



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO**

**ASPECTOS DE LA BIOLOGÍA Y EL CONTROL DE *Eleusine indica* Y *Eleusine Tristachya* EN
BARBECHOS Y EN EL CULTIVO DE SOJA**

Ing. Agr. Alejandro M. Brunori

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

Director: Dr. Eduardo Puricelli

Co-Director: Dr. Ignacio Dellaferrera

ZAVALLA (SANTA FE) ARGENTINA

2019

**ASPECTOS DE LA BIOLOGÍA Y EL CONTROL DE *Eleusine indica* Y *Eleusine
tristachya* EN BARBECHOS Y EN EL CULTIVO DE SOJA**

Alejandro Martín Brunori

Ingeniero Agrónomo – Universidad Nacional de Rosario

Esta tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado académico de Doctor en Ciencias Agrarias, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta u otra Universidad. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en la Facultad de Ciencias Agrarias (UNR) Zavalla (Santa Fe) y en la Facultad de Cs. Agropecuarias (UNL) Esperanza (Santa Fe) durante el período comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 1 de septiembre de 2019, bajo la dirección del Dr. Eduardo Puricelli y la co-dirección del Dr. Ignacio Dellaferrera.

.....
Ing. Agr. Alejandro Brunori
Doctorando

.....
Dr. Eduardo Puricelli
Director

.....
Dr. Ignacio Dellaferrera
Co-director

Defendida: de de 2020

2

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Eduardo Puricelli por haberme compartido sus conocimientos a lo largo de estos 5 años. Aquello que comenzó como una relación laboral se transformó en una hermosa amistad. Gracias Edu por tu tiempo, las conversaciones, los viajes, enseñanzas y oportunidades.

A mi Co-director Dr. Ignacio Dellaferrera por brindarme tus conocimientos, tu optimismo para con el futuro y por asistirme todo este tiempo en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Litoral (FCA-UNL) en Esperanza, Santa Fe.

A todos los integrantes de la cátedra de Terapéutica Vegetal y de Malezas de la Facultad de Cs. Agrarias UNR (FCA-UNR), por su apoyo en los experimentos y su compañía.

A los Ing. Agr. Mirta Kahl (EEA INTA Paraná) y Emiliano Jozami (Climatología Agrícola FCA-UNR) por facilitarme los biotipos de *Eleusine tristachya* de difícil control de Entre Ríos.

A los Ing. Agr. Carlos Gosparini y Nidia Montechiarini por su colaboración con el estudio de las semillas.

A Guillermo Boretto (FCA-UNL) por todo el trabajo en conjunto en la Facultad de Cs Agrarias en Esperanza y por el “buen café”.

A los Lic. Patricia Torres (FCA-UNR), Gonzalo Urrutia (Universidad de California, San Diego) y Belén Conde (EEA INTA Marcos Juárez) por su asistencia en los análisis estadísticos.

A los colegas Silvina Berasaluce, Renata Luna, Silvina Actis, Franco Herranz, Luca Miriani y José Testa por su colaboración en los experimentos. Además, muy especialmente al Sr. Juan Perez “Perito”, por su ayuda y todos los momentos compartidos en el invernáculo de la sección Malezas.

A Ariel Rodriguez (FCA-UNR) por su ayuda en la edición de esta tesis.

A las Facultades de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario y del Litoral por el acceso a sus instalaciones, y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por los recursos económicos a través de la beca doctoral.

A mis papás por haberme dado la posibilidad de estudiar y convertirme en profesional, y por su ayuda económica en este tiempo de Beca.

A mi ahijado Dante, por enseñarme a priorizar las cosas.

A mi esposa Melisa Defagot por su apoyo desde el primer día, por contenerme y alentarme siempre en todo lo que hago. Gracias por entender que el trabajo de campo no tiene fechas de calendario y por cuidar de Valentino cuando no estuve presente.

A mi esposa Melisa,
a mi hijo Valentino,
y a los que vendrán.

A la vida.-

Publicaciones:

Brunori, A.; Puricelli, E. Effect of herbicides and doses on short- and long- term *Eleusine tristachya* control. Weed Research Journal ID: WRE-2019-0077. Aceptada con correcciones menores al momento de la presentación de la tesis.

Presentaciones a Congresos:

Brunori, A.; Berasaluce, S.; Gentili, A.; Luna, R. “Dormición en semillas de *Eleusine indica* (L.) Gaertn. Y *Eleusine tristachya* (Lam.) Lam.: Evaluación de técnicas para la salida de la dormición primaria”. En el libro resúmenes del XVIII Congreso y XXXVI Reunión Anual de la Sociedad de Biología de Rosario 2016. Vol 1, núm. 1. Año 2016. ISSN: 2314-1484. Tipo de publicación: resumen breve.

Brunori, A.; Torres, P.; Berasaluce, S.; Luna, R. “Caracterización de la sensibilidad al control químico de biotipos de *Eleusine tristachya* (Lam.) Lam. y *Eleusine indica* (L.) Gaertn”. En el libro resúmenes del XIX Congreso y XXXVII Reunión Anual de la Sociedad de Biología de Rosario 2017. Vol 1, núm. 1. Año 2017. ISSN: 2314-1484. Tipo de publicación: resumen breve.

