

Manual del Cultivo del Trigo



Instituto Internacional de Nutrición de Plantas
Programa Latinoamérica Cono Sur
<http://lacs.ipni.net>

Manual del cultivo de trigo / Bernardette Abadia ... [et al.]; compilado por
Guillermo A. Divito; Fernando Oscar García; editado por Guillermo A. Divito; Fernando Oscar García. -
1a ed. compendiada. - Acassuso: International Plant Nutrition Institute, 2017.
224 p.; 28 x 19 cm.

ISBN 978-987-46277-3-5

1. Agricultura. 2. Cultivo Agrícola. 3. Manuales. I. Abadia, Bernardette II. Divito, Guillermo A., comp. III.
García, Fernando Oscar, comp. IV. Divito, Guillermo A., ed. V. García, Fernando Oscar, ed.
CDD 633

Este libro no podrá ser reproducido, ni total ni parcialmente, sin el previo permiso de los editores.

1ra edición Octubre 2017

Impreso en Argentina

ISBN 978-987-46277-3-5



Presentación

La creciente demanda global de alimentos, forrajes, fibras, biocombustibles y biomateriales genera desafíos, oportunidades y amenazas para los sistemas de producción agrícola. Esta demanda requiere de sistemas que provean productos en cantidad y calidad mejorando la vida de las personas y preservando el ambiente. El crecimiento en producción y productividad registrado en los últimos 50 años ha generado costos y externalidades negativas a nivel económico, social y ambiental. Así, el desafío para la humanidad es reducir el impacto de estos costos y externalidades y evitar que los mismos se amplifiquen y/o que se sumen nuevos a los ya existentes.

En este marco, la expansión de la agricultura hacia áreas aún no explotadas a través de la deforestación e incorporación de ecosistemas más frágiles constituye una severa amenaza a la sostenibilidad de los sistemas, por lo que, entre las alternativas propuestas, impulsar el crecimiento de la productividad en las tierras actualmente en uso ha sido considerada prioritaria. En Argentina, se han estimado brechas entre los rendimientos actuales y los alcanzables en secano del orden del 32%, 41% y 41% para soja, maíz y trigo, respectivamente (ver Capítulo 1 de esta publicación).

El cultivo de trigo ha sido una de las principales producciones agrícolas en los países del Cono Sur de Latinoamérica y actualmente incluye aproximadamente 6 millones de ha en Argentina, Bolivia, Chile, Paraguay y Uruguay. Su importancia dentro de la economía de estas naciones, su relevante participación como proveedor de alimento para sus poblaciones y, desde el punto de vista agronómico, su rol en las rotaciones de cultivos anuales, han sido destacados y ampliamente discutidos en numerosas publicaciones.

Este manual trata de cubrir los temas más relevantes de la producción, industrialización y comercialización de trigo, con énfasis en los sistemas de la región triguera argentina. A través de catorce capítulos y una serie de anexos se revisan aspectos relacionados al crecimiento y la fenología; la ecofisiología y la generación de rendimiento; las nuevas variedades; la importancia del manejo del cultivo para calidad; la nutrición y las mejores prácticas de manejo de la fertilización; la identificación y manejo de malezas, enfermedades y plagas más relevantes; el manejo de cultivo en distintas regiones; la cosecha y el almacenamiento de granos; la molienda y la panificación; y el mercado actual.

Como editores queremos dejar expreso nuestro más sincero agradecimiento al trabajo, dedicación y paciencia que han demostrado los autores de los distintos capítulos. Estos destacados científicos y profesionales son referentes insoslayables en las distintas temáticas abordadas y es un honor contar con su contribución en este manual.

Guillermo A. Divito
Fernando O. García

EDITORES

Guillermo A. Divito

Ingeniero Agrónomo, Magister Scientiae y Doctor en Ciencias Agrarias. Actualmente se desempeña como asesor privado y Asistente Técnico de la Regional Necochea de Aapresid. Es especialista en manejo de cultivos agrícolas. Ha dirigido y asesorado tesis de grado y posgrado. Ha publicado trabajos en revistas científicas nacionales e internacionales con referato y de divulgación.

Fernando O. García

Ingeniero Agrónomo, Magister Scientiae y Ph.D. en Agronomía. Actualmente es Director Regional del International Plant Nutrition Institute (IPNI) Programa Cono Sur de Latinoamérica. Es especialista en fertilidad de suelos y nutrición de cultivos. Ha dirigido y asesorado tesis de grado y posgrado. Ha publicado numerosos trabajos en revistas científicas nacionales e internacionales con referato y de divulgación.

