

Efecto de diferentes surfactantes sobre larvas III de *Spodoptera frugiperda* Smith bajo condiciones de laboratorio y de campo

Effect of different surfactants on larvae III of *Spodoptera frugiperda* Smith under laboratory and field conditions

***Juan Carlos Rodríguez-Soto, Marco Leoncio Salazar Castillo & Marisol
Contreras Quiñones***

Laboratorio de Biología Celular, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan
Pablo II, Trujillo, PERÚ
jrodriguez@unitru.edu.pe



Resumen

Zea mays L. es un cultivo de importancia económica a nivel mundial; sin embargo, se ve afectado por diversas plagas, siendo *Spodoptera frugiperda* Smith su plaga clave. Su larva es denominada “cogollero” pues ataca el cogollo joven poniendo en riesgo el desarrollo del vegetal. El uso desmedido de los insecticidas para su control no ha podido evitar la resistencia desarrollada por este insecto y se disocia con el cuidado del medio ambiente, motivo por el cual se enfrentaron larvas III de *S. frugiperda* a diferentes concentraciones de surfactantes como dimetilsulfóxido (DMSO) y Tween 80, empleados habitualmente en diferentes industrias por sus propiedades tensoactivas, adherentes, detergentes y de baja residualidad. Se desarrolló un diseño experimental en bloques completamente al azar, en laboratorio y en campo. Las concentraciones empleadas en laboratorio fueron tres de DMSO (0,3 %; 0,4 %; 0,6 %) y tres de Tween 80 (0,1 %; 0,2 %; 0,3 %), además de un control (0 %). El T4 (0,6 % DMSO) promovió una mortalidad larval de 83,33 % y el T7 (0,3 % Tween 80) alcanzó el 90 %. En condiciones de campo, se empleó además un testigo (metamidofós 600 g/L). Tanto el producto comercial como la concentración de 0,6 % de DMSO alcanzaron una mortalidad larval promedio de 76 %. Se concluyó que, a mayor concentración de surfactante, la mortalidad larval aumenta. Así mismo, a mayor tiempo de exposición mortalidad larval tiende a subir.

Palabras clave: *Spodoptera frugiperda* Smith, larvicida, dimetilsulfóxido, Tween 80, *Zea mays* L.

Abstract

Zea mays L. is a global economically important crop; nevertheless, it is affected by various plagues, with *Spodoptera frugiperda* Smith as its key plague. This insect larva is called “cogollero” since it attacks the young sprouts putting in risk the development of the maize. The disproportionate use of insecticides for its control is not able to eliminate the resistance developed by this insect and disagree with the care of the environment, which was the reason to expose larvae III of *S. frugiperda* to different surfactant concentrations as dimethyl sulfoxide (DMSO) and Tween 80, habitually employed in different industries for their tensoactive, adherent, detergent and low residual properties. We developed an experimental design with random blocks, in laboratory and field. The concentrations employed in laboratory were three of DMSO (0,3 %; 0,4 %; 0,6 %) and three of Tween 80 (0,1 %; 0,2 %; 0,3 %), besides a control (0 %). T4 (0,6 % DMSO) promoted a larva mortality of 83,33 %, and T7 (Tween 80 0,3 %) reached 90 %. On field conditions, a different control treatment was used (600 g/L of methamidophos). The commercial version and the 0,6 % of DMSO reached a larva mortality media of 76 %. In conclusion, the higher the surfactant concentration, the higher the larva mortality is. Likewise, the longer the time of exposure, the larva mortality is more likely to increase.

Keywords: *Spodoptera frugiperda* Smith, larvicide, dimethyl sulfoxide, Tween 80, *Zea mays* L.

Citación: Rodríguez, J.; M. Salazar & M. Contreras. Efecto de diferentes surfactantes sobre larvas III de *Spodoptera frugiperda* Smith bajo condiciones de laboratorio y de campo. *Arnaldoa* 25 (3): 1041-1052. DOI: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25315>

Introducción

El “maíz”, *Zea mays* L., pertenece a la familia Poaceae y constituye uno de los cultivos cereales más importantes en el mundo, pues sirve de alimento para humanos, ganado y aves de corral, así como materia prima para diversas industrias (Kumar *et al.*, 2016; Mena-Echevarría *et*

al., 2013; Yasem-De Romero & Romero, 2013). El “maíz” ocupa el primer lugar en términos de producción y, el tercero, después del trigo y el “arroz”, en relación al área cubierta (Qamar *et al.*, 2016; Sánchez-Yáñez *et al.*, 2014; Casierra-Posada & Cárdenas-Hernández, 2009). Sin embargo, las diferentes plagas, sobre todo la plaga

clave *Spodoptera frugiperda* Smith “cogollero del maíz”, causan pérdidas importantes en la cosecha, así como, gastos elevados en su cultivo (Pottera *et al.*, 2015; Murua, 2013; Bertolaccini *et al.*, 2010), siendo un reto hasta la actualidad la búsqueda de un manejo ecoeficiente para esta plaga en dicho cultivo.

