



## Eficiencia de extractos botánicos de *Jatropha curcas* L. para el control de *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae)\*

### Efficiency of botanical extracts from *Jatropha curcas* L. for the control of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae)

Pedro Fernando Silva-Illescas<sup>1</sup>, Julio M. Arias-Reverón<sup>2</sup>

\* Recepción: 14 de agosto, 2024. Aceptación: 14 de noviembre, 2024. Este trabajo formó parte del proyecto de tesis del primer autor para optar al grado de Maestría en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Protección de Cultivos de la Universidad de Costa Rica.

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León. León, Nicaragua. [pedro.silva@ev.unanleon.edu.ni](mailto:pedro.silva@ev.unanleon.edu.ni) (autor para correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-4531-4121>).

<sup>2</sup> Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. [julio.arias@ucr.ac.cr](mailto:julio.arias@ucr.ac.cr) (<https://orcid.org/0000-0002-9956-9138>).

## Resumen

**Introducción.** *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) es considerada una de las principales plagas asociadas a cultivos hortícolas y ornamentales, sobre todo en invernaderos. Para su manejo adecuado, deben integrarse diferentes métodos y técnicas, incluyendo el uso de extractos botánicos. **Objetivo.** Evaluar la eficacia de extractos botánicos elaborados con *Jatropha curcas* para el control de *Trialeurodes vaporariorum* en condiciones de laboratorio. **Materiales y métodos.** El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Entomología del Centro de Investigación en Protección de Cultivos de la Universidad de Costa Rica. Se implementó una adaptación de las metodologías descritas por Liu y Stansly (1995) e Ibrahim y Mostafa (2018), en la que se evaluó la eficacia, la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) y el tiempo letal medio (TL<sub>50</sub>) de extractos botánicos acuosos de hojas, tallos y semillas de dos accesiones de *J. curcas* en concentraciones de 50, 100, 150 y 200 g/L sobre *T. vaporariorum*. **Resultados.** Los valores menores de CL<sub>50</sub> (1,52 g/L) y TL<sub>50</sub> (61,01 horas), así como los valores mayores de eficacia (superiores a 65 %), se obtuvieron con los extractos de hoja, pero únicamente en el TL<sub>50</sub> hubo diferencias significativas. La concentración fue el más importante en la estimación de la eficacia, según el valor del criterio de información de Akaike, y se estimó que la eficacia incrementó en 0,15 % por cada unidad de concentración. Ninguno de los extractos evaluados causó fitotoxicidad en plantas de *Solanum melongena* L. **Conclusiones.** Los extractos de hojas representan una prometedora alternativa para el combate de *T. vaporariorum*; sin embargo, es necesario determinar los compuestos químicos que inducen la mortalidad.

**Palabras clave:** mosca blanca, eficacia, concentración letal media, tiempo letal medio.

## Abstract

**Introduction.** *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) is considered one of the main pests affecting horticultural and ornamental crops, especially in greenhouses. Effective management of this pest requires the integration of various methods and techniques, including the use of botanical extracts. **Objective.** To evaluate the efficacy of botanical extracts derived from *Jatropha curcas* for the control of *Trialeurodes vaporariorum* under laboratory conditions. **Materials and**



**methods.** The study was conducted in the Entomology Laboratory of the Crops Protection Research Center, Universidad de Costa Rica. An adaptation of the methodologies described by Liu and Stansly (1995) and Ibrahim and Mostafa (2018) was implemented to evaluate the efficacy, median lethal concentration ( $LC_{50}$ ), and median lethal time ( $LT_{50}$ ) of aqueous botanical extracts made from leaves, stems, and seeds of two *J. curcas* accessions at concentrations of 50, 100, 150, and 200 g/L on *T. vaporariorum*. **Results.** The lowest  $LC_{50}$  (1.52 g/L) and  $LT_{50}$  (61.01 hours) values, as well as the highest efficacy values (above 65 %), were achieved with leaf extracts with significant differences observed exclusively in the  $LT_{50}$  values. Concentration was the most important factor in efficacy estimation according to the Akaike information criterion, and efficacy increased by 0.15 % for each concentration unit. None of the evaluated extracts caused phytotoxicity in *Solanum melongena* L. plants. **Conclusions.** The leaf extracts are a promising alternative for the control of *T. vaporariorum*; however, it is necessary to determine the compounds in *Jatropha* leaves that induce mortality.

**Keywords:** whitefly, efficacy, median lethal concentration, median lethal time.

## Introducción

Las moscas blancas son insectos polífagos considerados como unas de las principales plagas en zonas tropicales y subtropicales (Greathead, 1986). Se han reportado más de 600 especies vegetales que son afectadas mundialmente por especies de mosca blanca. Se conoce que 35 cultivos pertenecientes a 14 familias son afectados por estos insectos en América Latina. *Bemisia tabaci* (Gennadius) y *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) son las especies más distribuidas y las que más daños ocasionan (Hilje & Morales, 2008).

*Trialeurodes vaporariorum* es un insecto plaga en ambientes protegidos (Gorman et al., 2007). Afecta a los cultivos mediante alimentación directa y favorece el desarrollo de hongos en la superficie de las hojas, denominados “fumaginas” (Piepenbring, 2015). Sin embargo, el principal problema asociado a este insecto es la transmisión de virus a cultivos hortícolas y ornamentales, como Closteroviridae, Virus del Atontamiento Amarillo de la Remolacha (BYSV, por sus siglas en inglés), Virus de la Clorosis Infecciosa del Tomate (TICV, por sus siglas en inglés) y Virus de la Clorosis del Tomate (ToCV, por sus siglas en inglés) (Criniviridae) (Anderson et al., 2005; Jones, 2003; Wisler et al., 1998).

Debido al valor económico de los cultivos afectados por *T. vaporariorum*, es necesario desarrollar programas de manejo integrado para su control (Hilje, 2001). El manejo integrado de mosca blanca incluye la implementación de variedades resistentes, control biológico, control químico y uso de prácticas culturales (Hilje, 2005). Dentro de estas estrategias, se han evaluado extractos botánicos elaborados con plantas como *Canavalia ensiformis* L., *Tephrosia vogelii* Hook. (Fabaceae) y *Tithonia diversifolia* Hook. (Aguilar et al., 2003); *Montanoa hibiscifolia* Benth. (Asteraceae) (Bagnarello et al., 2009); *Gliricidia sepium* Jacq. (Fabaceae) (Flores et al., 2008); *Azadirachta indica*, A. Juss. (Meliaceae) (Diabaté et al., 2014; Navarrete et al., 2016), y *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) (Diabaté et al., 2014; Escobar Villacres, 2015).

*Jatropha curcas* ha sido estudiada para la producción de extractos que controlan a la mosca blanca, debido a la presencia de compuestos conocidos como “antinutrientes”, que son sustancias que inhiben rutas metabólicas durante la digestión de los organismos (Novak & Haslberger, 2000). También se ha registrado el efecto de estos compuestos para reducir la ingestión de alimento por parte de los insectos (Valdez-Ramirez et al., 2023).

Para evaluar extractos botánicos en el control de *T. vaporariorum*, se pueden usar parámetros como la concentración experimental de una sustancia estudiada que produciría la mortalidad del 50 % de un grupo de organismos bajo condiciones específicas (concentración letal media,  $CL_{50}$ ) (United States Environmental Protection Agency, 2012). Además, se puede evaluar el tiempo letal medio ( $TL_{50}$ ), que corresponde al tiempo requerido para

alcanzar la muerte de la mitad de la población de organismos expuestos a una determinada de sustancia (Al-Badran et al., 2018). Otros parámetros como eficacia y fitotoxicidad también se utilizan en la evaluación de extractos, pero no existe una norma específica que estipule los parámetros que deben evaluarse (Ivase et al., 2021).