Brunori, A.; Herranz, F.; Balassone, F.; Puricelli, E. “Control de biotipos de *Eleusine tristachya* (lam.) lam. con distintas dosis de glifosato”. En las actas del II Congreso Argentino de Malezas ASACIM 2018: Ciencia, producción y sociedad: hacia un manejo sustentable, realizado los días 5 y 6 de junio de 2018 en el City Center Rosario, Santa Fe. Tipo de publicación: resumen breve.

Brunori, A.; Montechiarini, N.; Gosparini, C.; Lescano, M.; Herranz, F.; Puricelli, E. “Germinación de *Eleusine indica* (L.) Gaertn: Rol del tegumento”. En las actas del II Congreso Argentino de Malezas ASACIM 2018: Ciencia, producción y sociedad: hacia un manejo sustentable, realizado los días 5 y 6 de junio de 2018 en el City Center Rosario, Santa Fe. Tipo de publicación: resumen extendido.

INDICE

Agradecimientos	3
-----------------------	---

Publicaciones y presentaciones a congresos.....	6
Abreviaturas y símbolos.....	10
Resumen	11
Summary	13
CAPÍTULO I	15
Introducción general y descripción del problema.....	16
Concepto de maleza	16
Problemática.....	17
Clasificación taxonómica de <i>Eleusine</i> spp.....	17
Origen, distribución geográfica e importancia.....	18
Ciclo de vida y descripción botánica	19
Caracterización de la zona de estudio	22
Justificación, objetivos, hipótesis y estructura del trabajo.....	23
Objetivo general.....	23
Objetivos específicos	23
Hipótesis.....	24
Estructura de la tesis.....	26
CAPÍTULO II	28
Control Químico. Efecto de las dosis de herbicidas postemergentes sobre el control a corto plazo de <i>Eleusine indica</i> , y a corto y largo plazo de <i>Eleusine tristachya</i>	29
Resumen	29
Introducción	30
Hipótesis	31
Materiales y métodos.....	31
Identificación de los biotipos.....	31
Diseño experimental.....	32 a)
Control a corto plazo.....	33 b)
Control a largo plazo.....	33
Resultados.....	34
a) Control a corto plazo.....	34 b)
Control a largo plazo.....	51
Discusión	54
Conclusiones	55
CAPÍTULO III	57

Competencia entre el cultivo de soja y las malezas <i>Eleusine indica</i> y <i>Eleusine tristachya</i> ..	Resumen
58	
.....	58
Introducción	59
Definición de interferencia, competencia y alelopatía.....	59
Evaluación de la competencia.....	61
Análisis del crecimiento de las plantas	62
Hipótesis	62
Materiales y métodos.....	63
Rendimiento relativo total (RYT) e índice de agresividad (AI).....	
64 Parámetros de crecimiento	
65	
Resultados y discusión	66
<i>RYT</i> _{biomasa}	66
Agresividad biomasa.....	72
<i>RYT</i> _{semillas}	72
Agresividad semillas	74
Altura de la planta	75
Parámetros de crecimiento	76
Producción de semillas	79
CAPÍTULO IV	81
Demografía de <i>Eleusine indica</i> y <i>Eleusine tristachya</i> en barbecho y en el cultivo de soja...	Resumen
82	
.....	82
Introducción	83
Hipótesis	87
Experimento 1. Demografía de <i>E. indica</i> y <i>E. tristachya</i> en el barbecho y en soja	
88 Diseño experimental	
88 Resultados.....	91
<i>Emergencia</i>	92
<i>Mortalidad</i>	105
<i>Producción de biomasa de las malezas</i>	108
<i>Producción de semillas de las malezas</i>	108
<i>Banco de semillas</i>	109
<i>Reclutamiento</i>	111
Discusión	111
Experimento 2. Efecto de la profundidad de entierro en la longevidad de la semilla de <i>Eleusine indica</i> y <i>Eleusine tristachya</i>	117
Introducción	117
Hipótesis	117

	8
Diseño experimental	118
Resultados.....	118
Discusión	119
CAPÍTULO V	121
Factores de las hojas que afectan la absorción de herbicidas y daño anatómico foliar causado por herbicidas en <i>Eleusine indica</i> y <i>Eleusine tristachya</i> en dos estados de crecimiento	122
Resumen	122
Introducción	123
Hipótesis	128
Materiales y Métodos.....	129
<i>Caracterización de la superficie foliar</i>	129
<i>Caracterización de cantidad de ceras epicuticulares</i>	130
<i>Estudios anatómicos foliares</i>	130
Resultados.....	131
<i>Caracterización de la superficie foliar y cantidad de ceras epicuticulares</i>	131
<i>Anatomía foliar</i>	134
Discusión	141
Conclusiones	145
CAPÍTULO VI	146
Reseña de tesis, análisis de las hipótesis y posibilidades de investigación futura.....	
147 Reseña de tesis	
147 Análisis de las hipótesis	
147 Líneas futuras de investigación.....	
151	
BIBLIOGRAFÍA	153

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

µm: micrómetro

A: *Eleusine tristachya* biotipo Aranguren

C: *Eleusine tristachya* biotipo Crespo

DDA: días después de la aplicación

DDE: días desde la emergencia

DDS: días después de la siembra

-dim: herbicida cicloheximida

EC: concentrado emulsionable

ED₅₀: dosis efectiva de herbicida que produce el 50 % de control de maleza **ED₉₀:** dosis efectiva de herbicida que produce el 90 % de control de maleza **-fop:** herbicida ariloxifenoxi

g: gramos.

h: hora.

ha: hectárea.

