

Respuesta Funcional y numérica de *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) a diferentes densidades de *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae)

Francia Torres¹, Rodolfo Marcano²

¹Departamento de Agronomía, Universidad Nacional Experimental del Táchira, Paramillo San Cristóbal 5001, Estado Táchira. E-mail: fdelvalletw@gmail.com.

²Instituto de Zoología Agrícola, Universidad Central de Venezuela, apartado 4579, Maracay 2101- A, Estado Aragua, Venezuela.

Resumen

TORRES F, MARCANO R. 2015. Respuesta funcional y numérica de *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) a diferentes densidades de *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae). ENTOMOTROPICA 30(4): 30-42.

Para determinar algunos factores que afectan la depredación de *Cryptolaemus montrouzieri*, se estudió su respuesta funcional y numérica a siete densidades de ninfas III de *Maconellicoccus hirsutus* (5 – 10 – 40 – 70 – 100 – 130 y 160) para los estadios larvales I, II, III y hembra adulta; y nueve densidades para el cuarto estadio larval (5 – 10 – 40 – 70 – 100 – 130 – 160 – 190 y 300). Se utilizó el análisis de regresión, aplicando los modelos matemáticos lineal, logístico, exponencial, potencial, cuadrático y cúbico. El coeficiente de determinación R² y los coeficientes del modelo a 0,05 % de significación, se utilizaron como criterio de selección de los modelos examinados. Los parámetros de eficiencia de depredación y tiempo de depredación, fueron estimados para cada fase usando la ecuación del disco de Holling. El primer estadio larval y la hembra adulta de *C. montrouzieri*, mostraron respuesta funcional tipo II; mientras que los estadios II, III y IV, mostraron el tipo III. La eficiencia de depredación fue mayor en la hembra – adulta a las densidades más bajas de la presa. El tiempo de depredación disminuyó con la edad del depredador y con la densidad de la presa y la respuesta numérica reproductiva fue del tipo II. .

Palabras clave adicionales: Cochinilla rosada, control biológico, factores de depredación, manejo integrado.

Abstract

TORRES F, MARCANO R. 2015. Functional and numerical response of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) to different densities of *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae). ENTOMOTROPICA 30(4): 30-42.

In order to determine some factors that affect predation of *Cryptolaemus montrouzieri*, the functional and numerical response to seven densities of third instar nymphs of *Maconellicoccus hirsutus* (5–10–40–70–100–130 and 160) was tested. We evaluated larval instar I, II, III and adult female. For IV instar larvae, we used nine densities (5-10-40-70- 100-130,160,190 and 300). Regression analysis was carried out, applying linear, logistic, exponential, potential, quadratic and cubic mathematical models. The determination coefficient R² and the coefficients of the model at the 0.05 % significance level were used as a criterion for selection of the models examined. The parameters of efficiency of predation and predation time were estimated for each phase using the Holling's disk equation. The first larval instar and the adult female of *C. montrouzieri*, showed functional response type II, while in instars II, III and IV the functional response was of type III. Predation efficiency was greater in adult female, at the lowest densities of prey. The time of predation decreased with the age of the predator and prey density, and the female showed reproductive numerical response type II.

Additional key words: Biological control, integrated management, pink mealybug, predation components.

Introducción

La cochinilla rosada *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae) fue detectada en Venezuela en 1999 atacando *Hibiscus* sp. y *Annona* sp.; para su control se multiplicaron y liberaron el depredador *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera : Coccinellidae) y el parasitoide *Anagyrus kamali* Moursi (Hymenoptera : Encyrtidae) (Cermeli et al. 2002), los que han venido controlando eficientemente la plaga. Este depredador es considerado muy eficaz en el control de especies de Pseudococcidae y es ampliamente utilizado en su fase adulta, ya que puede adaptarse mejor a su nuevo ambiente; sin embargo, larvas del segundo y tercer estadio pueden ser liberadas conjuntamente con estos, para una rápida supresión de la plaga (Gautam 1996). Para el manejo biológico de la plaga, además de los estudios locales sobre su biología (Torres y Marcano 2007, 2011, 2012), es importante conocer los factores de depredación como la respuesta funcional y numérica del depredador, según la población de la presa. Solomon (1949), aplicó estos dos términos para describir la naturaleza de la depredación: la respuesta funcional, para medir la relación entre la tasa de depredación y la densidad de la presa y la respuesta numérica, que mide la densidad del depredador por unidad de área, con respecto al cambio en la densidad de la presa. Posteriormente Holling (1959a, 1959b, 1961, 1965) señala que los componentes principales de la respuesta funcional de un depredador, son la eficiencia de búsqueda y el tiempo de manipulación, y que las diferentes estrategias de alimentación pueden corresponder a tres tipos básicos de respuesta funcional: La respuesta tipo I, en donde la ingestión de presas es proporcional a la densidad de la misma y el número de presas atacadas se incrementa linealmente hasta que el depredador se sacia; la mortalidad de la presa es constante. La respuesta tipo II de forma curvilínea, ocurre cuando la tasa de consumo

aumenta con la densidad de la presa, pero disminuye la velocidad hasta alcanzar el máximo, en el cual el consumo permanece constante independientemente de la densidad de la presa disponible. La respuesta tipo III es de forma sigmoideal, con un incremento inicial de la tasa de consumo con el aumento de la densidad de la presa, hasta un punto de inflexión en el cual comienza una desaceleración hasta alcanzar el máximo. Por otra parte, la respuesta numérica se refiere al cambio del tamaño poblacional de los depredadores en función de la cantidad de presas disponibles, debido a variaciones en la reproducción y/o supervivencia.

La respuesta de especies de Coccinellidae a los cambios en las densidades de sus presas, es muy variable. Por ejemplo Vieira et al. (1997), estudiaron la respuesta funcional de *Scymnus (Pullus) argentinus* utilizando el áfido *Schizaphis graminum* como presa; las larvas del instar I y los adultos mostraron respuesta funcional tipo I, en los otros instares la respuesta fue del tipo II. Pervez (2005), estudió la respuesta funcional de hembras vírgenes de *Cheilomenes (=Menochilus) sexmaculata* (Fabricius), *Propylea dissecta* (Mulsant) and *Coccinella transversalis* Fabricius (Coleoptera: Coccinellidae) utilizando *Aphis craccivora* Koch y *Myzus persicae* (Sulzer) como presa, los tres depredadores mostraron respuesta tipo II. En relación a la respuesta numérica, Wright et al. (1980), estudiaron este comportamiento en *Coleomegilla maculata* DeGeer, *Hippodamia tredecimpunctata* (Say) con *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) como presa. *C. maculata* ovipositó a más bajas densidades del áfido en comparación con *H. tredecimpunctata*, la cual mostró tener una mayor respuesta numérica que *C. maculata* a altas densidades de áfidos, debido a su mayor fecundidad. La respuesta numérica de ambos Coccinellidae fue del tipo I. El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta funcional de cada instar larval y de las hembras adultas; así como también, la respuesta numérica de las hembras de *C. montrouzieri*, a

diferentes densidades de la presa *M. hirsutus* en condiciones de laboratorio. Estos resultados serán de ayuda en la programación y liberación del depredador, según los niveles poblacionales de la plaga.

