



## Functional response of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) on different stages of development of *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae).

## Respuesta funcional de *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) sobre diferentes estados de desarrollo de *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae).

García-Ángel, O.<sup>1</sup>, Ochoa-Fuentes, Y. M.<sup>1</sup>, Cerna-Chavez, E.<sup>1</sup>, Aguirre-Uribe, L. A.<sup>1</sup>, Flores-Canales, R. J.<sup>2</sup>, Landeros-Flores, J. L.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro # 1923. C.P. 25315. Buenavista, Saltillo; Coahuila, México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Agricultura, Carretera Tepic-Compostela Km 9, C.P. 63780 Xalisco, Nayarit, México.

**Cite this paper/Como citar este artículo:** García-Ángel, O., Ochoa-Fuentes, Y. M., Cerna-Chavez, E., Aguirre-Uribe, L. A., Flores-Canales, R. J., Landeros-Flores, J. L. (2018). Functional response of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) on different stages of development of *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae). *Revista Bio Ciencias* 5(nesp1), e422. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.05.nesp.e421>



### ABSTRACT

The functional response of *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) was studied at different densities and developmental stages of avocado mite *Oligonychus punicae* (Hirst) (Acari: Tetranychidae), under laboratory conditions on Hass avocado leaf discs. Results showed a Type II functional response in all assessed stages. Maximum consumption of *N. californicus* on *O. punicae* at a density of 64 offered preys, was 15.13, 26.93, 13.07 eggs, larvae and nymphs respectively; as well as 7.40 adults at a density of 32 prey mites. These results show that *N. californicus* tends to eat more larvae than eggs and nymphs; and even a lower numbers of adults.

### Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: December 19<sup>th</sup> 2017.

Accepted/Aceptado: April 18<sup>th</sup> 2018.

Available on line/Publicado: November 29<sup>th</sup> 2018.

### \*Corresponding Author:

Jerónimo, Landeros-Flores. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro # 1923. C.P. 25315. Buenavista, Saltillo; Coahuila, Mexico. Phone: +52(844) 100 2647 E-mail: [jlaflo@hotmail.com](mailto:jlaflo@hotmail.com)

### RESUMEN

Se estudió la respuesta funcional de *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) en diferentes densidades y estados de desarrollo del ácaro de aguacate *Oligonychus punicae* (Hirst) (Acari: Tetranychidae) en condiciones de laboratorio, sobre discos de hoja de aguacate Hass. Los resultados muestran una respuesta funcional Tipo II en todas las etapas evaluadas. El consumo máximo de *N. californicus* en *O. punicae* con una densidad de 64 presas ofrecidas fue de 15,13, 26,93, 13,07 huevos, larvas y ninfas respectivamente; Así como 7,40 adultos con una densidad de 32 ácaros de presa. Estos resultados muestran que *N. californicus* tiende a comer más larvas que huevos y ninfas, y un menor número de adultos.

### PALABRAS CLAVE

Ácaro café de aguacate; Control Biológico; Depredador.

---

## KEY WORDS

---

Avocado Brown Mite; Biological Control; Predator.

---

## Introduction

*Oligonychus punicae* (Hirst) is considered one of the main mites affecting avocado crops in Mexico. Its presence damages the epidermis of leaves and distorts the ratio between chlorophyll and photosynthates, leading to reddish or tanned lesions (Dorantes *et al.*, 2004; Equihua *et al.*, 2007; Dreistadt, 2008). When feeding on avocado leaves, this mite limits itself mainly to the upper side, close to the central vein; although it can also move to the underside when the population levels become high (Ochoa *et al.*, 1991; Dorantes *et al.*, 2004) for a long time, partially defoliating the trees. This type of damage can occur at densities of 300 mites per leaf, although under draught conditions, 70 adult females per leaf can cause the same damage, (Peña and Wysoki, 2008) In this plague mite the chemical control is the most used method for its management (Soto, 2013). However, an alternative for its control can be through the use of predatory mites belonging to the family Phytoseiidae, (Zhang, 2003). A highly infested orchard trees may have defoliation, general weakening, and, consequently, growth retardation with poorly developed and scarce fruits, it occurs all year round, but with greater severity in spring and autumn (Coria and Ayala, 2010). In Mexico occurs practically in all the orchards where it is often the presence of trees highly defoliated by this mite, although little is known about the economic losses of this species. The most popular management method for this pest mite is chemical control (Soto, 2013); in Mexico this species is controlled with applications of sulfur, petroleum oils and light mineral oil, in addition to Abamectin; Azadirachtin and Lambda cyhalothrin (Coria and Ayala, 2010). However, repeated use can cause resistance problems, as well has health and ecological, which forces to search after new control options (Lemus-Soriano and Romero-García, 2015) how the use of natural enemies (biological control). Predating mites from Phytoseiidae family offer an alternate control (Zhang, 2003). A predator must be evaluated according to its adaptation to environmental searching capacity, functional and numerical response, and spatio-temporal synchronization with the prey (Huffaker *et al.*, 1971). The functional response of a predator is a key factor in the population dynamics of predator-prey systems (Schenk and

