

FITOTOXICIDAD DEL BARBECHO QUÍMICO EN TRIGO Y MAÍZ

CHEMICAL FALLOW PHYTOTOXICITY ON WHEAT AND MAIZE

M. Cristina Arregui*, R. Ricardo Scotta, D. Eusebio Sánchez

Facultad de Ciencias Agrarias (Universidad Nacional del Litoral). RP Kreder 2805. 3080 Esperanza. Argentina. (carregui@fca.unl.edu.ar), (facagra@fca.unl.edu.ar)

RESUMEN

En la siembra directa, sistema de manejo predominante en la pampa húmeda argentina para trigo y maíz, los cultivos se establecen sin remoción del suelo empleando barbecho químico, lo que preserva el contenido de agua del suelo en la implantación. Cuando se emplean mezclas de glifosato con 2, 4-D o metsulfurón metil para controlar las malezas se han observado algunos efectos fitotóxicos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la fitotoxicidad producida por mezclas de glifosato y metsulfurón metil o 2,4-D en trigo y maíz. En 2002 y 2003, ambos cultivos se sembraron en parcelas experimentales que fueron desmalezadas manualmente. El diseño experimental fue parcelas divididas con tres repeticiones, correspondiendo la parcela principal a la fecha de aplicación: 50 y 24 d antes de la siembra para el trigo, y 30 y 15 d para el maíz. La sub-parcela correspondió a las mezclas de glifosato (1.44 kg ha⁻¹ de i.a.) con 2,4-D (250 y 500 g ha⁻¹ de i.a.) en ambos cultivos y con metsulfurón metil (3 y 6 g ha⁻¹ de i.a.) en trigo. Se observó la aparición de síntomas de fitotoxicidad y se analizaron la altura en distintos estados de desarrollo y los rendimientos de grano. En trigo hubo clorosis y disminución de altura ($p \leq 0.05$) con dosis elevadas de 2, 4-D y metsulfurón. Con lluvias abundantes, el metsulfurón en dosis de 6 g ha⁻¹ y el 2, 4-D en dosis de 500 g ha⁻¹ disminuyeron el rendimiento ($p \leq 0.05$). En maíz, ambas dosis de 2, 4-D afectaron la altura ($p \leq 0.05$), particularmente cuando se aplicaron 500 g ha⁻¹ 15 d antes de la siembra, pero el rendimiento sólo fue afectado cuando hubo exceso de lluvia ($p \leq 0.05$). El análisis de los resultados sugieren que el barbecho con metsulfurón metil y 2, 4-D en trigo y en maíz provoca fitotoxicidad al emplear dosis elevadas o hay proximidad entre la aplicación y la siembra con lluvias excesivas.

Palabras clave: Glifosato, metsulfurón metil, 2,4-D, siembra directa.

INTRODUCCIÓN

La siembra directa, que consiste en sembrar sin roturar el suelo, requiere que antes de la implantación se realice barbecho químico con herbicidas para controlar malezas que pueden competir por agua y nutrientes con el cultivo (Reddy *et al.* 1999;

ABSTRACT

In direct seeding – the prevailing management system for wheat and maize in the Argentine humid pampas – crops are set without turning over the soil and by using chemical fallow. This technique allows to preserve the soil water content during plantation. When mixtures of glyphosate with 2, 4-D or metsulfuron methyl have been applied to control weeds, some phytotoxic effects have been observed. The objective of this study was to evaluate the phytotoxicity produced by mixtures of glyphosate and metsulfuron methyl or 2,4-D on wheat and maize. In 2002 and 2003, both crops were sown in manually weeded experimental plots. The experimental design consisted of split plot with three replicates, where the date of application was the main plot: 50 and 24 d before sowing for wheat and 30 and 15 d before that of maize. The sub-plots were the mixtures of glyphosate (1.44 kg ha⁻¹ of i.a.) with 2,4-D (250 and 500 g ha⁻¹ a.i.) for both crops, and metsulfuron methyl (3 and 6 g ha⁻¹ a.i.) for wheat. Phytotoxicity symptoms were detected and height was analyzed at different growth stages as well as grain yields. In wheat there was chlorosis and reduced height ($p \leq 0.05$) with high doses of 2,4-D and metsulfuron. With abundant rainfall, metsulfuron at a dose of 6 g ha⁻¹ and 2,4-D at a 500 g ha⁻¹ dose caused a reduction of yield ($p \leq 0.05$). In maize, both doses of 2,4-D affected height ($p \leq 0.05$), especially when 500 g ha⁻¹ were applied 15 d before sowing, but yield was only affected when rainfall was excessive ($p \leq 0.05$). The analysis of results suggest that fallow with metsulfuron methyl and 2,4-D on wheat and maize causes phytotoxicity when using high rates or if there is proximity between application and sowing under excessive rainfall.