Materiales y métodos

Los ensayos se realizaron en el laboratorio del Instituto de Zoología Agrícola de la Universidad Central de Venezuela, bajo condiciones de temperatura de $28,31 \pm 1,78$ °C y $63,24 \pm 7,4$ % de humedad relativa. Se estableció la cría de la presa *M. hirsutus* a partir de ovisacos recolectados en cogollos de cayena *Hibiscus rosa-sinensis* L., los cuales se colocaron sobre tubérculos de papa brotados de *Solanum phureja*, para su multiplicación. Establecida la cría de la presa, se procedió a recolectar larvas del depredador *C. montrouzieri* en el mismo lugar de recolección de la presa y se colocaron sobre tubérculos brotados de papa infestados con *M. hirsutus* para su alimentación y obtención de los adultos. Estos se colocaron por parejas en envases a los cuales se le colocó brotes de papa infestado con ninfas y hembras adultas de *M. hirsutus* para su alimentación; tapándose posteriormente con algodón a fin de permitir la aireación y facilitar la oviposición en el algodón. Los experimentos se iniciaron con huevos de la misma edad de *C. montrouzieri* los cuales se mantuvieron en envases de vidrio hasta la eclosión. Una vez obtenidas las larvas del primer estadio, se individualizaron en envases de 4,2 cm x 2,2 cm de largo y diámetro respectivamente, con 3,80 cm² de área de la base y un volumen de 15,97 cm³; con tapa acondicionada para permitir el intercambio gaseoso. A cada larva se le suministró diariamente la misma densidad de ninfas del tercer estadio de *M. hirsutus* hasta su transformación en pupa, llevándose un registro diario del consumo y duración de los estadios larvales. Una vez emergidos los adultos de cada densidad, se colocaron en pareja (hembra y macho) en envases de 4 cm x 2,2 cm

de largo y diámetro respectivamente, con área de la base de 3,80 cm² y volumen de 15,20 cm³, suministrándoseles el doble de cada densidad (durante sólo cinco días para permitir la cópula) y se taparon con un tapón de algodón el cual también era removido diariamente. Cumplidos los 5 días, se retiraron los machos, quedando individualizadas 5 hembras por densidad, a las cuales se les suministraron diariamente la densidad prevista (la misma que en su fase de larva) durante 15 días. Se utilizaron siete densidades: 5 – 10 – 40 – 70 – 100 – 130 y 160 ninfas III de la presa *M. hirsutus* para estudiar la respuesta funcional de los estadios larvales I, II, III y para la respuesta funcional y numérica de las hembras adultas del depredador. Para estudiar la respuesta funcional del estadio larval IV, que demostró ser el más voraz, se utilizaron nueve densidades: 5 – 10 – 40 – 70 – 100 – 130 – 160 – 190 y 300 ninfas III. En el caso de la hembra adulta del depredador, también se registró diariamente el número de presas consumidas, los huevos dejados en el algodón, en el brote de papa o en el envase. Una muestra de 5 huevos diarios por repetición, fueron evaluados a fin de determinar el período de incubación y fertilidad. Al final del experimento se midió el ancho y el largo de las hembras de cada densidad, mediante un ocular micrométrico ubicado en un microscopio estereoscopio marca Wild M8. Durante la ejecución de los experimentos, se llevó el registro de la temperatura y humedad relativa del laboratorio con un termohigrógrafo marca SIAP.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con diez repeticiones para la respuesta funcional de las larvas y cinco repeticiones para la respuesta funcional y numérica de las hembras adultas. Se consideró presas consumidas por el depredador, aquellas depredadas totalmente o parcialmente atacadas que morían posteriormente. Para el análisis estadístico se utilizó el paquete SPSS 12 (Pardo et al. 2002) y Excel utilizando el análisis de regresión y aplicando los modelos

matemáticos lineal, logístico, exponencial, potencial, cuadrático y cúbico. El coeficiente de determinación R^2 y los coeficientes del modelo a 0,05 % de significación, se utilizaron como criterio de selección de los modelos examinados, para el promedio individual de los datos. Los parámetros: eficiencia de depredación y tiempo de depredación, fueron estimados para cada estadio larval y hembras adultas, en cada densidad de la presa usando la ecuación del disco de Holling: $N_a = aTtN_0 / (1 + aTh N_0)$; donde N_a corresponde al número de presas consumidas, N_0 corresponde a presas ofrecidas (densidad estudiada), "a" es la eficiencia de depredación (proporción de lo consumido entre lo ofrecido, relacionado con el volumen del cilindro de 15,97 cm³ del envase utilizado para las larvas y de 15,2 cm³ del envase utilizado para los adultos), "Tt" es el total del tiempo en el cual las presas están expuestas al depredador (un día) y "Th" es el tiempo de depredación – manipulación, el cual incluye el tiempo necesario para percibir e identificar y comer la presa una vez encontrada. Se consideró como el inverso del número de presas consumidas en promedio por día, a las diferentes densidades de la presa. Para el análisis del ancho y largo de las hembras, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal y Wallis al 5 % de significación y para los datos de incubación de huevos la prueba de medias de Duncan, analizando previamente los supuestos básicos para el análisis de la varianza.

Resultados y Discusión

Consumo de los estadios larvales y de la hembra de *C. montrouzieri*

En el cuadro 1 se presenta el promedio del consumo \pm la desviación estándar de los estadios larvales I, II y III y de las hembras a siete densidades de la presa y el consumo del cuarto instar larval a nueve densidades. Se observa en general, una tendencia del aumento de la depredación con el incremento de las densidades de la presa; así como también, en la misma

densidad, un incremento del consumo a medida que se desarrollaba la larva. Esta respuesta del depredador puede ser explicada, porque hay una mayor exigencia nutricional por el aumento del tamaño y porque a mayores densidades de la presa aumenta el consumo, debido a que gasta menos tiempo localizando la presa (Hodek 1967). El primer estadio larval mostró su mayor promedio con $9,62 \pm 3,23$ ninfas consumidas en la densidad de 100 ninfas III, observándose una larva en la densidad de 70 ninfas III, con el máximo individual de 16 ninfas consumidas. Para el segundo estadio, se registró el mayor promedio de consumo de $15,83 \pm 5,52$ en la densidad de 70 ninfas III y el máximo consumo individual fue de 32 en la densidad de 100 ninfas III. El estadio III registró su mayor promedio con $40,3 \pm 6,37$ en la densidad de 70 ninfas III, así como su máximo consumo individual de 70 ninfas. El IV estadio fue la fase del depredador que mostró la mayor necesidad de consumo, registrando un promedio de $184,41 \pm 21,98$ en la densidad de 300 ninfas III, observándose una larva con el máximo consumo de 278 ninfas III. En las hembras adultas por su parte, se observó un promedio de consumo de $84,24 \pm 12,43$ en la densidad de 160 ninfas III, con un máximo individual registrado de 120 en la densidad de 160 ninfas III. El máximo consumo diario de los tres primeros estadios larvales de *C. montrouzieri*, se registró entre el primer y segundo día de desarrollo y en el cuarto estadio, se presentó entre el segundo y tercer día. También se observó en todos los estadios larvales, que el consumo disminuía el día anterior a la muda.