AUTORES

Bernadette Abadía

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
abadia.maria@inta.gov.ar

Pablo E. Abbate

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
abbate.pablo@inta.gov.ar

Cristian Álvarez

INTA Gral. Pico, La Pampa, Argentina.
alvarez.cristian@inta.gov.ar

Fernando Aramburu Merlos

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
aramburumerlos.f@inta.gov.ar

Mirian Barraco

INTA Gral. Villegas, Buenos Aires, Argentina.
barraco.miriam@inta.gov.ar

Ricardo Bartosik

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
bartosik.ricardo@inta.gov.ar

Javier Bujan

Kimei Cereales S.A. y Cámara Arbitral Bolsa de Cereales de Buenos Aires
bujan@kimei.com.ar

Leda E. Campaña

Molino Campodónico, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
laboratorio@molinocampodonico.com.ar

Miguel J. Cardoso

Molino Campodónico, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
laboratorio@molinocampodonico.com.ar

Leandro Cardoso

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
cardoso.marcelo@inta.gov.ar

Dora Carmona

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
carmona.dora@inta.gov.ar

Marcelo Carmona

Facultad de Agronomía - UBA, Buenos Aires, Argentina
carmonam@agro.uba.ar

Pablo Calviño

Asesor y director técnico. Tandil, Buenos Aires, Argentina.
calvinopabloa@gmail.com

Adrián A. Correndo

Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI), Latinoamérica-Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

acorrendo@ipni.net

Diego de la Torre

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

delatorre.diego@inta.gob.ar

Guillermo A. Divito

Asesor Privado. AAPRESID, Asistente Técnico Regional Necochea. Buenos Aires, Argentina.

guillermodivito@yahoo.com.ar

Oswaldo Ernst

EEMAC, Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Paysandú, Uruguay.

oernst@fagro.edu.uy

Ariel Jesús Faberi

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

faberi.ariel@inta.gob.ar

Jorge A. Frascina

EEA INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina.

frascina.jorge@inta.gob.ar

Fernando O. García

Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI), Latinoamérica-Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

fgarcia@ipni.net

Lisardo González

Buck Semillas. La Dulce, Buenos Aires, Argentina.

lgonzalez@bucksemillas.com.ar

Esteban Hoffman

EEMAC, Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica. Paysandú, Uruguay.

tato@fagro.edu.uy

María I. Leaden

Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

mileaden@hotmail.com

Gisele Maciel

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

maciel.gisel@inta.gob.ar

Pablo Manetti

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

manetti.pablo@inta.gob.ar

Juan Pablo Monzon

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

monzon.juanpablo@inta.gob.ar

Carla Salvio

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

salvio.carla@inta.gob.ar

Francisco Sautua

Facultad de Agronomía - UBA, Buenos Aires, Argentina

sautuaensayo@gmail.com

Santiago Néstor Tourn

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

tourn.santiago@inta.gob.ar

María Celia Tulli

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

tulli.maria@inta.gob.ar

Índice	Pág.
1. El trigo, su difusión, importancia como alimento y consumo _____	7
Pablo E. Abbate, Miguel J. Cardos y Leda E. Campaña	
Brechas de rendimiento de trigo en Argentina _____	20
Fernando Aramburu Merlos y Juan Pablo Monzon	
2. Como crece y se desarrolla el cultivo de trigo _____	22
Pablo E. Abbate y Guillermo A. Divito	
3. Ecofisiología y manejo del cultivo de trigo _____	33
Pablo E. Abbate	
4. Cambios recientes y venideros en las variedades de mayor difusión en Argentina ____	53
Lisardo González	
5. ¿Por qué es importante la calidad del trigo? _____	57
Jorge A. Fraschina	
6. La nutrición del cultivo de trigo _____	67
Guillermo A. Divito, Adrián A. Correndo y Fernando O. García	
7. Identificación y manejo de malezas _____	85
María I. Leaden	
8. Criterios para el manejo integrado de las enfermedades _____	93
Marcelo Carmona y Francisco Sautua	
9. Caracterización y manejo de plagas animales _____	109
Dora Carmona, Pablo Manetti, María C. Tulli, Carla Salvio y Ariel J. Faberi	
10. Manejo del cultivo de trigo en distintas regiones _____	123
10.a Región Pampeana Central	
Jorge A. Fraschina	
10.b Región Sudeste de Buenos Aires	
Pablo Calviño y Guillermo A. Divito	
10.c Noroeste de Buenos Aires y Este de La Pampa	
Cristian Álvarez y Mirian Barraco	
10.d Uruguay	
Esteban Hoffman y Oswaldo Ernst	
11. Eficiencia en la cosecha de trigo _____	143
Santiago N. Tourn	
12. Almacenamiento y acondicionamiento de trigo _____	152
Ricardo Bartosik, Bernadette Abadía, Leandro Cardoso, Diego de la Torre y Gisele Maciel	
13. Calidad, molienda y panificación de trigos _____	172
Miguel J. Cardos, Leda E. Campaña y Pablo E. Abbate	
14. ¿Y tranqueras afuera? Consideraciones para la comercialización _____	194
Javier Bujan	
Anexos _____	198

Capítulo VII: Identificación y manejo de malezas

Leaden, María Inés

Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina

El manejo de las malezas puede ser abordado desde dos ópticas, la que se podría llamar “reduccionista” o de “tecnología de insumos” -que implica el uso de cultivares de trigo competitivos y de alto potencial de rendimiento, herbicidas de alta eficacia, etc.-; o mediante la aplicación de “tecnología de procesos”, que involucra el conocimiento de las relaciones competitivas entre malezas y cultivos. En programas de manejo sustentables es deseable contemplar la complementariedad de ambos abordajes. Las malezas ejercen competencia sobre el cultivo, la cual puede definirse como el proceso por el cual las plantas comparten recursos provistos en cantidades insuficientes para satisfacer sus requerimientos conjuntos, lo que causa una reducción en su supervivencia, crecimiento o su habilidad reproductiva. El efecto más relevante es la pérdida de rendimiento en grano (Catullo et al., 1983; Leaden, 1995; Scursoni y Satorre, 2005), siendo éste mayor en la medida que aumenta la densidad de las malezas y el tiempo de convivencia con el cultivo. Se destaca que la competencia con el cultivo es mayor si se trata de especies de similares características, como lo son la avena negra y el raigrás.