Key words: Glyphosate, metsulfuron methyl, 2,4-D, direct seeding.

INTRODUCTION

Direct seeding consists in sowing without breaking up the soil. Prior to plantation the application of chemical fallow is required by using herbicides to control the growth of weeds that may interfere with the crop's need of water and nutrients (Reddy *et al.* 1999; Lorenzatti *et al.*, 2002). The use of fallow in wheat direct seeding in the central area of Santa Fe, Argentina, is fundamental for the preservation of soil water, since winter rains are on average insufficient to reach worthwhile yields (Villar, 1999).

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Marzo, 2008. Aprobado: Junio, 2009.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 43: 595-601. 2009.

Lorenzatti *et al.*, 2002). La oportunidad del barbecho en siembra directa de trigo es fundamental en el área centro de Santa Fe, Argentina, para conservar el agua del suelo, ya que las lluvias de invierno son, en promedio, deficitarias para lograr rendimientos rentables (Villar, 1999). El maíz es también sensible al déficit hídrico. Para mejorar la disponibilidad de agua se debe aprovechar mejor aquella proveniente de la lluvia, mejorando la infiltración y reduciendo la evaporación, siendo la técnica más indicada la siembra directa (Senigaglia, 2004).

El barbecho químico contribuye a preservar el contenido de agua del suelo en el período de establecimiento del trigo y del maíz. Entre las mezclas usadas están: glifosato con 2,4-D o metsulfurón metil, que han mostrado algunos efectos fitotóxicos en estos cultivos (Papa y Massaro, 2005). En el trigo se recomienda aplicar 2,4-D en pleno macollaje, observándose fitotoxicidad si el tratamiento se realiza en otra etapa fenológica (Sterling y Hall, 1997). El metsulfurón metil es ampliamente usado en cereales para el control de diferentes malezas y se aplica también en la etapa del macollaje (Sterling y Hall, 1997). No hay información disponible del efecto de este herbicida aplicado antes de la emergencia. En maíz se recomienda aplicar 2,4-D para el control de latifoliadas sólo en las etapas vegetativas. La selectividad en este cultivo se debe a la degradación del herbicida en compuestos no fitotóxicos, mecanismo que puede disminuir a bajas temperaturas (Gauvrit y Gaillardon, 1991).

El metsulfurón metil no es muy persistente en el suelo, aunque hasta 48 % del aplicado en un cultivo puede permanecer fuertemente adsorbido por 100 d (Pons y Barriuso, 1998; Ye *et al.*, 2003). El 2,4-D se adsorbe menos (11 % de la dosis aplicada) mineralizándose en alrededor de 60 d (Benoit *et al.*, 1999).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la fitotoxicidad producida al trigo por el barbecho químico realizado con mezclas de glifosato y metsulfurón metil o 2,4-D y, además, la fitotoxicidad en maíz del barbecho realizado con mezclas de glifosato y 2,4-D.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron en un Argiudol típico de la serie Esperanza (Santa Fe, Argentina), caracterizado por un horizonte superficial profundo, bien estructurado, con bajo contenido de materia orgánica (2 %) y alrededor de 30 % de arcilla (INTA, 1991).

En los ensayos de trigo se sembró la variedad Don Enrique, de ciclo corto, porte bajo y erecto, resistente al vuelco con una densidad de 120 kg ha⁻¹ y una distancia entre líneas de 16.5 cm. En 2002, la siembra se realizó el 11 de julio y en 2003, el 3 de julio. Las parcelas experimentales tuvieron 1.7 m de ancho y 5 m de largo. Los tratamientos se detallan en el Cuadro 1.

Maize is also sensitive to water deficit. To improve water availability a better use of rain water should be implemented in order to have a better infiltration and reduce evaporation; hence direct seeding is highly recommended (Senigaglia, 2004).