Respuesta funcional del estadio I

Los promedios individuales de consumo se ajustaron mejor al modelo cuadrático, con un $R^2 = 0,33$ y los coeficientes del modelo altamente significativos; no obstante, este valor de R^2 indica que el modelo explica solo el 33 % de la variabilidad del consumo. En la Figura 1, se puede observar la curva de regresión, la cual muestra el tipo II de respuesta funcional.

Cuadro 1. Promedio de consumo de *C. montrouzieri* a diferentes densidades de la presa *M. hirsutus*.

Densidad de la presa	Depredador				
	Estadio I	Estadio II	Estadio III	Estadio IV	Adulto Hembra
5	4,38 ± 0,51	4,66 ± 0,37	4,84 ± 0,15	4,81 ± 0,07	5 ± 0
10	6,13 ± 1,03	7,77 ± 0,77	9,13 ± 0,82	9,60 ± 0,31	9,91 ± 0,10
40	8,69 ± 2,14	15,60 ± 3,20	32,88 ± 3,96	36,65 ± 1,79	29,69 ± 2,41
70	9,25 ± 3,88	15,83 ± 5,52	40,3 ± 6,37	58,18 ± 2,59	47,80 ± 7,04
100	9,62 ± 3,23	15,65 ± 3,38	39,86 ± 7,77	76,20 ± 5,86	61,95 ± 5,00
130	8,77 ± 2,77	14,50 ± 2,93	36,50 ± 4,76	89,38 ± 6,36	76,12 ± 4,75
160	7,05 ± 1,47	13,58 ± 3,32	33,25 ± 5,00	98,63 ± 13,92	84,24 ± 12,43
190				130,40 ± 12,45	
300				184,41 ± 21,98	

Al inicio, el estadio I incrementó el consumo conforme aumentaba la densidad de la presa, alcanzando su máximo promedio entre las densidades de 70 y 100 ninfas III de la presa; posteriormente, desaceleró el consumo a pesar que se incrementaba la presa. En las estimaciones de sus parámetros de eficiencia de depredación y tiempo de depredación (Figura 2), de acuerdo a la ecuación del disco de Holling, se observa que disminuyó la eficiencia de depredación desde 0,88 a 0,04 conforme aumentó la densidad de la presa y al relacionarse con el volumen del envase (15,97 cm³), éste correspondió con 14,05 a 0,64 cm³/día, respectivamente, lo cual se explica, ya que al aumentar la densidad, disminuye el área de búsqueda. El Tiempo de depredación disminuyó paulatinamente hasta la densidad de 70 Ninfas III, a partir del cual pudo cubrir sus requerimientos alimenticios, manteniéndose casi igual en las otras densidades y aumentó ligeramente en la densidad más alta, tal vez porque la larva percibió suficiente presa en la arena o porque era más pesada. El mejor modelo que explica la eficiencia y el tiempo de depredación, fue el cúbico, con un R² de 0,94 y 0,33 respectivamente. El bajo R² del tiempo de depredación, puede atribuirse a la alta dispersión de los datos, lo cual a su vez puede ser debido, a que las larvas por ser muy pequeñas gastaban

más tiempo manipulando y comiendo una presa relativamente más grande que ella.

Respuesta funcional del estadio II

El modelo cúbico fue el que mejor se ajustó a los promedios individuales de consumo del estadio II, mostrando un R² = 0,61 y todos los coeficientes del modelo altamente significativos. En la Figura 3, se observa la curva de regresión la cual muestra la respuesta funcional tipo III. Se observa que la larva inició con un consumo acelerado hasta la densidad de 40 ninfas III, luego desaceleró hasta alcanzar el máximo consumo en la densidad de 70 ninfas III de la presa, a partir del cual disminuyó ligeramente hasta la densidad de 160 ninfas III. En la Figura 4, se muestran la eficiencia y el tiempo de depredación. La eficiencia de depredación disminuyó desde 0,93 a 0,04 con el incremento de la densidad de la presa y al relacionarse con el volumen del envase, correspondió a 14,85 y 0,64 cm³/día, respectivamente. El tiempo de depredación disminuyó rápidamente hasta la densidad de 70 ninfas III, a partir del cual se mantuvo casi igual y luego se incrementó ligeramente en las dos últimas densidades. Así mismo se muestra que ambos parámetros se ajustaron al modelo cúbico con un R² = 0,96 y 0,55 para la eficiencia y el tiempo de depredación, respectivamente.

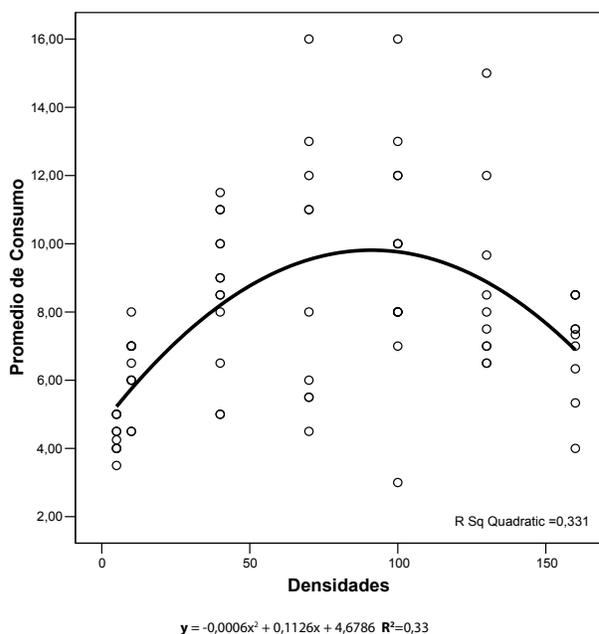


Figura 1. Respuesta funcional del estadio I de *C. montrouzieri* a siete densidades de ninfas III de *M. hirsutus*.

