

Efectos residuales de Imazamox sobre cultivos de invierno y de verano en Argentina

Residual effects of Imazamox on winter and summer crops in Argentina

Efeitos residuais de Imazamox sobre cultivos de inverno e verão na Argentina

Natalia Cassino¹; Francisco Bedmar²; Gloria Monterubbianesi¹; Valeria Gianelli³

¹Departamento de Introducción a las Ciencias Agrarias

²Departamento de Producción Vegetal, Suelos e Ingeniería Rural.

Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Ruta 226, km 73.5, 7620 Balcarce, Argentina

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Balcarce

bedmar.francisco@inta.gob.ar

Resumen

Imazamox es un herbicida perteneciente a la familia de las Imidazolinonas que actualmente está registrado en Argentina en soja, así como en trigo y girasol Clearfield (CL). Debido a que posee acción residual en el suelo, es importante determinar su persistencia a fin de evaluar la factibilidad de siembra de cultivos sensibles a sus residuos. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue determinar los efectos residuales de dos dosis de Imazamox sobre cultivos de invierno y de verano en la localidad de Balcarce, ubicada en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Los tratamientos consistieron en la aplicación de Imazamox en un cultivo de girasol CL en dosis de 50 y 100 g i.a/ha, incluyéndose un testigo sin tratar. Luego de la cosecha del girasol, se realizaron siete muestreos de suelo a intervalos mensuales (104, 138, 168, 207, 235, 266 y 298 días desde la aplicación, DDA). Finalizados los mismos, se realizó un bioensayo con trigo, colza, girasol y maíz no tolerantes a imidazolinonas, en cámara de crecimiento. A campo, se sembraron maíz y girasol no CL y papa de las variedades Kennebec e Innovator sobre los tratamientos previos de Imazamox, determinándose el rendimiento. Como resultado del bioensayo, se determinó el siguiente orden de la longitud de los períodos de persistencia: colza>trigo=girasol=maíz. Ninguno de cultivos a campo mostró efectos negativos a las dosis aplicadas de Imazamox, indicando que no existió efecto residual sobre ellos.

Palabras claves: carryover, persistencia en el suelo, Imidazolinonas.

Introducción

La residualidad o persistencia indica el período en que un herbicida, permanece activo en el suelo. Su conocimiento es de gran importancia ya que determina el tiempo máximo durante el cual puede controlar malezas (Ashton y Mónaco, 1991). La persistencia también tiene influencia en el riesgo de movimiento de herbicidas hacia el agua subterránea ya que es uno de los principales factores que incide en su contaminación. Además, la residualidad de un herbici-

Summary

Imazamox, an herbicide belonging to the Imidazolinone chemical group, is registered in Argentina for soybean and for Clearfield (CL) wheat and sunflower. Due to its soil residual activity, it is important to study its phytotoxic persistence on sensitive crops. For this reason, the objective of this work was to determine the residual effects of two doses of Imazamox on winter and summer crops in Balcarce, in the southeast of Buenos Aires province, Argentina. Treatments consisted in the application of Imazamox to CL sunflower at 50 and 100 g of active ingredient/ha, and a control. After harvesting, soil samples were taken at monthly intervals (104, 138, 168, 207, 235, 266 and 298 days from application). At the end of sampling, a bioassay was carried out in a growth chamber with wheat, rape, sunflower and maize not tolerant to Imidazolinones. Field experiments were conducted with non-CL maize and sunflower and with two varieties of potato (Kennebec and Innovator) sown on the plots previously treated with Imazamox. The bioassay determined that length of persistence periods was as follows: rape > wheat = sunflower = maize. None of the field crops showed negative effects at the Imazamox doses applied, indicating that there was no residual effect.

Key words: carryover, persistence in soil, Imidazolinones.

Resumo

Imazamox é um herbicida pertencente à família das Imidazolinonas que atualmente está registrado na Argentina para uso na soja bem como no trigo e no girassol Clearfield CL). Devido à sua ação residual no solo, é importante determinar sua persistência para avaliar a viabilidade de semear culturas sensíveis aos seus resíduos. Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar os efeitos residuais de duas doses de Imazamox nas culturas de inverno e verão em Balcarce, no sudeste da província de Buenos Aires, Argentina. Os tratamentos consistiram na aplicação de Imazamox em um plantio de girassol CL em doses de 50 e 100 g i.a / ha, incluindo uma testemunha não tratada. Após a colheita de girassol, foram coletadas sete amostras de solo em intervalos mensais (104, 138, 168, 207, 235, 266 e 298 dias desde a aplicação, DDA). No final da amostragem, foi realizado um bioensaio em uma câmara de crescimento com trigo, colza, girassol e milho não tolerante às imidazolinonas. Os experimentos de campo foram realizados com milho e girassol não CL e com duas variedades de batata (Kennebec e Innovator) semeadas nas parcelas previamente tratadas com Imazamox. O resultado do bioensaio determinou a seguinte ordem dos períodos de persistência: colza > trigo = girassol = milho. Nenhuma das culturas de campo apresentou efeitos negativos nas doses aplicadas de Imazamox, o que indica que não houve efeito residual sobre elas.

Palavras-chave: carryover, persistência no solo, Imidazolinonas

da en el suelo es particularmente relevante, porque determina el tiempo que debe esperarse para sembrar cultivos sensibles luego de la aplicación (Gustafson, 1989).

Los principales procesos que afectan a los herbicidas en el suelo son los de degradación y transferencia. Dentro de los primeros se encuentra la descomposición biológica, química y la fotodes-

composición. Los procesos de transferencia incluyen: adsorción en los coloides del suelo, lixiviación y volatilización (Cheng, 1990).