Chemical fallow contributes to preserve soil water content during the period of wheat and maize emergence. Some of the mixtures used are: glyphosate with 2,4-D or metsulfuron methyl, which have shown to have some phytotoxic effects on these crops (Papa and Massaro, 2005). For wheat, the recommendation is to apply 2,4-D during tillering; phytotoxicity is detected if the treatment is sprayed in another stage (Sterling and Hall, 1997). Metsulfuron methyl is widely used in cereals to control the growth of different weeds, and is also applied at tillering (Sterling and Hall, 1997). There is no available information on the effect of this herbicide applied before emergence. The recommendation for maize is to apply 2,4-D for the control of broadleaved weeds only during the vegetative stages. Selectivity in this crop is due to the degradation of the herbicide into non phytotoxic compounds, a mechanism likely to diminish at low temperatures (Gauvrit and Gaillardon, 1991).

Metsulfuron methyl is not persistent in the soil, though up to 48 % of the one applied to a crop may remain strongly adsorbed for 100 d (Pons and Barriuso, 1998; Ye *et al.*, 2003). The 2,4-D is less adsorbed (11 % of the rate applied), becoming mineralized in about 60 d (Benoit *et al.*, 1999).

The aim of this study was to evaluate phytotoxicity on wheat caused by chemical fallow using mixtures of glyphosate and metsulfuron methyl or 2,4-D as well as phytotoxicity on maize by fallow conducted with mixtures of glyphosate and 2,4-D.

MATERIALS AND METHODS

Trials were conducted in a typical Argiudol of the series Esperanza (Santa Fe, Argentina), characterized by a well structured deep superficial horizon, with a low organic matter content (2 %) and about 30 % of clay (INTA, 1991).

In the wheat trials, the variety Don Enrique was sown; it has a short cycle, small size and erect, resistant to turnover, with a density of 120 kg ha⁻¹ and a 16.5 cm distance between rows. In 2002, sowing was conducted on July 11 and in 2003 on July 3. The experimental plots were 1.7 m wide and 5 m long. Treatments are presented on Table 1.

In maize trials the double hybrid Pioneer 30F16 was sown, at 52 cm distance between rows and 20 cm between plants. Sowing was carried out on September 20 and 16 in 2003 and 2004. The experimental plots were four lines wide (2.08 m) and 5 m long.

Herbicides were applied (200 L ha⁻¹) using a knapsack sprayer with spray bar of 80 cm and four flat fan 8003 nozzles. Treatments are presented in Table 1.

En los ensayos de maíz se sembró el híbrido doble, Pioneer 30F16, a 52 cm de distancia entre líneas y 20 cm entre plantas. La siembra se realizó el 20 y el 16 de setiembre en 2003 y 2004. Las parcelas experimentales tuvieron cuatro surcos de anchura (2.08 m) y 5 m de longitud.

Los herbicidas se aplicaron (200 L ha^{-1}) con una mochila pulverizadora con barra de 80 cm y cuatro pastillas en abanico plano 8003; los tratamientos se detallan en el Cuadro 1.

Las parcelas tratadas y el testigo se desmalezaron manualmente durante todo el ciclo para que la competencia de las malezas emergidas no enmascarara los efectos de los herbicidas.

Los estados fenológicos del trigo y la presencia de síntomas de fitotoxicidad: clorosis, epinastia, retorcimiento de tallos y detención del crecimiento, se registraron semanalmente. En los períodos de macolla y formación de espiga se midió la altura en 15 plantas seleccionadas al azar por parcela. La cosecha se realizó manualmente el 20 y el 15 de noviembre en 2002 y 2003. La altura de las plantas se analizó en estado de cuatro hojas y a la cosecha. El rendimiento de grano se midió a la cosecha.

En el cultivo de maíz se hicieron observaciones semanales para detectar la presencia de síntomas de fitotoxicidad. En los períodos de cuatro hojas y en floración se midió la altura de cinco plantas al azar de los surcos centrales en cada parcela. La cosecha se realizó manualmente el 6 y el 9 de febrero de 2004 y 2005.

El diseño experimental fue parcelas divididas; la parcela principal fue la fecha del barbecho químico previo a la siembra: 50 y 24 d para el trigo y 30 y 15 d para el maíz. La sub-parcela correspondió a las combinaciones de dosis y herbicidas en el trigo y sólo dosis de herbicida en el maíz (Cuadro 1). Cada tratamiento se repitió tres veces. Se realizó el análisis de la varianza de las variables medidas y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los intervalos entre el barbecho químico previo a la siembra se usan habitualmente en estos sistemas y se eligió la dosis recomendada (la

The plots and the control were manually weeded throughout the cycle so that the competition among the weeds emerged would not disguise the effects of herbicides.

