

Efecto de herbicidas graminicidas inhibidores de ACCasa en mezcla con herbicidas hormonales en el control de sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*)

Trabajo final presentado para optar al título de Especialista en Manejo de Suelos y Cultivos en Siembra Directa

Enrique Osso

Ingeniero Agrónomo - Universidad de Buenos Aires - 2012

Lugar de trabajo: Sumitomo Chemical Argentina



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires

TUTOR/ES

Tutor

Julio Alejandro Scursoni

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

JURADO DE TRABAJO FINAL

Tutor

Julio Alejandro Scursoni

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

Jurado

Diego Omar Ferraro

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

Jurado

Marcos Yannicari

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de La Plata)

Doctor en Ciencias Exactas (Universidad Nacional de La Plata)

Fecha de defensa

24/09/2021

AGRADECIMIENTOS

A Julio Scursoni por toda la ayuda brindada en el proceso de esta tesis.

A Luciana Martinez Luque, quien me incentivo para poder terminar este trabajo, gracias por su apoyo incondicional.

RESUMEN

La adopción de los cultivos genéticamente modificados, particularmente soja resistente a glifosato, coevolucionó con la difusión y adopción de la siembra directa y generó un masivo uso del herbicida glifosato. El control simple y eficaz de malezas, en detrimento del desarrollo de estrategias de manejo, favoreció la selección de poblaciones resistentes y especies tolerantes al glifosato. El sorgo de Alepo fue la primera maleza registrada con resistencia a glifosato en Argentina y recientemente se identificó un biotipo resistente a graminicidas. El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficacia de control de sorgo de Alepo y la fitotoxicidad en el cultivo de soja, con mezcla de herbicidas graminicidas selectivos y herbicidas hormonales, aplicados en preemergencia del cultivo. El experimento se realizó en una parcela con 65% de cobertura de sorgo de Alepo. El diseño fue en franjas, correspondiendo cada franja a un tratamiento. Los tratamientos fueron glifosato (T1), Haloxifop (T2), Cletodim (T3), mezclas de estos graminicidas con glifosato (T4 y T5), mezclas de graminicidas con herbicidas hormonales y glifosato (T6 al T11) y un testigo (T12). Todos los herbicidas se aplicaron de acuerdo con las recomendaciones de uso del marbete. Se evaluó el porcentaje de control y fitotoxicidad respecto al testigo, a los 9, 30 y 50 días de la aplicación, utilizando escala visual. El porcentaje de control de T1 a los 9 y 30 DDA fue el menor, indicando que se trataba de un biotipo resistente. Los tratamientos con cletodim T3 y T5, tuvieron el mayor control. La performance de cletodim no fue afectada por la mezcla con glifosato, mientras que la mezcla con haloxifop mejoró respecto a este aplicado solo a los 9 DDA. Los tratamientos con haloxifop (T6, T7 y T8) mostraron menor performance en mezcla con herbicidas hormonales en comparación a las mezclas con cletodim. A los 50 DDA todas las parcelas presentaron rebrotes de rizomas, indicando que si bien hay controles eficaces a los 30 DDA,

no fueron suficientes para poder reducir el impacto de la maleza. La fitotoxicidad, solamente se observó en los tratamientos que incluían herbicidas hormonales, principalmente a los 9 DDA. En conclusión, para un correcto control de la maleza, es necesario un adecuado manejo, considerando modelos predictivos de momento óptimo de control, herbicidas con diferente modo de acción, rotaciones, espaciamiento entre hileras, elección de cultivares y prácticas culturales.

INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
INDICE DE CONTENIDOS	6
INDICE DE FIGURAS.....	7
INDICE DE TABLAS	8
INTRODUCCION	9
Justificación:	15
Objetivo Generales:	15
Objetivos específicos:	15
Hipótesis:	16
MATERIALES Y METODOS	17
Ubicación:	17
Caracterización de sitio:.....	17
Diseño experimental:	18
Siembra y aplicación de los tratamientos:.....	19
Metodología de evaluación	20
Análisis estadístico:	21
RESULTADOS Y DISCUSION	22
CONCLUSIONES	30

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución de la superficie en siembra directa en Argentina desde la campaña agrícola 1988/1989 a campaña 2018/2019.	10
Figura 2: Biotipos resistentes a herbicidas según modo de acción durante 1995-2020.	11
Figura 3: Ubicación del ensayo Monte Cristo	17
Figura 4: Precipitaciones campaña 2019-2020, donde mm=milímetros;	18
Figura 5: Sorgo de Alepo al momento de la aplicación	20
Figura 6: Equipo de aplicación	20
Figura 7: Glifosato 9 DDA	24
Figura 13: Dim + Glifo + 2,4 D amina 30 DDA.....	25
Figura 12: Dim + Glifo 30 DDA.....	25
Figura 11: Fop + Glifo + 2,4 D amina 30 DDA.....	25
Figura 10: Fop + Glifo 30 DDA	25
Figura 14: Evolución de vástagos aéreos y biomasa de rizomas en función de la época del año.	27
Figura 17: MCPA 30 DDA	29
Figura 16: 2,4D amina 30 DDA.....	29
Figura 15: 2,4D ester 30 DDA.....	29

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especies tolerantes a glifosato documentadas en Argentina. (REM, 2016)	13
Tabla 2: Descripción de los tratamientos. Dónde: cc=centímetros cúbicos; ha=hectáreas; eq.ac=equivalente ácido	19
Tabla 3: Escala propuesta por EWRC para control de malezas y fitotoxicidad con su interpretación agronómica.....	21
Tabla 4: Control de Sorgo de Alepo (%) de glifosato, graminicidas, hormonales y sus mezclas a 9 DDA.	23
Tabla 5: Control de Sorgo de Alepo (%) de glifosato, graminicidas, hormonales y sus mezclas a 30 DDA.	25
Tabla 6: Fitotoxicidad del cultivo de soja	28

INTRODUCCION

Los comienzos del sistema de siembra directa en Argentina se remontan a fines de los años 80. La difusión y adopción de la misma obedeció a factores agronómicos tales como reducir las pérdidas de agua por evaporación, aumentar la eficacia de fertilizantes favorecidos por la retención de agua del sistema, así como también por factores empresariales como el aumento de la capacidad operativa y de la escala de producción (Satorre, 2005). En 1996, momento en el cual se aprueba el uso de soja con resistencia al principio activo glifosato en Argentina, resolución 350/99 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos y con la siembra directa en el inicio de su difusión (Figura 1), los productores adoptan rápidamente los cultivos genéticamente modificados. Esto se debe a que, en el sistema de siembra directa, al no realizar labranzas, no se controlan las malezas mecánicamente por lo que su control debía realizarse exclusivamente con uso de herbicidas. A partir de este avance biotecnológico, donde la soja adquiere resistencia al principio activo glifosato, se logra controlar las malezas en el sistema de siembra directa creciendo año tras año la adopción de esta tecnología (Satorre, 2005; Trigo *et al.*, 2006; Tuesca, 2010). Consecuentemente, alrededor del 90 % de la agricultura Argentina, se desarrolla actualmente bajo siembra directa, creciendo de forma exponencial desde la inclusión de la misma, como puede evidenciarse en la figura 1 (AAPRESID, 2019).

