

## Sensibilidad diferencial de cultivares de avena a residuos de herbicidas inhibidores de la ALS/AHAS

D. Bustos-Painii<sup>1\*</sup>, D. Giménez<sup>2</sup>, L. Wehrhahne<sup>3</sup>, J. Montoya<sup>4</sup>, M. Yannicari<sup>3,5</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Guayaquil, <sup>2</sup>Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE), Facultad Cs. Agrarias y Ftles., UNLP. <sup>3</sup>Chacra Experimental Integrada Barrow (MDA - INTA). <sup>4</sup>EAA INTA Anguil, <sup>5</sup>CONICET y Facultad de Agronomía, UNLPam. \*[dariobustos89@gmail.com](mailto:dariobustos89@gmail.com).

La avena (*Avena sativa* L.) es una de las especies con mayor importancia como recurso forrajero en la región semiárida pampeana. Comparado al resto de la región pampeana, la región semiárida presenta particulares condiciones edafoclimáticas, como menores niveles de materia orgánica, temperaturas y pluviometría más bajas. Debido a estas condiciones adversas para la degradación de sustancias químicas, se presentan con frecuencia problemas de fitotoxicidad en la implantación de avena, asociados a la prolongada persistencia de los herbicidas. Particularmente algunos principios activos inhibidores de la ALS/AHAS aplicados para el control de malezas en barbechos ó cultivos estivales, entre 6 y 8 meses antes de la siembra de avena, suelen ser causantes de fitotoxicidad. A este fenómeno se lo define como “carryover” y hace referencia a los residuos de herbicidas en el suelo en concentraciones fitotóxicas para los cultivos subsiguientes en la rotación.

### Herbicidas residuales para el control de malezas

Dentro de las principales malezas de la región pampeana se encuentran *Conyza bonariensis* (L.) [Cronquist](#) y *C. sumatrensis* (Retz.) E. Walker (ambas denominadas vulgarmente como “rama negra”), estas especies son tolerantes a glifosato y sólo resultan eficazmente controladas en el estadio de roseta basal durante el invierno e inicio de la primavera. En tal situación, herbicidas inhibidores de la ALS/AHAS como diclosulam ó clorimurón son incorporados en presiembra ó post-emergencia de soja, en combinación con glifosato y, en barbecho, con herbicidas hormonales para mejorar los controles.

Se han difundido materiales de soja resistentes a sulfometurón-clorimurón (variedades STS®) para manejar las malezas problemáticas. Para clorimurón, existen estudios en el Sur de Estados Unidos que muestran períodos de 120 días para la disipación de a menos del 5% de la cantidad aplicada inicialmente. Respecto a sulfometurón existen antecedentes muy dispares de acuerdo al pH, temperatura y precipitaciones de cada región abarcando desde cortos períodos de persistencia hasta más de 200 días. Antecedentes locales, no mostraron efectos de *carryover* del uso de sulfometurón-clorimurón en la rotación soja STS®/trigo durante las campañas 2014/2015 y 2015/2016. Sobre soja resistente a glifosato, variedades no STS®, se suele manejar el control de las especies de *Conyza spp.*, *Portulaca oleracea* L., Amarantáceas susceptibles a inhibidores de la ALS/AHAS y Chenopodiáceas empleando una triazolpirimidina - diclosulam - en pre-emergencia del cultivo. La elevada residualidad de este herbicida, cuya vida media en el suelo está estimada entre 60 y 90 días, condiciona la secuencia de cultivos a realizar ante condiciones edafoclimáticas que promuevan su persistencia. En tal sentido, existe restricción de siembra de girasol en la campaña subsiguiente dada la alta sensibilidad de este cultivo a los residuos de diclosulam en el suelo.