L: litro

m: metro.

min: minuto.

mL: mililitro.

n: número.

°C: grados Celsius

RYT: rendimiento relativo total

RY: rendimiento relativo

TDM: materia seca total por planta

RGR: tasa de crecimiento relativo

ACCasa: acetil coenzima carboxilasa

e.a.: equivalente ácido

i.a.: ingrediente activo

Zi: *Eleusine indica* biotipo Zavalla

Zt: *Eleusine tristachya* biotipo Zavalla

s: segundo

SL: líquido soluble

µmol: micromoles

RESUMEN

Las malezas son plantas que interfieren con la actividad productiva agrícola, están adaptadas a los ambientes modificados por el hombre y constituyen una de las principales causas de pérdida de rendimientos de los cultivos. En Argentina se ha incrementado el problema de malezas gramíneas de difícil control con glifosato y graminicidas en el barbecho y en el cultivo de soja. Es necesario generar conocimientos en la región sojera núcleo sobre las malezas de gran difusión como *E. indica* y especialmente de especies problemáticas de reciente aparición como *E. tristachya* de la que no se dispone de información a nivel mundial. Los objetivos de esta tesis fueron estudiar la bioecología y el control de *E. indica* y *E. tristachya* en el barbecho y en el cultivo de soja, abordando i) la caracterización de la sensibilidad de biotipos a glifosato y graminicidas en distintos estados de crecimiento; ii) la competencia entre las malezas y el cultivo de soja a través del análisis de la complementariedad de recursos (RYT) y la habilidad competitiva (IA) mediante la biomasa y producción de semillas; y de la altura y la tasa de crecimiento relativo (RGR) y producción de biomasa (TDM); iii) la dinámica poblacional con y sin herbicidas, la emergencia y mortalidad por cohortes, la producción de biomasa, la producción y longevidad de semillas; iv) el estudio de factores que afectan la absorción de estos herbicidas en dos estados de crecimiento de las malezas.

Los siguientes estudios se realizaron en el campo experimental de la Facultad de Cs. Agrarias UNR en Zavalla, Santa Fe:

Se determinó entre 2016 y 2018, el efecto de los herbicidas (glifosato, haloxifop-metil y cletodim) en el corto plazo (biomasa 30 días después de la aplicación-DDA-) y en el largo plazo (número de macollos, altura y producción de semilla - rebrote 330 DDA) – utilizando un diseño factorial en macetas con tres biotipos de *E. tristachya* y un biotipo de *E. indica* y

se les aplicó 10 dosis de herbicidas en el estado de plántula, vegetativo y reproductivo. Los datos de biomasa fueron ajustados a un modelo log-logístico. El control de *E. indica* en el estado de plántula y de los biotipos de *E. tristachya* en los estados de plántula y vegetativo en el corto plazo se logró con ED₅₀ y ED₉₀ menores o iguales a las recomendadas para todos herbicidas. En cambio, *E. indica* en los estados vegetativo y reproductivo y *E. tristachya* en el estado reproductivo requirió mayores dosis con los tres herbicidas. El control a largo plazo de *E. tristachya* a la dosis recomendada o inferior no es aceptable en el estado reproductivo ya que se observó rebrote con todos los herbicidas.

Se estableció un banco artificial de semillas a partir del cual se identificaron tres cohortes diferentes todos los años. En *E. indica* y *E. tristachya* en 2016 no hubo diferencias en el número de plantas con y sin herbicida y la segunda cohorte presentó el mayor número de emergencias. En 2017 en ambas especies hubo mayor número de plantas sin

herbicidas. La tercera cohorte produjo menos plantas que las dos primeras. Sin aplicación de herbicida en la primera cohorte, la mortalidad de *E. indica* en 2016 fue menor que en *E. tristachya*. En 2017 no hubo diferencias. En la segunda y tercera cohorte la mortalidad fue del 100 %, lo que se atribuye a la competencia ejercida por el canopeo, ya que en el momento de emergencia de la segunda cohorte, la soja se encontraba en el estado V3-V4.