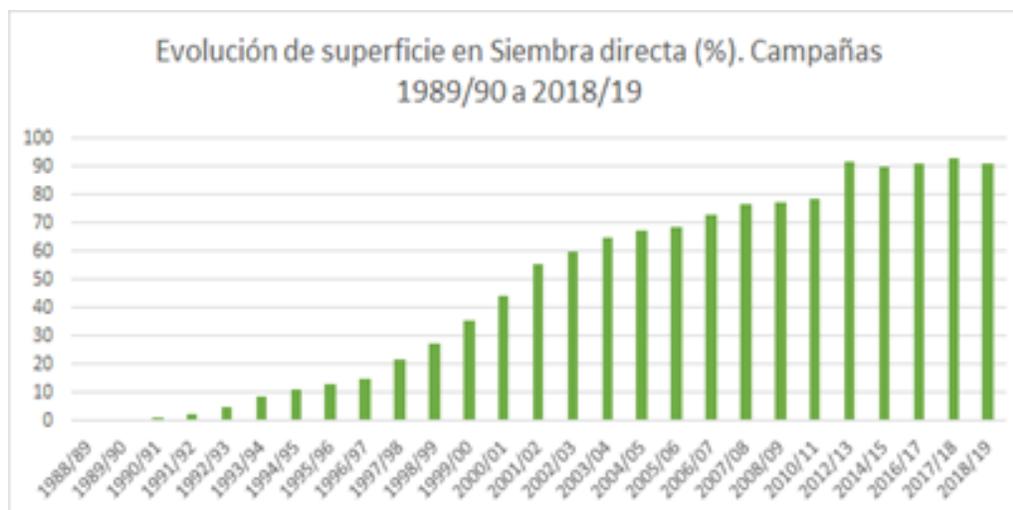


Figura 1: Evolución de la superficie en siembra directa en Argentina desde la campaña agrícola 1988/1989 a campaña 2018/2019. (AAPRESID, 2019)

La combinación de disponer de soja genéticamente modificada con resistencia al herbicida glifosato, la siembra directa y el glifosato a un precio accesible para los productores argentinos, generó que se impulsara un crecimiento exponencial de los tres factores a partir de 1996 (Satorre, 2005). Este tipo de manejo en el cultivo de soja, llevó a que la manera predominante para solucionar la problemática de malezas fuera el control químico utilizando glifosato. Las causas de esta práctica fueron la alta eficacia del glifosato, la simplicidad en el uso de la tecnología y los bajos costos que representaba. La elección de prácticas de control de malezas, en detrimento del desarrollo de estrategias de manejo, fue favoreciendo la selección de poblaciones resistentes y especies tolerantes al glifosato, debido a la escasa o nula rotación de cultivos, ausencia de métodos de control cultural o mecánico, escasa utilización de otras prácticas tales como reducción de distancia entre surcos, variedades más competitivas y mínima rotación de herbicidas con distinto sitio de acción. Además, debe considerarse la fuerte estrategia comercial que también contribuyó a la masiva adopción de este paquete tecnológico (Lafranconi *et al.*, 2012; Papa y Tuesca, 2013).

La alta presión de selección ejercida sobre las malezas generó un importante aumento en el número de poblaciones integradas por individuos resistentes a glifosato. Es importante aclarar la diferencia entre tolerancia y resistencia; por lo que tolerancia es la capacidad que tiene los individuos de una especie a sobrevivir y reproducirse a la dosis de un herbicida debido a características morfológicas y fisiológicas propias de la especie en tanto la resistencia surge de un proceso de selección y se define como la capacidad heredable de un individuo para sobrevivir y reproducirse, luego de ser expuesta a una dosis normalmente letal para el biotipo silvestre (WSSA, 1998, Papa *et al.*, 2004; Tuesca, 2010).

En Argentina, se documentaron los primeros casos de resistencia a glifosato en 2005 y 2006 en biotipos de sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*) (De la Vega *et al.*, 2006; Vila Aiub *et al.*, 2007), y a partir del año 2007, en el sudoeste de la Provincia de Buenos Aires poblaciones de raigrás (*Lolium multiflorum* y *L. perenne*) resistentes a glifosato (Vigna *et al.*, 2008; Yannicari *et al.*, 2009). El número de casos de malezas con resistencia a herbicidas fue incrementando, y actualmente en Argentina se han registrado 39 biotipos resistentes de 21 especies distintas, siendo estas mayormente anuales (Figura 2). Del total de malezas registradas con resistencia a herbicidas, 18 son resistentes a glifosato, 10 a inhibidores de ALS y cuatro malezas a cada modo de acción de herbicidas inhibidores de ACCasa y hormonales. Asimismo, se han identificado 13 casos de resistencia múltiple (REM, 2020).

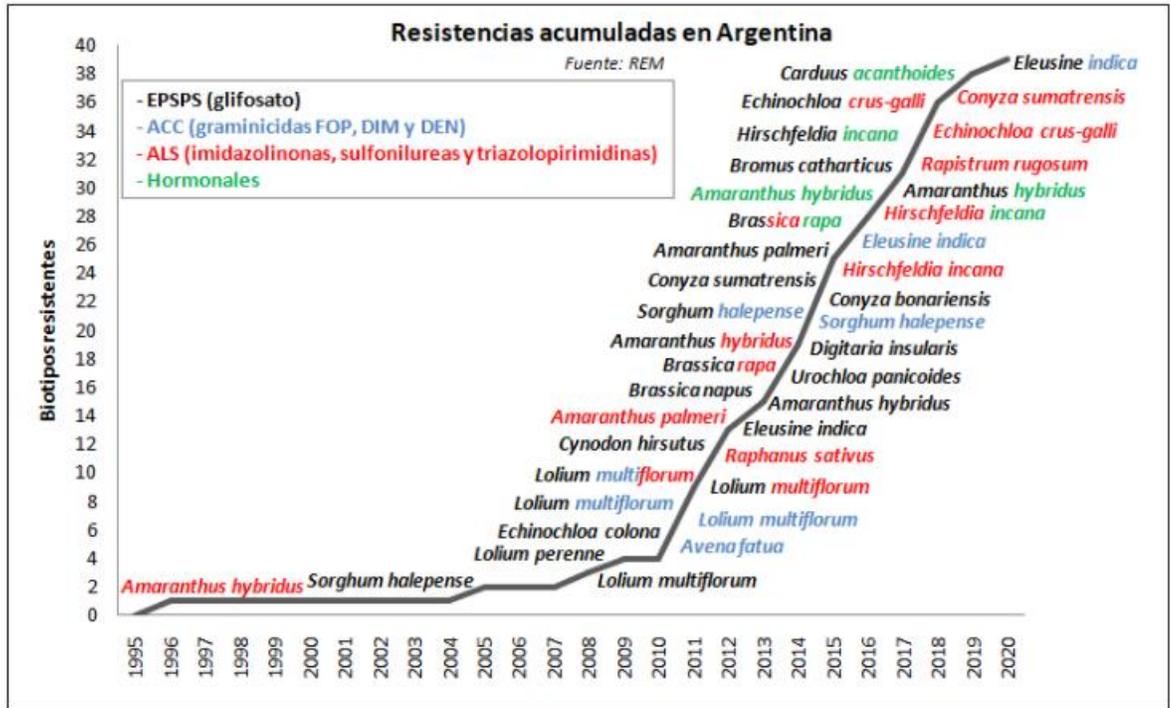


Figura 2: Biotipos resistentes a herbicidas según modo de acción durante 1995-2020. (REM, 2020)

Para el caso de las especies tolerantes, entre otras, se destacan las mencionadas en la (Tabla 1, REM, 2016). Interesantemente, la mayoría de estas son perennes de ciclo primavero-estival.

