

## ESTADO DE LA RESISTENCIA A HERBICIDAS EN TRIGO Y OTROS CULTIVOS EXTENSIVOS EN EL SUR DE CHILE

N. Espinoza<sup>1</sup>, J. Díaz<sup>1</sup>, R. Galdames<sup>1</sup>, C. Rodríguez<sup>1</sup>, N. Gaete<sup>1</sup> y R. De Prado<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INIA Carillanca, Temuco, Chile, email: [nespinoz@inia.cl](mailto:nespinoz@inia.cl)

<sup>2</sup> Universidad de Córdoba, Córdoba, España

**Resumen:** En el sur de Chile, principal zona productora de trigo, cebada, avena, lupino y canola (36° a 42° lat. Sur), el surgimiento de biotipos de malezas gramíneas resistentes a herbicidas ha sido un proceso muy frecuente a partir de la década del noventa, inicialmente la resistencia fue a los inhibidores de ACCasa, posteriormente a los inhibidores de ALS y más recientemente a glifosato. A la fecha, se han descrito 50 biotipos de malezas gramíneas resistentes a herbicidas, correspondientes a cuatro especies, específicamente a ballica (*Lolium multiflorum* y *L. rigidum*), avenilla (*Avena fatua*) y cola de zorro (*Cynosurus echinatus*). Todos los biotipos se originaron en campos de agricultores ubicados en diferentes localidades de las regiones Del Bio Bio, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, cuyo sistema de cultivo se caracteriza por un uso intensivo del suelo con cultivos anuales, principalmente trigo, siembra con labranza cero y una alta dependencia del herbicida glifosato antes de la siembra y de los herbicidas ACCasa y ALS después de la siembra. En los biotipos de *A. fatua* la resistencia es a herbicidas ACCasa, mientras que en los bitipos de *C. echinatus* y *L. rigidum* la resistencia es a herbicidas ACCasa y ALS, y en los biotipos de *L. multiflorum* la resistencia es a herbicidas ACCasa, ALS y glifosato.

**Palabras claves:** avenilla, ballica, cola de zorro, resistencia, biotipos.

**Summary:** Status of herbicide resistance in wheat and others extensive crops in South of Chile. In the south of Chile, the main area for wheat, oat, barley, lupine and canola cropping (36° a 42° lat. Sur), the presence of resistant weed to herbicide has become frequent since de nineties. Initially the resistance was to the herbicides inhibitors of the ACCasa, then to the inhibitors of the ALS and more recently to glyphosate. Up to day more than 50 byotypes of gramineae resistant weed, belonging to four species, specifically to ryegrass (*Lolium multiflorum* y *L. rigidum*), wild oat (*Avena fatua*) and hedgehog (*Cynosurus echinatus*). All the biotypes have their origin in farms located in the regions of Del Bio Bio, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, that have a crop system characterized by an intensive use of the soil with annual crops mainly wheat, non-tillage and high dependency of glyphosate before seeding and ACCasa and ALS herbicides after the seeding. In the biotypes of *A. fatua* the resistance is to ACCasa herbicides, while in the biotypes of *C. echinatus* and *L. rigidum* the resistance is to ACCasa and ALS herbicides, and in the biotypes of *L. multiflorum* the resistance is to ACCasa, ALS and glyphosate.

**Keywords:** wild oat, ryegrass, hedgehog dogtail, resistance, biotypes.

## Introducción

Las malezas son un continuo problema en la agricultura en el mundo. La introducción de los herbicidas selectivos a fines de la década del 40 facilitó significativamente el trabajo de los agricultores para controlarlas. Sin embargo, la alta dependencia de los herbicidas se tradujo en cambios en la flora de malezas y en el surgimiento de biotipos resistentes (DELYE, 2005). Se entiende por resistencia a la habilidad heredable de una población o biotipo de maleza para sobrevivir y reproducirse después de la aplicación de un herbicida en la dosis a la que la población original era sensible (POWLES *et al.*, 1997; GRESSEL, 2002). Desde que se reportó el primer caso de resistencia a herbicidas en el mundo (RYAN, 1970), esta se ha expandido con rapidez. Así, a la fecha, se han confirmado 332 biotipos resistentes pertenecientes a 189 especies de malezas, de las cuales 113 son dicotiledóneas y 76 monocotiledóneas (HEAP, 2009).

En el sur de Chile, el surgimiento de biotipos resistentes a herbicidas ha sido un proceso muy frecuente a partir de la década de los noventa. Los primeros casos de resistencia se confirmaron a los herbicidas ACCasa y en las malezas gramíneas *L. rigidum*, *L. multiflorum* y *A. fatua* (ESPINOZA y ZAPATA, 2000; ESPINOZA *et al.*, 2003). Todos estos biotipos fueron colectados en cultivos anuales extensivos, principalmente trigo, en la zona sur. A partir de esta fecha la resistencia ha sido creciente, ya que se ha expandido a otras áreas y confirmado en otra especie gramínea como *C. echinatus* (ESPINOZA *et al.*, 2005; VALVERDE, 2007) y a otros herbicidas como los ALS y a glifosato (ESPINOZA *et al.*, 2008). En el presente trabajo se presenta el estado de la resistencia a herbicidas ACCasa, ALS y glifosato en las 4 especies de malezas gramíneas antes señaladas en el sur de Chile.

## Importancia de las especies de malezas gramíneas resistentes

En el sur del país, la evolución de resistencia en avenilla (*A. fatua*), ballica (*L. multiflorum* y *L. rigidum*) y cola de zorro (*C. echinatus*) (Figura 1), tiene gran importancia por diversas razones. Las especies *A. fatua* y *L. rigidum* constituyen las malezas más importantes en muchas áreas de cultivos en el mundo (LORRAINE-COLWILL *et al.*, 2001; YU *et al.*, 2009). HEAP (2009) incluye a ambas entre las 10 especies de malezas resistentes a herbicidas más importantes económicamente en el mundo (Tabla 1). En Canadá, la avenilla es la gramínea anual más nociva en la región Northern Great Plain (BECKIE y KIRKLAND, 2003). En Australia, *L. rigidum* es la que ocasiona los mayores daños económicos en la agricultura (ALEMSEGED *et al.*, 2001; LLEWELLYN y POWLES, 2001; LORRAINE-COLWILL *et al.*, 2001). En EE.UU., *L. multiflorum* es considerada la maleza más problemática en diversas regiones del país (LIEBEL y WORSHAM, 1987). Cola de zorro (*C. echinatus*), al contrario de lo ocurre en Chile, no es una maleza importante en la agricultura en el mundo, lo que probablemente explica que todos los biotipos de cola de zorro resistentes reportados a la fecha sean chilenos (HEAP, 2009; VALVERDE, 2007). Sin embargo, de las cuatro especies, actualmente la más importante en el sur del país es *L. multiflorum*, debido a su mayor distribución (MATHEI, 1995), se presenta más frecuentemente y en mayores densidades en trigo y otros cultivos extensivos (Figura 2) y porque la superficie comprometida con biotipos resistentes es mayor. Se estima que del total de la superficie sembrada con trigo, avena, cebada, canola y lupino en el país, aproximadamente 100

mil hectáreas se encuentran infestadas con biotipos resistentes de avenilla, ballica y cola de zorro (ESPINOZA y DÍAZ, 2005).