El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia de extractos botánicos elaborados con *Jatropha curcas* para el control de *Trialeurodes vaporariorum* en condiciones de laboratorio.

## Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Entomología del Centro de Investigación en Protección de Cultivos (CIPROC) de la Universidad de Costa Rica, ubicado en el edificio de la Facultad de Ciencias Agroalimentarias, sede Rodrigo Facio (N 9° 56' 10,965", O 84° 3' 2,977") a 1220 m s. n. m. El laboratorio registró una temperatura promedio de 25,25 °C, con un rango entre 22 y 30,30 °C, y una humedad promedio de 63,59 %, con valores entre 46 y 71 %.

### Definición de los tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron extractos botánicos obtenidos de tres órganos de *J. curcas* (hojas, tallos y semillas) provenientes de dos accesiones (JCCR23 y JCCR31) ubicadas en el Banco de Germoplasma de la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, la cual posee suelos de textura franco arcillosa y 6,4 de pH. Cada extracto se evaluó en concentraciones de 0 (testigo), 50, 100, 150 y 200 g/L. Las repeticiones de los tratamientos se establecieron con una semana de diferencia permitiendo definir bloques como momentos de evaluación.

### Diseño experimental

El estudio se efectuó bajo un diseño de bloques completos aleatorios (DBCA) y constó de seis extractos. Cada extracto se evaluó en cinco concentraciones para un total de treinta tratamientos. Los tratamientos fueron bloqueados mediante el factor tiempo con cuatro momentos, para un total de 120 unidades experimentales. Las evaluaciones se realizaron con material vegetal de dos accesiones de *J. curcas*; la primera (JCCR31), con menor contenido de ésteres de forbol (0,2286 mg/g), y la segunda (JCCR23), con mayor contenido de ésteres de forbol (0,5053 mg/g). La medición de ésteres de forbol de dichas accesiones se llevó a cabo por medio de cromatografía líquida de alta presión (HPLC) (Vega Quirós, 2018).

### Metodología de extracción

El material vegetal se recolectó y se dejó secar bajo sombra; una vez seco, se procedió a triturar. Posteriormente, se pesó la cantidad de materia seca necesaria para cada concentración (50, 100, 150 y 200 g/L) y se mezcló con 1000 mL de agua para obtener una solución masa/volumen, como describen Alegre et al. (2017) y Eziah (1999). Finalmente, la solución se mezcló por dos horas y se dejó reposar durante 48 horas (Eziah, 1999). Luego, se filtró y guardó en envases de cristal color ámbar.

El estudio se efectuó bajo un DBCA y constó de seis extractos. Cada extracto se evaluó en cinco concentraciones (incluyendo el testigo) para un total de treinta tratamientos. Los tratamientos fueron bloqueados mediante el factor tiempo con cuatro momentos, para un total de 120 unidades experimentales.

### Establecimiento de la cría masiva de *T. vaporariorum*

La cría masiva de *T. vaporariorum* se estableció en un invernadero del CIPROC utilizando plantas de *Solanum melongena* L., las cuales se introdujeron en jaulas con manga de dimensión 1,18 m<sup>3</sup> de volumen, que permitieron la extracción de especímenes del insecto, así como la transferencia de plantas dentro y fuera de la jaula. Los ejemplares de *T. vaporariorum* se recolectaron en la Estación Experimental Fabio Baudrit de la Universidad de Costa Rica a partir de treinta plantas de *S. lycopersicum* previamente inoculadas. Las plantas inoculadas con *T. vaporariorum* se colocaron en la jaula junto a las plantas de *S. melongena* para la reproducción del insecto.

### Establecimiento del bioensayo

Para evaluar el efecto de los extractos de *J. curcas* sobre *T. vaporariorum*, se implementó una adaptación a la metodología propuesta por Liu y Stansly (1995) e Ibrahim y Mostafa (2018). Se colocaron treinta plantas de *S. lycopersicum* de la variedad gladiador en etapa de crecimiento vegetativo y libres de mosca blanca dentro de las jaulas de cría de *T. vaporariorum* por 24 horas, permitiendo a los insectos depositar sus huevos en el follaje de las plantas. Transcurrido este tiempo, se retiraron las plantas del pie de cría de los insectos y se permitió la eclosión de huevos y desarrollo de ninfas hasta el tercer instar ninfal (14 días) (Liu & Stansly, 1995). Se tomó un folíolo de la planta que tuviera al menos diez ninfas y se contabilizó la cantidad de ninfas presentes. Posteriormente, se aplicó el extracto correspondiente con un atomizador y se colocó el folíolo en un vial de 35 mL con agua, sin esponja, para mantener la hoja turgente. A las 24, 48, 72 y 96 horas después de la aplicación de los extractos, se evaluó la cantidad de ninfas muertas por folíolo, considerando muertas aquellas ninfas que estaban secas, mostraban color café o deformaciones (Caballero, 1996).

### Variables evaluadas

Se evaluó el número de ninfas muertas a las horas explicadas anteriormente para determinar el tiempo letal medio (TL<sub>50</sub>). Con los datos de ninfas muertas a las 96 horas en cada concentración, se estimó la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) y, posteriormente, la eficacia de los extractos mediante la ecuación corregida de Abbott (Hilje, 2001) (ecuación 1).

$$MC = \frac{MTr - MTe}{100 - MTe} * 100 \quad (1)$$

Donde *MC* es el porcentaje de muerte corregida, *MTr* es el porcentaje de mortalidad por tratamiento y *MTe* es el porcentaje de mortalidad del testigo.

### Evaluación de fitotoxicidad

Para determinar los efectos fitotóxicos (clorosis, marchitamiento, deformaciones, pérdida de turgencia) de los extractos acuosos de hojas, tallos y semillas de *J. curcas*, se aplicaron los extractos en plantas de *S. melongena*. Las concentraciones utilizadas para la evaluación de fitotoxicidad fueron las mismas que se implementaron en los ensayos de CL<sub>50</sub>, TL<sub>50</sub> y eficacia (50, 100, 150 y 200 g/L). Se evaluaron tres plantas por cada tratamiento (24 en total) y tres plantas testigos a las que se les aplicó agua para un total de 75 plantas.

## Análisis de los datos

Para efectuar el análisis estadístico de los datos se construyó una base en el programa Microsoft Excel 2013, la cual se analizó en el programa R para Windows. Primero, se importó la base de datos en el programa R mediante la función “import” del paquete “rio” (Chan et al., 2018). Después se generó un modelo lineal generalizado para la variable eficacia usando la función “glm” del paquete “stats” (R Core Team, 2020). Se estimó el valor del criterio de información de Akaike (AIC) y el peso de Akaike mediante la función “glmulti” del paquete señalado (Calcagno, 2020) para determinar los factores con mayor importancia en el modelo.

Para la estimación de la  $CL_{50}$  se utilizó la función “dose.p” del paquete “MASS” (Venables & Ripley, 2002) y para el cálculo del  $TL_{50}$  se empleó la función “LT\_logit” del paquete “ecotox” (Hlina et al., 2021). La comparación entre las  $CL_{50}$  de cada órgano, así como sus  $TL_{50}$ , se realizó por medio de la función “ratio\_test” del paquete “ecotox” (Hlina et al., 2021).

