

Herbicidas inhibidores de acetolactato sintasa y acetil carboxil coenzima A en *Avena fatua*

Andrés González-Ruiz¹
Carlos Enrique Ail-Catzim²
Carlos Alfonso López-Orona¹
Raymundo Medina-López¹
Mitzi Dayanira Estrada-Acosta¹
Guadalupe Alfonso López-Urquidez^{1,5}

1 Universidad Autónoma de Sinaloa-Facultad de Agronomía. Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5, Culiacán, Sinaloa, México. CP. 80398. (ag-ruiz2009@hotmail.com; clopezorona@uas.edu.mx; raymedinalop@hotmail.com; mitziestrada@uas.edu.mx).

2 Universidad Autónoma de Baja California-Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera Delta Oaxaca s/n, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California. CP. 21705. (carlos.ail@uabc.edu.mx).

Autor para correspondencia: alfonsolopezurquidez@uas.edu.mx

Resumen

Avena fatua es una maleza muy importante en trigo a nivel mundial. Esto también ocurre en el Valle de Mexicali, BC., donde se utilizan herbicidas inhibidores de Acetolactato Sintasa (ALS) y de la Acetil Carboxil Coenzima A (ACCasa) para controlar a esta gramínea. En la búsqueda de la mejor alternativa para el productor, en esta investigación se tuvo como objetivo estimar la eficiencia de estos dos grupos de herbicidas para controlar *Avena fatua*. Los ensayos se realizaron durante el ciclo otoño-invierno 2021-2022 en tres ejidos de dicho Valle (República Mexicana, Nayarit y Sombrerete). Los experimentos incluyeron herbicidas representativos de cada grupo. ALS estuvo compuesto por iodosulfuron, flucarbozone y pyroxsulam; ACCasa se integró por fenoxaprop y pinoxaden. Los experimentos se dispusieron en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de varianza para control, densidad de malezas y rendimiento del cultivo; se midió la eficacia de los herbicidas mediante un modelo de regresión no lineal; Se estimó la eficiencia del control de malezas y el índice de maleza. Los resultados indican que el mejor grupo de herbicidas fue ACCasa. Por ejemplo, en la proyección del nivel de daño, en experimento República Mexicana, se tiene $\text{fenoxaprop} = 77.16 + 0.78 \cdot \text{DDA} - 0.009 \cdot \text{DDA}^2$; es decir, el daño en la maleza incrementa ligeramente a través del tiempo, al menos hasta los 56 DDA. Al contrario, mesosulfuron pierde eficiencia de 6.41% diario en la segunda etapa del periodo evaluado: $138.20 - 6.41 \cdot \text{DDA} + 0.07 \cdot \text{DDA}^2$. En eficiencia en el mismo sitio, fenoxaprop tiene 83.15% y iodosulfuron solo 37.5%.

Palabras clave:

control de maleza, efectividad biológica, rendimiento, resistencia.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Introducción

La avena silvestre (*Avena fatua* L.) es una de las especies de malezas que más afecta a los cultivos de invierno a nivel mundial (Tidemann *et al.*, 2021). Así mismo, es una de las principales en la región del Valle de Mexicali en el cultivo de trigo (Herrera Andrade *et al.*, 2010). Para resolver este problema en los cultivos, se utilizan diferentes estrategias, incluido el uso de químicos sintéticos (Gao y Su, 2024). Para controlar *Avena fatua* en trigo, se aplican varios herbicidas, que se concentran en dos grupos. Por un lado, están los inhibidores de la Acetolactato Sintasa (ALS) y por otro los inhibidores de la Acetil Carboxil Coenzima A (ACCasa) (Cobb y Reade, 2010).

Los inhibidores de la ALS, son utilizados por su alta eficacia, su bajo impacto ambiental y su amplia selectividad de cultivos (Heap, 2020). Sin embargo, hay muchos biotipos resistentes a APPs (ariloxifenoxipropionatos) y a CHDs (ciclohexanodionas) (Tafuya-Razo *et al.*, 2022). Esto se debe a una mutación en la ACCasa que reduce su sensibilidad al herbicida (Hassanpour-bourkheili *et al.*, 2021). También hay malezas resistentes a herbicidas inhibidores de la ALS, que, en la mayoría de los casos, es causada por una mutación en el sitio de acción (Lonhienne *et al.*, 2022), aunque en algunos casos, puede ser provocada por limitada absorción, translocación y secuestro del herbicida en vacuolas (Yu y Powles, 2014).

Por su parte, Cruz-Hipolito *et al.* (2011) evaluaron dos biotipos de *A. fatua*, uno procedente de México y otro de Chile, resultado susceptibles a pinoxaden, con una concentración letal 50. Además, Torres-García *et al.* (2018) identificaron una mutación dentro de la enzima ALS e indican que es probable que esta cause la resistencia en los biotipos de *A. fatua* en México. A partir de lo anterior, se evaluó el efecto de los herbicidas inhibidores de ALS y ACCasa sobre *Avena fatua* en trigo en el Valle de Mexicali, BC.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en tres ejidos de la zona triguera del Valle de Mexicali, BC., durante el ciclo otoño-invierno 2020-2021, en predios con el antecedente de que, con la aplicación de herbicidas, se han tenido deficiencias para controlar *A. fatua*. El ejido República Mexicana se encuentra al norte del Valle de Mexicali a 60.931 km de la ciudad, la parcela agrícola se ubicó a los 32° 38' 38.19" N, 114° 48' 50.4" O a 34 msnm.

