



## Distribution patterns of *Tetranychus urticae* Koch and *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) in three roses varieties

### Patrones de distribución de *Tetranychus urticae* Koch y *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) en tres variedades de rosas

Chacón-Hernández, J. C.<sup>1</sup>, Cerna-Chave, E.<sup>2</sup>, Mora-Ravelo, S. G.<sup>1</sup>, Ochoa-Fuentes, Y.<sup>2</sup>, Rocandio-Rodríguez, M.<sup>1</sup>, Landeros-Flores J.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ecología Aplicada, Universidad Autónoma de Tamaulipas, División del Golfo No. 356, Col. Libertad, C.P. 87019. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

<sup>2</sup>Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. C.P. 25315 Buenavista, Saltillo, Coahuila; México.

**Cite this paper/Como citar este artículo:** Chacón-Hernández, J. C., Cerna-Chave, E., Mora-Ravelo, S. G., Ochoa-Fuentes, Y., Rocandio-Rodríguez, M., Landeros-Flores J. (2018). Distribution patterns of *Tetranychus urticae* Koch and *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) in three roses varieties. *Revista Bio Ciencias* 5(nesp1), e423. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.05.nesp.e423>



#### ABSTRACT

*Tetranychus urticae* (*T. urticae*), is an important plague in crops reared under greenhouse and field conditions. One of its biological controls is the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* (*P. persimilis*) for its efficiency. Knowledge on preys and predators spatial distribution is important for assessing the persistence in a crop and the potential of a natural enemy to reduce its prey. The aims of this study were to determine: 1) *T. urticae* preference for the upper or back sides of leaflet, 2) *T. urticae* and *P. persimilis* spatial and vertical distribution pattern in the four stages of development, on three rose bush varieties under greenhouse conditions. *T. urticae* and *P. persimilis* spatial distribution was determined by four methods: variance-mean ratio, dispersion index, Taylor's power law and Iwao's patchiness regression. Significant differences

#### Article Info/Información del artículo

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

Accepted/Aceptado: June 13<sup>rd</sup> 2018.

Available on line/Publicado: December 5<sup>th</sup> 2018.

#### RESUMEN

*Tetranychus urticae* (*T. urticae*), es una plaga importante en cultivos bajo condiciones de invernadero y de campo. Uno de sus controles biológicos es el ácaro depredador *Phytoseiulus persimilis* (*P. persimilis*) por su eficiencia. El conocimiento de la distribución espacial de presas y depredadores es importante para evaluar la persistencia en un cultivo y el potencial de un enemigo natural para reducir su presa. Los objetivos de este estudio fueron determinar: 1) la preferencia de *T. urticae* por el envés o haz del foliolo, 2) el patrón de distribución espacial y vertical de *T. urticae* y *P. persimilis* en los cuatro estados de desarrollo, sobre tres variedades de rosal bajo condiciones de invernadero. Se determinó la distribución espacial de *T. urticae* and *P. persimilis* por cuatro métodos: la razón varianza-media, índice de dispersión, la ley de potencia de Taylor, y la regresión de agregación de Iwao. Se encontraron diferencias significativas en la densidad poblacional en los cuatro estados de desarrollo de *T. urticae* antes y después de la liberación de *P. persimilis*. *Tetranychus urticae* prefiere

#### \*Corresponding Author:

Landeros-Flores, J. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología Agrícola. Calzada Antonio Narro 1923. C.P. 25315 Buenavista, Saltillo, Coahuila; México. E-mail: [janflo@uaaan.mx](mailto:janflo@uaaan.mx)

were found in population density in the four developmental stages of *T. urticae* before and after release of *P. persimilis*. *T. urticae* prefers to colonize the underside of leaflets in the three rose bush varieties. Results showed a different vertical distribution among the four developmental stages of *T. urticae* in the three varieties. The four methods used showed that *T. urticae* and *P. persimilis* have an aggregated distribution. *P. persimilis* does not modify *T. urticae* spatial distribution but if its vertical distribution. The aggregation presented by the predator favors a more effective control over the phytophagous.

---

### KEY WORDS

---

Predator-prey, vertical distribution, spatial distribution, biological control.

---

### Introduction

*Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) is one of the most polyphagous herbivore arthropods, it feeds on more than 1,100 species of plants belonging to more than 140 different families, including species known for producing toxic compounds. Moreover, it is an important plague in cultivations under greenhouse and field conditions (Grbic *et al.*, 2011). *Tetranychus urticae* (*T. urticae*), is economically one of the most important plagues in roses (Khajehali *et al.*, 2011).

*Phytoseiulus persimilis*, Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) is a predator mite specialized on phytophagous mites *Tetranychus* spp. (Tello *et al.*, 2009). It has been studied for its efficiency in the biological control of *T. urticae* on discus of rose *Rosa* sp. Royal variety under laboratory conditions (Chacón *et al.*, 2017) and by means of releases in greenhouses (Alatawi *et al.*, 2011). *Phytoseiulus persimilis* (*P. persimilis*), is the most commercialized mite and widely released in greenhouses (Naher & Haque, 2007; Tello *et al.*, 2009).

Knowledge on preys and predators spatial distribution is important for evaluating the persistence of a crop and the potential of a natural enemy to reduce its prey (Slone & Croft, 1998). The measurement of species aggregation is a central topic in ecology and applied biology, especially for studies of sampling and density (Gutiérrez, 1996). With the purpose of developing sustainable strategies for biological control, understanding the effects of the habitat structure

colonizar el envés de los folíolos en las tres variedades de rosal. Los resultados mostraron una distribución vertical desigual en los cuatro estados de desarrollo de *T. urticae* en las tres variedades. Los cuatro métodos utilizados mostraron que *T. urticae* y *P. persimilis* tiene una distribución agregada. *P. persimilis* no modifica la distribución espacial de *T. urticae*, pero si su distribución vertical. La agregación que presenta el depredador favorece a un control más efectivo sobre el fitófago.

---

### PALABRAS CLAVE

---

Depredador-presa, distribución vertical, distribución espacial, control biológico.

---

### Introducción

*Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) es uno de los herbívoros artrópodos más polífagos, se alimenta de más de 1,100 especies de plantas pertenecientes a más de 140 familias diferentes, incluyendo especies conocidas por producir compuestos tóxicos, además, es una plaga importante en cultivos bajo condiciones de invernadero y de campo (Grbic *et al.*, 2011). *Tetranychus urticae* (*T. urticae*), es una de las plagas económicamente más importantes en rosa (Khajehali *et al.*, 2011).

*Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) es un ácaro depredador especialista de ácaros fitófagos *Tetranychus* spp. (Tello *et al.*, 2009). Éste se ha estudiado por su eficiencia en el control biológico de *T. urticae* sobre discos de rosa *Rosa* sp. variedad Royal bajo condiciones de laboratorio (Chacón *et al.*, 2017) y a través de liberaciones en invernadero (Alatawi *et al.*, 2011). *Phytoseiulus persimilis* es el ácaro más comercializado y ampliamente liberado en invernadero (Naher & Haque, 2007; Tello *et al.*, 2009).

El conocimiento de la distribución espacial de presas y depredadores es importante para evaluar la persistencia de un cultivo y el potencial de un enemigo natural para reducir su presa (Slone & Croft, 1998). La medición de la agregación de especies es un tema central en ecología y biología aplicada, especialmente para estudios de muestreo y densidad (Gutiérrez, 1996). Con el fin de desarrollar estrategias sostenibles de control biológico, es necesario entender los efectos de la estructura del hábitat sobre la capacidad de los enemigos naturales (Stavrínides & Skirvin, 2003). La comprensión del desarrollo estacional

on the capacity of natural enemies is necessary (Stavrínides & Skirvin, 2003). Understanding the seasonal development and the vertical dispersion of the pest and its predators in plants is crucial for the development of an optimal release strategy for *P. persimilis* (Lilley et al., 1999). Many factors affect spatial patterns and the aggregation among mites that commonly occur in plant foliage, such as walking, searching, dispersing, fecundity, development, territoriality, search for sexual partners or responses to plants or preys quality and quantity (Slone & Croft, 1998), changes in plant height and the density of natural enemies populations (Strong, et al., 1997). The hypothesis of this study was: *P. persimilis* modifies the distribution patterns of the four developmental stages of *T. urticae*. Therefore, the purposes of this study were to determine: 1) *T. urticae* preference for the upper or back sides of leaflet and, 2) *T. urticae* and *P. persimilis* spatial and vertical distribution pattern in the four developmental stages on three varieties of rose bush varieties under greenhouse conditions.

