







Artículo original

Perfiles de enzimas asociadas a la resistencia a pesticidas en *Melanaphis sacchari* (Zehntner) en el sur de Guanajuato

Profiles of enzymes associated with resistance to pesticides in *Melanaphis sacchari* (Zehntner) in the South of Guanajuato

¹ENRIQUE GARCÍA-BURGOS, ^{2*}JERÓNIMO LANDEROS-FLORES, ²ERNESTO CERNA-CHÁVEZ, ²LUIS AGUIRRE-URIBE, ³LUIS PATRICIO GUEVARA-ACEVEDO, ⁴GILBERTO RODRÍGUEZ-PÉREZ

¹Estudiante de Doctorado en Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, C. P. 25315, Saltillo, Coahuila, México.

²Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, C. P. 25315, Saltillo, Coahuila, México.


³Instituto Tecnológico de Roque, Km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, Celaya, C. P. 38110, Guanajuato, México.

⁴Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Calle 600, Block 611, Bâcum, C. P. 85276, San Ignacio Río Muerto, Sonora, México.



OPEN ACCESS

*Autor corresponsal:

 Jerónimo Landeros-Flores
jlanflo@uaaan.mx

Editor responsable: Trevor Williams

Cita:

García-Burgos, E., Landeros-Flores, J., Cerna-Chávez, E., Aguirre-Urbe, L., Guevara-Acevedo, L. P., Rodríguez-Pérez, G. (2022) Perfiles de enzimas asociadas a la resistencia a pesticidas en *Melanaphis sacchari* (Zehntner) en el sur de Guanajuato. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 38, 1–12.
10.21829/azm.2022.3912441
elocation-id: e3912441

Recibido: 12 agosto 2021

Aceptado: 15 diciembre 2021

Publicado: 31 enero 2022

RESUMEN. El pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*), es una plaga que rápidamente se ha extendido por todo el territorio nacional, especialmente en los estados con alta producción de sorgo. De acuerdo con el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato (CESAVEG), el estado reportó una alta incidencia de este insecto y, debido a su abundancia, ocasionó graves pérdidas en el cultivo de sorgo. En la actualidad, el método más utilizado para el control de esta plaga es la aplicación de productos químicos, lo que provoca resistencia a los insecticidas empleados. Una manera de determinar la presencia de un mecanismo metabólico de resistencia en *M. sacchari* presente en el área de estudio es determinando las absorbancias enzimáticas para obtener un perfil enzimático de la plaga. Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue determinar el



perfil enzimático que presentan las principales enzimas en las ninfas colectadas en el área sur del estado de Guanajuato, correspondiente a los municipios de Acámbaro, Apaseo el Alto, Apaseo el Grande, Celaya, Cortázar, Jerécuaro, Juventino Rosas, Tarandacuaio, Tarimoro, Villagrán, y Yuriria. Los resultados mostraron que las enzimas con mayor presencia asociada a resistencia fueron α -esterasas, β -esterasas, esterasas y oxidasas.

Palabras clave: plaga; insecticidas; pulgón amarillo

ABSTRACT. The yellow aphid (*Melanaphis sacchari*) is a pest that has rapidly spread throughout Mexico, especially in states with high sorghum production. According to the Guanajuato State Plant Health Committee (CESAVEG), Guanajuato reported a high incidence of this insect that caused severe losses in sorghum crops. At present, the most frequently used method for the control of this pest is the application of chemical products. For this reason, it is now possible to detect resistance to the insecticides used. One way to determine the presence of a metabolic resistance mechanism in *M. sacchari* present in the study area is by determining the absorbances to obtain an enzymatic profile of the pest. For this reason, the objective of this research was to determine the enzymatic profile that the main enzymes present in the nymphs collected in the southern area of the state of Guanajuato, corresponding to the municipalities of Acámbaro, Apaseo el Alto, Apaseo el Grande, Celaya, Cortázar, Jerécuaro, Juventino Rosas, Tarandacuaio, Tarimoro, Villagrán, and Yuriria. The results showed that the enzymes with the highest presence associated with resistance were α -esterases, β -esterases, esterasas, and oxidases.

Key words: pests; insecticides; yellow aphid

INTRODUCCIÓN

El pulgón amarillo, *Melanaphis sacchari* (Zehntner, 1897), es una plaga invasora que hasta 2013 se consideraba presente solamente en algunas áreas sembradas del estado de Tamaulipas con cultivos hospederos, y se dispersó de forma rápida a diversas regiones del territorio nacional, especialmente en los estados productores de sorgo (SENASICA, 2014). El sorgo es el principal cultivo atacado por esta plaga, pero también puede alimentarse de otras especies de Poaceae (Gramineae) como el arroz, el maíz y el zacate como el pato Johnson que son hospederos secundarios (INTAGRI, 2016). En los últimos cuatro años, esta especie de pulgón ha sido considerada la plaga más devastadora del cultivo de sorgo (Carranza *et al.*, 2017) ya que, debido a su alto potencial reproductivo, una sola planta puede ser atacada hasta por 30,000 áfidos (Gómez & Díaz, 1999). De acuerdo con el SENASICA (2014), esta plaga ha ocasionado daños en más de 2 millones de hectáreas, con un valor monetario aproximado a los \$20,890,000.00. Por otro lado, el SDAYR (2016) reportó pérdidas del 100 % de la producción en los sitios donde no se atendió el problema.

