

***CARRYOVER* DE IMIDAZOLINONAS APLICADAS EN EL CULTIVO
DE GIRASOL SOBRE CEREALES DE INVIERNO**

Cervellini, Juan Manuel
Fantini, Fernando Gastón

Directora: Montoya, Jorgelina Ceferina
Co Director: García, Fernando
Facultad de Agronomía
Universidad Nacional de La Pampa
2015

Índice

Resumen	3
---------	---

Palabras clave	3
----------------	---

Introducción	4
--------------	---

Objetivos	5
-----------	---

Materiales y métodos	5
----------------------	---

Resultados y discusión	10
------------------------	----

Conclusiones	14
--------------	----

Bibliografía	15
--------------	----

1. RESUMEN

Imazapir e Imazamox son herbicidas selectivos de aplicación en postemergencia temprana del cultivo y la maleza utilizados en girasoles tolerantes a imidazolinonas. Tienen control de gramíneas anuales, malezas de hoja ancha anuales y perennes. Existen antecedentes de *carryover* sobre cultivos anuales invernales sucesores en la rotación. El objetivo fue evaluar el efecto de *carryover* de imazapir y la mezcla de imazapir e imazamox aplicadas en un girasol sobre trigo, cebada y avena en ensayos de campo. Los tratamientos definidos fueron: Imazapir 100 gr ha⁻¹ (PIR, 80 gr ia ha⁻¹), Imazapir 200 gr ha⁻¹ (2PIR, 160 gr ia ha⁻¹), Imazapir + Imazamox 1,2 L ha⁻¹ (PIR+MOX, 39,6 + 18 gr ia ha⁻¹) y 2,4 L ha⁻¹ (2PIR+MOX, 79,2 + 36 gr ia ha⁻¹), un tratamiento control (0) y un tratamiento sin herbicida (SH). Luego de la cosecha de girasol se sembraron trigo, avena y cebada. Se midió rendimiento en grano y producción de biomasa a la cosecha. Se demostró que a la dosis recomendada de imazapir+imazamox el cultivo de avena redujo la producción de biomasa; y la doble dosis provocó fitotoxicidad en trigo y avena manifestándose en una menor producción de biomasa. Esto indica que ambas especies son sensibles a los residuos de la mezcla. No se observaron efectos fitotóxicos sobre el rendimiento en grano. En cuanto a los Bioensayos los mismos no resultaron ser una herramienta efectiva para la detección temprana de residuos de imidazolinonas.

Palabras claves: disipación, degradación, fitotoxicidad, imazapir, imazamox.

2. INTRODUCCIÓN

En respuesta a la demanda de herbicidas residuales postemergentes surgen nuevas alternativas como la tecnología *CLEARFIELD*; la cual combina la resistencia genética de híbridos al herbicida *CLEAR SOL* (Imazapir 240 gr L⁻¹). Este herbicida es perteneciente a la familia química de las imidazolinonas, descubiertas en 1970, patentadas en 1980 y desarrolladas por la compañía *American Cyanamid*. Imazapir es un herbicida selectivo, de aplicación en post-emergencia temprana del cultivo y la maleza, que tiene control de gramíneas anuales, malezas de hoja ancha anuales y perennes. A pesar de los notorios beneficios de este evento, se presentaron problemas de *Carryover* en cultivos anuales invernales sucesores en la rotación tales como avena, trigo y cebada. Se define como *Carryover* a la concentración de los residuos de herbicidas en el suelo que resulta fitotóxica en el cultivo sucesor.

Posteriormente, Basf registra en el mercado nacional el herbicida *CLEARFIELD PLUS* (Imazapir 1,5% + Imazamox 3.3%). Imazapir presenta una vida media de 90 días (Hornsby *et al.* 1996), mientras que imazamox presenta una vida media menor de 20 a 30 días según las condiciones edafoclimáticas (Shaner, 2003).