## Resultados

### Determinación de la concentración letal media ( $CL_{50}$ )

La mortalidad del 50 % de la población de *T. vaporariorum* se registró con una concentración inferior a 75 g/L de los extractos provenientes de los tres órganos evaluados. Los extractos botánicos de *J. curcas* elaborados con hojas presentaron el valor de  $CL_{50}$  más bajo (1,52 g/L), mientras que los valores de tallo y semilla fueron de 42,98 g/L y 74,94 g/L, respectivamente (Cuadro 1). Sin embargo, las comparaciones realizadas entre las  $CL_{50}$  de los extractos no mostraron diferencia significativa a un 95 % de confiabilidad (Cuadro 2).

**Cuadro 1.** Concentración letal media ( $CL_{50}$ ) de extractos acuosos de hojas, tallos y semillas de *Jatropha curcas* en el control de *Trialeurodes vaporariorum*. San José, Costa Rica, 2020.

**Table 1.** Median lethal concentration ( $CL_{50}$ ) of aqueous extracts from leaves, stems and seeds of *Jatropha curcas* in *Trialeurodes vaporariorum* control. San José, Costa Rica, 2020.

Órgano	$CL_{50}$ (g/L)	Error estándar
Hoja	1,52	9,12
Tallo	42,98	0,70
Semilla	74,94	0,28

Tamaño de la muestra por órgano: 32. / Sample size per organ: 32.

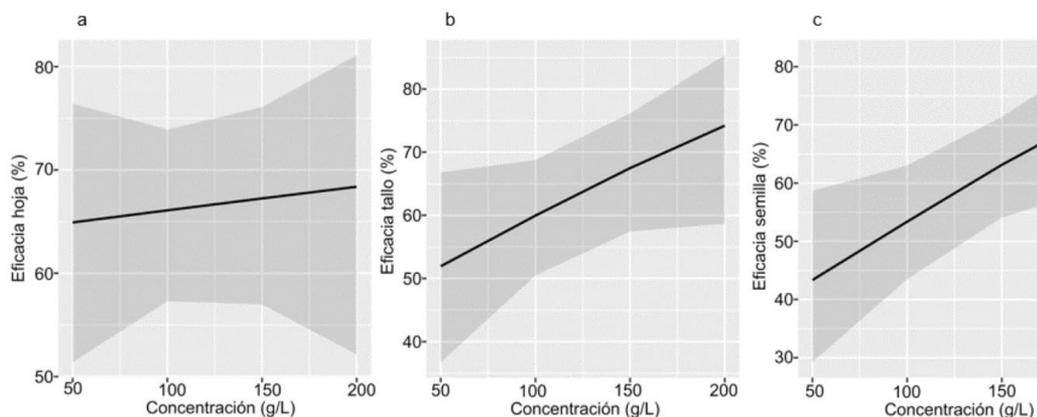
**Cuadro 2.** Comparación de la concentración letal media ( $CL_{50}$ ) entre extractos acuosos de hojas, tallos y semillas de *Jatropha curcas* en el combate de *Trialeurodes vaporariorum* a una confiabilidad del 95 % mediante la función “ratio\_test” del paquete “ecotox”. San José, Costa Rica, 2020.

**Table 2.** Comparison of the median lethal concentration ( $CL_{50}$ ) among aqueous extracts of leaves, stems, and seeds of *Jatropha curcas* in *Trialeurodes vaporariorum* control at a 95 % confidence level, using the “ratio\_test” function of the “ecotox” package. San José, Costa Rica, 2020.

Extractos comparados	Error estándar	Valor P
Hoja-Tallo	29,54	0,96
Hoja-Semilla	29,54	0,95
Tallo-Semilla	0,20	0,22

Valores de *P* menores a 0,05 presentan diferencia significativa. / *P* values less than 0.05 indicate statistically significant difference.

La probabilidad de muerte promedio de *T. vaporariorum* con los extractos elaborados con hojas fue mayor al 60 % en todas las concentraciones evaluadas, pero no se alcanzó el 70 % en ninguna concentración. Sin embargo, los extractos de hojas presentaron los resultados más variables. Para los extractos elaborados con tallo, la probabilidad de muerte resultó mayor a 50 % en todas las concentraciones, mientras que para los extractos de semilla fue mayor a 40 %. Tanto los extractos de tallo como los de semilla alcanzaron el 70 % en la concentración de 200 g/L (Figura 1).



**Figura 1.** Eficacia de extractos acuosos de *Jatropha curcas* sobre el control de *Trialeurodes vaporariorum*, según concentración: (a) hoja, (b) tallo, (c) semilla. San José, Costa Rica, 2020.

Las áreas sombreadas en gris representan los intervalos de confianza.

**Figure 1.** Efficacy of aqueous extracts of *Jatropha curcas* in controlling *Trialeurodes vaporariorum*, by concentration: (a) leaf, (b) stem, (c) seed. San José, Costa Rica, 2020.

The gray shaded areas represent the confidence value.

### Determinación del tiempo letal medio (TL<sub>50</sub>)

El tiempo promedio en el que se presentó la muerte del 50 % de la población de *T. vaporariorum* después de la aplicación de los extractos fue menor a 78 horas. El valor más bajo de TL<sub>50</sub> se obtuvo con los extractos de hoja, los cuales alcanzaron la mortalidad del 50 % de *T. vaporariorum* a las 61,01 h después de la aplicación. Los extractos de tallo requirieron de 69,48 horas para producir la muerte en el 50 % de la población, mientras que los extractos de semilla necesitaron 77,53. Las semillas fueron el único órgano que requirió más de tres días para producir la muerte del 50 % de la población (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Tiempo letal medio (TL<sub>50</sub>) de extractos acuosos de hojas, tallos y semillas de *Jatropha curcas* en el combate de *Trialeurodes vaporariorum*. San José, Costa Rica, 2020.

**Table 3.** Median lethal time (TL<sub>50</sub>) of aqueous extracts of leaves, stems, and seeds of *Jatropha curcas* in *Trialeurodes vaporariorum* control. San José, Costa Rica, 2020.

Órgano	TL <sub>50</sub> (horas)	Error estándar
Hoja	61,01	0,06
Tallo	69,48	0,07
Semilla	77,53	0,06

Tamaño de la muestra por órgano: 32. / Sample size per organ: 32.

Se evidenció que el tiempo que se necesitó para ocasionar la muerte de la mitad de la población de *T. vaporariorum* disminuyó a medida que incrementó la concentración de los extractos; esto significa que el  $TL_{50}$  de los extractos es inversamente proporcional a su concentración. Los valores de  $TL_{50}$  de los extractos acuosos de *J. curcas* variaron entre 45,63 h, con intervalos de confianza de 27,65 y 68,81 h (extractos de hoja 200 g/L), hasta 113,91 horas, con intervalos de confianza de 83,41 y 335,54 h (extractos de semilla 50 g/L) (Cuadro 4). La comparación del  $TL_{50}$  de los tres extractos a una confiabilidad del 95 % muestra que se diferencian significativamente entre sí (Cuadro 5).

**Cuadro 4.** Tiempo letal medio ( $TL_{50}$ ) de extractos acuosos de hojas, tallos y semillas de *Jatropha curcas* en concentraciones de 50, 100, 150 y 200 g/L en el combate de *Trialeurodes vaporariorum*. San José, Costa Rica, 2020.

