

Gramíneas resistentes en Argentina:

Diagnóstico y manejo

Realizado por: Martín Vila-Aiub, Eduardo Cortés,
Ramón Gigón, Marcos Yannicari, Andrés
Rampoldi, Ignacio M. Dellaferrera y Julio Scursoni

Indice

- 1. Eleusine** | Martin Vila-Aiub y Eduardo Cortés
Respuesta a Herbicidas Inhibidores de ACCasa: pasado, presente y futuro
- 2. Raigrass/Lolium** | Ramón Gigón y Marcos Yanniccari
Manejo de Lolium spp. en Argentina y el mundo
- 3. Echinochloa/Capín** | Andrés Rampoldi
y Ignacio M. Dellaferrera
El desafío de Echinochloa spp. en los agroecosistemas argentinos
- 4. Sorgo de Alepo** | Julio Scursoni
Respuesta a Herbicidas inhibidores de ACCasa



syngenta®
2025

Eleusine

Respuesta a herbicidas inhibidores
de ACCasa

1. Eleusine indica en Argentina y el mundo

Eleusine indica (L.) Gaertn., conocida como “pata de gallina”, es una maleza anual, monocotiledónea, perteneciente a la familia Poaceae. Esta especie es una de las cinco malezas más importantes a nivel mundial, citada en 45 cultivos en más de 60 países (Holm et al., 1977). En la Flora Argentina está descrita como de ciclo anual, de 15-70 cm de alto, puede tener porte erecto o suberecto, cañas a menudo ramificadas; lígulas de 0,5-1 mm de largo y láminas planas o conduplicadas (Steibel, P., Rúgolo de Agrasar, Z. E., Troiani, H. O. & Martínez, O. Año: 1997).

El debate sobre su origen sigue siendo inconcluso, con registros antiguos provenientes de China, India, Japón, Malasia, África y Tahití (Holm et al. 1977). Sin embargo, en años recientes, África es considerada como el lugar de origen, reemplazando a India (Waterhouse 1994).

Eleusine indica es una maleza predominantemente autógama y diploide ($2n = 18$). Su hábitat incluye tierras perturbadas, lugares baldíos, campos de cultivos rotativos y cultivos perennes, así como pastizales (Waterhouse 1994). Extremadamente competitiva, es una maleza de clima cálido, especialmente en los trópicos (Waterhouse 1994), donde puede crecer y florecer durante todo el año si hay suficiente humedad. Un ejemplo típico es Malasia, donde *E. indica* puede tener de 3 a 5 generaciones por año. En países con cuatro estaciones (ej. Argentina), *E. indica* normalmente crece en primavera y florece en verano.

Una de las razones por las que *E. indica* crece bien en climas cálidos es porque es una planta C4 (Waterhouse 1994). Las plantas con fotosíntesis C4 son más eficientes en la captura de dióxido de carbono y tienen mejor eficiencia en el uso del agua que las plantas C3, lo que les permite crecer mejor y de manera más competitiva en los climas cálidos de las regiones tropicales y subtropicales (Edwards et al. 2010). Así, una maleza C4 como *E. indica* infestando un cultivo C3 puede ser muy competitiva. De hecho, se observa que ocho de las diez peores malezas del mundo son plantas C4 (Holm et al. 1977).

Una sola planta aislada de *E. indica* creciendo sin competencia en buenas condiciones puede producir hasta 140.000 semillas (Chin 1979), aunque la producción media de una población es de 40.000 semillas por planta (Holm et al. 1977). *E. indica* puede germinar y crecer en casi todos los tipos de suelo y prefiere temperaturas superiores a 20 pero inferiores a 40°C (Nishimoto and McCarty 1997). Las semillas de *E. indica* pueden permanecer viables incluso si se entierran hasta 20 cm de profundidad en el suelo durante 2 años (Chuah et al. 2004).. En alta densidad, puede causar pérdidas de rendimiento significativas en los cultivos. En estudios realizados en Filipinas, donde *E. indica* es la segunda maleza más abundante en arroz de secano, se observó una pérdida de rendimiento de hasta el 80% (Lourens et al. 1989). Una densidad de 20 plantas de *E. indica* por planta de maíz causó una reducción del 15% en el rendimiento (Eke and Okereke 1990).

Dada su enorme capacidad de reproducción, prevalencia y competitividad, no es sorprendente que *E. indica* esté catalogada como una de las peores malezas del mundo (Holm et al. 1977). Su adaptabilidad a diferentes condiciones le permite crecer e infestar casi cualquier tipo de cultivo. En la década de 1970, ya se consideraba una de las malezas más graves en algodón (11 países), maíz (10 países), arroz de secano (8 países), batata (4 países) y caña de azúcar (3 países) (Holm et al. 1977).

Resistencia a herbicidas a escala global

Resistencia a herbicidas a escala global

Eleusine indica ha mostrado una enorme capacidad de evolucionar hacia formas resistentes de herbicidas, lo que la convierte en una de las malezas más problemáticas a nivel mundial (Fig. 1).

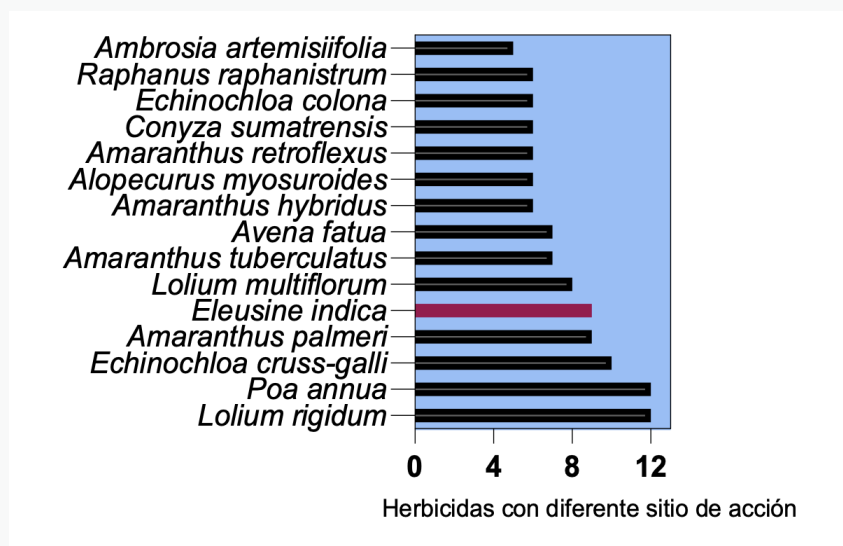


Fig. 1 Especies de malezas con resistencia a herbicidas con diferentes sitios de acción

En particular, se ha documentado resistencia a herbicidas con nueve sitios de acción, incluyendo (Tabla 1):

- **Inhibidores división celular**
- **Inhibidores de ACCasa**
- **Inhibidores de ALS**
- **Glifosato**
- **Paraquat**
- **Inhibidores del fotosistema II**
- **Glufosinato de amonio**
- **Inhibidores de HPPD**
- **Inhibidores de PPO**

Es notoria la diversidad de mutaciones de punto en diferentes genes blanco de herbicidas que la especie ha sido capaz de introducir dentro de su variabilidad genética (Tabla 1). Entre ellas se han identificado: Ala-212-Thr en el gen PPO, Trp-1999-Ser, Trp-2027-Cys, Asp-2078-Gly y Asn-2097-Asp en el gen ACCasa, Leu-136-Phe, Thr-239-Ile y Met-268-Thr en el gen α -tubulina, Pro-106-Ser y TIPS en el gen EPSPS, y Ser-59-Gly en el gen GS (Tabla 1). Sobre-expresión de enzimas del complejo citocromo P450 (CYP-450) y glutathione-S-transferasa (GSTs) capaces de degradar metabólicamente a inhibidores de ACCasa, ALS y glufosinato de amonio, junto con reducido transporte de paraquat y glifosato son otras vías que la especie puede exhibir para reducir el daño de herbicidas (Tabla 1).

Poblaciones resistentes de *E. indica* han evolucionado en forma recurrente en sistemas agrícolas del sudeste asiático (Malasia, China) y Brasil (Vazquez-Garcia et al. 2021, Alcántara-de la Cruz et al. 2025). En muchos casos, la especie muestra resistencia múltiple (i.e. varios genes confiriendo resistencia a herbicidas con diferente sitio de acción) lo que hace que su control sea un desafío agronómico.

Poblaciones con resistencia múltiple a glifosato e inhibidores de ACCasa o ALS han sido identificadas en Brasil, China y Malasia (Vazquez-Garcia et al. 2021, Alcántara-de la Cruz et al. 2025). Resistencia a glifosato en combinación con paraquat, glufosinato de amonio e inhibidores de ACCasa ha sido documentada en plantaciones agrícolas de Malasia (Jalaludin et al. 2015).

Tabla 1 Mecanismos de resistencia a herbicidas identificados en Eleusine indica y su factor de resistencia

Inhibidores EPSPS (glifosato)	Factor de resistencia (R/S) (escala planta)	Referencia
Pro-106-Ala	2-4	(Chen et al. 2021)
Pro-106-Ser	2-5	(Baerson et al. 2002, Kaundun et al. 2008, Huffman et al. 2016, Takano et al. 2019, Chen et al. 2020, Franci et al. 2020)
Pro-106-Thr	3	(Ng et al. 2004)
Pro-106-Leu	2-5	(Chen et al. 2015, Chen et al. 2017)
Thr-102-Ile + Pro-106-Ser (TIPS)	13*-182	(Jalaludin et al. 2015, Yu et al. 2015, *Chen et al. 2017, Franci et al. 2020, Vila-Aiub et al. 2021)
Thr-102-Ile		(Franci et al. 2020)
Pro-106-Ala + EPSPS amplificación	13	(Chen et al. 2020)
Pro-106-Ser + EPSPS amplificación + reducida translocación	2-16	(Gherekhloo et al. 2017)
EPSPS amplificación	2-4.5	(Chen et al. 2015, Chen et al. 2017)
EPSPS amplificación + sobre-expresión inducida EPSPS + Pro-106-Ala o TIPS	4-25	(Zhang et al. 2021)
Inhibidores ACCasa	Factor de resistencia (R/S) (escala planta)	Referencia
Trp-1999-Ser	52-82 (cyhalofop)	(Deng et al. 2023)
Trp-2027-Cys	62-87 (fluazifop)	(Cha et al. 2014, Jalaludin et al. 2015)
Asp-2078-Gly	2 (butroxidim) 94 (cyhalofop) 11 (cletodim) 7 (fluazifop) 17 (haloxyfop) 21 (setoxidim) 14-18 (quizalofop)	(Deng et al. 2020, Vazquez-Garcia et al. 2021) (Osuna et al. 2012) (Chen et al. 2021)
Asn-2097-Asp	150 (fluazifop)	(Cha et al. 2014)

Inhibidores ACCasa	Factor de resistencia (R/S) (escala planta)	Referencia
Asn-2097-Asp	150 (fluazifop)	(Cha et al. 2014)
CYP-450/GST metabolismo	Fluazifop	(Wang et al. 2017)
CYP-450/GST metabolism + Asp-2078 -Gly	19 (diclofop) 5 (pinoxaden)	(Vazquez-Garcia et al. 2021)
Inhibidores de división celular	Factor de resistencia (R/S) (escala planta)	Referencia
Thr-239-Ile (α tubulina)	2-50 (trifluralina-orizalina)	(Mudge et al. 1984, Vaughn et al. 1987, Yamamoto et al. 1998, Anthony and Hussey 1999)
Met-268-Thr (α tubulina)		
Leu-136-Phe (α tubulina)	54 (ditiopir) 5 (prodiamina) >100 (pendimetalina) >100 (orizalina)	(Russell et al. 2022)
Inhibidores GS (glufosinato de amonio)	Factor de resistencia (R/S) (escala planta)	Referencia
Ser-59-Gly GS1-1	3-22	(Chuah et al. 2010, Jalaludin et al. 2015, Jalaludin et al. 2017, Zhang et al. 2022)
Sobre-expresión GS1-1	3-4	(Chen et al. 2024)
Metabolismo CYP-450/GST	3-13	(He et al. 2023, Lei et al. 2024)
Inhibidores PSI (paraquat)	Factor de resistencia (R/S) (escala planta)	Referencia
*	3-123	(Chuah et al. 2010, Jalaludin et al. 2015, McElroy et al. 2021, Li et al. 2022)
Reducido ingreso celular (metabolismo de poliaminas endógenas)	60	(Shen et al. 2016, Luo et al. 2019)
Reducida translocación	8.5	(Vazquez-Garcia et al. 2021)

* Mecanismo de resistencia sin determinar

Inhibidores PPO (oxadiazon)	Factor de resistencia (R/S) (escala planta)	Referencia
Ala-212-Thr	25-27	(Bi et al. 2020)
Inhibidores ALS	Factor de resistencia (R/S) (escala planta)	Referencia
Metabolismo CYP-450/GST	35 (imazamox)	(Vazquez-Garcia et al. 2021)
*	4 (imazetapir)	(Deng et al. 2023)
Inhibidores PSII	Factor de resistencia (R/S) (escala planta)	Referencia
*	52-300 (metribuzin) simazina	(Brosnan et al. 2008)
*	2.4-2.8 (atrazina) 2.5 (diuron)	(Li et al. 2022)
Inhibidores HPPD	Factor de resistencia (R/S) (escala planta)	Referencia
*	3.5 (mesotrione)	(Deng et al. 2023)

* Mecanismo de resistencia sin determinar

Resistencia a herbicidas en la agricultura Argentina

En los últimos años se han producido cambios en la comunidad de malezas en parte por el pasaje de labranza convencional a siembra directa y luego a partir de 1997 por la introducción de cultivares transgénicos resistentes a glifosato (Puricelli y Faccini, 2009, Faccini y Puricelli, 2007). En soja prácticamente el 100% de las variedades implantadas poseen resistencia a glifosato y en maíz más del 98% (Tejeda Rodríguez et al., 2021).