Se podrían considerar tres factores que afectan el tiempo de persistencia de un herbicida en el suelo: edáfico (pH, contenido de materia orgánica – MO-), las propiedades físico químicas del compuesto (solubilidad en agua, coeficiente de adsorción, presión de vapor y naturaleza química) y condiciones climáticas (humedad y temperatura). Además la persistencia de un herbicida en el suelo está regulada por una serie de complejos procesos entre los que se cuentan la degradación (descomposición química, microbiana y fotodescomposición), la retención (adsorción por los coloides del suelo) y el transporte (lixiviación, volatilización, escurrimiento superficial y absorción por las plantas) (Hance y

Holly, 1990). Respecto a los herbicidas en estudio, el principal factor que afecta la persistencia es la degradación microbiana. En lo que respecta a su adsorción, las mismas son débilmente adsorbidas en suelos con pH entre 6 y 9. Sin embargo, a medida que se acidifica el suelo y los contenidos de MO del mismo aumentan, el proceso de adsorción se ve acentuado debido al aumento de las formas catiónicas y neutras de los herbicidas (Shaner y Hornford, 2005).

Respecto a trabajos relacionados con efectos de *carryover* de imazapir e imazamox se pueden citar a Ball *et al.* (2003) que encontraron efectos de *carryover* sobre cebada, colza y trigo. Así como también a Corbucci *et al.* (1998) quienes hallaron efectos de *carryover* sobre remolacha y colza. Por otra parte, en relación a antecedentes locales, Di Piano y Waimann; (comunicación personal, 2015) observaron que la cebada fue una especie sumamente sensible a residuos de imazamox + imazapir en suelo. Si bien ambos herbicidas son similares en cuanto a estructura molecular presentan diferentes potenciales de producir daños por *carryover* a los cultivos subsiguientes.

3. OBJETIVOS

Evaluar el efecto de *carryover* de imazapir y la mezcla de imazapir e imazamox sobre trigo, cebada y avena en ensayos de campo y en Bioensayos.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Se estableció un ensayo bajo siembra directa de girasol *Clearfield* en un lote de la EEA Anguil del INTA durante la campaña 2011-2012. En la tabla 1 se indican los tratamientos aplicados durante el cultivo de girasol. Se definió un tratamiento sin herbicida (SH) el cual se mantuvo limpio a mano durante los periodos del cultivo de girasol y con glifosato durante el

barbecho. Otro tratamiento denominado “0” que hace referencia a un tratamiento químico de preemergencia libre de imidazolinonas; y el resto de los tratamientos en base a herbicidas de imidazolinonas de aplicación de post-emergencia temprana. Finalizado el cultivo de verano se procedió a la cosecha total del girasol. Posteriormente se realizó la siembra de los cultivos invernales (trigo, T; avena, A; y cebada, C), según un experimento factorial con un diseño experimental en franjas en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones donde la unidad experimental fue de 10 x 10 m. Durante la cosecha se realizaron muestreos de 5,75 m² para estimar el rendimiento de grano y de 0,25 m² para la determinación de materia seca de planta entera. Para ello se extrajeron las plantas con sus respectivas raíces, las cuales fueron lavadas en el laboratorio y llevadas a estufa hasta peso constante. El análisis estadístico constó de un análisis de la varianza (ANVA) según un arreglo factorial especie x tratamiento de herbicidas (SAS, 1999).

Tabla 1. Tratamientos realizados

TRATAMIENTO	HERBICIDA	INGREDIENTE ACTIVO	DOSIS DE FORMULADO	DOSIS I.A.
SH	Sin herbicida	Se mantuvo limpio a mano durante los períodos de cultivo y con glifosato en el barbecho		
0	Authority + Dual Gold	Sulfentrazone + S-Metolaclor	200 cm ³ /ha + 1000 cm ³ /ha	100 cm ³ /ha + 960 cm ³ /ha
PIR	Clearsol	Imazapir	100 gr/ha	80 gr/ha
2 PIR	Clearsol	Imazapir	200 gr/ha	160 gr/ha
PIR+ MOX	Clearsol Plus	Imazapir + Imazamox	1200 cm ³ /ha	18 gr/ha + 39,6 gr/ha
2 PIR + MOX	Clearsol Plus	Imazapir + Imazamox	2400 cm ³ /ha	36 gr/ha + 79,2 gr/ha