## Materials and Methods

### Experimental protocol

*T. urticae* colony was obtained in de the Acarology Area of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico. Three varieties of roses (*Rosa sp.*) were used Selena, Vision and Anastasia. Ten plants per variety were planted at a distance of 10 cm in a 60 cm x 9 m bed planting. Plants were fertilized with ammonium phosphate monobasic (12-61-0) (36.10 g), ammonium nitrate (12-00-46) (35.16 g) and urea (46-00-00) (13.75 g) diluted in 20 L of water, once a week. The varieties were left to fertilize a week before releasing *T. urticae*, to avoid any effect of the macro elements on the plague (Najafabadi et al., 2011). Dibrol® 2.5 CE (Deltametrin: (S)-alfa-cyano-3-phenoxybenzyl (1R,3R)-3-(2,2-dibromo vinyl)-2,2-dimethyl cyclopropane carbo -xylate). Fertilization was applied 25 days before infestation of *T. urticae*, with a dose of 1 mL L<sup>-1</sup> of water to prevent pests such as: *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae), *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera:Aleyrodidae) and *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thirpidae). The study was developed under greenhouse conditions at a temperature of 28 ± 4 °C, with a H.R. of 60 ± 15 %.

### Population density

A non-conventional method was used to infest rose bush plants; one hundred adult female mites were released in each variety, by pinto bean leaf discs

y la dispersión vertical de la plaga y sus depredadores dentro de las plantas es crucial para el desarrollo de una estrategia de liberación óptima para *Phytoseiulus persimilis* (Lilley et al., 1999). Existen muchos factores que afectan los patrones espaciales y la agregación entre los ácaros que comúnmente ocurren en el follaje de las plantas, tales como caminar, buscar, dispersar, fecundidad, desarrollo, territorialidad, búsqueda de pareja o respuestas a la calidad y cantidad de las plantas o presas (Slone & Croft, 1998), cambios en la altura de la planta y en la densidad de las poblaciones de enemigos naturales (Strong et al., 1997). La hipótesis del estudio fue: *P. persimilis* modifica los patrones de distribución de los cuatro estados de desarrollo de *T. urticae*. Por tanto, los objetivos de este estudio fueron determinar 1) la preferencia de *T. urticae* por el envés o haz, 2) el patrón de distribución espacial y vertical de *T. urticae* y *P. persimilis* en los cuatro estados de desarrollo sobre tres variedades de rosas bajo condiciones de invernadero.

## Material y Métodos

### Protocolo experimental

La colonia de *T. urticae* se obtuvo en el área de acarología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. Se utilizaron tres variedades de rosas (*Rosa sp.*), Selena, Visión y Anastasia. Se sembraron 10 plantas por variedad a una distancia de 10 cm en una cama para siembra de 60 cm x 9 m. Las plantas se fertilizaron con fosfato monoamónico (12-61-0) (36.10 g), nitrato de amonio (12-00-46) (35.16 g), y urea (46-00-00) (13.75 g) diluido en 20 L de agua una vez por semana. Se dejaron de fertilizar las variedades una semana antes de liberar a *T. urticae* para evitar algún efecto de los macro elementos sobre la plaga (Najafabadi et al., 2011). Se aplicó 25 días antes de la infestación de *T. urticae* Dibrol® 2.5 CE (Deltametrina: (S)-alfa-ciano-3-fenoxibencil (1R,3R)-3-(2,2-dibromovinil)-2,2-dimetil ciclopropanocarbo-xilato) con una dosis de 1 mL L<sup>-1</sup> de agua para prevenir plagas como: *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae), *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera:Aleyrodidae), y *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thirpidae). El estudio se desarrolló bajo condiciones de invernadero a una temperatura de 28 ± 4 °C con una H.R. de 60 ± 15 %.

### Densidad Poblacional

Se realizó un método no convencional para infestar las plantas de rosas, se liberaron 100 ácaros hembras adultas

(*Phaseolus vulgaris* L.) of 2.5 cm of diameter (Chacón *et al.*, 2016). One week after, the four developmental stages of *T. urticae* (egg, larva, nymph and adult) were counted and 24 hours later, 12 females of the phytoseiid *P. persimilis* were released per plant (predator was obtained from Koppert Mexico, S.A. de C.V. company, subsidiary of the Dutch Koppert Biological Systems company). *P. persimilis* releases were performed according to the average density of *T. urticae* of the three rose bush varieties and to the average consumption of *P. persimilis* of the four developmental stages of the phytophagous (approximately 14 individuals in 24 hours) (Argüelles *et al.*, 2013). Predator density was adjusted by multiplying the density when releasing, which is the predator-prey relationship, determined by the maximum consumption rate of the functional response multiplied by mortality rate 7 % (Hilarión *et al.*, 2008). Weekly records were performed for the four developmental stages of *T. urticae* and *P. persimilis*, by counting on the three leaflets per stratum per variety with a 30X portable microscope, the plant being the experimental unit. Densities of prey and predator egg, larva, nymph, and adults were statistically analyzed, by means of an analysis of variance (ANOVA). Data were compared among the three rose bush varieties on each sampling date and in general by means of Fisher's minimum significant differences (MSD) test ( $p \leq 0.05$ ).

#### Distribution of mites on leaflets and plants

Whole data were considered in order to determine the preference for the upper and back sides of leaflets, as well as the vertical distribution, inferior (0-40 cm), medium (41-80 cm) and superior (81-160 cm) of the four developmental stages of the two species of mites (prey and predator) on plants.

#### Spatial distribution pattern

*T. urticae* and *P. persimilis* spatial distribution was determined using four methods: the variance/mean ratio, dispersion index, Taylor's power law and Iwao's patchiness regression.

The dispersion of a population can be classified by calculating the -variance-mean ratio  $S^2/m = 1$  random,  $< 1$  uniform and  $> 1$  aggregate. The result of a random distribution can be proven by calculating the dispersion index (DI) when  $n$  is the number of samples:  $DI = (n-1) S^2/m$ .

en cada variedad, mediante discos de hojas de frijol pinto (*Phaseolus vulgaris* L.) de 2.5 cm de diámetro (Chacón *et al.*, 2016). Una semana después se realizó un conteo de los cuatro estados de desarrollo de *T. urticae* (huevo, larva, ninfa y adulto); 24 h después se liberaron 12 hembras del fitoseido *P. persimilis* por planta (el depredador se obtuvo de la empresa Koppert México, S.A. de C.V.). Las liberaciones del *P. persimilis* se realizaron de acuerdo con la densidad promedio de *T. urticae* de las tres variedades de rosal y al consumo promedio de *P. persimilis* de los cuatro estados de desarrollo del fitófago aproximadamente 14 individuos en 24 h, (Argüelles *et al.*, 2013). La densidad del depredador se ajustó multiplicando la densidad a liberar, la cual es la relación depredador-presa determinada mediante la tasa máxima de consumo de la respuesta funcional por el porcentaje de mortalidad 7 % (Hilarión *et al.*, 2008). Se llevaron registros semanales para los cuatro estados de desarrollo de *T. urticae* y *P. persimilis* realizando conteos en tres folíolos por estrato por variedad con un microscopio portátil de 30X, siendo la unidad experimental la planta. Se analizaron estadísticamente las densidades de huevo, larva, ninfa y adulto de la presa y depredador mediante el análisis de varianza (ANOVA) y se compararon entre las tres variedades de rosal dentro de cada fecha de muestreo y en general mediante la prueba de diferencias mínimas significativas (MSD) de Fisher ( $p \leq 0.05$ ).

#### Distribución de los ácaros en los folíolos y planta

Para determinar la preferencia por la parte del envés y el haz de folíolos y la distribución vertical (inferior (0-40 cm), medio (41-80 cm) y superior (81-160 cm) de los cuatro estados de desarrollo de las dos especies de ácaros (presa y depredador) sobre las plantas, se consideraron todos los datos a nivel global.

