



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

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

Pedro Fernando Silva-Illescas¹, Julio M. Arias-Reverón²

* 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.

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

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

Resumen

Introducción. *Trialeurodes vaporariorum* (Westood) es considerada una de las principales plagas asociadas a cultivos hortícolas y ornamentales, sobre todo en invernaderos. Para realizar un manejo adecuado de esta plaga, 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 *T. 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, implementando una adaptación a las metodologías descritas por Liu y Stanly (1995) e Ibrahim y Mostafa (2018), donde se evaluó la eficacia, Concentración Letal Media (CL₅₀) y Tiempo Letal Medio (TL₅₀) 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 CL₅₀ (1,52 g/L), TL₅₀ (61,01 horas) y los valores mayores de eficacia (mayor a 65 %) se obtuvieron con los extractos de hoja, pero únicamente en el TL₅₀ hubo diferencias significativas. El factor concentración fue el más importante en la estimación de la eficacia según el valor del criterio de información de Akaike (AIC) y se estimó que la eficacia incrementó en 0,15 % por cada unidad de concentración. Ninguno de los extractos evaluados causó fitotoxicidad sobre 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* (Westood) is considered as a main pest of ornamental and horticultural crops, especially under greenhouse. In order to perform an effective management of this pest, different kind of techniques and methods such as the implementation of botanical extracts must be integrated. **Objective.** To evaluate the efficacy of botanical extracts made with *Jatropha curcas* for the control of *Trialeurodes vaporariorum* in



laboratory conditions. **Materials and methods.** The study was carried out in the Entomology Laboratory of the Research Center in Crops Protection, implementing an adaptation to the methodologies described by Liu and Stanly (1995) and Ibrahim and Mostafa (2018), where was evaluated the efficacy, median lethal concentration (LC_{50}) and median lethal time (LT_{50}) of botanical extracts made of leaves, stems and seeds of two accessions of *Jatropha curcas* L. at concentrations of 50, 100, 150 and 200 g/L on *T. vaporariorum*. **Results.** The lower values of LC_{50} (1.52 g/L), LT_{50} (61.01 hours) and the greater values of efficacy (greater than 65 %) were achieved with the leaf's extracts, however only the LT_{50} values were significant differences. Concentration was the most important factor in the calculation of efficacy according to the Akaike information criteria (AIC), it was estimated that the efficacy increased by 0.15 % for each unit of concentration. None of the extracts caused phytotoxicity on *Solanum melongena* L. plants. **Conclusions.** The leaf extracts are a promissory choice for the control of *T. vaporariorum*; nevertheless, it is needed to determine the compounds of *Jatropha*'s leaves that induce mortality.

Keywords: White fly, 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; son *Bemisia tabaci* (Gennadius) y *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) 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 favorecen el desarrollo de hongos en la superficie de las hojas denominadas como fumaginas (Piepenbring, 2015). Sin embargo, el principal problema asociado a este insecto es la transmisión de virus a cultivos hortícolas y ornamentales, como los Closteroviridae, Beet Yellow Stunt Virus (BYSV), y los virus Tomato Infectious Chlorosis Virus (TICV) y Tomato Chlorosis Virus (ToCV) (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, CL50) (United States Environmental Protection Agency [EPA], 2012). De igual manera se puede evaluar el Tiempo Letal Medio (TL50), definido como el 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 que parámetros deben evaluarse (Ivase et al., 2021).

El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia de extractos botánicos elaborados con *J. curcas* para el control de *T. 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. El Centro está 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 presentó una temperatura promedio de 25,25 °C, con un rango comprendido entre 22 y 30,30 °C, una humedad de 63,59 % con rangos 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, con código "JCCR31" con menor contenido de ésteres de forbol (0,2286 mg/g) y la segunda accesión, con código "JCCR23" con mayor contenido de ésteres de forbol (0,5053 mg/g). La medición de ésteres de forbol de dichas accesiones se realizó mediante Cromatografía Líquida de Alta Presión (HPLC) (Vega Quiros, 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 con 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 por 48 horas (Eziah, 1999), se filtró y guardó en envases de cristal color ámbar. El estudio se efectuó bajo un diseño de bloques completos aleatorios (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 introducidas en jaulas con manga de dimensión 1,18 m³ 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 utilizando 30 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 en esta, 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 que la hoja se mantuviera 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, presentaron color café o deformaciones (Caballero, 1996).