Ensayo de campo

El suelo donde se instaló el ensayo fue un Haplustol Entico de textura franco arenosa (Arcilla: 2 %, Limo: 33 %, Arena: 35 %) con un contenido medio de MO de 2.43%, 6.4 de pH y CIC de 15,6 Meq100 Gr⁻¹, referido a la capa superficial de 0-8 cm. El cultivo de girasol se sembró el 29/11/2011 y la aplicación del herbicida preemergente correspondiente al tratamiento “0” se realizó el 1/12/2011; mientras que la aplicación postemergente de los tratamientos con imidazolinonas y graminicida en el tratamiento “0” fue el día 3/01/2012. El girasol se cosechó el 18/4/12; y los cereales de invierno se sembraron el 19/06/2012 (250 pl m⁻²): AVENA (INTA CANAI) PG 80%, CEBADA (SCARLETT) 95% PG, TRIGO (GUAPO) 95% PG. Se realizó un control de malezas a principio de macollaje con 2,4-D 300 cm³ ha⁻¹. Se cosecharon el 29/12/201. En la Tabla 2 se muestran las precipitaciones registradas durante el período de ensayo.

Tabla 2. Precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo de girasol y los cereales de invierno.

	oct-11	nov-11	dic-11	ene-12	feb-12	mar-12	abr-12	may-12	jun-12	jul-12	ago-12	sep-12	oct-12	nov-12	dic-12
1															
2												0,2		32,5	32,5
3		43	16	A								25,7			
4	2		0,7			21,3						3			0,5
5	1								3				2,5		35
6	10	24,5									17		4		5,5
7	6,5	16			16,3						26,5		14		
8	6	1		2,8				0,2						4	
9				1,3		12		0,5							
10	5,2		9												
11	26					1									
12	3														
13					3		25,5								
14					22								39,5		
15					11,5		22				14,7		54		
16				4,3	20			8,2			18				
17					4,5			5			19,5			8,5	35,2
18		10			4,5	4,7	8,5 CG						13		15,5
19		1,5				38			SC				3,5		
20		12,5	9	15										2,7	
21				3									24	7,5	
22				22,8									22,5		
23				2											
24	6			5,5	3	13,5	4,8								
25					20	2,8	2								
26		8,5											2,5		
27	1,2	15			11,7		13								
28	1			15	10,5								2,2		
29		SG	4,5	2,5									11	45,5	CC
30				11											28
31															
	67,9	132	39,2	85,2	127	93,3	75,8	13,9	3	0	95,7	28,9	192,7	100,7	152,2

A: corresponde al momento de aplicación de los herbicidas

SG y SC: Siembra del cultivo de girasol y cereales de invierno, respectivamente.

CG y CC: Cosecha de girasol y cereales de invierno, respectivamente.

A cosecha se realizaron muestreos de 5,75 m² para estimar rendimiento de grano y de 0,25 m² para la determinación de materia seca de planta entera. Para ello se extrajeron las plantas con sus respectivas raíces, las cuales fueron lavadas en el laboratorio y llevadas a

estufa hasta peso constante. El análisis estadístico constó de un análisis de varianza (ANVA) según un arreglo factorial especie x tratamiento de herbicidas (SAS, 1999).