#### Patrón de distribución espacial

Se determinó la distribución espacial de *T. urticae* and *P. persimilis* por cuatro métodos: la razón varianza-media, índice de dispersión, la ley de potencia de Taylor, la regresión de agregación de Iwao.

La dispersión de una población puede ser clasificada por el cálculo de la razón varianza-media  $S^2/m = 1$  aleatorio,  $< 1$  uniforme y  $> 1$  agregada. El resultado de una distribución aleatoria, puede ser probado calculando el índice de dispersión (DI), cuando  $n$  es el número de muestras:  $DI = (n-1) S^2/m$ .

En la siguiente etapa, se calculó el coeficiente Z para probar la bondad de ajuste:

Donde  $v$  es el número de grados de libertad ( $n-1$ );

In the next stage, the Z coefficient was calculated to prove the goodness of fit: where  $v$  is the degree of freedom ( $n-1$ );  $Z = \sqrt{2I_D} - \sqrt{2v-1}$ ;  $v = n - 1$ . If  $1.96 \geq Z \geq -1.96$ , spatial distribution is random; but if  $Z < -1.96$  or  $Z > 1.96$ , distribution is uniform or aggregated, respectively (Pedigo & Buntin, 1994).

Taylor's power law:  $S^2 = am^b$  or  $\log(S^2) = \log(a) + b \log(m)$ , where  $S^2$  is the variance;  $m$  is the sample mean;  $a$  is a scale factor related to sample size; and  $b$  measures the aggregation of the species. If  $b = 1$ ,  $< 1$  and  $> 1$ , distribution is random, uniform and aggregated, respectively (Taylor, 1961).

Iwao's patchiness regression method was used to quantify the relationship between the mean overcrowding index ( $m^*$ ) and the mean ( $m$ ).  $m^* = a + \beta m$ , where  $\alpha$  indicates the attraction (positive) and repellence «competition» (negative) among organisms, while  $\beta$  reflects the spatial distribution of the population (Iwao, 1968). It is interpreted in the same way as  $b$  constant in Taylor's power law. Student's t-test was used to determine whether mites populations are randomly dispersed.

## Results and Discussion

Table 1 shows the estimated mean population density per leaflet of *T. urticae* and *P. persimilis* in their four developmental stages, in three rose bush varieties, for nine dates of sampling for the prey and eight for the predator. Before releasing the predator, results indicate significant differences in the three rose bush varieties ( $p < 0.05$ ) in egg densities, but not in larva, nymph and adults ( $p > 0.05$ ). After releasing the predator, the population density of eggs and nymphs of the phytophagous was different among the three varieties ( $p < 0.05$ ). In relation to predator density, significant differences were detected on the last three dates of sampling only at larval stage (Table 1).

*P. persimilis* controlled eggs of *T. urticae* in five weeks in Vision and Anastasia varieties, and in six weeks in the Selena variety. While controlling *T. urticae* larvae only took four weeks in Vision and Anastasia varieties and seven weeks in Selena variety. Regarding phytophagous nymphs, the phytoseiid controlled them in six weeks in Vision and Anastasia varieties and in eight in Selena variety. *T. urticae* adults were predated in six weeks by *P. persimilis* in the three varieties. Therefore, *P. persimilis* preferred

$Z = \sqrt{2I_D} - \sqrt{2v-1}$ ;  $v = n - 1$ . Si  $1.96 \geq Z \geq -1.96$  la distribución espacial es aleatoria, pero si  $Z < -1.96$  ó  $Z > 1.96$  la distribución es uniforme o agregada respectivamente (Pedigo & Buntin, 1994).

La ley de potencia de Taylor:  $S^2 = am^b$  ó  $\log(S^2) = \log(a) + b \log(m)$ , donde  $S^2$  es la varianza;  $m$  es la media muestral;  $a$  es un factor de escala relacionado con el tamaño de la muestra y  $b$  mide la agregación de la especie. Si  $b = 1$ ,  $< 1$  y  $> 1$ , la distribución es aleatoria, uniforme y agregada respectivamente (Taylor, 1961).

Se usó el método de regresión de agregación de Iwao para cuantificar la relación entre el índice de la media de hacinamiento ( $m^*$ ) y la media ( $m$ ).  $m^* = a + \beta m$ , donde  $\alpha$  indica la atracción (positivo) y repelencia «competencia» (negativo), respectivamente, entre los organismos y  $\beta$  refleja la distribución de la población en el espacio (Iwao, 1968) y se interpreta de la misma manera como la  $b$  en la ley de potencia de Taylor. Se utilizó la prueba de t de Student para determinar si las poblaciones de ácaros están dispersas aleatoriamente.

## Resultados y Discusión

La Tabla 1 muestra la densidad media poblacional estimada de *T. urticae* y *P. persimilis* en sus cuatro estados de desarrollo por foliolo en tres variedades de rosal por nueve fechas de muestreo para la presa y ocho para el depredador. Antes de la liberación del depredador, los resultados indican diferencias significativas en las tres variedades de rosal ( $p < 0.05$ ) en las densidades de huevo, pero no en larva, ninfa y adultos ( $p > 0.05$ ). Después de la liberación del depredador, la densidad poblacional de huevo y ninfa del fitófago fue diferente entre las tres variedades ( $p < 0.05$ ). Con respecto a la densidad del depredador, solo en el estado de larva presenta diferencias significativa en las últimas tres fechas de muestreo (Tabla 1).

En cinco semanas *P. persimilis* controló huevos de *T. urticae* en las variedades Visión y Anastasia y en seis en Selena. Mientras que, en Visión y Anastasia solo le tomó cuatro y en Selena siete en controlar larvas de *T. urticae*. Con respecto a las ninfas del fitófago, el fitoseido las controló en ocho semanas en Selena y seis en Visión y Anastasia. Los adultos de *T. urticae* fueron depredados en seis semanas por *P. persimilis* en las tres variedades. Por tanto, *P. persimilis* prefirió consumir larvas de *T. urticae* en

**Table 1.**  
Population mean ( $\pm$  SD) of eggs, larvae, nymphs and adults of *Tetranychus urticae* and *Phytoseiulus persimilis* in three roses varieties

**Tabla 1.**  
Media poblacional ( $\pm$  SD) de Huevos, Larvas, Ninfas y Adultos de *Tetranychus urticae* y *Phytoseiulus persimilis* en tres variedades de rosal