**Table 4.** Median lethal time ( $TL_{50}$ ) of aqueous extracts of leaves, stems, and seeds of *Jatropha curcas* at concentrations of 50, 100, 150, and 200 g/L in *Trialeurodes vaporariorum* control. San José, Costa Rica, 2020.

Órgano	Concentración (g/L)	$TL_{50}$	Límite inferior	Límite superior
Hoja	50	72,69	56,28	109,59
	100	51,95	40,93	64,44
	150	69,38	53,78	100,73
	200	45,63	27,65	68,81
Tallo	50	76,83	54,60	151,42
	100	76,42	60,60	110,92
	150	69,29	54,82	96,36
	200	53,96	38,44	74,38
Semilla	50	113,91	83,41	334,54
	100	99,64	70,10	246,26
	150	72,22	61,62	88,42
	200	57,71	47,11	71,23

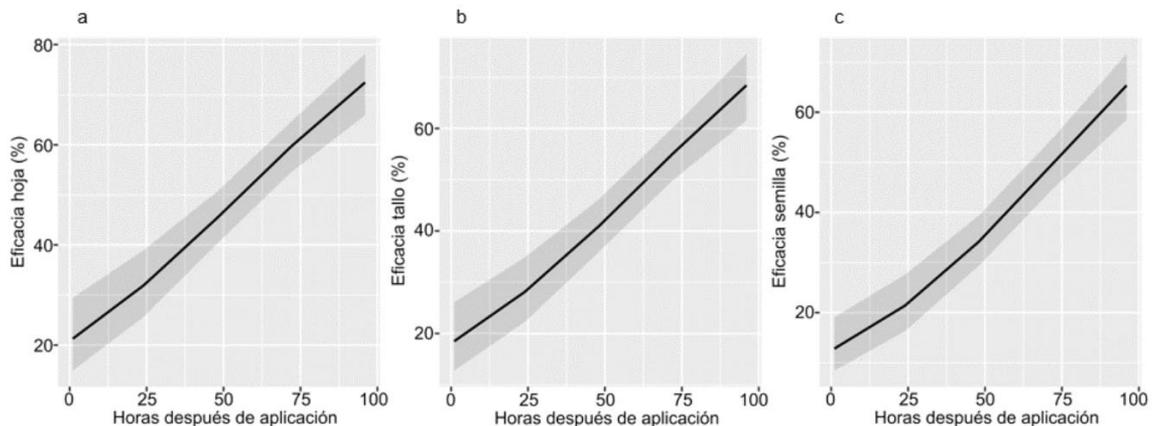
**Cuadro 5.** Comparación del tiempo letal medio ( $TL_{50}$ ) entre extractos acuosos de hojas, tallos y semillas de *Jatropha curcas* en el combate de *Trialeurodes vaporariorum* a una confiabilidad del 95 % mediante la función “ratio\_test” del paquete “ecotox”. San José, Costa Rica, 2020.

**Table 5.** Comparison of the median lethal time ( $TL_{50}$ ) between aqueous extracts of leaves, stems, and seeds of *Jatropha curcas* in *Trialeurodes vaporariorum* control at a 95 % confidence level using the “ratio\_test” function of the “ecotox” package. San José, Costa Rica, 2020.

Extractos comparados	Error estándar	Valor P
Hoja-Tallo	0,02	0,02
Hoja-Semilla	0,02	0,00
Tallo-Semilla	0,02	0,04

Valores de *P* menores a 0,05 presentan diferencia significativa. / *P* values less than 0.05 indicate statistically significant difference.

La probabilidad de muerte de *T. vaporariorum* según las horas después de aplicación de los extractos fluctuó entre valores menores al 20 %, después de una hora, hasta valores mayores al 60 %, pasadas las 90 h de la aplicación para los extractos de tallo y semilla. Los extractos elaborados con hojas presentaron una probabilidad de muerte mayor al 20 % desde la primera hora posterior a la aplicación, y se alcanzó una probabilidad mayor al 70 % luego de 90 h (Figura 2).



**Figura 2.** Eficacia de extractos acuosos de *Jatropha curcas* sobre el control de *Trialeurodes vaporariorum*, según horas después de la aplicación: (a) hoja, (b) tallo, (c) semilla. San José, Costa Rica, 2020.

Las áreas sombreadas en gris representan los intervalos de confianza.

**Figure 2.** Efficacy of aqueous extracts of *Jatropha curcas* in controlling *Trialeurodes vaporariorum*, by hours after application: (a) leaf, (b) stem, (c) seed. San José, Costa Rica, 2020.

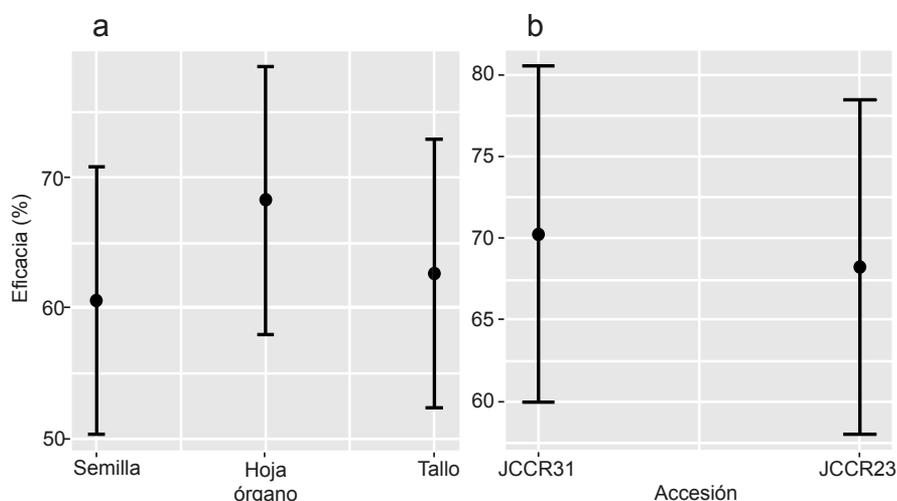
The gray shaded areas represent the confidence interval.

### Evaluación de la eficacia

La eficacia de los extractos botánicos de *J. curcas* fue afectada en mayor manera por la concentración, debido a que este factor tuvo importancia en la mortalidad de *T. vaporariorum*. Los extractos elaborados con hojas, tallos y semillas presentaron una eficacia superior al 60 %, alcanzando el 65 % con los extractos de hojas (Figura 3a). En cuanto a la eficacia de los extractos según la accesión utilizada, el mayor valor se obtuvo con la accesión JCCR31, la cual superó el 70 %, mientras que los extractos obtenidos de la accesión JCCR23 obtuvieron el 66 % (Figura 3b).

Aunque los extractos de hoja alcanzaron un valor de eficacia 5,57 % superior a los elaborados con tallos y 7,64 % mayor que los de semilla, no hubo una diferencia significativa entre los órganos con una confiabilidad del 95 %. En el factor accesión, se evidenció un comportamiento similar debido a que la accesión JCCR31 tuvo 2,00 % mayor eficacia sin presentar diferencia estadística significativa. Los resultados del factor bloque no mostraron significancia estadística, pero evidenciaron un ligero incremento en la eficacia de los extractos a medida que pasa el tiempo después de su elaboración.

El único factor que presentó un efecto significativo en la eficacia fue la concentración de los extractos, con un aumento de 0,15 % por cada unidad de concentración, y un intervalo de confianza entre 0,06 y 0,24 % (Cuadro 6).