En 2012 se confirmó su resistencia a glifosato, resistencia que hoy alcanza casi toda el área productiva. En 2016 se sumó la resistencia a haloxifop-r-metil y cletodim y en 2020 la resistencia múltiple a ambos sitios de acción: glifosato y haloxifop.

Eleusine sp. paso de estar presente en Argentina en 5 millones de hectáreas en 2017 a 12 millones de hectáreas en 2025 (REM 2025, figura 2).

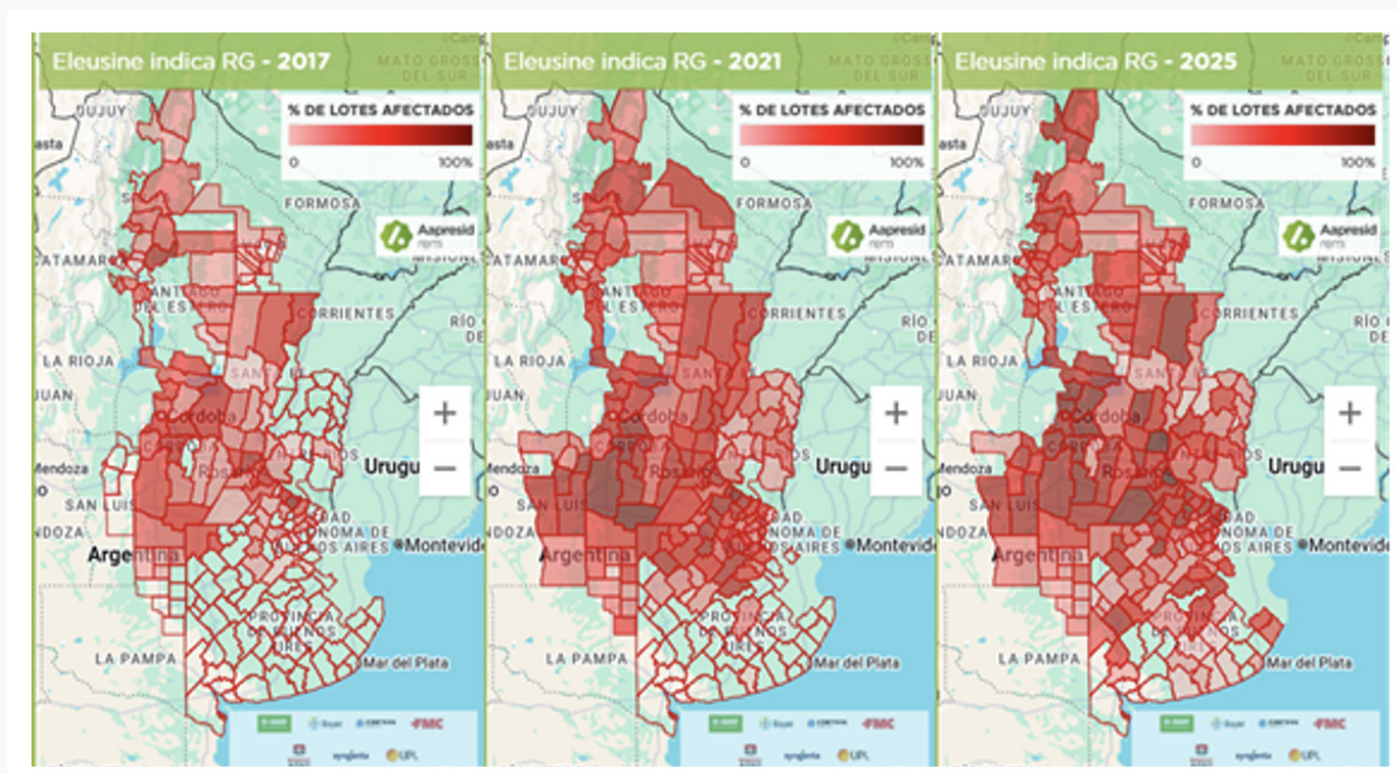


Fig. 2 Evolución de la presencia de *E. indica* en Argentina desde 2017 a 2025

La resistencia evolutiva a glifosato es generalizada

En un estudio realizado entre 2018-2022 (Moreno et al. 2023), se evaluó la presencia y distribución de poblaciones de *E. indica* resistentes a glifosato (dosis comercial 1.080 g e.a. ha⁻¹) en las zonas agrícolas más importantes de Argentina. La respuesta de las poblaciones evaluadas a glifosato fue comparada con la respuesta de una población de referencia susceptible (100% susceptible) y dos poblaciones de referencia resistentes (92% y 98% supervivencia). Luego de evaluar 29 poblaciones recolectadas en sistemas productivos extensivos de las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, Santa Fe, Santiago del Estero y Tucumán, se determinó que el 100% de las poblaciones mostraron individuos sobrevivientes al glifosato.

Veintitrés de las poblaciones (79%) tuvieron más del 20% de supervivencia, mientras que las seis restantes (21%) tuvieron una supervivencia menor al 20% (Moreno et al. 2023). El rango de supervivencia varió desde 100% en las localidades de San José de la Dormida, Tancacha y Leones (Córdoba) a 4% en la población de Balcarce (Buenos Aires) que fue la población con menor frecuencia de individuos resistentes (Fig. 2). Las poblaciones resistentes evaluadas se concentraron principalmente en dos áreas principales: oeste de Tucumán (departamentos de Burruyacu, Cruz Alta y

Leales) y el departamento de Tercero Arriba, Córdoba. Estos resultados confirman la amplia distribución de poblaciones de *E. indica* con altos niveles de resistencia a glifosato en Argentina, como también la necesidad de ampliar las zonas de relevamiento e investigar los mecanismos de resistencia involucrados.

En otros estudios realizados por Cortés, Dellaferrera y Venier (datos no publicados) sobre 26 poblaciones de *E. indica* se determinó que el 38% de las mismas tuvieron supervivencia por encima del 20% de la población. En cambio, para haloxifop, la supervivencia fue del 9% de las poblaciones por encima del 20%. Por último, no se determinaron poblaciones con resistencia a cletodim.

La resistencia a herbicidas alternativos a glifosato

El control y manejo de poblaciones de *E. indica* resistente a glifosato, ha llevado al uso sostenido de activos con otro sitio de acción. En un estudio complementario (Scursoni et al. 2024), se evaluó la respuesta de *E. indica* a la selección por herbicidas alternativos a glifosato. Para el conjunto de las poblaciones estudiadas ($n = 21$), y evaluando la respuesta a herbicidas selectivos (ACCasa, ALS, topamezone), el 100% y 57% de las poblaciones mostraron resistencia a nicosulfurón e imazapir, respectivamente, y sólo un 14%, 10% y 5% lo fueron a topamezone, haloxifop metil y cletodim, respectivamente (Fig. 3). Vale mencionar que nicosulfurón es un ingrediente activo no registrado en la Argentina para el control de *E. indica*.

Dentro del grupo de herbicidas no selectivos, hubo diferencia en las respuestas poblacionales a glifosato, glufosinato de amonio y paraquat. Como era esperable, un 95% de las poblaciones evaluadas mostraron resistencia a glifosato, aunque mucho menos esperable fue el 85% de resistencia a glufosinato de amonio (Scursoni et al. 2024). Contrastando con este resultado, la cantidad de casos de resistencia a glufosinato en todo el mundo representa menos del 10% del total (Heap 2024). Sólo un 5% de las poblaciones de *E. indica* mostró resistencia a paraquat (Fig. 3).

Analizando a las poblaciones que mostraron supervivencia a los correspondientes herbicidas, se determinó que los valores medios de supervivencia de plantas más bajos, correspondieron a haloxifop metil (9%), cletodim (0.7%), topamezone (0.9%) y paraquat (2.6%). Contrariamente, la mayor supervivencia promedio para todas las poblaciones, se registró con nicosulfurón (86.5%), seguido de glufosinato de amonio (48%) e imazapir (17%) (Scursoni et al. 2024).

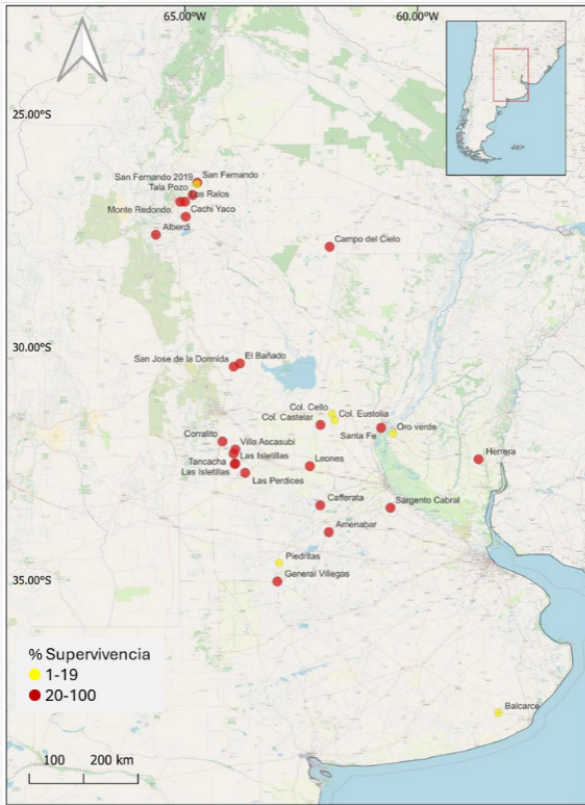


Fig. 3 Distribución geográfica y supervivencia de plantas a la dosis comercial de glifosato (1.080 g e.a. ha⁻¹) en las poblaciones de Eleusine indica evaluadas en el estudio. Los nombres muestran la localidad de origen y lugar de recolección de cada población

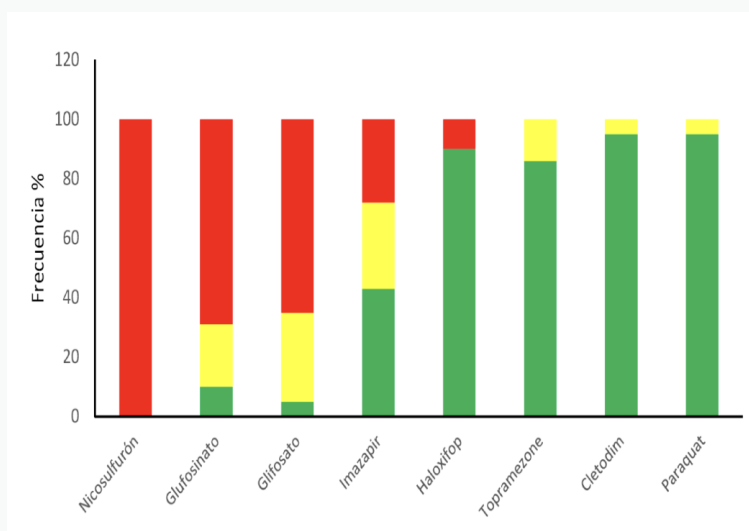


Fig. 4 Frecuencia (%) de poblaciones de Eleusine indica con resistencia a cada herbicida evaluado: (■) susceptible (supervivencia 0%); (■) resistencia en desarrollo (supervivencia >0% - <20%); (■) resistentes (supervivencia ≥20%) (Scursoni et al. 2024)

Las poblaciones de *E. indica* presentes en distintas zonas agrícolas de Argentina muestran variaciones en sus niveles de resistencia múltiple, es decir, en su capacidad de sobrevivir a herbicidas con diferente modo de acción. De las poblaciones resistentes a glifosato, 45% y 84% también exhibió resistencia a imazapir o glufosinato, respectivamente. La resistencia múltiple a glifosato más haloxi-fop, o cletodim, o topramezone o paraquat se registró en frecuencias menores al 10% de las poblaciones evaluadas (Scursoni et al. 2024). Del total de poblaciones evaluadas, la mayor frecuencia de resistencia múltiple correspondió a 12 poblaciones que presentaban resistencia a tres herbicidas con modo de acción diferente (Fig. 5).

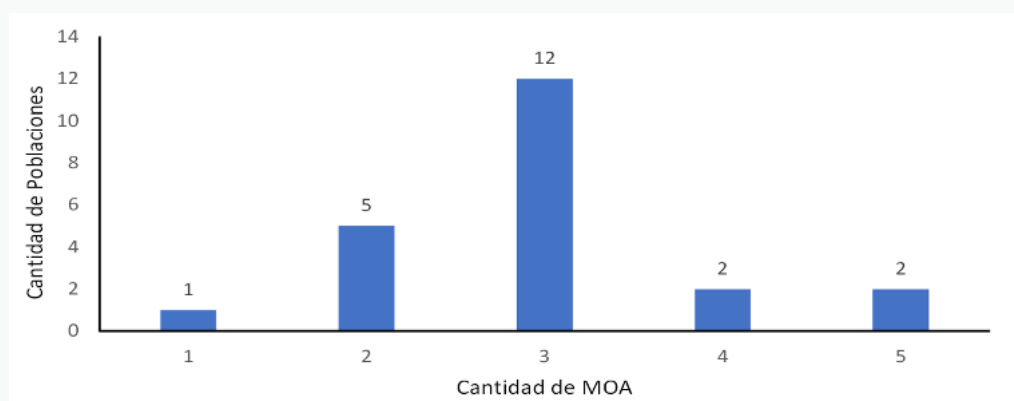


Figura 5. Cantidad de poblaciones registradas con resistencia a herbicidas con diferentes modos de acción.

En particular, se identificaron tres poblaciones provenientes de la provincia de Córdoba y Tucumán con resistencia múltiple entre 5 y 7 herbicidas (inhibidores ACCasa, inhibidores ALS, glifosato, glufosinato, topramezone) (Scursoni et al. 2024).

Resistencia a herbicidas en *E. indica*: conclusiones

Mirando la respuesta de *E. indica* a la selección por herbicidas a escala global y local (Argentina), queda de manifiesto su extraordinaria habilidad para evolucionar hacia formas resistentes. Para el caso particular de Argentina, mientras la resistencia de *E. indica* a glifosato es generalizada en toda el área agrícola, la frecuencia de poblaciones con resistencia a herbicidas inhibidores de ACCasa (haloxifop, cletodim) y ALS (imazapir) continúa baja o moderada, respectivamente. Sin embargo, es llamativo la alta proporción de poblaciones que muestran resistencia a glufosinato de amonio, lo que amerita continuar con su estudio.

