



Toxicity of *Solanum elaeagnifolium* Cav., imidacloprid, and chlorpyrifos extract in adults of *Chrysoperla canea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae)

Toxicidad del extracto de *Solanum elaeagnifolium* Cav., imidacloprid y clorpirifos en adultos de *Chrysoperla canea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae)

Margarita Martínez-Maldonado¹; Fabián García-González^{1*};
María Berenice González-Maldonado²; Jorge Artemio Zegbe-Domínguez³;
Verónica Ávila-Rodríguez⁴

¹Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Carretera Gómez Palacio-Chihuahua km 40, Bermejillo, Durango, C. P. 35230, México.

²Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango. Calle Sigma, núm. 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Durango, C. P. 34220, México.

³Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Pecuarias y Forestales, Campo Experimental Pabellón. Carretera Aguascalientes-Zacatecas km 32.5, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, C. P. 20660, México.

⁴Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad s/n. Fraccionamiento Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, C. P. 35010, México.

*Corresponding author: fgarcia@chapingo.uruza.edu.mx

Abstract

The use of synthetic pesticides and their negative effects have driven the development of alternatives based on natural extracts with insecticidal activity. However, information on their impact on beneficial insects is limited. Therefore, the objective of this study was to evaluate the toxicity of the aqueous extract of *Solanum elaeagnifolium* (Cav., 1794), imidacloprid, and chlorpyrifos on adult *Chrysoperla carnea* s. lat., under laboratory conditions. The results showed that chlorpyrifos had the greatest insecticidal effect, with an LD₅₀ of 19.6 ppm. In contrast, the *S. elaeagnifolium* extract and imidacloprid showed intermediate to low effects, with LD₅₀ of 814.3 and 895.9 ppm, respectively. The recorded mortality rates were: control group 0 %, botanical extract 3.33-4.43 %, imidacloprid 15.56-44.43 %, and chlorpyrifos 17.73-100 %. These results suggest that the *S. elaeagnifolium* extract, applied at moderate doses, may be more compatible with the evaluated natural enemy compared to the synthetic insecticides, which would facilitate its integration into integrated pest management programs. However, further studies are needed to determine its potential for pest control.

Keywords: botanical aqueous extract, LD₅₀, imidacloprid, chlorpyrifos.

Resumen

El uso de plaguicidas sintéticos y sus efectos negativos han impulsado el desarrollo de alternativas basadas en extractos naturales con actividad insecticida. Sin embargo, la información sobre su impacto en insectos benéficos es limitada. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar la toxicidad del extracto acuoso de *Solanum elaeagnifolium* (Cav., 1794), imidacloprid y clorpirifos en adultos de *Chrysoperla carnea* s. lat., en condiciones de laboratorio. Los resultados mostraron que el clorpirifos tuvo el mayor efecto insecticida, con una DL₅₀ de 19.6 ppm. Por el contrario, el extracto de *S. elaeagnifolium* y el imidacloprid presentaron efectos de intermedios a bajos, con DL₅₀ de 814.3 y 895.9 ppm, respectivamente. Las tasas de mortalidad registradas fueron: grupo control de 0 %, extracto botánico de 3.33 a 4.43 %, imidacloprid de 15.56 a 44.43 % y clorpirifos de 17.73 a 100 %. Estos resultados sugieren que el extracto de *S. elaeagnifolium*, aplicado en dosis moderadas, podría ser más compatible con el enemigo natural evaluado en comparación con los insecticidas sintéticos, lo cual facilitaría su integración en programas de manejo integrado de plagas. No obstante, se necesitan más estudios para conocer su potencial en el control de plagas.

Palabras clave: extracto acuoso botánico, DL₅₀, imidacloprid, clorpirifos.

Please cite this article as follows (APA 7): Martínez-Maldonado, M., García-González, F., González-Maldonado, M. B., Zegbe-Domínguez, J. A., & Ávila-Rodríguez, V. (2025). Toxicity of *Solanum elaeagnifolium* Cav., imidacloprid, and chlorpyrifos extract in adults of *Chrysoperla canea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 24, e24001. <https://doi.org/10.5154/r.rchsa.2024.05.001>



Revista Chapingo
Serie Zonas Áridas

Introduction

The growing global demand for food has intensified the pressure on agricultural systems. This has driven the overuse of synthetic chemical pesticides, which are the main tool for protecting crops. However, their irrational and unplanned use has had negative effects, such as environmental pollution, the development of pest resistance, the emergence of secondary pests, and the reduction of natural enemies, which are essential for maintaining pest population balance (Baker et al., 2020).