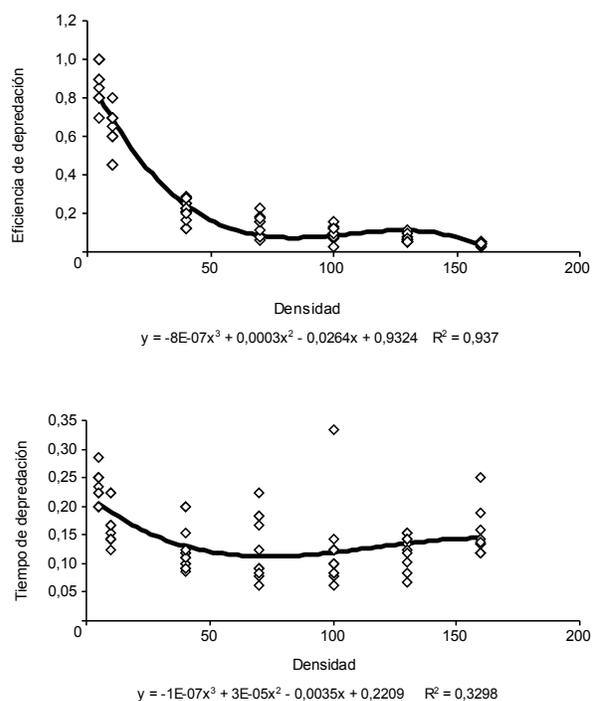


Figura 2. Eficiencia y tiempo de depredación del estadio I de *C. montrouzieri*.

Respuesta funcional del estadio III

Para el estadio III, el modelo cúbico fue el que mejor se ajustó a los promedios individuales, mostrando un $R^2 = 0,89$ y todos los coeficientes del modelo altamente significativos. En la Figura 5, se muestra la curva de regresión cúbica correspondiendo al tipo III de respuesta funcional. Al igual que el instar II, se inicia con un consumo acelerado hasta la densidad de 40 ninfas III, luego desacelera el consumo hasta llegar al "plateau", el cual se registra en la densidad de 70 ninfas de la presa, posteriormente va disminuyendo hasta la densidad de 160 ninfas III. La eficiencia de depredación disminuyó desde 0,97 a 0,21 con el incremento de la densidad de la presa y al relacionarse con el volumen del envase, correspondió desde 15,49 a 3,35 cm³/día, respectivamente. El tiempo de depredación en las dos primeras densidades varió de 0,21 a 0,11; luego disminuyó abruptamente hasta 0,03 día por presa en la cuarta densidad, para luego aumentar ligeramente en las últimas densidades. Estos valores se observan en la Figura 6, y se ajustaron al modelo cúbico con $R^2 = 0,94$ y 0,89 para la eficiencia y el tiempo de depredación, respectivamente.

Respuesta funcional del estadio IV

El cuarto estadio fue el que mostró mayor capacidad de consumo durante su desarrollo y también el que presentó los coeficientes de determinación (R^2) bastante similares con 0,956; 0,960 y 0,962 para los tres mejores modelos (lineal, cuadrático y cúbico respectivamente), con los coeficientes para los modelos altamente significativos; sin embargo, el modelo cúbico fue ligeramente superior. Se realizó también el análisis de regresión para el promedio individual de consumo durante las primeras 24 horas de desarrollo, obteniéndose para el modelo lineal un R^2 de 0,74, para el modelo cuadrático 0,76 y para el modelo cúbico 0,77. Estos resultados nos permiten seleccionar el modelo cúbico para el análisis; no obstante, llama la atención la similitud de los modelos.

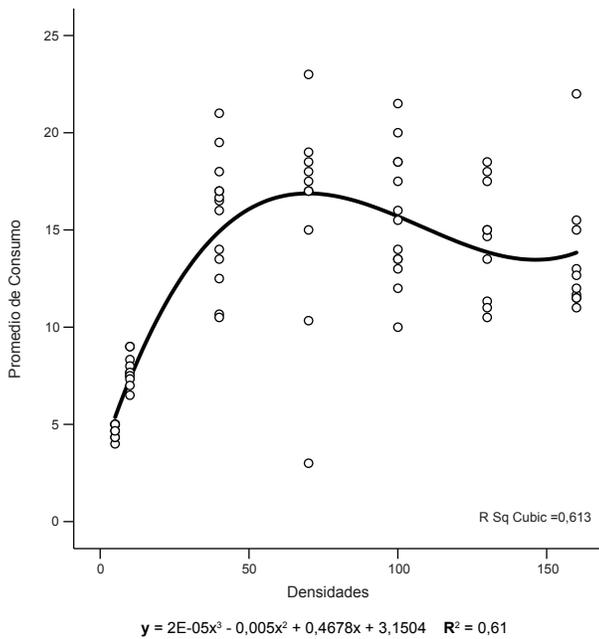


Figura 3. Respuesta funcional del estadio II de *C. montrouzieri* a siete densidades de ninfas III de *M. hirsutus*.

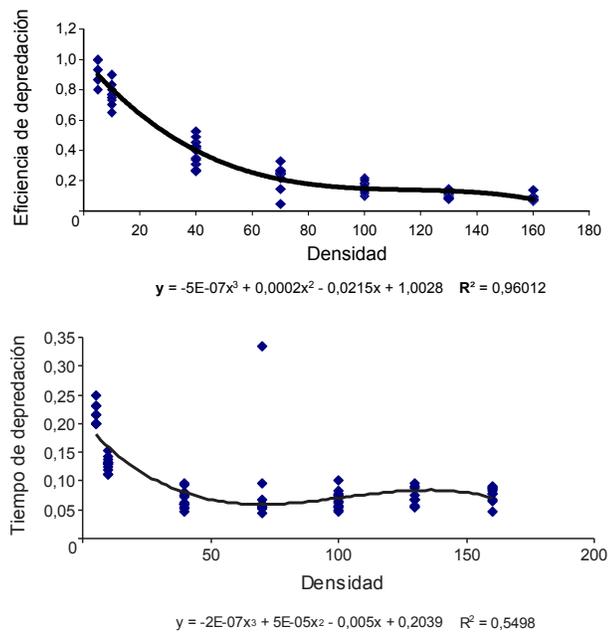


Figura 4. Eficiencia y tiempo de depredación del estadio II de *C. montrouzieri*.

