

## EVALUACIÓN DE LA RESIDUALIDAD DE IMIDAZOLINONAS SOBRE LA IMPLANTACIÓN DE TRIGO, AVENA Y ALFALFA/RYEGRASS LUEGO DEL CULTIVO DE GIRASOL IMI-TOLERANTE

Giménez, Juan Pablo<sup>1</sup>; Istilart, Carolina<sup>2</sup>; Giménez, Daniel<sup>1</sup>; Yannicari, Marcos<sup>1</sup>.

### Resumen

Considerando la secuencia de especies incluidas en la rotación, después del cultivo de girasol imi-tolerante, las imidazolinonas podrían ocasionar problemas de fitotoxicidad debido a que algunos principios activos poseen prolongada persistencia en el suelo. El objetivo del trabajo fue estudiar los efectos de la residualidad de imazapir e imazamox sobre la implantación de especies utilizadas luego del cultivo de girasol imi-tolerante en el sur de la provincia de Buenos Aires. Se estudió la presencia activa de imidazolinonas en muestras de suelo donde se habían aplicado dosis recomendadas y dosis dos veces la recomendada de imazamox+imazapir e imazapir, 135 días antes del muestreo. Se realizaron biotest empleando trigo (susceptible), avena y alfalfa+ryegrass. En trigo y avena, la diferenciación de macollos aumentó por efecto de ambas formulaciones aplicadas a la dosis doble. La actividad meristemática apical y la biomasa aérea producida de ambas gramíneas aumentó por efecto de los residuos de dosis dobles. La pastura consociada mostró que la biomasa aérea de ryegrass no presentó variación, en cambio, la alfalfa disminuyó su biomasa a la dosis doble de imazapir. En el estrato 0-10 cm del suelo, los residuos de imidazolinonas detectados indirectamente, a 135 días post-aplicación de la dosis doble, serían comparables a una dosis del 10 % de la recomendada.

### Introducción

En el área de influencia de la Chacra Experimental Integrada Barrow (MAA – INTA) que comprende los partidos bonaerenses de Tres Arroyos, A. G. Chaves, Cnel. Dorrego y San Cayetano la superficie cosechada de girasol, en la campaña 2011\12, alcanzó las 119.700 ha (MAGyP, 2012). Actualmente, diversos motivos, entre ellos el control de malezas, hacen que el girasol no sea un cultivo fácilmente adoptado por el productor que trabaja bajo el sistema de siembra directa (Iriarte *et al.*, 2005). En relación a esto, la adopción de girasoles imi-tolerantes ha permitido ampliar la variedad de herbicidas post-emergentes a emplear (Istilart, 2005a).

Según los antecedentes documentados, algunos principios activos de la familia de las imidazolinonas, por ejemplo imazapir (post-emergente empleado en cultivos de girasol imi-tolerante), no son fácilmente degradados en el suelo. Tal es así que estos pueden ser muy persistentes (hasta 5 meses), dependiendo del tipo de suelo, condiciones ambientales y de la dosis empleada (Mangels, 1991). En este sentido, la persistencia o residualidad de un herbicida en el suelo puede definirse como el período de tiempo durante el cual permanece en forma activa (Comfort *et al.*, 1994).

Después del cultivo de girasol imi-tolerante, las imidazolinonas podrían ocasionar problemas de fitotoxicidad sobre determinados cultivos incluidos en la rotación, debido a la prolongada persistencia en el suelo. En el sur de la provincia de Buenos Aires, esta residualidad está condicionada, en gran medida, por la ocurrencia de lluvias en el período entre la aplicación y la siembra del siguiente cultivo (Istilart, 2005b; CASAFE, 2012).

El objetivo del trabajo fue estudiar los efectos de la residualidad de imazapir e imazamox sobre la implantación de especies utilizadas luego del cultivo de girasol imi-tolerante en el sur de la provincia de Buenos Aires.