Las Imidazolinonas constituyen un grupo de herbicidas introducido en 1980 por la Compañía American Cyanamid para el control de un amplio espectro de malezas anuales y perennes, monocotiledóneas y dicotiledóneas (Shaner, 2014). Las Imidazolinonas poseen baja presión de vapor, lo que impide que se volatilicen del suelo en condiciones normales. La hidrólisis química tampoco parece ser un mecanismo de degradación importante en el suelo. Con respecto a la fotodescomposición, si no se encuentran en solución acuosa, son muy estables a la luz ultravioleta, pero en solución se degradan rápidamente. (Bedmar y Gianelli, 2014). Por lo tanto la fotólisis de los herbicidas Imidazolinonas en agua es muy rápida y en suelos generalmente es baja. La vida media de la fotólisis de estos herbicidas en suelo seco es aproximadamente de 4 meses (Mangels, 1991). Otro factor que puede ocasionar pérdidas es el lavado, aunque en este grupo de herbicidas, las pérdidas por este proceso son mínimas (Ashton y Mónaco, 1991).

La degradación microbiana en condiciones aeróbicas es el principal proceso de descomposición de las Imidazolinonas, siempre y cuando las condiciones del suelo favorezcan la actividad de los microorganismos. En suelos cálidos y húmedos, este tipo de degradación es muy importante (Mangels, 1991).

El mecanismo de acción de las Imidazolinonas, consiste en inhibir la enzima Acetolactato sintetasa, llamada también Acetohidroxiácido sintetasa (Anderson, 1996). Esta es de fundamental importancia, ya que cataliza el primer paso en la biosíntesis de tres ácidos alifáticos: isoleucina, leucina y valina (Ashton y Mónaco, 1991). La reducción en los niveles de estos aminoácidos interfiere con la síntesis de ADN, de proteínas y como consecuencia se produce la inhibición del crecimiento y muerte de las plantas (Anderson, 1996). Los síntomas de fitotoxicidad causados por las Imidazolinonas en especies herbáceas, consisten en inhibición del crecimiento, coloración púrpura del follaje y finalmente clorosis y necrosis de las hojas entre 2 a 4 semanas luego de la aplicación.

La persistencia de las Imidazolinonas en el suelo varía desde pocos meses hasta 2 años o más, dependiendo del tipo de herbicida, momento de aplicación, dosis, etc. La persistencia en el suelo, representa un obstáculo real para la rotación de cultivos, por lo tanto es conveniente realizar planes de rotación antes de la aplicación de un herbicida perteneciente a este grupo (Bedmar y Gianelli, 2014). Para evitar daños a los cultivos, se deben tener en cuenta las restricciones señaladas en las etiquetas de los mismos (Anderson, 1996). La persistencia puede llegar a niveles fitotóxicos en el suelo y esto puede ocurrir desde varias semanas a varios meses con condiciones de bajas temperaturas (Ashton y Mónaco, 1991).

Imazamox es un herbicida sistémico selectivo postemergente, con acción residual, registrado en Argentina en soja, y trigo

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en un lote de la Estación Experimental Agropecuaria, INTA Balcarce, cuyo antecesor fue un cultivo de Trigo. El suelo en donde se realizó el experimento presentaba un 4,7% de materia orgánica, pH 5,7 y textura franco arcillosa (29,6% de arcilla, 41,3% de limo y 29,2% de arena).

Clearfield (Casafe, 2015). También se utiliza en otros países en alfalfa y otros cultivos tolerantes a Imidazolinonas, como la canola, arroz, girasol, maíz, etc. (Shaner, 2014). Asimismo, actualmente existe en el mercado una mezcla de Imazamox con Imazapir (Clearsol Plus), muy utilizada debido a que presenta menor persistencia en el suelo y riesgo sobre cultivos en rotación sensibles que Imazapir solo. Imazamox controla un amplio rango de malezas de hoja ancha (*Bidens pilosa*, *Datura ferox*, *Tagetes minuta*, *Chenopodium album*, *Portulaca oleracea*, *Amaranthus quitensis*) y monocotiledóneas (*Echinochloa crus-galli*, *Hordeum distichum*, *Digitaria sanguinalis*, *Sorghum halepense*, *Triticum spp*) entre otras (Casafe, 2015).

La adsorción en el suelo es débil, pero se incrementa al aumentar los contenidos de arcilla y materia orgánica (Sakaliene *et al.*, 2007). Estudios a campo, determinaron la presencia de residuos de Imazamox en los primeros 30 cm del suelo (Shaner, 2014). Este herbicida es estable a la hidrólisis en pH de 5 a 9, lo cual incrementa su estabilidad en superficie y persistencia en el suelo. La fotólisis es muy baja (Serafini, 2003) mientras que las pérdidas ocasionadas por volatilización son insignificantes debido a su baja presión de vapor.

La vida media en el suelo oscila entre 20 y 30 días (Shaner, 2014). En este sentido, Rani (2015) determinó una degradación de primer orden de Imazamox con valores de vida media de 19.6 y 29.5 días en un suelo franco arenoso y franco arcilloso respectivamente. En otro estudio sobre la adsorción, desorción y degradación de Imazamox, Imazetapir e Imazaquín (Aichele y Penner, 2005), el porcentaje del herbicida aplicado encontrado en la solución del suelo, fue mayor para Imazamox y menor para Imazaquín, siendo superior a pH 7 que a pH 5 para los tres herbicidas en estudio. A pH 7, la vida media para Imazamox, fue de 1.4 semanas. Con pH mayores a 6, estos herbicidas existen en forma de iones negativos, siendo de esta forma débilmente adsorbidos, quedando por lo tanto en la solución del suelo, lo cual explica la menor residualidad en los suelos (Mangels, 1991).