La situación es grave ya que Guanajuato contribuye con el 41 % de la producción nacional de sorgo (CESAVEG, 2008). No obstante, con el paso del tiempo el daño se ha ido incrementando y afectando de manera considerable la producción de sorgo en la entidad, cuya superficie sembrada es de 159,694 ha * año⁻¹ (hectárea por año) del cual el sur aporta el 28.5 % de la

producción total del estado de Guanajuato. Esta superficie está conformada por 18 municipios dedicados al cultivo de sorgo en donde se aplican diferentes estrategias de manejo que consideran el uso de diferentes productos químicos (López-Ávila *et al.*, 2001). Debido a esto, resulta pertinente determinar cuál es el nivel de resistencia en esta plaga, cuyos mecanismos pueden involucrar mutaciones de aminoácidos en el sitio objetivo de los pesticidas, la sobreexpresión o mutaciones de las enzimas de detoxificación, la resistencia a la penetración y la resistencia de comportamiento (Ahmad *et al.*, 2006; Bass & Field, 2015). Sin embargo, la mayor parte de los mecanismos de resistencia son metabólicos, con un incremento en la actividad de esterasas (α -est, β -est), glutatión S-transferasas (GST), acetilcolinesterasa (ACH) y oxidasas (Oxid) (Flores *et al.*, 2001; Li *et al.*, 2007; Bass & Field, 2011), donde los insectos usan sus sistemas enzimáticos para detoxificar a los insecticidas. Las especies de poblaciones resistentes pueden tener mayores niveles de estas enzimas o de enzimas que son más eficaces para la desintoxicación (FAO, 2012). Las enzimas responsables de la detoxificación en los organismos son transcritas por esterasas, oxidasas y glutatión S-transferasas (GST) (Flores *et al.*, 2001). La escasa información en cuanto al uso racional de productos químicos para el control de la plaga ha contribuido al desarrollo de la resistencia, donde el aspecto más importante en el manejo de resistencia a los insecticidas es la comprensión de los mecanismos que conducen a la resistencia de las plagas. Por lo que el objetivo de esta investigación fue obtener un perfil de enzimas de detoxificación del pulgón amarillo *Melanaphis sacchari* que inducen la resistencia a insecticidas sintéticos en las regiones sur del estado de Guanajuato.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se identificaron las parcelas de sorgo con presencia de la plaga en los municipios de la región (Acámbaro, Apaseo El Alto, Apaseo El Grande, Celaya, Cortázar, Jerécuaro, Juventino Rosas, Tarandacuao, Tarimoro, Villagrán y Yuriria) durante el ciclo primavera-verano 2017. En cada parcela se realizaron muestreos que consistieron en colocar en tubos Eppendorf especímenes del pulgón amarillo, *M. sacchari*, que posteriormente se colocaron en una hielera y se trasladaron al laboratorio de Toxicología del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila, en donde fueron identificados de acuerdo con las características morfológicas descritas por Peña *et al.* (2017). Las muestras fueron almacenadas a una temperatura de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para conocer la cantidad adecuada de proteína que se iba a necesitar se utilizó la metodología descrita por Hernández *et al.* (2016), la cual se ajusta a un rango de 80 a 120 $\mu\text{g}/\text{mL}$ de proteína que comprenden 15 especímenes.

Niveles enzimáticos. La determinación de las enzimas α -est y β -est se realizó siguiendo la metodología descrita por Brogdon y Dickinson (1983). En cada pozo de una microplaca se colocaron 100 μL del homogeneizado de 15 individuos, se agregaron 100 μL de acetato de alfa o beta-naftil (Sigma-Cas 830-81-9), y se incubó por 10 min, posteriormente se agregaron 100 μL de fast-blue (Sigma-Cas 14263-94-6) y se mantuvo durante dos minutos en reposo para después realizar la lectura en lector de placas utilizando un filtro de 540 nm. Las Oxid se determinaron de acuerdo con lo indicado por Brogdon *et al.* (1997). Se colocaron 100 μL del homogeneizado, se agregaron 200 μL de TMZ (3,3',5,5'-dihidrocloruro de tetrametil benzidina) (Sigma-Cas 54827-17-7), y un volumen de 25 μL de agua oxigenada (H_2O_2), se dejó incubar por cinco minutos y se

leyeron con un filtro de 620 nm. Para la enzima GST se utilizó la técnica descrita por Brogdon y Barber (1990), se colocaron 100 μ L del homogeneizado, después se agregaron 100 μ L de glutatión reducido (Sigma-Cas 70-18-8), y 100 μ L de CDNB (1-cloro-2,4-dinitrobenceno) (Sigma-Cas 97-00-7), e inmediatamente se hicieron las lecturas con un filtro de 340 nm, y después de cinco minutos se repitió la lectura, el resultado final consistió en el valor de la diferencia obtenida de las dos lecturas. Si el valor de la diferencia resultaba negativo se consideró como valor cero. La metodología utilizada para determinar la ACH fue de acuerdo con la descrita por Brogdon (1988); se colocaron 100 μ L de homogeneizado, se agregaron 100 μ L de acetilcolina-yodada (Sigma-Cas 2260-50-6) y 100 μ L de DNTB (ácido-ditio-bis-nitrobenzoico) (Sigma-Cas 69-783), y finalmente se hicieron las lecturas en tiempo cero (T_0) con un filtro de 414 nm. Transcurridos diez minutos (T_{10}) se volvió a hacer otra lectura, donde el resultado final se obtuvo considerando el valor de la diferencia de ambas lecturas ($T_{10}-T_0$). Los resultados negativos se consideraron como valor cero.