### Materiales y métodos

Los ensayos se realizaron en el Instituto de Fisiología Vegetal (UNLP – CONICET) dependiente de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales y en la Chacra Experimental Integrada Barrow (MAA – INTA).

- **Cultivo de girasol y tratamiento con imidazolinonas**

En un lote de la CEI Barrow, en el mes de noviembre se realizó la siembra de girasol imi-tolerante (P65255CL) a una densidad de 50 mil plantas ha<sup>-1</sup> bajo el sistema de siembra directa. El lote presentaba un suelo franco arcilloso con 3,9 % de materia orgánica y pH 6,6. Cuando el girasol tenía cuatro hojas desarrolladas (V4), en la primera semana de diciembre, se realizaron las aplicaciones de herbicidas según los siguientes tratamientos:

<sup>1</sup> Instituto de Fisiología Vegetal -INFIVE- (Universidad Nacional de La Plata – CONICET)

<sup>2</sup> Chacra Experimental Integrada Barrow (MAA – INTA).

- I+I DS: imazamox (33%) + imazapir (15%): 2 L.ha<sup>-1</sup> (dosis normal).
- I+I DD: imazamox (33%) + imazapir (15%): 4 L.ha<sup>-1</sup> (dosis doble).
- I DS: imazapir (80%): 100 g.ha<sup>-1</sup> (dosis normal).
- I DD: imazapir (80%): 200 g.ha<sup>-1</sup> (dosis doble).
- Testigo: sin herbicida.

Se emplearon las formulaciones comerciales: imazamox (33%) + imazapir (15%): *Clearsol plus SL*® (BASF, Inc.) e imazapir (80%): *Clearsol DF*® (BASF, Inc.)

La cosecha del cultivo se llevó a cabo a mediados del mes de marzo y en abril se tomaron muestras de 1,5 kg de suelo a dos profundidades: 0-10 cm y 10-20 cm, empleando tres repeticiones. Una vez extraídas las muestras se mantuvieron a 4°C para disminuir la actividad microbiológica, hasta iniciar los ensayos durante el mes de Julio.

Durante el período entre la aplicación de los tratamientos y la toma de muestras transcurrieron 135 días, en los cuales el suelo estuvo cultivado y luego en barbecho en las condiciones ambientales naturales. Los datos de precipitaciones acumuladas fueron aportados por la estación meteorológica situada en la Chacra Experimental Integrada Barrow.

- **Descripción de los biotest de detección de residualidad de imidazolinonas**

Empleando como sustrato las muestras de suelo, el ensayo se realizó en macetas de 500 cm<sup>3</sup>, en las cuales se cultivaron cuatro plántulas por maceta en condiciones semi-controladas (*i. e.* invernadero). Se analizó el comportamiento de trigo “Klein Escorpión”, avena “INTA Calen” y ryegrass perenne “Gentos La Luna”, materiales de sensibilidad conocida a imidazolinonas, y alfalfa KW101 (consociada con el ryegrass), especie tolerante a ciertas imidazolinonas pero susceptible a otros principios activos de la misma familia.

Para cada cultivo, se establecieron dos fuentes de variación: los tratamientos con herbicidas y la profundidad de donde se tomó la muestra. Se emplearon cinco repeticiones (5 macetas) y se evaluaron los parámetros descritos a continuación.

- **Seguimiento de la evolución del número de macollos:** El número de macollos se determinó en trigo y avena por recuento visual a ojo desnudo (no destructivo). La determinación se realizó a 25 y 40 días después de siembra. A su vez, se contabilizó el número de macollos que diferenció el ápice meristemático empleando una lupa binocular estereoscópica Leica, modelo Wild M3B, con un aumento de 6x.