El ejido Nayarit se encuentra en la parte centro a 39.426 km de la ciudad, el predio se ubicó a los 32° 18' 50.02" N, 115° 16' 44" O a 13 msnm. El ejido Sombrerete, se encuentra al sur del Valle a 63.41 km de la ciudad, la parcela agrícola se ubicó a los 32° 9' 28.15" N, 115° 3' 48.19" O a 9 msnm. Los experimentos se desarrollaron con temperaturas promedio de máxima y mínima de 29.33 °C y 10.53 °C y de menor precipitación del año (SIMARBC, 2022). El cultivo se manejó de acuerdo con las prácticas culturales de los agricultores, a excepción de la aplicación de herbicidas.

En el ejido República Mexicana, se aplicó el herbicida el 27 de diciembre de 2020, (altura promedio de *A. fatua* de 9.48 cm); en el ejido Nayarit los herbicidas se aplicaron el 17 de enero de 2021 (altura promedio de maleza de 10.45 cm); en el ejido Sombrerete se estableció el 19 de febrero de 2021 (altura promedio de maleza de 11.37 cm) y el trigo en pleno amacollo. Esto fue lo determinante el momento de la aplicación del herbicida.

Los herbicidas se evaluaron a dosis comerciales recomendadas (Cuadro 1). En la aplicación de los herbicidas se utilizó una pulverizadora motorizada 25 L Forza 25 K2P2L de dos tiempos equipada con una barra pulverizadora de 1.2 m de distancia con boquillas de abanico plano TeeJet 80.02 (apertura uniforme de 80° y un gasto de 0.2 galones min⁻¹), calibrada a un gasto de 295.5 L ha⁻¹. Así mismo, se acondicionó el caldo de aplicación de acuerdo con el pH óptimo según el herbicida y una conductividad eléctrica promedio de 1.31 dS m⁻¹, para ello se utilizó un medidor modelo HO9812 g.



Cuadro 1. Herbicidas inhibidores de la ALS y ACCasa evaluados sobre *A. fatua*.

Ingrediente activo	Marca	Dosis	pH	Familia química	MDA
Iodosulfuron- metil-sodio	Sigma Forte (OD 1.2%)	1.5 L ha ⁻¹	8.28	Sulfonilureas	ALS
Flucarbazone sodio	Everest [®] 70 WDG (70% p/p GD)	30 g ha ⁻¹	6.1	Sulfonil-amino- carbonil-triazolinonas	ALS
Pyroxsulam	Across (OD 2.9%)	0.5 L ha ⁻¹	7.03	Triazolopirimidina	ALS
Fenoxaprop-p-etil	Puma Super (Emulsión aceite en agua 6.5%)	1 L ha ⁻¹	8.26	Ariloxifenoxi- propionatos	ACCasa
Pinoxaden	Axial (5%p/v CE)	1.2 L ha ⁻¹	7.55	Fenilpirazoles	ACCasa

Información recabada de las fichas técnicas de los herbicidas comerciales utilizados en el presente estudio. ALS= Acetolactato sintasa.; ACCasa =Acetil Coenzima A Carboxilasa; WDG: gránulos dispersables; MDA= mecanismo de acción.

Se aplicó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de 41.53 m². El área útil fue de 18.96 m². Dividida en cuatro unidades de muestreo. Se evaluó la altura de plantas, densidad de malezas y eficacia de control de los herbicidas. En cada punto de muestreo, se seleccionaron cinco plantas aleatoriamente (20 por unidad experimental).

La altura de planta se midió desde la superficie del suelo con una cinta métrica; para registrar la densidad de avena se contó el total de plantas por m² y el rendimiento en grano en kg m⁻²; el daño se midió mediante observación visual, para ello se utilizó la escala de 1 a 9 de la Sociedad Europea de Investigación en Maleza. Los datos se obtuvieron a los 14, 28, 42 y 56 días después de la aplicación de herbicida (DDA). La eficiencia del control de malezas se calculó de acuerdo con Mani *et al.* (1973), para ello se aplicó la siguiente fórmula:

$$EFM\% = \frac{BMc - BMt}{BMc} \times 100$$

Dónde: EFM= eficiencia del control de la maleza (%); BMc= densidad de plantas de *A. fatua* m⁻² en la parcela de control; BMt= densidad de plantas de *A. fatua* m⁻² en la parcela tratada. El cálculo del índice de maleza (IM) se realizó mediante la fórmula propuesta por Gill y Kumar (1969):

$$IM = \frac{X - Y}{X} \times 100$$

Donde: X= rendimiento (t ha⁻¹) del tratamiento de mínima competencia de malezas; Y= rendimiento (t ha⁻¹) de la unidad experimental del tratamiento evaluado.