Tabla 1: Especies tolerantes a glifosato documentadas en Argentina. (REM, 2016)

Nombre científico	Nombre Vulgar	Ciclo	Estación de crecimiento	Clase	Presencia	Momento de aparición
<i>Borreria sp.</i>	Botoncito blanco	P	PE	D	N/C	CE y B
<i>Commelina erecta</i>	Flor de Sta. Lucía	P	PE	D	N/C/S	CE y B
<i>Chloris y Trichloris sp.</i>	Gramma	P	PE	M	N/C	CE y B
<i>Chloris virgata</i>	Gramma	A	PE	M	N/C	CE y B
<i>Gomphrena pulchella</i>	Siempre viva	A	PE	D	N/C	CE y B
<i>Gomphrena perennis</i>	Siempre viva	P	PE	D	N/C	CE y B
<i>Papophorum sp.</i>	Papoforum	P	PE	M	N/C/S	CE y B
<i>Sphaeralcea bonariensis</i>	Malva	P	PE	D	N	CE y B
8		25%A 75%P	100% PE 0% OIP	28% M 62% D	100% N 88% C 25% S	0% CI 100% CE 100% B
<p>A: Anual; P: Perenne; PE: Primavera-estival; OIP: Otoño-invierno-primaveral; M: Monocotiledonea; D: Dicotiledonea; N: Norte; C: Centro; S: Sur; CI: Cultivo invernal; CE: Cultivo estival; B: Barbecho</p>						

El sorgo de Alepo es una maleza perteneciente a la familia de las Poáceas, su ciclo es perenne (McWhorter, 1989), con brotación y emergencia primavera estival, desarrollándose vegetativamente durante la primavera -verano con una floración estival extendiéndose hasta el otoño y siendo su propagación mediante estructuras vegetativas (rizomas) y por medio de semillas. Sin embargo, durante el periodo de temperaturas frías y heladas, las partes aéreas de sorgo de Alepo no son capaces de sobrevivir (Mitidieri, 1984). Fue la primera maleza en presentar resistencia a glifosato en Argentina, identificándose por primera vez en la región del NOA durante la campaña agrícola 2004-2005 (De la Vega *et al.*, 2006, Vila Aiub *et al.* 2007). Además, posteriormente se registró resistencia a glifosato y herbicidas gramínicidas en otras regiones, tal como el caso del sur de Santa Fe (Tuesca *et al.*, 2008) y otras regiones del país como en las provincias de Salta, Tucumán, Chaco, Santiago del Estero, Santa Fe,

Córdoba, San Luis, La Pampa, Entre Ríos y Buenos Aires (REM, 2020). Asimismo, recientemente se identificó un biotipo resistente a graminicidas (haloxifop y cletodim) y glifosato (Scursoni *et al.* datos no publicados). Teniendo en cuenta que se pueden alcanzar elevadas pérdidas de rendimiento en los cultivos de maíz, girasol y soja con altas infestaciones de sorgo de Alepo (Ghersa *et al.*, 1985,1993; Ghersa y Martínez-Ghersa, 1991) resulta de vital importancia el manejo de esta maleza en lotes donde se encuentre presente.

La problemática de malezas resistentes y tolerantes fue aumentando, como así también la necesidad de realizar mezclas de diferentes herbicidas debido a la presencia de malezas con distintos tipos de resistencia (Papa, 2009). Actualmente las principales malezas en cuanto a la extensión del área con presencia son *Amaranthus sp.* y *Conyza sp.* No obstante, también son muy frecuentes distintas malezas gramíneas (AAPRESID, 2020) por lo que es muy común encontrarnos en lotes agrícolas con la necesidad de mezclar herbicidas hormonales para el control de dicotiledóneas, con herbicidas graminicidas selectivos para el control de gramíneas anuales o perennes tal como sorgo de Alepo.

Dada la necesidad de manejar las mezclas de herbicidas es necesario conocer la compatibilidad de los herbicidas a utilizar conjuntamente. Factores que pueden favorecer la incompatibilidad pueden ser el bajo volumen de agua (mayor concentración), aguas duras (afectan el emulsionante), baja temperatura (menor capacidad solvente del agua y lenta velocidad de reacción química), rápido vertido del plaguicida (poco tiempo para disolverse), pobre agitación (poco retorno o mal ubicado), y finalmente un incorrecto orden de mezclado (Leiva y Picapietra, 2013). Además de la problemática de compatibilidad, cada vez más los productores realizan aplicaciones en preemergencia sin respetar los periodos de carencia para

la siembra de cultivos sensibles, y de esta manera a la problemática de compatibilidad se le suma la de fitotoxicidad, la cual es cada vez más frecuente en los cultivos.

Justificación:

Se dispone de trabajos en los que se evaluaron mezclas de herbicidas hormonales como 2,4 D con graminicidas selectivos (Agüero *et al.*, 1991; López y Vigna, 1998; Druetta *et.al.*, 2016;). Sin embargo, no se han realizado estudios orientados a evaluar el impacto de la aplicación de glifosato, haloxifop y cletodim separadamente, comparado con dichos herbicidas aplicados en mezclas entre sí y con herbicidas hormonales como 2,4 D éster, 2,4D amina y MCPA, aplicados en preemergencia, tanto en el control de sorgo de Alepo como en la generación de fitotoxicidad en el cultivo de soja.

Objetivo Generales:

Evaluar (i) la eficacia de control de sorgo de Alepo y (ii) la fitotoxicidad en el cultivo de soja, con mezcla de herbicidas graminicidas selectivos y herbicidas hormonales, aplicados en preemergencia del cultivo.

Objetivos específicos:

1. Identificar la alternativa más eficaz para el control de sorgo de Alepo.
2. Evaluar la eficacia de mezclas de graminicidas con herbicidas hormonales para el control de sorgo de Alepo.
3. Evaluar el nivel de selectividad de los herbicidas hormonales en mezclas con los graminicidas y glifosato, aplicados en preemergencia del cultivo de soja.

Hipótesis:

La mezcla de herbicidas hormonales con graminicidas y con glifosato reduce la eficacia de control de sorgo de Alepo.