1. Malezas de mayor importancia

Relevamientos de malezas realizados por Catullo y colaboradores en 1982 (Catullo et al., 1983) en partidos del sudoeste y sudeste de Buenos Aires, indicaron que *Polygonum convolvulus* (enredadera anual) fue la especie más frecuente en lotes de trigo (64%), siguiéndole en orden de importancia *Polygonum aviculare* (sanguinaria) (58%), *Lolium multiflorum* (raigrás anual) (53%), *Rapistrum rugosum* (mostacilla) (49%), *Avena fatua* (avena negra, cebadilla) (42%) y *Chenopodium album* (quinoa) (37%). Otras especies como *Ammi majus* (apio cimarron), *Senecio madagascariensis* (senecio), *Cynara cardunculus* (cardo de Castilla), *Stipa brachychaeta* (paja vizcachera), *Matricaria chamomilla* (manzanilla), *Anthemis cotula* (manzanilla cimarrona), *Cirsium vulgare* (cardo negro), etc, fueron encontradas en frecuencias menores. Asimismo, en los lotes provenientes de girasol, sus plántulas se constituían como malezas de trigo. En el **Anexo VII** se presentan fotos de las malezas mas frecuentes en el cultivo de trigo.

En las últimas décadas, los cambios a nivel de sistema de producción –sistema de labranza, reducción de rotaciones, intensificación agrícola, etc.- han provocado algunos cambios en la flora acompañante de los cultivos.

Scursoni et al. (2014) proporcionan una aproximación de los cambios observados en los últimos años en la zona sur de la provincia de Buenos Aires. En 2004 se identificaron 54 especies en el sudeste bonaerense. *Stellaria media* (capiqui), *Ammi majus* (apio cimarron), *Polygonum aviculare* (sanguinaria) y *Raphanus sativus* (nabón) fueron las malezas que presentaron la mayor constancia, es decir las veces que aparece una determinada especie en el total de lotes revelados (**Tabla 1**). Dentro de las gramíneas, la constancia de *Avena fatua* (avena negra, cebadilla) fue de 65% en 2005, mientras que *Lolium multiflorum* (raigrás anual) tuvo una constancia del 40%. En la actualidad, en el sudeste se observa mayor diversidad de especies y las gramíneas malezas del cultivo de trigo tienen constancias similares en ambas zonas de producción.

Uno de los cambios notables, es la constancia de *Avena fatua* y *Lolium multiflorum* que se observa actualmente en el sudeste, dado que lotes con problemas de estas dos gramíneas eran muy escasos en década del 80 del siglo pasado.

Tabla 1. Constancia de malezas en cereales de invierno en el sudeste y sudoeste de la provincia de Buenos Aires (adaptado de Scursoni et al., 2014).

Especie	Constancia (proporción de aparición en los lotes relevados, %)	
	Sudeste	Sudoeste
<i>Polygonum aviculare</i> (cien nudos, sanguinaria)	85	31
<i>Stellaria media</i> (capiquí)	77	31.7
<i>Polygonum convolvulus</i> (enredadera anual)	54	22
<i>Ammi majus</i> (apio cimarrón)	52	14
<i>Veronica spp</i> (verónica)	42	-
<i>Chenopodium album</i> (quinoa)	41	7
Brasicaceas (nabo, mostacilla)	40	-
<i>Helianthus annuus</i> (girasol guacho)	36	11
<i>Viola arvensis</i> (viola, pensamiento silvestre)	36	10
<i>Raphanus sativus</i> (nabón)	32	4
<i>Sonchus oleraceus</i> (cerraaja, sonchus)	31	3
<i>Carduus acanthoides</i> (falso cardo negro)	24	9
<i>Coronopus didymus</i> (mastuerzo)	23	-
<i>Apium leptophyllum</i> (apio)	22	0.6
<i>Senecio madagascariensis</i> (senecio)	18	-
<i>Lamium amplexicaule</i> (lamio, perejilillo)	17	7
<i>Brassica oleracea</i> (nabo)	16	8.5
<i>Cirsium vulgare</i> (cardo negro)	10	5
<i>Centaurea solstitialis</i> (abrepuño amarillo)	12	26
<i>Silene gallica</i> (calabacilla)	12	1
<i>Chamomilla recutita</i> (manzanilla)	12	-
<i>Anagallis arvensis</i> (anagalis)	11	4
<i>Fumaria parviflora</i> (fumaria)	10	-
<i>Polygonum spp.</i> (mocos de pavo)	10	--
<i>Rapistrum rugosum</i> (mostacilla)	9	16
<i>Diploaxis tenuifolia</i> (flor amarilla)	4	26
<i>Chondrilla juncea</i> (yuyo esqueleto)	1	23
<i>Fumaria officinalis</i> (fumaria, flor de pajarito)	1	11
<i>Lithospermum arvense</i> (yuyo moro)	-	12
<i>Oxalis spp</i> (oxalis)	-	10
<i>Avena fatua</i> (avena negra, cebadilla)	56	63
<i>Lolium multiflorum</i> (raigras anual)	38	39