- **Evaluación de la actividad del ápice a partir del seguimiento de diferenciación foliar:** A 25 y 40 días de la siembra, utilizando la lupa estereoscópica descrita previamente, sobre una planta por maceta se contó el número total de hojas diferenciadas a partir de la suma del número de hojas expandidas, número de hojas sin expandir y primordios foliares. Además, se determinó el estado del ápice (vegetativo o reproductivo, *i. e.* doble lomo). Para estas mediciones se emplearon los aumentos 4x, 16x y 40x.

Para cada tratamiento, se estimó la actividad del ápice entre los 25 y 40 días desde siembra a partir de la diferencia en el número total de hojas diferenciadas en los dos momentos de evaluación.

- **Determinación de la biomasa aérea producida por planta a partir del peso seco:** A los 60 días de la siembra, se realizó el corte de las plantas a la altura del cuello. Luego, se colocaron en bolsas de papel y se llevaron a una estufa a 65°C para su desecación hasta peso constante y posterior determinación del peso seco.

Los parámetros evaluados se analizaron mediante análisis de la varianza (ANOVA) a fin de detectar diferencias significativas entre tratamientos. Se realizó la evaluación de los supuestos del ANOVA a partir del estudio de los residuales y, finalmente, se empleó el test de Fisher para efectuar la separación de medias por diferencias mínimas significativas ( $p < 0,05$ ).

## Resultados y discusión

Luego de la aplicación de los herbicidas y hasta la toma de las muestras, se registraron valores de precipitaciones acumuladas de 367,2 mm, similares al promedio histórico (1938/2011) el cual fue de 372,4 mm. Este aspecto es un factor importante a considerar debido a la relación entre la vida media de las imidazolinonas en el suelo y la ocurrencia de precipitaciones, pues la tasa de degradación microbiana depende de la humedad del suelo como indican Alister y Kogan (2004).

- **Seguimiento de la evolución del número de macollos**

En el cultivo de trigo, comparando con el correspondiente testigo, se encontró que el número de macollos diferenciados difirió significativamente en los tratamientos I DD siendo para el día 25 después de la siembra 1,6 veces mayor y para el tratamiento I+I DD el doble respecto al testigo. Esta diferencia se mostró en aumento a los 40 DDS, momento en el cual ambos herbicidas a la dosis doble provocaron un incremento en los valores promedio de número de macollos de 2,6 veces mayores que el testigo (Figura 1). Esta variación se explicaría por el efecto del herbicida sobre la ruptura de la dominancia apical.

En contraste a lo detectado en trigo, en avena no se observaron diferencias significativas en la diferenciación de macollos a los 25 DDS, es decir, ningún tratamiento difirió significativamente del testigo (Figura 1). Recién a los 40 DDS, se observó una tendencia respecto al incremento de macollos diferenciados a dosis dobles de ambos herbicidas que llega a ser significativamente mayor al testigo en el tratamiento I+I DD. Este comportamiento diferencial entre ambas gramíneas de invierno, permitiría considerar a la avena, en comparación al trigo no Clearfield, como un cultivo de menor sensibilidad a los principios activos evaluados. En este sentido, la avena podría resultar un cultivo alternativo en donde la implantación de trigo estaría condicionada por la residualidad de imazapir e imazamox en el suelo. Sin embargo, futuros estudios a campo deberían realizarse para obtener mayores evidencias al respecto.