En forma análoga, imidazolinonas como imazapir e imazamox se emplean en materiales de girasol con tecnología *Clearfield®* para el manejo de malezas en post-emergencia del cultivo. Existen antecedentes sobre el efecto de *carryover* de residuos de esos principios activos sobre cultivos anuales invernales sucesores en la rotación como colza, avena, cebada y trigo. Trabajos nacionales han concluido que colza y cebada son los cultivos más sensibles a la presencia de residuos de imidazolinonas en el suelo. Existen antecedentes de afectación de la producción de materia seca de avena en dosis crecientes de imazapir+imazamox. El tiempo de vida media del imazapir en los suelos oscila alrededor de los 90 días. En tanto, la vida media de imazamox en los suelos oscila entre 20 y 30 días. Si bien ambos herbicidas son similares en cuanto a estructura molecular, presentan diferentes potenciales de producir daños por *carryover* a los cultivos subsiguientes. Cabe destacar que el fenómeno de *carryover* se hace manifiesto de acuerdo a la sensibilidad de la especie a los residuos de herbicidas en el suelo en la rotación. He aquí la utilidad de contar con este tipo de información. Ya que, de esta manera, en caso de ser necesario se puede optar por la siembra de una especie o variedad tolerante.

En Argentina se desconoce si existe variación en cuanto a la sensibilidad a herbicidas inhibidores de la ALS/AHAS en los cultivares de avena comercialmente disponibles. Esta incertidumbre haría que en ciertos casos los riesgos de fitotoxicidad podrían ser potenciados por el empleo de materiales altamente sensibles. Del mismo modo, conocer aquellos materiales más tolerantes sería una estrategia de manejo más al momento de reducir los riesgos de fitotoxicidad. Ante este contexto se planteó el presente trabajo, donde el objetivo general fue evaluar la sensibilidad de nueve variedades de avena a varias dosis de herbicidas inhibidores de la ALS/AHAS.

### Metodología

Los estudios se llevaron a cabo en el Instituto de Fisiología Vegetal (FCAYF-UNLP- CONICET) y Chacra Experimental Integrada Barrow (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Ministerio de Desarrollo Agrario de la Pcia. de Buenos Aires), donde se evaluaron distintos parámetros de germinación, crecimiento y desarrollo vegetativo, mediante experimentos en cámara de crecimiento, macetas en invernáculo, macetas a la intemperie y a campo.

Las variedades evaluadas se desarrollaron en los programas de mejoramiento genético de avena de la Chacra Experimental Integrada Barrow y de la EEA INTA Bordenave. Se probaron los materiales Bonaerense INTA Aikén, Bonaerense INTA Calén, Bonaerense INTA Maná, Bonaerense INTA Sureña, Bonaerense INTA Yapa, Bw 130, Carlota INTA, Juana INTA y Marita INTA. Los herbicidas inhibidores de la ALS/AHAS que se estudiaron, pertenecieron a una de las tres familias químicas más empleadas dentro de este modo de acción, tal como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los herbicidas evaluados en el estudio.

Producto Comercial (p.c.)	Familia	Ingrediente activo (i.a.)	Concentración (g i.a. kg <sup>-1</sup> o l <sup>-1</sup> )	Dosis recomendada (p.c. ha <sup>-1</sup> )
Clearsol® plus	Imidazolinonas	imazapir-imazamox	33 + 15	2 l
Spider®	Triazolopirimidinas	diclosulam	840	30 g
Ligate®	Sulfonilureas	sulfometurón-clorimurón	150 + 200	100 g

En experimentos de germinación sobre papel humedecido con suspensiones/soluciones de herbicidas en cámara de crecimiento, se evaluaron dosis de 0 a 1000 µM (concentraciones de cada principio activo en el medio acuoso). En los experimentos de emergencia en macetas en invernáculo y de desarrollo en macetas (con suelo franco tamizado) a la intemperie, las dosis en estudio de cada herbicida fueron 1x, 1/5x, 1/10x, 1/20x, 1/40x y 0x (x = dosis recomendada). En un experimento de campo en la CEI Barrow (MDA-INTA), suelo Argiudol típico, se estudió la respuesta de crecimiento de las diferentes variedades de avena a dosis de 2x, 1x, 1/2x, 1/4x y 1/8x aplicadas luego de 7 días de realizada la siembra de avena.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial AxB, donde el factor A son variedades de avena, el factor B las dosis del herbicida. Se elaboraron curvas de dosis respuesta mediante modelo log-logístico de regresión no lineal de Seefeldt. se realizaron análisis de la varianza y pruebas de comparación múltiple de Tukey HSD al 5 %. El análisis estadístico de los datos se realizó mediante la ayuda de los programas informático GraphPad Prism® v8.00 y Statistix 9®.