Por lo anteriormente expresado es importante implementar un programa de manejo acorde a disminuir la capacidad de diseminación de esta maleza. El monitoreo debe ser el primer factor a considerar a la hora del manejo de esta maleza, por lo cual la rápida identificación de la especie y su posible problema nos garantizara mayor éxito en la estrategia que emprendamos. Otro factor importante es la rotación de cultivos, no solo por la generación de cobertura, que funciona como una barrera física ante los nacimientos quitándoles luz y temperatura, sino también porque al rotar cultivos rotaremos también los herbicidas y los momentos en los cuales estos se aplican, por lo cual abordaremos a la maleza en varios momentos del ciclo agrícola.

Por último, utilizar semillas de cultivos que sepamos su procedencia a fin de evitar el ingreso de contaminación al lote por esta vía.



Lolium

Respuesta a herbicidas inhibidores
de ACCasa: pasado, presente y futuro

1. Manejo de *Lolium* spp. en Argentina y el mundo

Las especies del género *Lolium* —principalmente *L. multiflorum*, *L. perenne* y *L. rigidum*— se han convertido en malezas altamente problemáticas en distintos sistemas agrícolas templados alrededor del mundo (Heap, 2024). Su éxito agronómico se relaciona con su elevada plasticidad, su biología alógama y su rápida adaptación a prácticas de control químico intensivo (Preston & Powles, 2002; Gigón et al., 2017).

Desde la introducción de los herbicidas inhibidores de ACCasa en los años 80, estos compuestos se transformaron en la herramienta principal para controlar gramíneas anuales en diferentes cultivos (Délye, 2005). *Lolium* spp. es la principal maleza de cereales de invierno presente en cinco continentes y, además, fue la primera en evolucionar resistencia a glifosato a nivel global (Powles & Matthews, 1992; Yu et al., 2007).

En Argentina, la expansión de *Lolium* spp. resistente a herbicidas comenzó a documentarse de manera sistemática a partir del año 2006, ante la dificultad de controlar la maleza con glifosato en los barbechos previos a la siembra de cereales de invierno en el sur de la región pampeana. La resistencia a glifosato en los barbechos se trataba con mezclas de herbicidas basadas en glifosato e inhibidores de la ACCasa, o aplicaciones secuenciales con paraquat. Plantas que escapaban al control en barbecho, también exigían extremar el control con herbicidas post-emergentes selectivos en trigo o cebada, asociado a inhibidores de la ACCasa o de la ALS.

En pocos años en varias poblaciones de *Lolium* spp. se advirtió la resistencia múltiple herbicidas caracterizada por mecanismos asociados a un metabolismo exacerbado o a mutaciones en el sitio blanco (Yanniccari et al., 2020). Con el paso del tiempo, la complejidad para el manejo de la maleza fue acrecentándose y herbicidas residuales desarrollados en los últimos años se mantenían como una alternativa efectiva de manejo. Sin embargo, el control post-emergente de *Lolium* spp. aún se presenta como el principal desafío tanto en Argentina como en otras partes del mundo donde la maleza ha evolucionado resistencia.

2. Mecanismos de resistencia identificados a inhibidores de ACCasa en Lolium spp.

2.1. Resistencia metabólica

Lolium spp. se ha constituido en un modelo para el estudio de resistencia metabólica, donde mecanismos basados en la detoxificación por complejos enzimáticos que reducen la concentración del herbicida antes de que éste alcance el blanco de acción en un nivel suficiente para inhibirlo (Délye et al., 2011; Gaines et al., 2020). Se ha demostrado que numerosas poblaciones argentinas de Lolium spp. presentaban perfiles de resistencia vinculados a un rol significativo de mecanismos metabólicos, no específicos y capaces de degradar herbicidas no relacionados químicamente (Gigón et al., 2017; Yanniccari et al., 2020).

2.2. Resistencia por mutaciones en el sitio blanco (TSR)

La resistencia mediada por mutaciones puntuales en la enzima ACCasa es uno de los mecanismos más estudiados y frecuentes en biotipos de Lolium spp. de diferentes países (Délye et al., 2005; Kaundun, 2014). Estas mutaciones reducen la afinidad entre el herbicida y el sitio de acción y se encuentran en posiciones altamente conservadas. En Argentina se han reportado diversas mutaciones en posiciones clave tales como Trp-2027-Cys, Ile-2041-Asn, Asp-2078-Gly, y Cys-2088-Arg, halladas en poblaciones con distintos antecedentes de uso de herbicidas (Yanniccari y Gigón, 2020; Yanniccari et al., 2020). Incluso, la presencia frecuente de heterocigosis —producto de la alogamia característica del género— favorece la coexistencia de múltiples alelos mutados dentro de una misma población, lo que complejiza los patrones de sensibilidad (Yu et al., 2007; Flores, 2022).

2.3. Respuesta de poblaciones de *Lolium* spp. de Argentina a herbicidas inhibidores de ACCasa

Las poblaciones argentinas muestran una elevada heterogeneidad en sus perfiles de sensibilidad. Los mapeos regionales de sensibilidad han identificado biotipos resistentes en Buenos Aires, La Pampa, Santa Fe y Entre Ríos, con patrones de resistencia que reflejan la historia local de uso de herbicidas (Gigón y Yanniccari, 2023; Vigna et al., 2020). Sin embargo, una vez más se pone en evidencia que los escapes para el control en barbecho se asocia a resistencia a inhibidores de la ACCasa y vinculada a mutaciones de punto donde prevalece Asp-2078-Gly como el cambio más frecuente.

Yanniccari y Gigón (2020) probaron diferentes herbicidas frente a la mutación Asp-2078-Gly y encontraron que tanto los fops, dims y den no resultan herbicidas efectivos en las dosis recomendadas y las plantas de *Lolium* spp. que portan esa mutación son capaces de sobrevivir y dejar descendencia viable.

La dispersión de semillas mediante maquinaria agrícola y el flujo génico promovido por la alogamia facilitan la acumulación y recombinación de diferentes alelos de resistencia (Powles & Matthews, 1992; Gigón y Yanniccari, 2023). En consecuencia, incluso dentro de un mismo lote se observan biotipos con respuestas diferenciales a distintos herbicidas. Argentina ya presenta poblaciones de *Lolium* spp. con resistencia simultánea a herbicidas inhibidores de la ACCasa + ALS + glifosato (Gigón y Yanniccari, 2023). Este patrón agrava el problema, reduce drásticamente las alternativas de control químico y acelera la necesidad de integrar estrategias de control. Herbicidas residuales como pyroxasulfone y bixlozone mantienen la eficacia de control los biotipos de *Lolium* spp. argentinos, sin embargo no tienen acción post-emergente y para asegurar ese resultado es necesario realizar los tratamientos sobre lotes sin plantas establecidas. Por lo tanto, esas alternativas aún dependen de la eficacia de herbicidas post-emergentes de barbecho.

2.4. Perspectivas futuras

Debido a la alogamia y al flujo génico, es esperable que las poblaciones argentinas continúen evolucionando hacia una mayor diversidad de mecanismos de resistencia, poblaciones integradas por individuos de diferente sensibilidad o con apilamiento de resistencias en una misma planta. La literatura internacional indica que la resistencia metabólica tiende a expandirse en sistemas con alta presión de selección continua (Busi et al., 2014) y que las alternativas de control de *Lolium* spp. se concentran en barbecho hasta la emergencia de cereales de invierno.

Nuevos herbicidas se esperan como desarrollos innovadores para afrontar el problema de la resistencia. El conjunto de evidencia señala que la problemática de *Lolium* spp. en Argentina no se resolverá únicamente con herbicidas, pero con una base sólida para comprender la dinámica evolutiva y enfatizando la necesidad de un manejo integrado, continuo y adaptativo, se podrá mantener la problemática en un nivel de reducido impacto en el rendimiento.



A close-up photograph of a person's hand holding a young Echinochloa plant. The plant has several long, thin, green leaves and a small root system. The background is a soft, warm gradient of orange and yellow, suggesting a sunset or sunrise. On the left side of the image, there are several white, semi-circular decorative elements. At the bottom of the image, there is a horizontal bar with a blue-to-purple gradient.

Echinochloa

El desafío de Echinochloa spp. en los agroecosistemas argentinos

1. El desafío de *Echinochloa* spp. en los agroecosistemas argentinos

Introducción

Históricamente, el género *Echinochloa* (especialmente *E. crus-galli* y *E. oryzicola*) tiene su origen ligado al cultivo de arroz en Asia. Con capacidades adaptativas muy altas, donde logró mimetizarse con el cultivo de arroz en épocas donde el desmalezado se realizaba principalmente a mano. Por otro lado, antes del uso de herbicidas, el manejo de este género se realizaba mediante el uso de lámina de agua y labores mecánicas; demostrando que presenta gran capacidad de adaptación a estas condiciones, logrando germinar aún en suelos saturados.

La producción agropecuaria en Argentina no fue diferente referido al manejo de este género en los inicios de la agricultura, pero con el uso de herbicidas en los sistemas productivos, originaron problemas de malezas con resistencia a glifosato e imidazolinonas en poblaciones de *Echinochloa* spp. o según su nombre común "capines". En la última campaña, se determinó la resistencia en *E. crus-galli* a herbicidas ACCAsas (herbicidas "graminocidas, particularmente de la Familia FOP's) en la provincia de Entre Ríos. Este evento si bien se reporta para lotes en cultivo de arroz, es de esperar que tienda a aumentar debido a que este se rota principalmente con Soja y Maíz, sobre los cuales el uso de herbicidas graminocidas (Fop y Dim) es frecuente y recurrente. Es importante destacar que, en la actualidad el manejo post-emergente de *Echinochloa* spp. se realiza en su gran mayoría con herbicidas graminocidas (debido a resistencias antes mencionadas); lo que incrementa la presión de selección.

Descripción del género y especies malezas en Argentina

Este género consta de alrededor de 33 especies en todo el mundo (Soreng et. al. 2017), mientras que en Argentina están presentes 7 especies (Belgrano et. al. 2008). Dentro de este género, *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv., conocida comúnmente como "capín arroz" o "pata de gallina", destaca como una de las malezas más extendidas y perjudiciales tanto a

nivel global como en Argentina, junto con *Echinochloa colona* (Leguizamón y Echeverría 2014 Valverde et. al. 2000) y cultivo de arroz (Bhagirath y David 2009). *E. crus-galli* se desarrolla en forma de mata, con tallos postrados, ascendentes o erectos desde 10 a 90 cm de altura (Parodi y Burkart 1964). Se le atribuye al género una alta producción de semillas por planta, pudiendo oscilar entre 3000 y 6000 semillas (Leguizamón y Echeverría 2014), dependiendo de las condiciones del cultivo, la disponibilidad de nutrientes y la duración del día (Maun y Barrett 1986).

Mitich (1990) encontró que *E. crus-galli* puede producir hasta un millón de semillas por planta en condiciones óptimas de crecimiento.

Importancia de *Echinochloa* spp. como maleza

Los relevamientos llevados a cabo en los mapas de REM (AAPRESID) indican que el género *Echinochloa* presenta una gran área de ocupación en Argentina, la cual desde 2019 al 2023 aumentó en el porcentaje de lotes afectados/tratados; en particular, la Provincia de Entre Ríos presenta entre el 70 y 100 % de lotes afectados por *E. colona* según el último reporte (REM AAPRESID, 2025)

El género *Echinochloa* se compone de especies anuales C4 que emergen en la primavera-verano y se reproducen a través de semillas. El género presenta gran diversidad morfológica, lo que dificulta su clasificación. Por otro lado, poseen una alta producción de semillas, corta dormición, gran habilidad competitiva, rápido crecimiento, dispersión de semillas por hidrocoría y resistencia a herbicidas; todo esto, hace que este género de malezas sea un problema en continua expansión en toda la región agrícola Argentina.

Dentro del género, las especies *E. colona* y *E. crus-galli* son las de mayor distribución en toda la provincia y región agrícola Argentina. Estas especies ejercen una fuerte presión competitiva sobre cultivos claves como soja, maíz y arroz. En este último, las infestaciones severas de *E. crus-galli* pueden ocasionar reducciones de rendimiento superiores al 25% (Cortés et. al. 2023). Su éxito como malezas se fundamenta en una serie de características biológicas ventajosas, que incluyen la existencia de múltiples eco-tipos, una elevada producción de semillas, dormición corta, rápido crecimiento y un alto potencial competitivo (Rampoldi et. al. 2025). El manejo se realiza básicamente mediante el uso de herbicidas los cuales

podemos diferenciarlos en dos grupos según el posicionamiento de los mismos frente a la maleza en pre-emergentes (PRE) o post-emergentes (POE) de la maleza. Dado que Echinochloa ya presenta resistencia a Glifosato y otros herbicidas, la estrategia mundial y local ha migrado a evitar que esta maleza nazca; para ello los pre-emergentes son las herramientas seleccionadas:

Inhibidores de ácidos grados de cadena larga (Grupo 15):

Son el estándar de oro para gramíneas.

S-Metolacoloro: El más usado históricamente en Argentina para diversos cultivos y posiciones.

Acetoclor: Muy común en maíz.

Piroxasulfone: Ha ganado mucho terreno en Argentina y el mundo (Australia/EE.UU.) últimamente. Tiene mayor estabilidad ante la falta de lluvia y una residualidad más larga.

Inhibidores de aminoácidos o ALS (Grupo 2):

En sistemas Clearfield® (Arroz resistente a Imazapir/Imazapic), esta tecnología permitió limpiar campos históricamente sucios. Sin embargo, el uso se repitió generó rápidamente biotipos de Echinochloa resistentes, un problema grave en Corrientes y Entre Ríos.

Inhibidores de síntesis de pigmentos (Grupo 13):

Clomazone: Histórico en arroz, pero hoy se usa también de manera estratégica en soja pre-siembra para lotes con altísima presión de Echinochloa spp.