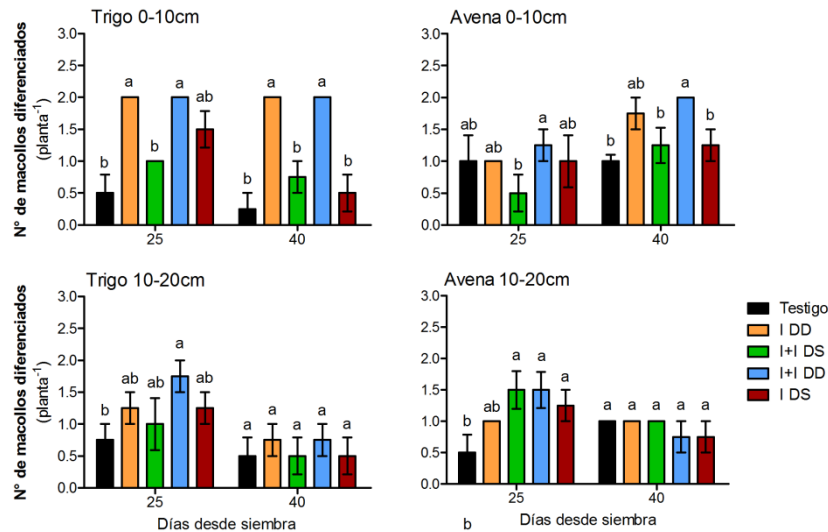


Figura 1: Efecto de la residualidad de imazapir (dosis simple recomendada: I DS y dosis doble: I DD) e imazapir+imazamox (dosis simple recomendada: I+I DS y dosis doble: I+I DD) sobre la diferenciación de macollos en trigo y avena a 25 y 40 días desde siembra. Plantas cultivadas sobre muestras de suelo de 0-10 cm de profundidad (panel superior) y 10-20 cm de profundidad (panel inferior). Se representan los valores medios  $\pm$  1 error estándar. Para cada día, letras iguales indican diferencias no significativas ( $p < 0,05$ ).

- *Evolución de la actividad del ápice a partir del seguimiento de la diferenciación foliar*

Los resultados a 25 días después de siembra para la profundidad 0-10 cm en el cultivo de trigo mostraron una disminución significativa de un 18% para el tratamiento I+I DS con respecto al testigo (Figura 2). El cultivo de avena mostró, respecto al testigo, un aumento de 11% para los tratamientos I+I DD e I DS, por otro lado, la actividad meristemática disminuyó un 10% comparado al testigo para el I DD (Figura 2).

Pasados 40 días después de siembra el cultivo de trigo presentó un aumento de alrededor del 15% para los tratamientos I+I DS e I+I DD (Figura 2). En avena los tratamientos I+I DD e I DS provocaron una inhibición en la actividad meristemática, comparado con el tratamiento testigo, de un 20% y 10% respectivamente (Figura 2). En cambio para el estrato subsuperficial de 10-20 cm de profundidad no se encontraron diferencias en la actividad meristemática de ambos cultivos (Figura 2).

Este comportamiento diferencial entre ambas profundidades sugiere que la residualidad de imazapir e imazamox es mayor en las capas superficiales, donde el contenido de materia orgánica es mayor y provoca una mayor absorción del herbicida (Senseman, 2007).