<i>Tetranychus urticae</i>												
	Eggs			Larvae			Nymphs			Adults		
	Selena	Visión	Anastasia	Selena	Visión	Anastasia	Selena	Visión	Anastasia	Selena	Visión	Anastasia
Before release of <i>Phytoseiulus persimilis</i>												
0	69.00 <sup>a</sup>	24.89 <sup>ab</sup>	10.00 <sup>b</sup>	9.00 <sup>a</sup>	5.44 <sup>a</sup>	5.78 <sup>a</sup>	9.56 <sup>a</sup>	3.56 <sup>a</sup>	7.44 <sup>a</sup>	20.56 <sup>a</sup>	9.89 <sup>a</sup>	14.67 <sup>a</sup>
After release of <i>Phytoseiulus persimilis</i>												
1	16.44 <sup>a</sup>	12.44 <sup>a</sup>	4.78 <sup>a</sup>	2.67 <sup>a</sup>	3.33 <sup>a</sup>	3.89 <sup>a</sup>	7.89 <sup>a</sup>	12.11 <sup>a</sup>	3.22 <sup>a</sup>	3.11 <sup>a</sup>	4.33 <sup>a</sup>	4.22 <sup>a</sup>
2	28.22 <sup>a</sup>	28.78 <sup>a</sup>	6.00 <sup>a</sup>	2.67 <sup>a</sup>	7.22 <sup>a</sup>	3.11 <sup>a</sup>	12.00 <sup>a</sup>	8.78 <sup>a</sup>	3.67 <sup>b</sup>	10.44 <sup>a</sup>	2.56 <sup>a</sup>	7.56 <sup>a</sup>
3	43.67 <sup>a</sup>	2.11 <sup>a</sup>	1.56 <sup>a</sup>	3.89 <sup>a</sup>	1.44 <sup>a</sup>	1.00 <sup>a</sup>	19.44 <sup>a</sup>	6.78 <sup>b</sup>	6.11 <sup>b</sup>	7.56 <sup>a</sup>	6.89 <sup>a</sup>	4.33 <sup>a</sup>
4	3.11 <sup>b</sup>	0.56 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	1.33 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	16.11 <sup>a</sup>	1.89 <sup>b</sup>	1.11 <sup>b</sup>	1.22 <sup>a</sup>	0.44 <sup>a</sup>	2.22 <sup>a</sup>
5	13.89 <sup>a</sup>	0.22 <sup>b</sup>	0.22 <sup>b</sup>	2.11 <sup>a</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	14.78 <sup>a</sup>	0.89 <sup>a</sup>	0.33 <sup>b</sup>	4.56 <sup>a</sup>	0.44 <sup>b</sup>	0.78 <sup>b</sup>
6	0.25 <sup>a</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	--	--	--	2.00 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.22 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.22 <sup>a</sup>	0.333 <sup>a</sup>
7	--	--	--	0.22 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.56 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	--	--	--	--
8	--	--	--	--	--	--	0.11 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	--	--	--	--
Gen. Ave.	13.26 <sup>a</sup>	5.44 <sup>b</sup>	1.63 <sup>c</sup>	1.61 <sup>a</sup>	1.51 <sup>a</sup>	1.01 <sup>a</sup>	9.11 <sup>a</sup>	3.70 <sup>b</sup>	1.90 <sup>b</sup>	5.29 <sup>a</sup>	2.74 <sup>a</sup>	3.79 <sup>a</sup>
<i>Phytoseiulus persimilis</i>												
1	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.22 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>
2	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.44 <sup>a</sup>	--	--	--	--	--	--	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.33 <sup>a</sup>
3	1.22 <sup>a</sup>	0.67 <sup>a</sup>	0.33 <sup>a</sup>	--	--	--	0.33 <sup>a</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	1.33 <sup>a</sup>	0.22 <sup>a</sup>
4	0.44 <sup>a</sup>	0.44 <sup>a</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.22 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.44 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.44 <sup>a</sup>
5	3.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.22 <sup>a</sup>	0.67 <sup>a</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.22 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	1.11 <sup>a</sup>	0.56 <sup>a</sup>	2.00 <sup>a</sup>
6	0.33 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>
7	--	--	--	--	--	--	0.22 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.22 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>
8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.22 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>

Mean with the same letter between columns are not significantly different ( $p \leq 0.05$ ).

Medias con la misma letra entre columnas no son significativamente diferente ( $p \leq 0.05$ ).

consuming *T. urticae* larvae in Vision and Anastasia varieties, followed by the eggs in the same varieties (Table 1). Contrary to what observed by Parvin *et al.*, (2010), who found that on the seventh day, the different stages (nymph, female and male adults) of *P. persimilis*, preferred eggs as food rather than other stages of *T. urticae*.

las variedades Visión y Anastasia, seguidas por huevo en las mismas variedades (Tabla 1). Contrario a lo observado por Parvin *et al.*, (2010), ellos encontraron que en siete días de observación los diferentes estados (ninfa, hembras y machos adultos) de *P. persimilis* prefirieron huevos que los otros estados de *T. urticae* de alimento.

### Preference for upper or back sides

*T. urticae* prefers colonizing the back side of the leaflets in the three rose bush varieties (Table 2A). Similar results were observed by Soler-Salcedo et al., (2006) in leaflets of the common bean (*Phaseolus vulgaris*), they found that between 70 and 80 % of mobile stages of *T. urticae* prefers occupying the back side, while in a study performed in raspberry (*Rubus idaeus*), they established that 70.9 % of phytophagous population is found on the back of the leaves (Salazar et al., 1998). After releasing *P. persimilis*, an increase in the percentage of occupation in the upper side was observed, but the back side presented the highest proportionality. Consequently, *T. urticae* developed its colonies in the back side of the leaflets of rosebush varieties with or without presence of *P. persimilis*.

### Vertical distribution

Results showed an unequal vertical distribution in the four developmental stages of *T. urticae* in the three rose bush varieties (Table 2B). Before releasing *P. persimilis*, the two-spotted spider mite preferred depositing its eggs on superior stratum in Selena and Visión varieties, and in the medium stratum in Anastasia variety. The highest percentage of larvae was observed in the inferior stratum in Selena and Anastasia varieties, and in the superior stratum in Vision variety. The nymphal state was observed in the upper stratum in Selena and Visión, while in the lower stratum in Anastasia variety. The highest percentage of adult was showed to be in the superior stratum in Selena and Vision varieties, and in the medium stratum in Anastasia variety (Table 2B).

After releasing the phytoseiid in Selena variety, the phytophagous maintained its preference for depositing eggs on the superior stratum, while in Visión variety, it changed its preference from superior to inferior and in Anastasia variety, it presented the same percentage of eggs in the medium and superior stratum. Preference of *T. urticae* larvae was modified in all of the varieties. In Selena variety, from inferior to superior, in Vision variety, from superior to inferior, and in Anastasia variety, from inferior to medium. As well, nymphs changed its preference in Selena and Anastasia varieties, from superior to medium and from inferior to medium, respectively, while in Vision variety, preference was maintained in the superior stratum. Regarding adults, they were found in the same stratum (inferior) in Selena and Vision varieties, while in the medium stratum in Anastasia variety.

### Preferencia por envés o haz

*T. urticae* prefiere colonizar el envés de los folíolos en las tres variedades de rosal (Tabla 2A). Resultados similares observaron Soler-Salcedo et al., (2006) en folíolos de judía, ellos encontraron que entre el 70 y 80 % de estados móviles de *T. urticae* prefiere ocupar el envés, mientras que en un estudio realizado en frambueso, (Salazar et al., 1998) encontraron que el 70.9 % de la población del fitófago se encuentran en el envés de las hojas. Después de la liberación de *P. persimilis*, se observó un incremento en el porcentaje de ocupación en haz, pero el envés presentó la mayor proporcionalidad. Por tanto *T. urticae* desarrolló sus colonias en el envés de los folíolos de las variedades de rosal con o sin la presencia de *P. persimilis*.

### Distribución vertical

Los resultados mostraron una distribución vertical desigual en los cuatro estados de desarrollo de *T. urticae* en las tres variedades rosas (Tabla 2B). Antes de la liberación de *P. persimilis* el ácaro de dos manchas prefirió ovipositar en el estrato superior en las variedades Selena y Visión, y en la variedad Anastasia fue en el estrato medio. El mayor porcentaje de larvas se observó en estrato inferior en las variedades Selena y Anastasia, y en Visión se presentó en el estrato superior. En el estado ninfal se observó en el estrato superior en Selena y Visión, mientras que en Anastasia fue en el inferior. El mayor porcentaje de adulto se presentó en el estrato superior en las variedades Selena y Visión y en Anastasia se observó en el estrato medio (Tabla 2B).

Después de la liberación del fitoseido en la variedad Selena el fitófago mantuvo la preferencia de ovipositar en el estrato superior, mientras que en las variedades Visión cambió su preferencia de superior a inferior y en Anastasia presentó el mismo porcentaje de huevos en los estratos superior y medio. Se modificó la preferencia de las larvas de *T. urticae* en todas las variedades; en Selena del inferior al superior, Visión del superior al inferior, y Anastasia del inferior al medio. También las ninfas cambiaron su preferencia en Selena y Anastasia, del superior al medio y del inferior al medio respectivamente, mientras que en Visión se mantuvo en el estrato superior. Con lo que respecta a los adultos, se observaron en el mismo estrato (inferior) en Selena y Visión, y Anastasia en el estrato medio. En los cuatro estados de desarrollo del fitófago fue afectado por la presencia de *P. persimilis*, pero en Visión fue más notable, ya que, no se observaron individuos en el estrato inferior antes de la liberación, y después la araña de dos manchas se distribuyó en los tres estratos de la planta, observando más huevos y larvas en el estrato inferior.