El incremento de la adsorción a pH bajos se atribuye a la protonación de los grupos funcionales, resultando en una disminución en la disponibilidad para la degradación microbiana, aumentando de esta manera la persistencia en el suelo (Shaner, 2014).

En este sentido, Liu *et al.* (2016) determinaron que la degradación de Imazamox era producida por *Acinetobacter baumannii* a 37 °C y pH 7. Bresnahan *et al.* (2002), analizaron la interacción entre el pH del suelo y la adsorción, sobre la persistencia de los residuos de Imazamox en el suelo y determinaron que la adsorción se incrementa a bajos niveles de pH del suelo, pero el mismo es más fácilmente desorbido, siendo más factible el daño a los cultivos.

El objetivo del trabajo fue estudiar los efectos fitotóxicos residuales de Imazamox aplicado en girasol Clearfield, sobre trigo, colza, maíz, girasol no Clearfield y papa.

El experimento se estableció bajo un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El 25 de noviembre de 2002 se realizó la siembra de girasol Clearfield (tolerante a Imidazolinonas), con sistema de siembra convencional. Los tratamientos consistieron en la aplicación de Imazamox en dosis simple (50 g de ingrediente activo -i.a./ha) y doble (100 g i.a./ha), incluyéndose un testigo sin tratar. El

herbicida se aplicó el 20 de diciembre de 2002 cuando el girasol presentaba 4 hojas desarrolladas y la 5ª y 6ª hojas incipientes (20-30 cm de altura). Los tratamientos químicos se aplicaron conjuntamente con 0,5% de coadyuvante (Citowett Plus 50 EC, SL 50%), por medio de un equipo pulverizador de mochila manual y presión constante (38 lb/pulg²), a base de CO₂ provisto de pastillas Teejet 110015 VS tipo abanico plano desuniforme que arrojó un volumen de 162 litros/ha.

El herbicida aplicado en este trabajo presentaba una formulación comercial de gránulos dispersables (WG) según el siguiente detalle: Imazamox (Sweeper 70DG, 70 % de ingrediente activo; BASF Argentina S.A.).

A continuación de la cosecha del girasol (marzo, 2003), se realizaron dos tipos de experimentos: 1) bioensayo en cámara de crecimiento y 2) ensayo a campo.

Bioensayo

Luego de la cosecha del girasol, se realizaron 7 muestreos mensuales a los 104 (3/4/2003), 138 (7/5/2003), 168 (6/6/2003), 207 (15/7/2003), 235 (12/8/2003), 266 (12/9/2003) y 298 (14/10/2003) días desde la aplicación (DDA). Los muestreos se efectuaron con un muestreador de suelo, a una profundidad de 0-12 centímetros, realizándose 15 repiques por parcela. Las muestras así obtenidas se condujeron a freezer (-18°C) hasta su procesamiento. Al finalizar los muestreos se descongelaron las muestras y se tamizaron con tamiz de 0,5 cm de malla. El suelo así procesado se ubicó en vasos de plástico hasta completar 220 gramos de suelo húmedo. En cada vaso se realizó la siembra el 14 de noviembre de 2003, de girasol (Morgan MG 50), maíz (Asgrow 160 MG Bt), trigo (Baguette 10) y colza (Eclipse), disponiéndose en cada uno 2, 2, 3 y 5 semillas para girasol, maíz, trigo y colza respectivamente. Luego de la siembra, los vasos se condujeron a cámara de crecimiento bajo condiciones controladas de temperatura (20 °C noche y 25 °C día), humedad (50%) y luz (fotoperíodo 14 h). Durante el desarrollo del experimento se realizó riego superficialmente hasta alcanzar

80% de capacidad de campo. Cuando las plantas alcanzaron un determinado estado de crecimiento (Tabla 1), se realizaron determinaciones de altura y peso seco de la parte aérea de las mismas. Para la determinación del peso seco, previamente se efectuó el corte de las plantas desde la superficie del suelo y las mismas se llevaron a estufa a 60 °C durante 72 horas.

Ensayo a campo

En el mismo lote del cual se obtuvieron las muestras para la realización del bioensayo, se realizó la siembra de los cultivos de maíz (Asgrow 160 MG), girasol (Morgan MG 50) no Clearfield, y papa (variedades Kennebec e Innovator). El maíz se sembró el 23/10/2003, el girasol el 30/10/2003 y la papa el 6/11/2003.

Luego de la siembra, se realizó el seguimiento de los cultivos a campo hasta su cosecha (papa: 17/3/2004; girasol: 23/3/2004; maíz: 20/5/2004), en la que se determinó su rendimiento.

Análisis estadístico

1) Bioensayo

Para ambas variables evaluadas (altura y peso seco) los datos relativizados respecto del testigo sin herbicida (1 = testigo) se analizaron a través del análisis de la varianza, mediante el programa SAS, en base a un diseño en bloques completos al azar en parcelas divididas y 4 repeticiones. La parcela principal correspondió al factor tratamiento con tres niveles: dosis normal, dosis doble y un testigo sin tratar. En la subparcela se consideraron las fechas correspondientes a los muestreos (días desde la aplicación, DDA). Para cada cultivo se analizó la interacción entre los tratamientos y los DDA y los efectos principales de los tratamientos y de los DDA. En los casos en que existió interacción se efectuaron las siguientes comparaciones: a) Entre dosis normal y doble en cada una de las fechas de muestreo y b) Entre los DDA dentro de cada dosis.