### Resultados y recomendaciones

Se determinó que los cultivares de avena estudiados difirieron en cuanto a la sensibilidad a los herbicidas medida en crecimiento en altura, producción de macollos y de biomasa aérea e intensidad de coloración de las plantas. Las variedades Bonaerense INTA Calén y Bonaerense INTA Aikén fueron las más tolerantes a imazapir-imazamox y Carlota INTA y Marita INTA fueron las más sensibles. Para diclosulam, el cultivar más tolerante fue Bonaerense INTA Calén y los más sensibles Juana INTA y Bonaerense INTA Maná. Las variedades más tolerantes a sulfometuron-clorimurón fueron Bonaerense INTA Calén y Bonaerense INTA Aikén, mientras que las más sensibles resultaron ser Bw 130 y Carlota INTA.

En términos generales la inhibición de altura (Figura 1) y de la biomasa aérea fueron las variables más sensibles a los herbicidas estudiados. Además, sumado a las variables anteriores, para los herbicidas imazapir-imazamox y diclosulam, otra de las variables más sensibles fue la medición indirecta del contenido relativo de clorofila mediante las lecturas de intensidad de coloración verde según valores SPAD, esta variable resultó ser muy eficiente en la determinación de fitotoxicidad de avena por imidazolinonas y triazolopirimidinas siempre que se controlen los efectos de nutrientes, por ejemplo el nitrógeno, sobre ese parámetro. Para el herbicida sulfometurón-clorimurón, luego de la inhibición de altura y de la biomasa aérea, el aumento de la producción de macollos fue otra variable determinante para la fitotoxicidad.

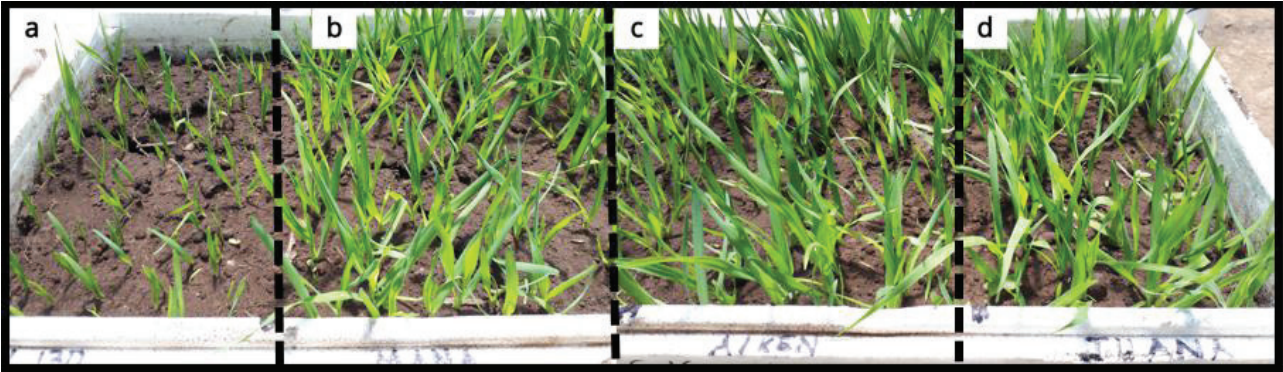


Figura 1. Efecto del herbicida sulfometurón-clorimurón en dosis de 1x sobre el crecimiento plumular y en la diferenciación de la sensibilidad al herbicida de variedades de avena cultivadas en macetas a la intemperie. A: Bw 130; b: Bonaerense INTA Maná; c: Bonaerense INTA Aikén y d: Juana INTA.

Además, se estableció que la dosis mínima de imazapir-imazamox que provoca fitotoxicidad en los cultivares de avena oscilaría entre 400 y 1000 ml de producto comercial (p.c.)  $\text{ha}^{-1}$ . En el caso de diclosulam los valores mínimos de fitotoxicidad se ubicaron entre 3 y 13 g p.c.  $\text{ha}^{-1}$  y para sulfometurón-clorimurón estuvieron entre 10 y 65 g p.c.  $\text{ha}^{-1}$ .

La figura 2 muestra que, para el experimento de campo, la variedad con mayor tolerancia al herbicida imazapir-imazamox fue Bonaerense INTA Aikén, pues necesitó de una dosis de 1051 ml de p.c.  $\text{ha}^{-1}$  para inhibir en un 50 % la biomasa aérea relativa de este material. Mientras que el cultivar Carlota INTA, fue el más sensible a este herbicida, pues precisó de una dosis menor (552 ml de p.c.  $\text{ha}^{-1}$ ) para inhibir en un 50 % su biomasa aérea relativa.