The phenological states of wheat and the presence of phytotoxicity symptoms: chlorosis, epinasty, stalk twisting and arrested growth were recorded on a weekly basis. During tillering and spike formation, height was measured in 15 plants randomly selected in each plot. Harvest was carried out manually on November 20 and 15 in 2002 and 2003. Height was measured at the stage of four leaves in each plant and at harvest. Grain yield was registered at harvest.

In maize, weekly observations were carried out to detect phytotoxicity symptoms. At four-leaf and flowering stages height was measured in five plants randomly chosen from the central lines of each plot. Harvest was manually performed on February 6 and 9 of 2004 and 2005.

The experimental design consisted of split plot; the main plot was the date of chemical fallow prior to sowing: 50 and 24 d for wheat and 30 and 15 d for maize. The subplot corresponded to the combinations of doses and herbicides for wheat and only herbicide doses for maize (Table 1). Each treatment was repeated three times. The variance analysis of the variables was carried out and the mean values were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$).

The intervals of chemical fallow prior to sowing are often used in these systems and the recommended dose was chosen (the lowest in this study) and twice as much (due to frequent overlaying in the application)

RESULTS AND DISCUSSION

Wheat fallow

Throughout the two years of the study, chlorosis was observed at tillering in the treatments with

Cuadro 1. Tratamientos de barbecho químico.

Table 1. Table 1. Chemical fallow treatments

Trigo		Maíz	
Intervalo entre barbecho químico y siembra (d)	Herbicida (dosis en g ha^{-1} de i.a.) [†]	Intervalo entre barbecho químico y siembra (d)	Herbicida (dosis en kg ha^{-1} de i.a.) [†]
50	2,4-D (250)	30	2,4-D (0.25) 2,4-D (0.5)
	2,4-D (500)		
	Metsulfurón metil (3)		
24	Metsulfurón metil (6)	15	2,4-D (0.25) 2,4-D (0.5)
	2,4-D (250)		
	2,4-D (500)		
	Metsulfurón metil (3)		
	Metsulfurón metil (6)		
	Testigo desmalezado manualmente		

[†] Todas las parcelas recibieron simultáneamente $1.44 \text{ (kg ha}^{-1} \text{ de i.a.)}$ de glifosato, excepto el testigo ♦ All the plots were simultaneously treated with $1.44 \text{ (kg ha}^{-1} \text{ of i.a.)}$ of glyphosate, except the control.

Se realizó el análisis de la varianza de todas las variables medidas y se compararon las medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). ♦ The variance analysis of all the variables measured was carried out and the mean values were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$).

más baja en este trabajo) y el doble (por la frecuente superposición en la aplicación).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Barbecho de trigo

En los dos años se observó clorosis al momento de la producción de macolla en los tratamientos con metsulfurón metil, en ambas fechas de aplicación. No se observaron interacciones significativas entre los intervalos de barbecho y los herbicidas ($p > 0.05$) en las variables de respuestas, por lo que ambos factores se analizaron separadamente. En 2002 y 2003 no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) de altura al momento de la macolla entre los tratamientos con distinta duración de barbecho (10 y 11 cm, para 24 y 50 d en 2002; 13.4 y 15.1 cm para 24 y 50 d en 2003). En cambio en 2002, en los tratamientos con metsulfurón con 6 g ha⁻¹ de i.a. la altura de las plantas fue la menor, aunque no hubo diferencias entre los tratamientos con 2,4-D y el testigo (Cuadro 2).

En 2003 las plantas tratadas con la dosis más elevada de 2,4-D y de metsulfurón tuvieron una altura al momento de la macolla significativamente ($p \leq 0.05$) menor que las dosis más bajas (Cuadro 2). En ese año, el testigo fue desmalezado 15 d después de la emergencia. Con este tratamiento no se aplicaron herbicidas, y la densidad de malezas fue alta, lo que provocó un retraso de crecimiento de las plantas. Pero no hubo diferencias significativas de altura a la cosecha en ninguno de los tratamientos.