Histórica de la Evolución de la Resistencia a Herbicidas en Argentina

La historia de la resistencia de *Echinochloa* spp. en Argentina es un claro ejemplo de evolución acelerada bajo la presión de selección ejercida por el manejo químico. Este proceso no se da de manera aislada, sino como una resultante causal donde el fracaso de un modo de acción ha intensificado la dependencia y, consecuentemente, la presión de selección sobre el siguiente, llevando a una pérdida secuencial de herramientas de control eficaces.

La trayectoria comenzó con la pérdida de sensibilidad a los herbicidas inhibidores de la enzima acetolactato sintasa (ALS). Aunque la cronología exacta de los primeros fallos es difusa, la confirmación oficial de resistencia a este modo de acción en *E. crus-galli* en 2018 marcó un punto de inflexión, eliminando una familia química clave para el control en post-emergencia (Metzler et. al. 2018)

Este escenario inicial forzó una dependencia casi exclusiva del glifosato, especialmente con la adopción masiva de los cultivos tolerantes a este herbicida. La presión de selección resultante fue inmensa y predeciblemente condujo a la selección de biotipos resistentes. El primer caso oficial para el género en Argentina se confirmó entre 2009 y 2010, con la identificación de poblaciones de *E. colona* resistentes a glifosato en la provincia de Santa Fe (Cortés et. al. 2023)

La situación se agravó drásticamente en 2018 con la confirmación de resistencia múltiple en *E. crus-galli* en la provincia de Entre Ríos, con biotipos que sobrevivían a aplicaciones tanto de glifosato como de inhibidores de ALS (imidazolinonas) (Metzler et. al. 2018). Este desarrollo limitó severamente las opciones de control químico en post-emergencia, dejando a los herbicidas graminicidas inhibidores de la acetil-CoA carboxilasa (ACCase) como uno de los últimos recursos efectivos.

La dependencia forzada de los graminicidas condujo al capítulo más reciente y alarmante de esta narrativa. En 2025, estudios colaborativos emitieron una "alerta roja" al confirmar la resistencia de *E. crus-galli* a graminicidas de la familia de los ariloxifenoxipropionatos (FOPs), específicamente a Cyhalofop y Haloxifop, en la región de Entre Ríos (Rampoldi et. al. 2025). Este evento representa el fracaso de una de las

últimas familias químicas efectivas para el control de gramíneas en post-emergencia en muchos sistemas productivos, cerrando un ciclo de presión de selección secuencial que ha diezmando el arsenal químico disponible.

Distribución Geográfica y Prevalencia de Biotipos Resistentes

La expansión de Echinochloa spp. resistente es un fenómeno a escala nacional. Los relevamientos de la Red de Manejo de Plagas (REM) de Aapresid indican un aumento sostenido en el área ocupada por el género, llegando a cubrir el 35% de la superficie agrícola en 2021 y posicionando a E. colona como la cuarta maleza más importante del país.

La geografía de la resistencia refleja las presiones de selección de los sistemas productivos locales. La resistencia a glifosato en E. colona, E. crus-galli y E. oryzoides se ha confirmado en las principales provincias agrícolas como Santa Fe, Córdoba, Buenos Aires y Entre Ríos, epicentros de la producción de soja y maíz RR donde el uso de glifosato ha sido intensivo (Metzler et. al. 2018 y Cortés et. al. 2023). Por otro lado, el epicentro de la nueva resistencia a graminicidas en E. crus-galli se ha localizado en el centro-este de Entre Ríos, en localidades como Moreira y Villa Elisa (Rampoldi et. al, 2025). Esta región, con una fuerte tradición en el cultivo de arroz, ha dependido históricamente de graminicidas como Cyhalofop (selectivo para el arroz) y Haloxyfop (utilizado en los barbechos), creando el ambiente perfecto para la selección de esta resistencia específica.



Tabla 1: Cronología de la Confirmación de Resistencia a Herbicidas en Especies de Echinochloa en Argentina.

Año de Confirmación	Especie	Herbicidas(s)/ Modo de acción	Provincia del Primer Reporte	Fuente de Referencia
2009-2010	Echinochloa colona	Glifosato (Inhibidor de EPSPS)	Santa Fe	Papa et. al. 2010
2018	Echinochloa crus-galli	Glifosato + Inhibidores de ALS (Imidazolinonas)	Entre Ríos	Metzler et. al. 2018
2023	Echinochloa oryzoides	Glifosato (Inhibidor de EPSPS)	Santa Fe	Cortés et. al. 2023
2025	Echinochloa crus-galli	Cyhalofop y Haloxyfop (Inhibidores de ACCasa - FOPs)	Entre Ríos	Rampoldi et. al. 2025

Caracterización de la Resistencia a Graminicidas: Inhibidores de la ACCasa

La confirmación de la resistencia a graminicidas en *E. crus-galli* fue el resultado de un estudio colaborativo entre el INTA (Estación Experimental Agropecuaria Concepción del Uruguay), la Universidad Nacional del Litoral (a través del ICI Agro Litoral, UNL-CONICET) y asesores privados, liderado por los investigadores Andrés Rampoldi, Candela Mena e Ignacio Dellaferrera (Rampoldi et. al. 2025). El proceso se inició a partir de denuncias de productores sobre fallas de control recurrentes en lotes de arroz en Entre Ríos y estudios de sensibilidad realizados en INTA.

La metodología experimental para confirmar la heredabilidad de la

resistencia consistió en recolectar semillas de cuatro poblaciones sospechosas (identificadas como IV, VII, XI y XII) de campos con historial de fallas de control. Estas semillas se cultivaron en condiciones controladas de laboratorio e invernadero. Una vez que las plántulas alcanzaron el estado de un macollo (30 días de crecimiento), se las sometió a una aplicación de los herbicidas (Cyhalofop y Haloxifop) para realizar un screening de supervivencia. Los resultados de este primer ensayo fueron contundentes: las poblaciones VII y XII mostraron porcentajes de supervivencia del 42.5% y 37.5%, respectivamente, a la dosis de campo de Cyhalofop, y del 37.5% y 21.0% a Haloxifop. Estos altos niveles de supervivencia confirmaron que los problemas de no están dados por fallas en la aplicación a campo.

Análisis Cuantitativo de la Resistencia: Ensayos de Dosis-Respuesta

Para comparar la sensibilidad de las distintas poblaciones se aplicaron dosis crecientes de Cyhalofop-p-butil, Haloxifop-R-metil y Cletodim 0X, ¼ X, ½ X, X, 2X, 4X y 8 X, siendo X la dosis recomendada para cada herbicida. Todas las aplicaciones se realizaron con una cámara de asperjado de laboratorio equipada con pastillas de abanico plano Teejet 8001, calibradas para asperjar 175 L ha⁻¹ a una presión de 275 kPa. Por maceta se determinó el peso fresco 28 días post aplicación. Estos pesos fueron expresados como porcentaje del testigo sin tratar. Los datos por especie y población fueron ajustados a un modelo logístico representado por una función logística de 3 parámetros (Ritz et. al. 2015), donde GR50 es la dosis que produce la respuesta media entre el límite superior d, y el límite inferior c. El parámetro b marca la inflexión alrededor de "e" (Knezevic et. al. 2007, Ritz et. al. 2005). Para cada población se determinó la dosis de herbicida que inhibe el crecimiento en un 50% respecto al control sin tratar (GR50). Se evaluaron las diferencias de sensibilidad mediante el factor de resistencia (FR) que se determinó como: GR50 (resistente)/GR50 (sensible). Los resultados para *E. crus-galli* revelaron niveles de resistencia extremadamente altos a los herbicidas FOP (Rampoldi et. al. 2025):

Resistencia a Haloxifop: Las poblaciones VII y XII exhibieron factores de resistencia de 19,26 y 17,86, respectivamente. Esto significa que se necesitaría casi 20 veces más herbicida para lograr el mismo nivel de control que en la población susceptible (IV). La población XI mostró un nivel de resistencia moderado, con un FR de 4.06. Este hallazgo es de particular relevancia global, dado que no existían reportes a nivel mundial de

resistencia de *E. crus-galli* a Haloxyfop.

Resistencia a Cyhalofop: Los niveles de resistencia a este herbicida, fueron aún más elevados. La población XII mostró un FR de 33.18, mientras que la población VII alcanzó un FR de 14.83.

Patrones de sensibilidad a Cletodim

En nuestro trabajo (Rampoldi et. al. 2025) se evaluó la sensibilidad de estas poblaciones FOP-resistentes a Cletodim, un graminicida de la familia de las ciclohexanodionas (DIMs). Los resultados se detallan a continuación:

Sensibilidad a Cletodim (DIM): Los resultados mostraron un patrón de sensibilidad diferencial. Las poblaciones VII y XII, que eran altamente resistentes a los FOPs, permanecieron en gran medida susceptibles a Cletodim, con factores de resistencia de solo 1,68 y 0,97, respectivamente. Estos valores no son significativamente diferentes del control susceptible. Este hallazgo sugiere que, para estas poblaciones específicas, Cletodim podría seguir siendo una herramienta de control eficaz.

Resistencia “emergente o en desarrollo” a Cletodim: En el screening de supervivencia se había detectado una "resistencia en desarrollo" a Cletodim en las poblaciones VII (18% de supervivencia) y XII (17,5% de supervivencia). La población XI, que tenía una resistencia moderada a los FOPs, mostró una resistencia significativa y agronómicamente relevante a Cletodim, con un FR de 6.74. Si bien esta resistencia es elevada, la misma no cumple con los criterios técnicos de supervivencia $\geq 20\%$; por este motivo aún es una resistencia en desarrollo.

La existencia de distintos perfiles de resistencia entre las poblaciones sugiere la posible presencia de diferentes mecanismos de resistencia. Esto está siendo estudiado en la actualidad.

Tabla 2: Dosis-Respuesta (GR50) y Factores de Resistencia (FR) de Poblaciones de E. crus-galli a Herbicidas Inhibidores de ACCasa en Entre Ríos.

Población ID	Herbicida	Familia Química	GR50 (g i.a./ha)	Factor de Resistencia (FR)
IV (Susceptible)	Cyhalofop	FOP	369.21	1.00
VII	Cyhalofop	FOP	5475.00	14.83
XI	Cyhalofop	FOP	1012.73	2.74
XII	Cyhalofop	FOP	12249.77	33.18
IV (Susceptible)	Haloxypop	FOP	25.18	1.00
VII	Haloxypop	FOP	485.05	19.26
XI	Haloxypop	FOP	102.30	4.06

XII	Haloxifop	FOP	449.69	17.86
IV (Susceptible)	Cletodim	DIM	167.12	1.00
VII	Cletodim	DIM	280.77	1.68
XI	Cletodim	DIM	1125.96	6.74
XII	Cletodim	DIM	162.06	0.97

Imágenes de DL50 para los biotipos XII y VII de E. crus-galli en Entre Ríos



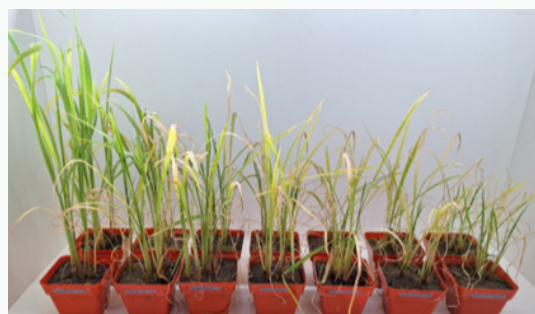
Biotipo VII – Haloxifop



Biotipo XII – Haloxifop



Biotipo XII – Cyhalofop



Biotipo VII – Cyhalofop

Mecanismos Fisiológicos y Moleculares de la Resistencia a Herbicidas

Resistencia en el Sitio de Acción (TSR):

La Resistencia en el Sitio de Acción (TSR, por sus siglas en inglés) es uno de los mecanismos más comunes y mejor entendidos. Ocurre cuando una mutación en el gen que codifica para la enzima target del herbicida altera la estructura de la proteína, impidiendo que el herbicida se una a ella y ejerza su efecto inhibitorio.

Resistencia a Glifosato (EPSPS): La investigación en Argentina ha proporcionado un ejemplo detallado de TSR en *E. colona*. Estudios moleculares han identificado mutaciones puntuales en la posición del aminoácido prolina 106 (Pro-106) del gen de la enzima EPSPS. Específicamente, se han confirmado las sustituciones Pro-106-Thr, Pro-106-Gln y Pro-106-Glu en poblaciones de Argentina. Siendo estas sustituciones (Pro-106-Gln y Pro-106-Glu) los primeros reportes de estas mutaciones específicas a nivel mundial (Cortés 2025)

Resistencia a ACCasa (Hipótesis y Evidencia Internacional): A la fecha, no se han publicado análisis moleculares de las poblaciones de *E. crus-galli* resistentes a FOPs en Argentina, estamos trabajando actualmente en esto para poder dar luz a esta incógnita. Sin embargo, es posible plantear hipótesis sobre los mecanismos probables basándose en los patrones de resistencia cruzada y la vasta literatura internacional. Se conocen al menos ocho posiciones de codones en el gen de la ACCasa donde las mutaciones pueden conferir resistencia (Gonzalez-Torralva & Norsworthy, 2024). Algunas de estas mutaciones, como la sustitución de isoleucina por leucina en la posición 1781 (Ile-1781-Leu), confieren una resistencia de amplio espectro a FOPs, DIMs y DENs (Kaundun 2014). Otras, como la sustitución de isoleucina por asparagina en la posición 2041 (Ile-2041-Asn), confieren alta resistencia a FOPs pero mantienen la sensibilidad a DIMs, como se ha reportado en *Lolium multiflorum* en Argentina (Depetris et. al. 2024). El patrón observado en nuestro estudio en las poblaciones VII y XII de *E. crus-galli* (alta resistencia a FOPs, sensibilidad a Cletodim) podría estar asociado a una mutación del tipo Ile-2041-Asn. Por el contrario, el perfil de resistencia más amplio de la población XI (resistencia a FOPs y DIMs) podría ser explicado por una mutación del tipo Ile-1781-Leu. Estos trabajos están en curso, por lo que estas consideraciones de resistencia en *E. crus-galli* son hipótesis.



syngenta®
2025



Sorgo de Alepo

Respuesta a herbicidas inhibidores
de ACCasa

1. Historia y antecedentes de manejo en Argentina y en el mundo.

¿De dónde Venimos?