Respecto a su morfología, *Z. mays*, presenta un sistema radicular fasciculado, su tallo puede elevarse hasta 4 metros e incluso más según la variedad. Las hojas son anchas y abrazadoras. La planta es diclina y monoica. Las flores femeninas aparecen en las axilas y las masculinas aparecen en la extremidad del tallo y están agrupadas en panículas (Vásquez, 2015; Martínez *et al.*, 2010). México es considerado el centro primario de diversidad genética del “maíz” y la zona andina el secundario (Martínez *et al.*, 2010; Qamar *et al.*, 2016). Estados Unidos es el mayor productor de “maíz” y alcanza rendimientos promedios por encima de 9 t.ha⁻¹, al igual que países como Italia y Francia (Ferraz-Tellez *et al.*, 2013). La producción de maíz aumenta año tras año (USDA, 2016). Según el Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (2017) el maíz amarillo duro es el tercer cultivo en importancia a nivel nacional y las regiones con mayor rendimiento promedio son Lima (8,979 kg/ha), La Libertad (8,897 kg/ha) e Ica (8,816 kg/ha) (León & Rojas, 2015).

S. frugiperda es un lepidóptero de la Familia Noctuidae, que ocasiona numerosas pérdidas en diversos cultivos (Hay-Roe *et al.*, 2013) no solo en el “maíz” sino también en el algodón, soya y otros de importancia económica en el continente americano (Cheng-Zhu *et al.*, 2015). Es un insecto polífago y con gran poder de aclimatación a diferentes condiciones lo que le permite una distribución geográfica amplia. Su ciclo de vida encierra etapas de huevecillo (2-5 días),

larva (17-32 días), pupa (6-13 días) y adulto (6-20 días), con un rango de 30 a 70 días según los factores ambientales de la zona. La hembra puede colocar unos mil huevecillos en grupos de cincuenta (Bertolaccini *et al.*, 2010).

La etapa larval de *S. frugiperda* constituye la plaga en el “maíz”, conocida como “cogollero del maíz”, porque busca alimentarse del cogollo de la planta incluyendo además una defoliación extensa (Cheng-Zhu *et al.*, 2015; Murua, 2013; Bertolaccini *et al.*, 2010). Sus larvas, se alimentan de las hojas nuevas y pueden causar pérdidas enormes (De Polania *et al.*, 2009), siendo la larva III la que ataca intensamente al cogollo y compromete seriamente al maíz (Leiva, 2014).

El control de *S. frugiperda* es difícil y tradicionalmente se encara con hasta tres aplicaciones de insecticidas químicos (Yasem-De Romero y Romero, 2013), aun así, el uso de insecticidas sigue siendo en la actualidad lo más usado. Su control abarca un porcentaje importante en el costo de producción, en Colombia se reporta que ocupa cerca del 10% de los costos de producción (De Polania *et al.*, 2009). Estos costos son considerables cuando se conoce que cogollero ataca al maíz en todos sus estados fenológicos (Murua *et al.*, 2010).

Frente a ello se han desarrollado alternativas como el manejo integrado de plagas, el mismo que involucra otras formas de control como el uso de trampas para adultos, liberación de sus enemigos naturales como *Chelonus* sp. y *Telenomus* sp., control mecánico y cultural. Sin embargo, estas medidas son empleadas más como herramientas sumativas al empleo de insecticidas que como medidas de reemplazo (Murua, 2013).

Actualmente, las estrategias para el manejo de *S. frugiperda* han incluido la utilización de maíces transgénicos que expresan toxinas codificadas por los genes Cry de la bacteria *Bacillus thuringiensis* Berliner, (Huang *et al.*, 2016; Dangal & Huang, 2015; Murua, 2013; Bertolaccini *et al.*, 2010). Desde el año 2005, se utiliza el “maíz” Bt con toxinas Cry 1Ab para el control de *Diatraea saccharalis* y toxinas Cry 1F para *S. frugiperda* (Farias *et al.*, 2015; Murua, 2013; Storer *et al.*, 2010; Bertolaccini *et al.*, 2010). Sin embargo, se han reportado casos de resistencia de *S. frugiperda* al maíz Bt (Santos-Amaya *et al.*, 2016), teniendo el caso de Puerto Rico (Storer *et al.*, 2010), Brasil (Farias *et al.*, 2015) y Estados Unidos (Huang *et al.*, 2014).

La importancia económica y ambiental por ataque de *S. frugiperda* no solo radica en las pérdidas que ocasiona a los cultivos y los costos de control; sino también por la contaminación producida por los agroquímicos empleados y su difícil descomposición en los ecosistemas agrícolas (Yasem-De Romero & Romero, 2013). Dentro de esta perspectiva los surfactantes podrían darnos una alternativa sostenible en el tiempo y acorde al cuidado del medio ambiente. Dentro de sus propiedades tenemos que son de rápida biodegradación (Herrera, 2017; Visitación, 2005), agentes tensoactivos, detergentes y de adhesión (DIGEMID, 2015); propiedades que podrían ser evaluadas para el control de larvas III de *S. frugiperda*. Los surfactantes constituyen un ingrediente común en la industria farmacéutica, en los productos de higiene personal y como aditivo que permite que los productos de limpieza formen espuma (DIGEMID, 2015; Hilgert, 2012), incluso están presentes en diferentes presentaciones de insecticidas, mas no ha sido evaluado su posible efecto larvicida.