**Ballica (*Lolium multiflorum* y *L. rigidum*)**

**Avenilla (*A. fatua*)**



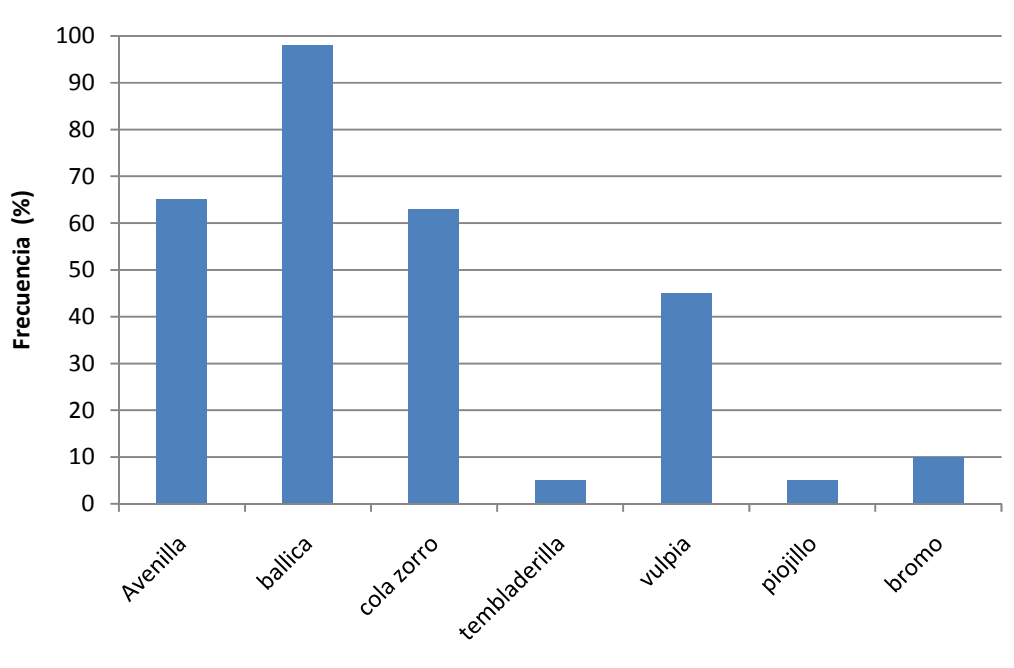
**Cola de zorro (*C. echinatus*)**

**Figura 1.** Malezas gramíneas que ha desarrollado resistencia a herbicidas en el sur de Chile.

Las cuatro malezas gramíneas que han desarrollado resistencia en el sur del país, corresponden a especies anuales de invierno, por lo que su presencia en los cultivos sembrados en esta época, es casi obligada, presentándose en algunos casos como única especie de maleza y en otros casos, asociadas, dependiendo de la localidad (PEDREROS, 2001). Su presencia año tras año en los cultivos, se debe a que la mayoría producen una gran cantidad de semillas, lo que bajo las condiciones edafoclimáticas de la zona sur se ha estimado en 1.700 semillas por planta de ballica (*L. multiflorum*), 600 semillas por planta de cola de zorro y 330 semillas por planta de avenilla. La ballica (*L. multiflorum* y *L. rigidum*) (BOSQUE *et al.*, 2002) y avenilla (NAYLOR, 1983) presentan una amplia variabilidad genética, lo que les permite una mayor capacidad de adaptación y supervivencia. Además, ambas especies de ballica presentan polinización cruzada (TERRELL, 1968), lo que implica que la resistencia puede transmitirse no sólo a través de la semilla sino que también mediante el polen (WAKELIN, 2004). Esto no ocurre en avenilla (RUNZHI, 2007) y cola de zorro por tratarse de especies de autofecundación.

**Tabla 1.** Principales especies de malezas resistentes a herbicidas en el mundo. (HEAP, 2009).

Especie	Tipo	Nº de biotipos resistentes
<i>Lolium rigidum</i>	Gramínea	36
<i>Avena fatua</i>	Gramínea	37
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Hoja ancha	36
<i>Chenopodium album</i>	Hoja ancha	42
<i>Setaria viridis</i>	Gramínea	15
<i>Echinochloa crus-galli</i>	Gramínea	26
<i>Eleusina indica</i>	Gramínea	14
<i>Kochia scoparia</i>	Hoja ancha	33
<i>Conyza canadensis</i>	Hoja ancha	41
<i>Amaranthus hybridus</i>	Hoja ancha	23