La comparación entre medias se realizó en base a la Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 5%. En los casos en que no existió interacción entre los tratamientos y los DDA, se

Tabla 1: Estado de crecimiento para la determinación de la altura y el corte de las plantas de girasol, maíz, trigo y colza

Especie	Estado de corte para peso seco y toma de altura	Estado de medición de altura
Girasol	1er par de hojas verdaderas	Desde la superficie del suelo hasta el meristema
Maíz	1era hoja puntiaguda	Desde la superficie del suelo hasta la lígula de la 1era hoja puntiaguda
Trigo	2 hojas	Desde la superficie del suelo hasta la lígula de la 2da hoja
Colza	3 hojas	Desde la superficie del suelo hasta el meristema

Figura 1: Precipitaciones, temperatura máxima, media y mínima durante el período aplicación-extracción de muestras.

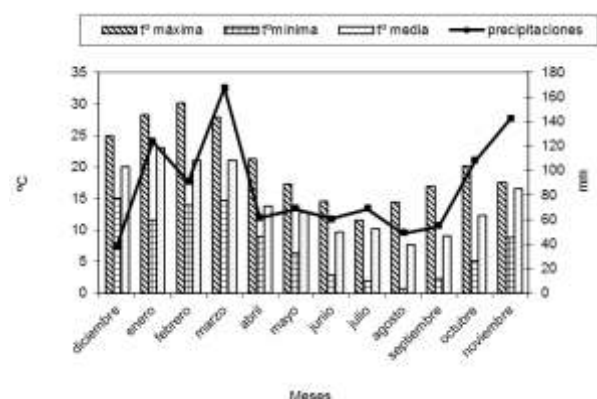
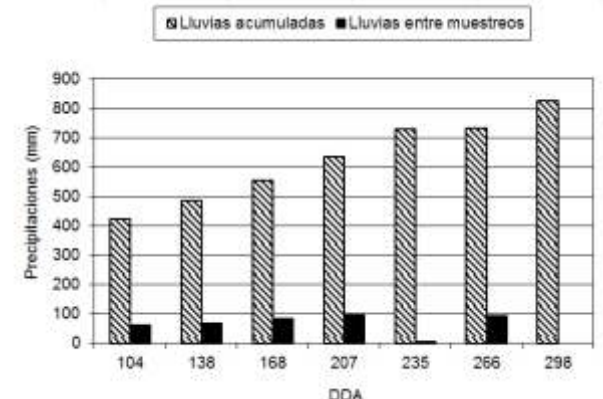


Figura 2: Precipitaciones entre muestreos y acumuladas al momento de cada muestreo.



analizaron los efectos principales de los tratamientos y de los DDA. En las situaciones donde existió efecto de alguno de ellos se efectuó una comparación entre medias en base a DMS.

Resultados

1. Bioensayo

1.1 Colza

La interacción entre los tratamientos y los DDA resultó significativa para la altura ($p=0,001$). Para ambas dosis se encontraron diferencias significativas entre los DDA, observándose una reducción inicial de esta variable hasta los 168 DDA en la dosis normal y doble. Cuando se analizaron las diferentes dosis en cada fecha de muestreo, se observó reducción de la altura relativa hasta los 138 días después de la aplicación con la dosis doble (Tabla 2). La disminución fue de hasta un 69% con respecto al testigo en la segunda fecha de muestreo.

No se encontró interacción significativa para el peso seco entre los tratamientos y los DDA ($p=0,077$), tampoco se detectaron efectos de los tratamientos ni de los DDA ($p=0,002$). Se observó una reducción en esta variable del orden del 38% con respecto al testigo a los 138 DDA y del 20% a los 207 DDA para ambas dosis (Figura 3). En las fechas de muestreo restantes, el mismo se vio incrementado significativamente, logrando alcanzar valores cercanos o superiores al 100% del testigo.

1.2 Girasol

No se encontró interacción significativa entre los tratamientos y los DDA para la altura ($p=0,946$), así como no se detectaron efectos de los tratamientos ni de los DDA ($p=0,559$). En la Figura 4 se puede observar que, para todas las fechas de muestreo, los valores de altura relativa alcanzados fueron muy cercanos al 100% del testigo.

En cuanto al peso seco, no se detectó interacción significativa entre los tratamientos y los DDA ($p=0,884$). Tampoco se encontraron efectos de los tratamientos, alcanzando valores de peso seco similares al 100% del testigo. Con respecto a los DDA, se encontraron efectos ($p=0,036$), independientemente de la dosis, observándose una disminución del peso seco relativo a los 168 DDA con respecto a la fecha de muestreo anterior, mientras que el resto de las fechas de muestreo presentaron valores iguales o superiores al 100% del testigo (Figura 5).

Tabla 2: Valores medios de altura relativa de colza para dosis normal y doble de Imazamox en cada fecha de muestreo*.

DDA	Altura relativa promedio	
	Dosis normal	Dosis doble
104	0,85 c A	0,63 b B
138	0,91 bc A	0,32 c B
168	1,09 abc A	0,96 a A
207	1,13 ab A	1,16 a A
235	0,95 bc A	0,96 a A
266	1,29 a A	1,01 a B
298	1,04 bc A	1,23 a A

*Dentro de cada dosis, letras minúsculas iguales indican diferencias no significativas entre fechas (DMS, $P>0,05$); Dentro de cada fecha de muestreo, letras mayúsculas iguales indican diferencias no significativas entre dosis (DMS, $P>0,05$).