La aplicación de herbicidas graminicidas selectivos en mezcla con herbicidas hormonales, aplicados en preemergencia del cultivo, genera efectos fitotóxicos en el cultivo de soja.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación:

El presente trabajo final se realizó durante la campaña agrícola 2019-2020 en un campo ubicado en la localidad de Monte Cristo (Figura 3) que se encuentran en el Departamento Río Primero, al noreste de la Provincia de Córdoba sobre la ruta provincial 88.

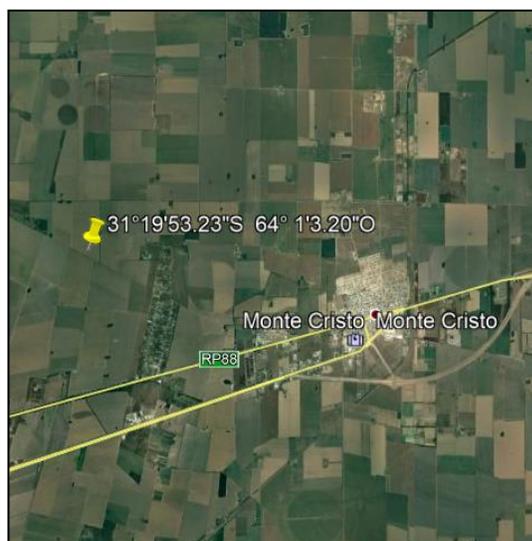


Figura 3: Ubicación del ensayo Monte Cristo

Caracterización de sitio:

El sitio presenta un suelo con un horizonte superficial oscuro, con moderado contenido de materia orgánica (1,8 %) y bien estructurado (epipedón mólico), el horizonte sub-superficial que le sigue es algo enriquecido en arcilla iluvial (horizonte cámbico), decrecimiento regular de la materia orgánica en profundidad. La secuencia de horizontes es A, Bw, Bc, Ck; siendo un Haplustol típico.

Este tipo de suelo es profundo, bien a algo excesivamente drenado, encontrándose vinculados a suaves ondulaciones. Son desarrollados en condiciones climáticas de semiaridez (régimen ústico) y los materiales que los originaron son sedimentos eólicos de granulometría

franco arenoso. En general se trata de suelos agrícolas con limitaciones climáticas de moderada a severa. Los suelos franco-arenosos donde se realizó el experimento, tienen problemas de baja retención de humedad, lo cual acentúa el estrés hídrico. Con un régimen de precipitaciones del tipo monzónico (Figura 4).

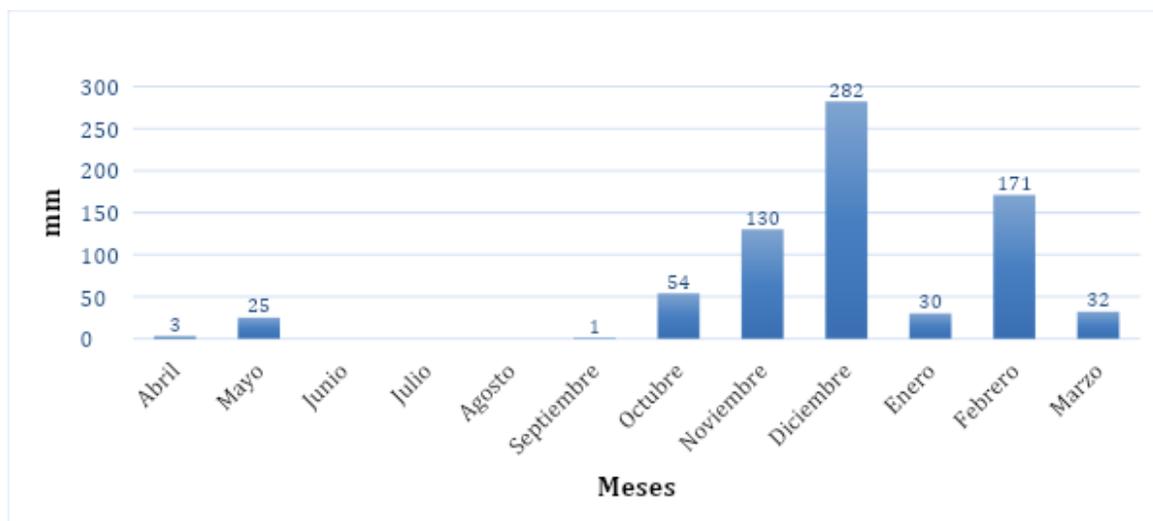


Figura 4: Precipitaciones campaña 2019-2020, donde mm=milímetros; Fuente: Datos del establecimiento

Diseño experimental:

El experimento se llevó a cabo en una parcela que mostraba relieve y cobertura uniforme, con 65% de cobertura de sorgo de Alepo. Se aplicó un diseño en franjas, correspondiendo cada franja a la aplicación de cada tratamiento. Cada franja fue de 30 metros de largo por 4 metros de ancho. Los tratamientos aplicados fueron glifosato solo (T1), Haloxifop solo (T2), Cletodim solo (T3), mezclas de estos graminicidas con glifosato (T4 y T5) y mezclas de graminicidas con herbicidas hormonales y glifosato (T6 al T11) y un tratamiento de testigo absoluto (T12) (Tabla 2). Las unidades muestrales fueron parcelas de 1,5 m² cuadrados establecidos aleatoriamente antes de la aplicación de los tratamientos y

manteniendo siempre las mismas parcelas en las sucesivas evaluaciones. Se tomaron datos en tres unidades muestrales por cada tratamiento.

Tabla 2: Descripción de los tratamientos, donde: cc=centímetros cúbicos; ha=hectáreas; eq.ac=equivalente ácido

Tratamiento	Producto	Dosis (cc formulado/ha)
T1	Glifosato 54 % eq.ac	2000
T2	Haloxifop 54% eq. Ac	180
T3	Cletodim 36% eq.ac	660
T4	Haloxifop+Glifosato	180+2000
T5	Cletodim+Glifosato	660+2000
T6	Haloxifop+ 2,4 d ester 64,3% eq.ac+Glifosato	180+870+2000
T7	Haloxifop+ 2,4 d amina 70% eq.ac+Glifosato	180+800+2000
T8	Haloxifop+ MCPA 25,2% eq.ac+Glifosato	180+1500+2000
T9	Cletodim+ 2,4 d ester 64,3% eq.ac+Glifosato	660+870+2000
T10	Cletodim+ 2,4 d amina 70% eq.ac+Glifosato	660+800+2000
T11	Cletodim+ MCPA 25,2% eq.ac+Glifosato	660+1500+2000
T12	Testigo	-

Todos los tratamientos se aplicaron con aceite metilado de soja a razón de 1 % v/v.

Siembra y aplicación de los tratamientos:

La siembra se realizó el día 25 de noviembre de 2019 y dos días después se aplicaron los tratamientos en post emergencia de la maleza y sin todavía haber emergido el cultivo de soja. La semilla de soja sembrada fue la variedad Nidera 5258 grupo de madurez 5.