Con los valores de la absorbancia de cada una de las enzimas se realizó una distribución de frecuencias y se estableció un umbral de resistencia. La proporción de resistencia se estimó mediante el número de medias que excedía dicho umbral y se clasificaron de acuerdo con el criterio sugerido por Montella *et al.* (2007) con ligeras modificaciones. Por último, con los datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA), cuando hubo una diferencia significativa entre los valores se aplicó la prueba de Tukey ($P= 0.05$) para la separación de las medias. Todos los datos fueron analizados utilizando el software R (R Core Team, 2013).

Para diferenciar los grupos de enzimas dentro de las poblaciones se aplicó el método de media aritmética no ponderada (UPGMA), para calcular las distancias y generar grupos más compactos y homogéneos (Peña, 1987). Para este método se utilizó el paquete estadístico Statistica (2003) para la generación de dendogramas. El criterio tomado para la distancia de corte y definición de los grupos en los dendogramas fue establecido sobre el número óptimo de grupos cuando se produjeron saltos bruscos en las distancias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los valores de los niveles enzimáticos observados en los especímenes de las diferentes localidades, se observó que la α -est obtenida de los pulgones colectados en el municipio de Juventino Rosas registraron los mayores valores (1.4284), seguido del municipio de Apaseo El Alto, que corresponde a 1.2827. Por otro lado, los valores de actividad enzimática más bajos fueron 0.8132, 0.7337, 0.6451 y 0.6020 correspondientes a los municipios de Tarandacua, Tarimoro, Celaya y Yuriria, respectivamente. Montella *et al.* (2007) reportó un sistema clasificatorio en base a una numeración del 5 al 1, en donde el 5 corresponde al mayor valor de resistencia, por lo tanto, considerando el criterio de clasificación de Montella se puede afirmar que los especímenes colectados en Juventino Rosas y en Apaseo El Alto son los que registraron el mayor nivel de resistencia (Cuadro 1).

Para las absorbancias de β -est, el valor de 1.1601, que corresponde al municipio de Apaseo el Alto, sobresalió en comparación con los demás valores. Seguido de este valor aparecen 1.0985, 1.0880, 1.0877 y 0.9433 siendo los municipios de Celaya, Acámbaro, Villagrán y Jerecuaro,

respectivamente, por los que estos valores presentaron un nivel de resistencia 4 considerado como "Alta". Caso contrario fue para el municipio de Tarandacuao con la clasificación de resistencia 1 (0.8058), considerado como "Nula", reportando la actividad enzimática más baja. De acuerdo con este criterio Pasteur y Raymond (1996) en un trabajo realizado con resistencia de mosquitos mencionan que, tanto las α -est como en las β -est, son las responsables de la resistencia, a través de la detoxificación de insecticidas organofosforados y carbamatos. Por otro lado, Brogdon y Barber (1990) y Flores *et al.* (2006) en experimentos con el mosquito *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) reportaron que también estas enzimas juegan un papel importante en la detoxificación o resistencia a piretroides.

Por otra parte, en la actividad enzimática de GST las medias con los valores más altos fueron 0.0306, 0.0249, 0.0235, 0.0228, 0.0222 y 0.0217, reportando estos valores para los municipios de Apaseo El Grande, Celaya, Tarimoro, Acámbaro, Villagrán y Tarandacuao, respectivamente, obteniendo un valor de 3 en la escala de valores de resistencia considerada como "Moderada". Caso contrario fue con la media 0.0076 que presentó resistencia 1, considerando a Yuriria con una actividad o como un nivel de resistencia "Nula". Laskowska *et al.* (1999) mencionan que las GST no son un mecanismo significativo de resistencia en áfidos, ya que se ha reportado que presentan cambios en la actividad de enzimas detoxificativas asociadas en el metabolismo de glutatión, como fue el caso de *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus, 1758) que al alimentarse de cereales aumento la actividad de GST, mientras que la actividad de glutatión reductasa se redujo.

Para el caso de la enzima ACE, los valores más altos fueron de 0.0282 reportando, según Montella *et al.* (2007) resistencia tipo 4, por lo que la actividad enzimática en el municipio de Tarimoro es considerada como "Alta". Caso contrario fue para las medias 0.0049, 0.0048, 0.0044 y 0.0023 que correspondieron a los niveles más bajos, siendo Celaya, Tarandacuao, Yuriria y Acámbaro, respectivamente, los municipios que presentaron la actividad enzimática más baja con valor de 1 en la escala de resistencia que corresponde a "Nula". Wang *et al.* (2004) mencionan que el principal mecanismo de resistencia en muchos insectos es la alteración de acetilcolinesterasa, ya que se observa como insensibilidad y múltiples formas mutantes de la misma enzima; debido a esto, el insecticida no puede acoplarse y no ejerce su acción dado el cambio. Por otro lado, cuando se inhibe la acetilcolinesterasa, se acumula acetilcolina en el espacio sináptico alterando el funcionamiento normal del impulso nervioso (Bisset, 2002), por lo que la enzima ACE produce un amplio espectro de resistencia a los organofosforados y en mayor medida a los carbamatos.