2) Ensayo a campo

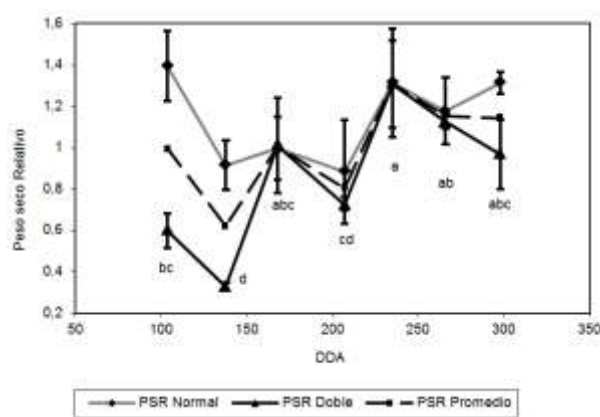
En cada cultivo, para cada una de las variables evaluadas, se analizaron las diferencias entre los distintos tratamientos mediante un análisis de la varianza y se efectuó la comparación entre medias en base a DMS al 5 %

1.3 Maíz

No se encontró interacción significativa para la altura entre los tratamientos y los DDA ($p=0,926$). Se detectó una leve disminución de esta variable maíz por efecto de la dosis doble, mientras que no hubo efecto de los momentos de muestreo ($p=0,252$) (Figura 6).

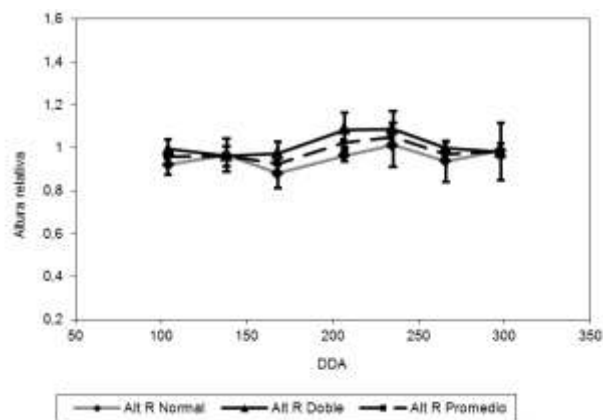
No se detectó interacción significativa entre los tratamientos y los DDA para el peso seco del maíz ($p=0,690$), encontrándose una leve disminución por efecto de la dosis doble, mientras que no se hallaron diferencias entre las fechas de muestreo ($p=0,057$) (Figura 7).

Figura 3: Evolución del peso seco relativo (promedio +/- error estándar) de colza sembrada en suelo tratado previamente con dosis normal y doble de Imazamox*.



*En la figura se tuvieron en cuenta los valores promedios de peso seco relativo, debido a la ausencia de interacción entre los tratamientos y los DDA. Letras iguales indican diferencias no significativas (DMS, $P>0,05$) a través de los DDA.

Figura 4: Evolución de la altura relativa (promedio +/- error estándar) de girasol sembrado en suelo tratado previamente con dosis normal y doble de Imazamox*.



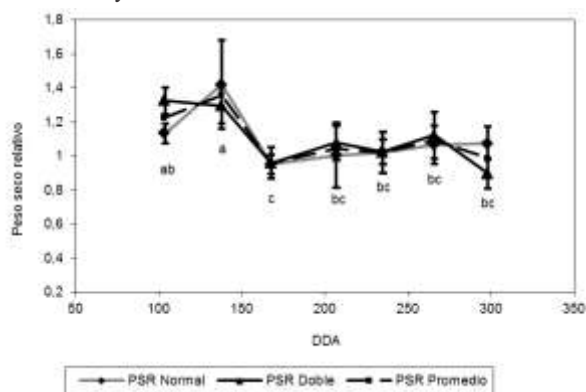
*En la figura se tuvieron en cuenta los valores promedio de altura relativa, debido a la ausencia de interacción entre los tratamientos y los DDA.

1.4 Trigo

No se encontró interacción significativa entre los tratamientos y los DDA ($p=0,452$) para la altura. Con respecto a los tratamientos, no se detectó efecto de los mismos ni tampoco de las fechas de muestreo ($p=0,299$) (Figura 8).

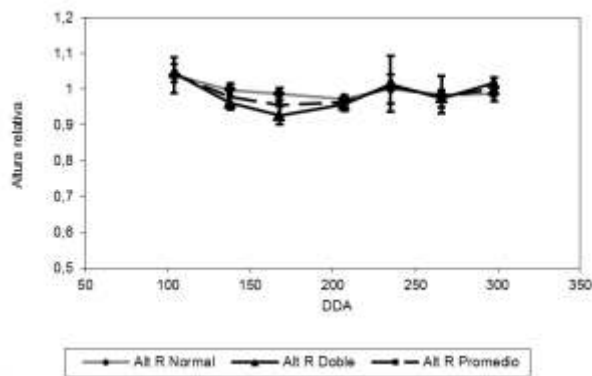
En cuanto al peso seco, la interacción entre los tratamientos y los DDA, no resultó significativa ($p=0,891$). Tampoco se encontraron efectos de los tratamientos, ni de las fechas de muestreo ($p=0,461$) (Figura 8).

Figura 5: Evolución del peso seco relativo (promedio +/- error estándar) de girasol sembrado en suelo tratado previamente con dosis normal y doble de Imazamox*.



*En la figura se tuvieron en cuenta los valores promedio de peso seco relativo, debido a la ausencia de interacción entre los tratamientos y los DDA. Letras iguales indican diferencias no significativas (DMS, $P>0.05$) a través de los DDA.

Figura 6: Evolución de la altura relativa (promedio +/- error estándar) de maíz sembrado en un suelo tratado previamente con dosis normal y doble de Imazamox*.