En la Figura 7, se muestra la respuesta del tipo III para los promedios individuales, y se observa que el consumo se incrementó conforme aumentó la densidad de la presa, encontrándose el promedio máximo de consumo en la densidad de 300 ninfas III de la presa, la máxima ofrecida. La eficiencia de depredación disminuyó a medida que aumentaba la densidad de la presa, desde 0,96 a 0,62 y al relacionarse con el volumen del envase, correspondió desde 15,33 a 9,90 cm³/día respectivamente, ajustándose al modelo cuadrático, con un R² = 0,81. Por otro lado, el tiempo de depredación disminuyó bruscamente en la tercera densidad de 40 ninfas III de la presa desde 0,21 a 0,027, para luego disminuir paulatinamente a 0,005 días por presa, a la máxima densidad. Lo que quiere decir que al incrementarse la densidad de la presa, el área de búsqueda disminuyó y la larva tuvo la facilidad de detectar, de encontrar rápidamente a la presa y comérsela. En la figura 8, se observa que el modelo que mejor se ajustó fue el de función potencial con un R²= 0,99. En las densidades de 5 y 10 ninfas III, el estadio IV mostró mayor tiempo de depredación que en las otras densidades, lo que puede ser debido a la dispersión de la presa y que las larvas venían pobremente nutridas desde su emergencia, lo que les dificultaba encontrar las presas. Así mismo, en la densidad de 5 ninfas III de la presa, se registró una mortalidad del 50 % de las larvas del IV estadio.

Se observa en general, que el coeficiente de determinación (R²) para el estadio IV (R² = 0,96) es mayor al de los otros estadios: III (R² = 0,89), II (R² = 0,61) y I (R² = 0,33), lo que nos indica que a medida que crece la larva, el consumo es más homogéneo por lo que el modelo explica en un porcentaje más alto, la variabilidad del consumo. Por otro lado, los parámetros de la ecuación del disco de Holling señalan que la eficiencia de depredación aumentó con la edad del depredador a consecuencia de su mayor necesidad de consumo, mostrando el IV estadio

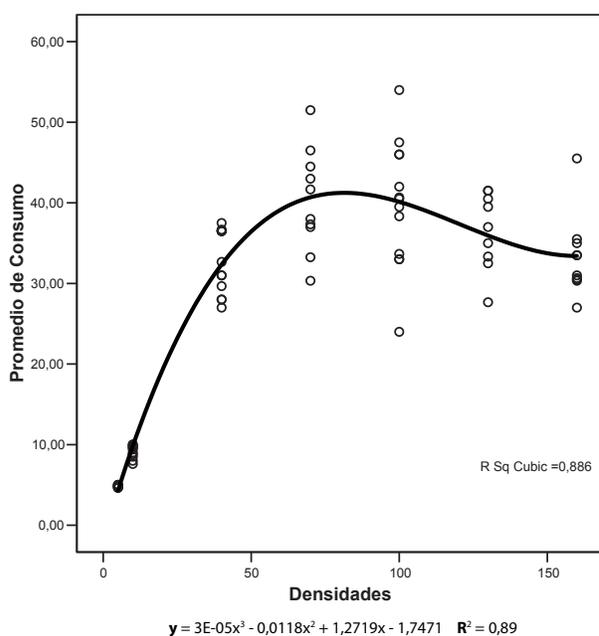


Figura 5. Respuesta funcional del estadio III de *C. montrouzieri* a siete densidades de ninfas III de *M. hirsutus*.

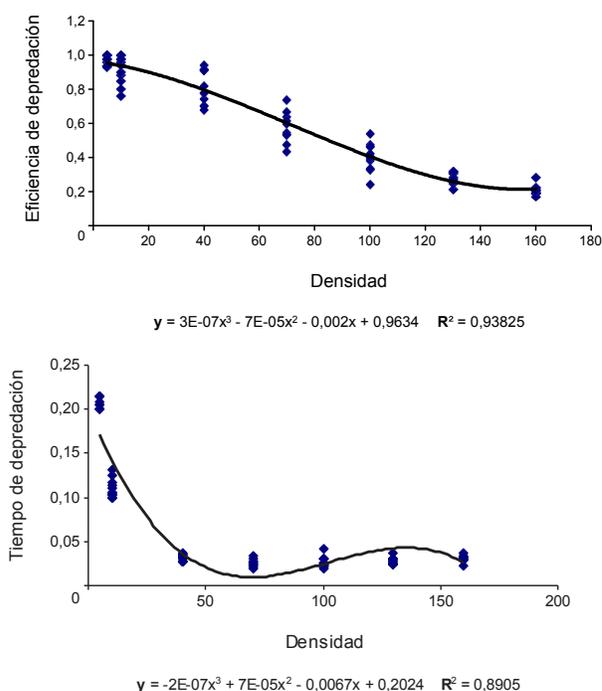


Figura 6. Eficiencia y tiempo de depredación del estadio III de *C. montrouzieri*.

las mayores tasas de depredación a las densidades estudiadas. El otro parámetro relacionado con el tiempo de depredación medido en presa por día, decrece con la edad del depredador. Es decir, el estadio IV gasta menos tiempo depredando una presa que los estadios I, II y III; no obstante en la densidad más baja de 5 ninfas III de la presa, se mantuvo casi igual a los otros estadios.

La respuesta funcional del tipo III nos señala, que *C. montrouzieri* puede utilizar ciertas señales químicas de la presa; por ejemplo, la cera que la recubre, tal como lo menciona Merlyn et al. (1996a), mejorando su eficiencia en la depredación; se podría decir, que el depredador aprendió a evitar dificultades asociadas a la captura de las presas, especialmente a bajas densidades.

Respuesta funcional de la hembra.

En la hembra se encontró para sus promedios individuales de consumo en los primeros 15 días, que los modelos cuadrático y cúbico presentaron igual R^2 de 0,96; sin embargo, los coeficientes del modelo cuadrático son altamente significativos, no así para el modelo cúbico. Debido a estas semejanzas de los modelos, se decidió analizar además el consumo en el primer día, en el que se observa para el modelo cúbico un $R^2=0,85$; pero los coeficientes del modelo no son significativos y para el modelo cuadrático el R^2 es de 0,84 (ligeramente inferior), pero con los coeficientes del modelo altamente significativos. Se seleccionó por lo tanto el modelo cuadrático, que es el que tiende a ajustarse mejor según el comportamiento de consumo del adulto hembra de *C. montrouzieri*. En la Figura 9, se presenta la respuesta tipo II para los promedios individuales, en la cual se aprecia como el consumo se incrementó conforme aumentó la densidad de la presa, hasta la densidad de 160 ninfas III en que se registró su máximo promedio de consumo. La eficiencia de depredación y el tiempo de depredación, disminuyeron conforme aumentó la densidad de la presa. La eficiencia registró la máxima proporción comparada con la

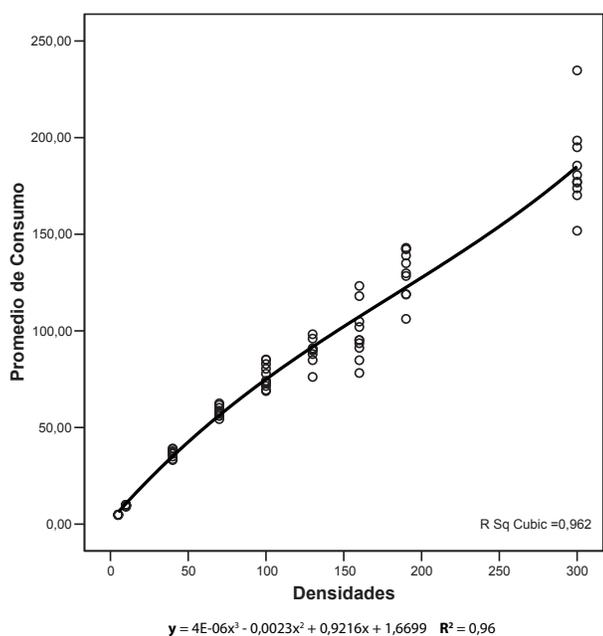


Figura 7. Respuesta funcional del estadio IV de *C. montrouzieri* a nueve densidades de ninfas III de *M. hirsutus*.