El estado de crecimiento del sorgo de Alepo cuando se aplicaron los tratamientos era de vástagos surgidos de rizomas con 60 cm de altura y matas de 25 cm de diámetro en promedio (Figura 5). Los productos se aplicaron con un equipo de aplicación de pick-up a una presión constante de 2,5 bares mediante una bomba de diafragma a 12 voltios, usando

pastillas TeeJet abanico plano 110-015 a 50 cm de separación con una velocidad de 5,3 km/h arrojando un volumen de caldo de 110 litros/ha (Figura 6).



Figura 5: Sorgo de Alepo al momento de la aplicación



Figura 6: Equipo de aplicación

Metodología de evaluación

Para identificar los tratamientos de mayor eficacia en el control de sorgo de Alepo se realizaron evaluaciones de porcentaje de control, respecto al testigo sin aplicación de herbicidas, a los 9, 30 y 50 días posteriores a la aplicación, utilizando una escala visual de 0-100 % de acuerdo con la European Weed Research Council (EWRC) descrita por Frans (1972) (Tabla 3).

Para poder registrar el grado de fitotoxicidad de los herbicidas hormonales aplicados en preemergencia del cultivo de soja, se realizaron evaluaciones a los 9 y 30 días posteriores a la aplicación, determinando el porcentaje de fitotoxicidad utilizando también la metodología descrita por la European Weed Research Council (EWRC) descrita por Frans (1972) (Tabla 3).

Tabla 3: Escala propuesta por EWRC para control de malezas y fitotoxicidad con su interpretación agronómica.

Control		Fitotoxicidad	
Interpretación	%	%	Interpretación
Excelente	99-100	0-1	Sin efecto
Muy bueno	96,5-99	1-3,5	Síntomas muy ligeros
Bueno	93-96,5	3,5-7	Síntomas ligeros
Aceptable	87,5-93	7-12,5	Síntomas que no se reflejan
Límite de aceptabilidad para su utilización			
Medio	80-87	12,5-20	Daño medio
Regular	70-80	20-30	Daño elevado
Pobre	50-70	30-50	Daño muy elevado
Muy Pobre	1 -50	50-99	Daño severo
Sin Efecto	0-1	99-100	Muerte completa

La escala propuesta para las evaluaciones (Tabla 3), es una escala porcentual que indica el nivel de control de la maleza y grado de fitotoxicidad en el cultivo que surge de la transformación de la escala logarítmica original. Los cuatro primeros rangos para la evaluación de control (100-87,5) y fitotoxicidad (0-12,5) son considerados como aceptables.

Análisis estadístico:

Los datos se analizaron mediante un análisis de la varianza (ANOVA) con el programa InfoStat, considerando como variables dependientes porcentaje de control y fitotoxicidad y como variable de clasificación tratamiento para cada momento de observación. Cuando la prueba de F arrojó resultados significativos ($P < 0.05$) se utilizó el test de mínima significancia DGC (Di Rienzo *et al.*, 2019). Se utilizó este tipo de prueba debido al alto número de tratamientos, permitiendo que se generen separaciones de medias con significancia sin superposiciones.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el primer momento de evaluación (9 DDA), el porcentaje de control logrado con glifosato solo (T1) fue menor en comparación con los demás tratamientos. En la segunda evaluación a los 30 DDA se observó nuevamente bajo nivel de control (10%) en el tratamiento T1, de lo que puede inferirse que la población evaluada en este experimento se trataba de un biotipo resistente. Si bien la distribución de poblaciones de sorgo de Alepo resistente ya era conocida en el establecimiento productivo donde se realizó el experimento, dicha problemática está difundida en varias regiones productivas de Argentina como pudieron determinar Muñoz *et al.* (2018). En ese trabajo, durante las campañas 2016/17 y 2017/18 se realizaron evaluaciones en 58 poblaciones de sorgo de Alepo recolectadas de las regiones NOA, Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe para determinar el grado de resistencia a herbicidas, encontrando en el total de las poblaciones que 10%, 5%, y 53% presentaron una supervivencia superior al 30% a los herbicidas haloxifop, cletodim y glifosato, respectivamente. A su vez, está demostrado que el nivel de resistencia a glifosato es dependiente del tamaño de las plantas al momento de la aplicación, siendo menor en plántulas jóvenes y aumentado en plantas adultas (Vila-Aiub *et al.*, 2018). De esta manera, el estado de crecimiento avanzado de la maleza al momento de la aplicación, también explicaría el bajo nivel de control del tratamiento T1.

Otro factor que influye en el nivel de resistencia a glifosato en sorgo de Alepo, es la temperatura ambiental al momento de la aplicación, habiéndose demostrado que con temperaturas sub-óptimas disminuye el índice de resistencia en comparación con temperaturas más altas (Vila-Aiub *et al.*, 2013). Dado que la aplicación de los tratamientos

se realizaron en el mes de diciembre, con temperaturas medias que oscilaron entre 23°C y 26°C (BCCBA, 2019), el ambiente habría favorecido la expresión de la resistencia.

En relación con los graminicidas, los tratamientos que incluyeron cletodim (T3) y su mezcla con glifosato (T5), llevaron a un porcentaje de control superior a los 9 DDA en comparación con los tratamientos que incluían a haloxifop (T2) y haloxifop + glifosato (T4), evidenciando mayor velocidad de acción. La performance de cletodim no fue afectada por la mezcla con glifosato, mientras que el nivel de control de haloxifop mejoró en mezcla con glifosato (Tabla 4). En el segundo momento de evaluación a los 30 DDA, el nivel de control producto de la aplicación de cletodim solo o con glifosato superó al logrado con haloxifop. La mezcla de herbicidas graminicidas con glifosato no generó incompatibilidades evidentes para el control de la maleza, este comportamiento también pudo observarse en un trabajo similar para el control de sorgo de Alepo resistente a glifosato (Meztler y Aumada, 2014), donde la mezcla de estos mismos productos no llevó a antagonismos para el control de la maleza. Asimismo, no se observaron diferencias entre la aplicación de graminicidas solos o en mezcla con glifosato.

Tabla 4: Control de sorgo de Alepo (%) de glifosato, graminicidas, herbicidas hormonales y sus mezclas a 9 DDA. Ref: Glifo=glifosato; Fop=haloxifop; Dim=cletodim; DDA= días después de la aplicación. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Tratamientos	% Control	
	9 DDA	
Glifo	9,3	e
Fop	50	d
Dim	67,7	a
Fop + Glifo	60,7	b
Dim + Glifo	71,7	a
Fop+ 2,4 D ester + Glifo	54	c
Fop+ 2,4 D amina + Glifo	46,7	d

Fop + MCPA + Glifo	53,3	c
Dim + 2,4 D ester + Glifo	70,7	a
Dim + 2,4 D amina + Glifo	74	a
Dim + MCPA + Glifo	71,7	a