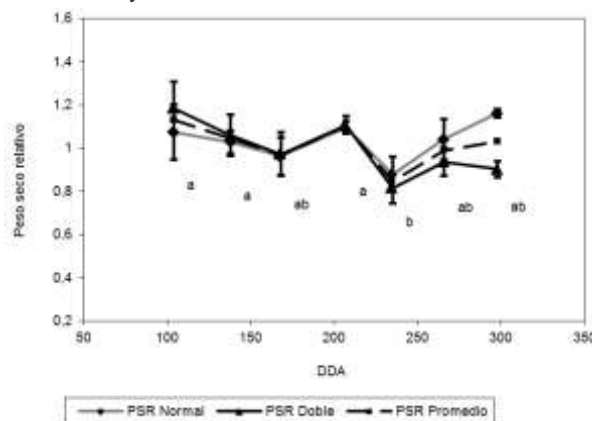
*En la figura se tuvieron en cuenta los valores promedio de altura relativa, debido a la ausencia de interacción entre los tratamientos y los DDA.

2. Ensayo a campo

El rendimiento de los diferentes cultivos que siguieron en la rotación a girasol, no se vio afectado significativamente por las dosis de Imazamox aplicadas, lo cual determinaría que no existió efecto residual postcosecha del herbicida.

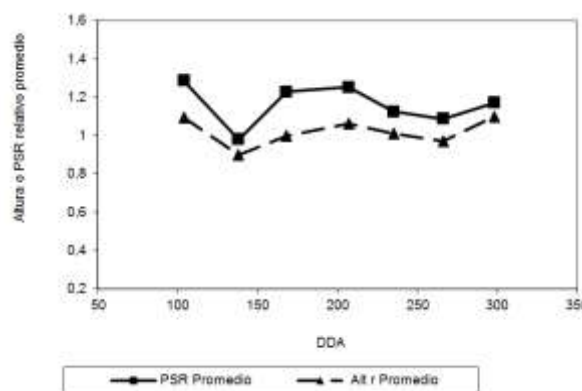
Con respecto a las restantes variables analizadas (número de espigas y plantas en maíz, número de plantas en girasol, peso de papa semilla y recibo), tampoco se encontraron diferencias significativas entre los cultivos tratados y el testigo (Tablas 3 y 4).

Figura 7: Evolución del peso seco relativo (promedio +/- error estándar) de maíz sembrado en un suelo tratado previamente con dosis normal y doble de Imazamox*.



*En la figura se tuvieron en cuenta los valores promedio de peso seco relativo, debido a la ausencia de interacción entre los tratamientos y los DDA. Letras iguales indican diferencias no significativas (DMS, $P>0.05$) a través de los DDA.

Figura 8: Evolución de la altura relativa y peso seco relativo promedio (promedio +/- error estándar) de trigo*.



*En la figura solo se tuvieron en cuenta los valores de altura y peso relativo promedio, debido a la ausencia de interacción entre los tratamientos y los DDA.

Tabla 3: Rendimiento promedio de semilla, recibo y total en papa de las variedades Kennebec e Innovator*.

Tratamiento	Variedad Kennebec			Variedad Innovator		
	Semilla	Recibo	Total	Semilla	Recibo	Total
Testigo	976 a	20757 a	21734 a	1671 a	15953 a	17625 a
Dosis normal	1187 a	21960 a	23148 a	1648 a	15796 a	17445 a
Dosis doble	976 a	23859 a	24835 a	1859 a	16148 a	18007 a

*Letras iguales para cada variable indican diferencias no significativas (DMS, $P>0.05$).

Tabla 4: Rendimiento y variables a cosecha para girasol y maíz*.

Tratamiento	Girasol		Maíz		
	Plantas a cosecha (Nº/ha)	Rendimiento (Kg/ha)	Plantas a cosecha (Nº/ha)	Número de espigas (Nº/ha)	Rendimiento (Kg/ha)
Testigo	66861 a	2144 a	74459 a	70707 a	8121 a
Dosis normal	71623 a	2451 a	73890 a	75189 a	8406 a
Dosis doble	62857 a	2435 a	74719 a	75021 a	8588 a

*Letras iguales para cada variable indican diferencias no significativas indican diferencias no significativas (DMS, P>0.05).

Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede considerar que la colza fue el cultivo más sensible a la presencia de residuos de Imazamox en el suelo. En tal sentido, se puede establecer que el período de persistencia fitotóxica y por lo tanto de espera para la siembra de la colza, asumiendo un criterio de máxima seguridad para el cultivo, fue de 168 DDA para la dosis normal y doble.

Para el caso del maíz, girasol y trigo, no se presentaron reducciones de importancia en altura o peso seco en las diferentes fechas de muestreo, ni se observaron efectos residuales de los tratamientos realizados. Esto demuestra que la colza fue la especie más sensible a la aplicación residual de Imazamox en ambas dosis, seguido por trigo, girasol y maíz, que no fueron afectados por las dosis aplicadas del herbicida.

Los valores de residualidad obtenidos para colza son mayores a los encontrados por Da Silva *et al.* (1999), quienes realizaron un experimento con el objetivo de determinar el efecto residual de Imazamox en sorgo y maíz, concluyendo que la persistencia de Imazamox en el suelo con iguales dosis de ingrediente activo a las del presente trabajo (50 y 100 g/ha) fue de 120 días. Por su parte, Yadav y Bhullar (2014) no encontraron efectos residuales de Imazamox aplicado en un cultivo de soja sobre los cultivos de trigo, cebada y canola a las 3 y 4 semanas desde la aplicación del herbicida. En otro trabajo (Vischetti *et al.*, 2002) se estudió la relación entre los cambios en la biomasa microbiana en el suelo y la degradación de Imazamox, determinando un valor de vida media entre 17 y 92 días, el cual dependió de la concentración inicial de herbicida, temperatura, humedad y tipo de suelo. Asimismo, Ball *et al.* (2003) estudiaron la persistencia de Imazamox y su efecto sobre cultivos en rotación bajo secano. En sus resultados señalan la presencia de daños en los cultivos de cebada, trigo y arveja, concluyendo que la ocurrencia de bajas precipitaciones así como el bajo pH del suelo (5,6-6,2) incrementaron la disponibilidad de Imazamox en el suelo. Estos resultados fueron atribuidos por los autores a que el herbicida es menos degradado en situaciones de baja humedad y es más fácilmente desorbido al disminuir el pH, incrementando de esta forma el potencial daño a los cultivos siguientes, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Bresnahan *et al.* (2002) y Aichele y Penner (2005).