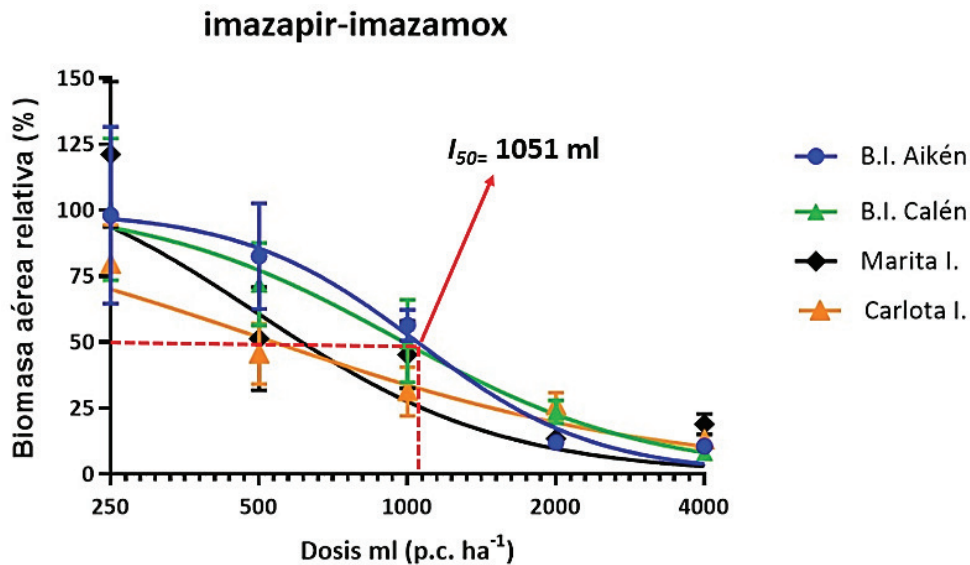


Figura 2. Curvas de dosis-respuesta de biomasa aérea relativa (a 55 días desde la siembra) de cultivares de avena frente a diferentes dosis de imazapir-imazamox. Barras de dispersión indican el error estándar de la media.

En la figura 3 se observa que, para el experimento de campo, la variedad con mayor tolerancia al herbicida diclosulam, fue Bonaerense INTA Calén, ya que precisó de una dosis de 13,2 g de p.c.  $\text{ha}^{-1}$  para inhibir en un 50 % la biomasa aérea relativa de esta variedad. En tanto que, el cultivar Juana INTA, fue el más sensible a este herbicida, pues una dosis de 3,5 g de p.c.  $\text{ha}^{-1}$ , fue suficiente para inhibir en un 50 % su biomasa aérea relativa.

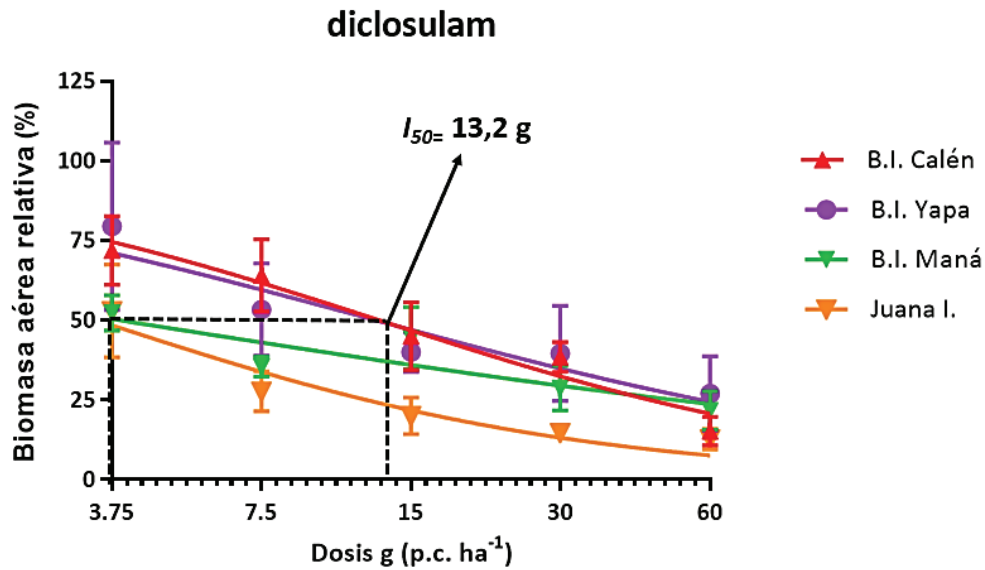


Figura 3. Curvas de dosis-respuesta de biomasa aérea relativa (a 55 días desde la siembra) de cultivares de avena frente a diferentes dosis de diclosulam. Barras de dispersión indican el error estándar de la media.