2. Herbicidas para el control de malezas en trigo

El control de malezas en trigo está basado en la utilización de herbicidas que se aplican en la posemergencia del cultivo y malezas. En el **Anexo** se dispone del listado de herbicidas para trigo registrados en SENASA.

Las especies latifoliadas o de hoja ancha se controlan, en general, con herbicidas de tipo hormonal (2,4-D, MCPA, dicamba, picloram, clopiralid, fluroxipir, etc.) y sulfonilureas (metsulfuron, prosulfuron, triasulfuron). En general, se realizan mezclas de los fenóxidos (2,4-D, MCPA) ó mezclas de hormonales y sulfonilureas, para aumentar el espectro de control de dichas especies.

Las mezclas de herbicidas hormonales, en desuso durante algún tiempo, están utilizándose nuevamente en aquellos lotes donde pueda haber riesgo de fitotoxicidad por acumulación de sulfonilureas o imidazolinonas. A partir de fines de la década del '80, la introducción de las sulfonilureas permitió realizar el control más temprano en el ciclo del cultivo y el control de algunas especies en forma más eficiente, tal el caso de *Stellaria media*.

La sulfonilurea más utilizada en la posemergencia del trigo es metsulfuron. En su desarrollo pre-comercial se utilizaban dosis de entre 8-10 g ha⁻¹, pero a esas dosis era insuficiente el control de *Chenopodium album* y de *Polygonum convolvulus*. La mezcla con dicamba permitió bajar la dosis a 7 g ha⁻¹ y asegurar el control de esas especies. También se desarrolló la mezcla con picloram, pero ésta debía manejarse con precaución por la posible fitotoxicidad al trigo cuando la aplicación se realizaba luego de que el cultivo tenga más de 3-4 hojas desarrolladas.

El control de *Avena fatua* y *Lolium multiflorum* se realiza con graminicidas específicos que afectan a ambas especies -diclofop, clodinafop, tralkoxidim, pinoxaden- y de fenoxaprop que controla sólo *Avena fatua*. En los últimos años algunas empresas proponen alternativas con acción sobre algunas latifoliadas y las gramíneas, tal el caso de las mezclas de piroxsulam/metsulfuron; metsulfuron/iodosulfuron/mesosulfuron; metsulfuron/clorsulfuron y metsulfuron/flucarbazone.

3. Fitotoxicidad por herbicidas

La fitotoxicidad producida por herbicidas en trigo obedecería a dos causas principales:

1. residuos de herbicidas en el suelo por la aplicación en el cultivo antecesor o en el barbecho previo
2. momento y dosis de aplicación inadecuados durante el crecimiento del cultivo

3.1. Residuos fitotóxicos

La residualidad de herbicidas aplicados previamente a la implantación del cultivo es un problema de importancia actual debido al aumento de la concentración de herbicidas en el suelo, consecuencia del incremento en el uso de los mismos. El efecto fitotóxico de estos herbicidas, con diferentes características en términos de su persistencia, utilizados en cultivos y en los barbechos químicos se ha investigado profusamente en el país. Existe interrelación entre las características del suelo y las de los herbicidas que determinan la duración de su actividad fitotóxica (Zanini et al., 2009; Bedmar et al., 2011; Gianelli et al., 2012). La residualidad o *carryover* determina el período de tiempo en que podrían aparecer efectos fitotóxicos residuales sobre los cultivos subsecuentes en la rotación. Dichos períodos de residualidad varían en función del herbicida, los suelos, las condiciones climáticas post-aplicación y la sensibilidad de la especie considerada. Por ejemplo, para las imidazolinonas, la principal fuente de degradación es la microbiana, por lo que bajas temperaturas y precipitaciones, conjuntamente con pH de suelo menor a 6, alto contenido de materia orgánica y arcillas incrementan su persistencia fitotóxica. Asimismo, las sulfonilureas se degradan por hidrólisis química y microbiana, por tanto

condiciones de baja temperatura y humedad y suelos alcalinos ($\text{pH} > 7$) incrementan su persistencia (Bedmar y Gianelli, 2014). Istilart (2005) trabajando en la residualidad de imidazolinonas durante 3 años, observó efectos fitotóxicos que disminuyeron significativamente los rendimientos de trigo pan, trigo candeal y avena cuando las precipitaciones postaplicación de imazapir e imazapir+imazapic no superaron los 194 mm.