Pannacci *et al.* (2006) determinaron que los cultivos de trigo, girasol, maíz y sorgo presentaron baja sensibilidad a los residuos de Imazamox siendo su disponibilidad mayor en suelos arenosos y menor en suelos con altos contenidos de materia orgánica y arcilla.

El suelo en que se realizó el experimento del presente trabajo si bien posee pH relativamente bajo (5,7), también tiene una apreciable cantidad de materia orgánica (4.7%) y arcilla (29.6%) lo que podría haber influido en los resultados obtenidos, registrándose menor residualidad de Imazamox en el suelo respecto de la potencial.

Cobucci *et al.* (1998), obtuvieron un tiempo de disipación medio para Imazamox de 26 días mientras que la sensibilidad de los cultivos en rotación para los residuos de este herbicida fue en orden decreciente: sorgo, maíz y arroz, encontrándose un período de persistencia de 68 a 111 días para maíz, 78 a 139 días para sorgo y 25 a 75 días para arroz. En el presente trabajo el tiempo que debe transcurrir entre la aplicación de Imazamox y la siembra de maíz para lograr valores de altura y peso seco relativo similares al testigo sin tratar fue de 104 días, lo cual concuerda con el valor para maíz determinado por Cobucci *et al.* (1998).

Por su parte, Dipiano y Waimann (2015) evaluaron el efecto de carryover de Imazapir e Imazamox aplicados en postemergencia temprana del cultivo de girasol sobre trigo, avena y cebada en ensayos de campo y laboratorio sin observar diferencias significativas en el rendimiento en grano ni en la producción de biomasa, siendo la cebada la especie más sensible a los residuos de estos herbicidas.

La ausencia de efecto residual de Imazapir + Imazamox fue determinada por Bedmar *et al.* (2015), en girasol tolerante sobre trigo pan, trigo candeal y cebada, sembrados a los 141 y 195 días luego de la aplicación, así como por Süzer y Büyük (2010) en trigo, cebada y maíz.

Otro factor a considerar son las condiciones climáticas. Entre estas, el déficit hídrico afecta negativamente la degradación microbiana (Alister y Kogan, 2004). En colza, las bajas precipitaciones registradas hasta la segunda fecha de muestreo no favorecieron la degradación microbiana y fue necesaria una acumulación de 553 mm para obtener valores similares al testigo a los 168 DDA con residuos provenientes de aplicaciones previas de Imazamox a dosis normales y dobles. Con baja humedad el herbicida quedó disponible en el suelo a concentraciones que causaron toxicidad. La temperatura es otro factor climático que podría haber incidido, dado que influye sobre la persistencia de los herbicidas al acelerar o disminuir la degradación de los residuos en el suelo. Considerando las temperaturas medias acumuladas por encima de los 0°C al momento de cada muestreo, se determinó para la colza que a partir de los 168 DDA se obtuvieron valores de altura relativa similares o superiores al testigo, momento en el cual la temperatura acumulada fue de 100°C. Por su parte, el trigo, el maíz y el girasol no tolerantes no se vieron afectados en ninguna fecha de muestreo, siendo las precipitaciones y temperaturas (por encima de 0°C) acumuladas al momento del primer muestreo (104 DDA) de 423 mm y 85°C respectivamente.

De los resultados se desprende que la colza es un cultivo sensible a residuos de Imazamox en el suelo, necesitando una adecuada acumulación de temperatura y humedad que favorezca la degradación microbiana del herbicida a fin de disminuir su persistencia en el suelo.

Los rendimientos de los cultivos, sembrados a campo en las parcelas tratadas con Imazamox tanto con dosis normal o doble, no difirieron significativamente del testigo sin tratar, no observándose efecto residual del herbicida sobre los cultivos para las fechas de siembra realizadas. Asimismo, no se registraron disminuciones significativas en el número de plantas

y espigas en maíz, número de plantas de girasol y rendimiento de semilla, recibo y total en las dos variedades de papa, resultados que concuerdan con lo observado por Cobucci *et al.* (1998) en maíz, careciéndose de antecedentes con respecto a los restantes cultivos.

Conclusiones

Teniendo en cuenta la altura y el peso seco en el bioensayo, los períodos de residualidad sin hacer distinción entre dosis, siguieron el siguiente orden: colza > trigo = girasol = maíz.

No se determinó efecto de las dosis de Imazamox sobre colza, maíz, girasol y trigo. Luego de la aplicación en diciembre de Imazamox sobre girasol tolerante a Imidazolinonas, la colza requirió un período mínimo de aplicación-siembra de 168 DDA

para la dosis normal y doble, período en el que se acumularon respectivamente 553 mm de lluvias distribuidas durante el mismo o 100°C por encima de 0°C.

El girasol y maíz no Clearfield, así como la papa variedad Kennebec o Innovator sembrados a campo, no fueron afectados por la presencia de residuos de Imazamox en el suelo, aplicado inicialmente tanto en dosis normal como doble.