En 2002 los rendimientos de trigo fueron significativamente inferiores a los de 2003 en todos los tratamientos (Cuadro 2), pero no hubo diferencias entre los distintos herbicidas y las dosis aplicadas, así como tampoco entre aplicaciones barbecho químico. El bajo rendimiento en 2002 se debió al estrés hídrico que afectó a las plantas durante el ciclo del cultivo pues las lluvias fueron 30 % inferiores a las precipitaciones promedio

metsulfuron methyl on the two application dates. No significant interactions were observed between the fallow interval and herbicides ($p > 0.05$); therefore both factors were analyzed separately. In 2002 and 2003, there were no significant differences ($p > 0.05$) of height at tillering between the fallow interval treatments (10 and 11 cm, for 24 and 50 d in 2002; 13.4 and 15.1 cm for 24 and 50 d in 2003). In 2002, however, in the treatments with metsulfuron at 6 g ha⁻¹ of a.i. plants were the shortest, though there were no differences between the treatments with 2,4-D and the control (Table 2).

In 2003, the plants treated with the highest doses of 2,4-D and metsulfuron were significantly shorter ($p \leq 0.05$) at tillering than those with the lowest doses (Table 2). That year the control was weeded 15 d after emergence. No herbicides were applied under this treatment and weed density was high, causing a delay in plant growth. There were no significant differences of height at harvest in none of the treatments.

In 2002, wheat yields were substantially lower than those of 2003 in all treatments (Table 2), but there were no differences among the different herbicides and doses applied, neither among application chemical fallow dates. The low yield in 2002 was due to water stress that affected plants during crop cycle, as rains decreased by 30 % compared to the annual average rainfall. In 2003, with the high doses of metsulfuron and 2,4-D, yield was lower than the manually weeded control and similar to that recorded with low doses of both herbicides (Table 2).

Metsulfuron methyl is a selective herbicide for wheat and other small grain cereals because of its rapid decomposition (Brown, 1990). Yet when it is applied at the beginning of tillering it may cause yield losses (Pederson *et al.*, 1994; Crooks *et al.*, 2003). In addition, when it is applied to the soil some crops exhibit a varying sensitivity. On prairies, when the sowing of *Lolium multiplorum* is done immediately after applying metsulfuron, crop emergence is normal though the plants are rather short at tillering, and then they recover height

Cuadro 2. Altura de plantas de trigo y en cuatro macollos y rendimiento en grano.

Table 2. Height of wheat plants in four tillerings stage and grain yield.

Dosis (g i.a. ha ⁻¹)	2002		2003	
	Altura (cm)	Rendimiento	Altura (cm)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
2,4-D (500)	11.1 ab	1843 a	12.3 b	5650 b
2,4-D (250)	10.2 ab	1840 a	16.6 a	6027 ab
Metsulfurón metil (6)	9.4 b	1946 a	12.1 b	5528 b
Metsulfurón metil (3)	12 a	1850 a	16.9 a	5981 ab
Testigo	11.2 ab	1810 a	12.1 b	7212 a

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) ♦ Mean values with different letter in a column are statistically different ($p \leq 0.05$).

anuales. En cambio en 2003, con las dosis altas de metsulfurón y 2,4-D, el rendimiento fue menor al testigo desmalezado manualmente y similar con el alcanzado con las dosis bajas de estos herbicidas (Cuadro 2).

El metsulfurón metil es un herbicida selectivo para el trigo y otros cereales de grano fino por su rápida descomposición (Brown, 1990). Sin embargo, cuando se aplica al inicio de la macolla puede causar pérdidas de rendimiento (Pederson *et al.*, 1994; Crooks *et al.*, 2003). Además, cuando aplicado al suelo hay cultivos que muestran una sensibilidad variable. En praderas, si después de la aplicación de metsulfurón se siembra inmediatamente *Lolium multiflorum*, éste emerge normalmente aunque las plantas tienen menor altura durante la etapa de macolla y luego se recuperan (Holloway *et al.*, 1995). En cambio, *Cynodon* spp sólo puede sembrarse 12 semanas después de la aplicación del metsulfurón metil herbicida. La persistencia en el suelo de este herbicida aumenta al incrementarse el pH del suelo y la dosis (Pons y Barriuso, 1998; Castro *et al.*, 2002). Su vida media puede alcanzar de 2.5 hasta 36 d con pH 3 y 5.7. En el presente ensayo el pH del suelo fue 6.5. Por tanto, considerando la persistencia del herbicida en el suelo, particularmente con la dosis más alta, al ser absorbido por la raíz pudo ocasionar disminución de altura de la planta durante la etapa de macolla sin afectar la altura en la cosecha ni el rendimiento.