Se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias entre los tratamientos mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$), se verificó que los datos tuvieran distribución normal, mediante la prueba de Shapiro; también se confirmó que los tratamientos tuvieran varianzas iguales con la prueba de Levene. Además, se realizó un análisis de la pérdida de efectividad biológica de los herbicidas con base en el porcentaje de control reportado cada semana. Para ello se aplicó el modelo de regresión no lineal polinomial de segundo orden. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa XLSTAT versión 2022 (Addinsoft, 2022).



Resultados y discusión

Efectividad biológica de los herbicidas evaluados

En el ensayo realizado en el ejido República Mexicana, todos los tratamientos tuvieron una alta efectividad sobre *A. fatua* a los 14 DDA (Cuadro 2). Aunque fueron mejores los herbicidas pertenecientes al grupo ACCasa, pinoxaden y fenoxaprop-p-etil con un porcentaje de daño de 88.12 y 86.12%. El efecto de estos dos herbicidas mantuvo una constante durante el experimento. Por el contrario, los herbicidas del grupo ALS (Pyroxsulam, Flucarbazone y Iodosulfuron), disminuyeron su efectividad después de los 14 DDA.

Cuadro 2. Porcentaje de plantas de *A. fatua* dañadas \pm EE en el experimento ejido República Mexicana.

Tratamientos	DDA 14	DDA 28	DDA 42	DDA 56
Testigo	0 \pm 0e	0 \pm 0d	0 \pm 0d	0 \pm 0c
Flucarbazone	71.75 \pm 4.24c	18.43 \pm 13.02c	3 \pm 0.87cd	1 \pm 0c
Pyroxsulam	80 \pm 1.84b	53.12 \pm 4.4b	3.87 \pm 1.48c	2.25 \pm 0.95c
Pinoxaden	88.12 \pm 1.89a	91.68 \pm 0.3a	90 \pm 3.35b	88.87 \pm 4.22b
Iodosulfuron-metil-sodio	64.68 \pm 1.87d	8.18 \pm 3.95c	1.53 \pm 0.26cd	1 \pm 0c
Fenoxaprop-p-etil	86.12 \pm 2.49a	92.68 \pm 0.9a	93.75 \pm 0.51a	93.43 \pm 0.31a

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey $p < 0.05$). EE= error estándar; DDA= días después de la aplicación.

Con el análisis de regresión no lineal se obtuvo que: fenoxaprop= $77.16+0.78*DDA-0.009*DDA^2$; pinoxaden= $83.67+0.42*DDA-0.006*DDA^2$; pyroxsulam= $137-4.27*DDA+0.03*DDA^2$; flucarbazone= $144.61-6.21*DDA+0.065*DDA^2$; iodosulfuron= $138.20-6.41*DDA+0.07*DDA^2$. Esto indica que los herbicidas pertenecientes al ACCasa, tienen una tendencia uniforme, a lo largo del tiempo. Por su parte, los herbicidas del grupo ALS, iodosulfuron y flucarbozone, tuvieron una pérdida de eficiencia diaria de 6.41 y 6.21% respectivamente en la etapa de los 14 a los 28 DDA.

En el experimento del ejido Nayarit, los herbicidas tuvieron una eficiencia alta a los 14 DDA, la cual incrementó ligeramente a los 28 y 42 DDA para todos los herbicidas, salvo iodosulfuron y flucarbazone. Mientras que a los 56 DDA, todos los herbicidas causaron menos daño a la maleza, pero fue mayor en los herbicidas ALS (Cuadro 3).

Cuadro 3. Porcentaje de plantas de *A. fatua* dañadas \pm EE en el experimento ejido Nayarit.

Tratamientos	DDA 14	DDA 28	DDA 42	DDA 56
Testigo	0 \pm 0.0c	0 \pm 0.0c	0 \pm 0d	0 \pm 0b
Flucarbazone	69.68 \pm 0.6b	66.56 \pm 3.93b	64.37 \pm 2.42c	12.18 \pm 2.62b
Pyroxsulam	77.18 \pm 3.04a	82.18 \pm 1.18a	84.37 \pm 1.49ab	55 \pm 4.48a
Pinoxaden	73.12 \pm 1.8ab	85.93 \pm 3.2a	90.5 \pm 3.56a	72.37 \pm 11.13a
Iodosulfuron-metil-sodio	71.87 \pm 4.35ab	72.18 \pm 3.44b	68 \pm 3.78c	9.37 \pm 1.56b
Fenoxaprop-p-etil	71.87 \pm 1.08ab	73.75 \pm 1.69b	81.87 \pm 5.83b	61.87 \pm 17.95a

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey $p < 0.05$). EE= error estándar; DDA= días después de la aplicación.

En el análisis de regresión no lineal se muestra que: fenoxaprop= $48.2+2.03*DDA-0.033*DDA^2$; pinoxaden= $36.61+3.21*DDA-0.05*DDA^2$; pyroxsulam = $41.7+3.19*DDA-0.055*DDA^2$; flucarbazone= $25.3+4.11*DDA-0.08*DDA^2$; Iodosulfuron= $17.03+5.08*DDA-0.099*DDA^2$. Esto significa que pinoxaden tendría una efectividad de 77.29% a los 50 DDA, iodosulfuron tendría

24.36% en esos mismos días. Por su parte, los herbicidas ACCasa, tendrían una efectividad de 77.29% en pinoxaden y de 67.34% en fenoxaprop.