In response to this problem, more sustainable agricultural production has been promoted through integrated pest management (IPM). This strategy combines techniques and practices focused on economic, environmental, and social aspects (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2023). Among these techniques, biopesticides, obtained from microorganisms, and botanical extracts stand out. These are characterized by their high specificity toward target organisms and represent a promising alternative to synthetic insecticides (Salgado-Garciglia et al., 2019).

In this context, *Solanum elaeagnifolium* (Cav., 1794) (Solanales: Solanaceae), a herbaceous plant containing secondary metabolites with insecticidal properties (quinones, alkaloids, saponins and tannins) (Feki et al., 2014), has been studied for its larvicidal activity in *Culiseta longiareolata* (Macquart, 1838) (Diptera: Culicidae) (Belkhiri et al., 2021) and its phagodissuasive effect on larvae and adults of *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionide) and *Sitophilus oryzae* (Linnaeus, 1763) (Coleoptera: Curculionidae) (Descamps & Sánchez-Chopa, 2013). Similarly, Guevara-Cortez (2021) evaluated the insecticidal activity of extracts from three weed species from arid zones, including *S. elaeagnifolium*, against *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm), using the contaminated diet ingestion method. This author reported that the aqueous extract of *S. elaeagnifolium* fruit produced an average mortality of 47.5 % in second-instar larvae after 24 to 72 h of exposure.

Although the aforementioned studies demonstrate the insecticidal potential of *S. elaeagnifolium*, it is essential to evaluate its selective effects (both lethal and sublethal) on natural enemies of pests at different developmental stages. This would allow for the development of more effective IPM plans by avoiding products that negatively impact beneficial insects. Considering the above, the objective of this study was to evaluate the toxicity of the aqueous extract of *S. elaeagnifolium*, compared to two synthetic insecticides (imidacloprid and chlorpyrifos), on adult *Chrysoperla carnea* under laboratory conditions. *C. carnea* is one of the main predators used in biological

Introducción

La creciente demanda global de alimentos ha intensificado la presión sobre los sistemas agrícolas. Esto ha impulsado el uso excesivo de productos fitosanitarios de síntesis química, los cuales son la principal herramienta para proteger los cultivos. Sin embargo, su uso irracional y no planificado ha presentado efectos negativos, como la contaminación ambiental, el desarrollo de resistencia en las plagas, la aparición de plagas secundarias y la reducción de enemigos naturales, los cuales son fundamentales para mantener el equilibrio poblacional de las plagas (Baker et al., 2020).

Ante esta problemática, se ha promovido una producción agrícola más sostenible a través del manejo integrado de plagas (MIP). Esta estrategia combina técnicas y prácticas enfocadas en aspectos económicos, ambientales y sociales (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2023). Entre estas técnicas destacan los bioplaguicidas, que se obtienen a partir de microorganismos, y los extractos botánicos, caracterizados por su alta especificidad hacia los organismos objetivo y por representar una alternativa prometedora a los insecticidas sintéticos (Salgado-Garciglia et al., 2019).

En este contexto, *Solanum elaeagnifolium* (Cav., 1794) (Solanales: Solanaceae), herbácea que contiene metabolitos secundarios con propiedades insecticidas (quinonas, alcaloides, saponinas y taninos) (Feki et al., 2014), ha sido objeto de estudio por su actividad larvicida en *Culiseta longiareolata* (Macquart, 1838) (Diptera: Culicidae) (Belkhiri et al., 2021) y su efecto fagodisuasivo en larvas y adultos de *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionide) y *Sitophilus oryzae* (Linnaeus, 1763) (Coleoptera: Curculionidae) (Descamps & Sánchez-Chopa, 2013). Asimismo, Guevara-Cortez (2021) evaluó la actividad insecticida de extractos de tres especies de arvenses de zonas áridas, incluida *S. elaeagnifolium* sobre *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero), por el método de ingestión de dieta contaminada. Este autor reportó que el extracto acuoso de frutos de *S. elaeagnifolium* produjo una mortalidad media de 47.5 % en larvas del segundo instar en un lapso de 24 a 72 h de exposición.

Aunque los estudios mencionados evidencian el potencial insecticida de *S. elaeagnifolium*, es fundamental evaluar sus efectos selectivos (tanto letales como subletales) sobre enemigos naturales de plagas en diferentes estados de desarrollo. Esto permitiría desarrollar planes de MIP más eficaces, al evitar los productos que generen un impacto negativo en la fauna entomológica benéfica. Considerando lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la toxicidad del extracto acuoso de *S. elaeagnifolium*, en comparación con dos insecticidas sintéticos (imidacloprid y clorpirifos),

control programs and is considered a key organism for toxicological evaluations of agrochemicals according to the International Organization for Biological Control (IOBC) (Sahayaraj & Hassan, 2023).