**Table 2.**  
Preference for the underside and beam of leaves (A), vertical distribution of *Tetranychus urticae* (B) and *Phytoseiulus persimilis* (C) in three roses varieties

**Tabla 2.**  
Preferencia por el envés o haz (A) y distribución vertical de *Tetranychus urticae* y (B) *Phytoseiulus persimilis* (C) en tres variedades de rosas (datos en porcentaje)

	Selena				Visión				Anastasia			
	Development stage											
Preference	Eggs	Larvae	Nymphs	Adults	Eggs	Larvae	Nymphs	Adults	Eggs	Larvae	Nymphs	Adults
<b>A. Preference of <i>T. urticae</i></b>												
Before release of <i>Phytoseiulus persimilis</i>												
Underside	96	91	83	87	100	88	84	92	100	100	100	96
Beam	4	9	17	13	0	12	16	8	0	0	0	4
After release of <i>Phytoseiulus persimilis</i>												
Underside	94	79	77	65	72	87	79	77	99	92	94	95
Beam	6	21	23	35	28	13	21	23	1	8	6	5
<b>B. Vertical distribution <i>T. urticae</i></b>												
Before release of <i>Phytoseiulus persimilis</i>												
Estratum												
Upper	66	32	36	78	96	63	69	93	18	31	22	17
Middle	4	26	31	14	4	37	31	7	42	17	24	45
Low	30	42	33	8	0	0	0	0	40	52	54	38
After release of <i>Phytoseiulus persimilis</i>												
Upper	81	66	37	55	22	37	51	41	37	34	19	13
Middle	10	18	39	26	16	22	28	21	37	48	64	61
Low	9	16	24	20	62	41	21	38	25	18	18	26
<b>C. Vertical distribution of <i>P. persimilis</i></b>												
Upper	71	40	27	64	0	0	0	6	36	0	33	63
Middle	20	30	47	14	90	100	60	67	36	33	67	30
Low	9	30	27	23	10	0	40	28	29	67	0	7

The four developmental stages of the phytophagous were affected by the presence of *P. persimilis*, but it was more remarkable in Vision variety, since individuals were not observed in the inferior stratum before releasing them, then the two-spotted spider mite was distributed in the three stratum of the plant, having more eggs and larvae in the inferior stratum. Regarding *P. persimilis*, the highest

Con lo que respecta a *P. persimilis*, en la variedad Selena se observó en el estrato superior el mayor porcentaje de huevos, en Visión en el estrato medio, en Anastasia en el superior y medio. En Selena las larvas del fitoseido se observaron en mayor proporción en el estrato superior, en Visión en medio, en Anastasia en inferior. Mientras que las ninfas, en el estrato medio en Selena, Visión y



percentage of eggs was observed in the superior stratum in the variety Selena, in the medium stratum in Visión variety and, in the superior and medium stratum in Anastasia variety. In Selena variety, phytoseiid larvae were observed in a higher proportion in the superior stratum, in the medium stratum in Visión variety and in the inferior stratum in Anastasia variety. While for nymphs, in medium stratum in Selena, Visión, and Anastasia varieties. Adults in the superior stratum in Selena and Anastasia varieties, and in the medium stratum in Visión variety. Walzer *et al.*, (2009) found similar behaviors in adults of *P. persimilis* on bean under greenhouse conditions; they observed that phytoseiid was located in higher abundance in the medium stratum. In our research, prey and predator were observed to present the highest percentage of eggs, larva, and nymphs in the same strata in Selena and Anastasia varieties, indicating that the predator is located where the highest abundance of its prey is present; and deposits its eggs where there is food for its next generations and it possibly increases its survival rate (Table 2C). Contrary to what was reported by Walzer *et al.*, (2007), who observed that *T. urticae* avoided the occupied strata for *P. persimilis* and *Neoseiulus californicus*, and prematurely migrated to the superior stratum in bean plants. As well, Grostal & Dicke (1999) reported that in the short term (in leaves) *T. urticae* females avoided depositing eggs in patches where *P. persimilis* females were present.

### Spatial distribution

An aggregated distribution pattern of *T. urticae* was registered under greenhouse conditions (Bidarnamani *et al.*, 2015) and together with *P. persimilis* (Zhang & Sanderson, 1995; Nachman, 2006). Results of the variance-mean- ratio, dispersion coefficient (DI) and the Z test are presented in Table 3. The obtained results indicate that the spatial distribution for the four developmental stages of *T. urticae* was aggregated. Before releasing the predator, in Taylor's model, the regression between  $\log S^2$  and  $\log m$  was not significant ( $p > 0.05$ ), while in presence of *P. persimilis*, *T. urticae* presents an aggregated distribution in egg, larva, nymph, and adult, because calculated  $t$  ( $t_c$ ) is higher than the  $t$  table ( $t_t$ ) (Table 4). Similar to Taylor's power law, Iwao's model showed that the four developmental stages of *T. urticae* present an aggregated distribution (Table 5), indicating that *P. persimilis* does not modify the spatial distribution of the four developmental stages of growth of *T. urticae*. Zhang & Sanderson (1995) found similar results in rose plants (Goldrush) under greenhouse conditions.

Anastasia. Los adultos en el estrato superior en Selena y Anastasia y medio en Visión. Walzer *et al.*, (2009) encontraron comportamientos similares en adultos de *P. persimilis* sobre frijol bajo condiciones de invernadero, ellos observaron que el fitoseido se ubicó en mayor abundancia en el estrato medio. En nuestro estudio se observó que la presa y el depredador presentaron el mayor porcentaje en huevos, larva, y ninfa en los mismos estratos en Selena y Anastasia, lo que indica que el depredador se ubica donde está presente la mayor abundancia de su presa, y oviposita donde existe alimento para sus próximas generaciones y posiblemente se incrementa su tasa de supervivencia (Tabla 2C). Contrario a lo reportado por Walzer *et al.*, (2007) ellos observaron que *T. urticae* evitó los estratos ocupados por *P. persimilis* o *Neoseiulus californicus* y migró prematuramente al estrato superior en plantas de frijol. Mientras que, Grostal & Dicke (1999) reportaron que a corto plazo (en hojas) las hembras de *T. urticae* evitaron la oviposición en parches donde estaban presentes hembras de *P. persimilis*.

### Distribución espacial

Se ha registrado un patrón de distribución agregado de *T. urticae* en rosas bajo condiciones de invernadero (Bidarnamani *et al.*, 2015) y en conjunto con *P. persimilis* (Zhang & Sanderson, 1995; Nachman, 2006). Los resultados de la razón varianzamedia, coeficiente de dispersión (DI) y la prueba Z se presentan en el Tabla 3. Los resultados obtenidos indican que la distribución espacial para los cuatro estados de desarrollo de *T. urticae* fue agregada. Antes de la liberación del depredador, en el modelo Taylor, la regresión entre  $\log S^2$  y  $\log m$  no fue significativa ( $p > 0.05$ ), mientras que en presencia de *P. persimilis*, *T. urticae* presenta una distribución agregada en huevo, larva, ninfa y adulto, porque  $t$  calculada ( $t_c$ ) es mayor que la  $t$  tabla ( $t_t$ ) (Tabla 4). Similar a la ley de potencia de Taylor, el modelo de Iwao mostró que los cuatro estados de desarrollo de *T. urticae* presentan una distribución agregada (Tabla 5). Indicando que *P. persimilis* no modifica la distribución espacial de los cuatro estados de desarrollo de *T. urticae*. Zhang & Sanderson (1995) encontraron resultados similares en plantas de rosas (Goldrush) bajo condiciones de invernadero.