**Figura 3.** Porcentaje de eficacia de extractos de hoja, tallo y semilla de dos accesiones de *Jatropha curcas* en el control de *Trialeurodes vaporariorum*. (a) Eficacia de extractos según el órgano utilizado en la elaboración del extracto. (b) Eficacia de extractos según la accesión utilizada para la elaboración del extracto. San José, Costa Rica, 2020.

Las barras dentro de las figuras representan el error estándar.

**Figure 3.** Efficacy percentage of leaf, stem, and seed extracts of two *Jatropha curcas* accessions in *Trialeurodes vaporariorum* control. (a) Efficacy of extracts according to the organ used in the preparation of the extract. (b) Efficacy of extracts according to the accession used in the preparation of the extract. San José, Costa Rica, 2020.

The bars within the figures represent the standard error.

**Cuadro 6.** Resumen del modelo lineal generalizado (estimado, error estándar, estadístico Z, valor de P e intervalos de confianza inferior [ICI] y superior [ICS]) para la eficacia de extractos acuosos de *Jatropha curcas* en el control de *Trialeurodes vaporariorum*, según accesión, bloque, concentración y órgano, a una confiabilidad del 95 %. San José, Costa Rica, 2020.

**Table 6.** Summary of the generalized linear model (estimated, standard error, Z statistic, P value, and lower confidence intervals [ICI] and upper confidence intervals [ICS]) for the efficacy of aqueous extracts of *Jatropha curcas* in *Trialeurodes vaporariorum* control, according to accession, block, concentration, and organ, at a 95 % confidence level. San José, Costa Rica, 2020.

	Estimado	Error estándar	Estadístico	Valor P	ICI	ICS
(Intercept)	47,17	9,83	4,8	0,00	27,91	66,43
Concentración	0,15	0,05	3,23	0,00	0,06	0,24
Semilla	-7,64	6,40	-1,19	0,24	-20,19	4,91
Tallo	-5,57	6,40	-0,87	0,39	-18,12	6,98
Accesión JCCR31	2,00	5,23	0,38	0,70	-8,25	12,24
Bloque	0,88	2,35	0,37	0,71	-3,73	5,48

En el modelo se excluyen las primeras variables de cada factor por orden alfabético (hoja en órgano y la accesión JCCR23) y se comparan con las otras variables. Valores negativos significan que la variable tiene una menor eficacia promedio con respecto a la variable excluida, mientras que valores positivos representan un promedio mayor. Valores de *P* inferiores a 0,05 presentan diferencia significativa. / In the model, the first variables of each factor are excluded in alphabetical order (leaf in organ and accession JCCR23) and compared with the other variables. Negative values mean that the variable has a lower average efficacy with respect to the excluded variable, while positive values represent a higher average. *P* values less than 0.05 indicate statistically significant difference.

**Cuadro 7.** Determinación del mejor modelo para la variable eficacia según el criterio de información de Akaike (AICc) y el peso de Akaike, evaluando los factores accesión, bloque, concentración y órgano de *Jatropha curcas*. San José, Costa Rica, 2020.

**Table 7.** Determination of the best model for the variable efficacy according to the Akaike information criterion (AICc) and Akaike weight, evaluating the factors accession, block, concentration, and organ of *Jatropha curcas*. San José, Costa Rica, 2020.

Modelo	AICc	Peso
Eficacia ~ 1 + Concentración	897,98	0,43
Eficacia ~ 1 + Concentración + Accesión	900,00	0,16
Eficacia ~ 1 + Concentración + Bloque	900,01	0,15
Eficacia ~ 1 + Concentración + Órgano	900,79	0,10
Eficacia ~ 1 + Concentración + Accesión + Bloque	902,08	0,05
Eficacia ~ 1 + Concentración + Órgano + Accesión	902,91	0,04
Eficacia ~ 1 + Concentración + Órgano + Bloque	902,92	0,04
Eficacia ~ 1 + Concentración + Órgano + Accesión + Bloque	905,09	0,01
Eficacia ~ 1	906,07	0,01
Eficacia ~ 1 + Accesión	908,07	0,00
Eficacia ~ 1 + Bloque	908,07	0,00
Eficacia ~ 1 + Órgano	908,95	0,00
Eficacia ~ 1 + Accesión + Bloque	910,12	0,00
Eficacia ~ 1 + Órgano + Accesión	911,04	0,00
Eficacia ~ 1 + Órgano + Bloque	911,05	0,00
Eficacia ~ 1 + Órgano + Accesión + Bloque	913,19	0,00

Menores valores de AICc y mayor peso de Akaike determinan un mejor modelo. / Lower AICc values and higher Akaike weights determine a better model.

El efecto de la concentración como el factor más importante en la eficacia se evidencia al poseer el menor valor del criterio de información de Akaike (AICc) (897,98), así como el mayor valor de peso de Akaike (0,43) (Cuadro 7).

### Efecto fitotóxico de los extractos

La evaluación de fitotoxicidad de los extractos acuosos de hojas, tallos y semillas de *J. curcas* mostró que la aplicación directa de estos sobre plantas de *S. melongena* no produjo síntomas de fitotoxicidad en los tejidos. Se observó que ninguna de las plantas tratadas con concentraciones de hasta 200 g/L presentó síntomas de daño (Figura 4).

## Discusión

A pesar de que no existió diferencia estadística significativa en la eficacia ni en la  $CL_{50}$  entre los extractos de *J. curcas*, se observó una tendencia de los extractos de hoja a producir mayores valores de mortalidad en *T. vaporariorum* con concentraciones menores en comparación con los extractos de tallo y semilla. Una tendencia similar con extractos de hojas de *Jatropha* spp. fue reportada por Ingle et al. (2017a) en evaluaciones realizadas con *Spodoptera litura* Fabricius. (Lep.: Noctuidae) con extractos al 5 % de concentración obtenidos con metanol,



**Figura 4.** Efecto fitotóxico de extractos acuosos de hojas, tallos y semillas de dos accesiones de *Jatropha curcas* sobre *Solanum melongena* en cuatro concentraciones (g/L): (a) 50, (b) 100, (c) 150, (d) 200. San José, Costa Rica, 2020.

El orden de los extractos de derecha a izquierda es semilla (JCCR31), semilla (JCCR23), hoja (JCCR31), hoja (JCCR23), tallo (JCCR31), tallo (JCCR23) y control.

**Figure 4.** Phytotoxic effect of aqueous extracts from leaves, stems, and seeds of two *Jatropha curcas* accessions on *Solanum melongena* at four concentrations (g/L): (a) 50, (b) 100, (c) 150, (d) 200. San José, Costa Rica, 2020.

The order of the extracts from right to left is seed (JCCR31), seed (JCCR23), leaf (JCCR31), leaf (JCCR23), stem (JCCR31), stem (JCCR23), and control.

consiguiendo una mortalidad del 60 % con hojas y del 20 % con semillas. Esto sugiere que deben hacerse más análisis de los compuestos químicos con potencial insecticida presentes en hojas de *J. curcas*.