La figura 4 describe que, para el experimento de campo, la variedad con mayor tolerancia al herbicida sulfometurón-clorimurón, fue Bonaerense INTA Calén, pues fue necesaria una dosis de 64 g de p.c. ha<sup>-1</sup> para reducir en un 50 % la biomasa aérea relativa de este material. Mientras que el cultivar Carlota INTA fue el más sensible a este herbicida, pues con una dosis de 21 g de p.c. ha<sup>-1</sup>, se inhibió en un 50 % la biomasa aérea relativa.

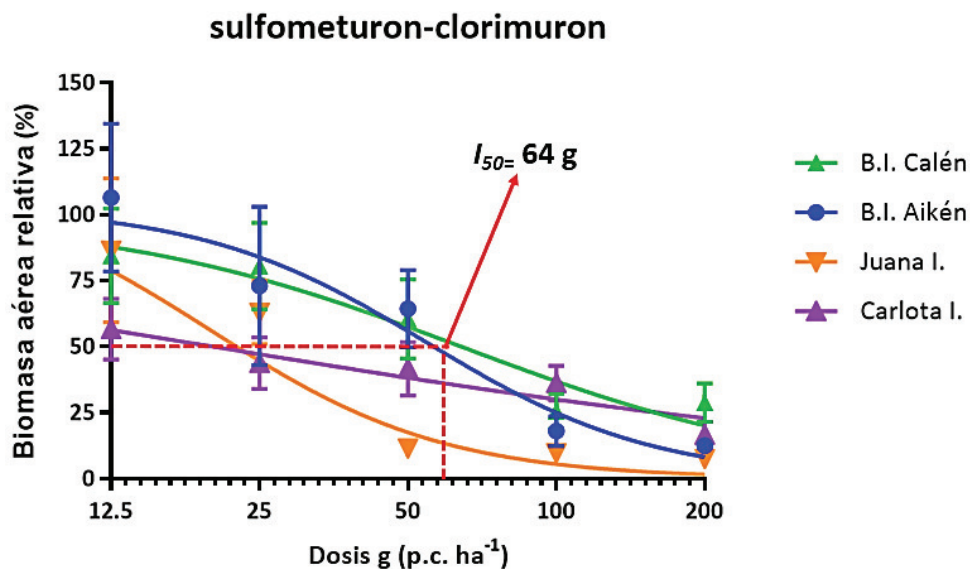
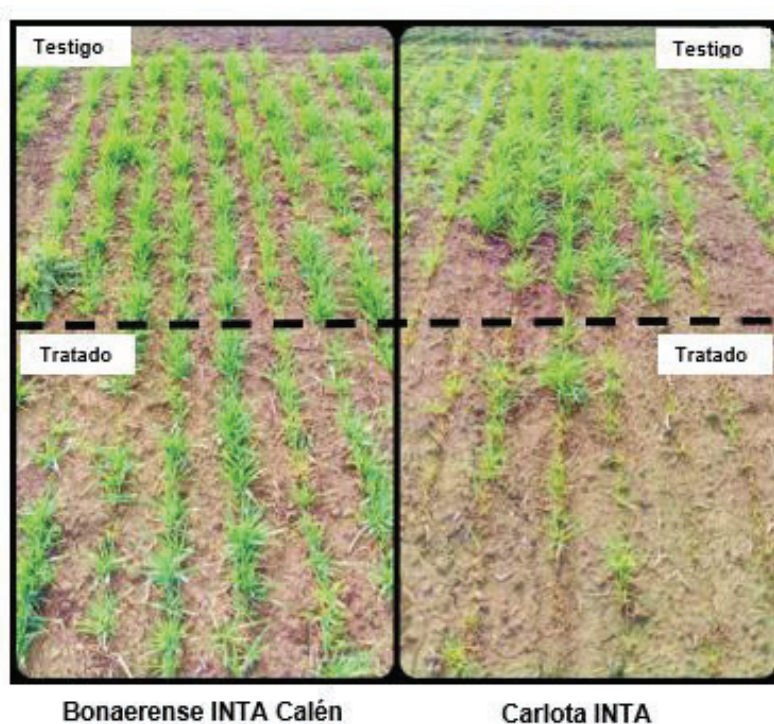