Con relación a los niveles enzimáticos obtenidos por las oxidasas, los mayores valores se registraron en los especímenes colectados en Celaya (0.3899) y Apaseo el Alto (0.3787) con valores nivel 4. Caso contrario fue para los municipios de Yuriria, Tarimoro y Acámbaro en donde se obtuvieron los valores más bajos con 0.244, 0.2308 y 0.022, respectivamente, con valor de 1 en la escala de clasificación que correspondió a resistencia "Nula". Las oxidasas juegan un papel fundamental en la detoxificación de diversos plaguicidas (Pimentel *et al.*, 2008), y participan directamente en la inhabilitación del producto u oxidándolo para que entren otros sistemas enzimáticos y puedan ser detoxificados. También, se ha reportado que en *Anopheles funestus* Giles, 1990 las enzimas oxidasas son el principal mecanismo de detoxificación en la resistencia a piretroides (Wondji *et al.*, 2009).

El dendrograma que agrupa las áreas de estudio (municipios) considerando los valores de los niveles enzimáticos que se registraron en los especímenes de las poblaciones de *M. sacchari* formó tres grupos (Fig. 1). El primer grupo se constituyó por las enzimas GST y ACH, las cuales se encontraron muy relacionadas indicando que las poblaciones estuvieron bajo presión de selección a insecticidas. Las enzimas GST y ACH presentaron medias de 0.0108 a 0.0208. El segundo grupo, conformado por las enzimas GST, ACH y Oxid, presento valores de 0.0108 a 0.0208. GST, ACH y Oxidasas conformaron el segundo grupo, observando valores de 0.0108 a 0.2879, mientras que el tercer y último grupo se formó con las enzimas α -est y β -est, con promedios de 0.9154 a 1.0038. Lo anterior indica claramente que la resistencia del pulgón amarillo en la región sur del estado de Guanajuato está relacionada principalmente con la alta actividad de las enzimas α -est y β -est, lo cual sugiere que en esta área se ha desarrollado principalmente por aplicación de insecticidas organofosforados y carbamatos. Pasteur y Raymond (1996) mencionan que estas dos enzimas son las responsables en la resistencia a través de la detoxificación de estos grupos químicos. Por otro lado, Cao *et al.* (2008) reportan que las esterases se expresan mediante un gen asociado a la sobreproducción de carboxilesterasas, que a su vez están asociadas a la resistencia por insecticidas organofosforados.