En hojas de *J. curcas*, se han identificado compuestos con efecto insecticida como el friedelina, que presentó actividad sobre *Spodoptera litura* y *Leptinotarsa decemlineata* Say. (Col.: Chrysomelidae) (Moiteiro et al., 2006),

y el taraxasterol, que mostró toxicidad sobre *Plutella xylostella* L. y *Brevicoryne brassicae* L. (Hem.: Aphididae) (Yang & Lin, 2017). También se identificó un éster de forbol (12,13-diacetato de forbol) y tres compuestos derivados de forbol (12-deoxiforbol, 4,12-dideoxiforbol y 4,9,12-trideoxiforbol), con propiedades insecticidas (Da Silva et al., 2019). La identificación de compuestos insecticidas en hojas de *J. curcas* permitiría una mayor comprensión de la eficacia de extractos elaborados con este órgano, ya que se le atribuye más un valor antimicrobial o medicinal, a diferencia de la semilla, que tiene más importancia como insecticida (Abdelgadir & Van Staden, 2013).

La gran variabilidad observada en los valores de mortalidad según la concentración de los extractos explica la marcada diferencia entre los valores de  $CL_{50}$  de hoja (1,52 g/L) en comparación con los de tallo y semilla (42,98 g/L y 74,94 g/L), a pesar de que no se detectaron diferencias significativas entre sus valores de eficacia (Figura 2a). Los extractos de hoja alcanzaron valores de mortalidad superiores a 60 % desde la concentración de 50 g/L, mientras que los de tallo y semilla presentaron valores inferiores a 55 % en las concentraciones más bajas (Figura 1). Debido a que la variabilidad en los resultados fue muy alta, no se detectó diferencia estadística significativa.

Extractos acuosos elaborados con otras especies vegetales, como *Achillea biebersteinii* L., *Artemisia inculta* Delie. (Asteraceae), *Ballota undulata* (Sieber ex Fresen) Benth., *Phlomis syriaca* Boiss. (Lamiaceae), *Euphorbia hierosolymitana* Boiss. (Euphorbiaceae), *Galium longifolium* (Sm.) Griseb. (Rubiaceae), *Lepidium sativum* L. (Brassicaceae), *Pimpinella anisum* L. (Apiaceae) y *Retama raetam* Forssk. (Fabaceae), han sido evaluados en el combate de ninfas de *B. tabaci*, obteniendo resultados inferiores a los de este estudio (29,60 %-71,00 %) (Ateyyat et al., 2009). Incluso, no se ha observado efecto sobre la mortalidad al utilizar extractos de *Acalypha gaumeri* Pax & K. Hoffm. (Euphorbiaceae), *Annona squamosa* L. (Annonaceae), *Carlowrightia myriantha* Standl. (Acanthaceae), *Petiveria alliacea* L. (Phytolaccaceae) y *Trichilia arborea* L. (Meliaceae) (Cruz-Estrada et al., 2013).

El tiempo requerido para alcanzar la muerte del 50 % de la población de *T. vaporariorum* (menos de 78 horas para los tres órganos) fue menor que el obtenido en otros estudios, en los que la muerte de la mitad de la población de *S. frugiperda* se logró a los seis días después de la aplicación de extractos de hoja de *Jatropha gossypifolia* L. obtenidos con etanol a una concentración de 40 g/L (Bullangpoti et al., 2012). Es importante que los extractos de *J. curcas* sean de rápida acción en el combate de vectores como *T. vaporariorum*, cuya principal afectación es la transmisión de virus a los cultivos (Simmons & Riley, 2021). Lograr el control antes de que el insecto alcance el estado adulto y aumente su dispersión mediante la capacidad de vuelo reduciría la diseminación de virus fitopatógenos (Rincón et al., 2019).

La eficacia de los extractos de *J. curcas* es muy variada según el órgano utilizado, el método de extracción que se implemente y la especie de insecto evaluado, debido principalmente a la cantidad de antinutrientes presentes en el material vegetal (Devappa et al., 2010). Los ésteres de forbol, que son los compuestos a los que se les adjudica la principal actividad insecticida, se encuentran en todos los órganos de *J. curcas* en rangos de 2 a 6 en semilla; 1,83 a 2,75 en hojas, y 0,78 a 0,99 en tallos (mg/g de materia seca) (Devappa et al., 2010). Estos compuestos estimulan la proteína quinasa C en las células (Ratnadass & Wink, 2012), lo que afecta la síntesis de la hormona juvenil de insectos (Jing et al., 2018), provocando su muerte en estadios inmaduros.

La semilla es el órgano de *J. curcas* en donde se encuentra la mayor cantidad de ésteres de forbol y otros antinutrientes como fitatos e inhibidores de tripsina (Devappa, Rajesh et al., 2012). Sin embargo, en este estudio los extractos de semilla tuvieron los valores menos favorables en las evaluaciones de  $CL_{50}$ ,  $TL_{50}$  y eficacia. Esto podría explicarse por la baja solubilidad de los ésteres de forbol en agua (Arias et al., 2007); al tratarse de extractos acuosos, es posible que la extracción de estos compuestos no haya sido homogénea, lo que habría reducido su eficacia.

El contenido de ésteres de forbol promedio de la accesión JCCR23 (0,5053 mg/g) fue mayor que el de la accesión JCCR31 (0,2286 mg/g) (Vega Quirós, 2018); no hubo diferencia significativa entre los extractos según la accesión. El contenido de compuestos químicos en plantas depende de factores como el origen del material, la ubicación de la plantación, las características del suelo, la edad y estado fenológico del cultivo, y la época del año

(Rodríguez-Montero et al., 2020). Dado que ambas accesiones se desarrollaron bajo las mismas condiciones y son de edades y estados fenológicos similares, esto explicaría que no se presentara diferencia entre los extractos.

Los extractos acuosos de hojas, tallos y semillas de *J. curcas* representan una promisorio herramienta para el combate de *T. vaporariorum*, debido a que se produjo una mortalidad similar a la alcanzada con extractos obtenidos con solventes orgánicos evaluados en otros insectos de importancia agrícola (Bullangpoti et al., 2012; Devappa, Makkar & Becker, 2012; Eziah, 1999; Ingle et al., 2017b); incluso sobre *T. vaporariorum*, donde se obtuvo una mortalidad de ninfas superior al 80 % usando extractos de hoja de *Jatropha urens* L. (Vinasco et al., 2015).

Estudios de alelopatía efectuados con extractos acuosos en bajas concentraciones de *J. curcas* sobre plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) (Poaceae) presentaron pocos efectos adversos en la longitud de brotes o en área foliar. De manera similar, en este estudio no se identificaron efectos negativos sobre las plantas de *S. melongena*. Extractos acuosos en concentraciones de 6,25 % y 3,12 % exhibieron efectos benéficos en el crecimiento y desarrollo de las plantas de trigo (Khattak et al., 2015; Reichel et al., 2013). Los fenoles son los compuestos que mayor efecto tienen en la germinación y crecimiento de plantas (Khattak et al., 2015). Concentraciones altas de extractos de *J. curcas* han afectado la longitud, el peso seco, el peso fresco, el contenido de clorofila y la actividad de enzimas como nitrato reductasa y aminotransferasas en plantas; sin embargo, también se ha observado un incremento de la actividad de ascorbato peroxidasa y superóxido dismutasa (Tomar et al., 2015).

## Conclusiones

Los extractos botánicos de hojas, tallos y semillas de dos accesiones de *Jatropha curcas* lograron un control eficiente de *Trialeurodes vaporariorum*, sin producir efectos secundarios en las plántulas de *Solanum melongena*. Los extractos de hojas obtuvieron mayor control del insecto (CL<sub>50</sub> de 1,52 g/L, TL<sub>50</sub> de 61,01 horas y eficacia superior al 65 %). Se recomienda continuar con más estudios para determinar los compuestos presentes en las hojas de *J. curcas* con fines insecticidas.

## Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD, por sus siglas en alemán), por el financiamiento de esta investigación; al Centro de Investigación en Protección de Cultivos de la Universidad de Costa Rica, por facilitar las instalaciones para llevar a cabo los ensayos, y al ingeniero Guillermo Vargas de la misma universidad, por proporcionar el material vegetal de *Jatropha curcas*.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

## Referencias

- Abdelgadir, H. A., & Van Staden, J. (2013). Ethnobotany, ethnopharmacology and toxicity of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae): A review. *South African Journal of Botany*, 88, 204–218. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2013.07.021>

- Aguilar, A., Kass, D., Mora, G., & Hilje, L. (2003). Fagodisuasión de tres extractos vegetales sobre los adultos de *Bemisia tabaci*. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 68, 62–70.
- Al-Badran, A. A., Fujiwara, M., Gatlin III, D. M., & Mora, M. A. (2018). Lethal and sub-lethal effects of the insecticide fipronil on juvenile brown shrimp *Farfantepenaeus aztecus*. *Scientific Reports*, 8(1), Article 10769. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29104-3>
- Alegre, A., Iannacone, J., & Carhuapoma, M. (2017). Toxicidad del extracto acuoso, etanólico y hexánico de *Annona muricata*, *Minthostachys mollis*, *Lupinus mutabilis*, y *Chenopodium quinoa* sobre *Tetranychus urticae* y *Chrysoperla externa*. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Science*, 33(3), 273–284. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902017005000705>
- Anderson, P. K., Morales, F. J., Jones, A. L., & Markham, R. H. (2005). *Whitefly and whitefly-borne viruses in the tropics: Building a knowledge base for global action*. Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Arias, G. P., Stashenko, E., & Torres, R. (2007). Biotransformación de terpenos r(+)-limoneno, a-pineno y ?-terpineno por medio de cloroperoxidasa de *Caldariomyces fumago*. *Scientia et Technica*, 1(33), 75–78. <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5867>
- Ateyyat, M. A., Al-Mazra'awi, M., Abu-Rjai, T., & Shatnawi, M. A. (2009). Aqueous extracts of some medicinal plants are as toxic as Imidacloprid to the sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci*. *Journal of Insect Science*, 9(1), Article 15. <https://doi.org/10.1673/031.009.1501>
- Bagnarello, G., Hilje, L., Bagnarello, V., Cartín, V., & Calvo, M. (2009). Actividad fagodisuasiva de las plantas *Tithonia diversifolia* y *Montanoa hibiscifolia* (Asteraceae) sobre adultos del insecto plaga *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Revista de Biología Tropical*, 57(4), 1201–1215. <https://doi.org/10.15517/rbt.v57i4.5457>
- Bullangpoti, V., Wajnberg, E., Audant, P., & Feyereisen, R. (2012). Antifeedant activity of *Jatropha gossypifolia* and *Melia azedarach* senescent leaf extracts on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and their potential use as synergists. *Pest Management Science*, 68(9), 1255–1264. <https://doi.org/10.1002/ps.3291>
- Caballero, R. (1996). Identificación de moscas blancas. En L. Hilje (Ed.), *Metodologías para el estudio y manejo de moscas blancas y Geminivirus* (pp. 1–10). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Unidad de Fitoprotección.
- Calcagno, V. (2020). *glmulti: Model selection and multimodel inference made easy*. (R package version 1.0.8.). R Foundation for Statistical Computing. <https://CRAN.R-project.org/package=glmulti>
- Chan, C., Chan, G., Leeper, T., & Becker, J. (2018). *rio: A Swiss-army knife for data I/O*. (R package version 0.5.16.). R Foundation for Statistical Computing. <https://cran.r-project.org/package=rio>
- Cruz-Estrada, A., Gamboa-Angulo, M., Bórges-Argáez, R., & Ruiz-Sanchez, E. (2013). Insecticidal effects of plant extracts on immature whitefly *Bemisia tabaci* Genn. (Hemiptera: Aleyroideae). *Electronic Journal of Biotechnology*, 16(1), 1–9. <https://doi.org/10.2225/vol16-issue1-fulltext-6>
- Da Silva, L. C., de Carvalho, T. C., Pereira, I., Marana, J. C., Laviola, B. G., Abdelnur, P. V., & Vaz, B. G. (2019). Molecularly imprinted polymer-coated probe electrospray ionization mass spectrometry determines phorbol esters and deoxyphorbol metabolites in *Jatropha curcas* leaves. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 30(10), 2051–2059. <https://doi.org/10.1007/s13361-019-02269-5>
- Devappa, R. K., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2010). *Jatropha* toxicity—A review. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 13(6), 476–507. <https://doi.org/10.1080/10937404.2010.499736>

- Devappa, R. K., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2012). Localisation of antinutrients and qualitative identification of toxic components in *Jatropha curcas* seed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(7), 1519–1525. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4736>
- Devappa, R. K., Rajesh, S. K., Kumar, V., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2012). Activities of *Jatropha curcas* phorbol esters in various bioassays. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 78, 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.11.002>
- Diabaté, D., Gnago, J. A., Koffi, K., & Tano, Y. (2014). The effect of pesticides and aqueous extracts of *Azadirachta indica* (A. Juss) and *Jatropha curcas* L. on *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) and *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) found on tomato plants in Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 80(1), 7132–7143. <https://doi.org/10.4314/jab.v80i1.14>
- Escobar Villacres, D. A. (2015). *Efecto insecticida de ésteres de forbol de la semilla de piñón (Jatropha curcas) para el control de mosca blanca (Bemisia tabaci) en tomate (Solanum lycopersicum)* [Tesis de licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana]. Biblioteca Digital de la Escuela Agrícola Panamericana. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/4580>
- Eziah, V. (1999). *Evaluation of Jatropha curcas L. (Euphorbiaceae) as a biopesticide in the control of insect pests complex of aubergine (Solanum melongena L.)* [Doctoral thesis, University of Ghana]. University of Ghana Digital Collections (UGSpace). <https://ugspace.ug.edu.gh/handle/123456789/7938>
- Flores, G., Hilje, L., Mora, G., & Carballo, M. (2008). Antifeedant activity of botanical crude extracts and their fractions on *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) adults: I. *Gliricidia sepium* (Fabaceae). *Revista de Biología Tropical*, 56(4), 2099–20113. <https://doi.org/10.15517/rbt.v56i4.5782>
- Gorman, K., Devine, G., Bennison, J., Coussons, P., Punchard, N., & Denholm, I. (2007). Report of resistance to the neonicotinoid insecticide imidacloprid in *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Management Science*, 63(6), 555–558. <https://doi.org/10.1002/ps.1364>
- Greathead, A. H. (1986). Host plants. In M. Cock (Ed.), *Bemisia tabaci: A literature survey on the cotton whitefly with an annotated bibliography* (pp. 17–25). International Institute of Biological Control.
- Hilje, L. (2001). Avances hacia el manejo sostenible del complejo mosca blanca-geminivirus en tomate, en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas*, 61, 69–80. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5817>
- Hilje, L. (2005). Cómo determinar la repelencia de sustancias aleloquímicas sobre las moscas blancas. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 74, 94–98. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5908>
- Hilje, L., & Morales, F. J. (2008). Whitefly bioecology and management in Latin America. In J. L. Capineira (Ed.), *Encyclopedia of Entomology* (4250–4260). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6359-6\\_2669](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6359-6_2669)
- Hlina, B. L., Birceanu, O., Robinson, C. S., Dhiyebi, H., & Wilkie, M. P. (2021). The relationship between thermal physiology and lampricide sensitivity in larval sea lamprey (*Petromyzon marinus*). *Journal of Great Lakes Research*, 47(Suppl. 1), S272–S284. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2021.10.002>
- Ibrahim, H., & Mostafa, M. (2018). Efficacy of some plant essential oils as green insecticides to control whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius). *International Journal of Entomology and Nematology*, 4(2), 85–92.
- Ingle, K. P., Deshmukh, A. G., Padole, D. A., Mahendra, S. D., Moharil, M. P., & Khelurkar, V. C. (2017a). Bioefficacy of crude extracts from *Jatropha curcas* against *Spodoptera litura*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(1), 36–38. <https://www.entomoljournal.com/archives/?year=2017&vol=5&issue=1&ArticleId=1439>