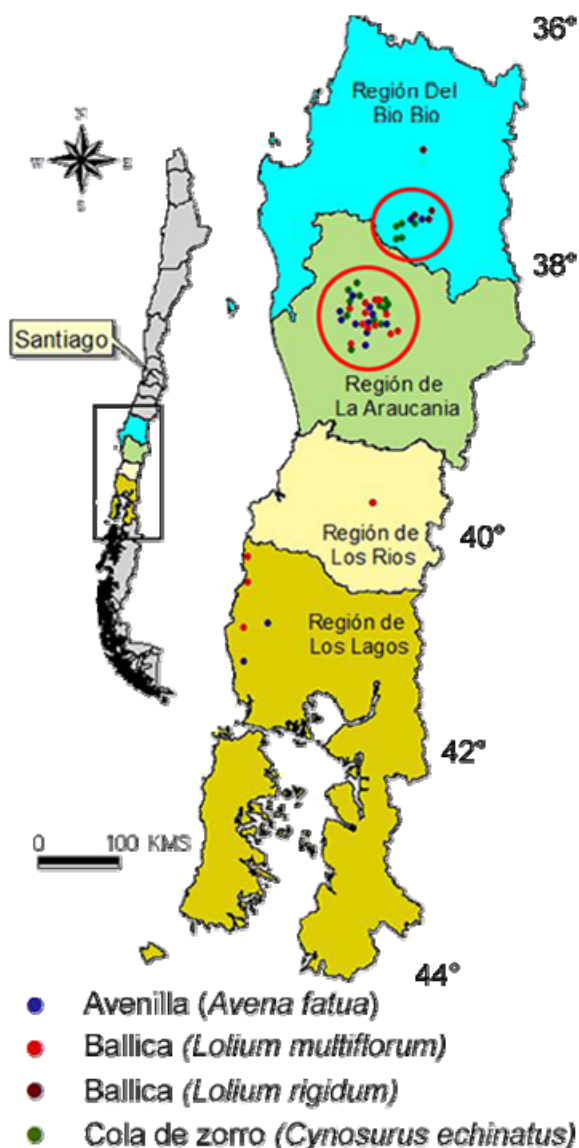
**Figura 2.** Frecuencia con que se presentan diversas malezas gramíneas en trigo y otros cultivos extensivos en el sur de Chile. (DÍAZ y ESPINOZA, 2006). Los datos fueron obtenidos de una encuesta realizada a agricultores con malezas gramíneas resistentes en sus campos de las regiones Del Bio Bio, La Araucanía, Los Rios y Los Lagos.

### Distribución de los biotipos resistentes

Durante 1998-2007 se colectaron semillas de avenilla (*Avena fatua*), ballica (*Lolium multiflorum* y *L. rigidum*) y cola de zorro (*Cynosurus echinatus*), desde campos de agricultores ubicados en diferentes localidades de las regiones Del Bio Bio, La Araucanía, Los Rios y Los Lagos, en los que se sospechaba la existencia de resistencia. Del material colectado, 14 biotipos correspondieron a *A. fatua*, 17 biotipos a *C.*

*echinatus*, 15 biotipos a *L. multiflorum* y 4 biotipos de *L. rigidum*. Posteriormente, los biotipos se caracterizaron en términos de su resistencia a los herbicidas inhibidores de ACCasa, inhibidores de ALS y a glifosato, encontrándose que todos los biotipos (50 biotipos) presentaron resistencia a uno o más herbicidas.

La mayoría de los biotipos provino de las regiones de La Araucanía (68%) y Del Bío Bío (22%), lo que sugiere que en estas regiones la resistencia está más ampliamente distribuida. Además, ambas regiones aportaron más diversidad en cuanto al número de especies de malezas gramíneas con biotipos resistentes. Así, la región Del Bio Bio aportó con biotipos de *A. fatua*, *C. echinatus* y *L. rigidum*, mientras que la región de La Araucanía con biotipos de *A. fatua*, *C. echinatus* y *L. multiflorum* (Tabla 2). En las regiones Del Bío Bío, La Araucanía y Los Lagos, respectivamente, la resistencia se concentra en la Precordillera Andina, Valle Central y Litoral (Figura 3), áreas que se caracterizan por el uso intensivo del suelo con cultivos anuales, principalmente trigo, y siembra con labranza cero durante un periodo relativamente largo de tiempo, en algunos casos, por más de veinte años, lo que probablemente explica el mayor aporte de biotipos.



**Figura 3.** Distribución de los biotipos resistentes.

**Tabla 2.** Origen de los biotipos resistentes.

Maleza gramínea	Del Bio Bio 36° a 38° lat S	La Araucanía 38° a 39° lat S	Los Ríos 39° a 40° lat S	Los Lagos 40° a 44° lat S	Biotipos/ especie
<i>A. fatua</i>	2	10	0	2	14
<i>C. echinatus</i>	5	12	0	0	17
<i>L. multiflorum</i>	0	12	1	2	15
<i>L. rigidum</i>	4	0	0	0	4
<b>Total/región</b>	11 (22%)	34 (68%)	1	4 (8%)	50

## Resistencia de los biotipos a herbicidas selectivos

*Avenilla* (*A. fatua*) y *cola de zorro* (*C. echinatus*). En bioensayos realizados en plantas, con 14 biotipos de avenilla (AF-1, AF-2, AF-3, AF-4, AF-7, AF-8, AF-12, AF-13, AF-14, AF-17, AF-18, AF-21, AF-22, AF-23) y aplicando cada herbicida inhibidor de ACCasa e inhibidor de ALS en una dosis superior al 50% de la recomendada, se encontró resistencia sólo a los ACCasa. La resistencia a los ACCasa se caracterizó porque un alto porcentaje de los biotipos de avenilla presentó resistencia a los herbicidas del grupo químico de los FOP como diclofop, clodinafop y haloxyfop, mientras que un bajo porcentaje fue resistente a tepraloxymid (grupo químico DIM) y pinoxaden (grupo químico DEN) (Tabla 3). En bioensayos de dosis respuesta y utilizando el modelo de regresión log-logística propuesto por SEEFELDT *et al.* (1995) y los biotipos de avenilla AF-2, AF-3 y AF-14, se confirmó en todos la resistencia a los herbicidas ACCasa clodinafop y haloxyfop. Por otra parte, ningún biotipo presentó resistencia a tepraloxymid y pinoxaden y al herbicida ALS flucarbazone (Tabla 4). Estos resultados indican la existencia de diferentes patrones de resistencia cruzada a los herbicidas ACCasa. Respecto a los niveles de resistencia a los ACCasa, se encontró que los tres biotipos de avenilla exhibieron alta resistencia a clodinafop y baja resistencia a haloxyfop (Tabla 4). Estos resultados son similares a los obtenidos en *A. fatua* por MANSOOJI *et al.* (1992); SEEFELDT *et al.* (1994); COCKER *et al.* (2000); BECKIE *et al.* (2002), quienes encontraron que la resistencia fue más generalizada a FOP que a DIM. En EE.UU., ULUDAG *et al.* (2008), trabajando con 5 biotipos de *A. fatua*, tres herbicidas FOP, tres herbicidas DIM y un DEN, encontraron que todos los biotipos fueron resistentes a los FOP y sensibles a los DIM y DEN, excepto un biotipo que fue resistente a todos. Los resultados obtenidos en los biotipos de avenilla provenientes del sur del país, sugieren que la resistencia ha evolucionado básicamente a los ACCasa del grupo químico FOP, razón por la que herbicidas ACCasa de grupos químicos distintos como los DIM y DEN deberían ser herramientas eficaces para controlar los biotipos resistentes a FOP.