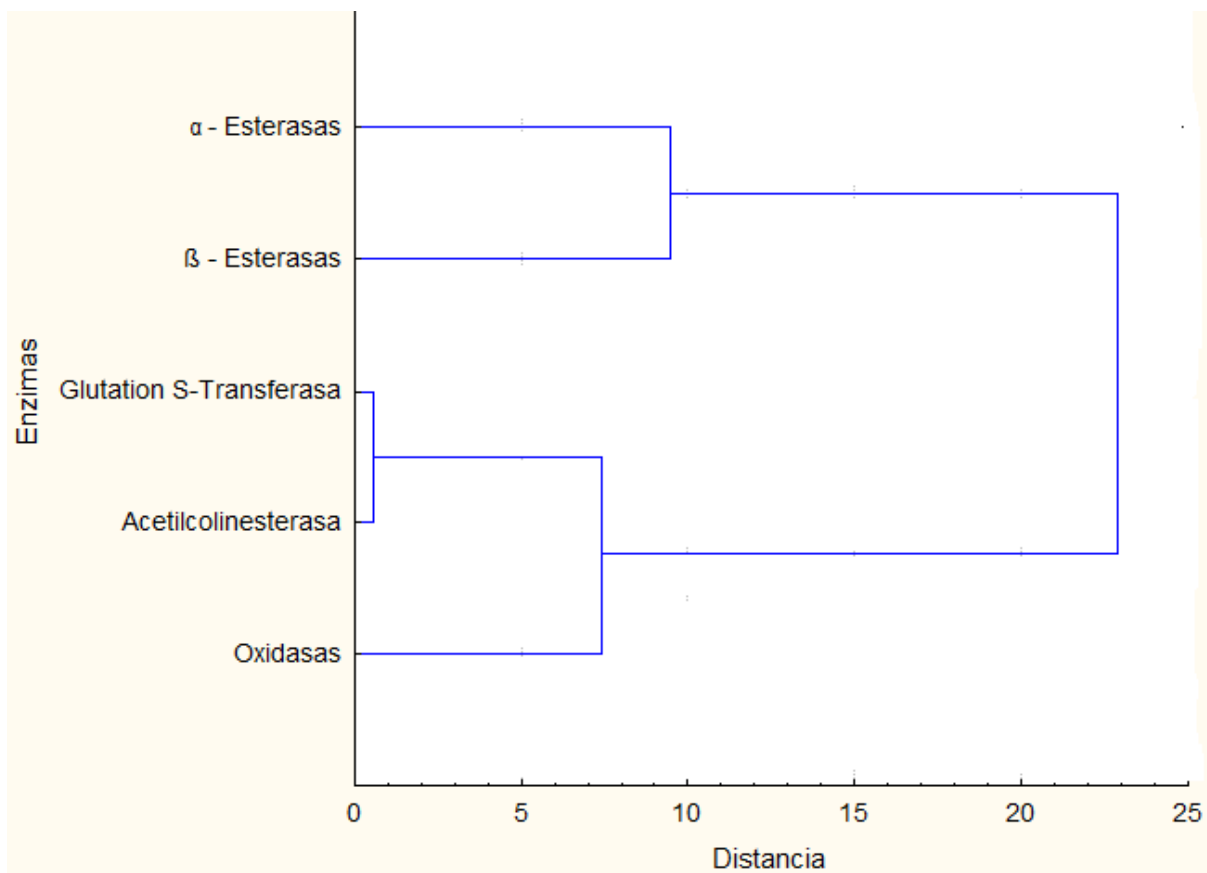


Figura 1. Dendrograma generado con base en los valores enzimáticos de pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*) colectados en 11 municipios de la región sur del Estado de Guanajuato.

El análisis de componentes principales (Fig. 2) empleado para simplificar la complejidad y relacionar la presencia de enzimas y el municipio estudiado, asoció en cinco diferentes grupos a los municipios. El primer grupo fue conformado por los municipios Yuriria, Tarandacua y Cortázar, los cuales son explicados por el componente uno. Un segundo grupo lo conformaron Cortázar y Jerécuaro, estos no tienen una correlación estrecha, además de que su ángulo no alcanza 90 grados y, por lo tanto, esos se catalogaron en un mismo grupo, el cual se considera intermedio debido a que el municipio de Cortázar se encuentra también en el grupo 1 y Jerécuaro en el grupo 3. El tercer grupo estuvo conformado por los municipios de Jerécuaro, Apaseo El Alto y Juventino Rosas, mientras que el cuarto grupo lo conformo Villagrán, Apaseo El Alto, Celaya, Acámbaro y Tarimoro. Por último, el quinto grupo se formó por Tarimoro y Villagrán, los cuales podrían estar explicados por el componente dos, además este grupo se considera intermedio debido a que Tarimoro se encuentra en el grupo 4 y Yuriria en el grupo 1.

Referente a las enzimas, se observó que tanto α -est como β -est fueron las enzimas registradas en los especímenes con mayor resistencia, β -est fue la de mayor resistencia en los municipios del grupo 4, mientras que α -est fue en los municipios del grupo 3. Las enzimas GST y ACE están ubicadas en el 0 del biplot, lo que indica una resistencia igual entre los especímenes colectados en todos los municipios, mientras que Oxid se posicionaron cercanas al grupo 3.