El modelo de Iwao mostró que en la mayoría de los estados de desarrollo de *P. persimilis* presenta una distribución espacial agregada; pero, en la variedad Anastasia la distribución de los huevos fue uniforme ( $\beta < 1$ ), y las ninfas

**Table 3.**  
**Spatial distribution parameters of *Tetranychus urticae* on three roses varieties using the variance-average ratio, dispersion index, and Z coefficient to test the goodness of fit.**

**Tabla 3.**  
**Parametros de Distribución Espacial de *Tetranychus urticae* sobre tres variedades de Rosal usando la razón varianza-media (indice de dispersión), y el coeficiente Z para probar la bondad de ajuste.**

		m	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup> /m	I <sub>b</sub>	Z
<b>Selena</b>						
Eggs	Before	69.00	4,925.00	71.38	571.01	29.92
	After	1,652.67	65,681,242.03	39,742.58	2,821,723.39	2,363.72
Larvae	Before	9.00	110.25	12.25	98.00	10.13
	After	16.22	4,312.85	265.86	18,876.11	182.42
Nymphs	Before	9.56	33.28	3.48	27.86	3.59
	After	318.39	1,419,116.24	4,457.18	316,459.70	783.69
Adults	Before	20.56	501.28	24.39	195.09	15.88
	After	60.19	122,599.12	2,036.72	144,606.99	525.91
<b>Visión</b>						
Eggs	Before	24.89	1,534.11	61.64	493.11	27.53
	After	370.22	6,259,212.12	16,906.64	1,200,371.11	1,537.56
Larvae	Before	5.44	58.53	10.75	86.00	9.24
	After	11.47	1,552.90	135.36	9,610.69	126.77
Nymphs	Before	3.56	33.53	9.43	75.44	8.41
	After	73.83	128,375.97	1,738.73	123,449.58	485.02
Adults	Before	9.89	213.61	21.60	172.81	14.72
	After	16.00	2,458.14	153.63	10,908.00	135.83
<b>Anastasia</b>						
Eggs	Before	10.00	84.50	8.45	67.60	7.75
	After	17.28	3,351.92	194.00	13,774.14	154.10
Larvae	Before	5.78	30.44	5.27	42.15	5.31
	After	8.42	1,496.11	177.76	12,620.61	147.00
Nymphs	Before	7.44	78.78	10.58	84.66	9.14
	After	20.33	9,146.25	449.82	31,936.92	240.86
Adults	Before	14.67	287.50	19.60	156.82	13.84
	After	34.22	24,951.84	729.11	51,766.96	309.89

**Table 4.**  
Spatial distribution of four stages of development of *Tetranychus urticae* on different roses varieties using the Taylor's power law.

**Tabla 4.**  
Distribución Espacial de los cuatro estados de desarrollo de *Tetranychus urticae* sobre diferentes variedades de rosal usando la ley de poder de Taylor.

Variety	a	$\pm Se_a$	B	$\pm Se_b$	R <sup>2</sup>	P <sub>reg</sub>	P <sub>a</sub>	P <sub>b</sub>	t <sub>c</sub>	t <sub>t</sub>
Before release of <i>Phytoseiulus persimilis</i>										
Eggs										
Selena	0.736	1.156	1.639	0.295	0.969	0.113	0.639	0.113	2.164	6.314
Visión	0.492	0.655	1.561	0.259	0.973	0.105	0.590	0.105	2.170	6.314
Anastasia	1.320	2.200	1.356	0.970	0.661	0.395	0.656	0.395	0.367	6.314
Larvae										
Selena	-3.311	5.508	3.614	2.519	0.673	0.388	0.655	0.388	1.038	6.314
Visión	-0.546	2.959	1.615	1.741	0.463	0.524	0.884	0.524	0.353	6.314
Anastasia	1.945	3.383	0.688	1.971	0.109	0.786	0.668	0.786	-0.158	6.314
Nymphs										
Selena	-19.21	26.577	10.056	11.780	0.422	0.550	0.602	0.550	0.769	6.314
Visión	0.061	0.179	2.192	0.133	0.996	0.039	0.792	0.039	8.953	6.314
Anastasia	-3.164	5.499	3.463	2.801	0.605	0.433	0.668	0.433	0.880	6.314
Adults										
Selena	1.353	1.274	0.997	0.469	0.819	0.280	0.481	0.280	-0.006	6.314
Visión	0.034	0.043	1.475	0.022	1.000	0.010	0.580	0.010	21.421	6.314
Anastasia	-9.510	1.655	5.359	0.626	0.987	0.074	0.110	0.074	6.959	6.314
After release of <i>Phytoseiulus persimilis</i>										
Eggs										
Selena	-0.451	0.400	2.115	0.173	0.903	<0.0001	0.276	<0.0001	6.433	1.746
Visión	0.362	0.331	1.681	0.181	0.869	<0.0001	0.294	<0.0001	3.755	1.771
Anastasia	0.339	0.341	1.982	0.234	0.911	<0.0001	0.353	<0.0001	3.772	1.895
Larvae										
Selena	0.411	0.139	1.914	0.145	0.916	<0.0001	0.009	<0.0001	6.300	1.746
Visión	0.388	0.214	1.510	0.175	0.882	<0.0001	0.099	<0.0001	2.917	1.895
Anastasia	0.225	0.185	1.657	0.229	0.767	<0.0001	0.243	<0.0001	2.873	1.746
Nymphs										
Selena	0.153	0.200	1.766	0.101	0.933	<0.0001	0.453	<0.0001	7.608	1.717
Visión	0.272	0.287	1.557	0.183	0.818	<0.0001	0.358	<0.0001	3.034	1.746
Anastasia	0.498	0.211	1.571	0.183	0.821	<0.0001	0.031	<0.0001	3.111	1.746
Adults										
Selena	0.160	0.344	1.462	0.233	0.711	<0.0001	0.647	<0.0001	1.985	1.746
Visión	0.221	0.317	1.734	0.242	0.837	<0.0001	0.501	<0.0001	3.027	1.812
Anastasia	0.463	0.223	1.741	0.184	0.848	<0.0001	0.054	<0.0001	4.027	1.746

**Table 5.**  
**Spatial distribution of *Tetranychus urticae* on different roses varieties**  
**using Iwao's patchiness regression analysis.**

**Tabla 5.**  
**Distribución Espacial de *Tetranychus urticae* sobre diferentes variedades de rosal**  
**usando el análisis de regresión de parches de Iwao.**

Variety	$\alpha$	$\pm Se_{\alpha}$	$\beta$	$\pm Se_{\beta}$	$R^2$	$P_{reg}$	$P_{\alpha}$	$P_{\beta}$	$t_c$	$t_t$
Before release of <i>Phytoseiulus persimilis</i>										
Eggs										
Selena	15.223	21.599	1.192	0.250	0.958	0.132	0.609	0.132	0.367	6.314
Visión	1.914	1.989	1.177	0.048	0.998	0.026	0.512	0.026	3.705	6.314
Anastasia	2.783	11.232	1.526	1.066	0.672	0.388	0.845	0.388	0.400	6.314
Larvae										
Selena	-31.228	26.791	5.921	2.920	0.804	0.292	0.451	0.292	1.651	6.314
Visión	-2.443	6.735	2.239	0.976	0.840	0.262	0.779	0.262	1.269	6.314
Anastasia	5.820	8.266	0.798	1.316	0.269	0.653	0.609	0.653	-0.153	6.314
Nymphs										
Selena	-17.371	38.217	3.186	3.992	0.389	0.571	0.728	0.571	0.523	6.314
Visión	-0.028	0.056	2.284	0.012	1.000	0.003	0.707	0.003	106.363	6.314
Anastasia	-4.521	9.834	2.757	1.212	0.838	0.264	0.726	0.264	1.450	6.314
Adults										
Selena	3.221	2.438	1.000	0.086	0.993	0.054	0.412	0.054	0.002	6.314
Visión	0.106	0.115	1.140	0.007	1.000	0.004	0.525	0.004	19.511	6.314
Anastasia	-26.537	29.080	3.981	1.873	0.819	0.280	0.529	0.280	1.592	6.314
After release of <i>Phytoseiulus persimilis</i>										
Eggs										
Selena	-2.568	4.491	2.539	0.135	0.957	<0.0001	0.575	<0.0001	10.652	1.746
Visión	-1.310	2.984	2.312	0.166	0.937	<0.0001	0.668	<0.0001	7.885	1.771
Anastasia	0.904	2.069	2.063	0.404	0.788	0.001	0.675	0.001	2.631	1.895
Larvae										
Selena	-0.040	1.032	2.323	0.300	0.790	<0.0001	0.970	<0.0001	4.083	1.746
Visión	0.507	0.912	1.446	0.217	0.816	<0.0001	0.590	<0.0001	2.056	1.812
Anastasia	0.342	0.700	1.811	0.258	0.755	<0.0001	0.632	<0.0001	3.145	1.746
Nymphs										
Selena	-3.304	3.117	2.192	0.226	0.811	<0.0001	0.301	<0.0001	4.833	1.717
Visión	-0.833	1.139	1.892	0.142	0.918	<0.0001	0.475	<0.0001	6.293	1.746
Anastasia	0.374	0.634	1.775	0.149	0.898	<0.0001	0.564	<0.0001	5.186	1.746
Adults										
Selena	-2.367	1.301	2.189	0.185	0.898	<0.0001	0.087	<0.0001	6.440	1.746
Visión	0.128	1.093	1.750	0.234	0.849	<0.0001	0.909	<0.0001	3.208	1.812
Anastasia	0.455	0.484	1.842	0.089	0.964	<0.0001	0.361	<0.0001	9.411	1.746

**Table 6.**  
Spatial distribution of *Phytoseiulus persimilis* on different of roses varieties using Taylor's power law and Iwao's patchiness regression analysis.