En cola de zorro, trabajando con 17 biotipos (CE-3, CE-4, CE-6, CE-7, CE-10, CE-12, CE-13, CE-14, CE-15, CE-16, CE-17, CE-18, CE-19, CE-20, CE-21, CE-22, CE-23) y aplicando también cada herbicida inhibidor de ACCasa e inhibidor de ALS en una dosis superior al 50% de la recomendada, se encontró resistencia a ambos mecanismos de acción. La resistencia se caracterizó porque un alto porcentaje de los biotipos de cola de zorro presentaron resistencia a los tres herbicidas ACCasa evaluados, esto es, a clodinafop (FOP), haloxyfop (FOP) y a tepraloxymid (DIM), y al herbicida ALS flucarbazone (Tabla 3). En bioensayos de dosis respuesta en los biotipos de cola de zorro CE-10, CE-17, CE-18 y CE-19, se confirmó en todos la resistencia a los herbicidas ACCasa clodinafop haloxyfop y tepraloxymid, y al herbicida ALS flucarbazone (Tabla 4). Sin embargo, mientras los biotipos exhibieron alta resistencia a clodinafop y a haloxyfop, el nivel de resistencia a tepraloxymid fue variable según el biotipo, fluctuando entre baja y alta y la mayoría de los biotipos presentaron una baja resistencia al herbicida ALS flucarbazone (Tabla 4). Los resultados obtenidos en estos biotipos de cola de zorro sugieren que la resistencia a herbicidas ACCasa está más extendida a los FOP que a DIM y que ha evolucionado menos a los ALS. No obstante, de continuar desarrollándose a los ACCasa y ALS, podría llegar a significar una disminución importante de los herbicidas disponibles para su control.

**Tabla 3.** Porcentaje de los biotipos de avenilla y cola de zorro resistentes a los herbicidas inhibidores de ACCasa y ALS.

Maleza	ACCasa				ALS		
	FOP			DIM	DEN	SU	ST
	dic	clo	hal	tep	pin	iod+mes	flu
<i>A. fatua</i>	100	71	64	7	14	0	0
<i>C. echinatus</i>	n.e	100	94	94	n.e.	n.e.	94

**dic:** diclofop; **clo:** clodinafop; **hal:** haloxyfop; **tep:** tepraloxym; **pin:** pinoxaden; **iod+mes:** iodosulfuron+mesosulfuron; **flu:** flucarbazone; **n.e:** indica no evaluado.

**Tabla 4.** Índices de resistencia de los biotipos de avenilla y cola de zorro a los herbicidas inhibidores de ACCasa y ALS.

A. fatua	ACCasa						ALS			
	clodinafop		haloxyfop		tepraloxym		pinoxaden		Flucarbazone	
	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR
Sensible	11	-	18,1	-	9,8	-	11	-	7,3	-
AF-2	>216	> 20	71,4	3,9	42	2,2	29	2,6	7,7	1,1
AF-3	>216	> 20	84,8	4,7	14	1,4	14	1,3	6,2	0,8
AF-14	>216	> 20	90,6	5,0	12	1,2	18	1,6	6,4	0,9
<i>C. echinatus</i>	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR
Sensible	12,3	-	18	-	32	-	-	-	13,6	-
CE-10	187	15	198	11	150	4,7	-	-	27,2	3
CE-17	>216	>18	265	14,7	448	14	-	-	65,3	5,8
CE-18	176	14	252	14	269	8,4	-	-	20,4	2,5
CE-19	>216	>18	254	14,1	307	9,6	-	-	68,4	2,9

**DL<sub>50</sub>:** dosis letal media; **IR:** índice de resistencia

**Ballica (*L. multiflorum* y *L. rigidum*).** En ballica, trabajando con 15 biotipos de *L. multiflorum* ( LM-6, LM-16, LM-19, LM-20, LM-22, LM-26, LM-27, LM-28, LM-29, LM-30, LM-31, LM-33, LM-34, LM-45, LM-54) y 4 de *L. rigidum* (LR-10, LR-23, LR-24, LR-25) y aplicando cada herbicida inhibidor de ACCasa e inhibidor de ALS en una dosis superior al 50% de la recomendada, se encontró resistencia a ambos grupos de herbicidas (Tabla 5).

La mayoría de los biotipos de *L. multiflorum* presentaron resistencia a los herbicidas ACCasa del grupo FOP diclofop, clodinafop y haloxyfop, aproximadamente la mitad presentó resistencia a los herbicidas del grupo DIM tepraloxym y clethodim, mientras que un bajo porcentaje de biotipos fue resistente a pinoxaden (grupo DEN). Más de la mitad de los biotipos de *L. multiflorum* también presentó resistencia a los ALS, aunque fue más generalizada a los herbicidas iodosulfuron y iodosulfuron+mesosulfurones del grupo de las sulfonilureas que al herbicida flucarbazone del grupo de las sulfonilcarbonil-triazolinonas (Tabla 5). En bioensayos de dosis respuesta en los biotipos de *L. multiflorum* LM-16, LM-19 y LM-20, se confirmó en todos la resistencia al herbicida ACCasa clodinafop (FOP), sin embargo todos fueron sensibles a tepraloxym (DIM) y sólo uno de los tres biotipos fue resistente a pinoxaden (DEN). Por otra parte, dos de los tres biotipos fueron resistentes a los herbicidas ALS flucarbazone y iodosulfuron+mesosulfuron. El nivel de resistencia fue alto a diclofop y

flucarbazone y más bajo a iodosulfuron+mesosulfuron, mientras que leve a pinoxaden (Tabla 6). KUK *et al.* (2008) trabajando con 25 biotipos de *L. multiflorum* provenientes del Sur de EE.UU. encontraron que la mayoría de los biotipos fueron resistentes a los FOP, un 20% a pinoxaden (DEN) y sensibles a los DIM. Sólo un biotipo fue resistente a ALS.