## Introducción

*Oligonychus punicae* (Hirst), se considera uno de los principales ácaros que afectan al cultivo de aguacate en México, su presencia ocasiona daños en la epidermis de las hojas alterando las proporciones de clorofila y fotosintatos, lo que produce lesiones de coloración rojiza o bronceado (Dorantes *et al.*, 2004; Equihua *et al.*, 2007; Dreistadt, 2008). Su alimentación en hojas de aguacate se limita principalmente al haz de la hoja cerca de la nervadura central, aunque podrían extenderse al envés cuando los niveles de la población son altos (Ochoa *et al.*, 1991; Dorantes *et al.*, 2004) y en periodos prolongados, defoliar parcialmente al árbol. Este daño puede ocurrir cuando se encuentran densidades de 300 ácaros por hoja, aunque en periodos de sequía 70 hembras adultas por hoja pueden ocasionar el mismo daño, (Peña y Wysoki, 2008). En este acaro plaga el control químico es el método de más utilizado para su manejo (Soto, 2013). Sin embargo una alternativa para su control puede ser mediante el uso de ácaros depredadores pertenecientes a la familia Phytoseiidae, (Zhang, 2003). Un huerto altamente infestado puede tener defoliación, debilitamiento general y en consecuencia retraso del crecimiento con pocos frutos y escasamente desarrollados, se presenta durante todo el año pero con mayor severidad en primavera y otoño (Coria y Ayala, 2010). En México ocurre prácticamente en todos los huertos donde a menudo se presentan árboles altamente defoliados por este ácaro, aunque se sabe poco sobre las pérdidas económicas de esta especie. El método de manejo más popular para esta plaga es el control químico (Soto, 2013); en México, esta especie se controla con aplicaciones de azufre, aceites de petróleo y aceites minerales ligeros, además de Abamectina; Azadirachtin y Lambda cyhalothrin (Coria y Ayala, 2010). Sin embargo, el uso repetido puede causar problemas de resistencia, así como también problemas en la salud y de tipo ecológico, lo que obliga a buscar nuevas opciones de control (Lemus-Soriano y Romero-García, 2015) como el uso de enemigos naturales (control biológico). Ácaros depredadores de la familia Phytoseiidae ofrecen una buena alternativa de control (Zhang, 2003). Un depredador debe ser evaluado de acuerdo a su adaptación al medio ambiente, a la capacidad de búsqueda, a la respuesta funcional y numérica así como a la sincronización espacio-temporal con la presa (Huffaker *et al.*, 1971). La respuesta funcional de un depredador es un factor clave en la dinámica poblacional de los sistemas depredador-presa (Schenk y Bacher, 2002). En este sentido, *Neoseiulus californicus* (McGregor) es una de las especies de ácaros más utilizadas en los programas de control biológico clasificada como un depredador generalista y uno de los principales agentes de

Bacher, 2002). In this regard, one of the most widely used mite species in biological control programs is *Neoseiulus californicus* (McGregor), classified as a generalist predator of spider mites and one of the main biological control agents used to protect different greenhouse and open-field crops (Gotoh et al., 2006; Marafeli et al., 2011; Singh, 2016). *N. californicus* is not only widely distributed, but it is also reared and released in several countries of the world, (Canlas et al., 2006; McMurtry et al., 2013; Barbosa and de Moraes, 2015). Among its benefits, *N. californicus* eats some types of insects such as trips, besides feeding on mites, and can even survive feeding on pollen when the primary prey is not available (Castagnoli and Simoni, 1999; Sazo et al., 2006). This mite is considered a Type II predator; a category that includes selective predators of tetranychid mites, which are more frequently associated to species that form dense spider webs, as it is the case of *Oligonychus* y *Tetranychus*. Nevertheless, this predator can also behave like a Type III predator (Croft et al., 1998; Croft et al., 2004; McMurtry et al., 2013; Rezaie et al., 2017). Therefore, this research work focused in determining the efficiency of *Neoseiulus californicus* through its functional response over *Oligonychus punicae* in Hass avocado leaves and with the results obtained it will be possible to demonstrate that it is a natural enemy that can be considered in the management of this pest.

## Material and Methods

The research work was conducted in a bioclimatic chamber of the Parasitology department at "Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro", Saltillo, Coahuila, Mexico, (25°21'13"N 101°01'56"W). A mother colony of *Oligonychus punicae* was reared, using mites from Hass avocado trees planted in Tepic, Nayarit, Mexico, the mites were reproduced under controlled conditions, at a temperature of 26 ± 2 °C; relative humidity of 70 ± 10 % and a light-darkness photoperiod: 12:12h L: D. The commercially available predator *Neoseiulus californicus* was obtained from Spical® (Koppert Mexico, S.A. DE C.V.) and was reproduced on bean leaves infested with *Tetranychus urticae* (Koch) (Acari: Tetranychidae). Functional response experiments were developed in the bioclimatic chamber under the same developmental conditions than the mother colony, following the methodology of Brodeur and Cloutier (1992), using leaf-discs in agar, with some modifications. The experimental unit was an avocado leaf disc of 3