En el ejido Sombrerete, todos los herbicidas tuvieron efectos supresivos a los 14 DDA, el cual se mantuvo a los 28 DDA, e incluso, se incrementó en todos los tratamientos, aunque fue menor en flucarbazone. Asimismo, ocurrió una disminución a los 42 DDA y una caída pronunciada de la efectividad de todos los tratamientos a los 56 DDA (Cuadro 4). Además, la proyección a los 50 DDA, arrojada con el análisis de regresión no lineal muestran que pyroxsulam tiene una eficacia de 28.05%; pinoxaden de 27.68%; flucarbazone= 24.1%; fenoxaprop= de 30.6%; iodosulfuron de 28.59%.

Cuadro 4. Porcentaje de plantas de *A. fatua* dañadas ± el EE en el experimento ejido Sombrerete.

Tratamientos	DDA 14	DDA 28	DDA 42	DDA 56
Testigo	0 ±0b	0 ±0b	0 ±0b	0 ±0c
Flucarbazone	69.68 ±0.31a	63.75 ±4.3b	46.87 ±6.18a	4 ±1b
Pyroxsulam	65.62 ±3.17a	67.81 ±1.8ab	54.37 ±5.96a	4 ±1b
Pinoxaden	69.03 ±0.6a	68.12 ±0.63a	52.18 ±5.69a	4.93 ±3.13ab
Iodosulfuron-metil-sodio	69.68 ±0.31a	70.93 ±1.44a	55 ±5.03a	4.31 ±1.14b
Fenoxaprop-p-etil	69.68 ±0.31a	70 ±0.51a	56.56 ±3.44a	7.18 ±2.19a

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey $p < 0.05$). EE= error estándar; DDA= días después de la aplicación.

Estos resultados coinciden con Scursoni *et al.* (2011) quienes encontraron que fenoxapro-p-etil y pinoxaden proporcionaron control similar con valores de 96 y 98% sobre *A. fatua* en trigo. Esto se debe a que los dos inhiben la síntesis de ácidos grasos de especies de hoja angosta (Rosales-Robles, 2006), deteniéndose la síntesis de la membrana, requerida para la síntesis celular (Takano *et al.*, 2020). Por otro lado, los herbicidas inhibidores de la enzima Acetolactato Sintasa inhiben la biosíntesis de aminoácidos de cadena ramificada esenciales para el crecimiento y desarrollo de malezas.

Además, la muerte de las plantas no se debe únicamente a la inanición de estos aminoácidos, pues el herbicida inhibe la división celular al ocurrir una acumulación del α cetobutirato y una disminución en la translocación del floema (Cobb y Reade, 2010).

Efecto de los herbicidas sobre la densidad de plantas de avena silvestre

La densidad de plantas en el ensayo del ejido República Mexicana, disminuyó a partir de los 28 DDA en todos los tratamientos respecto al testigo y mantuvo esta disminución en los tratamientos fenoxaprop y pinoxaden en las etapas 42 y 56 DDA. En el Cuadro 5 se muestra que los herbicidas los pertenecientes al grupo ACCasa, fueron más eficientes a través del tiempo.

Cuadro 5. Eficiencia de los tratamientos (% de control) y densidad de plantas de *A. fatua* ± el EE en el experimento ejido República Mexicana.

Tratamientos	Variable	DDA 0	DDA 14	DDA 28	DDA 42	DDA 56
Testigo	Densidad	362 ±75.5a	527 ±104.6a	722 ±108.8a	807 ±132.91a	743 ±60.5a
	EFM (%)	0	0	0	0	0
Flucarbazone	Densidad	466 ±31.9a	554 ±30.94a	704 ±44.72a	716 ±81.24bc	659 ±62.6a
	EFM (%)	-28.8	-5.1	2.4	11.3	11.4
Pyroxsulam	Densidad	433 ±72.9a	482 ±16.09a	552 ±52.9ab	618 ±63.88b	769 ±35.5a
	EFM (%)	-19.5	8.5	23.6	23.4	-3.4
Pinoxaden	Densidad	365 ±36.7a	359 ±40.28a	338 ±43.23b	295 ±78.53c	216 ±63.8b

Tratamientos	Variable	DDA 0	DDA 14	DDA 28	DDA 42	DDA 56
	EFM (%)	-0.7	31.9	53.1	63.5	71
Iodosulfuron- metil-sodio	Densidad	404 ±72.5a	368 ±61.6a	550 ±131.78ab	636 ±126.9ab	632 ±33a
	EFM (%)	2.4	36.9	21.1	25.7	12.5
Fenoxaprop-p-etil	Densidad	354 ±91.4a	393 ±73.41a	322.92 ±74.1a	256 ±116.27c	148 ±97.5b
	EFM (%)	-9	22.4	50.6	56.1	68.6

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey $p < 0.05$). EE= error estándar; DDA= días después de la aplicación; EFM= eficiencia en control de malezas.