Figura 7: Glifosato 9 DDA



Figura 8: Haloxifop 9 DDA



Figura 9: Cletodim 9 DDA

En relación con las mezclas de graminicidas con glifosato más herbicidas hormonales, a los 9 DDA se pudo observar que se comportaron de manera diferente según el tipo de graminicida empleado. De esta manera, los tratamientos que incluyeron haloxifop (T6, T7 y T8) demostraron una menor performance en mezcla con glifosato y herbicidas hormonales en comparación a las mezclas con cletodim (T9, T10 y T11) (Tabla 4). Esta tendencia se mantuvo a los 30 DDA, no obstante, entre las mezclas de haloxifop con glifosato y hormonales, el herbicida MCPA (T8) tuvo una mejor performance en comparación con las dos formulaciones de 2,4 D (T6 y T7) (Tabla 5). Las mezclas de cletodim, glifosato y herbicidas hormonales mantuvieron un similar control sin presentar ningún antagonismo en la supresión de sorgo de Alepo. En otros estudios en poblaciones de *Lolium multiflorum* se encontraron antagonismos en el uso de haloxifop en mezclas con herbicidas hormonales, siendo 2,4 D amina y dicamba los principios activos que mostraron mayor incompatibilidad biológica (De Esteban y Sansot, 2018). Otro trabajo llevado a cabo por Druetta *et al.* (2016) con *Chloris elata* demostró antagonismo de graminicidas como cletodim y haloxifop en mezcla con 2,4 D. Sin embargo, haloxifop conllevó un mayor nivel de antagonismo. Otra

diferencia que se puede apreciar es el promedio de los tratamientos de cletodim vs haloxifop con hormonales y glifosato a los 30 DDA, en donde las mezclas con haloxifop dieron un 72,6 % de control y las mezclas con cletodim un 84,8 %.

Tabla 5: Control de sorgo de Alepo (%) de glifosato, graminicidas, herbicidas hormonales y sus mezclas a 30 DDA. Ref: Glifo=glifosato; Fop=haloxifop; Dim=cletodim; DDA= días después de la aplicación. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Tratamientos	% Control
	30 DDA
Glifo	10 e
Fop	79,3 b
Dim	84 a
Fop + Glifo	80 b
Dim + Glifo	86 a
Fop+ 2,4 D ester + Glifo	72,3 d
Fop+ 2,4 D amina + Glifo	70 d
Fop + MCPA + Glifo	75,7 c
Dim + 2,4 D ester + Glifo	85,7 a
Dim + 2,4 D amina + Glifo	84 a
Dim + MCPA + Glifo	84,7 a



Figura 11: Fop + Glifo
30 DDA



Figura 101: Fop + Glifo
+ 2,4 D amina 30 DDA



Figura 92: Dim + Glifo
30 DDA



Figura 83: Dim + Glifo
+ 2,4 D amina 30 DDA

A los 50 DDA en todas las parcelas se advirtieron rebrotes de rizomas de sorgo de Alepo. Esto indica que, si bien se pueden apreciar eficaces controles a los 30 DDA, estos no fueron suficientes para poder reducir el impacto de la maleza en el cultivo. En este sentido, el buen establecimiento del cultivo es una característica preponderante para complementar la acción de los herbicidas. El sorgo de Alepo, tiene una dinámica cíclica en la acumulación de biomasa en sus rizomas y vástagos aéreos (Figura 5) (Ghersa *et al.*, 1990). Debido a esta característica fisiológica, el autor definió como el momento crítico para realizar el control de esta maleza, cuando la biomasa de rizomas es mínima y la relación de biomasa aérea con respecto a la subterránea es máxima. Al realizar la aplicación en este momento se lograría que la concentración del herbicida en los rizomas se maximice. Como así también la relación de rizomas nuevos en función de rizomas viejos es muy baja, afectando a la generación de nuevos rizomas y consecuentemente la dinámica poblacional.

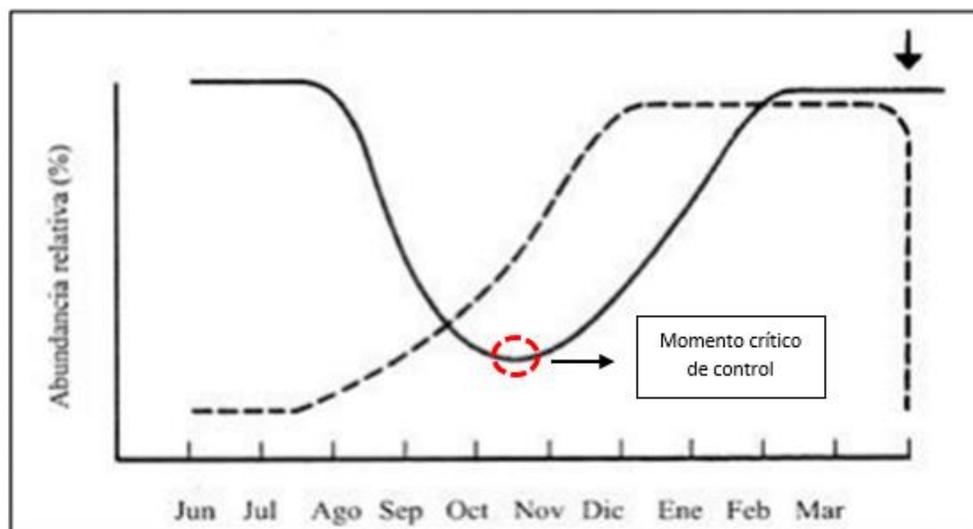


Figura 12: Evolución de vástagos aéreos y biomasa de rizomas en función de la época del año. Ref: línea punteada= vástagos aéreos, línea continua= biomasa de rizomas. La flecha indica ocurrencia de primeras heladas (Ghersa et al., 1990).

Para poder predecir cuándo ocurrirá el momento crítico de control se pueden utilizar modelos predictivos. Satorre (1985), encontró una relación existente entre la temperatura media y la brotación de los rizomas, y a partir de esto desarrolló un modelo de sumatoria de Unidades Térmicas Acumuladas. Cuando se acumulan 315 unidades térmicas (temperatura base 15°C) a partir de junio, se expresa la coincidencia con la mínima biomasa de rizomas siendo el momento crítico de control (Satorre *et al.*, 2003). Otro factor importante a tener en cuenta para el control de sorgo de Alepo, y prevenir la evolución de resistencia, es la aplicación de herbicidas con diferentes modos de acción (Scursoni y Vila Aiub, 2016) por lo que no sería recomendable repetir el uso de herbicidas ACCasa en un mismo ciclo. El trozado o corte vertical de rizomas permite aumentar la relación biomasa área/subterránea, siendo luego más eficaces posteriores tratamientos químicos. Además, evitar la cosecha y dispersión de semillas como así también evitar el ingreso de maquinarias agrícolas sucias provenientes de lotes con presencia de sorgo de Alepo son prácticas que favorecen al manejo integrado de esta maleza (Montoya y Yannicari, 2021).