Bioensayos

Luego de la cosecha del girasol se iniciaron los muestreos de suelos a 8 cm de profundidad con el objetivo de la preparación de macetas para los bioensayos. Se realizaron 7 muestreos: 23/4 (111 DDA, días desde aplicación), 11/5 (129 DDA), 31/5 (149 DDA), 22/6 (178 DDA), 19/7 (205 DDA), 15/8 (232 DDA), 17/9 (265 DDA). Se extrajeron muestras compuestas de aproximadamente 2 kg de suelo de cada parcela. Se tamizó el suelo por un tamiz de malla de 1 cm para ser homogeneizado. Una fracción de la muestra compuesta se destinó a la determinación de humedad gravimétrica y análisis de nitratos. El resto de la muestra fue destinada a la preparación de las macetas de 700 gr de suelo húmedo. En cada maceta se sembraron 5 semillas las cuales se ralearon a 4 plántulas una vez emergidas. Los bioensayos fueron conducidos en cámara de crecimiento bajo condiciones controladas: 12 hs de luz y una alternancia de temperatura nocturna de 18 °C y diurna de 25 °C. La humedad se mantuvo cercana a capacidad de campo. Una vez que las plántulas alcanzaron el estadio fenológico de 2 hojas desplegadas se realizaron las siguientes mediciones: n° de plántulas emergidas, longitud de raíces (LR, cm), peso seco aéreo (PSA, g) y peso seco de raíces (PSR, g). Cada una de estas variables se expresó según el valor promedio dado por el n° de plántulas. El diseño experimental fue completamente aleatorizado con 3 repeticiones.

5. RESULTADOS y DISCUSIÓN

No se observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos para rendimiento (Figura 1). Por el contrario, para producción de biomasa (Figura 2), en trigo se pudieron observar diferencias significativas del tratamiento 2PIR+MOX respecto al resto de los tratamientos ensayados. También, se puede destacar que la producción de biomasa de avena en los tratamientos PIR+MOX y 2PIR+MOX fue menor que en los tratamientos restantes. Donde se obtuvieron diferencias de 2802 y 2722 kg ha⁻¹ respecto al tratamiento SH y 1753 y 1673 kg ha⁻¹ respecto al tratamiento 0, respectivamente. Siendo que la dosis de imazapir aplicada en los tratamientos PIR+MOX es muy inferior a los tratamientos de imazapir solo, podemos inferir en que el herbicida imazamox tiene efectos negativos sobre estos cereales de invierno o bien la combinación de ambos poseen efectos de sinergia o potenciación. Ensayos realizados en campañas anteriores demostraron similares resultados; sin embargo en esa oportunidad los efectos se manifestaron sobre cebada.

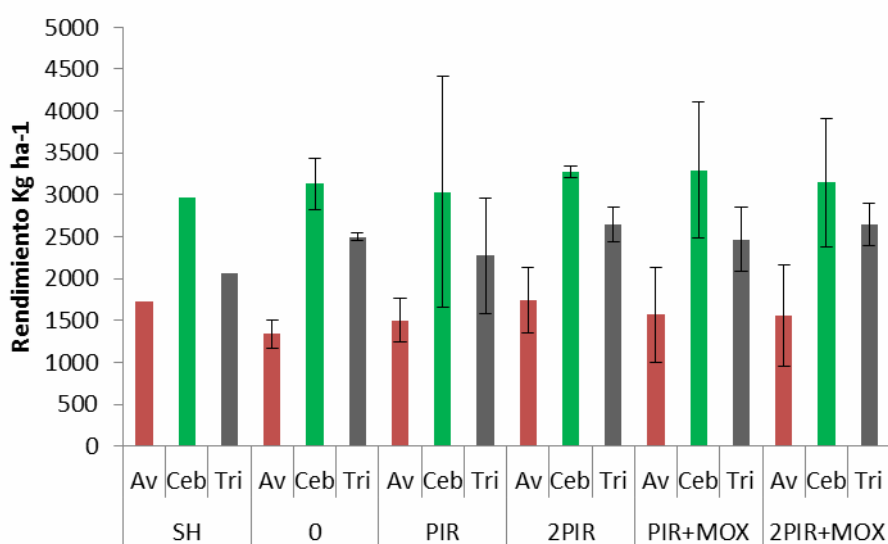


Figura 1. Rendimiento de grano de los cultivos y tratamientos estudiados.