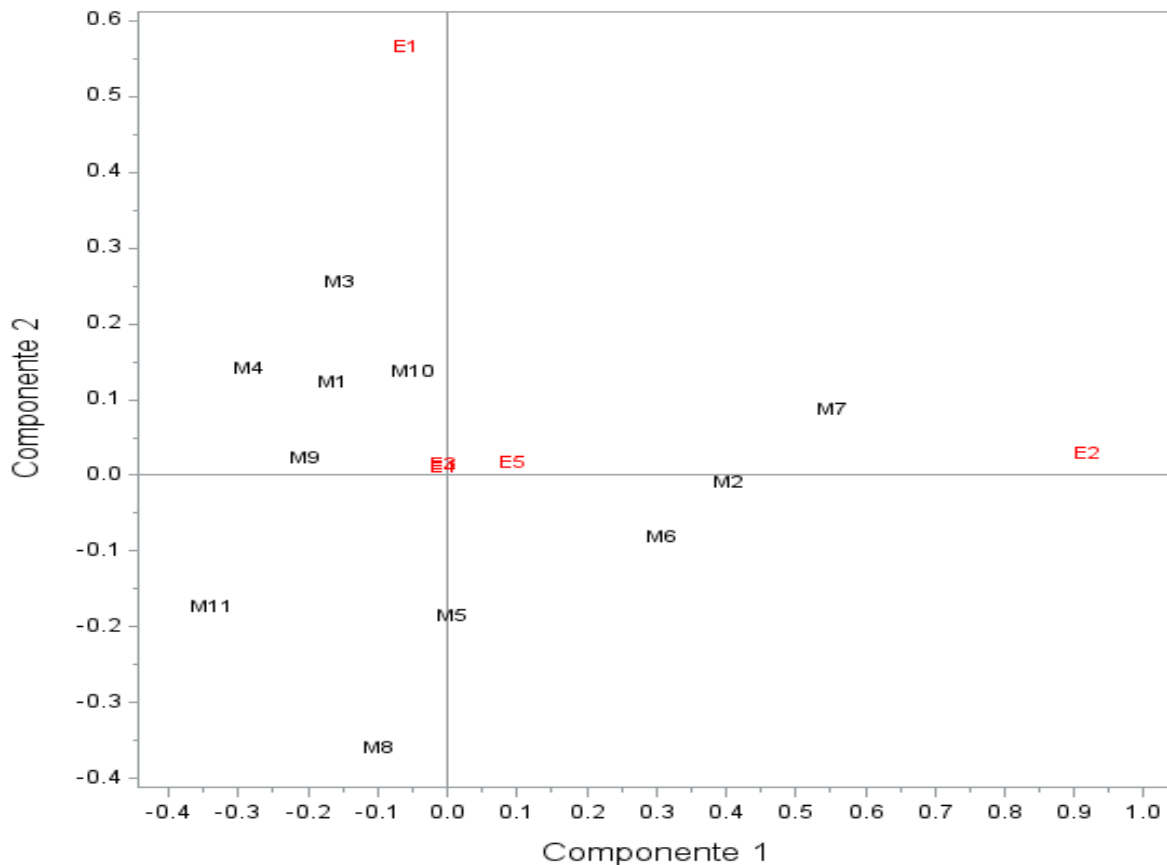


Figura 2. Dispersión de los niveles enzimáticos de α -est, β -est, GST, ACH y Oxid presentes en *Melanaphis sacchari* de 11 municipios de la región centro del Estado de Guanajuato.

Cuadro 1. Comparación de medias de absorbancias enzimáticas de *Melanaphis sacchari* y escala de clasificación de resistencia en especímenes colectados en el sur del estado de Guanajuato. N= Número; Abs= Absorbancias; Esc= Escala.

N	Municipio	Niveles Enzimáticos (µg/mL)														
		α-Esterasas			β-Esterasas			Glutation S-Transferasa		Acetilcolinesterasa		Oxidasas				
		Abs. ± SD	Esc.		Abs. ± SD	Esc.		Abs. ± SD	Esc.	Abs. ± SD	Esc.	Abs. ± SD	Esc.			
1	Acámbaro	0.7780 ± 0.1121	fg	3	1.0880 ± 0.0931	ab	4	0.0228 ± 0.0091	b	3	0.0023 ± 0.0034	c	1	0.0221 ± 0.0413	f	1
2	Apaseo el Alto	1.2833 ± 0.1362	b	5	0.9759 ± 0.1384	cd	3	0.0201 ± 0.0135	bc	2	0.0092 ± 0.0099	bc	2	0.3787 ± 0.0742	ab	4
3	Apaseo el Grande	0.7872 ± 0.1203	fg	3	1.1601 ± 0.1607	a	4	0.0306 ± 0.0162	a	3	0.0248 ± 0.0175	a	3	0.2558 ± 0.0440	cde	2
4	Celaya	0.6451 ± 0.0994	h	2	1.0985 ± 0.1078	ab	4	0.0249 ± 0.0153	ab	3	0.0049 ± 0.0077	c	1	0.3899 ± 0.0525	a	4
5	Cortázar	0.9182 ± 0.1204	d	3	0.8999 ± 0.0860	e	2	0.0199 ± 0.0056	bc	2	0.0129 ± 0.0117	b	2	0.2836 ± 0.0540	c	2
6	Jerécuaro	1.2042 ± 0.1158	c	4	0.9433 ± 0.1098	de	4	0.0148 ± 0.0080	c	2	0.0085 ± 0.0156	bc	2	0.2747 ± 0.0570	cd	2
7	Juventino Rosas	1.4284 ± 0.1510	a	5	1.0244 ± 0.1591	bc	3	0.0190 ± 0.0097	bc	2	0.0061 ± 0.0090	bc	2	0.3488 ± 0.0529	b	3
8	Tarandacuao	0.8132 ± 0.1063	ef	2	0.8058 ± 0.1108	f	1	0.0217 ± 0.0108	bc	3	0.0048 ± 0.0100	c	1	0.2861 ± 0.0463	c	2
9	Tarimoro	0.7337 ± 0.1112	g	2	1.0305 ± 0.1756	bc	3	0.0235 ± 0.0141	ab	3	0.0282 ± 0.0194	a	4	0.2298 ± 0.0269	ef	1
10	Villagrán	0.8771 ± 0.1073	de	3	1.0877 ± 0.1219	ab	4	0.0222 ± 0.0102	b	3	0.0126 ± 0.0095	b	2	0.2726 ± 0.0473	cd	2
11	Yuriria	0.6020 ± 0.0910	h	2	0.9274 ± 0.0920	de	3	0.0076 ± 0.0067	d	1	0.0044 ± 0.0079	c	1	0.2440 ± 0.0545	de	1

Respecto a la variabilidad de resistencia en los especímenes colectados en los 11 municipios del estado de Guanajuato, que observó que la actividad enzimática de α -est, β -est, GST, ACH y Oxidasas, tanto el factor 1 como el factor 2, explican el 69.72 %. El factor 1 (42.10 %) presentó una mejor agrupación para la enzima GST con respecto a las demás con 0.0183, donde los municipios que presentaron una mayor agrupación para esta enzima fueron Villagrán, Acámbaro y Tarimoro presentando asociación positiva de 0.1420, 0.1270 y 0.0263, respectivamente (Fig. 2). El factor 2 (27.62 %) estuvo determinado con asociación negativa entre los municipios de Cortázar y Jerécuaro, que obtuvieron valores de -0.1809 y -0.0780, respectivamente, para la enzima ACH (Cuadro 2).

Cuadro 2. Componentes enzimáticos principales de 11 poblaciones de *Melanaphis sacchari* colectados en la región sur del estado de Guanajuato, México.