VARIABLES EVALUADAS

Se evaluó el número de ninfas muertas a las horas explicadas anteriormente para poder determinar el tiempo letal medio (TL₅₀). Con los datos de ninfas muertas a las 96 horas en cada concentración se estimaron la Concentración Letal Media (CL₅₀) 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 CL₅₀, TL₅₀ 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 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} mediante 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 (LC50) 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 by 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 (LC₅₀) among aqueous extracts of leaves, stems and seeds of *Jatropha curcas* in *Trialeurodes vaporariorum* control at a reliability of 95 % 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 show 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).

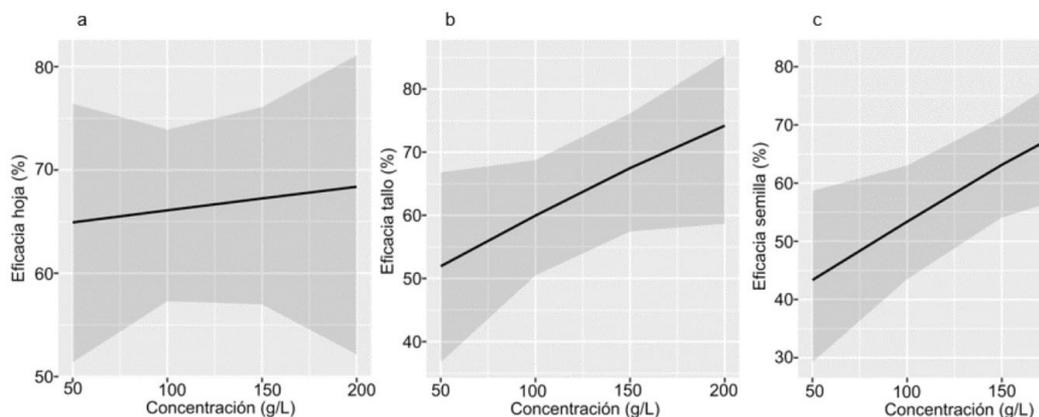


Figura 1. Eficacia de extractos (probabilidad de muerte de *Trialeurodes vaporariorum* tratados con extractos acuosos de *Jatropha curcas*) según concentración: (a) hoja. (b) tallo. (c) semilla. Las áreas sombreadas en gris representan los intervalos de confianza. San José, Costa Rica, 2020.

Figure 1. Efficacy of extracts (probability of death of *Trialeurodes vaporariorum* treated with aqueous extracts of *Jatropha curcas*) according to concentration: (a) leaf. (b) stem. (c) seed. The gray shaded areas represent the confidence value. San José, Costa Rica, 2020.

Determinación del tiempo letal medio (TL_{50})

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_{50} 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_{50}) de extractos acuosos de hojas, tallos y semillas de *Jatropha curcas* en el combate de *Trialeurodes vaporariorum*. San José, Costa Rica, 2020.

Table 3. Mean Lethal Time (LT_{50}) of aqueous extracts of leaves, stems and seeds of *Jatropha curcas* in *Trialeurodes vaporariorum* control. San José, Costa Rica, 2020.

| Órgano | TL_{50} (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 by 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 la concentración de los mismos. 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 (LT_{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) | TL50 | 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 Mean Lethal Time (LT_{50}) between aqueous extracts of leaves, stems and seeds of *Jatropha curcas* in *Trialeurodes vaporariorum* control at a reliability of 95 % 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 show 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).