La aplicación en secuencia de herbicidas inhibidores de la acetolactato sintetasa (ALS) en una rotación soja/cultivos invernales produce la acumulación de residuos herbicidas en el suelo aumentando los daños fitotóxicos en cebada y trigo.

En Balcarce, trabajando en un suelo argiudol típico y en un año con precipitaciones por debajo de lo normal, se determinó que al aumentar la cantidad de herbicidas inhibidores de la ALS aplicados en la rotación, se produjo un mayor daño sobre los cultivos invernales. Los efectos negativos en trigo y cebada se observaron en secuencias que incluyeron herbicidas de moderada-larga persistencia en el suelo (diclosulam e imazetapir, por ejemplo) y que fueron aplicados en presiembra o postemergencia de soja. La residualidad de las secuencias herbicidas causó reducciones de la biomasa y del rendimiento en los cultivos invernales, siendo el cultivo de cebada más afectado que el trigo (N. H. Panaggio, com. personal).

La falta de residualidad del glifosato ha determinado la necesidad de realizar mezclas con otros herbicidas cuando se aplica en barbecho. Una mezcla común incluye al 2,4-D, cuyos residuos en el suelo pueden manifestar efectos fitotóxicos sobre el cultivo de trigo. La principal vía de degradación de este tipo de herbicida es la microbiana, por lo que bajas temperatura y humedad en el suelo y alto contenido de materia orgánica, posibilitan una mayor persistencia. De este modo, en casos donde la aplicación se ha realizado cerca de la siembra de los cultivos se ha observado que las plantas emergieron normalmente y que los síntomas de toxicidad se manifestaron a partir de la quinta o sexta hoja (**Figura 1**). Las malformaciones consisten en la aparición de hojas vulgarmente conocidas como “cebolla” que dificultan la emergencia de las que siguen en la filotaxis. La proporción de plantas deformes no superó el 5% cuando la aplicación se realizó 20 días previos a la siembra, mientras que, cuando se aplicó el 2,4-D entre 0 y 3 días antes de la misma, alcanzó valores del 20% (Leaden y Lozano, 2013).

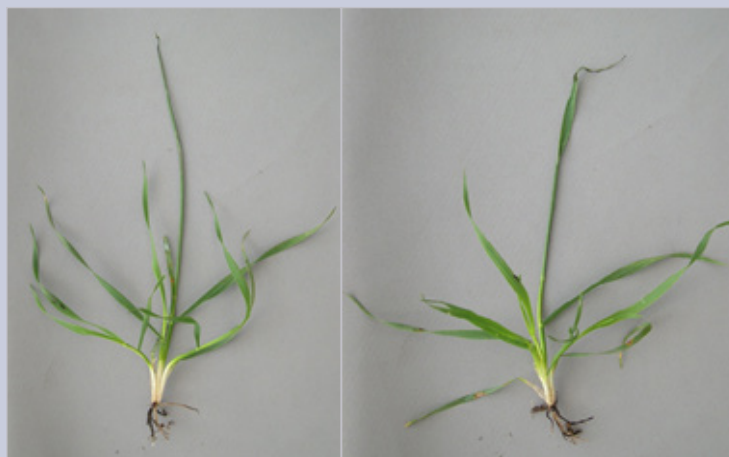


Figura 1. Plantas de trigo con la quinta hoja deforme (hoja cebolla) por residuos de 2,4-D en el suelo.

3.2. Fitotoxicidad por aplicaciones posemergentes

Para malezas latifoliadas, las mezclas de tanque de 2,4-D o MCPA con dicamba o picloram constituyeron los tratamientos de control más ampliamente utilizados en trigo, hasta que las sulfonilureas (metsulfuron, prosulfuron, triasulfuron) fueron introducidas al mercado de herbicidas argentino, a fines de la década de 1980. La introducción de estos herbicidas en el país, permitió realizar un control más temprano de las malezas durante la posemergencia del cultivo.

La tolerancia de diferentes cultivares de trigo a herbicidas posmergentes ha sido estudiada por distintos autores. Las diferencias entre ellos están relacionadas, generalmente, al estado de crecimiento en el momento de la aplicación. Sin embargo, la fitotoxicidad ocurre por varios factores interrelacionados tales como condiciones ambientales predisponentes, dosis de aplicación, tipo de herbicida y las características intrínsecas de cada cultivar (Brasesco y Temporelli, 1983; Orr et al., 1996; Leaden y Lozano, 1986, 2001; Crooks et al., 2004; Leaden y Lozano, 2005; Leaden et al., 2007).

Metsulfuron con dicamba es el tratamiento de control de latifoliadas más utilizado en las regiones trigueras de Argentina. Para aplicaciones de dicha mezcla, se han observado síntomas de clorosis y disminución de rendimiento en cultivares susceptibles en situaciones donde ocurrieron heladas pocas horas antes o después de la aplicación (Leaden, 2002).

En algunos de los cultivares actuales, tales como BioINTA 1000 y SY300 se manifiesta una gran susceptibilidad a la mezcla de 2,4-D con picloram, que ocasiona disminución de altura de plantas y de rendimiento, aún en los estadios considerados adecuados para este tipo de herbicidas (Leaden et al., 2012; Leaden et al., 2015).