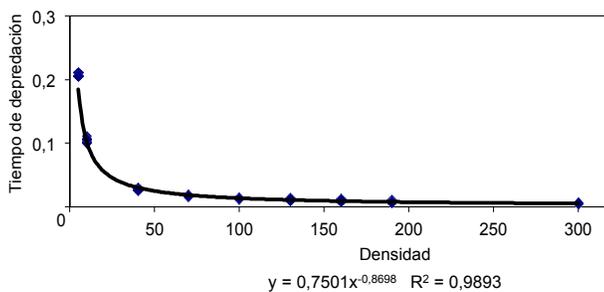
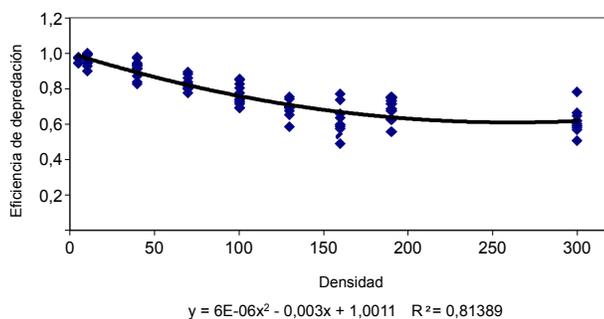


Figura 8. Eficiencia y tiempo de depredación del estadio IV de *C. montrouzieri*.

fase larval, en la densidad de 5 ninfas III con 1,0 y varió hasta 0,53 en la densidad de 160 ninfas III; y al relacionarse con el volumen del envase el cual era de 15,20 cm³, dio una proporción desde 15,20 a 8,06 cm³/día, respectivamente. El tiempo de depredación, presentó valores de 0,2 y 0,1 en las dos primeras densidades, disminuyendo bruscamente a partir de la tercera densidad a 0,03 días por presa y después paulatinamente hasta 0,01. Lo que nos puede indicar que a las más bajas densidades, las presas se dispersaron y la hembra gastó más tiempo en encontrarlas. En la Figura 10, se muestra para la eficiencia de depredación, que el mejor modelo fue el cúbico con R² = 0,93; correspondiendo este valor al más alto registrado en las diferentes fases del depredador. Por su parte, el tiempo de depredación, se ajustó mejor al modelo de función potencial con un R² = 0,99; valor y curva similar a la larva del IV estadio.

En otras especies de Coccinellidae, se han señalado diferentes estrategias de alimentación representada por curvas distintas, tal y como lo hemos observado en *C. montrouzieri*, el cual presentó la respuesta tipo II en el instar larval I y hembra adulta; y la respuesta tipo III en los instares larvales II, III y IV. Por ejemplo, en *Harmonia axyridis* (Pallas) y *Cydonia vicina nilotica* Mulsant, utilizando *Aphis* sp. como presa, presentaron respuesta tipo II (Ho et al. 2004, Mandour et al. 2006). También se observó con este mismo Coccinellidae, que la respuesta funcional varió con la especie de presa. Presentó el tipo I cuando se alimentó de *Rhopalosiphum prunifoliae* (Fitch); tipo II sobre el áfido *Lipaphis erysimi* Kaltenbach y tipo III sobre el áfido *Cinara* sp. (Pervez 2005). Estos resultados parecen indicar que los distintos tipos de respuesta funcional, ejercen distintos efectos en las poblaciones tanto del depredador como de la presa. En el caso de la respuesta II y III específicamente en el momento en que se disminuye el consumo cuando llegan al plateau, las poblaciones de la presa en altas densidades

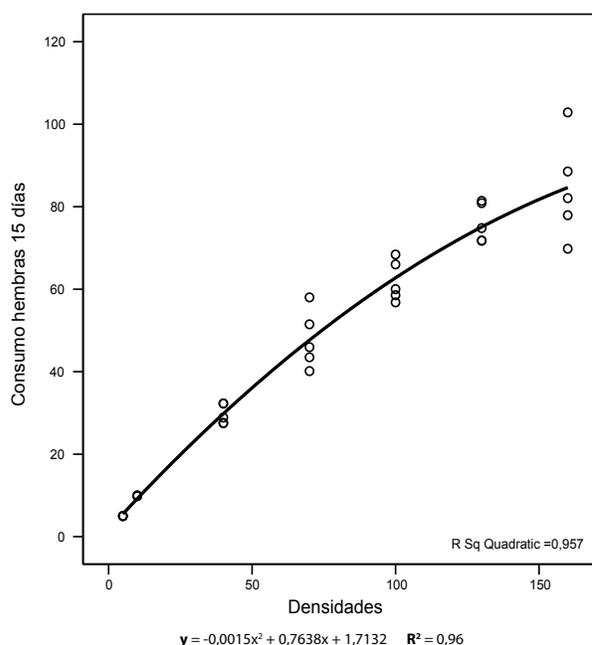


Figura 9. Respuesta funcional de la hembra de *C. montrouzieri* a siete densidades de ninfas III de *M. hirsutus*, durante 15 días.

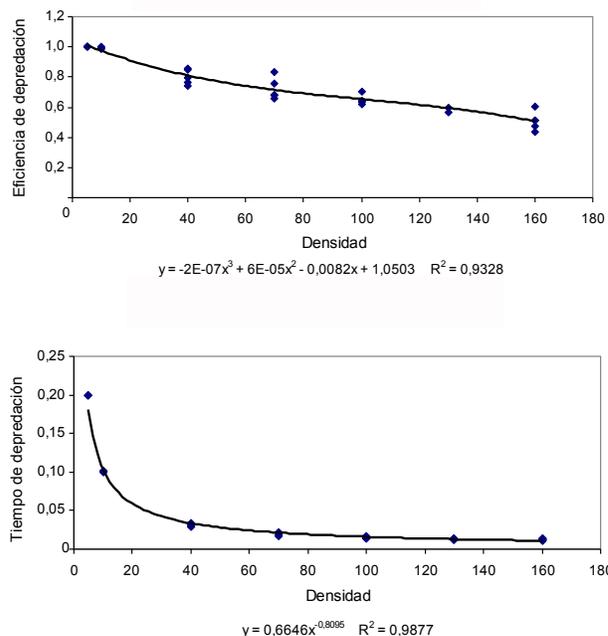


Figura 10. Eficiencia y tiempo de depredación de la hembra de *C. Montrouzieri*.

se verán menos afectadas que aquellas a bajas densidades; por el contrario, cuando se acelera el consumo a medida que aumenta la densidad de la presa en la respuesta III, la población de la presa se verá más afectada.