El momento adecuado de aplicación de 2,4-D en trigo es el estado de macollaje, ya que si la aplicación se realizan entre 1 y 3 hojas ocasiona disminución del rendimiento (Ivany *et al.*, 1990). En el presente ensayo, sólo se detectó una disminución de altura en la dosis más elevada en 2003.

Barbecho de maíz

En los dos años de ensayo el único síntoma visual observado en el maíz fue un acortamiento y engrosamiento de las raíces adventicias, que no alcanzaban a enterrarse en el suelo.

No se observó interacción intervalo de barbecho x dosis de herbicida ($p > 0.05$) en las variables de respuesta. En 2003 no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) de altura o rendimiento del cultivo vinculadas al intervalo entre el barbecho químico y siembra. En cambio, se observó una disminución de la altura en el estado de cuatro hojas con ambas dosis de 2,4-D (Cuadro 3), aunque al momento de la cosecha sólo eran significativamente más bajas las plantas que habían recibido la mayor dosis de herbicida. Sin embargo, aunque hubo una recuperación de la altura de plantas en las parcelas con 250 g ha⁻¹ de i.a. de 2,4-D, el

(Holloway *et al.*, 1995). However, *Cynodon* spp. can only be sown 12 weeks after the application of the herbicide metsulfuron methyl. Persistence of this herbicide in the soil increases when the soil pH as well as the dose rise (Pons and Barriuso, 1998; Castro *et al.*, 2002). Its mean life may reach from 2.5 up to 36 d with 3 and 5.7 pH. In the present trial the soil pH was 6.5. Therefore, considering the herbicide persistence in the soil, especially with the higher dose, it could be absorbed by the root and reduced plant's height during tillering without affecting neither height harvest nor yield.

Tillering is the stage to apply 2,4-D in wheat, since if the application is done between one and three leaves, it reduces yield (Ivany *et al.*, 1990). In the present trial, a height decline was detected only with the highest dose in 2003.

Maize fallow

During the two years of trials the only visual symptom observed in maize was the shortening and thickening of the adventitious roots that could not bury in the soil.

No interaction was observed in the interval between fallow and herbicide dose ($p > 0.05$). In 2003 there were no significant differences ($p > 0.05$) of crop height or yield linked to the interval between chemical fallow and sowing. Yet a lower height was observed in the four-leaf stage with both doses of 2,4-D (Table 3), though at harvest only the plants treated with the highest dose of herbicide were significantly shorter. But even when the plants regained height in the plots with 250 g ha⁻¹ of a.i. of 2,4-D, yield was lower with both doses than in manually weeded control plots (Table 3).

In 2003, the rainfall registered during crop emergence up to four-leaf stage reached 210 mm, that is, more than 60 % of the regional normal mean and twice as much the precipitation recorded in the following year's trial. This favored crop vegetative growth in 2004 (Tables 3 and 4) but yield was lower. Grasses are tolerant to auxinic herbicides, though they can be

Cuadro 3. Altura de plantas de maíz y rendimiento en 2003.
Table 3. Maize plant height and yield in 2003.

Dosis de 2,4-D, g ha ⁻¹ i.a.	Altura con 4 hojas, cm	Altura a cosecha, m	Rendimiento, kg ha ⁻¹
250 21 b	1.74 a	12431 b	
500 22 b	1.68 b	12579 b	
Testigo	25 a	1.79 a	14600 a

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) ♦ Mean values with a different letter in a column are statistically different ($p \leq 0.05$).

rendimiento fue menor con ambas dosis que en el testigo desmalezado manualmente (Cuadro 3).

En 2003, la lluvia registrada durante el período emergencia y hasta el estado de cuatro hojas del cultivo fue 210 mm, esto es más del 60 % de la media normal regional y el doble de las registradas en el ensayo del año siguiente; esto favoreció el crecimiento vegetativo del cultivo en 2004 (Cuadros 3 y 4), pero el rendimiento fue menor. Las gramíneas son tolerantes a los herbicidas auxínicos aunque pueden ser dañadas si se aplican en momentos de activo crecimiento o de división celular (producción de macollas) provocando síntomas como epinastia, retorcimiento de hojas y aparición de agallas y espigas deformadas en maíz y en trigo (Sterling y Hall, 1997). Con las dosis recomendadas se han observado disminuciones de hasta 6 % de los rendimientos en híbridos de maíz con aplicaciones de 2,4-D (Széll, 1993).