En los biotipos de *L. rigidum* también se encontró resistencia a los ACCasa y ALS. Sin embargo, los cuatro biotipos fueron resistentes a los herbicidas ALS flucarbazone y iodosulfuron+mesosulfuron y a los herbicidas ACCasa diclofop (FOP) y haloxifop (FOP) (Tabla 5). En bioensayos de dosis respuesta en los biotipos de LR-10 y LR-25, se confirmó en ambos la resistencia a diclofop, flucarbazone y iodosulfuron + mesosulfuron. Cabe destacar que el biotipo LR-25 presentó un alto nivel de resistencia a todos los herbicidas ACCasa y ALS evaluados (Tabla 6). HEAP y KNIGHT (1990) señalan que una característica de la resistencia en *L. rigidum*, es la resistencia cruzada a herbicidas con otros modos de acción. BROSTER y PRATLEY (2006), en la principal zona productora de trigo en el sur Australia, encontraron que la mayoría de los biotipos de *L. rigidum* (77%) fueron resistentes a FOP y un porcentaje menor (22%) resistente a DIM.

Los resultados obtenidos en los biotipos de *L. multiflorum* y *L. rigidum* provenientes de la zona sur tienen gran importancia, ya que de continuar la evolución de resistencia a ACCasa y ALS, las opciones de herbicidas disponibles para controlar los biotipos resistentes podrían llegar a ser muy limitadas en el corto plazo en trigo y otros cultivos extensivos.

**Tabla 5.** Porcentaje de los biotipos de ballica resistentes a los herbicidas inhibidores de ACCasa y ALS.

Maleza gramínea	ACCasa					ALS			
	FOPs		DIMs		DEN	Sulfunilureas		ST	
	dic	clo	hal	tep	cle	iod	iod+mes	flu	
<i>L. multiflorum</i>	85	92	100	57	60	33	80	73	50
<i>L. rigidum</i>	100	75	100	50	50	50	100	100	100

**dic:** diclofop; **clo:** clodinafop; **hal:** haloxyfop; **tep:** tepraloxymid; **cle:** clethodim; **pin:** pinoxaden; **iod:** iodosulfuron; **iod+mes:** iodosulfuron+mesosulfuron; **flu:** flucarbazone. **n.e:** indica no evaluado.

**Tabla 6.** Índices de resistencia de los biotipos de ballica a los herbicidas inhibidores de ACCasa y ALS.

<i>L. multiflorum</i>	ACCasa						ALS			
	diclofop		tepraloxydim		pinoxaden		Flucarbazone		Iod+mes	
	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR
Sensible	26,2	-	7,08	-	6,6	-	2,6	-	2,5	-
LM-16	>3360	128	6,3	0,9	12,6	1,9	2,9	1,1	2,76	1,1
LM-19	>3360	128	5,6	0,8	25,0	3,8	>632	>243	21,4	8,6
LM-20	2470	94	4,8	0,7	13,6	2,1	>632	>243	96,6	39
<i>L. rigidum</i>	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR
Sensible	28	-	14,5	-	16,6	-	37,2	-	7,2	-
LR-10	>3360	128	20,6	1,4	18,6	1,2	130	3,5	>144	5,1
LR-25	>3360	128	740	51	>300	18	>632	17	37	20

DL<sub>50</sub>: dosis letal media; IR: índice de resistencia; iod+mes: iodosulfuron+mesosulfuron.

### Resistencia a glifosato

Antes de la siembra de los cultivos, el herbicida más utilizado durante muchos años para controlar malezas gramíneas y hoja ancha, anuales y perennes, ha sido glifosato, un inhibidor de la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPs) introducido a fines de los setenta. La inhibición de la EPSPs reduce la síntesis de los aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptófano), lo cual altera la producción de proteínas y previene la formación de compuestos secundarios. Durante muchos años se pensaba que la resistencia a glifosato nunca iba a ocurrir, atribuible a sus propiedades únicas, tales como mecanismo de acción, metabolismo, estructura química y falta de actividad residual en el suelo (BRADSHAW *et al.*, 1997). Sin embargo, desde que se confirmó el primer caso de resistencia a glifosato en *Lolium rigidum*, en Australia (PRATLEY *et al.*, 1996), se han reportado nuevos casos en 16 especies de malezas en diversos países (HEAP, 2009). En Chile, se han documentado siete biotipos resistentes a glifosato, todos en ballica (*L. multiflorum*). Los primeros biotipos (dos) se detectaron en viñedos en la zona central (PÉREZ y KOGAN 2003) y en barbecho químico (uno) para cereales en la zona sur (ESPINOZA *et al.*, 2005). Los otros biotipos (cuatro) se detectaron en cultivos de trigo en la zona sur (ESPINOZA *et al.*, 2008) (Tabla 7).

En la zona sur, el primer biotipo de *L. multiflorum* resistente a glifosato fue Vil-1, detectado en la localidad de Vilcún, Región de La Araucanía, desde un sitio con un historial de aplicaciones reiteradas de glifosato (12 veces durante el periodo 1989-2001), antes de sembrar trigo o avena con labranza cero y mínima. En bioensayos de dosis respuesta este biotipo presentó resistencia a los herbicidas ALS iodosulfuron y flucarbazone (ESPINOZA *et al.*, 2005; VALVERDE, 2007). Los últimos biotipos de *L. multiflorum* resistente a glifosato corresponden al LM-30, LM-33, LM-45 y LM-54 (Tabla 7). En bioensayos de dosis respuesta realizados en LM-30, LM-33, LM-45, se encontró que los tres biotipos fueron resistentes a haloxyfop, dos biotipos fueron resistentes a tepraloxydim y un biotipo fue resistente a clethodim. Los tres biotipos fueron resistentes al ALS iodosulfuron, aunque la resistencia fue baja, excepto en un biotipo. Ninguno de los biotipos fue resistente a la mezcla de herbicidas ALS imazamox+imazapyr. La resistencia múltiple a glifosato y a herbicidas con otros

mecanismos de acción les confiere a estos biotipos de *L. multiflorum* chilenos una característica particular, ya que en el mundo no se ha reportado (HEAP, 2009).