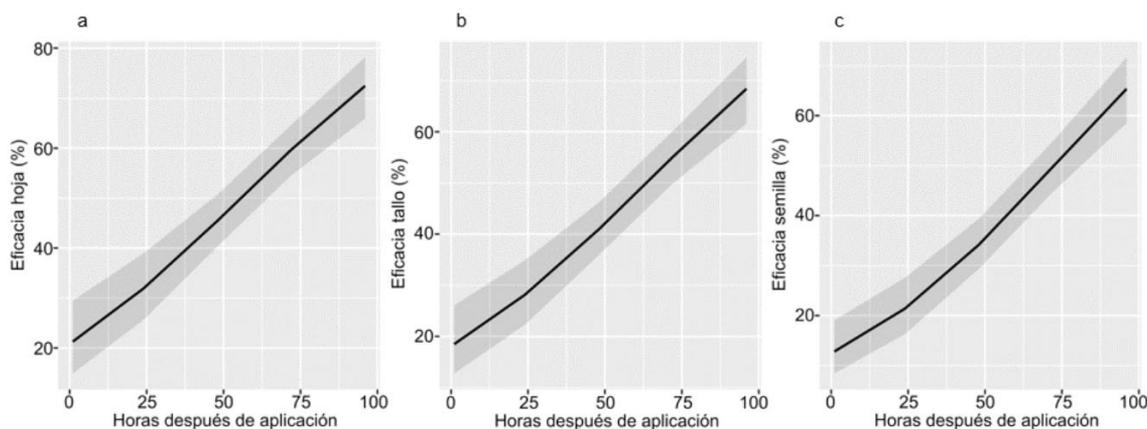


Figura 2. Eficacia de extractos (probabilidad de muerte de *Trialeurodes vaporariorum* tratados con extractos acuosos de *Jatropha curcas*) según horas después de la aplicación: (a) hoja. (b) tallo. (c) semilla. Las áreas sombreadas en gris representan los intervalos de confianza. San José, Costa Rica, 2020.

Figure 2. Efficacy of extracts (probability of death of *Trialeurodes vaporariorum* treated with aqueous extracts of *Jatropha curcas*) according to hours after application: (a) leaf. (b) stem. (c) seed. The gray shaded areas represent the confidence interval. San José, Costa Rica, 2020.

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 mayor 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 mostraron un valor de eficacia 5,57 % mayor a los elaborados con tallos y 7,64 % mayor a 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” mostró 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 incremento de 0,15 % por cada unidad de concentración con un intervalo de confianza entre 0,06 y 0,24 % (Cuadro 6). El efecto de la concentración como el factor de mayor importancia 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).

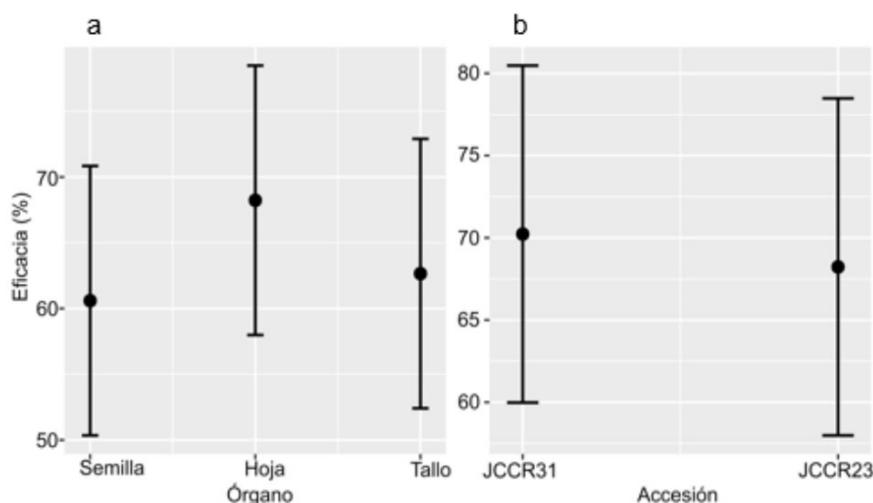


Figura 3. Porcentaje de eficacia de extractos de hoja, tallo y semilla de dos accesiones de *Jatropha curcas* en el control de *Trialeurodes vaporariorum*. (a) Eficacia de extractos según el órgano implementado en la elaboración del extracto. (b) Eficacia de extractos según la accesión utilizada para 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 implemented organ in the preparation of extract. (b) Efficacy of extracts according to the accession used for preparation of 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 reliability of 95 %, 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 compara 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. / 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 efficiency with respect to the excluded variable, while positive values represent a higher average. Valores de P menores a 0,05 presentan diferencia significativa. / P values less than 0.05 show a significant difference.

Cuadro 7. Determinación del mejor modelo para la variable eficacia según criterio de información de Akaike (AICc) y 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.

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 los mismos 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, 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*.



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. El orden de los extractos de derecha a izquierda es: semilla (JCCR31), semilla (JCCR23), hoja (JCCR31), hoja (JCCR23), tallo (JCCR31), tallo (JCCR23) y control. San José, Costa Rica, 2020.

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. The order of the extracts from right to left are: seed (JCCR31), seed (JCCR23), leaf (JCCR31), leaf (JCCR23), stem (JCCR31), stem (JCCR23) and control. San José, Costa Rica, 2020.

En hojas de *J. curcas*, algunos compuestos como el friedelin han presentado efecto insecticida sobre *S. litura* y *Leptinotarsa decemlineata* Say. (Col.: Chrysomelidae) (Moiteiro et al., 2006) y el taraxasterol que exhibió 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, deoxiforboles, (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 elaboradas con este órgano, ya que se le atribuye más un valor antimicrobiano o medicinal, a diferencia de semilla que tiene mayor importancia como insecticida (Abdelgadir & Van Staden, 2013).