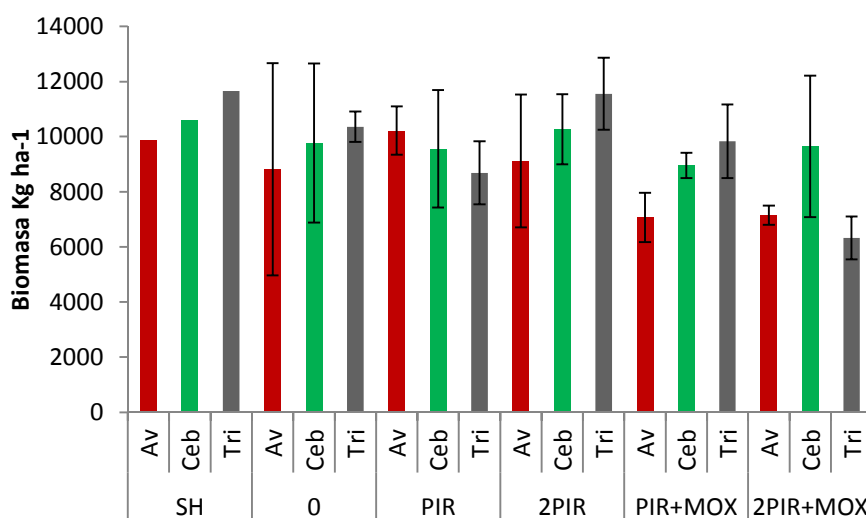


Figura 2. Producción de biomasa de los cultivos y tratamientos estudiados.

Bioensayos

En **Avena**, para la **fecha 1** se pudieron encontrar diferencias significativas en el promedio de longitud de raíces entre los tratamientos **PIR** y **PIR+MOX**, presentando éste último menor promedio (Anexo Análisis Estadísticos, Tabla IV). En la **fecha 2** también se encontraron diferencias significativas en la longitud de raíz entre los tratamientos **2PIR+MOX** y **0** siendo menor el promedio del último mencionado. Respecto a la **fecha 3**, tanto en peso seco aéreo como radicular el tratamiento **PIR+MOX** fue significativamente menor que el tratamiento **2PIR**. En el caso de la **fecha 4**, se encontraron diferencias significativas en el peso seco radicular de los tratamientos **PIR** y **2PIR** respecto al **0**, siendo superior el rinde del tratamiento **0**. En lo que respecta al peso seco aéreo se puede observar que los tratamientos **0**, **PIR** y **2PIR** presentaron una producción significativamente menor que la del tratamiento **PIR+MOX**. Por último, en la **fecha 5** se puede observar que la longitud radicular de los tratamientos **2PIR** y **PIR+MOX** fue significativamente mayor que la observada en el tratamiento **0**.

En **Cebada** para la **fecha 1** se obtuvieron diferencias significativas en el peso seco aéreo de los tratamientos **0** y **PIR+MOX** respecto al tratamiento **2PIR+MOX**, presentando el último un rinde mayor. En la **fecha 5** los tratamientos **PIR+MOX** y **2PIR+MOX** tuvieron un peso seco radicular significativamente mayor que el tratamiento **2PIR**.

En el caso de **Trigo** en la **fecha 2** el promedio de longitud radicular de los tratamientos **0** y **PIR** fue significativamente superior al del tratamiento **PIR+MOX**. En lo que respecta a peso seco radicular se pudieron encontrar diferencias significativas de los tratamientos **2PIR** y **PIR+MOX** respecto al tratamiento **0** siendo mayor el rinde del último mencionado. En cuanto al peso seco aéreo los tratamientos **2PIR**, **PIR+MOX** y **2PIR+MOX** presentaron rendimientos significativamente inferiores al tratamiento **0**. En la **fecha 3** se observó que el peso seco radicular de los tratamientos **0**, **PIR** y **2PIR** fue significativamente menor al del tratamiento **2PIR+MOX**. Por último, en la **fecha 4** se encontraron diferencias significativas en el peso seco aéreo entre los tratamientos **PIR+MOX** y **2PIR**, siendo menor el del tratamiento **PIR+MOX**.