**Tabla 7.** Biotipos de *L. multiflorum* resistentes a glifosato en el sur de Chile.

Biotipo	Ubicación	Situación de colecta	Año de colecta	Año de confirmación	Nivel de resistencia
Vil-1	Vilcún, Región de La Araucanía	Barbecho químico	2000	2002	4,6
LM-30	Purranque, Región de los Lagos	Trigo	2006	2008	> 68
LM-33	San Juan de la Costa, Región de Los Lagos	Trigo	2006	2008	22
LM-45	Perquenco, Región de La Araucanía	Cebada	2007	2008	9
LM-54	Lautaro, Región de La Araucanía	Trigo	2007	2008	9,2

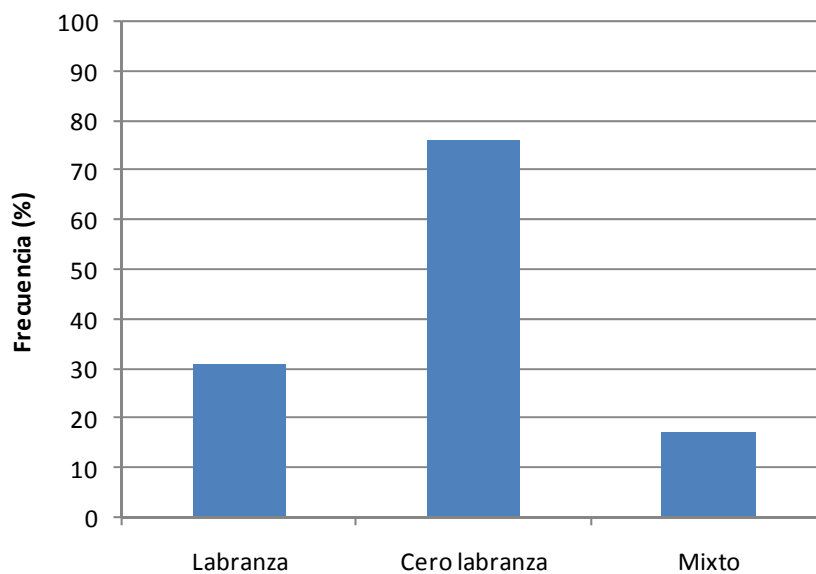
**Tabla 8.** Índices de resistencia a herbicidas inhibidores de ACCasa y ALS de los biotipos de ballica (*L. multiflorum*) resistentes a glifosato.

Biotipo	ACCasa						ALS			
	haloxyfop		tepraloxymid		clethodim		iodosulfuron		Imax+imar	
	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR	DL <sub>50</sub>	IR
Sensible	13,3	-	14	-	18,4	-	3,5	-	0,2	-
LM-30	>248	>19	63	4,5	205	11	10,1	2,9	0,23	1,2
LM-33	71	5,4	15	1,1	20	1,1	9,6	2,8	0,28	1,4
LM-45	>248	>19	134	9,6	140	7,4	21,1	6	0,2	1,1

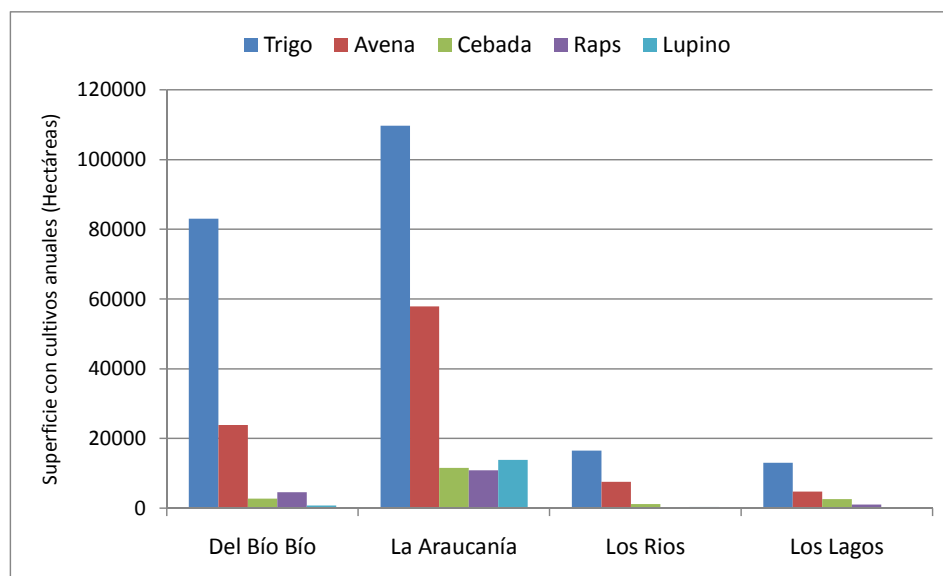
**DL<sub>50</sub>:** dosis letal media; **IR:** índice de resistencia; **imax+imar:** imazamox+imazapyr

### Principales causas

**Sistema de cultivo.** El sistema de cultivo practicado por los agricultores durante las dos últimas décadas, se ha caracterizado fundamentalmente por un uso intensivo de cultivos anuales, tendencia al monocultivo de cereales principalmente trigo y siembra con labranza cero (Figura 5). Esto ha implicado una dependencia absoluta del herbicida glifosato para controlar malezas antes de la siembra y de los herbicidas ACCasa y ALS después de la siembra. Lo anterior ha significado incrementar la frecuencia de uso de los mismos herbicidas o con igual modo de acción para controlar malezas gramíneas. En Chile, el trigo es el cultivo anual más importante, sin embargo la superficie sembrada se concentra entre las regiones del Bio Bio y La Araucanía (Figura 6), cultivándose casi en su totalidad bajo condiciones de secano. En la actualidad, la superficie sembrada alcanza las 280.00 ha (ODEPA, 2009).



**Figura 5.** Sistema de siembra más utilizada en los últimos 5-10 años en el sur de Chile. (DÍAZ y ESPINOZA, 2006). Los datos fueron obtenidos de una encuesta realizada a agricultores con malezas gramíneas resistentes en sus campos de las regiones Del Bio Bio, La Araucanía, Los Rios y Los Lagos.



**Figura 6.** Superficie sembrada con cultivos anuales en la zona sur. Cifras obtenidas del VII Censo nacional agropecuario.

**Características de los herbicidas ACCasa y ALS.** En muchos casos, las malezas han evolucionado resistencia a los herbicidas inhibidores de la enzima acetil-CoA carboxilasa (ACCasa) e inhibidores de la enzima acetolactato sintasa (ALS), después de cinco e incluso menos años de uso (MALLORY-SMITH et al., 1990; TARDIF, 1993). Durante los últimos 27 años se han reportado 36 especies de malezas gramíneas resistentes a herbicidas ACCasa en el mundo (HEAP, 2009). Por otra parte, en sólo 22 años, 102 especies desarrollaron resistencia a ALS, de las cuales 21 son gramíneas. El gran número de especies y la velocidad con que se ha desarrollado resistencia a los ACCasa y ALS explican que estos herbicidas sean considerados de alto riesgo para el desarrollo de resistencia (MOSS, 2007). Según FISHER et al. (2008) la resistencia a ACCasa y ALS es frecuente y rápida de seleccionar debido a que son posibles muchas mutaciones.