control biológico utilizados para proteger diferentes cultivos de invernadero y de campo abierto (Gotoh et al., 2006; Marafeli et al., 2011; Singh, 2016). *N. californicus* no solo se distribuye ampliamente, sino que también se cría y libera en varios países del mundo (Canlas et al., 2006; McMurtry et al., 2013; Barbosa y de Moraes, 2015). *N. californicus* también consume algunos tipos de insectos como trips además de alimentarse de ácaros e incluso puede sobrevivir alimentándose de polen cuando la presa principal no está disponible (Castagnoli y Simoni, 1999; Sazo et al., 2006). Este ácaro es considerado un depredador Tipo II, una categoría que incluye depredadores selectivos de ácaros tetranychidos que se asocian con mayor frecuencia a especies formadoras de telarañas densas, como es el caso de *Oligonychus* y *Tetranychus*, aunque también puede comportarse como un depredador Tipo III (Croft et al., 1998; Croft et al., 2004; McMurtry et al., 2013; Rezaie et al., 2017). Este trabajo de investigación se centró en determinar la eficiencia de *Neoseiulus californicus* a través de su respuesta funcional sobre *Oligonychus punicae* en hojas de aguacate Hass. Con los resultados obtenidos se podrá demostrar que es un enemigo natural que puede considerarse en el manejo de esta plaga.

## Material y Métodos

El estudio se llevó a cabo en una cámara bioclimática del departamento de Parasitología de la "Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro", Saltillo, Coahuila, México. (25°21'13"N 101°01'56"W). Se desarrolló una colonia madre de *Oligonychus punicae* proveniente de árboles de aguacate variedad Hass, localizados en Tepic Nayarit, México, estos se multiplicaron bajo condiciones controladas de temperatura con 26 ± 2 °C, humedad relativa de 70 ± 10 % y fotoperiodo de 12:12 luz:oscuridad. El depredador *Neoseiulus californicus* se obtuvo del producto comercial Spical® (Koppert México, S.A. de C.V.) y multiplicado en hojas de frijol infestadas con *Tetranychus urticae*. (Koch) (Acari: Tetranychidae). Los experimentos de respuesta funcional se desarrollaron en una cámara bioclimática bajo las mismas condiciones de desarrollo de la colonia madre, siguiendo la metodología de disco de hoja en agar de Brodeur y Cloutier (1992), con algunas modificaciones. La unidad experimental consistió de un disco de hoja de aguacate de 3 cm de diámetro el cual se colocó sobre una lámina de agar solidificado (20 mL aprox.) dentro de un recipiente de plástico con capacidad de 30 mL, posteriormente se colocó una película de agua sobre el agar y el contorno del disco de hoja, los recipiente fueron sellados con una tapa semihermética a la cual se le hizo un

centimeters in diameter, placed on top of a solidified agar layer (nearly 20 mL), within a plastic container of 30 mL capacity, a water film was poured on the agar layer and the contour of the leaf disc. The containers were sealed with a semi-air tight cap with a whole in the middle, and were covered with thin cloth to avoid excessive moisture. In the predation study of *N. californicus* over *O. punicae* eggs, 10 to 20 pregnant avocado brown mite females were left for 24 hours on the avocado leaf discs. After removing the females, the number of eggs was adjusted to 1, 2, 4, 8, 16, 32 and 64 per every leaf disc. The same method previously described was followed for the next stages of development, except the eggs, which were kept until hatching, allowing them to reach the life stages that were going to be assessed (larvae, nymphs and adult females); 24 hours after emerging from the corresponding stage, an adult female of *N. californicus* was introduced per every preying density, with 15 replicates per density. The predation rate was recorded within 24 hours, in order to determine the type of functional response (curve's shape), through logistic regression analysis, adjusting a polynomial equation of the ratio of eaten preys ( $N_a/N_o$ ) vs the number of preys offered ( $N_o$ ):

$$\frac{N_a}{N_o} = \frac{\text{Exp}(P_0 + P_1N_1 + P_2N_o^2 + P_3N_o^3)}{1 + \text{Exp}(P_0 + P_1N_1 + P_2N_o^2 + P_3N_o^3)}$$

Where:

- $N_a$  = number of eaten preys,
- $N_o$  = number of offered preys.
- $P_0, P_1, P_2$  y  $P_3$  = parameters to be estimated

If  $P_1 > 0$  and  $P_2 < 0$ , it means that the ratio of eaten preys positively depends on density and therefore we have a Type III functional response. If  $P_1 < 0$ , the ratio of eaten preys decreases with the initial number of offered preys, showing a Type II functional response (Juliano, 2001). After learning the type of functional response, the parameters of such functional response were estimated: Time of handling ( $T_h$ ) and attack capacity ( $a'$ ) according to Holling's Type II functional response (1966).

$$N_a = \frac{a' N_o T}{1 + a' N T_h}$$

Where:

- $N_a$  = Number of eaten preys,
- $a'$  = Rate of consistent attack (rate of instantaneous - search),

orificio central y cubierto con tela fina para evitar el exceso de humedad. En el estudio de depredación de *N. californicus* sobre huevos de *O. punicae* se colocaron 10 a 20 hembras grávidas de la araña café en un periodo de 24 horas sobre los discos de hojas de aguacate posteriormente las hembras fueron removidas y se ajustó el número de huevos ovipositados a 1, 2, 4, 8, 16, 32 y 64 por cada disco de hoja. Para los siguientes estados de desarrollo se siguió el mismo método descrito anteriormente con la excepción de que los huevos se mantuvieron hasta su eclosión y se les permitió el desarrollo hasta los estados correspondientes a evaluar (larvas, ninfas, y hembras adultas); 24 horas después de haber emergido el estado correspondiente se le colocó una hembra adulta de *N. californicus* por cada densidad de presa y se replicaron 15 veces por densidad. Se registró la depredación en un periodo de 24 horas y se determinó el tipo de respuesta funcional (forma de la curva), mediante un análisis de regresión logística, ajustando una ecuación polinomial de la proporción de presas consumidas ( $N_a/N_o$ ) vs el número de presas ofrecidas ( $N_o$ ):

$$\frac{N_a}{N_o} = \frac{\text{Exp}(P_0 + P_1N_1 + P_2N_o^2 + P_3N_o^3)}{1 + \text{Exp}(P_0 + P_1N_1 + P_2N_o^2 + P_3N_o^3)}$$

Dónde:

- $N_a$  = número de presas consumidas,
- $N_o$  = número de presas ofrecidas.
- $P_0, P_1, P_2$  y  $P_3$  = parámetros a ser estimados.

Si  $P_1 > 0$  y  $P_2 < 0$ , la proporción de presa consumida depende positivamente de la densidad, describiendo así una respuesta funcional Tipo III. Si  $P_1 < 0$ , la proporción de presas consumidas disminuye con el número inicial de presas ofrecidas, describiendo así una respuesta funcional de Tipo II (Juliano, 2001). Después de conocer el tipo de respuesta funcional, se estimaron los parámetros de la respuesta funcional: tiempo de manipulación ( $T_h$ ) y capacidad de ataque ( $a'$ ) de acuerdo al modelo de respuesta funcional Tipo II de Holling (1966).

$$N_a = \frac{a' N_o T}{1 + a' N T_h}$$

En donde:

- $N_a$  = Número de presas consumidas,
- $a'$  = Tasa de ataque constante (tasa de búsqueda instantánea),
- $N_o$  = Densidad de la presa,
- $T$  = Tiempo total disponible (24 h en este experimento) y
- $T_h$  = Tiempo de manipulación.

$N_o$  = Prey density,  
 $T$  = Total available time (24 h in this experiment) and  
 $T_h$  = Time of handling.

Procedure PROC NLIN de SAS/STAT (SAS, 2008) was used to estimate the parameters.

## Results and Discussion

There are several models of functional response with slight variants. Within these models, Rogers (1972) proposed a model known as “random Predator equation”, with very similar characteristics but also allows the prey to deplete. Although models usually behave the same way. (Badii and Chacón, 2014) In this study the results were analyzed by Holling’s Model II (1966) simply because it is the most frequently used. The percentage of preys eaten in all the stages of development of *O. punicae* decreased, with an increase in the density of offered preys (Figure 1). This means that there is a reverse dependency of the initial density.

The logistic regression analysis of all the prey stages yielded a significant linear parameter  $P_1 < 0$  and a positive quadratic coefficient ( $P_2$ ) of the ratio of preys eaten at every density, versus the initial preying density (Table 1). This shows a Type II functional response.

La estimación de los parámetros se realizó mediante el procedimiento PROC NLIN de SAS/STAT (SAS, 2008).

## Resultados y Discusión

Existen varios modelos de respuesta funcional con ligeras variantes. Dentro de estos modelos Rogers (1972), propuso un modelo conocido como “ecuación de depredación aleatoria”, con características muy similares pero también permite que la presa se agote. Aunque los modelos suelen comportarse de la misma manera. (Badii y Chacón, 2014). En este estudio, los resultados fueron analizados por el Modelo II de Holling (1966) simplemente porque es el más utilizado. El porcentaje de presas consumidas en todas las etapas de desarrollo de *O. punicae* disminuyó, con un aumento en la densidad de presas ofrecidas (Figura 1). Esto significa que hay una dependencia inversa de la densidad.

El análisis de regresión logística de todas las etapas de la presa arrojó un parámetro lineal significativo  $P_1 < 0$  y un coeficiente cuadrático positivo ( $P_2$ ) de la proporción de presas consumidas en cada densidad, en comparación con la densidad inicial de presa (Tabla 1). Esto muestra una respuesta funcional Tipo II.

Este tipo de respuesta coincide con los resultados reportados por Doker *et al.*, (2016), Gotoh *et al.*, (2004) y Song *et*

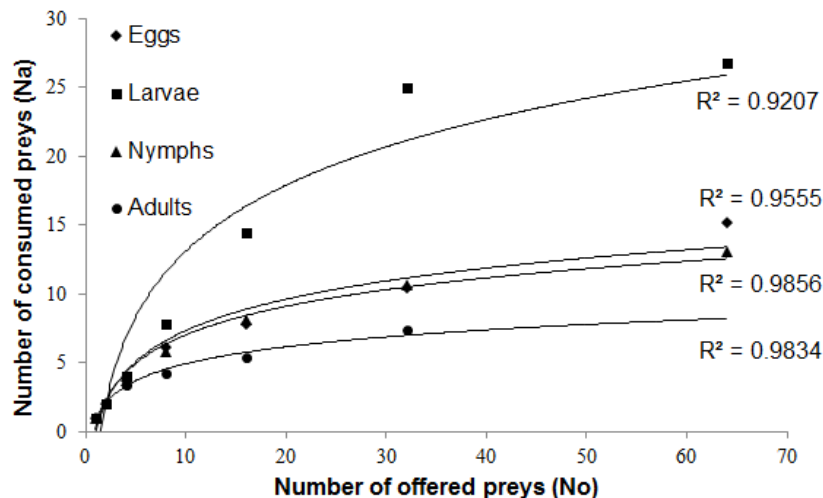


Figure 1. Functional response lines of *Neoseiulus californicus* over different stages and densities of *Oligonychus punicae*.