Materials and methods

The study was conducted in 2023 at the entomology laboratory of the *Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas* (URUZA) of the *Universidad Autónoma Chapingo* (UACH), in Bermejillo, Durango, Mexico (25° 53' N and 103° 36' W, at 1 130 m a. s. l.). The average annual rainfall in the area is 304 mm, with a maximum temperature of 44 °C and a minimum of 10.2 °C (Medina-García et al., 2005).

The bioassay was established under a completely randomized experimental design, derived from a $3 \times 4 + 1 = 13$ factorial arrangement: three toxic compounds (one of natural origin [*S. elaeagnifolium*] and two synthetic ones [imidacloprid and chlorpyrifos]), four concentrations (5, 50, 100 and 500 ppm, each with three replicates) and an absolute control (distilled water). The concentrations were determined using a biological response window, which allows identification of the range of concentrations that produce from 0 to 100 % mortality. The control group registered 0 % mortality, so it was not necessary to apply statistical corrections.

To obtain the botanical extract, *S. elaeagnifolium* plants in the fruiting stage were collected at El Carmen ranch in URUZA. The whole plants were dried at room temperature and cut into pieces approximately 5 cm long to facilitate the grinding process. Subsequently, a stock solution was prepared with 500 g of plant material and 1 000 mL of distilled water. The extract was obtained using a hydraulic press, according to the method described by García-González et al. (2019). The resulting liquid was filtered with Whatman No. 1 filter paper and stored in an airtight container at 4 °C.

In the case of the insecticides imidacloprid and chlorpyrifos, the products were formulated as stock solutions. The concentrations tested were prepared from these.

The treatments were applied according to the direct contact residual method described by Xu et al. (2001), with some modifications. Thirty-nine individual vials were treated with 5 mL of each aqueous solution of the treatments. Subsequently, the residue from the solutions was removed, and the vials were left to dry for 5 h in a fume hood. Glass vials measuring 2.5 cm in diameter by 9.5 cm in length were used, which were covered with organza fabric. Thirty *C. carnea* adults, 24 to 48 h in age, acquired from a breeding center for beneficial organisms located in Culiacán, Sinaloa,

sobre adultos de *Chrysoperla carnea* en condiciones de laboratorio. *C. carnea* es uno de los principales depredadores utilizados en programas de control biológico y es considerado un organismo clave para las evaluaciones toxicológicas de agroquímicos según la Organización Internacional de Control Biológico (IOBC, por sus siglas en inglés) (Sahayaraj & Hassan, 2023).

Materiales y métodos

El estudio se realizó en 2023 en el laboratorio de entomología de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), en Bermejillo, Durango, México (25° 53' N y 103° 36' O, a 1 130 m s. n. m.). La precipitación promedio anual de la zona es de 304 mm, con temperatura máxima de 44 °C y mínima de 10.2 °C (Medina-García et al., 2005).

El bioensayo se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar, derivado de un arreglo factorial $3 \times 4 + 1 = 13$: tres compuestos tóxicos (uno de origen natural [*S. elaeagnifolium*] y dos sintéticos [imidacloprid y clorpirifos]), cuatro concentraciones (5, 50, 100 y 500 ppm, cada una con tres repeticiones) y un testigo absoluto (agua destilada). Las concentraciones se determinaron mediante una ventana de respuesta biológica, la cual permite identificar el rango de concentraciones que producen desde 0 hasta 100 % de mortalidad. El testigo registró 0 % de mortalidad, por lo que no fue necesario aplicar correcciones estadísticas.

Para la obtención del extracto botánico, se recolectaron plantas de *S. elaeagnifolium* en etapa de fructificación en el rancho El Carmen de la URUZA. Las plantas completas se secaron a temperatura ambiente y se cortaron en trozos de aproximadamente 5 cm para facilitar el proceso de molienda. Posteriormente, se preparó una solución madre con 500 g de material vegetal y 1 000 mL de agua destilada. El extracto se obtuvo mediante prensa hidráulica, de acuerdo con el método descrito por García-González et al. (2019). El líquido resultante se filtró con papel Whatman No. 1 y se almacenó en un recipiente hermético a 4 °C.

En el caso de los insecticidas imidacloprid y clorpirifos, se utilizaron los productos formulados como soluciones madre. A partir de estos, se prepararon las concentraciones evaluadas.