Enzima	Factor 1	Factor 2
Alfa-esterasas (α -est)	0.4450	-0.6722
Beta-esterasas (β -est)	-0.7270	-0.3438
Glutation S-transferasa (GST)	-0.8013	-0.4061
Acetilcolinesterasa (ACH)	0.7737	-0.0262
Oxidasas (Oxi)	0.3696	-0.8030
Total	42.10	27.62

Se observa que las enzimas que tuvieron una mejor agrupación fueron ACH, con una asociación positiva de 0.0183, en agrupación con GST de 0.01531 y oxidasas de 0.0210. Los municipios que se encuentran en el círculo de estas enzimas son Villagrán (0.1420), Acámbaro (0.1270) y Tarimoro (0.0263), con agrupación positiva. En caso contrario estuvieron Cortázar (-0.1809) y Jerécuaro (-0.0780) con asociación negativa. Los resultados muestran la diversidad en la presencia enzimática de *M. sacchari* en los 11 municipios muestreados de la región sur del estado de Guanajuato.

Los resultados muestran que las poblaciones de *M. sacchari* procedentes de los 11 municipios de la región sur de Guanajuato tienen una detoxificación a insecticidas relacionada con la alta actividad de las enzimas α -est y β -est, esto posiblemente se deba a la aplicación de insecticidas organofosforados y carbamatos. Para la enzima α -est en los municipios de Juventino Rosas y Apaseo El Alto, se observaron los mayores niveles de resistencia que, de acuerdo con la escala, corresponde a "Muy alta". Por otro lado, en la actividad enzimática de β -est, Apaseo El Grande, Celaya, Acámbaro, Villagrán y Jerécuaro reportaron resistencia "Alta". En cuanto a los niveles enzimáticos de GST, los municipios de Apaseo El Grande, Celaya, Tarimoro, Acámbaro, Villagrán y Jerécuaro, presentaron resistencia "Moderada". El municipio de Tarimoro fue el que mayor actividad de ACE con resistencia "Alta", y para el caso de oxidasas, Apaseo El Alto y Celaya obtuvieron una resistencia "Alta". Con base en lo anterior, el principal mecanismo detoxificador presente en las 11 poblaciones del pulgón amarillo fueron α y β esterases.

AGRADECIMIENTOS. A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y al Departamento de Parasitología Agrícola por el apoyo económico para la realización del presente estudio.

LITERATURA CITADA

- Ahmad, M., Denholm, I., Bromilow, R. H.** (2006) Delayed cuticular penetration and enhanced metabolism of deltamethrin in pyrethroid-resistant strains of *Helicoverpa armigera* from China and Pakistan. *Pest Management Science*, 62 (9), 805–810.
<https://doi.org/10.1002/ps.1225>
- Bass, C., Field, L. M.** (2011) Gene amplification and insecticide resistance. *Pest Management Science*, 67 (8), 886–890.
<https://doi.org/10.1002/ps.2189>
- Bisset, A.** (2002) Uso correcto de insecticidas: control de la resistencia. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 54, 202–219.
- Brogdon, W. G.** (1988) Microassay of acetylcholinesterase activity in small portions of single mosquito homogenates. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology*, 90 (1), 145–150.
[https://10.1016/0742-8413\(88\)90110-7](https://10.1016/0742-8413(88)90110-7)
- Brogdon, W. G., Barber, A. M.** (1990) Microplate assay of glutathione S-transferase activity for resistance detection in single-mosquito triturates. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 96 (2), 339–342.
[https://10.1016/0305-0491\(90\)90385-7](https://10.1016/0305-0491(90)90385-7)
- Brogdon, W. G., Dickinson, C. M.** (1983) A microassay system for measuring esterase activity and protein concentration in small samples and in high-pressure liquid chromatography eluate fractions. *Analytical Biochemistry*, 131 (2), 499–503.
[https://doi.org/10.1016/0003-2697\(83\)90204-X](https://doi.org/10.1016/0003-2697(83)90204-X)
- Brogdon, W. G., McAllister, J., Vulule, J.** (1997) Heme peroxidase activity measured in single mosquitoes identifies individuals expressing an elevated oxidase for insecticide resistance. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 13 (3), 233–237.
- Cao, C. W., Zhang, J., Gao, X. W., Liang, P., Guo, H. L.** (2008) Overexpression of carboxylesterase gene associated with organophosphorous insecticide resistance in cotton aphids, *Aphis gossypii* (Glover). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 90 (3), 175–180.
<https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2007.11.004>
- Carranza, J. Á., Quintero, V. P., Muniz, R. B., López, A. M.** (2017) Guía 2017 Para El Manejo Del Pulgón. Disponible en: http://www.pulgonamarillo.to.com/exteduc/publicaciones/guia_MIPulgonamarillo_2017.pdf (Consultado 01 diciembre 2018).
- CESAVEG** (2008) Campaña de Manejo Fitosanitario del Sorgo. Disponible en: http://www.cesaveg.org.mx/html/folleto/folleto_08/folleto_sorgo_08.pdf (Consultado 02 octubre 2017).
- FAO** (2012) Directrices sobre la Prevención y Manejo de la Resistencia de los Plaguicidas. Disponible en: www.fao.org/3/a-bt561s.pdf (Consultado 03 diciembre 2018).
- Flores, E. A., Badii, M. H., Ponce, G. G.** (2001) Resistencia a insecticidas en insectos vectores de enfermedades con énfasis en mosquitos. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 2 (4) 1–8.