Figura 1. Respuesta funcional de *Neoseiulus californicus* sobre diferentes estados y densidades de *Oligonychus punicae*.

**Table 1.**  
**Results of the logistic regression analysis on the ratio of preys eaten by *Neoseiulus californicus* ( $N_e/N_o$ ) vs the number of offered preys ( $N_o$ ) of *Oligonychus punicae*.**

**Tabla 1.**  
**Resultado del análisis de regresión logística de la proporción de presas consumidas por *Neoseiulus californicus* ( $N_e/N_o$ ) vs el número de presas ofrecidas ( $N_o$ ) de *Oligonychus punicae*.**

Stage	Parameters		
	Intercept ( $P_0$ )	Linear ( $P_1$ )	Quadratic ( $P_2$ )
<b>Egg</b>	2.3039*	-0.1196	0.000688
	(1.9591, 2.6487) <sup>†</sup>	(-0.1402, -0.0990)	(0.000536, 0.000840)
<b>Larva</b>	3.4647	-0.0601	---
	(3.0220, 3.9074)	(-0.0683, -0.0519)	---
<b>Nymph</b>	2.7255	-0.1789	0.00182
	(2.2535, 3.1974)	(-0.2167, -0.1410)	(0.00130, 0.00235)
<b>Adult</b>	3.1391	-0.3925	0.0081
	(2.4911, 3.7872)	(-0.4871, -0.2979)	(0.00559, 0.0106)

\*indicate statistically significant differences of  $p < 0.05$ , <sup>†</sup>Values between parenthesis show a 95 % confidence interval, both based on Wald (SAS, 2008).

\*Indican diferencias estadísticamente significativas de  $p < 0.05$ , <sup>†</sup>Valores en paréntesis indican intervalo de confianza al 95 % ambos basados en la fórmula de Wald (SAS, 2008).

This type of response coincides with the results reported by Doker *et al.*, (2016), Gotoh *et al.*, (2004) and Song *et al.*, (2016), who mentioned that *N. californicus* shows a Type II functional response over eggs and immature subjects of *Tetranychus urticae* and *Tetranychus kanzawai*. Similarly, Xiao and Fadamiro (2010) said that *N. californicus* showed a Type II functional response over nymphs of *Panonychus citri*. With regards to the attack rate coefficients ( $a'$ ) and the time of handling ( $T_h$ ), an  $a'$  of 0.9192, 1.4429, 1.1179, 1.15 and a  $T_h$  of 0.0521, 0.0244, 0.0638, 0.1152 were estimated for eggs, larvae, nymphs and adults respectively (Table 2). Ahn *et al.*, (2010) reported a maximum number of *T. urticae* preys eaten by *N. californicus* adult females, accounting for 17.14, 15.14 and 11.81 eggs, larvae and nymphs respectively; with an  $a'$  of 0.0697, 0.0678, 0.0662 and a  $T_h$  of 1.4002, 1.5855, 2.0331, for the same stages of development during 24 hours at 25 °C. Xiao *et al.*, (2013) reported a maximum number of 26.6 eggs eaten a day, with an  $a'$  of 0.49 and a  $T_h$  of 1.7328 for the same prey.

In this research work we recorded an average consumption of *O. punicae* by *N. californicus* at a density of 64 offered

*et al.*, (2016), quienes mencionaron que *N. californicus* mostró una respuesta funcional Tipo II sobre huevos e inmaduros de *Tetranychus urticae* y *Tetranychus kanzawai*. De manera similar, Xiao y Fadamiro (2010) mencionan que *N. californicus* mostró una respuesta funcional de Tipo II sobre ninfas de *Panonychus citri*. En relación a los coeficientes tasa de ataque ( $a'$ ) y el tiempo de manejo ( $T_h$ ), se estimó una  $a'$  de 0.9192, 1.4429, 1.1179, 1.15 y una  $T_h$  de 0.0521, 0.0244, 0.0638, 0.1152 para huevos, larvas, ninfas y adultos respectivamente (Tabla 2). Ahn *et al.*, (2010) reportaron un número máximo de presas de *T. urticae* consumidas por hembras adultas de *N. californicus*, de 17.14, 15.14 y 11.81 huevos, larvas y ninfas, respectivamente; con una  $a'$  de 0.0697, 0.0678, 0.0662 y una  $T_h$  de 1.4002, 1.5855, 2.0331, para los mismos estados de desarrollo durante 24 horas a 25 °C. Xiao *et al.*, (2013) reportaron un número máximo de 26.6 huevos consumidos por día, con un  $a'$  de 0.49 y un  $T_h$  de 1.7328 para la misma presa.