Figura 4. Curvas de dosis-respuesta de biomasa aérea relativa (a 55 días desde la siembra) de cultivares de avena frente a diferentes dosis de sulfometurón-clorimurón. Barras de dispersión indican el error estándar de la media.

Los herbicidas inhibidores de la ALS/AHAS retrasan el desarrollo de los meristemas apicales en los cultivares de avena sensibles. Por tal motivo los síntomas característicos de fitotoxicidad se manifiestan principalmente en los órganos jóvenes, observándose enanismos de las plantas, escaso desarrollo foliar y/o coloración rojiza, clorosis y posterior muerte en los casos más severos (Figura 5); en casos menos severos se observa acortamiento de los entrenudos, abundante macollamiento y pigmentación verde intensa por el aumento de clorofila en el follaje.



**Figura 5. Biomasa aérea de las variedades de avena Bonaerense INTA Calén y Carlota INTA, cultivadas a campo bajo la dosis 1x de sulfometurón-clorimurón y testigo a los 60 días post-aplicación del herbicida.**

Cabe destacar que, con altos niveles de residuos de herbicidas en los suelos, todos los cultivares estudiados mostraron reducciones en su crecimiento por fitotoxicidad. Por lo tanto, se recomienda tener precaución en el uso de determinadas variedades de avena que son sensibles a la residualidad de herbicidas inhibidores de la ALS/AHAS empleados comúnmente en la rotación con otros cultivos.

Estos resultados cobran relevancia en el marco de un manejo integrado de malezas y tienden a advertir los efectos de la persistencia de herbicidas sobre cultivos sensibles subsiguientes en la rotación. Al establecer programas de manejo de malezas que contemplen la combinación de estrategias de control químico con la adecuada rotación de herbicidas, rotación de cultivos, estrategias de manejo cultural que busquen favorecer el crecimiento del cultivo sobre el de las malezas, la correcta elección del cultivar de avena podría minimizar los riesgos de fitotoxicidad por residualidad de herbicidas. Actualmente, la siembra de cultivos de cobertura en forma anticipada a la cosecha con tecnologías de voleo (aéreas o tipo Altina) revalorizan contar con este tipo de información.

En síntesis, según los resultados de este estudio, en suelos tratados con imazapir-imazamox, se debería evitar el uso de variedades sensibles como Carlota INTA y Marita INTA. Mientras que, variedades con mayor tolerancia al herbicida como Bonaerense INTA Calén y B.I. Aikén permitirían reducir los riesgos de daño por *carryover* de tales herbicidas. En casos donde se utilizó diclosulam antes de la siembra de avena, es preferible evitar la siembra de variedades como Juana INTA y B.I. Maná que resultan sensibles a ese herbicida y recomendar el uso del cultivar B.I. Calén. Asimismo, en suelos donde se empleó sulfometurón-clorimurón, se debería prescindir del uso de variedades sensibles como Bw 130 y Carlota INTA y sembrar variedades tolerantes como B.I. Calén y B.I. Aikén que reducirían los riesgos de daño fitotóxico dentro de determinados rangos de herbicidas en suelo.

Sumado a la información respecto al manejo de las rotaciones de cultivos, la variabilidad intra-específica de la sensibilidad de los materiales de avena a los herbicidas residuales inhibidores de la ALS/AHAS que se estudiaron da la posibilidad de desarrollar líneas de investigación para la selección de aquellos cultivares más tolerantes mediante mejoramiento genético. Los resultados de estos estudios, contribuyen para la elección de materiales a sembrar según su sensibilidad a residuos de herbicidas. Sin embargo, resulta necesario considerar otros aspectos relacionados con las condiciones climáticas (precipitaciones y temperatura), edáficas (pH, textura, materia orgánica) y período entre la aplicación y la siembra del cultivo de avena.