El estudio de la competencia se realizó en macetas a la intemperie durante 2016 y 2017 mediante un diseño aditivo. La cantidad de semillas producidas por planta fue superior para *E. indica* vs *E. tristachya*. Ambos años, RYT_{biomasa} y RYT_{semillas} entre malezas no fue significativamente diferente de 1, indicando competencia completa o ausencia de complementariedad de recursos. La biomasa de *E. indica* en presencia de *E. tristachya* en relación con su monocultura creció 80 %, mientras que *E. tristachya* en presencia de *E. indica* aumentó 26 %. Por lo tanto, la reducción del crecimiento debido a la competencia fue menor para *E. indica*. En los estadíos R3 y R5 de la soja, *E. indica* presentó mayor altura que el cultivo y que *E. tristachya*. RGR entre ambas especies de *Eleusine* no difirió, excepto a los 7 días después de la emergencia (DDE) y en los momentos de RGR máximo para cada especie (0,37 a 42 DDE en *E. indica* y 0,32 a 49 DDE en *E. tristachya*). Estos resultados también señalan que *E. indica* alcanzó su máximo RGR antes que *E. tristachya*. La TDM al final del ciclo de crecimiento en *E. indica* es 90 g superior que la de *E. tristachya*.

En la Facultad de Cs. Agrarias UNL en Esperanza se realizó la caracterización morfológica y anatómica foliar de *Eleusine indica* (Zavalla) y de tres biotipos de *Eleusine tristachya* (Aranguren, Crespo y Zavalla) en estado vegetativo y reproductivo, a través de la cuantificación de tricomas, estomas, y la cantidad de ceras epicuticulares; y de la evaluación del daño anatómico foliar a las 96 h post aplicación de glifosato y graminicidas. La densidad estomática aumentó en todos los casos en el estado reproductivo en relación al estado vegetativo. La cantidad de ceras epicuticulares en estado vegetativo y reproductivo fue mayor para los biotipos de *E. tristachya* Aranguren y Crespo. No se hallaron diferencias

entre estados de crecimiento para cada especie y biotipo. Todos los herbicidas produjeron cambios en la anatomía foliar de las malezas, principalmente en el espesor de los tejidos de la hoja.

La integración de los conocimientos generados sobre la bioecología y control de *Eleusine indica* y *Eleusine tristachya* suscitará el diseño de estrategias y tácticas de control que de manera integrada permitan un abordaje sustentable de los agroecosistemas de la región pampeana.

Palabras Claves: MALEZAS GRAMÍNEAS- HERBICIDAS – DINÁMICA POBLACIONAL

12

ASPECTS OF THE BIOLOGY AND CONTROL OF *Eleusine indica* AND *Eleusine tristachya*
IN FALLOWS AND SOYBEANS

SUMMARY

Weeds are plants that interfere with agricultural productive activity, are adapted to man modified environments and constitute one of the main causes of loss of crop yields. In Argentina, concern about grassy annual weeds control with glyphosate and graminicides in fallow and soybean cultivation has increased lately. It is necessary to generate knowledge in the central soybean region about widespread weeds such as *E. indica* and especially of problematic species of recent appearance such as *E. tristachya* for which there is no information available worldwide. The objectives of this thesis were to study the bioecology and control of *E. indica* and *E. tristachya* in the fallow and in soybean, addressing i) the characterization of the biotypes sensitivity to glyphosate and graminicide in different growth stages; ii) competition between weeds and soybean through the analysis of resource complementarity (RYT), competitive ability (AI), and biomass and seed production; and height and relative growth rate (RGR) and biomass production determined by total dry matter (TDM); iii) population dynamics with and without herbicides, emergence and mortality in each cohort, biomass and seed production and seed longevity; iv) the study of factors that affect the absorption of glyphosate and graminicides in two stages of weed growth.

The following studies were conducted in the experimental field of the Facultad Cs. Agrarias UNR at Zavalla, Santa Fe:

Between 2016 and 2018, the effect of herbicides (glyphosate, haloxyfop-methyl and cletodim) was determined in the short term (biomass 30 days after application-DDA-) and in the long term (number of tillers, height and production of seed - regrowth 330 DDA) - using a factorial design in pots with three biotypes of *E. tristachya* and a biotype of *E. indica* and 10 doses of herbicides were applied in the seedling, vegetative and reproductive stage. The biomass data were adjusted to a log-logistic model. The control of *E. indica* at the seedling

stage and of the biotypes of *E. tristachya* at the seedling and vegetative stages in the short term was achieved with ED₅₀ and ED₉₀ less than or equal to those recommended for all herbicides. In contrast, *E. indica* at the vegetative and reproductive stages and *E. tristachya* at the reproductive stage required higher doses with the three herbicides. Long-term control of *E. tristachya* at the recommended or lower dose is not acceptable in the reproductive stage since regrowth was observed with all herbicides.

An artificial seed bank was established, and three different cohorts were identified every year. For *E. indica* and *E. tristachya* in 2016 there were no differences in the number of plants with and without herbicide and the second cohort showed the highest emergence.

13

In 2017 in both species density was higher without herbicides. The third cohort produced fewer plants than the first two. Without herbicide application in the first cohort, the mortality of *E. indica* in 2016 was lower than for *E. tristachya*. In 2017 there were no differences. In the second and third cohort the mortality was 100%, which is attributed to the competition exerted by the canopy, since at the time of emergence of the second cohort, soybean were in the V3-V4 stages.