Dimetilsulfóxido (DMSO), de fórmula química C_2H_6SO , posee un peso molecular de 78,13 g/mol. En su descripción comercial se presenta en forma líquida, incoloro, con una densidad de 1,10 g/cm³ (20°C) y una solubilidad en agua de 1000g/l (MERCK, 2018a). Tween 80 (polisorbato), cuyo nombre químico es monooleato de polioxietileno sorbitano, de fórmula molecular $C_{64}H_{124}O_{26}$ posee un peso molecular de 1310 g/mol. En su descripción comercial se presenta en forma líquida viscosa, de color amarillo, inodoro, con una densidad de 1,07 g/cm³ (25°C) y soluble totalmente en agua a los 20°C (MERCK, 2018b). Ambos surfactantes, por sus propiedades pueden ajustarse dentro de un programa de manejo integrado de la plaga *Spodoptera frugiperda*.

Es importante entonces la búsqueda de medios de control más efectivos, sostenibles y sustentables, que promuevan una buena producción de calidad del “maíz”, controlando la plaga y evitando la resistencia, y que a la vez esté acorde al cuidado del medio ambiente; por lo que, la presente investigación buscó determinar el efecto de diferentes concentraciones tanto de Dimetilsulfóxido como de Tween 80 sobre larvas III de *Spodoptera frugiperda* en condiciones de laboratorio y de campo.

Material y método

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio Multifuncional I y en la estación experimental de Fitogenética de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo ubicada en la avenida Juan Pablo II s/n de la ciudad de Trujillo. Las larvas de *S. frugiperda* fueron obtenidas por colectas en cultivos de “maíz” del Sector de Barraza-Trujillo, determinadas en el laboratorio de Entomología mediante caracteres taxonómicos específicos (Guzmán *et al.*, 2016) y posteriormente

criadas bajo condiciones de laboratorio, con humedad relativa del 60%, temperatura entre 20°C a 25°C, un fotoperiodo 14:10 horas luz y con alimentación en base a hojas de higuierillas (González-Maldonado *et al.*, 2015). Las semillas de “maíz” para el desarrollo de los ensayos de campo en parcelas experimentales fueron adquiridas de la Cátedra de Fitogenética. El ensayo piloto determinó una DL(50) de 0,4% para DMSO y de 0,13% para Tween 80.

Para las pruebas de laboratorio como de campo, se realizó un diseño experimental en bloques completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento (Masters *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2016; Slyken *et al.*, 2013), donde cada concentración del surfactante constituyó un tratamiento diferente, y los diferentes tiempos de evaluación de la mortalidad larval los bloques.

Las pruebas de laboratorio tuvieron en cuenta las Guías y Manuales para medir la eficacia de insecticidas (Peterson, 2014; Galindo *et al.*, 2015) modificado a nuestra realidad. En bandejas de plástico de 18x25x5 cm y con el uso de aspersores de volumen controlado y definido se expuso a las larvas de *S. frugiperda* a diferentes concentraciones de DMSO como de Tween 80. El control consistió en la sola aspersión de agua. El efecto larvicida se midió a diferentes tiempos (Sanabria *et al.*, 2009) evaluando a los diez, veinte y treinta minutos. Se emplearon 210 larvas III de *S. frugiperda*. Para DMSO se seleccionó las concentraciones de 0,4%, 0,5% y 0,6% y para Tween 80 las concentraciones seleccionadas fueron de 0,1%, 0,2% y 0,3%.

Las pruebas de campo demandaron 18 parcelas en la Estación Experimental de Fitogenética, midiendo una temperatura ambiental entre los 19°C a 26°C y humedad relativa entre 65% y 72%. Cada parcela experimental tuvo una extensión de 5 x 4

metros, con 6 surcos, con puntos de siembra cada 80cm, con 3 semillas por punto y a una profundidad promedio de 2 cm, siguiendo las especificaciones de la norma técnica del cultivo de “maíz” y recomendaciones del Ministerio de Agricultura y Riego del Perú para el cultivo de “maíz”. Se evaluaron 20 plantas por tratamiento, las mismas que se seleccionaron al azar dentro de los cuatro surcos centrales, evitando el efecto de borde. Teniendo tres parcelas para cada tratamiento a manera de repeticiones. Se evaluó dos concentraciones de DMSO (0,4% y 0,5%) y dos concentraciones de Tween 80 (0,2% y 0,3%), que mostraron capacidad larvicida importante en las pruebas de laboratorio. Se evaluó además un control (agua) y un testigo Stermin en concentrado soluble, con el principio activo de metamidofós a 600g/L, equivalente al 60%, que es un producto comercial existente en el mercado. La aplicación del preparado de cada surfactante se realizó previo monitoreo según los estándares propios del cultivo y frente a la presencia de la larva del insecto, realizando el estudio en los primeros 50 días, durante la etapa fenológica de crecimiento lento, donde la presencia de *S. frugiperda* es de importancia económica (Valdez *et al.*, 2012). Se utilizó una mochila de dispersión y la dispersión fue hasta punto de goteo. Los datos obtenidos se organizaron en tablas. Se aplicó el respectivo análisis de varianza y comparación de medias.