Dicamba y picloram aplicados en estados avanzados de la elongación del tallo (2-3 nudos detectables) reducen la altura de las plantas del trigo, dificultan la emergencia de la espiga y reducen el número de granos espiga⁻¹, debido a que la aplicación en ese estadio coincide con la esporogénesis (Leaden y Lozano 1986; Martin et al. 1989; Orr et al. 1996, Rinnella et al., 2001). Herbicidas con un espectro similar de control, tales como aminopirialid, clopiralid y fluroxipir no han presentado ese efecto fitotóxico en el trigo. Aminopirialid en mezclas con metsulfuron ó 2,4-D fue tolerado por el cv Baguette 10 en los estadios de Z22 y Z23, aunque en Z32 el rendimiento disminuyó en uno de los años del experimento. Ese mismo año la mezcla de 2,4-D con picloram tuvo rendimientos significativamente más bajos en los tres estadios de crecimiento evaluados (Leaden et al., 2007).

Los herbicidas fenóxicos (2,4-D; MCPA) pueden afectar el ápice de crecimiento del trigo cuando son aplicados en estado vegetativo o en el inicio de formación de la espiga (desde la emergencia hasta estadio de doble arruga, ver **Capítulo 2**). En dicho estado y dependiendo del momento de aplicación, pueden causar malformaciones en hojas y espigas y, a veces, reducir el número de espigas por planta, afectando negativamente el rendimiento en grano (García Torres, 1981; Leaden y Lozano, 1986; Martin et al., 1989). Las deformaciones pueden ser observadas en el primordio de la espiga, cuando ésta ya se encuentra en el estadio de espiguilla terminal diferenciada. Los cultivares varían en su susceptibilidad a dichos herbicidas (**Figura 2**).



Figura 2. Ápice testigo (izq.) y ápice deformado (der.) en los cultivares Chajá y Baguette 10.

4. Trigos CL

La tecnología CL se basa en la presencia de genes que otorgan tolerancia a herbicidas del grupo de las imidazolinonas. En el cultivo de trigo, la tolerancia genética está dada por una mutación inducida con agentes químicos, ethylmethane sulfonate (EMS) y diethyl sulfate (DES). Se produce, entonces una enzima acetolactato sintetasa (ALS) alterada que impide que la imidazolinona se ligue a ella. Por mejoramiento genético se cruza e introducen los genes en las líneas de trigo para otorgarle la resistencia a imazamox (Tan et al., 2005; Jiménez et al., 2016). Los cultivares de trigo con la tecnología CL son Buck 55 CL, Baguette 560 CL y Klein Titanio CL. Klein Titanio CL es el único cultivar CL presente en la Red de Ensayos Territoriales en la actualidad.

5. Problemáticas actuales: tolerancia y resistencia a herbicidas

Cuando se aplica un herbicida, a la dosis registrada de uso, a una población de malezas puede ocurrir que:

- las plantas mueran, por lo tanto esa especie es susceptible a la acción del herbicida
- las plantas sobrevivan, por lo tanto los individuos de esa población son tolerantes
- poblaciones de plantas que antes eran susceptibles a las dosis de uso ahora no lo son, e incluso sobreviven a dosis mucho más elevadas que las recomendadas (hasta 20 ó 40 veces).

En este último caso, por presión de selección de un biotipo genéticamente diferente al comportamiento a ese herbicida, esa población se manifiesta resistente. A su vez, un mismo biotipo puede presentar resistencia a más de un herbicida que comparte el modo de acción, lo que constituiría un caso de resistencia cruzada. También, un mismo biotipo puede presentar resistencia a herbicidas de modo de acción diferentes conformando un caso de resistencia múltiple.

La *Weed Science Society of America* definió la resistencia a herbicidas como la habilidad hereditaria que adquieren algunos biotipos dentro de una población para sobrevivir (y reproducirse) a una determinada dosis de un herbicida a la cual la población original era susceptible. Esto implica asumir que cualquier población de malezas puede contener biotipos resistentes en baja frecuencia y que el uso repetido de un mismo herbicida expone la población a una presión de selección que conduce a un aumento en el número de individuos resistentes (Gressel y Segel, 1978). La generación de resistencia depende de varios factores, como la especificidad del herbicida, la diversidad de los genes de resistencia involucrados, y de factores de manejo como la dosis y la frecuencia de uso, que van a afectar, principalmente, la presión de selección ejercida (Cerdeira y Duke, 2006).

Desde 1996 hasta 2015 se han reportado biotipos de 15 especies de malezas resistente a herbicidas en Argentina (SENASA, 2016). Seis de esas especies, constituyen malezas del cultivo de trigo.