En 2004, la aplicación de 2,4-D, 15 d antes de la siembra disminuyó significativamente la altura de las plantas desde el estado vegetativo hasta la cosecha (Cuadro 4). Sin embargo, este efecto no se reflejó en el rendimiento de grano (Cuadro 4).

En el maíz las bajas temperaturas disminuyen la detoxificación del 2,4-D (Gauvrit y Gaillardon, 1991) cuya acción herbicida provoca inhibición del crecimiento radicular y en mayor medida disminución de la longitud de entrenudos, debido a su acción sobre algunas enzimas y el etileno (Grossmann, 2000). En el presente trabajo, las temperaturas durante la emergencia del maíz fueron entre 10 y 15 °C, favoreciendo la persistencia del 2,4-D. Además, su descomposición es menor cuando hay baja humedad en el suelo (Ok Han y New, 1994). En el período de emergencia sólo hubo precipitaciones de 15 mm de lluvia. Por tanto, pudo haber más disponibilidad de herbicida, cuando fue aplicado poco antes de la siembra.

CONCLUSIONES

En trigo y maíz se observaron síntomas de fitotoxicidad y alteraciones del rendimiento por efecto del 2,4-D y del metsulfurón metil.

En dos años de experimento las plantas de trigo mostraron clorosis y disminución de la altura en las parcelas con las dosis más altas de 2,4-D y metsulfurón (500 y 6 g de i.a.). Además, con esa dosis, el metsulfurón (6 g ha⁻¹) disminuyó el rendimiento. En cambio, el 2,4-D sólo afectó la producción cuando hubo lluvias abundantes que facilitaron el transporte y absorción del herbicida. No se registraron diferencias por la fecha del barbecho con los herbicidas.

En los dos ensayos realizados en maíz, el 2,4-D afectó la altura del cultivo con ambas dosis y de manera

dañada cuando se aplican en etapas de crecimiento activo o durante la división celular (tillering), causando síntomas como epinastia, torsión de hojas, emergencia de espigas deformadas en maíz y trigo (Sterling y Hall, 1997). Al utilizar las dosis recomendadas, hasta un 6 % de disminución de rendimientos se ha observado en híbridos de maíz tras aplicar 2,4-D (Széll, 1993).

En 2004, la adición de 2,4-D 15 d antes de sembrar redujo significativamente la altura de las plantas desde el estado vegetativo hasta la cosecha (Tabla 4). Sin embargo, este efecto no se reflejó en el rendimiento de grano (Tabla 4).

En maíz, las bajas temperaturas reducen la detoxificación del 2,4-D (Gauvrit y Gaillardon, 1991) cuya acción inhibe el crecimiento de la raíz, y en mayor medida, disminuye la longitud de los entrenudos debido a su efecto sobre algunas enzimas y el etileno (Grossmann, 2000). En el presente estudio, las temperaturas durante la emergencia del maíz oscilaron entre 10 y 15 °C, favoreciendo la persistencia del 2,4-D. Además, su descomposición es baja cuando hay poca humedad en el suelo. (Ok Han y New, 1994). Durante el período de emergencia el nivel de precipitación no excedió los 15 mm; por lo tanto, hubo una mayor concentración del herbicida cuando se aplicó un poco antes de sembrar.

CONCLUSIONES

Síntomas de fitotoxicidad se observaron en trigo y maíz, así como alteraciones de rendimiento al aplicar 2,4-D y metsulfurón metil.

En los dos años de experimento, las plantas de trigo mostraron clorosis y poca altura en las parcelas con las dosis más altas de 2,4-D y metsulfurón (500 y 6 g de i.a.). Además, con esa dosis, el metsulfurón (6 g ha⁻¹) disminuyó el rendimiento. Por otro lado, el 2,4-D sólo afectó la producción cuando hubo lluvias abundantes que favorecieron el transporte y absorción. No se registraron diferencias entre las fechas de barbecho.

En los dos ensayos de maíz, el 2,4-D afectó la altura del cultivo con ambas dosis, y de manera más persistente con

Cuadro 4. Altura de la planta y rendimiento de grano de maíz en 2004.

Table 4. Maize plant height and grain yield in 2004.

Intervalo entre barbecho químico y siembra	Altura		Rendimiento kg ha ⁻¹
	4 hojas cm	A la cosecha cm	
15 d	15 b	1.43 b	19072 a
30 d	18 a	1.49 a	16459 a
Testigo	18 a	1.51 a	17015 a

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) ♦ Mean values with a different letter in a column are statistically different ($p \leq 0.05$).

persistente con la más alta aplicada 15 d antes de la siembra, aunque no se observaron otros efectos. El rendimiento sólo fue afectado por el herbicida cuando hubo exceso de lluvia.