La gran variabilidad mostrados 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) con respecto a tallo y semilla (42,98 g/L y 74,94 g/L), pese a que no haya diferencia significativa entre sus valores de eficacia (Figura 2a). Los extractos de hoja obtuvieron valores de mortalidad mayores a 60 % desde la concentración de 50 g/L, mientras que tallo y semilla presentaron valores menores 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 (*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* Forsk. (Fabaceae)) fueron evaluados en el combate de ninfas de *B. tabaci* obteniendo resultados menores en comparación a los de este estudio (29,60 % - 71,00 %) (Ateyyat et al., 2009), e incluso se no se ha observado efecto en la mortalidad usando extractos de *Acalypha gaumeri* Pax & K.Hoffm. (Euphorbiaceae), *Annona squamosa* L. (Annonaceae), *Carlowrightia myriantha* Standl. (Acanthaceae), *Petiveria alliaceae* 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, donde 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 elvaría con 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., 2010a). 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., 2010a). 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 la muerte del mismo 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 en este estudio. Esto podría explicarse por la baja solubilidad de los ésteres de forbol en agua (Arias et al., 2007) y puesto que los extractos evaluados fueron acuosos, es posible que no se obtuviera una extracción homogénea de estos compuestos reduciendo así 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 origen del material, ubicación de la plantación, características del suelo, edad y estado fenológico del cultivo, y época del año (Rodríguez-Montero et al., 2020). Debido a 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 promisoriosa herramienta en 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; Eziah, 1999;

Devappa, Makkar & Becker, 2012; Ingle et al., 2017b), e 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 observaron 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, peso seco, peso fresco, el contenido de clorofila y la actividad de enzimas como nitrato reductasa y aminotransferasas en plantas; sin embargo, incrementan 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 *J. curcas* lograron un control eficiente de *T. vaporariorum*, sin producir efectos secundarios en las plántulas de *S. melongena*; los extractos de hojas fueron los que obtuvieron mayor control del insecto (CL₅₀ de 1,52 g/L, TL₅₀ de 61.01 horas y eficacia mayor al 65 %). Se considera que aún debe hacerse 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 sus instalaciones para llevar a cabo los ensayos. Al ingeniero Guillermo Vargas de la Universidad de Costa Rica por proporcionar el material vegetal de *Jatropha curcas*.

Conflicto de intereses

Se declara que no existen conflictos de intereses en este estudio.

Referencias

- Abdelgadir, H., & 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>
- Aguiar, 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, 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 hexanoico de *Annona muricata*, *Mintostachys 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*, 8(33), 73-75. <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*, 25(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 file 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: Aleyroidea). *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 robe Eelectrospray 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. (2010a). *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. (2010b). Optimization of conditions for the extraction of phorbol esters from *Jatropha* oil. *Biomass and Bioenergy*, 34(8), 1125-1133. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.03.001>
- Devappa, R. K., Makkar, H. P. & 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., 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 Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/4580>
- Eziah, V. (1999). *Evaluation of Jatropha curcas L. (Euphorbiaceae) as a biopesticide in the control of insect pest 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., Costa, H. S., & Stansly, P. A. (2001). Cultural practices for managing *Bemisia tabaci* and associated viral diseases. *Crop Protection*, 20(9), 801-812. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(01\)00112-0](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00112-0)
- Hilje, L., & Morales, F. (2008). Whitefly bioecology and management in Latin America. In J. Capineira (Ed.), *Encyclopedia of Entomology* (4250-4260) Springer. 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, 5272-5284. <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.
- 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/DRCSE/2.2.2>
- Ingle, K., Deshmukh, A., Padole, D., Mahendra, D., Moharil, M., & Khelurkar, V. (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., Deshmukh, A., Padole, D., Mahendra, D., Moharil, M., & Khelurkar, V. (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>
- Jing, Y. P., An, H., Zhang, S., Wang, N., & Zhou, S. (2018). Protein kinase C mediates juvenile hormone-dependent phosphorylation of Na⁺/K⁺-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. (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*. APS Press, & 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/>
- 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>
- 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, 45-52. <https://revistas.uta.cl/pdf/773/art06.pdf>
- 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* (Hemíptera: 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/QueryPURL.cgi?Dockey=P100IRIT.txt>
- Valdez-Ramirez, A., Flores-Macias, A., Figueroa-Brito, R., 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* (4th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-21706-2>
- Vinasco, A. N., Salazar, P. E., Soto, G. A., Mejía, G., & Dussán, L. (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>