En el experimento realizado en el ejido Nayarit también se marca la diferencia entre los dos grupos de herbicidas, aunque en este caso, los herbicidas pertenecientes al grupo ACCasa solo evitaron el incremento de la población, ya que en el caso de fenoxaprop-p-etil, la densidad disminuyó en promedio 1.1 plantas por día, mientras que pinoxaden tuvo una disminución de 1.66 plantas diarias (Cuadro 6).

Cuadro 6. Eficiencia de los tratamientos (% de control) y densidad de plantas de *A. fatua* ± EE en el experimento ejido Nayarit.

Tratamiento	Variable	DDA 0	DDA 14	DDA 28	DDA 42	DDA 56
Testigo	Densidad	414 ±81.9a	553 ±80.9a	669 ±74.8a	768 ±129.8a	852 ±144.3a
	EFM (%)	0	0	0	0	0
Flucarbazone	Densidad	454 ±179.7a	470 ±147.9a	535 ±112ab	686 ±213.2a	692 ±181.2ab
	EFM (%)	-9.8	15	20	10.7	18.8
Pyroxulam	Densidad	477 ±89.5a	341 ±73.6a	413 ±90.8ab	590 ±117.7ab	632 ±231.9abc
	EFM (%)	-15.3	38.3	38.2	23.2	25.9
Pinoxaden	Densidad	513 ±85.2a	308 ±20.21a	347 ±35.4b	274 ±4.1b	255 ±46.5c
	EFM (%)	-23.9	44.3	48.1	64.3	70.1
Iodosulfuron-metil	Densidad	525 ±51.2a	420 ±18.3a	453 ±4.2ab	566 ±54.6ab	610 ±27.8bc
	EFM (%)	-26.8	24.1	32.2	26.3	28.4
Fenoxaprop-p-etil	Densidad	462 ±56.1a	404 ±37.7a	443 ±97.2ab	432 ±77.4ab	355 ±72.9bc
	EFM (%)	-11.7	27	33.7	43.8	58.3

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey $p < 0.05$). EE= error estándar; DDA= días después de la aplicación; EFM= eficiencia en el control de malezas.

En el experimento ejecutado en el ejido Sombrerete, la densidad de plantas, en las distintas evaluaciones no fue diferente estadísticamente ($p < 0.5$) en todos los tratamientos. Aunque a los 56 DDA los tratamientos pinoxaden y fenoxaprop-p-etil mantuvieron la densidad de plantas menor en comparación al testigo donde se incrementó paulatinamente la población (Cuadro 7).

Cuadro 7. Eficiencia de los tratamientos (% de control) y densidad de plantas de *A. fatua* ± EE en el experimento ejido Sombrerete.

Tratamientos	Variable	DDA 0	DDA 14	DDA 28	DDA 42
Testigo	Densidad	361 ±75.93a	415 ±85.66a	439 ±75.66a	392 ±28.23a
	EFM (%)	0	0	0	0
Flucarbazone	Densidad	294 ±56.09a	301 ±41.85a	319 ±29.89a	305 ±3045a
	EFM (%)	18.6	27.4	27.3	22.2
Pyroxulam	Densidad	276 ±56.28a	311 ±51.02a	310 ±61.46a	320 ±46.65a
	EFM (%)	23.5	25.1	29.3	18.2

Tratamientos	Variable	DDA 0	DDA 14	DDA 28	DDA 42
Pinoxaden	Densidad	390 ±66.68a	307 ±39.25a	328 ±24.62a	350 ±59.01a
	EFM (%)	-8.0	25.9	25.3	10.7
Iodosulfuron-metil	Densidad	325 ±78.05a	402 ±49.54a	386 ±64.68a	374 ±51.77a
	EFM (%)	10.1	3.1	12	4.5
Fenoxaprop-p-etil	Densidad	383 ±88.64a	368 ±68.71a	315 ±18.32a	291 ±37.04a
	EFM (%)	-6	11.3	28.2	25.8

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey $p < 0.05$). EE= error estándar; DDA= días después de la aplicación; EFM= eficiencia en el control de malezas.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Scursioni *et al.* (2011) quienes señalan que con pinoxaden y fenoxaprop-p-etil disminuyó la densidad de *A. fatua* en cebada. Por su parte, Baghestani *et al.* (2008) encontraron que con los herbicidas y fenoxaprop y Iodosulfuron disminuyó la población de *Avena ludoviciana* (Diureu) en un 97.5%. También Scursioni *et al.* (2011) encontraron que con pinoxaden y fenoxaprop-p-etil disminuyó la densidad de plantas *A. fatua* en trigo.

Efecto de los herbicidas evaluados sobre la altura de planta en *A. fatua*

En cuanto a la altura de la planta de *A. fatua*, en el experimento del ejido República Mexicana (Cuadro 8) el testigo tuvo las plantas más altas en todas las etapas de muestreo; sin embargo, en el tratamiento fenoxaprop-p-etil y pinoxaden fueron más pequeñas en las dos últimas evaluaciones.

Cuadro 8. Altura de plantas de *A. fatua* (cm) ± EE en el experimento ejido República Mexicana.