Resultados y discusión

Con la finalidad de determinar el efecto de los surfactantes dimetilsulfóxido (DMSO) y Tween 80 (polisorbato) sobre larvas III de *Spodoptera frugiperda* L., bajo condiciones de laboratorio y de campo, se expuso a las larvas a diferentes concentraciones (Tabla 1 y Tabla 2)

Tabla 1. Tasa promedio de mortalidad en larvas III de *Spodoptera frugiperda* L. frente a diferentes concentraciones de dimetilsulfóxido (DMSO) y Tween 80 bajo condiciones de laboratorio

Tratamiento	Promedios de la tasa de mortalidad acumulativa (%)		
	I	II	III
T1	0	0	0
T2	46,67	50,00	53,33
T3	53,33	73,33	73,33
T4	73,33	83,33	83,33
T5	43,33	46,67	53,33
T6	70,00	73,33	73,33
T7	76,67	86,67	90,00

Leyenda: T1: 0% T2: 0,4% DMSO T3: 0,5% DMSO T4: 0,6% DMSO T5: 0,1% Tween 80 T6: 0,2% Tween 80 T7: 0,3% Tween 80

Bloques: I: 10' II: 20' III: 30'

Tabla 2. Tasa promedio de mortalidad en larvas III de *Spodoptera frugiperda* L. frente a diferentes concentraciones de dimetilsulfóxido (DMSO) y Tween 80 bajo condiciones de campo

Tratamiento	Promedios de la tasa de mortalidad acumulativa (%)		
	I	II	III
T1	0	0	0
T2	78,00	76,47	75,00
T3	51,85	56,25	59,38
T4	78,43	76,47	74,07
T5	69,23	68,75	66,67
T6	75,00	72,22	71,43

Leyenda: T1: 0% T2: 0,4% DMSO T3: 0,5% DMSO T4: 0,6% DMSO T5: 0,1% Tween 80 T6: 0,2% Tween 80 T7: 0,3% Tween 80