Existen antecedentes que el Nitrógeno disponible remanente a la salida del cultivo de girasol como consecuencia de un menor consumo por parte de las malezas podría compensar posibles efectos fitotóxicos.

En lo que respecta a los **contenidos de nitrógeno** se puede observar que, para las **fechas de muestreo 1, 2, 4, 6 y 7**, no hubo diferencias significativas. Por el contrario, en la **fecha 3** se puede observar que el tratamiento **PIR+MOX** fue el que presentaba menor contenido de nitrógeno, observándose una diferencia significativa con **PIR**. En tanto, para la **fecha 5**, el tratamiento **2PIR+MOX** se diferenció significativamente del resto ($p < 0.05$) siendo mayor su contenido de nitrógeno.

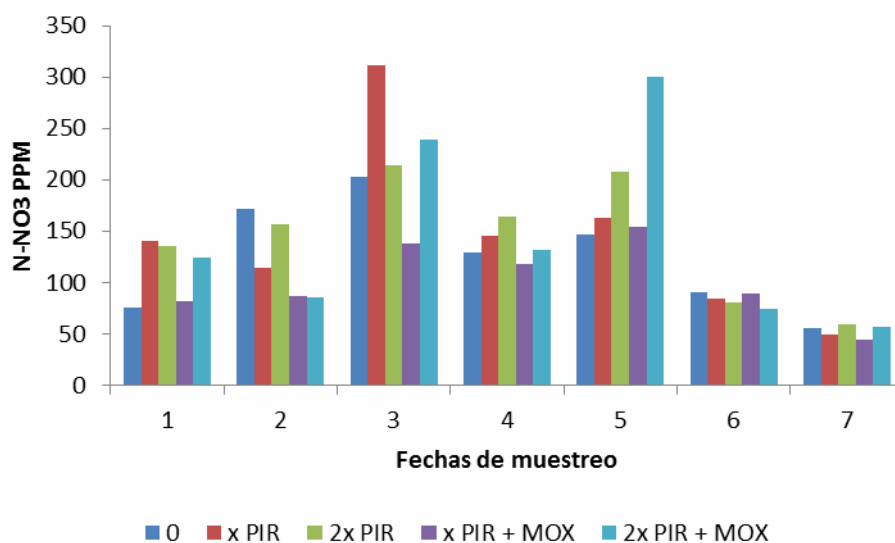


Figura 3. Nitrógeno en forma de nitratos en cada una de las fechas de muestreo

Las imidazolinonas en general presentan una persistencia moderada a larga (40 a 180 días, según Weber (1994). En las condiciones habituales de pH y temperatura de los suelos agrícolas la hidrólisis es muy lenta. A pH menores a 7, el anillo imidazolinon es muy estable (Roberts, 1998). De acuerdo a la bibliografía consultada, imazamox posee una vida media menor a imazapir. Aún así, los resultados hallados estarían indicando cierto grado de fitotoxicidad de imazamox sobre los cereales estudiados. Cabe aclarar que el efecto *carryover* de las imidazolinonas hacia cultivos subsiguientes no sólo depende de las condiciones climáticas que se den durante el período comprendido entre la aplicación y siembra de los cultivos y del pH del suelo sino que también de la sensibilidad que posean los cultivos de la rotación. La guía de productos fitosanitarios (CASAFE, 2011) para el caso de PIR+MOX indica una restricción de siembra de por lo menos 3 meses para cebada y trigo pan; y para avena una restricción de 5 meses. Existen antecedentes que 300 mm de lluvia ocurridos desde la aplicación a la siembra de los cereales de invierno garantizaría la disipación de los residuos de estos herbicidas hasta concentraciones inocuas para los cultivos subsiguientes (Istilart, 2005). Cabe destacar que dichas condiciones se cumplieron durante la campaña estudiada; ya