Tratamiento	DDA 0	DDA 14	DDA 28	DDA 42	DDA 56
Testigo	9.3 ±0.4a	26.7 ±1.2a	53.9 ±3.3a	72.8 ±2.7a	101 ±3.9a
Iodosulfuron-metil	9.7 ±0.7a	19.4 ±0.9b	47.4 ±1.9b	68.6 ±3.9a	92.4 ±3.5b
Flucarbazone sodio	10.1 ±1.1a	16.9 ±1.4bc	41.6 ±2.4bc	65.9 ±1.4a	91.5 ±3.6bc
Pyroxsulam	9.3 ±0.9a	11.1 ±0.98d	39.1 ±1.8c	63.6 ±1.5a	89.1 ±2.8c
Pinoxaden	9.4 ±0.8a	11 ±0.5d	12.9 ±1d	24.9 ±4.1b	27.9 ±3d
Fenoxaprop-p-etil	9.1 ±0.9a	12.9 ±0.8cd	12.6 ±0.7d	22.3 ±3b	26.3 ±3.1d

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey $p < 0.05$). EE= error estándar; DDA= días después de la aplicación.

En el ensayo del ejido Nayarit, se observó la misma tendencia de los resultados obtenidos en el experimento del ejido República Mexicana (Cuadro 9).

Cuadro 9. Altura de plantas de *A. fatua* (cm) ± EE en el experimento ejido Nayarit.

Tratamiento	DDA 0	DDA 14	DDA 28	DDA 42	DDA 56
Testigo	10.5 ±0.8a	13.8 ±1.6a	27.9 ±2.4a	43.9 ±3.8a	77.6 ±3.98a
Flucarbazone sodio	11.4 ±1.5a	9.6 ±1ab	16.3 ±2.3b	33.8 ±3.9ab	59.5 ±3.92b
Fenoxaprop-p-etil	10.8 ±0.9a	9.9 ±1ab	13.6 ±1.2b	25.6 ±3.5bc	53.1 ±5.32bc
Iodosulfuron-metil	10.5 ±1.3a	9.6 ±0.9ab	15.8 ±2.8b	20.1 ±3b	59.4 ±4.7b
Pyroxsulam	9.7 ±0.2a	7.6 ±0.6b	10.1 ±0.7b	24.7 ±1bc	49.3 ±1.97bc
Pinoxaden	9.8 ±0.8a	8.6 ±0.7b	9.1 ±1.3b	16.7 ±2.8c	43 ±6.27c

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey $p < 0.05$). EE= error estándar; DDA= días después de la aplicación.

En el experimento ejido Sombrerete, las plantas de todos los tratamientos tuvieron menor altura que el testigo a los 28 y 42 DDA, mientras que, a los 56 DDA, los tratamientos que presentaron disminución en el crecimiento fueron: iodosulfuron, pyroxsulam y fenoxaprop (Cuadro 10). Sin embargo, a los 14 DDA los tratamientos flucarbazone y testigo tuvieron el mismo comportamiento. A los 28 y 42 DDA la altura de planta fue menor en todos los tratamientos con herbicida que en el testigo.

Cuadro 10. Altura de plantas de *A. fatua* (cm) \pm EE en el experimento ejido Sombrerete.

Tratamiento	DDA 0	DDA 14	DDA 28	DDA 42	DDA 56
Testigo	11.6 \pm 1.9a	14.9 \pm 1.4a	36.5 \pm 3.3a	54.7 \pm 4.5a	94.6 \pm 5.7a
Flucarbazone sodio	13.7 \pm 2.5a	14.5 \pm 1.6a	27.8 \pm 4b	46.2 \pm 5.2ab	89.5 \pm 8a
Pinoxaden	10.2 \pm 1.4a	10.7 \pm 1.2a	25.3 \pm 2.5b	42.6 \pm 5b	89.6 \pm 5.7a
Fenoxaprop-p-etil	10 \pm 0.9a	11.3 \pm 1a	25.9 \pm 1.9b	44.1 \pm 4.7ab	82.9 \pm 5.5a
Pyroxsulam	12.3 \pm 2a	9.6 \pm 1.4a	24.3 \pm 2.7b	43.6 \pm 5.1ab	81.9 \pm 7.7a
Iodosulfuron-metil	10.4 \pm 0.7a	9.3 \pm 0.9a	22.2 \pm 1.5b	41.8 \pm 1.7b	77.9 \pm 30a

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey $p < 0.05$). EE= error estándar; DDA= días después de la aplicación.

Efecto de la aplicación de herbicidas sobre el rendimiento en grano de trigo

La mayor eficiencia se presentó en los tratamientos del grupo ACCasa, teniendo un 84.54% pinoxaden y 83.15% fenoxaprop en el ensayo desarrollado en el ejido República Mexicana, mientras que los pertenecientes al grupo ALS, tuvieron una eficiencia menor que 45%. Así mismo, en el experimento ejido Nayarit, la eficiencia fue menor que lo ocurrido en la mayor parte de los tratamientos del ejido República Mexicana, salvo el tratamiento pyroxsulam, que pasó de 28.57 a 57.5%.