Bloques: I: 12 días II: 24 días III: 36 días

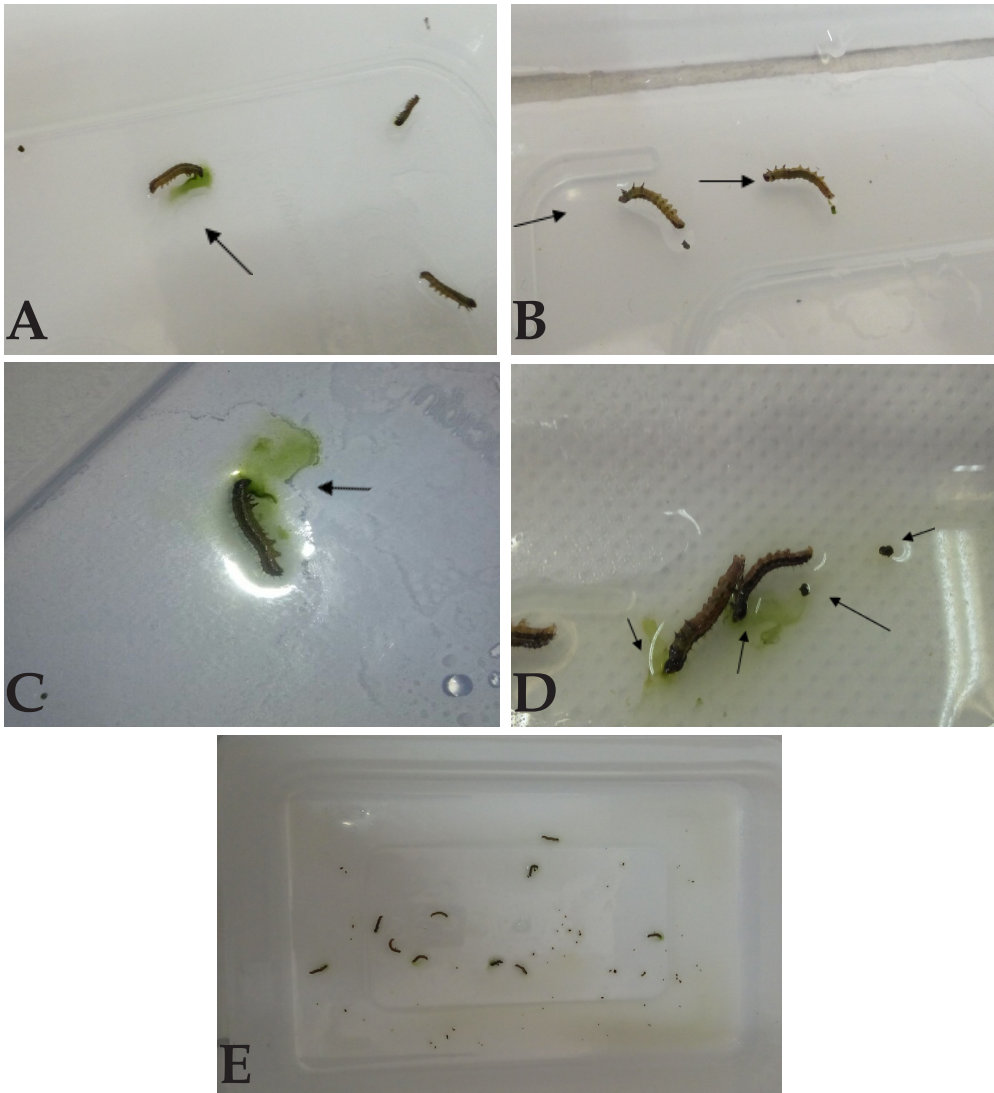


Fig. 1. Efecto larvicida de los surfactantes dimetilsulfóxido (DMSO) y Tween 80 (polisorbato) sobre larvas III de *Spodoptera frugiperda*. A-B: larva vomitando, C: larva defecando, D: larvas vomitando y defecando, E: vista panorámica de la cantidad de residuos fecales y vómitos.

De los resultados obtenidos, bajo condiciones de laboratorio (Tabla 1) se determinó un efecto larvicida importante por parte de ambos surfactantes. A una mayor concentración de DMSO como de Tween 80 se observó un mayor efecto larvicida. La mortalidad larval varió desde un 53,33% (T2: 0,4%) hasta un

máximo de 84,33% (T4: 0,6%) empleando DMSO, y desde 53,33% (T5: 0,1%) hasta un 90% (T7: 0,3%) empleando Tween 80. El tratamiento control (T1: 0%) no promovió mortalidad larval alguna. Esta importante capacidad larvicida de los surfactantes empleados obedecería a sus propiedades (DIGEMID, 2015), es así que, al entrar en

contacto el surfactante con la larva de *S. frugiperda* produce estragos en su fisiología respiratoria y/o neurológica, procesos que al verse afectados desencadenarían en la muerte de la larva.

Así mismo, los resultados (Tabla 1) indicaron que a mayor tiempo exposición el efecto larvicida tiende a aumentar, pero hasta cierto límite, así la mortalidad larval con el tratamiento de mayor concentración de DMSO (T4: 0,6%) varió en el tiempo desde 73,33% (a los 10´) hasta 83,33% (20´ y 30´); y con el tratamiento de mayor concentración de Tween 80 (T7: 0,3%) varió desde 76,67% (10´) hasta 90% (30´). Esta tendencia de aumentar el efecto larvicida con el tiempo de exposición, tendría parámetros que definen una etapa estacionaria en la curva de mortalidad, con determinada concentración y a determinado tiempo de exposición, como puede observarse en el T3 (0,5% DMSO), T4 (0,6% DMSO) y T6 (0,2% Tween80), donde los valores promedios de mortalidad larval se establecen a partir de los 20 minutos de exposición, dejando en claro que no siempre a mayor tiempo de exposición la mortalidad aumenta, situación semejante ha sido reportada en otras investigaciones (Delgado & Gaona, 2012; González *et al.*, 2015).

Los resultados bajo condiciones de campo (Tabla 2) siguieron el mismo patrón de comportamiento, aunque, con valores menores a los obtenidos en laboratorio. Ello obedecería a diversas fuerzas de selección como los factores referidos a la cantidad de surfactante a la que se exponen las larvas, aireación del campo, luz solar, temperatura y presencia de otros organismos vivos (Morillo & Notz, 2001). El tratamiento control consistió en agua y no promovió mortalidad larval alguna, mientras que el testigo (T2), que consistió en un larvicida

comercial (metamidosfós 60%), promovió una mortalidad larval entre 75% y 78%. Los tratamientos con más alta concentración de surfactante, como el T4 (0,6% DMSO) promovió una mortalidad larval entre 74,07% y 78,43%, y el T6 (0,3% Tween 80), una mortalidad larval entre 71,43% y 75,00%. El análisis estadístico reveló la inexistencia de diferencias significativas entre el tratamiento T2 y T4, lo cual nos sugiere que el uso de dimetilsulfóxido (DMSO) al 0,6% podría integrar los programas de manejo de la plaga *Spodoptera frugiperda* en cultivo de “maíz”, al tener semejante actividad larvicida que los productos químicos comerciales, teniendo en cuenta que la desventaja del DMSO, como de todo surfactante, es el tiempo de “vida”, pues en la intemperie se descompone en menos de las 24 horas, mientras que un insecticida comercial tiene un efecto residual de hasta una semana. Sin embargo, este mismo factor hace que se coloque a los surfactantes como “amigos ecológicos” al tener casi nula residualidad a las concentraciones trabajadas (Herrera, 2017; Visitación, 2005).