**Tabla 6.**  
Distribución Espacial de *Phytoseiulus persimilis* sobre diferentes variedades de rosal usando la ley de poder de Taylor y el análisis de regresión de parches de Iwao.

Variety	a	$\pm Se_a$	b	$\pm Se_b$	R <sup>2</sup>	P <sub>reg</sub>	P <sub>a</sub>	P <sub>b</sub>	t <sub>c</sub>	t <sub>t</sub>
Eggs										
Selena	0.247	0.089	1.709	0.152	0.852	<0.0001	0.011	<0.0001	4.664	1.717
Visión	0.087	0.063	1.757	0.239	0.711	<0.0001	0.182	<0.0001	3.166	1.717
Anastasia	1.077	0.175	0.161	0.083	0.633	<0.0001	0.064	<0.0001	0.439	1.717
Larvae										
Selena	0.019	0.031	0.910	0.094	0.812	<0.0001	0.538	<0.0001	-0.959	1.717
Visión	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1.717
Anastasia	-0.015	0.050	0.308	0.207	0.096	0.150	0.768	0.150	-3.350	1.717
Nymphs										
Selena	0.032	0.040	1.007	0.055	0.938	<0.0001	0.424	<0.0001	0.127	1.717
Visión	0.021	0.032	0.946	0.080	0.864	<0.0001	0.524	<0.0001	-0.678	1.717
Anastasia	-0.147	0.080	-0.162	0.334	0.011	0.633	0.078	0.633	-3.478	1.717
Adults										
Selena	-0.215	0.144	0.293	0.202	0.087	0.162	0.150	0.162	-3.497	1.717
Visión	0.054	0.051	1.451	0.133	0.844	<0.0001	0.304	<0.0001	3.387	1.717
Anastasia	0.099	0.204	0.757	0.526	0.086	0.164	0.633	0.164	-0.463	1.717
Taylor										
	$\alpha$	$\pm Se_\alpha$	$\beta$	$\pm Se_\beta$	R <sup>2</sup>	P <sub>reg</sub>	P <sub><math>\alpha</math></sub>	P <sub><math>\beta</math></sub>	t <sub>c</sub>	t <sub>t</sub>
Eggs										
Selena	0.247	0.089	1.709	0.152	0.956	<0.0001	0.453	<0.0001	12.459	1.717
Visión	-0.086	0.144	2.817	0.313	0.787	<0.0001	0.559	<0.0001	5.812	1.717
Anastasia	-0.105	0.065	2.825	0.170	0.926	<0.0001	0.123	<0.0001	10.753	1.717
Larvae										
Selena	0.008	0.044	1.239	0.131	0.812	<0.0001	0.849	<0.0001	1.828	1.717
Visión	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1.717
Anastasia	-0.009	0.020	2.216	0.132	0.927	<0.0001	0.659	<0.0001	9.186	1.717
Nymphs										
Selena	-0.021	0.051	1.303	0.157	0.758	<0.0001	0.680	<0.0001	1.930	1.717
Visión	-0.007	0.006	1.219	0.020	0.994	<0.0001	0.224	<0.0001	11.001	1.717
Anastasia	0.045	0.024	-0.081	0.160	0.012	0.617	0.077	0.617	-6.770	1.717
Adults										
Selena	0.240	0.152	0.183	0.465	0.007	0.697	0.129	0.697	-1.755	1.717
Visión	-0.093	0.071	1.705	0.110	0.915	<0.0001	0.202	<0.0001	6.379	1.717
Anastasia	0.935	0.567	-1.306	4.810	0.003	0.788	0.113	0.788	-0.479	1.717
Iwao										

Iwao's model showed that most of the developmental stages of *P. persimilis* presents an aggregated spatial distribution; however, in Anastasia variety, eggs distribution was uniform ( $\beta < 1$ ), while it was random ( $\beta = 1$ ) and uniform in nymphs in Selena and Visión varieties (Table 6). Predators aggregation in high densities of preys has been considered as a key attribute of effective biological control agents (Beddington et al., 1978). In this research, *P. persimilis* was found to present an aggregated spatial distribution in the highest density of preys in the varieties where the models (Taylor's & Iwao's) were significant. Regarding the previous statement, Zhang & Sanderson (1995) mention that the force of aggregation increases with predator density and it is positively associated with the suppression of prey density. The same authors mention that the intensity of the aggregated response by *P. persimilis* is positively correlated with the effectiveness of the biological control of *T. urticae* in rose plants under greenhouse conditions.

The sign (negative) of the parameter of Iwao's model indicates that larvae and adults of *T. urticae* present competition for food in Selena variety, while nymphs present this competition in Selena and Visión varieties. As well, nymphs of *P. persimilis* compete for food in Selena and Visión varieties, while adults compete for food in Selena variety. This reflects that meanwhile the phytophagous competes for its food, its predator competes for depredating them.

## Conclusions

*P. persimilis* does not modify spatial distribution of *T. urticae*, but it does for its vertical distribution. Moreover, the phytoseiid oviposites where there is a higher population density of *T. urticae*, favoring the survival of the next generations on rose bush plants, nevertheless, the phytoseiid depends on the abundance of its prey. The aggregation presented by the predator favors a more effective control on the phytophagous.

## References

- Argüelles, A., Plazas, N., Bustos, R., Cantor, F., Rodríguez, D., and Hilarión, A. (2013) Interacción entre dos ácaros depredadores de *Tetranychus urticae* Koch (Acariformes: Tetranychidae) en laboratorio. *Acta Biol. Colomb.* 18: 137-148. <http://bdigital.unal.edu.co/20199/1/16291-166590-3-PB.pdf>
- Alatawi, F., Nechols, J. R., and Margolies, D. C. (2011). Spatial distribution of predators and prey affect biological control of twospotted spider mites by *Phytoseiulus persimilis* in greenhouses. *Biological Control* 56: 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.09.006>
- Bidarnaman, F., Sanatgar, E., and Shabanipoor, M. (2015). Spatial distribution pattern of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on different *Rosa* cultivars in greenhouse Tehran. *Journal of Ornamental Plants.* 5: 175-182. [http://jornamental.iaurasht.ac.ir/article\\_516781.html](http://jornamental.iaurasht.ac.ir/article_516781.html)

fueron aleatoria ( $\beta = 1$ ) y uniforme en Selena y Visión respectivamente (Tabla 6). La agregación de depredadores en altas densidades de presa ha sido considerada como un atributo clave de agentes efectivos de control biológico (Beddington et al., 1978). En este estudio se encontró que *P. persimilis* presenta una distribución espacial agregada en la mayor densidad de presa en las variedades donde los modelos (Taylor & Iwao) fueron significativos. Al respecto menciona Zhang & Sanderson (1995), que la fuerza de agregación aumenta con la densidad de depredadores y se asocia positivamente con la supresión de la densidad de presas. Los mismos autores mencionan que la intensidad de la respuesta agregativa por *P. persimilis* esta positivamente correlacionada con la eficacia del control biológico de *T. urticae* en plantas de rosas bajo condiciones de invernadero.

El signo (negativo) del parámetro  $\alpha$  del modelo Iwao, dice que las larvas y adultos de *T. urticae* presentan competencia por el alimento en Selena, las ninfas en Selena y Visión. Las ninfas de *P. persimilis* en Selena y Visión, los adultos en Selena. Esto refleja que mientras el fitófago compite por su alimento, su depredador compite por depredarlos.