The study of the competition was carried out outdoors in pots during 2016 and 2017 using an additive design. The quantity of seeds produced per plant was higher for *E. indica* vs. *E. tristachya*. Both years, RYT_{biomass} and RYT_{seeds} among weeds was not significantly different from 1, indicating complete competition or lack of resource complementarity. The biomass of *E. indica* in the presence of *E. tristachya* in relation to its monoculture was 80%, while *E. tristachya* in the presence of *E. indica* was 26%. Therefore, the reduction in growth due to competition was lower for *E. indica*. In R3- R5 of soybean stages, *E. indica* showed greater height than the crop and than *E. tristachya*. RGR did not differ between both species of *Eleusine*, except at 7 days after emergence (DAE) and at periods of maximum RGR for each species (0.37 to 42 DDE in *E. indica* and 0.32 to 49 DDE in *E. tristachya*). These results also indicate that *E. indica* reached its maximum RGR before *E. tristachya*. TDM at the end of the growing season was 90 g higher for *E. indica* than for *E. tristachya*.

At Facultad Cs. Agrarias UNL at Esperanza, the morphological and anatomical characterization of *Eleusine indica* (Zavalla) and three biotypes of *Eleusine tristachya* (Aranguren, Crespo and Zavalla) were carried out in a vegetative and reproductive stages, through the quantification of trichomes, stomata, and amount of epicuticular waxes; and the evaluation of the anatomical damage foliar at 96 h post application of glyphosate and graminicides. Stomatic density increased in all cases in the reproductive relative to the vegetative stage. The amount of epicuticular waxes in the vegetative and the reproductive stages were higher for the biotypes of *E. tristachya* Aranguren and Crespo. No differences were found between growth stages for each species and biotype. All herbicides produced changes in the leaf anatomy of the weeds, mainly in the thickness of the leaf tissues.

Integration of the results obtained about the bioecology and control of *Eleusine indica* and *Eleusine tristachya* will contribute to the design of control strategies and tactics so as to allow a sustainable management of the agroecosystems of the soybean central region.

Keywords: GRASSY WEEDS - HERBICIDES - POPULATION DYNAMICS

CAPÍTULO I

14

Introducción general y descripción del problema

CAPÍTULO I

Introducción general y descripción del problema

Concepto de maleza

Históricamente, los agricultores han reconocido que las especies no cultivadas interferían con el crecimiento del cultivo (Martínez Ghera et al., 2000). Las malezas prosperan en hábitats perturbados y producen suficiente número de semillas viables (Cavers, 1983). Existen numerosas definiciones de maleza como la de Ralph Waldo Emerson: "planta cuyas

virtudes aún no se han descubierto". La mayoría de las definiciones modernas consideran a las plantas de malezas como indeseables. Las plantas no son deseadas por muchas razones, siendo la principal la idea de que la planta de maleza dificulta la actividad humana. Tradicionalmente, las malezas son plantas no deseadas que interfieren con la utilización de los recursos de la tierra y el agua y, por lo tanto, afectan negativamente el bienestar humano" (Rao, 2000). Esta definición no se refiere a la biología de las plantas de malezas, sino que sugiere que las malezas solo interfieren con la actividad de los humanos. Además, esto lleva a comprender que los cultivos que crecen espontáneamente pueden considerarse a veces malezas. Navas (1991) incluyó aspectos biológicos y ecológicos en la definición de malezas: "Las malezas son plantas que forman poblaciones que pueden ingresar a hábitats cultivados y potencialmente afectar a las poblaciones de plantas cultivadas. Aldrich y Kremer (1997) definieron a nivel ecológico una maleza como "una planta que se originó en un entorno natural y, en respuesta a los ambientes naturales o impuestos, evolucionó, y continúa haciéndolo, como una asociación que interfiere con nuestros cultivos y actividades". En esta definición, las malezas se reconocen como parte de un "ecosistema dinámico". Crawley (1997) reconoció las dificultades de la definición de malezas y sugirió que para que una especie se considere maleza debe encontrarse en una densidad por encima de un nivel específico que cause un daño.

En la presente tesis se considera a la maleza como una especie de planta que interfiere con la actividad productiva agrícola, está adaptada a los ambientes modificados por el hombre y constituye una de las principales causas de pérdida de rendimientos de los cultivos (Bedmar et al., 2000).

Problemática

Descripción del problema

Las malezas constituyen una de las principales causas de pérdida de rendimientos de los cultivos (Bedmar et al., 2000). El pasaje de labranza convencional a siembra directa primero, y a partir de 1997 la introducción de cultivares transgénicos resistentes a glifosato ha producido cambios en las comunidades de malezas (Faccini y Puricelli, 2007; Puricelli y Faccini, 2009). En la actualidad, los materiales resistentes a glifosato representan prácticamente el 100% de la superficie de soja y el 75% de la superficie de maíz (Trigo, 2016).