En relación con la fitotoxicidad en el cultivo de soja según escala EWRC, solamente se observó en los tratamientos que incluían la aplicación de herbicidas hormonales. En la evaluación a los 30 DDA, los niveles de fitotoxicidad fueron menores que a 9 DDA, presentando síntomas leves (Tabla 6). Si bien a los 50 DDA no se tomaron las muestras correspondientes a la evaluación de fitotoxicidad, se observó que los tratamientos con hormonales no presentaban ningún síntoma de fitotoxicidad con respecto al testigo. Es importante tener en cuenta que estos niveles pueden ser superiores a medida que se aumenta las dosis de los herbicidas hormonales y su aplicación es más próxima a la emergencia del cultivo de soja, especialmente en campañas agrícolas con déficit hídrico (Sánchez *et al.*, 2010). Thompson *et al* (2007), encontró en trabajos realizados durante dos años seguidos que no se generaban efectos fitotóxicos cuando tratamientos de 2,4 D ester, 2,4 D amina y dicamba eran aplicados 28 días antes de la siembra de soja, sin embargo, cuando las aplicaciones se realizaron a los 0 y 7 días antes de la siembra se generaron efectos fitotóxicos en el cultivo. Aplicaciones de 2,4 D ester a partir de los 14 días antes de la siembra no generaron efectos fitotóxicos y de rendimiento (Krausz *et al.*, 1993). En este trabajo si bien las aplicaciones fueron realizadas próximas a la emergencia del cultivo, pudiendo haber generado efectos fitotóxicos superiores, al haber recibido 282 milímetros de lluvia durante el mes posterior a la aplicación y emergencia se pudieron minimizar los efectos fitotóxicos en el cultivo.

Tabla 6: Fitotoxicidad del cultivo de soja. Ref: Glifo=glifosato; Fop=haloxifop; Dim=cletodim; DDA= días después de la aplicación. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Tratamientos	% Fitotoxicidad	
	9 DDA	30 DDA
Glifo	0 a	0 a
Fop	0 a	0 a
Dim	0 a	0 a

Fop + Glifo	0 a	0 a
Dim + Glifo	0 a	0 a
Fop + 2,4 D ester + Glifo	5 c	4,3 b
Fop + 2,4 D amina + Glifo	5 c	4,7 b
Fop + MCPA + Glifo	5 c	4,7 b
Dim + 2,4 D ester + Glifo	3,7 b	4 b
Dim + 2,4 D amina + Glifo	4,7 c	4 b
Dim + MCPA + Glifo	5,7 c	4,3 b



Figura 15: 2,4D ester 30 DDA



Figura 146: 2,4D amina 30 DDA



Figura 137: MCPA 30 DDA

CONCLUSIONES

La eficacia de los graminicidas haloxifop y cletodim en el control de la maleza, no fue afectada por la mezcla con glifosato.

El uso de graminicidas en mezcla con glifosato y herbicidas hormonales afectó el control de sorgo de Alepo, según el graminicida utilizado. Se observó disminución de control en las mezclas con haloxifop metil pero no con cletodim.

Se demostró que para el control exitoso de la maleza durante todo el ciclo del cultivo, no es suficiente una sola aplicación.

El uso de herbicidas hormonales como 2,4 D y MCPA generan efectos fitotóxicos en el cultivo de soja cuando son aplicados en pre emergencia, si bien los síntomas fueron ligeros, sería conveniente evitar el uso de los mismo en ese momento.

Es necesario realizar un adecuado manejo de la maleza, considerando varios aspectos tales como modelos predictivos para determinar el momento óptimo de control, el uso de herbicidas con diferente modo de acción, rotaciones de cultivos, espaciamiento entre hileras, elección de cultivares, prácticas culturales, entre otros.

BIBLIOGRAFIA

- AAPRESID. 2019. *Evolución De Siembra Directa En Argentina Campaña 2018/19 - Aapresid*. [online] Disponible en: <http://www.aapresid.org.ar/blog/evolucion-de-siembra-directa-en-argentina-campana-2018-19/> [Acceso Febrero 2020].
- AAPRESID. 2020. *¿Las Malezas Siguen Ganando Terreno? - Aapresid*. [online] Disponible en: <https://www.aapresid.org.ar/blog/las-malezas-siguen-ganando-terreno/> [Acceso Marzo 2020].
- AGUERO-ALVARADO, R., APPLEBY, A. P., ARMSTRONG, D. J. (1991). "Antagonism of Haloxifop Activity in Tall Fescue (*Festuca arundinacea*) by Dicamba and Bentazon" *Weed Science* (Vol. 39, pp. 1-5) http://www.jstor.org/stable/4045096?seq=1#page_scan_tab_contents – [Septiembre 2020].
- BCCBA. 2019. Bolsa de Cereales de Córdoba. Anuario Agro-Meteorológico 2019. [online] Disponible en: http://www.bccba.com.ar/images_db/noticias_archivos/4451-Descargar%20informe.pdf#viewer.action=download [Acceso Septiembre 2020].
- DE ESTEBAN, L. y SANSOT DIEGO. 2018. Evaluación del antagonismo de herbicidas hormonales en mezcla con Haloxifop R Methyl (54% EC) para el control de *Lolium multiflorum* (Lam.), resistente a glifosato. II Congreso Argentino de Malezas (ASACIM).
- DE LA VEGA, M.H.; FADDA, D.; ALONSO, A.; ARGANARAZ, M; SANCHEZ LORIA, J.Y. y GARCIA, A. 2006. Curvas dose-resposta em duas populações de *Sorghum halepense* herbicida glyphosate no norte Argentino. Resumos do XXV Congresso Brasileiro da Ciencia das plantas Daninas. Brasilia, Brasil. 4 p.
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2019. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- DRUETTA, M.A., LUNA, I.M., VIGNA, M.R. 2016. Evaluación del antagonismo de herbicidas hormonales sobre Cletodim (24% CE) y Haloxifop R Metil (12,5% CE) en mezclas y la performance de las mismas en el control de *Chloris elata*. INTA EEA Este de Santiago del Estero.
- FRANS, R. 1972. Measuring plant responses. In: WILKINSON, R. *Research Method in Weed Science*. Souther Weed Sci. Soc. pp 27-41.
- GHERSA, C.M., SATORRE, E.H., VAN ESSO, M.L. 1985. Seasonal pattern of Johnson grass seed production in different agricultural systems. *Israel J. Bot.* 34:24-30.