Los tratamientos se aplicaron de acuerdo con el método residual de contacto directo descrito por Xu et al. (2001), con algunas modificaciones. Se trataron 39 viales individuales con 5 mL de cada disolución acuosa de los tratamientos. Posteriormente, se eliminó el residuo de las disoluciones y los viales se dejaron secar durante 5 h en una campana de extracción. Se

were introduced into each treated vial. For adult management, a diet consisting of spirulina, honey, brewer’s yeast, pollen, and water was prepared and administered onto a 1 × 5 cm acetate strip. Purified water was also provided via a 1 cm³ sponge. The vials were placed in an incubator at 23.9–25 °C throughout the biological cycle.

Mortality was assessed at 24, 48, and 72 h by mechanical stimulation with a camel-hair brush; individuals that did not respond to the stimulus were considered dead. From the mortality percentages, the median lethal dose (LD₅₀) of the evaluated insecticides was calculated.

Statistical analysis

The data obtained were subjected to analysis of variance and Tukey’s mean comparison tests ($\alpha = 0.05$) in the InfoStat program version 2020. The LD₅₀ was estimated by probit analysis in the LD₅₀ Calculator software (version 2022).

Results and discussion

Statistical analysis of *S. elaeagnifolium* extract concentrations showed minimal effects on *C. carnea* mortality. Recorded mortality rates ranged from 0 to 4.4 %, with significant differences ($p < 0.05$) compared to the control (Table 1). These results contrast with those reported by Hamouda et al. (2015), who observed mortality rates of 34 % in *T. castaneum* and 23.6 % in *Myzus persicae* when using 2 % (20 000 ppm) *S. elaeagnifolium* berry extracts. Similarly, Guevara-Cortez (2021) obtained a 47.5 % mortality rate in *S. frugiperda* when applying a 10 % aqueous extract of *S. elaeagnifolium* fruit (100 000 ppm). These differences can be attributed to several factors, such as the target species (pests vs. beneficial insects) and their taxonomic classification. For example, *S. frugiperda* belongs to the order Lepidoptera and *C. carnea* to Neuroptera, while

utilizaron viales de vidrio de 2.5 cm de diámetro por 9.5 cm de largo, los cuales se cubrieron con tela de organza. En cada vial tratado se introdujeron 30 adultos de *C. carnea* de 24 a 48 h de emergencia, adquiridos en un centro reproductor de organismos benéficos ubicado en Culiacán, Sinaloa. Para el manejo de los adultos, se preparó una dieta compuesta por espirulina, miel de abeja, levadura de cerveza, polen y agua, y se administró sobre una tira de acetato de 1 × 5 cm. Además, se les suministró agua purificada a través de una esponja de 1 cm³. Los viales se colocaron en una incubadora a 23.9-25 °C durante todo el ciclo biológico.

La mortalidad se evaluó a las 24, 48 y 72 h mediante estimulación mecánica con un pincel de pelo de camello; los individuos que no respondieron al estímulo se consideraron muertos. A partir de los porcentajes de mortalidad, se calculó la dosis letal media (DL₅₀) de los insecticidas evaluados.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) en el programa InfoStat versión 2020. La DL₅₀ se estimó mediante un análisis probit en el programa LD₅₀ Calculator (versión 2022).

Resultados y discusión

El análisis estadístico de las concentraciones del extracto de *S. elaeagnifolium* mostró efectos mínimos sobre la mortalidad de *C. carnea*. Las tasas registradas fluctuaron entre 0 y 4.4 %, con diferencias significativas ($p < 0.05$) respecto al testigo (Cuadro 1). Estos resultados contrastan con los reportados por Hamouda et al. (2015), quienes observaron mortalidades de 34 % en *T. castaneum* y de 23.6 % en *Myzus persicae* al usar extractos de bayas de *S. elaeagnifolium* al 2 % (20 000 ppm). De manera similar, Guevara-Cortez (2021) obtuvo una mortalidad de 47.5 %

Table 1. Effect of different concentrations of the aqueous extract of *Solanum elaeagnifolium* on the mortality of *Chrysoperla carnea* under *in vitro* conditions after 72 h of exposure.
Cuadro 1. Efecto de diferentes concentraciones del extracto acuoso de *Solanum elaeagnifolium* sobre la mortalidad de *Chrysoperla carnea* en condiciones *in vitro* después de 72 h de exposición.

Toxic agent source / Fuente del tóxico	Concentration (ppm) / Concentración (ppm)	Mortality (%) / Mortalidad (%)
Control /Testigo	0	0.0 (± 0.6) a
<i>S. elaeagnifolium</i> extract / Extracto de <i>S. elaeagnifolium</i>	5	3.3 (± 0.6) b
	50	5.5 (± 0.6) b
	100	6.6 (± 0.6) b
	500	4.4 (± 0.6) b

Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $p \geq 0.05$).
Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \geq 0.05$).