El sorgo de Alepo (*Sorghum halepense* L. Pers.) es una de las malezas más problemáticas del mundo, está presente en 53 países abarcando un amplio rango geográfico (Holm et al., 1977). En Argentina, se encuentra en diversos sistemas de cultivo, desde los sistemas de regadío en el valle del Río Colorado (36°S) hasta cultivos de soja y maíz del norte de la provincia de Salta (22°S) (Leguizamón, 2012). Asimismo, según relevamientos de opinión realizados por Scursoni et al. (2019) y Oreja et al. (2024), se encuentra entre las 5 especies consideradas más problemáticas en cultivos de la región pampeana (Figura 1). Interesantemente, sorgo de Alepo y yuyo colorado, ya se mencionaban entre las 5 especies maleza más relevantes en cultivos de soja de la zona núcleo-sojera en el año 1985, junto a chamico, malva y pasto cuaresma, entre otras (Mitidieri y Bianchi 1985).

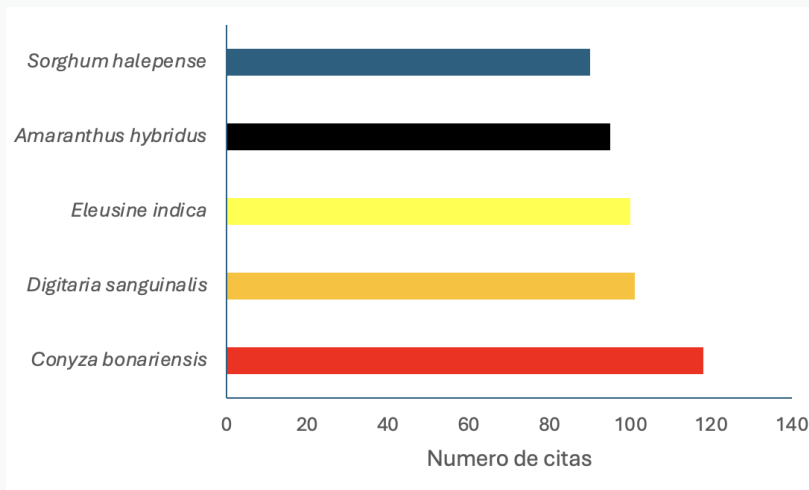


Figura 1. Especies maleza citadas (número de citas) en 147 relevamientos a técnicos asesores y productores de diferentes regiones de Argentina. (Adaptado de Oreja et al. 2024)

A comienzo de la década de los ochenta, comenzaron a introducirse en el mercado de agroquímicos de Argentina, distintos herbicidas pertenecientes al grupo de inhibidores de la enzima ACCasa, que afectan la síntesis de ácidos grasos componentes de las membranas celulares. Estos herbicidas representaron un importante avance para el control de sorgo de Alepo en

post-emergencia de cultivos de soja y girasol (entre otros), dada su actividad específicamente gramínicida, con selectividad en cultivos de dicotiledóneas. Entre los más relevantes, puede mencionarse el fluazifop butil, correspondiente a la empresa Ishihara Argentina S.A., haloxifop metil, correspondiente a la empresa Dow Chemical, fenoxaprop de Química Hoesch S.A., setoxidim de BASF Argentina S.A., recomendados para control de sorgo de Alepo en un estado de 20-40 cm de altura y fundamentalmente con buenas condiciones de humedad (Mitidieri y Bianchi 1985). Asimismo, y dadas las condiciones de agricultura con labranza utilizada en aquellos tiempos, se recomendaba el adecuado trozado de rizomas durante el barbecho, con el objetivo de romper la dominancia apical de los mismos y homogeneizar la brotación de yemas. Así, aumenta la relación biomasa aérea/subterránea, incrementando la eficacia de los herbicidas (Ustarroz y Rodríguez Moreno, 2024).

Período Crítico

En especies perennes como el sorgo de Alepo, el momento en que se inicia el establecimiento de nuevos vástagos a partir de la removilización de reservas acumuladas en los rizomas, es un estado demográfico crítico para el crecimiento poblacional (Satorre et al. 1985, Ghersa et al. 1990).

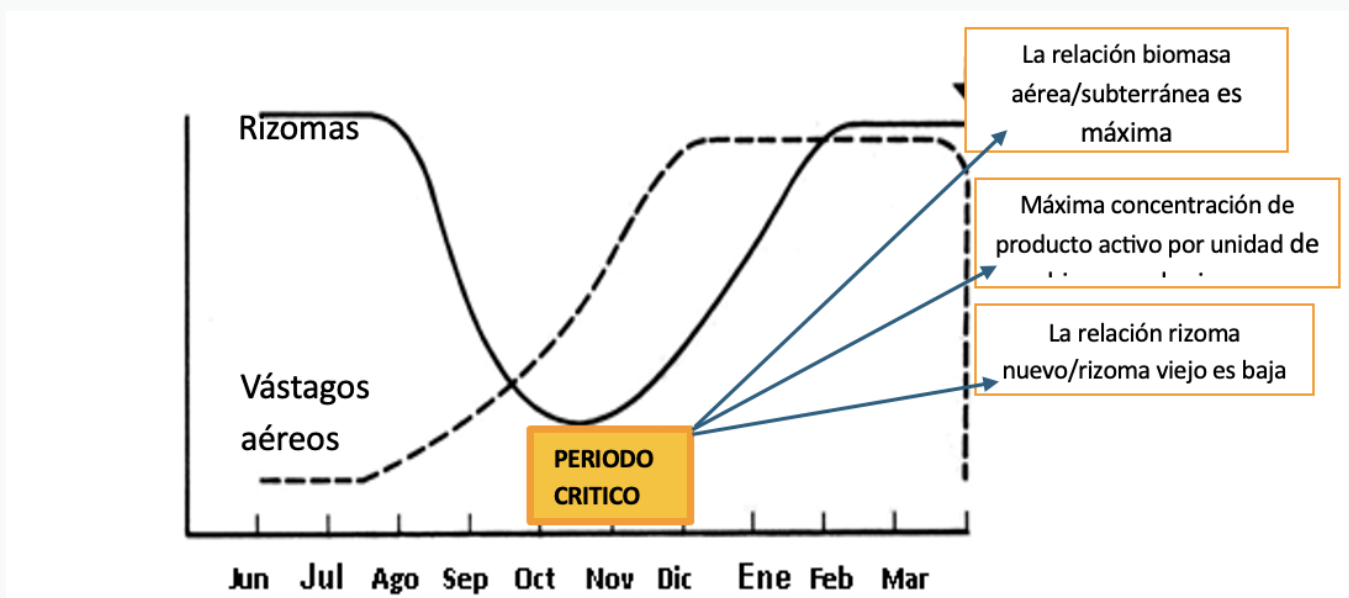


Figura 2. Dinámica poblacional de vástagos aéreos y rizomas de sorgo de Alepo. Adaptado de Satorre et al. 1985. Gentileza Betina Kruk . Facultad de Agronomía, UBA

Cuando la relación biomasa aérea /biomasa subterránea es máxima y aun no se han formado rizomas nuevos, será mayor la concentración de herbicidas que aplicados en postemergencia, se traslocan a los rizomas, lográndose así la mayor eficacia.

Un avance científico-tecnológico relevante para la aplicación de los herbicidas postemergentes, fue el desarrollo del modelo de tiempo térmico (Ghersa et al. 1990) que posibilita predecir el momento de menor de menor biomasa subterránea de la maleza, en el cual se alcanza la mayor eficacia de los herbicidas. La mínima biomasa de rizomas se estimó a las 315 UT (unidades térmicas acumuladas) considerando una temperatura base de 15°C, a partir de la última destrucción de la biomasa aérea. Las aplicaciones realizadas en dicho período maximizan el control de la maleza (Vitta & Leguizamón 1991; Tuesca et al., 1999).

2. Resistencia a inhibidores de ACCasa en sorgo de Alepo. Mecanismos de resistencia identificados.

La resistencia a herbicidas es el resultado de la evolución adaptativa que ocurre en los agroecosistemas, produciéndose un cambio en la estructura genética de las poblaciones seleccionadas, incrementando la frecuencia de alelos que confieren resistencia (Scursoni y Vila Aiub, 2016)

Para el desarrollo de la resistencia es necesaria la existencia de variabilidad genética y presión de selección (Jasieniuk et al. 1996) (Tabla 1).

Tabla 1. Factores definitorios en la evolución de resistencia a herbicidas

VG (Variabilidad Genética)	PS (Presión de Selección)
Variabilidad preexistente o mutaciones al Azar (denovo) Introducción mediante semillas o polen	Frecuencia, dosis, residualidad de herbicidas, aplicación de herbicidas del mismo modo de acción (Norsworthy et al. 2012)

Otro aspecto relevante a considerar en la evolución de resistencia, es el efecto de la aplicación de dosis subletales que facilita la selección de genes menores de resistencia con interacción aditiva (Busi et al. 2015). Es decir, individuos que poseen genes capaces de conferir bajo nivel de resistencia, los cuales se acumulan progresivamente a través de la hibridación y flujo génico. A medida que aumenta el número de genes presentes, aumenta el nivel de resistencia (resistencia poligénica). Este tipo de resistencia genera serias complicaciones de manejo ya que en caso de resistencia no target site tal como la generada por metabolismo, se puede seleccionar resistencia a herbicidas que no se aplicaron previamente, no poseen el mismo modo de acción y si comparten el mecanismo que confiere resistencia.

Actualmente, se encuentran registradas en el mundo 273 especies con resistencia a herbicidas (156 dicotiledóneas y 117 monocotiledóneas). El mayor número corresponde a los inhibidores de ALS (176), seguido de inhibidores de fotosistema II (87), inhibidores de EPSPS (glifosato) (62), ACCasa (52) y auxínicos (44) (Heap 2025).

En el caso de sorgo de Alepo, entre 1991 y 2019 se documentaron 31 casos de resistencia (Heap 2025) (Tabla 2)

Tabla 2. Resistencia a herbicidas en sorgo de Alepo en el mundo (Heap 2025)

Total de casos registrados en el mundo	31
Total de casos registrados en Argentina	3
Total de casos resistentes a inhib de ACCasa	10
Total de casos resistentes a inhib de ALS	12
Resistencia a glifosato	6
Resistencia a inhibidores de microtúbulos	1
Resistencia múltiple*	2

*Resistencia múltiple inhib de ACCasa+Glifosato (Argentina) (Ustarroz 2015); Inhib de ACCasa+Inhib de ALS (Serbia)

Entre los inhibidores de ACCasa predominan los casos de resistencia a Fops respecto a los Dims (Heap 2025), mientras que en el caso de inhibidores de ALS predominan los herbicidas correspondientes a la familia sulfonilureas.

Mecanismos de resistencia a herbicidas

Según el mecanismo presente, la resistencia se clasifica en resistencia de sitio o Target site (relativa al sitio de acción del herbicida) y fuera de sitio (No sitio o Non target site) (Scursoni y Vila Aiub 2016) (Tabla 3)

Tabla 3. Clasificación de Resistencia según el mecanismo causante

Resistencia de Sitio (Target site): TS	Resistencia Fuera de sitio (Non target site): NTS
Mutaciones en los genes que codifican el sitio de acción del herbicida	Mecanismos fuera del sitio de acción: Reducida absorción Reducida traslocación Sobre-fitotoxicidad Secuestro de moléculas (en vacuola) Degradación metabólica
Sobre expresión genética	

Mecanismos de resistencia identificados en Sorgo de Alepo (Tabla 4)

Si bien, la resistencia NTS es predominante para los inhibidores de ACCasa en otras especies, no se dispone de reportes de mecanismos NTS para este grupo de herbicidas en sorgo de Alepo (Martinatto et al. 2025)

Tabla 4. Mecanismos de resistencia registrados en Sorgo de Alepo

Mecanismo	Herbidas	Autor	Pais
Incremento en actividad de la enzima ACCasa	quizalofop-P, etil sethoxydim, fluazifop-P butil	Bradley 2001	USA
Target Site (no identificada)	1clethodim, sethoxydim, quizalofop p etil and fluazifop p butil	Burke et al. 2006	USA
No identificado	Quizalofop p etil, propaquizafop,	Kaloumenos y Eleftherohorinos 2009	Grecia
Target site (Ile 2041 Asn)	propaquizafop, quizalofop p etil, y haloxyfop metil	Scarabel et al (2014)	Italia
Trp2027 Cys.	clethodim, fluazifop -butyl, and haloxyfop -methyl	Ofri Gerson, Baruch Rubin Zvi Peleg (2016)	Israel
Ile-2041-Asn, Gly-2096-Ala	Haloxifop metil	Martinatto (2020)	Argentina
Ile 2041 Asn Ile1781Leu	Fluazifop butil Pinoxaden	Gonzalez Torralva and Norsworthy 2024	USA
TRp 1999 Cys	Haloxifop metil	Scursoni et al. (en prensa)	Argentina
Trp-2027-Cys, Cys-2088-Arg y Gly-2096Ala	Haloxifop metil y cletodim		Argentina
ILE 2041 Asn	Fops (fluazyfop butil, quizalofop p etil, propaquizafop)	Papapanagiotou et al. 2022	Grecia

3. Respuesta de poblaciones de sorgo de Alepo de Argentina a glifosato e inhibidores de ACCasa

Durante diez años (2014-2023), se realizó un estudio de respuesta a glifosato, cletodim y haloxifop metil sobre 392 poblaciones de sorgo de Alepo de diferentes regiones productivas (Tabla 5). Las dosis aplicadas para cada herbicida fueron las recomendadas en marbete para sorgo de Alepo de semilla.