Desde su introducción, a fines de los 70, los herbicidas ACCasa se han utilizado ampliamente para el control pos-emergente de malezas gramíneas en trigo, cebada, lupino y canola en el país (Tabla 9). Antes de que se confirmara la resistencia a ellos, los más utilizados en trigo fueron diclofop y clodinafop, y en cultivos de dicotiledóneas como canola y lupino fueron haloxyfop y fluazifop butil, entre otros ACCasa. Los herbicidas ALS con acción de control de malezas gramíneas en pos-emergencia y recomendados en trigo y otros cereales, son de reciente introducción, ya que el primero fue iodosulfuron, introducido recién en 2001 (Tabla 10). Los ALS también se han empleado masivamente desde su introducción al país debido a que representan una alternativa para el control eficaz de biotipos de malezas gramíneas resistentes a los ACCasa. Lamentablemente, las malezas gramíneas no sólo han evolucionado resistencia a ALS sino que también más rápidamente. Al respecto, es importante señalar que en el sur del país tardó aproximadamente 10 años de uso continuado para que se desarrollara resistencia a ACCasa en ballica y avenilla. Por el contrario, antes de la comercialización del ALS iodosulfuron, ya existían algunos biotipos de ballica resistentes a él.

**Tabla 9.** Herbicidas ACCasa utilizados en cereales y otros cultivos.

<b>Nombre común</b>	<b>Nombre comercial</b>	<b>Grupo químico</b>	<b>Año de introducción</b>
diclofop	Cascabel 28 EC, Iloxan 28 EC	FOP	1978
haloxyfop	Galan Plus	FOP	1985
fluazifop	Hache Uno 2000 175 EC	FOP	1987
clodinafop	Topik 240 EC, Hummer 240 EC	FOP	1990
clethodim	Centurión 240 EC	DIM	1998
tepraloxydim	Aramo	DIM	2005
pinoxaden	Axial 050 EC	DEN	2007

**Tabla 10.** Herbicidas ALS utilizados en cereales.

Nombre común	Nombre comercial	Grupo químico	Año de introducción
iodosulfuron metil sodio	Hussar 20 WG, Ovassion 5.26 WP	Sulfonilureas (SU)	2001
flucarbazone	Vulcano 70% WG	Sulfonil-aminocarbonil-triazolinona	2002
iodosulfuron metil sodio + mesosulfuron	Cossack 150 WG	Sulfonilureas (SU)	2004
imazamox+Imazapyr	Eurolightning	Imidazolinonas (IMI)	2008
pyroxulam	Admitte	Triazolopirimidinas	2008

**Características de las malezas.** Las características inherentes a cada especie de maleza gramínea (*A. fatua*, *L. multiflorum*, *L. rigidum* y *L. multiflorum*), las que ya fueron analizadas, han contribuido también de modo importante en la evolución de resistencia.

### Agradecimientos

Parte de los trabajos realizados fueron financiados por el Proyecto FONDEF D04i1022.

### Bibliografía

ALEMSEGED Y, JONES, R.E.; MEDD, R.W. (2001). A farmer survey of weed management and herbicide resistance problems of winter crops in Australia. *Plant Protection Quarterly* 16, 21–25.

BECKIE, H.J.; THOMAS, A.G.; STEVENSON, F.C. (2002). Survey of herbicideresistant wild oat (*Avena fatua*) in two townships in Saskatchewan. *Can. J. Plant Sci.* 82:463–471.

BECKIE, H.; KIRKLAND, K. (2003). Implication of Reduced Herbicide Rates on Resistance Enrichment in Wild Oat (*Avena fatua*). *Weed Technology* 17(1): 138-148.

BOSQUE, J.L.; RECASENS, J.; PLANES, J.; TABERNER, A. (2002). La resistencia a herbicidas en poblaciones de vallico (*Lolium rigidum*) I: tipología y distribución. *Phytoma España* (143):46-51.

BRADSHAW, L.D.; PADGETTE, S.R.; Kimball, S.L.; WELLS, B.H. (1997). Perspectives on glyphosate resistance. *Weed Technology* 11:189–198.

BROSTER, J.C.; PRATLEY, J.E. (2006). A Decade of Monitoring Herbicide Resistance in *Lolium Rigidum* in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46, 1151-1160.

COCKER, K.M.; COLEMAN, J.O.D.; BLAIR, A.M; CLARKE, J.H.; MOSS, S.R. (2000). Biochemical mechanisms of cross-resistance to aryloxyphenoxypropionate and cyclohexanedione herbicides in populations of *Avena* spp. *Weed Research* 40: 323–334.

DELYE, C. (2005). Weed resistance to acetyl coenzyme A carboxylase inhibitors: an update. *Weed Science* 53(5): 728-746.

DÍAZ, J., ESPINOZA, N., GALDAMES, R. (2006). Malezas resistentes a herbicidas. I. Encuesta a agricultores entre la VIII y X Regiones. 57° Congreso Agronómico de Chile. 17-20 octubre de 2006. U. Santo Tomás, Santiago, Chile

ESPINOZA, N.; CONEJEROS, A.; MERA, M.; ROUANET, J.L. (2003). Biotipo de ballica (*Lolium multiflorum* L.) con resistencia cruzada a herbicidas ACCasa. En: XVI Congreso Latinoamericano de Malezas; XXIV Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de la Ciencia de la Maleza. Manzanillo, Colima, México.

ESPINOZA, N.; DÍAZ, J. (2005). Situación de la resistencia de malezas a herbicidas en cultivos anuales en Chile. Seminario-Taller Iberoamericano. Resistencia a Herbicidas y Cultivos Transgénicos. Colonia del Sacramento. Uruguay, 72-82.

ESPINOZA, N.; DÍAZ, J.; GALDAMES, R.; DE PRADO, R.; RODRÍGUEZ, C.; RUIZ, E. (2008). Resistencia múltiple a glifosato, ACCasa y ALS en biotipos de *Lolium* chilenos. En XVIII Congreso Latinoamericano de Malezas. XXVI Congreso Brasileiro da Ciencia das Plantas Daninhas. Ouro Preto, MG, Brasil.