T. castaneum and *M. persicae* are classified in Coleoptera and Homoptera, respectively. Furthermore, previous studies used considerably higher concentrations, as well as different plant organs (fruits, berries, or the whole plant) and routes of exposure.

Although several studies have demonstrated insecticidal activity of *S. elaeagnifolium* extracts, the results of this study show that, under laboratory conditions, the aqueous extract of this plant exhibits low toxicity to adult *C. carnea*. This suggests a favorable selectivity towards beneficial insects, although its effectiveness for pest control requires much higher concentrations than those evaluated in this study.

In the case of imidacloprid, a variable effect was observed. At low concentrations (between 0 and 100 ppm), mortality was low or nonexistent, with no significant differences ($p \leq 0.05$) between the doses and the control (Table 2). However, when the concentration was increased to 500 ppm, mortality rose to 44.4 %. These data suggest that imidacloprid exhibits a dose-dependent response, showing a marked increase in toxicity at high concentrations under residual exposure. These findings differ from those reported by Soomro et al. (2019), who recorded a 50 % mortality in *C. carnea* exposed to 2.3 ppm of the same insecticide, but through topical exposure, which highlights the influence of the exposure method on the insect response.

Regarding chlorpyrifos, lethal effects were recorded at high doses. The 500 ppm concentration caused 100 % mortality, while intermediate concentrations (50 and 100 ppm) showed proportional effects. The 5 ppm dose and the control showed little or no impact, respectively, on adult survival (Table 3).

The findings of this study regarding chlorpyrifos are consistent with those reported by Ullah et al. (2017), who observed an 86.67 % mortality rate in adult *C. carnea* after 48 h of residual exposure. This suggests that

sobre *S. frugiperda* al aplicar un extracto acuoso de frutos de *S. elaeagnifolium* al 10 % (100 000 ppm). Estas diferencias se pueden atribuir a varios factores, como las especies objetivo (plagas vs. insectos benéficos) y su clasificación taxonómica. Por ejemplo, *S. frugiperda* pertenece al orden Lepidoptera y *C. carnea* a Neuroptera, mientras que *T. castaneum* y *M. persicae* se clasifican en Coleoptera y Homoptera, respectivamente. Además, en los estudios previos se emplearon concentraciones considerablemente más elevadas, así como diferentes órganos vegetales (frutos, bayas o planta entera) y vías de exposición.

Aunque diversos estudios han demostrado actividad insecticida de los extractos de *S. elaeagnifolium*, los resultados del presente trabajo evidencian que, bajo condiciones de laboratorio, el extracto acuoso de esta planta presenta baja toxicidad sobre adultos de *C. carnea*. Esto sugiere una selectividad favorable hacia insectos benéficos, aunque su eficacia para el control de plagas requiere concentraciones mucho mayores a las evaluadas en este trabajo.

En el caso del imidacloprid, se observó un efecto variable. A bajas concentraciones (entre 0 y 100 ppm), la mortalidad fue baja o nula, sin diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las dosis y el testigo (Cuadro 2). Sin embargo, al aumentar la concentración a 500 ppm, la mortalidad se elevó hasta 44.4 %. Estos datos sugieren que el imidacloprid presenta una respuesta dosis-dependiente, al presentar un incremento marcado de la toxicidad con concentraciones elevadas bajo la exposición residual. Estos hallazgos difieren de los reportados por Soomro et al. (2019), quienes registraron una mortalidad de 50 % en *C. carnea* expuesta a 2.3 ppm del mismo insecticida, pero mediante exposición tópica, lo cual resalta la influencia del método de exposición en la respuesta de los insectos.

Respecto al clorpirifos, se registraron efectos letales a dosis elevadas. La concentración de 500 ppm causó una mortalidad de 100 %, mientras que las concentraciones

Table 2. Effect of different concentrations of the insecticide imidacloprid on the mortality of *Chrysoperla carnea* under *in vitro* conditions after 72 h of exposure.

Cuadro 2. Efecto de diferentes concentraciones del insecticida imidacloprid sobre la mortalidad de *Chrysoperla carnea* en condiciones *in vitro* después de 72 h de exposición.

