liu and Chen, 2001).

De acuerdo con la información obtenida en el presente estudio, es necesario llevar a cabo investigación de este tipo con estos depredadores sobre una nueva presa para determinar su viabilidad dentro del programa de control biológico por aumento.

3.5. LITERATURA CITADA

- Albuquerque, G. S., C. A. Tauber, and M. J. Tauber. 2001. *Chrysoperla externa* and *Ceraeochrysa* spp.: potential for biological control in the New World tropics and subtropics, pp. 408–423. In P. K. McEwen, T. R. New, and A. E. Whittington [eds.], *Lacewings in the Crop Environment*. Cambridge Univ. Press.
- Atlihan, R., B. Kaydan, and M. S. Ozigokce. 2004. Feeding activity and life history characteristics of the generalist predator, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) at different prey densities. *Journal of Pest Science* 77: 17–21.
- Balasubramani V. and M. Swamiappan. 1994. Development and feeding potential of the green lacewing *Chrysoperla carnea* Steph. (Neuroptera: Chrysopidae) on different insect pests of cotton. *Anz. Schadlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz* 67: 165–167.
- Colares, F., J. Michaud, C. Bain, and J. Torres. 2015. Indigenous aphid predators show high levels of preadaptation to a novel prey, *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology* 108: 2546–2555.
- El-Serafi, H.A.K., A.H. Abdel-Salam, and N. F. Abdel-Baky. 2000. Effect of four aphid species on certain biological characteristics and life table parameters of *Chrysoperla carnea* and *Chrysopa septempunctata* (Wesmael) under laboratory conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 3: 239–245.
- Javed, K., U. H. Ehsan, J. Habib, M. Tariq, R. Awais, A. Naheed, and A. Saleem. 2013. Biological parameters and predatory potential of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) feeding on wheat aphid *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae) under laboratory conditions. *Pakistan Journal of Agricultural Research* 26: 328–334.
- Kabir, K. K., H. Mannan S., S. Mureed M., Z. Rajput, M. Irfan J., P. Mureed M., and A. Ali K. 2018. Some parameters of *Chrysoperla carnea* on floral feeds of castor and feeding potential on selective aphid species. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 6: 860–863.
- Klingen, I., N. S. Johansen, and T. Hofsvang. 1996. The predation of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) on eggs and larvae of *Mamestra brassicae* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Applied Entomology* 120: 363–367.
- Legaspi, J. C., D. Nordlund A., and B. Legaspi C. 1996. Tri-trophic interactions and predation rates in *Chrysoperla* spp. attacking the silverleaf whitefly. *Southwestern Entomologist* 21: 33–42.
- Liu, T., and T. Chen. 2001. Effects of three aphid species (Hemiptera: Aphididae) on development, survival and predation of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Applied Entomology and Zoology* 36: 361–366.
- Manjunatha, D. K., E. Sowmya, and M. Maruthi. 2018. Feeding potential of *Chrysoperla carnea* (Steph.) on different host. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 6: 1028–1030.

- Mansoor, M. M., N. Abbas, A. Shad S., K. Pathan A., and M. Razaq. 2013. Increased fitness and realized heritability in emamectin benzoate resistant *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Ecotoxicology* 22: 1232–1240.
- McEwen, P. K., T. R. New, A. Whittington. 2001. *Lacewings in the crop management*. Cambridge University Press.
- Messina, F. J., and S. M. Sorenson. 2001. Effectiveness of lacewing larvae in reducing Russian wheat aphid populations on susceptible and resistant wheat. *Biological Control* 21: 19–26.
- New, T. R. 2001. Introduction to the systematics and distribution of Coniopterygidae, Hemeroptera, and Chrysopidae used in pest management. *In: McEwen, P., R. New, T., E. Whittington A. (Eds.), Lacewings in the crop environment*. Cambridge University, UK, Pp. 6–28.
- Obrycki, J. J., M. N. Hamid, A. S. Sajap, and L. C. Lewis. 1989. Suitability of corn insect pests for development and survival of *Chrysoperla carnea* and *Chrysopa oculata* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental Entomology* 18: 1126–1130.
- Panth, M., G. Sarala, and K. Kapil. 2017. Biology and predatory potential of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) reared on different species of aphid under laboratory condition. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology* 4: 3847–3851.
- Paredes, D., M. Campos y L. Cayuela. 2013. El control biológico de plagas de artrópodos por conservación: técnicas y estado del arte. *Ecosistemas* 22: 56–61.
- Peckarsky, B. L., P. A. Abrams, D. I. Bolnick, L. M. Dill, J. H. Grabowski, B. Luttbeg, J. L. Orrock, S. D. Peacor, E. L. Preisser, O. J. Schmitz, and G. C. Trussell. 2008. Revisiting the classics: considering nonconsumptive effects in textbook examples of predator–prey interactions. *Ecology* 89: 2416–2425.
- Pino, O., Y. Sánchez, and M. Rojas. 2013. Plant secondary metabolites as an alternative in pest management. I: Background, research approaches and trends. *Revista de Protección Vegetal* 8: 81–94.
- Rana, L. B., R. Mainali, H. Regmi, and P. Binayak. 2017. Feeding efficiency of green lacewing, *Chrysoperla carnea* (Stephens) against different species of aphid in laboratory conditions. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology* 5: 37–41.
- Rashid, M. U., M. Khattak, K. Abdullah, M. Amir, M. Tariq, and S. Nawaz. 2012. Feeding potential of *Chrysoperla carnea* and *Cryptolaemus montrouzieri* on cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis*. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 22: 639–643.
- Rodríguez-del-Bosque, L. A., and A. Terán. 2015. *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae). A new sorghum insect pest in México. *Southwest. Entomol.* 40: 433–434.