En este trabajo de investigación, se registró un consumo promedio de *O. punicae* por *N. californicus* a una densidad de 64 presas ofrecidas de 15.13, 26.93, 13.07 huevos, larvas

**Table 2.**  
**Specimens of *Oligonychus punicae* eaten by *Neoseiulus californicus* on avocado leaves and parameters of functional response Type II.**

**Tabla 2.**  
**Especímenes de *Oligonychus punicae* consumidos por *Neoseiulus californicus* sobre hojas de aguacate y parámetros de la respuesta funcional Tipo II.**

Initial Den- sity (No)	Eggs		Larvae		Nymphs		Adults	
	Na ± SD	Ho	Na ± SD	Ho	Na ± SD	Ho	Na ± SD	Ho
1	1 ± 0	0.9	1 ± 0	1.4	1 ± 0	1.1	1 ± 0	1.1
2	2 ± 0	1.8	2 ± 0	2.9	2 ± 0	2.2	2 ± 0	2.3
4	3.67 ± 0.62	3.6	4 ± 0	5.7	3.73 ± 0.59	4.4	3.40 ± 1.12	4.5
8	6.13 ± 1.55	7.2	7.80 ± 0.56	11.4	5.80 ± 1.65	8.7	4.20 ± 1.37	8.8
16	7.80 ± 2.01	14.3	14.46 ± 1.68	22.6	8.13 ± 3.27	17.1	5.40 ± 1.24	16.9
32	10.47 ± 2.97	27.6	24.93 ± 5.03	44.1	10.67 ± 2.99	32.7	7.40 ± 1.72	31.3
64	15.13 ± 3.27	52.2	26.93 ± 8.7	84.4	13.07 ± 3.26	60.1		
$a'$	0.9192		1.4429		1.1179		1.15	
$T_h$	0.0521		0.0244		0.0638		0.1152	
$X^2$	0.342		1.479		0.035		1.901	

Na=attacked and observed preys; SD=Standard deviation; Ho= Expected Holling;  $a'$ =Rate of attack,  $T_h$ =Time of handling;  $X^2$ =Chi-square test.

Na=Presas atacadas observadas; DS=Desviación estándar; Ho=Esperados Holling;  $a'$ =Tasa de ataque,  $T_h$ = Tiempo de manejo;  $X^2$ =prueba de Chi cuadrada.

preys of 15.13, 26.93, 13.07 eggs, larvae and nymphs respectively; as well as 7.40 adults at a density of 32 prey mites. Hereinabove results show that *N. californicus* tends to eat more larvae, followed by eggs, nymphs and lower numbers of female adults. In this sense, Sabelis (1985) and Xiao *et al.*, (2013) mentioned that phytoseiid mites often prefer to feed on immature stages and eggs. On the other hand, Xiao and Fadamiro (2010), reported that *N. californicus* prefers nymphs over the eggs of *P. citri*; while Song *et al.*, (2016) and Rezaie *et al.*, (2017) expressed that *N. californicus* showed higher predation rate on *T. urticae* active stages than on the eggs. In the case of phytoseiids generalists, Blackwood *et al.*, (2001), mention that spider larvae can be consumed more than eggs by nutritional benefits, as well as manipulation time, they observed that the females of several species of generalists often tried to unsuccessfully drill eggs before attacking the larvae. A possible explanation for this observation would be that these species of generalists may have less effective mouthparts in the chorion perforation of the egg. Flechtmann & Mc-Murtry (1992), found important

y ninfas, respectivamente; así como 7.40 adultos con una densidad de 32 ácaros. Los resultados anteriores muestran que *N. californicus* tiende a comer más larvas, seguidas de huevos, ninfas y un menor número de hembras adultas. En este sentido, Sabelis (1985) y Xiao *et al.*, (2013) mencionaron que los ácaros fitoseidos a menudo prefieren alimentarse en estadios inmaduros y en huevos. Por otro lado, Xiao y Fadamiro (2010), informaron que *N. californicus* prefiere las ninfas sobre los huevos de *P. citri*; mientras que Song *et al.*, (2016) y Rezaie *et al.*, (2017) expresaron que *N. californicus* mostró una mayor tasa de depredación en los estados activos de *T. urticae* que en los huevos. En el caso de los fitoseidos generalistas, Blackwood *et al.*, (2001), mencionan que las larvas de las arañas se pueden consumir más que los huevos por los beneficios nutricionales, así como por el tiempo de manipulación, observaron que las hembras de varias especies de depredadores generalistas a menudo intentaban perforar los huevos sin éxito antes de atacar a las larvas. Una posible explicación para esta observación sería que estas especies de generalistas pueden tener partes bucales menos efectivas en la perforación del corion del huevo. Flechtmann & Mc-Murtry (1992), encontraron importantes

cheliceral differences between the species of Phytoseiidae that feed mainly on mites and pollen.

diferencias quelicerales entre las especies de Phytoseiidae que se alimentan principalmente de ácaros y polen.

## Conclusion

In this research *N. californicus* consumed all the states of development of *O. punicae*. in addition, is a generalist predator can eat other types of dams and even pollen grains and survive in the absence of the plague or in low populations, this predator can be used as a tool in the efficient management of this pest.