Toxic agent source / Fuente del tóxico	Concentration (ppm) / Concentración (ppm)	Mortality (%) / Mortalidad (%)
Control/Testigo	0	0.0 (± 1.1) b
Imidacloprid	5	15.5 (± 1.1) b
	50	18.9 (± 1.1) b
	100	30.0 (± 1.1) ab
	500	44.4 (± 1.1) a

Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $p \geq 0.05$).

Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \geq 0.05$).

Table 3. Effect of different concentrations of the insecticide chlorpyrifos on the mortality of *Chrysoperla carnea* under *in vitro* conditions after 72 h of exposure.

Cuadro 3. Efecto de diferentes concentraciones del insecticida clorpirifos sobre la mortalidad de *Chrysoperla carnea* en condiciones *in vitro* después de 72 h de exposición.

Toxic agent source / Fuente del tóxico	Concentration (ppm) / Concentración (ppm)	Mortality (%) / Mortalidad (%)
Control/Testigo	0	0.0 (± 4.8) b
Chlorpyrifos / Clorpirifos	5	17.7 (± 4.8) b
	50	66.6 (± 4.8) ab
	100	80.0 (± 4.8) ab
	500	100.0 (± 4.8) a

Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $p \geq 0.05$).
Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \geq 0.05$).

chlorpyrifos exhibits high toxicity to this beneficial predator, even with short exposure periods. These results highlight the need to carefully consider the application rates of chlorpyrifos, as relatively low concentrations could have a devastating impact on populations of natural enemies such as *C. carnea*, which could negatively affect the biological control of pests and favor their resurgence.

The LD₅₀ was determined to establish the acute toxicity of the evaluated insecticides on adult *C. carnea* (Table 4). The *S. elaeagnifolium* extract showed an LD₅₀ of 814.3 ppm, a value higher than the evaluated concentration range (5–500 ppm), indicating that higher doses are needed to exceed the 50 % mortality threshold in adult *C. carnea*. This finding differs from that reported by Markouk et al. (2000), who obtained an LD₅₀ of 59.8 ppm for an *S. elaeagnifolium* berry extract. These differences could be attributed to variations in the composition and concentration of bioactive compounds present in the extracts, as well as to the susceptibility of the *C. carnea* populations evaluated. Overall, the results suggest that the whole-plant extract would have a reduced impact on *C. carnea* in IPM programs, compared to the use of the berry extract.

Regarding synthetic insecticides, chlorpyrifos was found to be more toxic to adult *C. carnea* than imidacloprid, which had an LD₅₀ (895.9 ppm) similar to that of the *S. eleagnifolium* extract, indicating that concentrations higher than this value are required to achieve mortality greater than 50 %. This result differs considerably from that reported by Ullah et al. (2017), who found a much higher LD₅₀ (9419.0 ppm) for this insecticide. The observed discrepancy may be due to differences in exposure methods, assay duration, experimental conditions, and the characteristics of the populations used. Chlorpyrifos, on the other hand, exhibited the lowest LD₅₀ (19.6 ppm), which is consistent with the high mortality levels observed above 50 ppm. However, this value is lower than

intermedias (50 y 100 ppm) presentaron efectos proporcionales. La dosis de 5 ppm y el testigo mostraron una baja o nula afectación, respectivamente, sobre la supervivencia de los adultos (Cuadro 3).

Los hallazgos del presente estudio en relación con el clorpirifos coinciden con los reportados por Ullah et al. (2017), quienes observaron una mortalidad de 86.67 % en adultos de *C. carnea* después de 48 h de exposición residual. Lo anterior sugiere que el clorpirifos presenta una alta toxicidad para este depredador benéfico, incluso en periodos cortos de exposición. Estos resultados destacan la necesidad de considerar cuidadosamente las dosis de aplicación de clorpirifos, ya que concentraciones relativamente bajas podrían tener un impacto devastador sobre las poblaciones de enemigos naturales como *C. carnea*, lo cual podría repercutir negativamente en el control biológico de plagas y favorecer su resurgimiento.

La DL₅₀ se determinó para establecer la toxicidad aguda de los insecticidas evaluados sobre los adultos de *C. carnea* (Cuadro 4). El extracto de *S. elaeagnifolium* presentó una DL₅₀ de 814.3 ppm, valor superior al intervalo de concentraciones evaluado (5-500 ppm), lo cual indica que se necesitan dosis mayores para superar el umbral de 50 % de mortalidad en adultos de *C. carnea*. Este hallazgo difiere de lo reportado por Markouk et al. (2000), quienes obtuvieron una DL₅₀ de 59.8 ppm para un extracto de bayas de *S. elaeagnifolium*. Estas diferencias se podrían atribuir a las variaciones en la composición y concentración de los compuestos bioactivos presentes en los extractos, así como a la susceptibilidad de las poblaciones de *C. carnea* evaluadas. En conjunto, los resultados sugieren que el extracto de la planta completa tendría un impacto reducido sobre *C. carnea* en programas de MIP, en comparación con el uso del extracto de bayas.