En Argentina, se han reportado biotipos de *Hirschfeldia incana* resistente a metsulfuron (Vigna y Mendoza, 2015), biotipos de *Avena fatua* con resistencia cruzada a clodinafop-propargyl, diclofop methyl y fenoxaprop-P-ethyl (Vigna et al., 2011), biotipos de *Brassica rapa* con resistencia múltiple a glifosato y tres grupos químicos de herbicidas inhibidores de la ALS (Pandolfo et al. 2015), biotipos de *Lolium multiflorum* con resistencia múltiple a glifosato y dos grupos químicos de herbicidas inhibidores de la ALS y ACCasa (Vigna et al., 2008; Diez de Ulzurrun y Leaden, 2012), biotipos de *Lolium perenne* resistente a glifosato (Yannicari et al., 2012) y biotipos de *Raphanus sativus* con resistencia cruzada a imazetapir y metsulfuron (Pandolfo et al., 2013).

Bibliografía

- Bedmar, F., P. Daniel, J.L. Costa y D. Gimenez. 2011. Sorption of Acetochlor, S-Metolachlor and Atrazine in surface and subsurface soil horizons of Argentina. *Environmental Toxicology and Chemistry* 30(9):1990-1996.
- Bedmar F. y V. Gianelli. 2014. Comportamiento de los herbicidas en el suelo. pp 361-389. En: "Malezas e invasoras de la Argentina: ecología y manejo". Tomo I. O. A. Fernández; E. Leguizamón; H. A. Acciaresi (eds). Editorial de la Universidad Nacional del Sur (Ediuns). Bahía Blanca. ISBN 978-987-1907-70-0
- Brascesco, J.A.I. y D.E. Temporelli. 1983. Posibles efectos fitotóxicos de herbicidas sobre nuevos cultivares de trigo del INTA. *Actas de la IX Reunión Argentina sobre la maleza y su control*, Tomo 2:131-169.
- Catullo J.C., O.E. Valetti, M.L. Rodríguez y C.A. Sosa. 1983. Relevamiento de malezas en cultivos comerciales de trigo y girasol en el centro sur bonaerense. in *Actas de la IX Reunión Argentina sobre la Maleza y su control*, Santa Fe, Argentina: 204-235.
- Cerdeira, A.L. y S.O. Duke. 2006. The current status and environmental impacts of glyphosate-resistant crops: a review. *J. Environ. Qual.*, v. 35, n. 5, p. 1633-1658.
- Crooks, H. L., A. C. York, and D. L. Jordan. 2004. Wheat tolerance to AE F130060 00 plus AE F115008 00 affected by time of application and rate of the safener AE F107982. *Weed Technol.* 18:841-845. Diez De Ulzurrun, P.; Leaden, M.I.. 2012. Análisis de la sensibilidad de biotipos de *Lolium multiflorum* a herbicidas inhibidores de la enzima ALS, ACCasa y Glifosato. *Planta daninha* vol.30 no.3 Viçosa July/Sept. 2012. Print version ISSN 0100-8358-
- García Torres, L. 1981. Wheat apical development relative to external characteristic and response to phenoxyacetic acid herbicides. Ph.D. thesis. Fargo, ND: North Dakota University. 67 p.
- Gianelli, V.R. 2012. Persistencia y adsorción de Imazapir en suelos de Argentina. Tesis Magister Scientiae, FCA, Universidad Nacional de Mar del Plata. 85 páginas
- Gressel, J.; Segel, L.A. 1978. The paucity of genetic adaptive resistance of plants to herbicides: possible biological reasons and implications. *J. Theor. Biol.*, v. 75, n.3, p. 349-371.
- Istilar C. M. 2005. Imidazolinone residuality on wheat, barley and oats in the south zone of Buenos Aires *Actas 7th International Wheat Conference*, Mar del Plata, 27 Nov. al 2 Dic, pág. 192.
- Jimenez F, A. M. Rojano-Delgado, P. T. Fernández, C. Rodríguez-Suárez, S. G. Atienzac & R. De Prado. 2016. Physiological, biochemical and molecular characterization of an induced mutation conferring imidazolinone resistance in wheat. *Physiologia Plantarum* 158: 2-10.
- Leaden, M.I. 1995. Fecha de siembra y balance de competencia entre trigo (*Triticum aestivum*) y nabón (*Raphanus sativus*). Interacciones con la densidad del cultivo y la maleza y la disponibilidad inicial de nitrógeno. Tesis de Magister Scientiae. Fac. de Cs. Agrarias, UNMDP. E.E.A. INTA - Balcarce, 78 págs.
- Leaden, M.I. 2002. Herbicidas para malezas de hoja ancha en trigo. *Acta de la 19ª Jornada de Actualización Profesional en Trigo*, Mar del Plata, 3 de mayo: 45-48.
- Leaden, M.I.; Eloyza, S.; Sánchez, M.C.; Martínez Dalmas, M.; Benzo, V.; Mozo, J.; Hansen, M.; Fotía, N.; Kressi, L.; Iglesias, J.M.; Hernández, M.; Peñalva, J.; Panighetti, E. (ex aequo). 2012. Efecto de 2,4-D + picloram en tres estadios de crecimiento de trigo. *CD de las XIV Jornadas Fitosanitarias Argentinas; Potrero de los Funes (San Luis) 3, 4 y 5 de octubre*, 9 págs. ISBN 978-987-1834-07-5.
- Leaden, M. I. & C. M. Lozano. 1986. Efecto de herbicidas hormonales aplicados en diferentes estados de crecimiento del trigo. *Primer Congreso Nacional de Trigo*, Tomo 4:66-76.
- Leaden M.I. y C. M. Lozano. 2005. Wheat (*Triticum aestivum*) cultivars tolerance to postemergence herbicides at two growth stages. *Actas del 7 th International Wheat Conference*, Mar del Plata, 27 Nov. al 2 Dic, pág. 197.
- Leaden, M.I. y C. M. Lozano. 2013. Efecto sobre el trigo de la residualidad de 2,4-D sal amina aplicado en el barbecho previo. *XXI Congreso Latinoamericano de Malezas y XXXIV Congreso de la ASOMECEMA*, México, 13 al 15 de noviembre de 2013. Pág 145.
- Leaden M.I., I. Pavic, T. Zubeldía, T. Lozano, M. Abramchik, L. Corda, D. Fubel, M. Ramón, N. Scaramuzza, L. Casali, A. Urrutia, M. Zubiri, J. Orellano, D. Hernández. 2015. Control de Polygonáceas en trigo y fitotoxicidad hacia el cultivo. *Actas del XXII Congreso Latinoamericano de Malezas y I Congreso Argentino de Malezas (ASACIM)*, Bs As,