Tabla 5. Cantidad de poblaciones estudiadas en cada región

AREA	CANTIDAD DE POBLACIONES ESTUDIADAS
NOA	76
NEA	27
Santa Fe	117
Córdoba	105
Buenos Aires	66

En el conjunto de las poblaciones estudiadas, se registró mayor cantidad de poblaciones con alta supervivencia a glifosato que a los germinicidas. Asimismo, considerando los graminicidas, fue mayor la cantidad de poblaciones con alta supervivencia a haloxifop metil que a cletodim (Figuras 3 a,b,c).



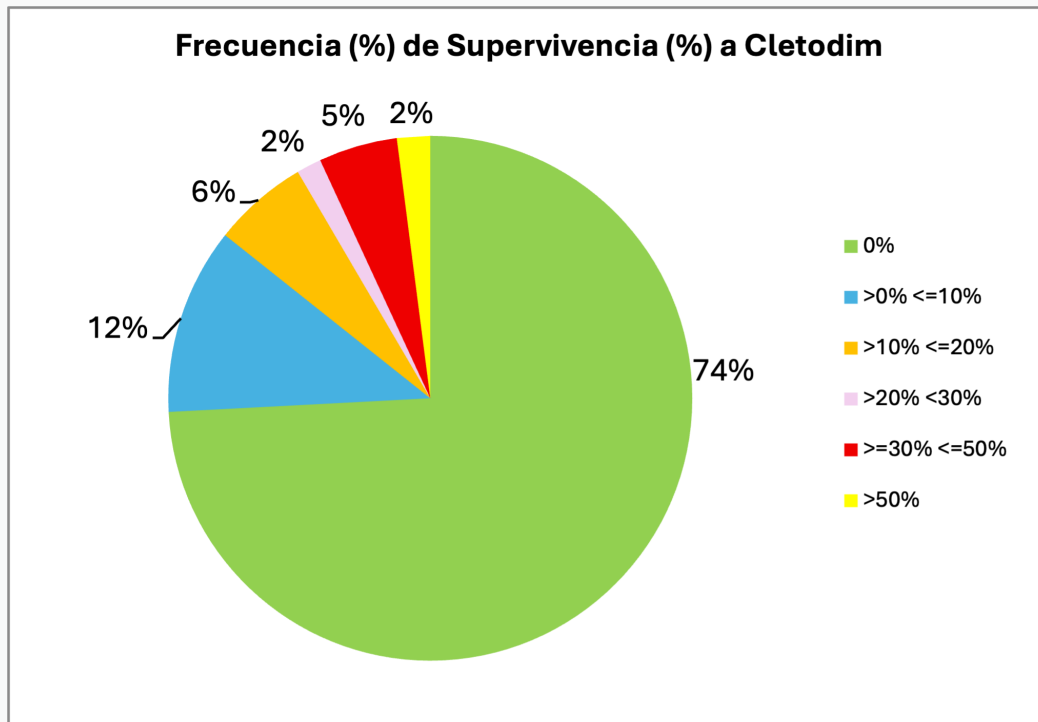
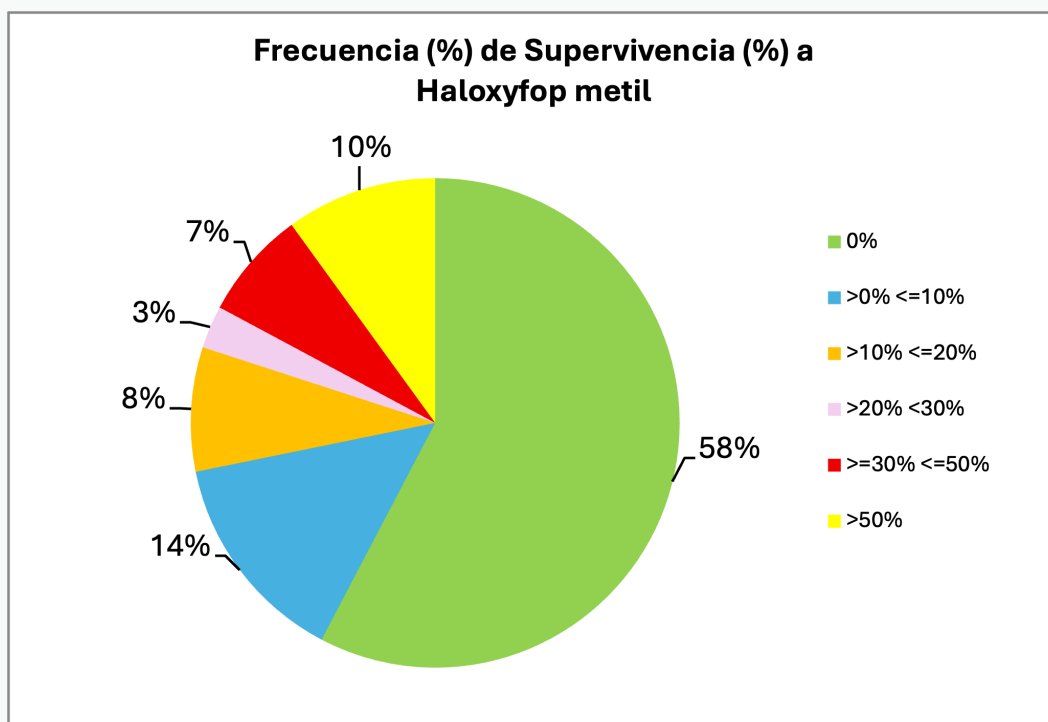


Figura 3^a. Respuesta (supervivencia %) a aplicaciones de cletodim con dosis de marbete

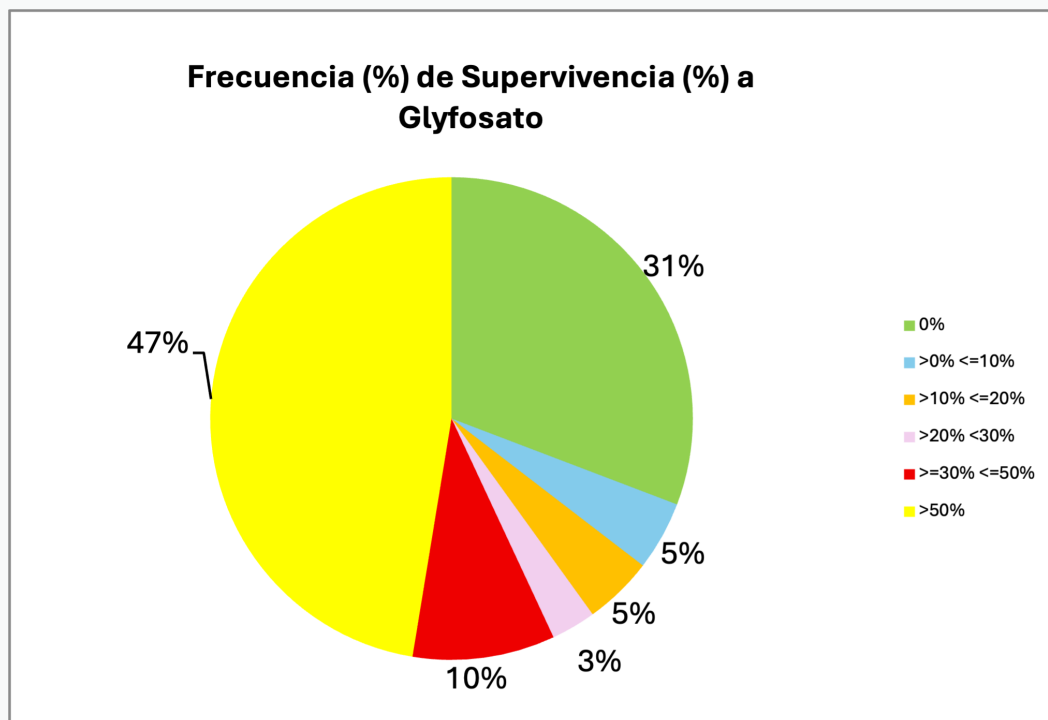
74% de las poblaciones (290) fueron totalmente susceptibles (Verde)

2% de las poblaciones (8) mostraron supervivencia igual o mayor a 50% (amarillo)

9% de las poblaciones (35) mostraron supervivencia mayor a 20% (lila, rojo y amarillo)



58% de las poblaciones (227) fueron totalmente susceptibles (verde)
 10% de las poblaciones (39) mostraron supervivencia igual o mayor a 50% (amarillo)
 20% de las poblaciones (78) mostraron supervivencia igual o mayor a 20% (lila, roja y amarillo)
 Figura 3b. Respuesta (supervivencia %) a aplicaciones de haloxifop metil con dosis de marbete



31% de las poblaciones (115) fueron totalmente susceptibles (verde)
 47% de las poblaciones (190) mostraron supervivencia igual o mayor a 50% (amarillo)
 60% de las poblaciones (217) mostraron supervivencia mayor a 20% (lilas, roja, amarilla)
 Figura 3c. Respuesta (supervivencia %) a aplicaciones de glifosato con dosis de marbete

Manejo y Perspectivas Futuras

Estudios recientes realizados por Scursoni et al (2019) y Oreja et al (2024) muestran que las practicas de control químico son prioritariamente utilizadas respecto a otras prácticas no químicas. Sin embargo, el uso

reiterado de herbicidas con el mismo modo de acción es una de las principales causas de selección de poblaciones resistentes.

En consecuencia, diferentes prácticas deben aplicarse a los fines de mitigar la evolución de poblaciones resistentes (Norsworthy et al. 2012)

- Rotación de Cultivos.
- Diversificación de prácticas con el objetivo de minimizar la producción de semillas de malezas, tales como: Densidad de siembra. Cultivos más competitivos
- Monitoreo periódico de malezas.
- Diversificar el modo de acción de herbicidas (Rotación de modos de acción, mezclas de modos de acción)
- Aplicar las dosis recomendadas. No subdosificar. Tener presente que la dosis recomendada equivale a un determinado tamaño de maleza.
- Trozado de rizomas con labranza vertical. Se rompe la dominancia apical de los rizomas y se homogeniza la brotación de yemas. Son susceptibles a bajas temperaturas y a deshidratación, por lo cual su exposición en la superficie del suelo durante el barbecho ha sido una de las tácticas de control mecánico más utilizadas (Leguizamón, 2012)
- Manejo de semillas de malezas en cosecha (prácticas químicas o mecánicas).
- El uso de herbicidas en etapas tardías (floración o post floración) reduce la producción de semillas y también el restablecimiento de plántulas.
- Eliminación de panojas remanentes.
- Prevenir el ingreso de semillas al lote. (Limpieza de maquinaria, controlar individuos en alambrados)



Resistencia No Relacionada con el Sitio de Acción (NTSR):

La Resistencia No Relacionada con el Sitio de Acción (NTSR) es un mecanismo más complejo y a menudo más problemático, ya que implica la capacidad de la planta para desintoxicar el herbicida antes de que alcance su sitio de acción. Esto se logra a través de la sobreexpresión (Laforest et. al. 2017 y González-Torralva et. al. 2023) o mayor eficiencia de familias de enzimas de desintoxicación, principalmente las Monooxigenasas del Citocromo P450 (P450s) y las Glutación S-transferasas (GSTs) (Yanniccari et. al. 2020, Suzukawa et. al. 2021, Han et. al. 2023).

Estudios internacionales han confirmado que la resistencia metabólica es un mecanismo clave en *E. crus-galli*. Por ejemplo, se ha identificado una población en China con alta resistencia a Cyhalofop que carecía de mutaciones en el sitio de acción, pero que mostraba una tasa de metabolización del herbicida significativamente mejorada (Yang et. al. 2022). Este tipo de resistencia es particularmente peligroso dado que las enzimas P450 a menudo tienen una baja especificidad, lo que significa que una enzima que evoluciona para degradar un herbicida puede ser capaz de degradar otros herbicidas de diferentes familias químicas y modos de acción, confiriendo una resistencia cruzada amplia e impredecible (Yu y Powles 2014).

Un hallazgo importante de la investigación internacional es que los inhibidores metabólicos estándar utilizados en investigación (como malatión o PBO para inhibir P450s) no siempre logran revertir la resistencia en *E. crus-galli* (Yang et. al. 2022). Esto sugiere que el género puede utilizar vías o enzimas de desintoxicación poco conocidas y que los inhibidores comúnmente usados no funcionan, lo que complica tanto el diagnóstico de NTSR como el desarrollo de estrategias de manejo de resistencia en estas poblaciones.