Entre las malezas presentes en el cultivo de soja las gramíneas, tanto anuales como perennes, se han convertido en uno de los principales problemas para la región sojera

núcleo, elevando año tras año los costos en herbicidas para su control (Tuesca y Puricelli, 2007, CREA; 2015; Carta y Baudrix, 2019). Dos exponentes son *Eleusine indica* (L.) Gaertner y como especie de reciente aparición del mismo género, *E. tristachya* (Lam.) Lamarck. Ambas especies se encuentran a menudo creciendo juntas en los mismos cultivos agrícolas.

Eleusine indica es una especie anual, ampliamente difundida en distintas partes del mundo, y descrita por Holm et al. (1977) como la quinta maleza más importante del mundo en un ranking compuesto por 18 malezas. Al presente posee 35 biotipos resistentes a herbicidas alrededor del mundo, de los cuales 5 corresponden a resistencia múltiple (Ng et al, 2004, Vargas et al., 2013, Scarabel et al. 2014, Heap, 2019). Por otro lado, la especie perenne *E. tristachya*., cuya reproducción se logra a través de semillas y rizomas, fue hasta hace poco tiempo un problema menor ya que se encontraba en relictos y ocasionalmente en lotes de producción en muy bajas densidades (Puricelli et al., 2012), pero recientemente se incrementó su importancia en los barbechos, en soja [*Glycine max* (L.) Merr.] y otros cultivos de verano como una especie de difícil control (Acciaresi et al., 2018), si bien no se han determinado biotipos resistentes de esta maleza.

Clasificación taxonómica de *Eleusine* spp.

Reino: Plantae

División: Spermatophyta

Subdivisión: Angiospermae

Clase: Monocotyledoneae

Orden: Poales

Familia: Gramíneas o Poaceae

17

La familia Poaceae presenta un número significativo de especies que se han convertido en invasoras

Género: *Eleusine* Gaertner incluye 9-11 especies, siete de las cuales viven en África, que parece ser el centro de la diversificación del género (Phillips 1972). Se puede dividir en dos grupos de especies, anuales o perennes (Blumenthal y Jordan, 2001) reconocidas como un problema en los agroecosistemas a nivel mundial (Steinmann y Klingebiel, 2004).

En cada grupo, las diferencias entre las especies suelen ser pequeñas. Se analizan a continuación las especies consideradas en esta tesis:

1) Nombre científico: *Eleusine indica* (L.) Gaertner

Nomenclatura

Nombre común en la región de estudio: pata de ganso. Otros nombres comunes en español: pie de gallina, grama, horquetilla, paja de burro, pasto amargo, grama carraspera. Nombres comunes en inglés: goosegrass, crowsfoot grass, yard grass, wire grass (CABI, 2019).

2) Nombre científico: *Eleusine tristachya* (Lam) Lamarck

Nomenclatura

Nombre común en la región de estudio: pasto ruso, pata de perdíz, pata de gallo. Otros nombres comunes en español: pata de gallo, pata de perdiz. Nombres comunes en inglés: three-spiked goosegrass, goosegrass, crowsfoot grass (CABI, 2019)

Origen, distribución geográfica e importancia

Eleusine indica es una gramínea exótica introducida en América que está distribuida en los trópicos especialmente en Asia, África, Sudamérica y en el sur de Norteamérica. Su hábitat es amplio encontrándose desde el nivel del mar hasta los 2500 m salvo en regiones de clima frío. Está catalogada como una de las malezas gramíneas más importantes del mundo y se ha informado que es dañina en 45 cultivos en huertos, granjas de hortalizas y cultivos agronómicos como el maíz (Kissmann, 1997) y la soja (Ulguim, 2016, Puricelli et al, 2012) en más de 60 países (Holm et al., 1977, Holm et al., 1979; Radosevich et al., 1997; Lee y Ngim, 2000; Randall, 2012; Ma et al., 2015). Una sola planta puede producir más de 50,000 semillas pequeñas, que pueden ser fácilmente dispersadas por el viento y el agua, adheridas a pieles de animales y maquinaria y como contaminantes en el suelo (Waterhouse, 1993). Invade hábitats perturbados en áreas naturales y en los márgenes de

18

bosques naturales y pastizales, marismas, arroyos y áreas costeras. También es una maleza común a lo largo de rutas, caminos y corredores de líneas eléctricas (Departamento de Industrias Primarias y Pesca de Queensland, 2011). Actualmente está catalogada como invasiva en varios países de Europa, Asia, América Central y del Sur, el Caribe y en muchas islas del Océano Pacífico. El estatus migratorio en Argentina es el de especie naturalizada.

Eleusine tristachya es autóctona del norte y centro de Argentina y países limítrofes (Burkart, 1969; Phillips, 1972; Willis, 1973; Troiani, 2008). Se encuentra presente en América del Norte y Europa como especie invasora (CABI, 2019). Puede presentarse en los alrededores de poblaciones y en la vegetación urbana.