## Conclusión

En esta investigación, *N. californicus* consumió todos los estados de desarrollo de *O. punicae*. Además, es un depredador generalista que puede comer otros tipos de presas e incluso granos de polen y sobrevivir en ausencia de la plaga o en bajas poblaciones, este depredador puede usarse como una herramienta en el manejo eficiente de esta plaga.

## References

- Ahn, J.J., Kim, K.W. and Lee J.H. (2010). Functional response of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on strawberry leaves. *Journal of Applied Entomology*, 134:98-104. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2009.01440.x>
- Badii, M.H. and Chacon, J. C. (2014). Estimación Lineal y No-Lineal de Parámetros de Depredación Daena: International *Journal of Good Conscience*, 9(2): 24-30. [http://www.spentamexico.org/v9-n2/A4\\_9\(2\)24-30.pdf](http://www.spentamexico.org/v9-n2/A4_9(2)24-30.pdf)
- Barbosa, M.F.C. and de Moraes, G.J. (2015). Evaluation of astigmatid mites as factitious food for rearing four predaceous phytoseiid mites (Acari: Astigmatina; Phytoseiidae). *Biological Control*, 91:22–26. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.06.010>
- Blackwood J.S., Schausberger P., and Croft B.A. (2001). Preystage preference in generalist and specialist phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) when offered *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) eggs and larvae. *Environ. Entomol*, 30: 1104-1111. <http://doi:10.1603/0046-225X30.6.1103>
- Brodeur, J. and Cloutier, C. (1992). A modified leaf disk method for rearing predaceous mites (Acarina: Phytoseiidae)" *Phytoprotection*, 73: 69-72. <https://doi.org/10.7202/706021ar>
- Canlas, L.J., Amano, H., Ochiai, N. and Takeda, M. (2006). Biology and predation of the Japanese strain of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Systematic and Applied Acarology*, 11: 141-157. <http://dx.doi.org/10.11158/saa.11.2.2>
- Castagnoli, M. and Simoni, S. (1999). Effect of long-term feeding history on functional and numerical response of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, 23: 217-234. <https://doi.org/10.1023/A:1006066930638>
- Coria, A.V.M. and Ayala, S.A. (2010). Manejo de ácaros del aguacate en México. Folleto Técnico Núm. 20. SAGARPA. INIFAP. CIRPAC-CIRPAS. Campo Experimental Uruapan/ Campo Experimental Zacatepec. Uruapan, Michoacán, México. 19 p. [https://www.researchgate.net/profile/Ayala\\_Alejandro/publication/280769003\\_MANEJO\\_DE\\_ACAROS\\_DEL\\_AGUACATE\\_EN\\_MEXICO/links/55c57d3008aeb9756741f6b4.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ayala_Alejandro/publication/280769003_MANEJO_DE_ACAROS_DEL_AGUACATE_EN_MEXICO/links/55c57d3008aeb9756741f6b4.pdf)
- Croft, B.A., Monetti, L.N. and Pratt, P.D. (1998). Comparative life histories and predation types: Are *Neoseiulus californicus* and *N. fallacis* (Acari: Phytoseiidae) similar type II selective predators of spider mites? *Environmental Entomology*, 27: 531–538. <https://doi.org/10.1093/ee/27.3.531>
- Croft, B.A., Blackwood, J.S. and McMurtry, J.A. (2004). Classifying life-style types of phytoseiid mites: diagnostic traits. *Experimental and Applied Acarology*, 33: 247–260. <https://doi.org/10.1023/B:APPA.0000038622.26584.82>
- Dreistadt, S.H. (2008). Integrated Pest Management for Avocados. Statewide Integrated Pest Management Program, University of California Agriculture and Natural Resources UCANR Publication Vol. 3503. 222: 98-99.
- Doker, I., Kazak, C. and Karut, K. (2016). Functional response and fecundity of a native *Neoseiulus californicus* population to *Tetranychus urticae* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) at extreme humidity conditions. *Systematic & Applied Acarology*, 21(11): 1463–1472. <https://doi.org/10.11158/saa.21.11.3>