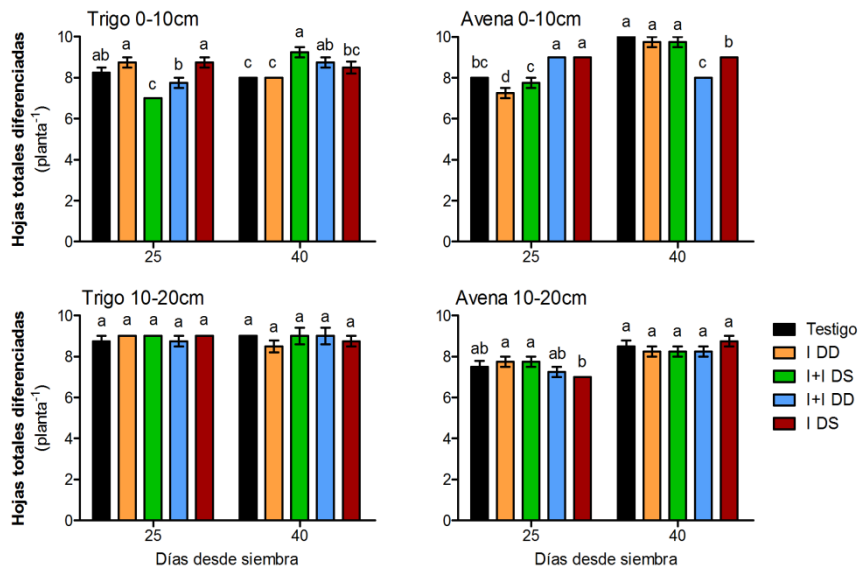


Figura 2: Efecto de la residualidad de imazapir (dosis simple recomendada: I DS y dosis doble: I DD) e imazapir+imazamox (dosis simple recomendada: I+I DS y dosis doble: I+I DD) sobre la actividad de diferenciación de hojas del meristema apical en trigo y avena a 25 y 40 días desde siembra. Plantas cultivadas sobre muestras de suelo de 0-10 cm de profundidad (panel superior) y 10-20 cm de profundidad (panel inferior). Se representan los valores medios  $\pm$  1 error estándar. Para cada día, letras iguales indican diferencias no significativas ( $p < 0,05$ ).

- **Determinación de la biomasa aérea producida por planta a partir del peso seco**

Se observó que la biomasa aérea de alfalfa disminuyó significativamente en el tratamiento I DD para el estrato de 0-10cm (Figura 3). El tratamiento I DD de 0-10 cm en ryegrass provocó un incremento significativo en la producción de biomasa aérea comparado al testigo (Figura 3), presumiblemente el efecto fitotóxico sobre la alfalfa habría disminuido la competencia favoreciendo la implantación de ryegrass. Los demás tratamientos no provocaron efectos significativos en el parámetro evaluado y tampoco se detectaron efectos fitotóxicos.

Los resultados muestran que la alfalfa fue la especie más sensible, por lo cual los residuos de imazapir podrían provocar importantes pérdidas en su implantación. El empleo de imazapir+imazamox en el cultivo imi-tolerante previo a la siembra de alfalfa, podría ser una alternativa a considerar debido a la menor concentración de imazapir (principio activo más residual de la formulación). Futuros ensayos a campo, podrían confirmar estos resultados.

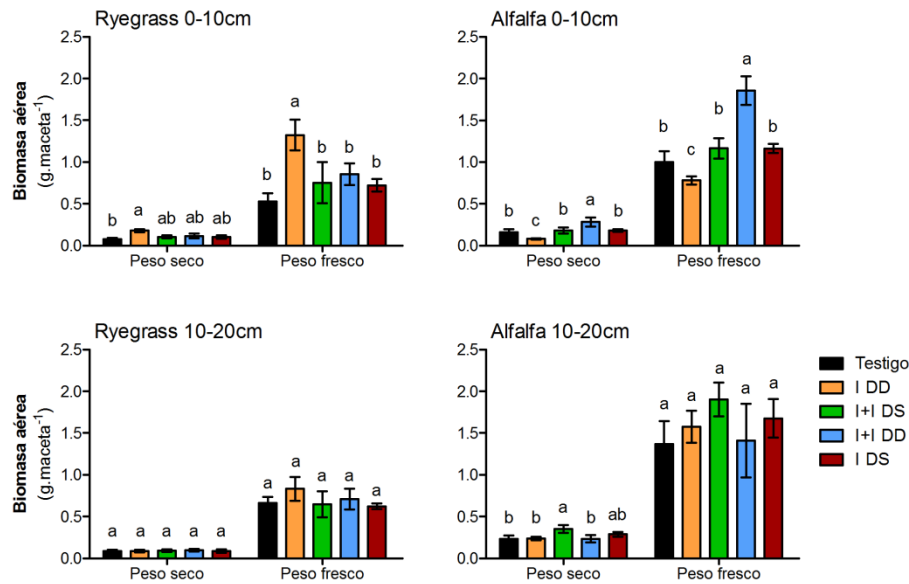


Figura 3: Efecto de la residualidad de imazapir (dosis simple recomendada: I DS y dosis doble: I DD) e imazapir+imazamox (dosis simple recomendada: I+I DS y dosis doble: I+I DD) sobre la producción de biomasa aérea (peso seco y peso fresco) en trigo y avena a 60 días de la siembra. Plantas cultivadas sobre muestras de suelo de 0-10 cm de profundidad (panel superior) y 10-20 cm de profundidad (panel inferior). Se representan los valores medios  $\pm$  1 error estándar.