En cuanto a los insecticidas sintéticos, se observó que el clorpirifos fue más tóxico para adultos de *C. carnea*

Table 4. Median lethal dose (LD₅₀) of the aqueous extract of *Solanum elaeagnifolium*, and the insecticides imidacloprid and chlorpyrifos on adults of *Chrysoperla carnea*.

Cuadro 4. Dosis letal media (DL₅₀) del extracto acuoso de *Solanum elaeagnifolium*, y los insecticidas imidacloprid y clorpirifos sobre adultos de *Chrysoperla carnea*.

Toxic agent source / Fuente del tóxico	LD ₅₀ (ppm) / DL ₅₀ (ppm)	Fiduciary limits at 95 % / Límites fiduciales al 95 %	
		Lower / Inferior	Upper / Superior
<i>S. elaeagnifolium</i> extract / Extracto de <i>S. elaeagnifolium</i>	814.3	1.78	371959.9
Imidacloprid	895.93	79.61	10082.0
Chlorpyrifos / Clorpirifos	19.68	9.24	41.9

that reported by Ullah et al. (2017), who obtained an LD₅₀ of 683.3 ppm. These discrepancies could be due to experimental variations, including interpopulation differences.

These findings underscore the need to rigorously evaluate the selectivity of insecticides, both synthetic and botanical, before their integration into IPM programs, to minimize negative impacts on beneficial organisms and promote the sustainability of the agroecosystem.

Conclusions

The results of this study show that the aqueous extract of *S. elaeagnifolium* exhibits low toxicity to *C. carnea* under laboratory conditions, compared to synthetic insecticides such as imidacloprid and chlorpyrifos. The high LD₅₀ estimated for the botanical extract confirms its reduced risk to this key biological control agent in agroecosystems.

Unlike the insecticides evaluated, which caused significant mortality in adult *C. carnea*, the aqueous extract of *S. elaeagnifolium* appears to be an alternative with less negative impact on populations of this predator. This reinforces its potential for integration into integrated pest management programs, especially in systems that aim to conserve and promote natural enemies. However, it is recommended to delve deeper into complementary studies that evaluate other exposure pathways, different development stages, and field conditions, to determine its viability and effectiveness in real production scenarios.

que el imidacloprid, el cual tuvo una DL₅₀ (895.9 ppm) similar a la del extracto de *S. elaeagnifolium*, lo cual indica que se requieren concentraciones superiores a este valor para alcanzar una mortalidad mayor al 50 %. Este resultado difiere considerablemente de lo reportado por Ullah et al. (2017), quienes encontraron una DL₅₀ mucho más alta (9419.0 ppm) para este insecticida. La disparidad observada se puede deber a diferencias en los métodos de exposición, la duración del ensayo, las condiciones experimentales y las características de las poblaciones utilizadas. Por su parte, el clorpirifos exhibió la DL₅₀ más baja (19.6 ppm), lo cual concuerda con los altos niveles de mortalidad observados a partir de 50 ppm. Sin embargo, este valor es inferior al reportado por Ullah et al. (2017), quienes obtuvieron una DL₅₀ de 683.3 ppm. Las discrepancias se podrían deber a las variaciones experimentales, incluyendo las diferencias interpoblacionales.

Estos hallazgos subrayan la necesidad de evaluar rigurosamente la selectividad de los insecticidas, tanto sintéticos como botánicos, antes de su integración en programas de MIP, con la finalidad de minimizar los impactos negativos sobre los organismos benéficos y favorecer la sostenibilidad del agroecosistema.

Conclusiones

Los resultados de este estudio muestran que el extracto acuoso de *S. elaeagnifolium* presenta una baja toxicidad para *C. carnea* en condiciones de laboratorio, en comparación con insecticidas sintéticos como imidacloprid y clorpirifos. La elevada DL₅₀ estimada para el extracto botánico confirma su reducido riesgo sobre este agente de control biológico clave en los agroecosistemas.