Ciclo de vida y descripción botánica

Eleusine indica es una especie cosmopolita, anual, de ciclo estival. Forma matas de 30 a 60 cm de altura (Foto 1.4) Posee tallos comprimidos, subglabros, de sección elíptico, tenaces, con hojas y ramificaciones basales y caulinares (Foto 1.2, 1.3). Sus hojas son lineales, dísticas, con lígula muy brevemente membranosa y pestañosa (Foto 1.1). Presenta además innovaciones intravaginales. Su estructura reproductiva está compuesta por numerosas espigas digitadas en el ápice, con espiguillas sésiles, comprimidas, glabras y múticas (Foto 1.5). Su fruto es un aquenio utrículo, ovoide, grueso, oscuro, de 2 mm largo (Burkart, 1969; Gasser y Vegetti, 1997).

Eleusine tristachya es perenne, de ciclo primavera estival. Se encuentra presente en Sudamérica cálida, especialmente en Argentina y Uruguay. Asimismo, también se encuentra naturalizada en otros países. Es cespitosa, forma matas densas de 10 a 45 cm de altura (Foto 1.4). Posee tallos delgados, tenaces, comprimidos (Foto 1.2, 1.3). Sus hojas son lineales, plegadas, con su zona ligular pálida, a veces con un mechón de pelitos sedosos y su lígula es brevemente membranosa y pestañosa (Foto 1.1). Su estructura reproductiva está compuesta por espigas en cantidades variables de una a tres, cortas y gruesas, digitadas en la extremidad, con un mechón de pelos sedosos en su inserción (Foto 1.5). El fruto es un aquenio utrículo de 2 mm de longitud, grueso, ovoide, de color oscuro (Burkart, 1969, Gasser y Vegetti, 1997). Ambas especies emergen a mediados de octubre y vegetan hasta mayo, creciendo en los cultivos estivales. Florecen desde fines de enero hasta el otoño (Parodi, 1964).

19



Foto 1.1. *Eleusine indica* (izquierda) y *Eleusine tristachya* (derecha) en estado vegetativo. Plántula



Foto 1.2. *Eleusine indica* (izquierda) y *Eleusine tristachya* (derecha) en estado vegetativo. Planta chica



Foto 1.3. *Eleusine indica* (izquierda) y *Eleusine tristachya* (derecha) en estado vegetativo. Pre-reproductivo



Foto 1.4. *Eleusine indica* (izquierda) y *Eleusine tristachya* (derecha) en plena floración y fructificación



Foto 1.5. Inflorescencia de *Eleusine indica* (izquierda) y *Eleusine tristachya* (derecha)

Control químico

Herbicidas utilizados

Eleusine indica y *E. tristachya* son susceptibles a prácticamente todos los grupos de herbicidas estándar que controlan gramíneas (en paréntesis algunos ejemplos): ureas sustituidas (diuron), uracilos (bromacilo), triazinas (atrazina), dinitroanilinas (trifluralina), dimetiléteres (oxifluorfen), graminicidas (fluazifop, sethoxydim), imidazolinonas (imazaquin), propanil, oxadiazón, clomazone, quinclorac, difenamida, paraquat, glufosinato, glifosato y flumioxazin (CABI, 2019).

Resistencia

El uso de herbicidas en la actualidad está siendo amenazado por la evolución de malezas resistentes y tolerantes (Duke & Powles, 2008, Heap 2019). A pesar de existir muchos mecanismos de acción, el control de *Eleusine indica* se ha visto comprometido por el desarrollo de resistencia a algunos herbicidas. La primera resistencia que se detectó fue a

21

trifluralina perteneciente al grupo dinitroanilinas en los EEUU. y se ha demostrado que hay resistencia cruzada a todos los demás herbicidas de este grupo (Vaughn et al., 1990). En Costa Rica, Valverde et al., (1993) informó la resistencia al imazapyr con resistencia cruzada a otras imidazolinonas y a sulfonilurea. Dos años más tarde, Leach et al., (1995) encontró resistencia cruzada de fluazifop-butil con a la mayoría de los graminicidas en Malasia. Asimismo, se ha reportado resistencia a quinclorac (Yukari et al., 2009), Otros biotipos resistentes a ariloxifenoxipropionato y ciclohexanodiona se han reportado en Malasia desde 1989, pero eran fácilmente controlados con glifosato. En EEUU también se encontró resistencia a este grupo de herbicidas (McCullough et al., 2016). Más tarde, se encontró un biotipo resistente a glifosato con un índice de resistencia de 8 a 12 (Lee

LimJung y Ngim, 2000). Dill et al. (2000) informaron que no hubo diferencias significativas en la absorción y translocación de glifosato en biotipos resistentes y sensibles. Doll (2000) afirmó que la resistencia al glifosato es de tipo *target*. Las poblaciones resistentes al glifosato también se han confirmado en EEUU (Mueller et al., 2011) y con menores valores de resistencia en Rio Grande do Sul, Brasil (Vargas et al., 2013) y en Argentina (Ustarroz y Rainiero, 2013), en China (Chen et al., 2017) y en Bolivia (Heap, 2019). En Argentina se reportó un biotipo resistente a ACCasa (Devani, 2016). Se ha informado también la existencia de resistencia múltiple a glifosato, inhibidores de ACCasa y otros herbicidas (Heap, 2019). Al momento de la presentación de esta tesis no han sido reportados casos de resistencia a herbicidas para *E. trystachya*. Sin embargo, posee denuncias de técnicos y productores por ser una maleza de difícil control con herbicidas.