## Conclusiones

*Phytoseiulus persimilis* no modifica la distribución espacial de *T. urticae* pero si su distribución vertical, además el fitoseido oviposita en donde existe mayor densidad población de *T. urticae*, esto favorece a las siguientes generaciones para su supervivencia sobre las plantas de rosal, pero éste queda a expensas de la abundancia de su presa. La agregación que presenta el depredador favorece a un control más efectivo sobre el fitófago.

- Beddington, J. R., Free, C. A. and Lawton, J. H. (1978). Characteristics of successful natural enemies in models of biological control of insect pests. *Nature (Lond.)* 273: 513-519. <https://doi.org/10.1038/273513a0>
- Chacón-Hernández, J. C., Cerna-Chávez, E., Reyes-Zepeda, F., Gaona-García, G., Rocandio-Rodríguez, M., and Landeros-Flores, J. (2017). Respuesta funcional de *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot sobre cuatro estados de desarrollo de *Tetranychus urticae* Koch sobre discos de rosal. *Southwestern Entomologist* 42(2): 485–492. <https://doi.org/10.3958/059.042.0218>
- Chacón-Hernández, J. C., Ruiz-Díaz, A. A., Cerna-Chávez, E., Ochoa-Fuentes, M., Hernández-Juárez, A., Torres-Castillo J., and Landeros-Flores, J. (2016). Efectos de *Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot) sobre tablas de vida de *Tetranychus urticae* Koch en cuatro variedades de rosa. *Southwestern Entomologist* 41(2): 567–576. <https://doi.org/10.3958/059.041.0225>
- Khajehali, J., Van Nieuwenhuysse, P., Demaeght, P., Tirry, L., and Van Leeuwen, T. (2011). Acaricide resistance and resistance mechanisms in *Tetranychus urticae* populations from rose greenhouses in the Netherlands. *Pest Management Science* 67: 1424–1433. <https://doi.org/10.1002/ps.2191>
- Grostal, P. & Dicke, M., (1999). Direct and indirect cues of predation risk influence behavior and reproduction of prey: a case for acarine interactions. *Behav. Ecol* 10(4): 422-427. <https://doi.org/10.1093/beheco/10.4.422>
- Grbic, M., Van Leeuwen, T., Clark, R. M., Rombauts, S., Rouze, P., Grbic, V., Osborne, E.J., Dermauw, W., and Ngoc, P. C. (2011). The genome of *Tetranychus urticae* reveals herbivorous pest adaptations. *Bulletin of the Entomological Society of Egypt LVIII*: 249-259. <https://doi.org/10.1038/nature10640>
- Gutierrez, A. P. (1996). Applied Population Ecology: A Supply Demand Approach. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Hilarión, A., Niño, A., Cantor, F., Rodríguez, D., and Cure, J. R. (2008). Criterios para la liberación de *Phytoseiulus persimilis* Athias Henriot (Parasitiformes: Phytoseiidae) en cultivo de rosa. *Agronomía Colombiana* 26(1): 68-77. <http://bdigital.unal.edu.co/18165/1/13918-40687-1-PB.pdf>
- Iwao, S. (1968). A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal populations. *Researches on Population Ecology* 10: 1-20. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF02514729.pdf>
- Lilley, R., Campbell, C. A. M., and Ridout, M. S. (1999). Vertical dispersal of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*, and the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* on dwarf hops. *Agricultural and Forest Entomology* 1: 111-117. <https://doi.org/10.1046/j.1461-9563.1999.00015.x>
- Nachman, G. (2006). The effects of prey patchiness, predator aggregation, and mutual interference on the functional response of *Phytoseiulus persimilis* feeding on *Tetranychus urticae* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology* 38:87-111. <https://doi.org/10.1007/s10493-006-7209-4>
- Najafabadi S.S.M., Shoushtari, R. V., Zamani, A., Arbad, M., and Farazmand, H. (2011). Effect of nitrogen fertilization on *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) populations on common bean cultivars. *J. Agric. Environ. Sci.* 8(5): 990-998. <http://www.farazmand.ir/Documents/Articles/Farazmand.ir-Article26-Full%20paper.pdf>
- Naher, L. & Haque, M. (2007). Biological Control of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) using *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 3: 550-553.
- Parvin M. M., Asgar, M. A., and Hague, M. M. (2010). Voracity of three predators on two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) and their developmental stages. *Research Journal of Agriculture and Biological Science* 6(1): 77–83. <http://www.aensiweb.net/AENSIWEB/rjabs/rjabs/2010/77-83.pdf>
- Pedigo, L. P., & Buntin, G. D. (1994). Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture. *CRC Press*, Florida, 714 pp. <http://faculty.ucr.edu/~john/1994/Trumble1994.pdf>
- Salazar, F., Carrillo, R., Aguilera, A., and Rebolledo, R. (1998). Antecedentes biológicos de *Tetranychus urticae* (Koch) (Acari: Tetranychidae) en frambueso cv. Heritage, en Temuco, Chile. *Revista Chilena Entomología* 25:15-20. [http://www.insectachile.cl/rchen/pdfs/1998v25/Salazar\\_et\\_al\\_1998.pdf](http://www.insectachile.cl/rchen/pdfs/1998v25/Salazar_et_al_1998.pdf)
- Soler-Salcedo, E., Rodrigo, E., and Ferragut, F. (2006). Colonización, comportamiento alimenticio y producción de daños en las arañas rojas *Tetranychus urticae* y *T. turkestanii* (Acari, Tetranychidae). *Boletín Sanidad Vegetal Plagas* 32: 523-534. [http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf/Plagas%2FBSVP\\_32\\_04\\_1\\_523\\_534.pdf](http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf/Plagas%2FBSVP_32_04_1_523_534.pdf)
- Slone, D. H., & Croft, B. A. (1998). Spatial aggregation of apple mites (Acari: Phytoseiidae, Stigmaeidae, Tetranychidae) as measured by a binomial model: effects of life stage, reproduction, competition, and predation. *Environ. Entomol.* 27: 918-925. <https://doi.org/10.1093/ee/27.4.918>

- Stavrinides, M. C. & Skirvin, D. J. (2003). The effect of chrysanthemum leaf trichome density and prey spatial distribution on predation of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) by *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *Bulletin Entomological Research* 93(4): 343-350. <https://doi.org/10.1079/BER2003243>
- Strong, W. B., Croft, B. A., and Slone, D.H. (1997). Spatial aggregation and refugia of the mites *Tetranychus urticae* and *Neoseiulus fallaciosus* (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) on hop. *Environmental Entomology* 26(4): 859-865. <https://doi.org/10.1093/ee/26.4.859>
- Taylor, L. R. (1961). Aggregation, Variance and the Mean. *Nature* 189: 732-735. <https://doi.org/10.1038/189732a0>
- Tello, V., Vargas, R., Araya, J., and Cardemil, A. (2009). Biological parameters of *Cydnodromus picanus* and *Phytoseiulus persimilis* raised on the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Cien. Inv. Agr.* 36:277-290. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202009000200012>
- Walzer, A., Moder, K., and Schausberger, P. (2009). Spatiotemporal within-plant distribution of the spider mite *Tetranychus urticae* and associated specialist and generalist predators. *Bulletin of Entomological Research* 99: 457-466. <https://doi.org/10.1017/S0007485308006494>
- Walzer, A., Moder, K., and Schausberger, P. (2007) Spatiotemporal within-plant distribution of the spider mite *Tetranychus urticae* confronted with specialist and generalist predators. *IOBC/WPRS Bulletin* 30(5): 139-145. [http://www.iobc-wprs.org/restricted\\_member/iobc-wprs\\_bulletin\\_2007\\_30\\_05.pdf#page=155](http://www.iobc-wprs.org/restricted_member/iobc-wprs_bulletin_2007_30_05.pdf#page=155)
- Zhang, Z. Q., & Sanderson, J. P. (1995). Twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) on greenhouse roses: Spatial distribution and predator efficacy. *Journal of Economic Entomology* 88: 352-357. <https://doi.org/10.1093/jee/88.2.352>