Tanto en laboratorio como en campo, las larvas mueren vomitando, excretando y dando movimiento de retorcijón, lo cual sugiere que influyen negativamente en los sistemas respiratorio como neurológico de la larva. El sistema que directamente se ve afectado es el respiratorio. La respiración o intercambio de gases es esencial en todos los seres vivos, incluido los insectos. La larva de los lepidópteros, como *S. frugiperda*, posee un sistema respiratorio traqueal conformado por espiráculos que regulan el ingreso de aire, y tubos traqueales que se extienden por todo el cuerpo repartiendo el oxígeno directamente a todo el organismo (Sláma, 2010; Wasserthal & Fröhlich, 2017; Terblanche & Woods, 2018), por lo que se

requieren grandes márgenes de seguridad para la conductancia traqueal y espiracular (Moerbitz & Hetz, 2010) y es justo a este nivel que intervienen los surfactantes DMSO y Tween 80, los que por su propiedad de formación de espuma impiden el ingreso de aire por los espiráculos, introduciéndose por los mismos e incluso desplazándose dentro de los tubos traqueales. Sumado a ello, el efecto tensoactivo de los surfactantes no solo evita una reacción de los tricomas de los espiráculos, cuya función es evitar el ingreso de materias no deseadas (Schmitz & Wasserthal, 1999), sino también que remueve la capa cerosa que recubre a toda larva haciéndola susceptible a factores ambientales como la temperatura.

El intercambio de gases interfiere directamente con la capacidad de subsistencia de la especie y puede tomarse como un mecanismo de la selección natural según Jögar *et al.* (2014). Diversas investigaciones han permitido con variadas metodologías revelar la importancia del sistema traqueal (Schmitz & Wasserthal, 1999; Ruan *et al.*, 2018). Oyen & Dillon (2018) empleando límites térmicos críticos en poblaciones del género *Bombus* determinó que la pérdida de la función del espiráculo va a manifestar un pronunciado valor de CO₂ lo que es letal para cualquier insecto en el estadio que se encuentre. El daño a nivel de espiráculos involucra espasmos musculares antes de entrar en un estado de no respuesta, lo que explicaría los movimientos de retorcijón observados en las larvas antes de morir por efecto de los surfactantes.

El intercambio de gases conlleva procesos físicos y químicos que involucra un componente neural (Terblanche & Woods, 2018), procesos demandados mucho más cuando la larva se enfrenta a la actividad y altas temperaturas ambientales

(Moerbitz y Hetz, 2010), situación que enfrenta la larva de *S. frugiperda* en condiciones de campo. Las investigaciones en los ciclos de intercambio de gases han enfatizado mecanismos de los umbrales quimiosensoriales que desencadenan la apertura de los espiráculos y la actividad del sistema nervioso central sobre el control ventilatorio (Matthews, 2018), todo ello se vería afectado por el contacto y la adherencia del surfactante a nivel de espiráculo y conductos traqueales, ya que al ingresar el surfactante a nivel de atrio del espiráculo, se encuentra rápidamente con la base de la palanca que está inervado por neuronas motoras (Schmitz & Wasserthal, 1999).

Conclusión

Los surfactantes dimetilsulfóxido (DMSO) y Tween 80, a las concentraciones trabajadas, tienen efecto larvicida sobre larvas III de *Spodoptera frugiperda* L. A mayor concentración del surfactante la mortalidad larval aumenta; así mismo, existe una tendencia, que a mayor tiempo de exposición la mortalidad larval aumenta. El DMSO al 0,6% presenta un accionar larvicida estadísticamente semejante al producto comercial insecticida que lleva como principio activo al metamidofós a 600g/L.

Agradecimientos

Al Dr. Juan Muro Morey por la facilidad en el uso de Laboratorio Multifuncional I de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo. A la Cátedra de Fitogenética por el uso de la estación Experimental de Fitogenética de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo.

Contribución de los autores

J. R.: Concepción de la idea, instalación del diseño, recolección de datos, análisis e interpretación de los resultados y aprobación de la versión final. M. S.: Análisis e interpretación de los resultados. M. C.: Recolección de los datos. Todos los autores han leído el manuscrito final y aprobado la revisión.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Literatura citada