- Argentina, 9 y 10 de setiembre, pág. 157; <http://www.asacim.com.ar/congreso/pdf/337-340>.
- Leaden, M.I.; C.M. Lozano; M.G. Monterubbianesi & E. Abello. 2007. Spring Wheat Tolerance to DE-750 Applications at Different Growth Stages. *Weed Technology*, 21: 406-410.
- Martin, D. A., S. D. Miller, and H. P. Alley. 1989. Winter wheat (*Triticum aestivum*) response to herbicides applied at three growth stages. *Weed Technol.* 3:90–94.
- Orr, J. P., M. Canevari, L. Jackson, R. Wennig, R. Carner, and G. Nishimoto. 1996. Postemergence herbicides and application time affect wheat yields. *Calif. Agric.* 50:32–36
- Pandolfo, C. E.; Presotto, A.; Poverene, M.; Cantamuto, M. 2013. Limited occurrence of resistant radish (*Raphanus sativus*) to AHAS-inhibiting herbicides in Argentina. *Planta Daninha* 31: 657-666.-
- Pandolfo, C., Presotto, A., Cantamutto, M. 2015. Detección de resistencia transgénica a glifosato en poblaciones naturales de *Brassica napus* L. y *B. rapa* L. XXII Congreso Latinoamericano de Malezas, I Congreso Argentino de Malezas. Buenos Aires –
- Rinella, M. J., J. J. Kells, and R. W. Ward. 2001. Response of 'Wakefield' Winter wheat (*Triticum aestivum*) to dicamba. *Weed Technol.* 15:523–529.
- Scursoni J. & E. H. Satorre. 2005. Barley (*Hordeum vulgare*) and Wild Oat (*Avena fatua*) Competition Is Affected by Crop and Weed Density. *Weed Technology* 19(4):790-795.
- Scursoni J., R. Gigón, A. Martín, M. Vigna, E. Leguizamón, C. Istilart, R. López. 2014. Changes in Weed Communities of Spring Wheat Crops of Buenos Aires Province of Argentina. *Weed Science* 62:51–62.
- SENASA (<http://www.senasa.gov.ar/casos-confirmados-de-malezas-resistentes-en-argentina>) revisado 30 de enero de 2017.
- Tan S., R. R. Evans, M L. Dahmer, B. K. Singh & D. L. Shaner. 2005. Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. *Pest Manag Sci* 61:246-257.
- Vigna, M. R.; López, R. L.; Gigón, R. y Mendoza, J. 2008. Estudios de curvas Dosis/respuesta de poblaciones de *Lolium multiflorum* a glifosato en el SO de Buenos Aires, Argentina. XVIII Congreso Latinoamericano de Malezas. 4-8 de mayo. Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. 50-53.
- Vigna, M.R., Gigón, R., López, R.L. 2011. Presencia de poblaciones de *Avena fatua* L. resistente a herbicidas en Argentina. XX Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM). Viña del Mar – Chile, 4 - 9 Diciembre de 2011. S/p-
- Vigna, M.R.; Mendoza, J. 2015. Presencia de poblaciones de *Hirschfeldia incana* (L.) resistentes a metsulfuron-metil en el SO de Buenos Aires, Argentina. XXII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM). I Congreso de la Asociación Argentina de Ciencia de las Malezas (ASACIM). Buenos Aires - Argentina, 9 - 10 Septiembre 2015.
- Yannicari, M., C. Istilart, D. Giménez, A. M. Castro. 2012. Glyphosate resistance in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) from Argentina. *Crop Protection* 32:12-16.
- Zanini, G.P., Maneiro, C., Waiman, C., Galantini, J.A., Rosell, R.A. 2009. Adsorption of metsulfuron-methyl on soils under no-till system in semiarid Pampean Region, Argentina. *Geoderma* 149 (2009) 110–115.