En el ejido Sombrerete, la eficacia de los herbicidas fue muy baja, con la eficiencia más alta el tratamiento fenoxaprop, con el 32.6%. Así mismo, los experimentos donde se aplicaron los herbicidas del grupo ALS, los rendimientos son similares a los obtenidos en el testigo de los tres experimentos. Además, el efecto de los herbicidas del grupo ACCasa es alta, pues la diferencia entre rendimientos es significativa ($p < 0.05$) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Eficiencia (%) y rendimiento de trigo \pm error estándar en los experimentos.

Tratamiento	Ej. Rep. Mexicana		Ej. Nayarit		Ej. Sombrerete	
	(t ha ⁻¹)	Eficiencia	(t ha ⁻¹)	Eficiencia	(t ha ⁻¹)	Eficiencia
Testigo	1.5 \pm 0.26b	0	2 \pm 0.4b	0	4.2 \pm 63b	0
Flucarbazone	2.6 \pm 0.3b	42.31	2 \pm 2.4b	19.05	3.9 \pm 53b	-7.69
Pyroxsulam	2.1 \pm 2.8b	28.57	5 \pm 0.6a	57.5	4.4 \pm 08b	4.55
Pinoxaden	9.7 \pm 1.02a	84.54	4 \pm 0.24a	65.31	4.5 \pm 77ab	6.67
Iodosulfuron-metil	2.4 \pm 0.13b	37.5	2 \pm 0.12b	26.09	4.9 \pm 09ab	14.29
Fenoxaprop-p-etil	8.9 \pm 3.1a	83.15	5 \pm 1.07a	67.31	6.2 \pm 74a	32.26

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey $p < 0.05$).

Los tratamientos pinoxaden y fenoxaprop-p-etil fueron los mejores y entre ellos no hubo diferencia significativa ($p < 0.05$), lo cual coincide con Scursioni *et al.* (2011) quienes tampoco encontraron diferencias en rendimiento en el cultivo de cebada al comparar a estos dos herbicidas. Los

herbicidas del grupo ACCasa (fenoxaprop-p-etil y pinoxaden) influyeron en el control de *A. fatua*, al grado de que esto benefició al desarrollo del cultivo.

Este resultado refleja que *A. fatua*, es un factor que limita el desarrollo y el rendimiento del cultivo de trigo en el Valle de Mexicali. Así mismo los rendimientos obtenidos en estos ensayos, son un reflejo del efecto que ejerce la densidad y la altura de la maleza, así como la acción de los herbicidas (Herrera-Andrade *et al.*, 2010). Por otra parte, la diferencia entre ensayos, al tener porcentajes más altos en el ejido República Mexicana y más bajos en el ejido Sombrere, está relacionada con la altura de la maleza al momento de realizar la aplicación de herbicida, especialmente el grupo ALS.

Esta afirmación es con base en que, en el ensayo ejido República Mexicana, las platas de *A. fatua* tenían una altura de 9.48 cm al momento de realizar la aplicación, mientras que las del ensayo Sombrere tenían una altura promedio 11.37 cm; es decir, altura mayor a la recomendada para la aplicación de algunos herbicidas evaluados.

Conclusiones

Bajo las condiciones en las que se realizó esta investigación se concluye que: a) todos los herbicidas evaluados causan daño a *A. fatua*, disminuyen su densidad y afectan su altura, al menos hasta la primer semana después de la aplicación; b) los herbicidas fenoxaprop-p-etil y pinoxaden (grupo ACCasa) tuvieron mayor efectividad biológica sobre *A. fatua* que los herbicidas del grupo ALS, lo cual se reflejó en el rendimiento del trigo; c) el nivel de eficacia de los herbicidas evaluados, afecta los rendimientos de trigo; d) los herbicidas del grupo ACCasa se pueden aplicar como una alternativa de control de *A. fatua* en el Valle de Mexicali, BC. siguiendo las recomendaciones para su uso.

Agradecimientos

Andrés González Ruiz es estudiante del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa y ha recibido una beca para sus estudios por parte del CONAHCYT, por tal motivo se agradece a dichas instancias el apoyo brindado.

Bibliografía

- 1 Addinsoft. 2022. XLSTAT Statistical and Data Analysis Solution. New York. <https://www.xlstat.com>.
- 2 Baghestani, M. A.; Zand, E.; Soufizadeh, S.; Beheshtian, M.; Haghighi, A.; Alireza, B.; Birgani, D. G.; Daryoush, G. B. and Deihimfard, R. 2008. Study on the efficacy of weed control in wheat (*Triticum aestivum* L.) with tank mixtures of grass herbicides with broadleaved herbicides. *Crop Protection*. 27(1):104-111. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.04.013>.
- 3 Cobb, A. H. and Reade, J. P. 2010. Inhibitor of acetolactate Synthase and Inhibitor ACCasa. *Herbicides and plant physiology*. Editors: Chris Ka Ulbars and Gerard Vaillancourt. Ed: Alberta. 25-44 pp.
- 4 Cruz-Hipolito H.; Osuna, M. D.; Dominguez-Valenzuela, J. A.; Espinoza, N. N. and De Prado, R. 2011. Mechanism of resistance to ACCase-inhibiting herbicides in wild oat (*Avena fatua*) from Latin America. *Journal of agricultural and food chemistry*. 59(13):7261-7267. Doi: 10.1021/jf201074k.
- 5 Gao, W. T. and Su, W. H. 2022. Weed management methods for herbaceous field crops: a review. *Agronomy*. 14(486):1-23. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030486>.
- 6 Gill, G. S. and Kumar, V. K. 1969. Weed index, a new method for reporting weed control trials. *Indian Journal of Agronomy*. 14(2):96-98.