que, desde la aplicación de los herbicidas hasta la siembra de los cultivos de invierno transcurrieron 168 días y llovieron 398 mm y hasta la cosecha 940 mm (361 días desde aplicación) (Tabla 1). Por otro lado, puede observarse que los eventos de precipitaciones fueron tales que permitirían alcanzar capacidad de campo favoreciendo la actividad microbiana y también el lixiviado del herbicida desde las capas superficiales del suelo hacia capas inferiores, promoviendo así la disipación del herbicidas.

6. CONCLUSIONES

El ensayo a campo demostró que a la dosis recomendada de imazapir más imazamox el cultivo de avena mostró una importante reducción en la producción de biomasa; y la doble dosis provocó fitotoxicidad en trigo y avena manifestándose en una menor producción de biomasa. Esto indica que, bajo las condiciones ensayadas, ambas especies son sensibles a los residuos de la mezcla. Sin embargo, no se observó reducción del rendimiento en grano.

En cuanto a los Bioensayos, se puede observar que el tratamiento 4 presentó menores rindes de materia seca y menor promedio de longitud en repetidas ocasiones para los 3 cultivos. Sin embargo no demostró cumplir con un patrón de comportamiento constante, por lo tanto, podemos concluir que los bioensayos no demostraron ser una herramienta de diagnóstico eficaz para la identificación temprana de residuos de imidazolinonas fitotóxicos para los cultivos subsiguientes. Probablemente el método de macetas empleado no sea lo suficientemente sensible para detectar los cambios sobre las variables medidas.

7. BBLIOGRAFIA

- Ball, D.A.; Yenish, J.P., Alby, T. 2003. Effect of Imazamox soil persistence on dryland rotational crops. *Weed Technology*. 17: 161-165.
- CASAFE. 2011. Guía de Productos Fitosanitarios. Tomo II.
- Cobucci, T., H. T. Prates, C. L. M. Falcao, and M. M. V. Rezenede. 1998. Effect of Imazamox, Fomesafen and acifluorfen soil residue on rotacional crops. *Weed Sci*. 46:258-263.
- Hance, R.J. y K. Holly.1990. The properties of herbicides. Chapter 3 in: *Weed Control Handbook: Principles*. Eighth Edition. Hance, R.J. y K. Holly (ed.), Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, pp. 75–125.
- Hornsby, A.G.; Don Wauchope, R.; Herner, A.E. *Pesticide properties in the environment*. Nova York: Springer-Verlag, 1996. 227 p.
- Istilart, C. M. 2005. Residualidad de Imidazolinonas sobre cereales de invierno. Tercer Congreso Argentino de Girasol, ASAGIR. 31 de mayo y 1º de junio de 2005. Buenos Aires.
- Roberts, T. 1998. Imidazolinones. En *Metabolic Pathways of agrochemicals. Herbicides and Plant Growth Regulators*. Part One. 351-375 pp.
- SAS Institute Inc. (1999). *User's guide. Statistics. Version 8 (TS M0)*. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Shaner, D.L. 2003. Imidazolinones herbicides. En: J. Plimmer (ed.) *Encyclopedia of Agrochemicals*. John Wiley and Sons, NY. 769-784.
- Shaner, D.L. y R, Hornford. 2005. Soil interactions of imidazolinone herbicides used in Canadá. En: *Soil Residual Herbicides: Science and Mnagement*. Topics in Canadian Weed Science. Vol. 3. (Ed. R.C. Van Acker). pp. 23-30.

Weber, J.B. 1994. Properties and behavior of pesticides in soil. In: Honeycutt, R.C. and Schabacker, D.J. eds. Mechanisms of Pesticides Movement into Ground Water. CRC Press, Inc. 2000 Corporate Blvd., N. W. Boca Raton, Fl, USA, pp. 15-41.