Referencias

Eleusine | Eduardo Cortés y Martín Vila-Aiub
Raigrass/Lolium | Ramón Gigón y Marcos Yanniccar
Echinochloa/Capín | Andrés Rampoldi y Ignacio M. Dellaferrera
Sorgo de Alepo | Julio Scursoni

Referencias

- Aapresid. (REM). Mapa de malezas de Argentina. Recuperado el 1 de diciembre de 2025, de <https://www.aapresid.org.ar/rem-malezas/mapa-malezas/>
- Alcántara-de la Cruz, R., L. B. X. d. Silva, H. K. Takano, L. H. Barcellos Júnior, and K. F. Mendes. 2025. The Rise of Eleusine indica as Brazil's Most Troublesome Weed. *Agronomy* 15:1759.
- Anthony, R. G., and P. J. Hussey. 1999. Dinitroaniline herbicide resistance and the microtubule cytoskeleton. *Trends in Plant Science* 4:112-116.
- Baerson, S. R., D. J. Rodriguez, M. Tran, Y. M. Feng, N. A. Biest, and G. M. Dill. 2002. Glyphosate-resistant goosegrass. Identification of a mutation in the target enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase. *Plant Physiology* 129:1265-1275.
- Bi, B., Q. Wang, J. J. Coleman, A. Porri, J. M. Peppers, J. D. Patel, M. Betz, J. Lerchl, and J. S. McElroy. 2020. A novel mutation A212T in chloroplast protoporphyrinogen oxidase (PPO1) confers resistance to PPO inhibitor oxadiazon in Eleusine indica. *Pest Management Science* 76:1786-1794.
- Brosnan, J. T., R. K. Nishimoto, and J. DeFrank. 2008. Metribuzin-resistant goosegrass Chin, H. 1979. Weed seed-a potential source of danger. Pages 115-119 in *Proceedings of the Plant Protection Seminar (Kuala Lumpur, 22-23 September 1979)*. Malaysian Plant Protection Society. (Eleusine indica) in bermudagrass turf. *Weed Technology* 22:675-678.
- Cha, T., M. G. Najihah, B. Ismail, and T. Chuah. 2014. Molecular basis for resistance to ACCase-inhibiting fluazifop in Eleusine indica from Malaysia. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 111:7-13.
- Chen, J., H. Huang, S. Wei, H. Cui, X. Li, and C. Zhang. 2020. Glyphosate resistance in Eleusine indica: EPSPS overexpression and P106A mutation evolved in the same individuals. *Pesticide Biochemistry and Physiology*.
- Chen, J., H. Huang, C. Zhang, S. Wei, Z. Huang, J. Chen, and X. Wang. 2015. Mutations and amplification of EPSPS gene confer resistance to glyphosate in goosegrass (Eleusine indica). *Planta*:1-10.
- Chen, J., C. Jiang, H. Huang, S. Wei, Z. Huang, H. Wang, D. Zhao, and C. Zhang. 2017. Characterization of Eleusine indica with gene mutation or amplification in EPSPS to glyphosate. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 143:201-206.
- Chen, J., B. Shan, Z. Li, Q. Chen, H. Yu, H. Cui, and X. Li. 2024. Unraveling the mechanisms of multiple resistance across glyphosate and glufosinate in Eleusine indica. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 206:106181.
- Chen, J., S. Wei, H. Huang, H. Cui, C. Zhang, and X. Li. 2021. Characterization of glyphosate and quizalofop-p-ethyl multiple resistance in Eleusine indica. *Pesticide Biochemistry and Physiology*:104862.
- Chuah, T., V. Low, T. Cha, and B. Ismail. 2010. Initial report of glufosinate and paraquat multiple resistance that evolved in a biotype of goosegrass (Eleusine indica) in Malaysia. *Weed Biology and Management* 10:229-233.
- Chuah, T. S., S. Salmijah, Y. T. Teng, and B. S. Ismail. 2004. Changes in seed bank size and dormancy characteristics of the glyphosate-resistant biotype of goosegrass (Eleusine indica[L.] Gaertn.). *Weed Biology and Management* 4:114-121.
- Deng, W., Y. Li, S. Yao, Z. Duan, Q. Yang, and S. Yuan. 2023. ACCase gene mutations and P450-mediated metabolism contribute to cyhalofop-butyl resistance in Eleusine indica biotypes from direct-seeding

- paddy fields. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 194:105530.
- Deng, W., Q. Yang, Y. Chen, M. Yang, Z. Xia, J. Zhu, Y. Chen, J. Cai, and S. Yuan. 2020. Cyhalofop-butyl and glyphosate multiple-herbicide resistance evolved in an Eleusine indica population collected in Chinese direct-seeding rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 68:2623-2630.
- Edwards, E. J., C. P. Osborne, C. A. Strömberg, S. A. Smith, C. G. Consortium, W. J. Bond, P.-A. Christin, A. B. Cousins, M. R. Duvall, and D. L. Fox. 2010. The origins of C4 grasslands: integrating evolutionary and ecosystem science. *science* 328:587-591.
- Eke, A., and O. Okereke. 1990. Goosegrass (*Eleusine indica*) and wild poinsettia (*Euphorbia heterophylla*) interference in maize (*Zea mays*).
- Faccini, D.; Puricelli, E. (2007). Efficacy of herbicide dose and plant growth stage on weeds present in fallow ground. *Agriscientia*, 24: 23-29.
- Franci, J., K. W. Lam, T. S. Chuah, and T. San Cha. 2020. Genetic diversity and in silico evidence of target-site mutation in the EPSPS gene in endowing glyphosate resistance in *Eleusine indica* (L.) from Malaysia. *Pesticide Biochemistry and Physiology*:104556.
- Gherekhlou, J., P. T. Fernández-Moreno, R. Alcántara-de la Cruz, E. Sánchez-González, H. E. Cruz-Hipolito, J. A. Domínguez-Valenzuela, and R. De Prado. 2017. Pro-106-Ser mutation and EPSPS overexpression acting together simultaneously in glyphosate-resistant goosegrass (*Eleusine indica*). *Scientific Reports* 7.
- Heap, I. 2024. The international survey of herbicide resistant weeds. Available in www.weedscience.com Accessed on February 15, 2024.
- He, S., M. Liu, W. Chen, D. Bai, Y. Liao, L. Bai, and L. Pan. 2023. *Eleusine indica* cytochrome P450 and glutathione S-transferase are linked to high-level resistance to glufosinate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 71:14243-14250.
- Holm, L.G.; Plucknett, D.L.; Pancho, J.V.; Herberger, J.P. (1977). The world's worst weeds – Distribution and biology. Honolulu: The University Press of Hawaii, p. 47-53.
- Huffman, J. L., C. W. Riggins, L. E. Steckel, and P. J. Tranel. 2016. The EPSPS Pro106Ser substitution solely accounts for glyphosate resistance in a goosegrass (*Eleusine indica*) population from Tennessee, United States. *Journal of Integrative Agriculture* 15:1304-1312.
- Jalaludin, A., Q. Yu, and S. B. Powles. 2015. Multiple resistance across glufosinate, glyphosate, paraquat and ACCase-inhibiting herbicides in an *Eleusine indica* population. *Weed Research* 55:82-89.
- Jalaludin, A., Q. Yu, and S. B. Powles. 2015. Multiple resistance across glufosinate, glyphosate, paraquat and ACCase-inhibiting herbicides in an *Eleusine indica* population. *Weed Research* 55:82-89.
- Jalaludin, A., Q. Yu, P. Zoellner, R. Beffa, and S. B. Powles. 2017. Characterisation of glufosinate resistance mechanisms in *Eleusine indica*. *Pest Management Science* 73:1091-1100.
- Kaundun, S. S., I. A. Zelaya, R. P. Dale, A. J. Lycett, P. Carter, K. R. Sharples, and E. McIndoe. 2008. Importance of the P106S target-site mutation in conferring resistance to glyphosate in a goosegrass (*Eleusine indica*) population from the Philippines. *Weed Science* 56:637-646.
- Lei, T., T. Feng, L. Wang, X. Yuan, L. Wu, B. Wu, J. Du, J. Li, and H. Ma. 2024. Metabolic resistance mechanism to glufosinate in *Eleusine indica*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 204:106083.
- Li, J., Z. Zhang, Q. Lei, B. Lu, C. Jin, X. Liu, Y. Wang, and L. Bai. 2022. Multiple herbicide resistance in *Eleusine indica* from sugarcane fields in China. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 182:105040.

- Lourens, J., M. Arceo, and F. Datud. 1989. Fenoxaprop-ethyl (Whip) and fenoxaprop-P-ethyl (Whip S) for grass control in direct seeded rice under rainfed upland conditions in the Philippines.
- Luo, Q., J. Wei, Z. Dong, X. Shen, and Y. Chen. 2019. Differences of endogenous polyamines and putative genes associated with paraquat resistance in goosegrass (*Eleusine indica* L.). *PLoS One* 14:e0216513.
- McElroy, J. S., J. R. Harris, A. Price, A. Harkess, and X. Li. 2021. Identification of a paraquat-resistant goosegrass (*Eleusine indica*) population from a central Alabama vegetable production field. *Weed Science* 69:648-652.
- Moreno, N. C., M. Yannicari, D. Tiesca, S. Sabaté, E. Cortés, J. Oliva, F. Oreja, J. A. Scursoni, P. E. Gundel, and M. M. Vila-Aiub. 2023. Distribución y frecuencia de la resistencia a glifosato en *Eleusine indica* en áreas agrícolas de Argentina. in IV Congreso Argentino de Malezas, Mar del Plata.
- Mudge, L., B. Gossett, and T. Murphy. 1984. Resistance of goosegrass (*Eleusine indica*) to dinitroaniline herbicides. *Weed Science* 32:591-594.
- Ng, C. H., R. Wickneswary, S. Salmijah, Y. T. Teng, and B. S. Ismail. 2004. Glyphosate resistance in *Eleusine indica* (L.) Gaertn. from different origins and polymerase chain reaction amplification of specific alleles. *Australian Journal of Agricultural Research* 55:407-414.
- Nishimoto, R. K., and L. B. McCarty. 1997. Fluctuating temperature and light influence seed germination of goosegrass (*Eleusine indica*). *Weed Science* 45:426-429.
- Osuna, M., I. C. G. d. R. Goulart, R. A. Vidal, A. Kalsing, J. P. Ruiz Santaella, and R. De Prado. 2012. Resistance to ACCase inhibitors in *Eleusine indica* from Brazil involves a target site mutation. *Planta Daninha* 30:675-681.
- Puricelli, E; Faccini, D.(2009). Efecto de la dosis de glifosato sobre la biomasa de malezas de barbecho al estado vegetativo y reproductivo. *Planta Daninha*, 27: 303-307.
- Russell, E. C., J. M. Peppers, C. A. Rutland, J. Patel, N. D. Hall, A. V. Gamble, and J. S. McElroy. 2022. Mitotic-inhibiting herbicide response variation in goosegrass (*Eleusine indica*) with a Leu-136-Phe substitution in α -tubulin. *Weed Science* 70:20-25.
- Scursoni, J. A., N. Moreno, M. Vila Aiub, and E. Budini. 2024. Distribución y frecuencia de la resistencia a herbicidas en *Eleusine indica* (L.) Gaertn. *Malezas* 13:4-16.
- Shen, X., F. Hu, Y. Chen, Y. Li, and C. Han. 2016. Preliminary study on resistance level of *Eleusine indica* to paraquat. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences* 29:1875-1878.
- Takano, H. K., R. R. Mendes, L. B. Scoz, R. F. Lopez Ovejero, J. Constantin, T. A. Gaines, P. Westra, F. E. Dayan, and R. S. Oliveira. 2019. Proline-106 EPSPS mutation imparting glyphosate resistance in goosegrass (*Eleusine indica*) emerges in South America. *Weed Science* 67:48-56.
- Vazquez-Garcia, J. G., R. Alcantara-de la Cruz, A. M. Rojano-Delgado, C. Palma-Bautista, J. M. de Portugal Vasconcelos, and R. De Prado. 2021. Multiple herbicide resistance evolution: the case of *Eleusine indica* in Brazil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 69:1197-1205.
- Vaughn, K. C., M. D. Marks, and D. P. Weeks. 1987. A dinitroaniline-resistant mutant of *Eleusine indica* exhibits cross-resistance and supersensitivity to antimicrotubule herbicides and drugs. *Plant Physiology* 83:956-964.
- Vazquez-Garcia, J. G., R. Alcantara-de la Cruz, A. M. Rojano-Delgado, C. Palma-Bautista, J. M. de Portugal Vasconcelos, and R. De Prado. 2021. Multiple herbicide resistance evolution: the case of *Eleusine indica* in Brazil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 69:1197-1205.

- Vila-Aiub, M., H. Han, Q. Yu, F. García, and S. B. Powles. 2021. Contrasting plant ecological benefits endowed by naturally occurring EPSPS resistance mutations under glyphosate selection. *Evolutionary Applications* 14:1635–1645.
- Wang, C.-S., W.-T. Lin, Y.-J. Chiang, and C.-Y. Wang. 2017. Metabolism of fluazifop-P-butyl in resistant goosegrass (*Eleusine indica*) in Taiwan. *Weed Science* 65:228-238.
- Waterhouse, D. F. 1994. Biological control of weeds: Southeast Asian prospects. Steibel, P., Rúgolo de Agrasar, Z. E., Troiani, H. O. & Martínez, O. 1997. Sinopsis de las gramíneas (Gramineae Juss.) de la provincia de La Pampa, Argentina. *Revista Fac. Agron. Univ. Nac. La Pampa*. Volumen 9. Pag 1-122
- Yamamoto, E., L. H. Zeng, and W. V. Baird. 1998. α -tubulin missense mutations correlate with antimicrotubule drug resistance in *Eleusine indica*. *Plant Cell* 10:297-308.
- Yu, Q., A. Jalaludin, H. Han, M. Chen, R. D. Sammons, and S. B. Powles. 2015. Evolution of a double amino acid substitution in the EPSP synthase in *Eleusine indica* conferring high level glyphosate resistance. *Plant Physiology* 167:1440-1447.
- Zhang, C., C. J. Yu, Q. Yu, W. L. Guo, T. J. Zhang, and X. S. Tian. 2021. Evolution of multiple target-site resistance mechanisms in individual plants of glyphosate-resistant *Eleusine indica* from China. *Pest Management Science* 77:4810-4817.
- Zhang, C., Q. Yu, H. Han, C. Yu, A. Nyporko, X. Tian, H. Beckie, and S. Powles. 2022. A naturally evolved mutation (Ser-59-Gly) in glutamine synthetase confers glufosinate resistance in plants. *Journal of Experimental Botany*.