- Rothschild, M., J. Euw, and T. Reichstein. 1970. Cardiac glycosides in the oleander aphid *Aphis nerii* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Insect Physiology* 16: 1141–1145.
- Saeed, R., and R. Muhammad. 2015. Effect of prey resource on the fitness of the predator, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Pakistan Journal of Zoology* 47: 103–109.
- Salamanca-Bastidas, J., E. Varón-Devia, y O. Santos-Amaya. 2010. Cría y evaluación de la capacidad de depredación de *Chrysoperla externa* sobre *Neohydatothrips signifer*, trips plaga del cultivo de maracuyá. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 11: 31–40.
- Saleh, A.A., H. El-Sharkawy, F. El-Santel, and A. El-Salam. 2017. Studies on the predator *Chrysoperla carnea* (Stephens) in Egypt. *International Journal of Environment* 6: 70–77.
- SAS Institute, 2002. SAS/STAT User's Guide, version 9.0. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sattar, M., B. Fatima, N. Ahmed, and H. Abro. 2007. Development of larval artificial diet of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Pakistan Journal of Zoology* 39: 103–107.
- SENASICA, 2015. Programa de trabajo de la campaña contra el pulgón amarillo a operar con recursos del componente de Sanidad Vegetal del Programa de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria 2015 en el estado de Nayarit. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). Oficio 03553. Ciudad de México, México. 13 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. Anuario estadístico de la producción agrícola. Consultado en octubre de 2019 en <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2019. Anuario estadístico de la producción agrícola. Consultado en octubre de 2019 en <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Singh, B.U., P. G. Padmaj, and N. Seetharama. 2004. Biology and management of the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae). In sorghum a review. *Crop Protection* 23: 739–755.
- Solangi, A. W., G. Lanjar, N. Baloch, M. Rais, and A. Khuhro. 2013. Population, host preference and feeding potential of *Chrysoperla carnea* (Stephens) on different insect hosts in cotton and mustard crops. *Sindh University Research Journal* 45: 213–218.
- Ulhaq, M. M., A. Sattar, Z. Salihah, A. Farid, A. Usman, and U. Khattak. 2006. Effect of different artificial diets on the biology of adult green lacewing (*Chrysoperla carnea* Stephens). *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 28: 1–8.
- Villenave, J., B. Deutsch, T. Lode, and E. Rat-Morris. 2006. Pollen preference of the *Chrysoperla* species (Neuroptera: Chrysopidae) occurring in the crop environment in western France. *European Journal Entomology* 103: 771–777.
- Vivek, S., B. Paul, G. Pandi, and K. Shankarganesh. 2013. Biology and predatory potential of green lacewing, *Chrysoperla* sp. (*carnea*-group) on different aphid species. *Annals of Plant Protection Sciences* 21: 9–12.

CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación permiten concluir lo siguiente:

- *Chrysoperla carnea*, *C. comanche* y *C. externa* presentan respuesta funcional tipo II al alimentarse con ninfas del pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari*. En cuanto a consumo de las tres especies evaluadas tanto en un tiempo de 24 h como durante el estado larval, *C. carnea* presentó una tasa de consumo de *M. sacchari* mayor que *C. externa* y *C. comanche*, como se ha observado en otros estudios con diferentes tipos de presas.
- El tiempo de desarrollo de huevo a la emergencia del adulto fue mayor cuando las crisopas se alimentaron con *M. sacchari* que con huevos de *Sitotroga cerealella*. La supervivencia del adulto fue similar en *C. externa*, *C. comanche* y *C. carnea*, lo cual no dependió del tipo de presa o alimento en su desarrollo larval.
- Las tres especies de crisopas presentaron una tasa de fecundidad similar, aunque mayor en *C. carnea*, sobre todo, cuando se alimenta de *M. sacchari*.
- La tasa neta de reproducción y los tiempos medios de generación de las tres especies de *Chrysoperla* son similares, sin embargo, en el último parámetro el tipo de alimento puede prolongar o acortar los tiempos, pues cuando las tres especies de *Chrysoperla* se alimentan con el pulgón amarillo del sorgo, el doble tiempo de generación es numéricamente mayor.