Respuesta numérica de *C. montrouzieri*.

En la Figura 11, se presenta la curva de regresión para el promedio diario de huevos colocados por la hembra de *C. montrouzieri*, en la que se observa que es del tipo II. El análisis de regresión sugiere, que esta respuesta es la que provee el mejor ajuste de los datos, con un $R^2 = 0,61$ con los coeficientes del modelo significativos. En las densidades de 5 y 10 ninfas III de la presa, las hembras de *C. montrouzieri* no colocaron huevos y presentaron un menor tamaño que las desarrolladas en las otras densidades (Figura 12); por lo que se puede inferir, que a bajas densidades de la presa el depredador sobrevive, pero no cubre las necesidades nutricionales que le permiten la formación de los huevos. El promedio de huevos colocados por día, se inició en la tercera densidad de 40 ninfas III con 2,58 huevos por hembra, incrementándose conforme se aumentaron las densidades de la presa, hasta la densidad de 130 ninfas III, con un promedio de 9,07 huevos y disminuyendo en la última densidad de 160 ninfas III a 7,36 huevos promedio (Cuadro 2). Los valores de fecundidad correspondientes a 70, 100, 130 y 170 presas ofrecidas (en particular los tres últimos), no son significativamente diferentes.

En otros Coccinellidae se señala este mismo tipo de respuesta numérica, por ejemplo en *Menochilus sexmaculatus* (Fabricius) y *Propylea dissecta* (Mulsant) utilizando especies de *Aphis* como presa, encontraron la respuesta tipo II (Agarwala et al. 2001, Pervez 2004). En este último caso, la respuesta funcional y numérica fueron del tipo II de Holling, considerando este autor que ambas respuestas están interrelacionadas y funcionan simultáneamente. Esta última consideración también concuerda con nuestros resultados, en que la respuesta

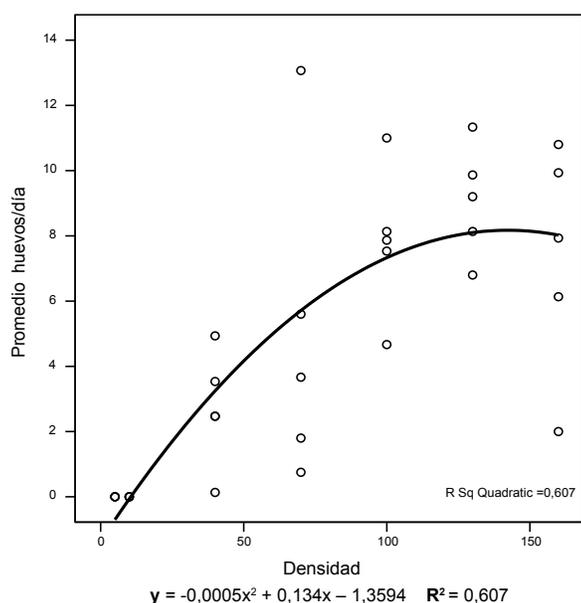


Figura 11. Respuesta numérica de las hembras de *C. montrouzieri* a siete densidades de ninfas III de *M. hirsutus*. Promedio individual, durante 15 días.

funcional y numérica de las hembras de *C. montrouzieri* correspondieron al tipo II.

Al observar el efecto de la densidad de la presa *M. hirsutus* sobre el período de incubación, fertilidad de los huevos y el tamaño de la hembra de *C. montrouzieri*, se puede observar en el Cuadro 2, que el período de incubación de los huevos mostró valores similares, variando desde 3,86 días en la densidad de 40 ninfas a 4,47 días en la densidad de 100 ninfas, no encontrándose diferencias significativas al 5 %. La fecundidad se inicia en la densidad de 40 ninfas III con 2,58 huevos/día y varió hasta 9,07 huevos/día a la densidad de 130 ninfas III; encontrándose diferencias significativas entre las densidades de 5 ninfas III y 100, 130 y 160 ninfas III. La fertilidad a la densidad de 40 ninfas III fue la que presentó el menor valor con un 70,32 %, incrementándose con la densidad de la presa hasta alcanzar 91,4 % en la máxima densidad. Los menores valores del ancho y el largo de las hembras se presentaron en las dos primeras densidades, aumentando ligeramente a partir

de la densidad de 40 ninfas III. El ancho varió desde 2,03 mm en la densidad de 5 ninfas III hasta 3,01 mm en la densidad de 100 ninfas III y el largo entre 3,12 mm en la densidad de 5 ninfas III hasta 4,72 mm en la densidad de 130 ninfas III. El análisis estadístico (Kruskal y Wallis al 5 %) refleja diferencias significativas entre las densidades de 5 con 100, 130 y 160 ninfas III para el ancho y entre las densidades 5 con 130 ninfas III para el largo de las hembras. En la densidad de 5 ninfas III de la presa, el 60 % llegó a la fase adulta, sobreviviendo una semana y sólo una hembra llegó a los 15 días previstos en el experimento. A esta hembra se le suministró suficientes ninfas III de la presa pasados los 15 días y no llegó a colocar huevos. En el caso de la densidad de 10 ninfas III, se llegaron a formar 9 adultos de los cuales tres fueron hembras y seis machos. Las tres hembras apareadas no colocaron huevos durante los 15 días previstos; sin embargo, pasado este lapso se les suministró suficientes ninfas III de la presa y dos hembras llegaron a colocar un huevo cada una a los 5 días, siendo uno de ellos fértil. A pesar del tamaño de la hembra y al déficit de alimento durante su desarrollo, puede responder al incremento de la presa, aunque en baja proporción, lo que sugiere que a pesar de las desventajas asociadas con el tamaño de la hembra, no se afectó su eficiencia en convertir el alimento en huevos; lo cual es particularmente relevante cuando la plaga se encuentra a bajas densidades. En la máxima densidad de 160 ninfas III de la presa, se observó una ligera disminución del tamaño de la hembra, de la fecundidad y del período de incubación de los huevos; lo cual podría ser debido a la interferencia que ejerce la población de la presa sobre el depredador. Crawley (1975) señala una situación similar en insectos afidófagos como Cecidomyiidae, Coccinellidae y algunos Syrphidae en los cuales el número del depredador declina con altas densidades de la presa, lo cual podría suponer una respuesta numérica negativa.