Referencias

- Busi, R., Gaines, T. A., Vila-Aiub, M. M., & Powles, S. B. (2014). Understanding herbicide resistance evolution: Integrating metabolism-based resistance and target-site resistance. *Pest Management Science*, 70(9), 1389–1399. <https://doi.org/10.1002/ps.3757>
- Délye, C. (2005). Weed resistance to acetyl coenzyme A carboxylase inhibitors: An update. *Weed Science*, 53, 728–746. <https://doi.org/10.1614/WS-04-203R.1>
- Délye, C. (2011). Non-target-site-based resistance should be the centre of attention for herbicide resistance research: *Alopecurus myosuroides* as an illustration. *Weed Research*, 51(4), 433–437. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2011.00864.x>
- Flores, M. (2022). *Lolium* spp. resistente a herbicidas inhibidores de la ACCasa: detección y alternativas de control. Tesis de Maestría en Protección Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. <https://doi.org/10.35537/10915/139339>
- Gaines, T. A., Duke, S. O., Morran, S., Rigon, C. A. G., Tranel, P. J., Küpper, A., & Dayan, F. E. (2020). Mechanisms of evolved herbicide resistance. *Journal of Biological Chemistry*, 295(30), 10307–10330. <https://doi.org/10.1074/jbc.REV120.013572>
- Gigón, R., Vigna, M. R., & Yannicari, M. E. (2017). Raigrás, *Lolium* spp. – Bases para su manejo en sistemas de producción. *Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa*. VII;12-2017;1-27
- Gigón, R.; Yannicari, M. (2023). *Lolium* sp. una especie líder en resistencia a herbicidas en Argentina. IV Congreso Argentino de Malezas – ASACIM, Libro de actas: 54.
- Heap, I. (2014). Global perspective of herbicide-resistant weeds. *Pest Management Science*, 70(9), 1306–1315. <https://doi.org/10.1002/ps.3696>
- Kaundun, S. S. (2014). Resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides. *Pest Management Science*, 70(9), 1405–1417. <https://doi.org/10.1002/ps.3790>
- Kaundun, S. S. (2014). Resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides. *Pest Management Science*, 70(9), 1405–1417. <https://doi.org/10.1002/ps.3790>
- Powles, S. B., & Matthews, J. M. (1992). Multiple-resistant (diclofop-methyl and chlorsulfuron) *Lolium rigidum*: Mechanisms of resistance and implications for herbicide management. *Pesticide Science*, 34(3), 355–364.
- Preston, C., & Powles, S. B. (2002). Evolution of herbicide resistance in weeds: Initial frequency of target

site-based resistance to acetolactate synthase-inhibiting herbicides in *Lolium rigidum*. *Heredity*, 88(1), 8-13. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800004>

Vigna, M., Carreto, L., & Mendoza, J. (2020). Poblaciones de *Lolium* sp resistentes a cletodim en el sur de Buenos Aires. *Malezas*, 6, 28-35.

Yannicari, M. E., & Gigón, R. (2020). Cross-resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides conferred by a target-site mutation in perennial ryegrass (*Lolium perenne*) from Argentina. *Weed Science*, 68(2), 116-124. <https://doi.org/10.1017/wsc.2020.1>

Yannicari, M. E., Gigón, R., & Larsen, A. O. (2020). Cytochrome P450 herbicide metabolism as the main mechanism of cross-resistance to ACCase- and ALS-inhibitors in *Lolium* spp. populations from Argentina: A molecular approach in characterization and detection. *Frontiers in Plant Science*, 11, 600301. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.600301>

Yannicari, M., & Gigón, R. (2020). Cross-resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides conferred by a target-site mutation in perennial ryegrass (*Lolium perenne*) from Argentina. *Weed Science*, 68(2), 116-124. <https://doi.org/10.1017/wsc.2020.1>

Yu, Q., Cairns, A., & Powles, S. B. (2007). Glyphosate, paraquat and ACCase multiple herbicide resistance evolved in a *Lolium rigidum* biotype. *Planta*, 225(2), 499-513. <https://doi.org/10.1007/s00425-006-0364-3>

Obras citadas

Belgrano, M. J., Morrone, Osvaldo., & Zuloaga, F. O. (2008). Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur: (Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay). Missouri Botanical Garden Press.

<https://catalog.hathitrust.org/Record/005967787>

Bhagirath S. C. Y David E. J. (2009). Seed Germination Ecology of Junglerice (*Echinochloa colona*): A Major Weed of Rice. *Weed Science*: May 2009, Vol. 57, No. 3, pp. 235-240.

Cortés, E.; Schneider, A.; Panigo, E.; Perreta, M.; De Prado, R.; Dellaferrera, I. (2023). First Report of Resistance to Glyphosate in Several Species of the Genus *Echinochloa* in Argentina. *Agronomy* 2023, 13, 1219. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051219>

Cortés, E. (2025). Caracterización biológica y fisiológica de poblaciones del género *Echinochloa* con sensibilidad diferencial al glifosato en Argentina [Tesis de Doctorado]. Universidad Nacional del Litoral.

Depetris M.B.; Padilla E.M.; Ayala F.; Tuesca D. and Breccia G. (2024). Resistance to acetyl-CoA carboxylase (ACCCase)-inhibiting herbicides in *Lolium multiflorum* Lam. populations of Argentina. *Pest Manag Sci* 2024; 80: 6600–6606.

González-Torralva F. and Norsworthy J.K. (2023). Overexpression of acetyl CoA carboxylase 1 and 3 (ACCCase1 and ACCCase3), and CYP81A21 were related to cyhalofop resistance in a barnyardgrass accession from Arkansas. *Plant Signal Behav* 18:2172517 (2023).

González-Torralva, F., & Norsworthy, J. (2024). Target-site mutations Ile1781Leu and Ile2041Asn in the ACCCase2 gene confer resistance to fluazifop-p-butyl and pinoxaden herbicides in a johnsongrass accession from Arkansas, USA. *Plant Direct*, 8. <https://doi.org/10.1002/pld3.576>

Han Y.; Sun Y.; Ma H.; Wang R.; Lan Y.; Gao H.; (2023). Target-site and nontarget-site based resistance to clodinafop-propargyl in wild oats (*Avena fatua* L.). *Pest Biochem Physiol* 197:105650 (2023).

Yang Q.; Yang X.; Zhu J.; Wei T.; Lv M.; Li Y.; (2022). Metabolic Resistance to Acetyl-CoA Carboxylase-Inhibiting Herbicide Cyhalofop-Butyl in a Chinese *Echinochloa crus-galli* Population. *Agronomy* 2022, 12, 2724. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112724>

Yanniccari M.; Gigón R. and Larsen A.; (2020). Cytochrome P450 herbicide metabolism as the main mechanism of cross-resistance to ACCCase and ALS-inhibitors in *Lolium* spp. populations from Argentina: a molecular approach in characterization and detection. *Front Plant Sci* 11:600301 (2020).

Yu Q. and Powles E. (2014). Metabolism-Based Herbicide Resistance and Cross-Resistance in Crop Weeds: A Threat to Herbicide Sustainability and Global Crop Production *Fisiología Vegetal*, Volumen 166, Número 3, noviembre de 2014, Páginas 1106–1118, <https://doi.org/10.1104/pp.114.242750>

Kaundun, S. S. (2014). Resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides - <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ps.3790>

Knezevic, S. Z., Streibig, J. C., & Ritz, C. (2007). Utilizing R Software Package for Dose-Response Studies: The Concept and Data Analysis. *Weed Technology*, 21(3), 840-848. <https://doi.org/10.1614/WT-06-161.1>

Laforest M.; Soufiane B.; Simard M.; Obeid K.; Page E. and Nurse R.E. (2017). AcetylCoA carboxylase overexpression in herbicide-resistant large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*). *Pest Manag Sci* 73:2227–2235 (2017).

Leguizamón E. S. y Echeverría R. L. (2014). Manejo de malezas problema. Vol IV: *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. y otras gramíneas anuales (2014). Edi. REM – AAPRESID. 40 p

Maun M.A. and Barrett S. C. H. (1986). The biology of Canadian weeds. 77. *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. *Canadian Journal of Plant Science* 66, 739–759.

Metzler, M. Rampoldi, A. y Dellaferrera, I. (2018). Alerta roja: Se confirmó la resistencia a glifosato y ALS de la maleza *Echinochloa crus-galli* “Capín arroz” en Entre Ríos. Aapresid - Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa - Argentina. <https://www.aapresid.org.ar/img/bandera%20aapre.png>

Mitich, L. W. (1990). Intriguing world of weeds: barnyardgrass. *Weed Technology* 4, 918–920.

Papa, J.C.; Tuesca, D.; Bacigaluppo, D. (2010). Detección reciente en la provincia de Santa Fe de biotipos de *Echinochloa colona* sospechosos de presentar resistencia a glifosato. Estación Experimental Agropecuaria Oliveros.

Parodi L. R. Y Burkart A. (1964). Las malezas invasoras de los cultivos (1964). En: Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. pp 214.

Rampoldi A., Rodriguez H., Rampoldi I., Mena C. Y Raffo E. (2023). Evaluación de la pérdida de sensibilidad de *Echinochloa* spp. A un gramínida selectivo para el cultivo de arroz. IV Congreso Argentino de Malezas (ASACIM). 14 y 15 de Septiembre del 2023, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. En línea. <https://www.malezas2023.com.ar/circulares/actas2023.pdf> Libro de actas del congreso, p 262-263.

Rampoldi A.; Mena C.; Dellaferrera I. (2025). Resistencia a Herbicidas Cyhalofop y Haloxifop en *Echinochloa crus-galli*: Informe Técnico Inta C. del Uruguay. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/21663>

REM AAPRESID (2025) Red de manejo de plagas, AAPRESID. En línea. Disponible en <https://aapresid.org.ar/rem/>. 20 de octubre del 2025.

Referencias:

- Busi R, M Giroto, SB Powles. 2015. Response to low-dose herbicide selection in self-pollinated *Avena fatua*. *Pest Management Science* 72, 603-608
- GHERSA CM, SATORRE EH, VAN ESSO MI, PATARO A & ELIZAGARY 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.
- Heap I. 2025. International survey of herbicide resistance weeds. Disponible en www.bioscience.org
- Holm, L. G., Plucknett, D. L., Pancho, J. V., & Herberger, J. P. (1977). The world's worst weeds. *Distribution and biology* (pp. 610-pp).
- Jasieniuk M., A.L. Brule Babel and I.N. Morrison. 1996. The evolution and Genetics of Herbicide Resistance in Weeds. *Weed Science* 44: 176-193
- Leguizamon ES (2012). Sorgo de Alepo *Sorghum halepense*. L. Pers.: Bases para su manejo y control en sistemas de producción. REM-AAPRESID, vol. II, 27 pag.
- Martinatto AK, V.E. Perotti, D. Tucsca, H.R. Permingeat. 2024.. Multiple resistance to glyphosate and haloxyfop-p-methyl in *Sorghum halepense* from Argentina *Weed Research*. 2025;65:e70016. <https://doi.org/10.1111/wre.70016>
- Mitidieri A. y A.R. Bianchi. 1985. Soja. Las malezas y su control. 20p. Secretaria de Agricultura de la Nacion. INTA.
- Norsworthy Jason K., Sarah M. Ward, David R. Shaw, Rick S. Llewellyn, Robert L. Nichols, Theodore M. Webster, Kevin W. Bradley, George Frisvold, Stephen B. Powles, Nilda R. Burgos, William W. Witt, and Michael Barrett. 2012. Reducing the Risks of Herbicide Resistance: Best Management Practices and Recommendations. *Weed Science* 2012 Special Issue:31-62
- Oreja F.H., A.C. Duarte Vera , B. C. Kruk , E.B. de la Fuente , J.A. Scursoni. 2024. Survey of major weed problems, management practices and herbicide use in extensive row crops from Argentina. *Adv Weed Sci* 2024; 42DOI: 10.51694/AdvWeedSci/2024;42:00015
- SATORRE EH, GHERSA CM & PATARO AM (1985). Prediction of *Sorghum halepense* (L) pers. rhizome sprout emergence in relation to air temperature. *Weed Research* 25, 103-109.
- Scursoni J.A., A.C. Duarte Vera, F. H. Oreja, B. C. Kruk, E. B. de la Fuente. 2019. Weed management practices in Argentina crops. *Weed technology* 33: 459-463
- Scursoni J.A. y M.M. Vila Aiub. 2016. Resistencia de las malezas a los herbicidas. En Bases y herramientas para el manejo de malezas Satorre, EH, B.C. Kruk y E.B. de la Fuente eds. Cap 9 p 247-286
- Scutt JN, N James Willetts, B Fernandes Campos, S Oliver, A Hennessy, P Matthew Joyce, S J Hutchings, G le Goupil, W Linares Colombo, Shiv Shankhar Kaundun. 2024. Metproxybicyclone, a Novel Carbocyclic Aryl-dione Acetyl-CoA Carboxylase-Inhibiting Herbicide for the Management of Sensitive and Resistant Grass Weeds. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c02729>. *J. Agric. Food Chem.* XXXX, XXX, XXX-XXX
- TUESCA D, PURICELLI EC, NISENSOHN L, FACCINI D Y PAPA JC (1999) Decision criteria for optimizing postemergence Johnsongrass (*Sorghum halepense*) control in soybeans. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 34 (5), 749-753.

TUESCA D, PAPA JC, LANFRANCONI L, REMONDINO L & OLIVA J (2015) Detección de dos biotipos de Sorgo de Alepo (*Sorghum halepense* L. Pers.) resistentes a haloxifop p metil en los departamentos de San Justo (Santa Fe) y Río Primero (Córdoba). Actas del XXII Congreso de ALAM y I Congreso de la ASACIM, 9 y 10 de Septiembre de 2015, Buenos Aires. P 639

USTARROZ D (2015) Resistencia múltiple de *Sorghum halepense* (sorgo de Alepo) a glifosato y haloxifop R-metil en la provincia de Córdoba, Argentina. Informe técnico, INTA, Estación Experimental Agropecuaria Manfredi. Disponible en:

<chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://weedscience.org/documents/showdocuments.aspx?DocumentID=1372>

- Ustarroz D y J Rodriguez Moreno. 2024. Efecto del troceado con labranza y la aplicación de haloxifop-r metil en pre y post cosecha del cultivo de soja en la cantidad de rizomas de *Sorghum halepense*. L. Pers. Malezas 11: 54-63
- VITTA JI & LEGUIZAMÓN ES (1991) Dynamics and control of *Sorghum halepense* (L.) Pers. shoot populations: a test of a thermal calendar model. Weed Research 31, 73-79.



syngenta®

SYNGENTA AGRO S.A.
AV. DEL LIBERTADOR 1855
B1638BGE Vicente López,
Buenos Aires, Argentina
Tel: (+5411) 48376500
www.syngenta.com.ar

® es marca registrada de una compañía del grupo Syngenta.

Consiga en su Distribuidor Syngenta todo lo que su cultivo necesita para rendir al máximo.

Para más información comuníquese con el Centro de Agrosoluciones Syngenta, 0800-444-4804 / agro.soluciones@syngenta.com

CENTRO TOXICOLÓGICO TAS (24 hs) 0800-888-8694