- Dorantes, L., Parada, L. and Ortiz, A. (2004). Avocado: Post-Harvest Operation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, Rome, Italy, 1-60. <http://www.fao.org/3/a-au996e.pdf>
- Equihua, M.A., Estrada, V.E.G. and González, H.H. (2007). Plagas del Aguacate. Pp. 135-169 in: Téliz-Ortiz, D. y Mora-Aguilera J. A. (Eds). El aguacate y su manejo itegrado, Editorial Mundi Prensa. México, D.F.
- Flechtmann H. W. C. and McMurtry J. A. (1992). Studies of cheliceral and deutosternal morphology of some phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) by scanning electron microscopy, *International Journal of Acarology*, 18: 3, 163-169, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01647959208683947>
- Gotoh, T., Nozawa, M. and Yamaguchi K. (2004). Prey consumption and functional response of three acarophagous species to eggs of the two-spotted spider mite in the laboratory. *Applied Entomology Zoology*, 39: 97–105. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/aez/39/1/39\\_1\\_97/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/aez/39/1/39_1_97/_pdf)
- Gotoh, T., Tsuchiya, A. and Kitashima, Y. (2006) Influence of prey on developmental performance, reproduction and prey consumption of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental & Applied Acarology*, 40: 189–204. <https://doi.org/10.1007/s10493-006-9032-3>
- Holling, C.S. (1966). The functional response of invertebrate predators to prey density. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 98 (48): 1-86. <https://doi.org/10.4039/entm9848fv>
- Huffaker, C.B., Messenger P.S. and DeBach P. (1971) The Natural Enemy Component in Natural Control and the Theory of Biological Control. In: Huffaker C.B. (eds) *Biological Control*. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6531-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6531-4_2).
- Juliano, S.A., (2001). Nonlinear curve fitting: Predation and functional response curves, pp. 178-196. In Scheiner, S.M. and J. Gurevitch (eds.) *Design and analysis of ecological experiments*. Oxford University Press. 2nd ed. N.Y.
- Lemus, S. B. A. and Romero, G. A. (2015). Evaluación de la mezcla azadiractina 3 ce + aceite de café contra el ácaro café *oligonychus punicae* hirst. del aguacate en nuevo san juan Parangaricutiro, Michoacán. *Entomología Mexicana* 2: 206-210. <http://www.entomologia.socmexent.org/revista/2015/CB/PAG%20%2020206-210.pdf>
- Marafeli, P.P., Reis, P.R., da Silveira, E.C., de Toledo, M.A. and Souza-Pimentel, G.C. (2011). *Neoseiulus californicus* (Mcgregor, 1954) preying in different life stages of *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Acarologia*, 51: 499-506. <https://doi.org/10.1051/acarologia/20112031>
- McMurtry, J.A., De Moraes, G.J. and Sourassou, N.F. (2013) Revision of lifestyles of phytoseid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. *Systematic & Applied Acarology*, 18(4): 297–320. <http://dx.doi.org/10.11158/saa.18.4.1>
- Ochoa, R., Aguilar, H. and Vargas C. (1991). Ácaros fitófagos de América Central: guía ilustrada Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 251p.
- Peña, J. and Wysoki, M., (2008). Plagas en Israel, México, Estados Unidos, Centroamérica y Perú. Plagas del palto en México, pp-303-304 In: R. Ripa& P. Larral (Eds) *Manejo de Plagas en Paltos Y Cítricos*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Ministerio de Agricultura. INIA, Chile.
- Rezaie, M., Saboori, A. and Baniamerie V. (2017). The effect of strawberry cultivars on functional response and prey-stage preference of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(1): 27-35. <http://www.entomoljournal.com/archives/?year=2017&vol=5&issue=1&part=A&ArticleId=1438>
- Rogers, D. (1972). Random search and insect population models. *J. Anim. Ecol*, 41: 369-383. [https://www.jstor.org/stable/3474?origin=crossref&seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/3474?origin=crossref&seq=1#page_scan_tab_contents)
- Sabelis, M.W. (1985) Reproductive strategies: In: Helle, W. & Sabelis, M.W. (Eds.), *Spider Mites, Their Biology, Natural Enemies and Controls*. Elsevier. Amsterdam. 1A: 265-278. [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/b\\_fdi\\_53-54/010020799.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_53-54/010020799.pdf)
- Sazo, L., Araya, J.E. and Iturriaga, P. (2006). Efecto del tipo de polen sobre la supervivencia, fertilidad y viabilidad de los huevos de *Neoseiulus californicus* (Mc Gregor) (Acari: Phytoseiidae) en laboratorio. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas*. 32: 619-623. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2231013>
- Schenk, D., and Bacher, S. (2002). Functional response of a generalist insect predator to one of its prey species in the field. *Journal Animal Ecology*, 71: 524-531. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.2002.00620.x>

- Singh, D.M. (2016). Fundamentals of Applied Acarology. Department of Entomology Punjab. Agricultural University Ludhiana, Punjab, India. *Springer Science Business Media Singapore*, 381-385. <https://link.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-981-10-1594-6%2F1.pdf>
- Song, Z., Zheng, Y., Zhang B. and LI D. (2016). Prey consumption and functional response of *Neoseiulus californicus* and *Neoseiulus longispinosus* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* and *Tetranychus kanzawai* (Acari: Tetranychidae) *Systematic & Applied Acarology*, 21(7): 936–946. <https://doi.org/10.11158/saa.21.7.7>
- Soto, G.A. (2013). Manejo alternativo de ácaros plagas. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 30: 34–44. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104077>
- Xiao, Y. and Fadamiro, H.Y. (2010). Functional responses and prey-stage preferences of three species of predacious mites (Acari: Phytoseiidae) on citrus red mite, *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). *Biological Control*, 53: 345-352. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.03.001>
- Xiao, Y.F., Osborne, L.S., Chen, J.J. and McKenzie, C.L. (2013). Functional responses and prey-stage preferences of a predatory gall midge and two predacious mites with two spotted spider mites, *Tetranychus urticae*, as host. *Journal of Insect Science*, Vol 13 (8): 1-12. <https://doi.org/10.1673/031.013.0801>
- Zhang Zhi-Qiang, (2003). Mites of Greenhouses: Identification, *Biology and Control*, CABI Publishing, Wallingford, UK, 244 pp.