- Bertolaccini, I.; C. Bouzo; N. Larsen & J. Favaro.** 2010. Especies del género Euxesta (Diptera: Ulidiidae (= Otitidae)) plagas de maíces dulces Bt en la provincia de Santa Fe, Argentina. *Rev. Soc. Entomol. Argent*, 69(1-2): 123-126.
- Casierra-Posada, F. & J. Cárdenas-Hernández.** 2009. Crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L. var. Porva) en solución nutritiva con baja relación (Ca+Mg+K)/Al. *Rev. udca actual.divulg.cient*, 12(2): 91-100.
- Cheng-Zhu, Y.; C. Blanco; M. Portilla; J. Adamczyk; R. Luttrell & F. Huang.** 2015. Evidence of multiple/cross resistance to Bt and organophosphate insecticides in Puerto Rico population of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 122: 15-21.
- Dangal, V. & F. Huang.** 2015. Fitness costs of Cry 1F resistance in two populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), collected from Puerto Rico and Florida. *Journal of Invertebrate Pathology*, 127:81-86.
- Delgado, L. & E. Gaona.** 2012. Control de *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera:Noctuidae) con extractos de *Polygonum hydropiperoides* Michx (Ka'atái) en condiciones de laboratorio. *Investig. Agrar*, 14(1): 5-9.
- De Polania, I.; H. Arevalo-Maldonado; R. Mejía-Cruz & J. Díaz-Sánchez.** 2009. *Spodoptera frugiperda*: respuesta de distintas poblaciones a la toxina Cry1Ab. *Rev. Colomb. Entomol*, 35(1): 34-41.
- Dirección General de Medicamentos, Insumos y Drogas del Perú (DIGEMID).** 2015. Disponible en: <http://www.digemid.minsa.gob.pe/>
- Farias, J.; D. Andow; R. Horikoshi; R. Sorgatto; A. Dos Santos & C. Omoto.** 2015. Dominance of Cry1F resistance in *Spodoptera frugiperda* on TC1501 Bt maize in Brasil. *Pest Manag Sci*, 72: 974-979.
- Galindo, M.; O. Soriano; C. Quevedo & M. Melo.** 2015. Manual para la elaboración de protocolos para ensayos de eficacia. Cámara Proclutivos ANDI. Colombia. 110pp.
- Gonzales-Maldonado, M.; J. Gurrola-Reyes & I. Chaírez-Hernández.** 2015. Productos biológicos para el control de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera:Noctuidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 41(2):200-204.
- Guzmán, D.; J. Rodríguez & S. Valencia.** 2016. Identificación de estadios larvales de lepidópteros – Plaga de Maíz. Centro de Investigación de Agricultura Tropical (CIAT). Colombia. 54pp.
- Hay-Roe, M.; R. Meagher & R. Nagoshi.** 2013. Effect of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) strain and diet on oviposition and development of the parasitoid *Euplectrus platyphrenae* (Hymenoptera eulophidae). *Biological Control*, 66: 21-26.
- Herrera, X.** 2017. Determinación y evaluación comparativa de la cinética de biodegradación de los tensioactivos lauril éter sulfato de sodio (aniónico), alcohol etoxilado (no iónico) y cocoamido propil betaína (anfótero) en condiciones ambientales. Tesis para optar el título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional San Agustín. Perú.
- Hilgert, E.** 2012. Formulación y manufactura de productos para la higiene personal y cosmética. Tesis para optar el título de Licenciado en Química. Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú.
- Huang, F.; J. Qureshi; G. Head; P. Price; R. Levy; F. Yang & Y. Niu.** 2016. Frequency of *Bacillus thuringiensis* Cry 1A.105 resistance alleles in field populations of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Louisiana and Florida. *Crop Protection*, 83: 83-89.
- Jógar, K.; A. Kuusik; L. Metspalu; I.H. Williams; A. Ploomi; K. Hiiesaar; A. Luik; I. Kivimägi & M. Mänd.** 2014. The length of discontinuous gas exchange cycles in lepidopteran pupae may serve as a mechanism for natural selection. *Physiological Entomology*, 39(4): 322-330. <https://doi.org/10.1111/phen.12078>
- Kumar, M.; Rajput, T.; Kumar, R. & Patel, N.** 2016. Water and nitrate dynamics in baby corn (*Zea mays*