A diferencia de los insecticidas evaluados, que causaron una mortalidad significativa en los adultos de *C. carnea*, el extracto acuoso de *S. elaeagnifolium* se perfila como una alternativa con menor impacto negativo sobre las poblaciones de este depredador. Esto refuerza su

End of English version

References / Referencias

- Baker, B. P., Green, T. A., & Loker, A. J. (2020). Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*, 140, 104095. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104095>
- Belkhir, N., Benhissen, S., Habbachi, W., Yagoub-Asloum, A., Hedjouli, Z., Habbachi, S., Rebbas, K., & Ferah, N. (2021). Larvicidal activity of extracts from six plant species on larvae of *Culiseta longiareolata* (Diptera; Culicidae). *Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 22(53), 98-106. <https://ikprress.org/index.php/PCBMB/article/view/7017>
- Descamps, L. R., & Sánchez-Chopa, C. (2013). Efecto antialimentario de extractos de *Solanum elaeagnifolium* (Solanales, Solanaceae) en insectos plaga de almacenaje. *Acta Entomológica Chilena*, 33(1-2), 11-16. <https://revistas.umce.cl/index.php/actaent/article/view/2500>
- Feki, H., Koubaa, I., & Damak, M. (2014). Secondary metabolites and antioxidant activity of seed extracts from *Solanum elaeagnifolium* Cav. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 2(5), 639-647. <https://doi.org/10.13171/mjc.2014.05.01.22>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). *Manejo integrado de plagas y plaguicidas*. FAO. <https://www.fao.org/pest-and-pesticide-management/ipm/integrated-pest-management/es/>
- García-González, F., Guevara-Cortez, S., & Hernández-Salgado, J. R. (2019). Evaluación de metodologías para la obtención de extractos acuosos de plantas para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith). IV Congreso Internacional y XV Congreso Nacional Sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas, 41-42. https://congresorebiza.mx/wp-content/uploads/2019/11/REBIZA_2019.pdf#page=53
- Guevara-Cortez, S.C. (2021). *Evaluación de extractos vegetales en el control in vitro del gusano cogollero Spodoptera frugiperda J.E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae)* [Tesis Maestría]. Universidad Autónoma Chapingo. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/2d7251ce-01e0-48c4-a0e5-4c350d55fc5b>
- Hamouda, A. B., Zarrad, K., Laarif, A., & Chaieb, I. (2015). Insecticidal effect of *Solanum elaeagnifolium* extracts under laboratory conditions. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 3, 187-190. <https://www.entomoljournal.com/archives/2015/vol3issue3/PartC/3-3-81.pdf>
- potencial para incorporarse en programas de manejo integrado de plagas, especialmente en sistemas que buscan conservar y promover enemigos naturales. No obstante, se recomienda profundizar en estudios complementarios que evalúen otras vías de exposición, diferentes etapas de desarrollo y condiciones de campo, a fin de determinar su viabilidad y eficacia en escenarios productivos reales.
- Fin de la versión en español**
- Markouk, M., Bekkouche, K., Larhsini, M., Bousaid, M., Lazrek, H. B., & Jana, M. (2000). Evaluation of some Moroccan medicinal plant extracts for larvicidal activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 73(1-2), 293-297. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(00\)00257-9](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00257-9)
- Medina-García, G., Díaz-Padilla, G., López-Hernández, J., Ruíz-Corral, J. A., & Marín-Silva, M. (2005). *Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango* (Periodo 1961 – 2003). CIRONOC-INIFAP.
- Sahayaraj, K., & Hassan, E. (2023). General ecology of insect predators. In E. Hassan (Ed.), *Worldwide Predatory Insects in Agroecosystems* (pp. 95-112). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-99-1000-7>
- Salgado-Garciglia, R., Pérez-López, H., García-Munguía, A. M., & Loeza-Lara, P. D. (2019). Extractos vegetales: Una fuente importante de compuestos naturales bioplaguicidas. *Revista Alter, Enfoques Críticos*, 10, 17-27.
- Soomro, Q. A., Sultana, R., Muhammad, R., Sohail, M., & Khuhro, N. H. (2019). *In-vitro* study of sub-lethal effect of new chemistry insecticides on the adult *Chrysoperla carnea* (Stephens). *Advances in Agriculture and Animal Sciences*, 35(1), 29-33. <https://pjaaevs.sau.edu.pk/index.php/ojs/article/view/312>
- Ullah, Z., Sabri, M. A., Ahmad, S., Bilal, H., Hussain, D., Mughal, T. K., Mohsin, M., Aftab, A., & Ahmad, M. I. (2017). *In vitro* study of comparative toxicity of different insecticides against *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(3), 697-702. <https://www.entomoljournal.com/archives/2017/vol5issue3/PartJ/5-3-7-168.pdf>
- Xu, J., Shelton, A. M., & Cheng, X. (2001). Variation in susceptibility of *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) to permethrin. *Journal of Economic Entomology*, 94(2), 541-546. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-94.2.541>