Cuadro 2. Incubación, fecundidad, fertilidad de los huevos, ancho y largo de la hembra (mm) de *C. montrouzieri* a siete densidades de ninfas III de *M. hirsutus*.

Densidad	Incubación (días) $\bar{x} \pm D.E$	Fecundidad $\bar{x} \pm D.E$	Fertilidad %	Ancho (mm) $\bar{x} \pm D.E$	Largo (mm) $\bar{x} \pm D.E$
5	0	0	0	2,03 ± 0,05 a	3,12 ± 0,14 a
10	0	0	0	2,44 ± 0,05 ab	3,68 ± 0,11 ab
40	3,86 ± 1,05 a	2,58 ± 1,76 ab	70,3	2,86 ± 0,08 ab	4,24 ± 0,0 abc
70	4,24 ± 0,83 a	4,98 ± 4,89 bc	90,2	2,98 ± 0,07 ab	4,37 ± 0,09 abc
100	4,47 ± 0,73 a	7,84 ± 2,25 c	87,6	3,01 ± 0,07 b	4,43 ± 0,12 abc
130	4,15 ± 0,74 a	9,07 ± 1,72 c	90,6	2,99 ± 0,07 b	4,62 ± 0,04 c
160	4,00 ± 0,66 a	7,36 ± 3,5 c	91,4	2,94 ± 0,06 b	4,54 ± 0,13 abc



Figura 12. Hembras de *C. montrouzieri* alimentadas con 5 (Izquierda) y 130 (Derecha) ninfas III de la presa *Maconellicoccus hirsutus*.

Conclusiones

El depredador *C. montrouzieri* empleó diferentes estrategias de alimentación; el estadio larval I y la hembra adulta exhibieron respuesta funcional tipo II, lo que indica que consumen *add libitum* hasta alcanzar el nivel de saturación para satisfacer sus requerimientos alimenticios. En los otros estadios larvales la respuesta fue del tipo III, lo que señala cierto aprendizaje en la detección de la presa, de allí el mayor consumo a medida que se desarrollaban, especialmente el IV instar. La hembra adulta y particularmente la larva del cuarto instar fueron los que consumieron la mayor cantidad de ninfas III, sobre todo en las densidades más altas. Las

densidades más bajas de la presa dieron origen a individuos más pequeños, los cuales no llegaron a colocar huevos; sin embargo pueden sobrevivir y responder numéricamente al incrementarse la presa. Estos resultados permiten recomendar el uso de la hembra adulta por ser más eficiente en la depredación y el IV estadio larval de *C. montrouzieri* por mostrar la mayor capacidad de consumo, en los programas de liberación del depredador para el control de la cochinilla rosada *Maconellicoccus hirsutus*.

Referencias Bibliográficas

- AGARWALA B, BARDHANROY P, YASUDA H, TAKIZAWA T. 2001. Prey consumption and oviposition of the aphidophagous predator *Menochilus sexmaculatus* (Coleoptera: Coccinellidae) en relation to prey density and adult size. *Environmental Entomology* 30 (6): 1182-1187.
- CERMELI M, MORALES P, GODOY F, ROMERO R, CÁRDENAS O. 2002. Presencia de la cochinilla rosada de la cayena *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae) en Venezuela. *Entomotropica* 17(1): 103-105.
- CRAWLEY M. 1975. The numerical response of insect predator to changes in prey density. *Journal Animal Ecology* 44: 877-892.
- GAUTAM RD. 1996. Multiplication and use of exotic coccinellids. Technical manual. The Caribbean Agricultural Research and Development Institute. 34 p.

- HO JL, TAEKJUN K. 2004. Functional response of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) to *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) in the laboratory. *Biological Control* 31(3): 306-310.
- HODEK I. 1967. Bionomics and ecology of predaceous Coccinellidae. *Annual Review of Entomology* 12: 79-104.
- HOLLING CS. 1959 a. The components of depredation as revealed by a study of small mammal predation of the European pine sawfly. *Canadian Entomology* 91: 293-320.
- HOLLING CS. 1959b. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Canadian Entomology* 91: 385-398.
- HOLLING CS. 1961. Principle of insect predation. *Annual Review of Entomology* 6: 163-182.
- HOLLING CS. 1965. The functional response of depredator to prey density and its role in mimicry and population regulation. *Memoirs of the Entomological Society of Canada* 45: 5- 60.
- MANDOUR N, SALLAM EL-BASHA N, XIAN LIU T. 2006. Functional response of the ladybird, *Cydonia vicina nilotica* to cowpea aphid *Aphis craccivora* in the laboratory. *Insect Science* 13(1): 49-54.
- MERLYN J, LEMAITRE O, GRÉGOIRE J. 1996a. Oviposition in *Cryptolaemus montrouzieri* stimulated by wax filaments of its prey. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 79: 141-146.
- PARDO M, RUIZ D. 2002. SPSS 11 Guía para el análisis de datos. McGraw – Hill/ Interamericana de España, S.A.U. 715 p.
- PERVEZ O. 2004. Functional and numerical responses of *Propylea dissecta* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Applied Entomology* 128(2):144-147.
- PERVEZ O. 2005. Functional responses of Coccinellid predators: An illustration of a logistic approach. *Journal of Insect Science* 5: 5-6.
- SOLOMON M. 1949. The natural control of animal populations. *Journal Animal Ecology* 18: 1-35.
- TORRES F, MARCANO R. 2007. Efecto de la temperatura en el desarrollo de *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) utilizando como presa *Maconellicoccus hirsutus* Green (Hemiptera: Pseudococcidae). *Entomotropica* 22(1): 17-25.
- TORRES F, MARCANO R. 2011. Efecto de cuatro temperaturas constantes sobre la oviposición, fecundidad y fertilidad de *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae). *Entomotropica* 26(1): 31-37.
- TORRES F, MARCANO R, TORRES R. 2012. Caracterización de los instares larvales de *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) a cuatro temperaturas constantes. *Entomotropica* 27(2): 49-56
- VIEIRA G, BUENO V, AUAD A. 1997. Resposta funcional de *Acymnus (Pallas) argentinus* (Weise) (Coleoptera: Coccinellidae) a diferentes densidades do pulgão verde *Schizaphis graminum* (Rond.) (Homoptera: Aphididae). 1997. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil* 26(3): 495-502.
- WRIGTH J, LAING J. 1980. Numerical response of Coccinellids to aphids in corn in southern Ontario. *The Canadian Entomologist* 112(10): 977-988.

Recibido: 05-04-2014.
Aceptado: 15-01-2015.