- Ingle, K. P., Deshmukh, A. G., Padole, D. A., Mahendra, S. D., Moharil, M. P., & Khelurkar, V. C. (2017b). Screening of insecticidal activity of *Jatropha Curcas* (L.) against diamond back moth and *Helicoverpa Armigera*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(1), 44–50. <https://www.entomoljournal.com/archives/?year=2017&vol=5&issue=1&ArticleId=1441>
- Ivase, T., Nyakuma, B., Otitolaye, V., Utume, L., Ayoosu, M., Jagun, Z., Oladokun, O., & Dodo, Y. (2021). Standardization, quality control, and bio-enhancement of botanical insecticides: a review. *Journal of Environment, Agriculture, and Energy*, 2(2), 104–111. <https://doi.org/10.37281/DRCSF/2.2.2>
- Jing, Y. P., An, H., Zhang, S., Wang, N., & Zhou, S. (2018). Protein kinase C mediates juvenile hormone-dependent phosphorylation of Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase to induce ovarian follicular patency for yolk protein uptake. *Journal of Biological Chemistry*, 293(52), 20112–20122. <https://doi.org/10.1074/jbc.RA118.005692>
- Jones, D. R. (2003). Plant viruses transmitted by whiteflies. *European Journal of Plant Pathology*, 109, 195–219. <https://doi.org/10.1023/A:1022846630513>
- Khattak, A., Ullah, F., Wazir, S. M., & Shinwari, Z. K. (2015). Allelopathic potential of *Jatropha curcas* L. leaf aqueous extracts on seedling growth of wheat. *Pakistan Journal of Botany*, 47(6), 2449–2454.
- Liu, T.-X., & Stansly, P. A. (1995). Toxicity of biorational insecticides to *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on tomato leaves. *Journal of Economic Entomology*, 88(3), 564–568. <https://doi.org/10.1093/jee/88.3.564>
- Moiteiro, C., Marcelo Curto, M. J., Mohamed, N., Bailén, M., Martínez-Díaz, R., & González-Coloma, A. (2006). Biovalorization of friedelane triterpenes derived from cork processing industry byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(10), 3566–3571. <https://doi.org/10.1021/jf0531151>
- Navarrete, J. B., Valarezo, O., Cañarte, E., & Solórzano, R. (2016). Efecto del nim (*Azadirachta indica* Juss.) sobre *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) y controladores biológicos en el cultivo del melón *Cucumis melo* L. *La Granja*, 25(1), 33–44. <https://doi.org/10.17163/lgr.n25.2017.03>
- Novak, W. K., & Haslberger, A. G. (2000). Substantial equivalence of antinutrients and inherent plant toxins in genetically modified novel foods. *Food and Chemical Toxicology*, 38(6), 473–483. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(00\)00040-5](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(00)00040-5)
- Piepenbring, M. (2015). *Introducción a la micología en los Trópicos*. American Phytopathological Society. <https://doi.org/10.1094/9780890546147>
- Ratnadass, A., & Wink, M. (2012). The phorbol ester fraction from *Jatropha curcas* seed oil: potential and limits for crop protection against insect pests. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(12), 16157–16171. <https://doi.org/10.3390/ijms131216157>
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Reichel, T., Barazetti, J. F., Stefanello, S., Paulert, R., & Zonetti, P. (2013). Allelopathy of leaf extracts of jatropha (*Jatropha curcas* L.) in the initial development of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Idesia*, 31(1), 45–52. <https://revistas.uta.cl/pdf/773/art06.pdf>
- Rincón, D. F., Vasquez, D. F., Rivera-Trujillo, H. F., Beltrán, C., & Borrero-Echeverry, F. (2019). Economic injury levels for the potato yellow vein disease and its vector, *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae), affecting potato crops in the Andes. *Crop Protection*, 119, 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.01.002>

- Rodríguez-Montero, L., Berrocal-Jiménez, A., Campos-Rodríguez, R., & Madriz-Martínez, M. (2020). Determinación de la actividad biocida de extractos vegetales para el combate de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Revista Tecnología en Marcha*, 33(3), 117–129. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i3.4373>
- Simmons, A. M., & Riley, D. G. (2021). Improving whitefly management. *Insects*, 12(5), Article 470. <https://doi.org/10.3390/insects12050470>
- Tomar, N. S., Sharma, M., & Agarwal, R. M. (2015). Phytochemical analysis of *Jatropha curcas* L. during different seasons and developmental stages and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) as affected by extracts/leachates of *Jatropha curcas* L. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 21(1), 83–92. <https://doi.org/10.1007/s12298-014-0272-0>
- United States Environmental Protection Agency. (2012). *Ecological effects test guidelines. OCSPP 850.2000: Background and special considerations- tests with terrestrial wildlife*. Office of Chemical Safety and Pollution Prevention. <https://nepis.epa.gov/Exec/zyPURL.cgi?Dockey=P100IRIT.txt>
- Valdez-Ramirez, A., Flores-Macias, A., Figueroa-Brito, R., De la Torre-Hernandez, M. E., Ramos-Lopez, M. A., Beltran-Ontiveros, S. A., Becerril-Camacho, D. M., & Diaz, D. (2023). A systematic review of the bioactivity of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) extracts in the control of insect pests. *Sustainability*, 15(15), Article 11637. <https://doi.org/10.3390/su151511637>
- Vega Quirós, N. J. (2018). *Caracterización molecular y bioquímica de tres accesiones de Jatropha curcas L. (tempate) del Banco de Germoplasma de la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno* [Tesis de licenciatura, no publicada, Instituto Tecnológico de Costa Rica].
- Venables, W. N., & Ripley, B. D. (2002). *Modern applied statistics with S* (4<sup>th</sup> ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-21706-2>
- Vinasco, N., Salazar, E., Soto, A., Mejía, L. F., & Dussan, C. (2015). Efecto de *Jatropha urens* (Euphorbiaceae) y *Lantana camara* (Verbenaceae) sobre *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(1), 55–64. <https://doi.org/10.22267/rcia.153201.24>
- Wisler, G. C., Duffus, J. E., Liu, H.-Y., & Li, R. H. (1998). Ecology and epidemiology of whitefly-transmitted closteroviruses. *Plant Disease*, 82(3), 270–280. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1998.82.3.270>
- Yang, M., & Lin, K. (2017). Isolation of insecticidal components in *Inula salsoloides* Ostenf. And characterisation of their activities. *Natural Product Research*, 31(17), 2049–2052. <https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1269092>