- GHERSA, C.M., MARTINEZ-GHERSA M.A, SATORRE, E.H., VAN ESSO, M.L, CHICHOTKY G.1993. Seed dispersal, distribution and recruitment of seedlings of *Sorghum halepense* (L.) Pers. *Weed Res.* 33:79-88.
- GHERSA, C.M., MARTINEZ-GHERSA, M.A. 1991. A field method for predicting yield losses in maize caused by Johnson grass (*Sorghum halepense*). *Weed Technol.* 5:279-285.
- GHERSA, C.M., SATORRE, E.H., VAN ESSO, M.L., PATARO, A. ELIZAGARAY, R. 1990. The use of thermal calendar models to improve the efficiency of herbicide applications in *Sorghum halepense* (L.) Pers. *Weed Research.* 30: 153-160.
- KRAUSZ, R. F., G. KAPUSTA, J. L. MATTHEWS. 1993. Soybean (*Glycine max*) tolerance to 2,4-D ester applied preplant. *Weed Technol.* 7: 906–910.
- LANFRANCONI, L.E., BRAGACHINI, M.A, PEIRETTI, J., SANCHEZ, F.R. 2012. El avance de las malezas resistentes a herbicidas en los sistemas agrícolas. ¿Podremos controlarlas? Documento de trabajo INTA.
- LEIVA, P. y PICAPIETRA, G. 2013. Compatibilidad para mezclas de tanque de tres herbicidas utilizados en barbecho químico. *Inta. Eea.* Pergamino. Disponible en: http://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/3/2013/02/ensayo_mezclas_tanque_agosto2012.pdf [Acceso Septiembre 2020].
- LOPEZ, R. L. y VIGNA, M. R. 1998. “Antagonismo de herbicidas en mezcla de tanque para el control de malezas de trigo” Informe técnico N° 64, EEA INTA Bordenave (ISSN 0326 – 2596).
- MC WHORTER, C.G. 1989. History, biology and control of Johnsongrass. *Review of Weed Science* 4: 85-121.
- MEZLER, M. J. y AHUMADA, M. 2014. Evaluación de graminicidas postemergentes fop y dim en el control de *Sorghum halepense* resistente a glifosato para barbecho químico. Paraná, AR, INTA. s.p. Disponible en http://inta.gob.ar/documentos/evaluacion-de-graminicidaspostemergentes-fop-y-dim-en-el-control-de-sorghum-halepenserresistente-a-glifosato-para-barbechoquimico/at_multi_download/file/INTA-%20Sorgo%20alepo%20resistente%20a%20glifosato.pdf. [Acceso Septiembre 2020].
- MITIDIERI, A.1984. Sorgo de Alepo: importancia, biología y aspectos básicos para su control. *Biokemia* 25-36.
- MONTOYA, J., YANNICCARI, M. 2021. Sorgo de Alepo resistente a Glifosato. Avanzan las poblaciones Resistentes en La Pampa. Disponible en <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/9747>. [Acceso Agosto 2021].

- MUÑOZ, M., MORELLO, J., SCURSONI, J. 2018. Respuesta a herbicidas inhibidores de ACCasa (Haloxifop metil y Cletodim) e inhibidores de EPSPS (Glifosato) en *Sorghum halepense* en Argentina en los ciclos agrícolas 2016/2017 y 2017/2018. II Congreso Argentino de Malezas (ASACIM).
- PAPA, J., FELIZIA, J., ESTEBAN, A. 2004. Tolerancia y resistencia a herbicidas. INTA Centro regional Santa Fe.
- PAPA, J. C. 2009. Problemas actuales de malezas que pueden afectar al cultivo de soja. INTA EEA Oliveros. Para Mejorar la producción 42: 97-105.
- PAPA, J. C., TUESCA, D. 2013. Los problemas actuales de malezas en la región sojera núcleo argentina: origen y alternativas de manejo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Santa Fe. Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros.
- REM. 2020. Red de conocimiento de malezas resistentes. AAPRESID. Disponible en: <https://www.aapresid.org.ar/rem/alertas/>. [Acceso Marzo 2020].
- REM. 2016. Red de conocimiento de malezas resistentes. AAPRESID. “Una nueva alerta roja”. Disponible en: <http://www.aapresid.org.ar/rem/una-nueva-alerta-roja/>. [Acceso Marzo 2020].
- SANCHEZ, D., ARREGUI, M. C., SCOTTA, R. R., LUTZ, A. 2010. Barbecho Químico en Soja con Herbicidas No Selectivos. *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 9(1/2), 55–61.
- SATORRE, E. H. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. *Ciencia Hoy*.
- SATORRE, E.H., GHERSA, C.M., PATARO, A.M. 1985. Prediction of *Sorghum halepense* (L.) Pers. rhizome sprout emergence in relation to air temperature. *Weed Research*. 25: 103-9.
- SATORRE, E.H., BENECH ARNOLD, R.L., SLAFER, G.A., DE LA FUENTE, E.B., MIRALLES, D.J., OTEGUI, M.E., SAVIN, R. 2003. Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- SCURSONI, J., VILA AIUB, M. 2016. Resistencia de las malezas a los herbicidas [Weed resistance to herbicides]. Pages 246–277 in Satorre E, Kruk B, de la Fuente E. eds. Bases y herramientas para el manejo de malezas [Foundations and tools for weed management]. Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía, UBA.

- TRIGO, E., CAP, E. 2006. Diez años de cultivos genéticamente modificados en la agricultura argentina. Buenos Aires: Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología (Argenbio).
- THOMPSON, M. A., STECKEL, L., ELLIS, A y MUELLER, A. 2007. Soybean Tolerance to Early Preplant Applications of 2,4-D Ester, 2,4-D Amine, and Dicamba. *Weed Technol.* 21: 882-885.
- TUESCA, D. 2010. Resistencia de malezas a herbicidas. [online] Agrolluvia. Available at: <http://www.agrolluvia.com/wp-content/uploads/2010/06/Factores-que-determinan-la-tasa-de-evoluci%C3%B3n-de-la-resistencia.pdf> [Acceso Julio 2016].
- TUESCA, D., NISENSOHN, L. y PAPA, J.C. 2008. Resistencia a glifosato en biotipos de sorgo de Alepo (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) de la Región Sojera Núcleo de Argentina. En: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas (26.), Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (18., 2008, Ouro Preto, MG, BR). Atas. Ouro Preto, SBCPD.
- VIGNA, M.R., LOPEZ, R.L., GIGON, R., MENDOZA, J. 2008. Estudios de curvas dosis respuesta de poblaciones de *Lolium multiflorum* a glifosato en el SO de Buenos Aires, Argentina. XXVI Congresso Brasileiro de Plantas Daninhas, XVIII Congresso de ALAM, mayo 2008. Ouro Preto, BRASIL. ISBN: 978-85-98410-04-3. CD Editora: SBCPD.
- VILA AIUB, M., BALBI, M., GUNDEL, P., GHERSA, C., Powles, S. 2007. Evolution of Glyphosate-Resistant Johnsongrass (*Sorghum halepense* in Glyphosate-Resistant Soybean . *Weed Science*.
- VILA AIUB, M., CASAS, C., GUNDEL, P. E. 2018. The role of plant size in the selection of glyphosate resistance in *Sorghum halepense*. *Pest Management Science*, 74(11), 2460–2467.
- VILA AIUB, M., GUNDEL, P., YU Q., POWLES S. 2013. Glyphosate resistance in *Sorghum halepense* and *Lolium rigidum* is reduced at suboptimal growing temperatures. *Pest Manag Sci* 69 228 232.
- WSSA. 1998. Technology notes: Herbicide resistance and herbicide tolerance definitions. *Weed Technology*. <https://doi.org/http://www.jstor.org/stable/3989101>
- YANNICCARI, M., ISTILART, C., GIMENEZ, D. 2009. Evaluación de la resistencia a glifosato de una población de *Lolium perenne* L. del sur de la provincia de Buenos Aires. II Congreso Iberoamericano de Ciencias de las Malezas. Lisboa – Portugal. Volumen II: 521 - 524.