A partir del estudio de trigo, avena y alfalfa+ryegrass cultivados sobre muestras de suelo previamente tratados con imazapir o imazapir + imazamox, se pudo estimar que los residuos activos de los herbicidas rondarían una dosis comparable a 1/10x. Los efectos del herbicida se detectaron por la alteración de la diferenciación de macollos de trigo y avena y por los efectos inhibitorios en la producción de biomasa aérea de alfalfa para el caso de imazapir llevando a la aceptación de la hipótesis planteada.

Las precipitaciones desde la aplicación hasta la toma de las muestras (367mm acumulados) habrían favorecido la disminución de la residualidad del principio activo. Sin embargo, estos estudios deberían repetirse en campañas de déficit hídrico donde los efectos fitotóxicos podrían ser más evidentes.

Estos herbicidas fueron empleados como post-emergentes, donde parte de la dosis aplicada es retenida por la biomasa foliar del cultivo (V4) y la dosis efectiva en el suelo habría sido menor a la aplicada. En este sentido, aplicaciones en otros estadios fenológicos, podrían alterar la dosis efectiva aplicada directamente al suelo y condicionar los tiempos de residualidad. Estos aspectos, también deberían considerarse en experiencias futuras.

Finalmente, se propone una herramienta de análisis de muestras de suelo para la determinación de residuos activos de imazapir a partir del empleo de alfalfa y trigo como especies sensibles indicadoras, donde los efectos sobre la producción de biomasa aérea y la diferenciación de macollos, respectivamente, serían los parámetros más sensibles a considerar.

### Bibliografía

- ALISTER, C. y KOGAN, M. 2004. Eficacy of imidazolinone herbicides to imidazolinone-resistant maize and their carryover effect on rotational crops. *Crop Protection* 24: 375-379.
- CASAFE. 2012. Guía de Productos Fitosanitarios para la República Argentina. Ed. Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, Buenos Aires. 1600 pp.
- COMFORT, S. D., P. J. SHEA y F. W. ROETH. 1994. Understanding pesticides and water quality in Nebraska. Ed. Nebraska Cooperative Extension, Nebraska. 16 pp.
- IRIARTE, L. B., C. M. ISTILART, y Z. B. LÓPEZ. 2005. Evaluación productiva de cultivares resistentes a Imidazolinonas. 3er Congreso Argentino de Girasol. ASAGIR, Buenos Aires. Disponible en: <http://www.asagir.com.ar>. Último acceso: Mayo 2012.
- ISTILART, C. M. 2005a. Relevamiento de malezas en girasol en el centro sur de la provincia de Buenos Aires. XVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas. ALAM, Cuba. Actas: 712-713.
- ISTILART, C. M. 2005b. Imidazolinone residuality on wheat, barley and oats in the south zone of Buenos Aires. Proceedings of the 7th International Wheat Conference. Mar del Plata. Actas: 112.
- MANGELS, G. 1991. Behaviour of the imidazolinone herbicides in soil-a review of the literature. *En: The Imidazolinone Herbicides*. Shaner, D.L. & O'Conner, S.L. Ed. CRC press. Boca Raton. 191-209.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Estimaciones Agrícolas, Cosecha de Girasol 2011\12. Disponible en: <http://www.minagri.gob.ar>. Último acceso: Junio 2012.
- SENSEMAN, S. A. 2007. *Herbicide Handbook*. Ed. Weed Science Society of America, Lawrence. 458pp.