El análisis de los resultados sugiere que el barbecho químico en trigo y en maíz con metsulfurón metil y 2,4-D puede provocar fitotoxicidad cuando los herbicidas se emplean en dosis elevadas o hay proximidad entre la aplicación y la siembra, especialmente en condiciones ambientales que favorezcan su disponibilidad para los cultivos.

the highest dose applied 15 d before sowing; no other effects were detected. Yield was affected by the herbicide only when rainfall was excessive.

The analysis of the results suggest that chemical fallow in wheat and maize with metsulfuron methyl and 2,4-D may cause phytotoxicity when herbicides are applied in high doses or herbicide applications are close to sowing, especially under environmental conditions that may favor their availability for crops.

End of the English version—

LITERATURA CITADA

- Benoit P., E. Barriuso, and G. Soulas. 1999. Degradation of 2,4-D, 2,4-dichlorophenol, and 4-chlorophenol in soil after sorption on humidified and nonhumidified organic matter. *J. Environ. Quality* 28: 1127-1135.
- Brown, H.M. 1990. Mode of action, crop selectivity, and soil relations of the sulfonylurea herbicides. *Pesticide Sci.* 29: 263-281.
- Castro M.C., F. Bedmar, M.G. Monterubbianesi, A. Peretti, and C.A. Barassi. 2002. Determination of chlorimuron and metsulfurón residues in two soils of Argentina using a rapid seed-bioassay. *J. Environ. Biol.* 23:353-358.
- Crooks H. L., A. C. York, and D. L. Jordan. 2003. Wheat (*Triticum aestivum*) tolerance and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) control by AE F130060 00 plus AE F115008 00 mixed with other herbicides. *Weed Technol.* 17:881-889.
- Gauvrit C., and P. Gaillardon. 1991. Effect of low temperatures on 2,4-D behaviour in maize plants. *Weed Res.* 31: 135-141.
- Grossmann K. 2000. Mode of action of auxin herbicides: a new ending to a long, drawn out story. *Trends Plant Sci.* 5: 506-508.
- Holloway J. C., A.C. Wayne, and D.R. Shaw. 1995. Effect of soil type and liming rates on rotational forage crop injury following metsulfuron methyl. *Weed Technol.* 9: 286-293.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 1991. Carta de suelos de la República Argentina. Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. 133 p.
- Ivany J.A., H.G. Nass, and J.B. Sanderson. 1990. Effect of time of application of herbicides on yield of three winter wheat cultivars. *Can. J. Plant Sci.* 70: 605-609.
- Ok Han, S., and P.B. New. 1994. Effect of water availability on degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) by soil microorganisms. *Soil Biol. Biochem.* 26: 1689-1697.
- Papa J.C., y R. Massaro. 2005. Herbicida metsulfurón metil en barbechos químicos. Para Mejorar la Producción 28: 59-62.
- Pederson R.N., I.D. Black, C.B. Dyson, and R.J. Hannam. 1994. Effects of the herbicide metsulfuron-methyl on root length, nutrient levels, grain protein, and yield of barley. *Aust. J. Exp. Agric.* 34: 499-504.
- Pons N., and E. Barriuso. 1998. Fate of metsulphuron-methyl in soils in relation to pedo-climatic conditions. *Pesticide Sci.* 53: 311-323.
- Reddy K.N., L.G. Heatherly, and A. Blaine. 1999. Weed management. In: Heatherly L.G., and H.F. Hodges (eds). *Soybean Production in the Midsouth*. Boca Raton, CRC Press. pp: 171-195.
- Senigagliales, C. 2004. Siembra directa y productividad sustentable en los cereales. *IDIA XXI*: 72-75.
- Sterling T.M., and J.C. Hall. 1997. Mechanism of action of natural auxins and the auxinic herbicides. In: Roe R.M., J.D. Burton, and R.J. Kuhr (eds). *Herbicide Activity: Toxicology, Biochemistry and Molecular Biology*. Amsterdam, IOS Press. pp: 111-141.
- Széll, E. 1993. Use of herbicide safeners in seed crop production. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 28: 2-4.
- Ye Q., J. Sun, and J. Wu. 2003. Causes of phytotoxicity of metsulfurón-methyl bound residues in soil. *Environ. Poll.* 126: 417-423.