ESPINOZA, N.; DÍAZ, J.; DE PRADO, R. (2005). Ballica (*Lolium multiflorum* Lam.) con resistencia a glifosato, glifosato-trimesium, iodosulfuron y flucarbazone sódico. In Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (27.); Congreso Iberoamericano de Ciencia de las Malezas (1., 2005, Varadero, Matanzas, CU).

ESPINOZA, N.; ZAPATA, M. (2000). Resistencia de ballica anual (*Lolium rigidum*) y avenilla (*Avena fatua*) a herbicidas graminicidas en las zonas centro-sur y sur de Chile. *Agricultura Técnica* 60(1): 3-13.

FISCHER, (2008). Mecanismos de resistencia: las bases para definir estrategias. En Seminario Internacional “viabilidad del glifosato en sistemas productivos sustentables”. Noviembre, 2008. Serie de actividades de difusión 554. 26-43. Colonia, Uruguay.

GRESSEL, J. (2002). *Molecular biology of weed control*. New York. Taylor & Francis. 504 p.

HEAP I. (2009). The international survey of herbicide resistant weeds. URL <http://www.weedscience.org>. (accessed on October 10, 2009).

HEAP, I. M. and R. Knight. (1990). Variation in herbicide cross-resistance among populations of annual ryegrass (*Lolium rigidum*) resistant to diclofop-methyl. *Aust. J. Agric. Res.* 41:121–128.

- KUK, Y.; BURGOS, N.; SCOUT, R. (2008). Resistance Profile of Diclofop-Resistant Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum*) to ACCase- and ALS-Inhibiting Herbicides in Arkansas, USA. *Weed Science* 56:614–623
- LIEBEL, R.; WORSHAM, A.D. (1987). Interference of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) in wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Science* 35:819–823.
- LORRAINE-COLWILL, D.F.; POWLES, S.B.; HAWKES, T.R.; PRESTON, C. (2001). Inheritance of evolved glyphosate resistance in *Lolium rigidum* (Gaud.) *Theor Appl Genet.* 102:545–550.
- LLEWELLYN, R.; POWLES, S.B. (2001). High Levels of Herbicide Resistance in Rigid Ryegrass (*Lolium rigidum*) in the Wheat Belt of Western Australia. *Weed Technology* 15:242–248
- MATTHEI, O. (1995). Manual de las malezas que crecen en Chile. Alfabeta Impresores. Santiago, Chile. 545 p.
- MALLORY-SMITH C., THILL, D.; DIAL, M. (1990). Identification of sulfonylurea herbicide-resistant prickly lettuce (*Lactuca serriola*). *Weed Technology* 4:163
- MANSOOJI, A.M.; HOLTUM, J.A.; BOUTSALIS, P.; MATTHEWS, J.M.; POWLES, S.B. (1992). Resistance to aryloxyphenoxypropionate herbicides in two wild oat species (*Avena fatua* and *Avena sterilis ssp. ludoviciana*). *Weed Science* 40:599–605.
- MOSS, S.R.; PERRYMAN, S.; TATNELL, L.V. (2007). Managing Herbicide-Resistant Blackgrass (*Alopecurus myosuroides*): Theory and Practice. *Weed Technology* 21, 300-309.
- NAYLOR, J.M. (1983). Studies on the genetic control of some physiological processes in seeds. *Can. J. Plant Sci.* 60:777–784.
- ODEPA. (2009). Oficina de Estudios y Políticas Agraria. URL <http://www.odepa.gob.cl>
- PEDREROS, A. (2001). Avenilla y ballica. Umbral económico en el trigo. *Tierra Adentro.* 38:30-31.
- PÉREZ, A.; KOGAN, M. (2003). Glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* in Chilean orchards. *Weed Research* 43:12–19.
- POWLES, S., PRESTON, I., BRYAN, A. JUTSUM, R. (1997). Herbicide resistance: Impact and management. *Adv. Agron* 58: 57-93.
- PRATLEY, J.; BAINES, P., EBERBACH, P.; INCERTI, M.; BROSTER, J. (1996). Glyphosate resistance in annual ryegrass. In: *Proceedings 11th Annual Conference of the Grassland Society of NSW*. The Grassland Society of NSW, Wagga Wagga, Australia.
- RYAN, G.F. (1970). Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. *Weed Science* 18:614-616

- RUNZHI, LI.; WANG, S.; DUAN, L.; LI, Z.; CHRISTOFFERS, M.; MENGISTU, L. (2007). Genetic Diversity of Wild Oat (*Avena Fatua*) Populations from China and the United States. *Weed Science* 55(2):95-101.
- SEEFELDT, S.S., D. R. GEALY, B. D. BREWSTER.; FUERST, E.P. (1994). Cross-resistance of several diclofop-resistant wild oat (*Avena fatua*) biotypes from the Willamette Valley of Oregon. *Weed Science* 42:430–437.
- SEEFELDT, S.; JENSEN, J.; FUERST, P. (1995). Log-Logistic Analysis of Herbicide Dose-Response Relationships. *Weed Technology* 9: 218-227.
- TARDIF, F.J.; HOLTUM, J.A.M.; POWLES, S.B. (1993). Occurrence of a herbicideresistant acetyl-coenzyme A carboxylase mutant in annual ryegrass (*Lolium rigidum*) selected by sethoxydim. *Planta* 190:176–181.
- TERRELL, E.E. (1968). A taxonomic revision of the genus *Lolium*. Technical Bulletin 1392, US Department of Agriculture, pp. 1–65.
- WAKELIN A.M.; LORRAINE-COLWILL, D.F.;PRESTON, C. (2004). Glyphosate resistance in four different populations of *Lolium rigidum* is associated with reduced translocation of glyphosate to meristematic zones. *Weed Research* 44:453–459.
- YU, QIN.; ABDALLAH, I.; HAN,H.; OWEN, M.; POWLES, S. (2001). Distinct non-target site mechanisms endow resistance to glyphosate, ACCase and ALS-inhibiting herbicides in multiple herbicide-resistant *Lolium rigidum*. *Planta* 230(4):713-23.
- ULUDAG, A.; PARK, K.W.; CANNON, J.; MALLORY-SMITH, C. (2008). Cross Resistance of Acetyl-CoA Carboxylase (ACCCase) Inhibitor-Resistant Wild Oat (*Avena fatua*) biotypes in the Pacific Northwest. *Weed Technology* 22:142–145.
- VALVERDE, B. 2007. Status and management of grass-weed herbicide resistance in Latin América. *Weed Technology* 21(2):310–323.