- 7 Herrera Andrade, J. L.; Guzmán-Ruiz, S. C. y Loza-Venegas, E. 2010. Guía técnica para el área de influencia del campo experimental Valle de Mexicali, BC. y San Luis Río Colorado, Sonora. INIFAP-CIRNO. Mexicali, BC. Guía técnica # 1. 26-27 pp.
- 8 Hassanpour-bourkheili, S.; Gherekhloo, J.; Kamkar, B. and Ramezanpour, S. S. 2021. Mechanism and pattern of resistance to some ACCase inhibitors in winter wild oat (*Avena sterilis* subsp. *ludoviciana* (Durieu) Gillet & Magne) biotypes collected within canola fields. *Crop Protection*. 143(1):1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105541>.
- 9 Heap, I. M. 2020. Base de datos internacional de malezas resistentes a los herbicidas. www.weedscience.org. copyright©1993-2024. WeedScience.org.
- 10 Lonhienne, T.; Cheng, Y.; García, M. D.; Hu, S. H.; Low, Y. S.; Scheck, G.; Williams, G. M.; and Guddat, L. W. 2022. Structural basis of resistance to herbicides that target acetohydroxyacid synthase. *Nature communications*. 13(1):1-11. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31023-x>.
- 11 Mani, V. S.; Malla, M. L.; Gautam, K. C. and Bhagwandas, B. 1973. Weed killing chemical in potato cultivation. *Indian Fmg.* 23(8):17-18.
- 12 Rosales-Robles, E. y Sánchez de la Cruz R. 2006. Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción. Campo experimental Rio Bravo-INIFAP. Folleto técnico 35. 1-16 pp. <https://www.compucampo.com/tecnicos/clasificacionherbs.pdf>.
- 13 Scursioni, J. A.; Martín, A.; Catanzaro, M. P.; Quiroga, J. and Goldar, F. 2011. Evaluation of post emergence herbicides for the control of wild oat (*Avena fatua* L.) in wheat and barley in Argentina. *Crop Protection*. 30(1):18-23. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.09.003>.
- 14 SIMARBC. 2022. Sistema de Información para el manejo del agua de riego en Baja California (SIMARBC). Red Estatal de Estaciones Agroclimatológicas. <http://apps.sedagro.gob.mx/simarbc/-P-MODAL-/OAOAANN~ufd6V1B5bElndlloAgA>.
- 15 Tafoya-Razo, J. A.; Mora-Munguía, S. A. and Torres-García, J. R. 2022. Diversity of herbicide resistance mechanisms of *Avena fatua* L. to Acetyl CoA Carboxylase Inhibiting Herbicides in the Bajío, Mexico. *Plants*. 11(13):1-13. Doi: 10.3390/plants11131644.
- 16 Takano, H. K.; Ovejero, R. F. L.; Belchior, G. G.; Maymone, G. P. L. and Dayan, F. E. 2020. ACCase inhibiting herbicides: mechanism of action, resistance evolution and stewardship. *Scientia Agrícola*. 78(1):1-11. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0102>.
- 17 Tidemann, B. D.; Charles, M. G.; Geddes, C. M.; Hugh, J. B. and Beckie, H. J. 2021. *Avena fatua* and *Avena sterilis*. En: biology and management of problematic crop weed species. 43-66 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822917-0.00015-X>.
- 18 Torres-García, J. R.; Tafoya-Razo, J. A.; Velázquez-Márquez, S. and Tiessen, A. 2018. Double herbicide resistant biotypes of wild oat (*Avena fatua*) display characteristic metabolic fingerprints before and after applying ACCase and ALS inhibitors. *Acta Physiol. Plant*. 40(1):11-12. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2691-y>.
- 19 Yu, Q.; Powles, S. B. 2014. Metabolism-based herbicide resistance and cross resistance in crop weeds: a threat to herbicide sustainability and global crop production. *Plant Physiol*. 166(3):1106-1118. <https://doi.org/10.1104/pp.114.242750>.



Herbicidas inhibidores de acetolactato sintasa y acetyl carboxil coenzima A en *Avena fatua*

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 July 2024
Date accepted: 01 October 2024
Publication date: 04 December 2024
Publication date: Oct-Nov 2024
Volume: 15
Issue: 7
Electronic Location Identifier: e3506
DOI: 10.29312/remexca.v15i7.3506

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

control de maleza
efectividad biológica
rendimiento
resistencia

Counts

Figures: 0
Tables: 11
Equations: 2
References: 19
Pages: 0