Bibliografía

1. **AICHELE TM, PENNER D** (2005). Adsorption, desorption, and degradation of Imidazolinones in soil. *Weed Technology*, 19:154-159.
2. **ALISTER C, KOGAN M** (2004). Efficacy of imidazolinone herbicides to imidazolinone-resistant maize and their carryover effect on rotational crops. *Crop protection*, 24: 375-379.
3. **ANDERSON WP** (1996). *Weed science principles and applications*. 3° ed. West Publishing. Minneapolis. 513 pp.
4. **ASHTON FM, MONACO T** (1991). *Weed science. Principles and Practices*. 3° ed. A Wiley-interscience publication. John Wiley & Sons. New York. 466 pp.
5. **BALL D, YENISH J, ALBY T** (2003). Effect of Imazamox soil persistence on dryland rotational crops. *Weed Technology*, 17:161-165.
6. **BEDMAR F, GIANELLI V** (2014). Comportamiento de herbicidas en el suelo. En: FERNÁNDEZ OA, LEGUIZAMÓN ES, ACCIARESI H (Eds.). *Malezas e Invasoras de la Argentina. Tomo I: Ecología y manejo*. 1ª ed. Bahía Blanca, Editorial de la Universidad Nacional del Sur. pp. 361-389.
7. **BEDMAR F, LEADEN MI, GIANELLI V** (2015). Persistencia fitotóxica de Imazapir e Imazapir + Imazamox sobre trigo pan, trigo candeal y cebada en dos fechas de siembra. XXII Congreso Latinoamericano de Malezas y I Congreso Argentino de Malezas ASACIM. Buenos Aires, 9 y 10 de septiembre de 2015.
8. **BRESNAHAN G, DEXTER A, KOSKINEN W, LUESCHEN W** (2002). Influence of soil pH-sorption interactions on the carry-over of fresh and aged soil residues of Imazamox. *Weed Research*, 42:45-51.
9. **CASAFE** (2015). Guía de productos fitosanitarios para la República Argentina. Cámara de sanidad agropecuaria y fertilizantes. 17° ed. 1200 pp.
10. **CHENG H** (1990). *Pesticidas in the Soil Environment: processes, impacts, and modelling*. SSSA. Madison, Wisconsin, USA. 530 pp.
11. **COBUCCI T, PRATES H, FALCAO LM, REZENDE M** (1998). Effect of Imazamox, Fomesafen, and acifluorfen soil residue on rotational crops. *Weed Science*, 46: 258-263.
12. **DA SILVA A, DE OLIVEIRA JR R, COSTA E, FERREIRA L** (1999). Efeito residual no solo dos herbicidas Imazamox e Imazethapyr para as culturas de milho e sorgo. *Planta Daninha*, 17(3): 345-354.
13. **DIPIANO A, WAIMANN E** (2015). Evaluación del efecto carryover de Clearsol y Clearsol plus sobre avena, trigo y cebada. Tesis Carrera de Ingeniería Agronómica Facultad de agronomía Universidad Nacional de La Pampa. 21 pp.
14. **ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGROPECUARIA. BALCARCE. INTA**. Información agrometeorológica. Base de datos diarios de precipitaciones, temperatura máxima, mínima y media. <http://www.intabalcarce.org/>. Acceso:10 de marzo de 2017.
15. **GUSTAFSON, DI** (1989). Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing herbicide leachability. *Environmental Toxicological Chemical*, 8:339-357.
16. **LIU C, XIN Y, YANG L, LUH, ZENG W, GUI G** (2016). Imazamox microbial degradation by common clinical bacteria: *Acinetobacter baumannii* IB5 isolated from black soil in China shows high potency. *Journal of Integrative Agriculture*, 15:1798-1807.
17. **MANGELS, G** (1991). Behaviour of the imidazolinone herbicides in soil a review of the literature. In: SHANER DL, O'CONNOR SL (Eds.). *The Imidazolinone herbicides*. Boca Raton, FL. CRC press. pp.191-209.
18. **PANNACCI E, ONOFRI A, COVARELLI G** (2006). Biological activity, availability and duration of phytotoxicity for imazamox in four different soils of central Italy. *Weed research*, 46(3):243-250.
19. **RANID** (2015). Persistence and leaching behaviour of premix formulation of imazethapyr and imazamox in soil. Thesis of Master of Science in Chemistry. Haryana. 108 pp.
20. **SAKALIENE O, PAPIERNIK S, KOSKINEN W, SPOKAS K** (2007). Sorption and predicted mobility of herbicides in Baltic soils. *Journal of Environmental Science and Health, Part B. Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 42(6):641-7.
21. **SERAFINI MP** (2003). Imazamox (Raptor) NYS DEC Letter- Active Ingredient Registration 3/03. http://pmep.cce.cornell.edu/profiles/herb-growthreg/fatty-alcohol-monuron/imazamox/imazamox_reg_303.html. Acceso: 26 de marzo de 2017.
22. **SHANER DL (Ed.)** (2014). *Herbicide handbook*. 10th ed. Weed Sci. Soc. of Am., Lawrence, KS, USA. 513 pp.
23. **SÜZER S, BÜYÜK H** (2010). Residual effects of spraying imidazolinone-family herbicides on clearfield®* sunflower production from the point of view of crop rotation. *Helia*, 33(52):25-36.
24. **VISCHETTI C, CASUCCI C, PERUCCI P** (2002). Relationship between changes of soil microbial biomass content and Imazamox and Bifluralin degradation. *Biol Fertil Soils*, 35:13-17.
25. **YADAV R, BHULLAR MS** (2014). Residual effects of soybean herbicides on the succeeding winter crops. *Indian Journal of Weed Science*, 46(3): 305-307.