- L.) under different fertigation frequencies and operating pressures in semi-arid región of India. *Agricultural Water Management*, 163 (1): 263-274.
- Leiva, D.** 2014. Oruga militar tardía *Spodoptera frugiperda*. Instituto Nacional de Tecnología Agraria. Argentina. 110pp.
- Martínez, M.; R. Ortiz; H. Ríos & R. Acosta.** 2010. Análisis de las correlaciones en poblaciones cubanas de maíz. *Cultrop*, 31(2): 82-91.
- Masters, M.; Ch. Black; I. Kantola; K. Woli; T. Voigt; M. David & E. DeLucia.** 2016. Soil nutrient removal by four potential bioenergy crops: *Zea mays*, *Panicum virgatum*, *Miscanthus x giganteus*, and prairie. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 216: 51-60.
- Matthews, P.** 2018. The mechanisms underlying the production of discontinuous gas exchange cycles in insects. *Journal of Comparative Physiology*, 188(2): 195-210.
- Mena-Echevarría, A.; K. Fernández; V. Olalde & R. Serrato.** 2013. Diferencias en la respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la inoculación con *Glomus cubense* (Y. Rodr. & Dalpé) y con un conglomerado de especies de hongos micorrízicos arbusculares (HMA). *Cultrop*, 34(2): 12-15.
- Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (MINAGRI).** 2017. Disponible en: <http://minagri.gob.pe/portal/>
- Moerbitz, C. & S. K. Hetz.** 2010. Tradeoffs between metabolic rate and spiracular conductance in discontinuous gas exchange of *Samia cynthia* (Lepidoptera, Saturniidae). *Journal of Insect Physiology*, 56(5): 536-542. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2009.08.003>
- Morillo, F. & A. Notz.** 2001. Resistencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambdacihalotrina y metomil. *Bol.Ent.Ven.*, 16(2): 79-87
- Murua, M.** 2013. Eficacia en campo del maíz Herculex® I para el control de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el Noroeste Argentino. *Rev. ind. agric.*, 90(1): 37-43.
- Murúa, M.; M. Juárez; S. Prieto & E. Willink.** 2010. Distribución temporal y espacial de poblaciones de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en diferentes hospederos en provincias del norte de Argentina. *Rev. Ind. y Agríc.*, 86 (1): 25-36.
- Oyen, K. & M. E. Dillon.** 2018. Critical thermal limits of bumblebees (*Bombus impatiens*) are marked by stereotypical behaviors and are unchanged by acclimation, age or feeding status. *The Journal of Experimental Biology*, 221:8.
- Peterson, P.** 2014. Guía general para la realización y presentación de estudios de eficacia para productos plaguicidas de uso sanitario y doméstico. Departamento de Salud Ambiental. Chile. 121pp.
- Pottera, T.; D. Olson; X. Nic & G. Rainsd.** 2015. Un nuevo examen de maíz (*Zea mays* L.) para oídos volátiles. *Phytochemistry Letters*, 14 (1): 280-286.
- Qamar, S.; M. Aslam & A. Javeed.** 2016. Determination of proximate chemicals composition and detection of inorganic nutrients in maize (*Zea mays* L.). *Materials Today: Proceedings*, 3(1): 715-718.
- Ruan, Y.; Y. Li; M. Zhang; X. Chen; Z. Liu; S. Wang & S. Jiang.** 2018. Visualisation of insect tracheal systems by lactic acid immersion. *Journal of Microscopy*, 271(2): 230-236. <https://doi.org/10.1111/jmi.12711>
- Sanabria, L.; E. Segovía; N. Gonzáles; P. Alcaraz & N. Vera.** 2009. Actividad larvívora de extractos vegetales acuosos en larvas de *A. aegypti*. *Cienc.Salud*, 7(2): 26-31.
- Sánchez-Yáñez, J.; I. López; J. Villegas & N. Montaña.** 2014. Respuesta del maíz (*Spodoptera frugiperda*) a la inoculación de *Azotobacter* sp. y *Burkholderia* sp. a dosis reducidas de fertilizante nitrogenado. *Scientia Agropecuaria*, 5: 17-23.
- Santos-Amaya, O.; C. Tavares; H. Monteiro; T. Teixeira; R. Guedes; A. Alves & E. Pereira.** 2016. Genetic bass of Cry1F resistance in two Brazilian populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Crop Protection*, 81: 154-162.
- Schmitz, A. & L. T. Wasserthal.** 1999. Comparative morphology of the spiracles of the Papilionidae, Sphingidae, and Saturniidae (Insecta: Lepidoptera). *International Journal of Insect Morphology and Embryology*, 28(1-2): 13-26. [https://doi.org/10.1016/S0020-7322\(98\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0020-7322(98)00033-6)
- Sláma, K.** 2010. A new look at discontinuous respiration in pupae of *Hyalophora cecropia* (Lepidoptera: Saturniidae): Haemocoelic pressure, extracardiac pulsations and consumption. *European Journal of Entomology*, 107(4): 487-507.
- Slycken, S.; N. Witters; E. Meers; A. Pene; E. Michels; K. Adriaensen; A. Rutten; J. Vangronsveld; G. Du Laing; I. Wierinck; M. Van Dael; S. Van Passel & F. Tack.** 2013. Safe use of metal-contaminated agricultural land by cultivation of energy maize (*Zea mays*) *Environmental Pollution*, 178: 375-380.

- Storer, N.; J. Babcock; M. Schlenz; T. Meade; G. Thompson; J. Bing & R. Huckaba.** 2010. Discovery and characterization of field resistance to Bt maize *Spodoptera frugiperda* in Puerto Rico. *Journal of economic entomology*, 103(4): 1031-1038.
- Terblanche, J. & H. A. Woods.** 2018. Why do models of insect respiratory patterns fail?. *The Journal of Experimental Biology*, 221(13): 1-9. DOI: 10.1242/jeb.130039
- United States Department of Agriculture (USDA).** 2016. Disponible en: <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>. <https://www.produccion-mundialmaiz.com/>
- Valdez-Torres, J.; F. Soto-Landeros; T. Osuna-Enciso & M. Baez-Sañudo.** 2012. Modelos de predicción fenológica para maíz blanco (*Zea mays* L.) y gusano cogollero (*spodoptera frugiperda* J.E.Smith). *Agrociencia*, 46:399-410
- Vásquez, J.** 2015. Determinación de las condiciones apropiadas para la cama de siembra de maíz forrajero (*Zea mays* L.) variedad opaco mal paso, bajo condiciones edafoclimáticas de la irrigación de Majes-Arequipa. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Santa María. Perú.
- Visitación, L.** 2005. Degradación fotocatalítica de detergentes en efluentes domésticos. *Rev. de Química*, 19(1): 3-11.
- Wasserthal, L. & A. S. Fröhlich.** 2017. Structure of the thoracic spiracular valves and their contribution to unidirectional gas exchange in flying blowflies *Calliphora vicina*. *The Journal of Experimental Biology*, 220(2): 208-219. DOI: 10.1242 / jeb.149013
- Yasem-De Romero, M. & E. Romero.** 2013. Reducción del consumo foliar de orugas de *Spodoptera frugiperda* (Lep.: Noctuidae) infectadas con Nucleopolyhedrovirus aislamiento Leales (Tucumán, R. Argentina). *Rev. ind. agric.*, 90(2): 29-38.