- Flores, A. E., Grajales, J. S., Salas, I. F., Garcia, G. P., Becerra, M. H. L., Lozano, S., Beaty, B.** (2006) Mechanisms of insecticide resistance in field populations of *Aedes aegypti* (L.) from Quintana Roo, Southern Mexico. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 22 (4), 672–677.
[https://doi.org/10.2987/8756-971X\(2006\)22\[672:MOIRIF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2987/8756-971X(2006)22[672:MOIRIF]2.0.CO;2)
- Gómez, S., Díaz, J.** (1999) Aspectos biológicos de *Melanaphis sacchari* (Zehnt.) (Homoptera: Aphididae). *Centro Agrícola*, 26, 13–16.
- Hernández, B. O., Arredondo, P. M. A., Cerna, C. E., Ochoa, F. Y. M., Navarro, C. F. E.** (2016) Cuantificación de enzimas detoxificativas en pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sacchari*) en Saltillo, México. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 3, 5–12.
- INTAGRI** (2016) Pulgón Amarillo del Sorgo (*Melanaphis sacchari*) Nueva Plaga del Sorgo Mexicano. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/pulgon-amarillo-sorgo> (Consultado 01 enero 2018).
- Laskowska, I., Leszczynski, B., Markowski, J.** (1999) Activity of glutathione transferase and reductase in tissues of bird cherry-oat aphid during its host-plant alternation. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 51 (4–5), 357–359.
[https://doi.org/10.1016/S0940-2993\(99\)80021-9](https://doi.org/10.1016/S0940-2993(99)80021-9)
- Li, X., Schuler, M. A., Berenbaum, M. R.** (2007) Molecular mechanisms of metabolic resistance to synthetic and natural xenobiotics. *Annual Review of Entomology*, 52, 231–253.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151104>
- López-Ávila, A., Cardona Mejía, C., García González, J., Rendón, F., Hernández, M. D. P.** (2001) Reconocimiento e identificación de enemigos naturales de moscas blancas (Homoptera: Aleyrodidae) en Colombia y Ecuador. *Revista Colombiana de Entomología*, 27, 137–141.
- Montella, I. R., Martins, A. J., Viana-Medeiros, P. F., Lima, J. B. P., Braga, I. A., Valle, D.** (2007) Insecticide resistance mechanisms of Brazilian *Aedes aegypti* populations from 2001 to 2004. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 77 (3), 467–477.
- Pasteur, N., Raymond, M.** (1996) Insecticide resistance genes in mosquitoes: their mutations, migration, and selection in field populations. *Journal of Heredity*, 87 (6), 444–449.
<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a023035>
- Peña, D.** (1987) Estadística, Modelos y métodos. Vol 2. Métodos Lineales y Series Temporales. Alianza Universidad Texto. Madrid, España.
- Peña, M. R., Muñoz, V. A. L., Marín, J. A., Bujanos, M. R., Tamayo, M. F., Luevano, B. J., Sánchez, S. L., Ibarra, R. J.** (2017) Guía ilustrada para la identificación de los pulgones (Hemiptera: Aphididae) de los cereales en México. Fundación Guanajuato Produce, A.C. 59 pp. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/320291122_Guia_ilustrada_para_la_identificacion_de_los_pulgones_HemipteraAphididae_de_cereales_en_Mexico (Consultado 19 octubre 2017).
- Pimentel, M. A. G., Faroni, L. R. D. A., Batista, M. D., Silva, F. H. D.** (2008) Resistance of stored-product insects to phosphine. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43, 1671–1676.
- R Core Team** (2013) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- SDAYR** (2016) Guía para el manejo del pulgón amarillo del sorgo. Secretaria de desarrollo agroalimentario y rural. Disponible en:

<http://sda.guanajuato.gob.mx/contenido/adjuntos/publicaciones/2016/CuadernilloPulgónAmarillo.pdf> (Consultado 16 junio 2018).

SENASICA (2014) Pulgón amarillo *Melanaphis sacchari* (Zehntner). Dirección General de Sanidad Vegetal-Programa Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. México, D.F. Ficha Técnica, no 43, 15 pp. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/159533/FICHA_T_CNICA_PAS.pdf (Consultado 03 enero 2018).

Statistica (2003) User Guides Stat-Soft Inc. Statistica® 6.0. Tulsa, OK, USA.

Wang, J. J., Cheng, W. X., Ding, W., Zhao, Z. M. (2004) The effect of the insecticide dichlorvos on esterase activity extracted from the psocids, *Liposcelis bostrychophila* and *L. entomophila*. *Journal of Insect Science*, 4 (1), 23.
<https://doi.org/10.1093/jis/4.1.23>

Wondji, C. S., Irving, H., Morgan, J., Lobo, N. F., Collins, F. H., Hunt, R. H., Ranson, H. (2009) Two duplicated P450 genes are associated with pyrethroid resistance in *Anopheles funestus*, a major malaria vector. *Genome Research*, 19 (3), 452–459.
<https://10.1101/gr.087916.108>

Zehntner, L. (1897) Overzicht van de Ziekten van het Suikerriet op Java 2^e deel. *Archief voor de Java-Suikerindustrie*, 5, 525–575.