Caracterización de la zona de estudio

El área del estudio está ubicada en la pampa ondulada, en el sur de la provincia de Santa Fe, Argentina. La cuenca corresponde a la del Arroyo Ludueña, a pocos kilómetros de sus nacientes, por lo que ocupa una posición relativamente elevada.

Posee un clima subhúmedo-húmedo mesotermal con inviernos fríos y veranos calurosos. Se presentan los promedios históricos de los últimos 46 años (1973-2018) de la Estación Agrometeorológica ubicada en Zavalla, Santa Fe (lat. 33° 01 'S; long. 60° 53'). La temperatura máxima fue 23 °C, la mínima de 11 °C y la media de 17 °C. El clima es caluroso desde octubre a abril (de 18 °C a 36 °C). La precipitación anual histórica en Zavalla fue de 901 mm. En la región, llueve más en verano que en invierno, con un volumen de precipitaciones total de entre 800 y 1300 mm al año.

22

La vegetación natural corresponde a la pampa santafesina caracterizada por una pradera o pseudoestepa donde la comunidad más importante en áreas altas y bien drenadas es el flechillar (*Stipa* spp.). Se realizan cultivos de invierno (trigo) y de verano (soja, maíz y girasol). El suelo se clasifica taxonómicamente como Argiudol vértico y pertenece a la serie Roldan (Rd11). Presenta una capa superficial pardo oscura (horizonte A) de 28 cm de espesor, moderadamente bien provista de materia orgánica (3,3 %), y una composición textural de 2 % arena, 74 % limo and 23 % arcilla con pH of 5,8. El paisaje se caracteriza por tener lomas extendidas planas con pendiente de 0,5 %.

Justificación, objetivos, hipótesis y estructura del trabajo

En Argentina se ha incrementado el problema de malezas gramíneas de difícil control con glifosato y graminicidas en el barbecho y en el cultivo de soja por lo cual es necesario generar conocimientos locales de la bioecología y el control de las malezas de gran difusión en la región como *E. indica* y especialmente de especies problemáticas de reciente aparición como *E. tristachya* de la que, para mi conocimiento, no se dispone de información a nivel mundial. De esta manera se suscitará el uso de un manejo racional de las tácticas de control que permita un abordaje sustentable de los agroecosistemas.

En este marco, el plan de trabajo comprende el estudio de la biología y el control de *E. indica* y *E. tristachya* en el barbecho y en el cultivo de soja, abordando la dinámica poblacional, la producción de biomasa, la producción y longevidad de semillas, la competencia entre estas malezas de verano y el cultivo de soja, la caracterización de la sensibilidad de biotipos a glifosato y graminicidas, y el estudio de factores que afectan la absorción de estos herbicidas en las especies bajo estudio.

Objetivo general

Estudiar la bioecología y el control de *Eleusine indica* y *Eleusine tristachya* en el barbecho y en el cultivo de soja.

Objetivos específicos

Estudiar para ambas malezas:

1. el control con distintas dosis de herbicidas (glifosato, graminicidas ariloxifenoxi (fop) y cicloheximidias (dim) en distintos estadios de desarrollo
2. la complementariedad de recursos y la habilidad competitiva en base a materia seca y semillas, y la altura en competencia entre sí y con el cultivo de soja
3. la materia seca total por planta (TDM), tasa de crecimiento relativo (RGR) y la producción de semillas
4. la dinámica poblacional en el barbecho y en el cultivo de soja con y sin herbicida
5. la longevidad de las semillas
6. los factores que afectan la absorción de los herbicidas: características de la superficie foliar, cantidad de las ceras epicuticulares, el espesor y el aspecto de la cutícula foliar
7. el daño producido por el glifosato y los graminicidas en la anatomía foliar

Hipótesis

Se plantearon las siguientes hipótesis

Asociadas al objetivo n°1

- a) La sensibilidad medida a nivel de DL_{50} con glifosato del biotipo de *E.indica* es mayor que la de los biotipos de *E. tristachya*.
- b) La sensibilidad medida a nivel de DL_{90} (que expresa el control esperado a campo) con glifosato del biotipo de *E.indica* es mayor que la de los biotipos de *E. tristachya*. c) Existe al menos un biotipo de *E. tristachya* que al estado de plántula posee una DL_{50} que supera en 4 veces o más la DL_{50} del resto indicando así la existencia de biotipos susceptibles y resistentes dentro de la especie.
- d) La DL_{90} con glifosato de *E. indica* es mayor que la de *E. tristachya* en todos los estadios de crecimiento y biotipos.
- e) Considerando la DL_{90} en relación a la dosis de uso, se requiere más dosis de glifosato que de graminicidas para controlar a todos los biotipos de *E. tristachya* y de *E. indica*.
- f) El rebrote de las plantas de *E. tristachya* aplicadas a la dosis de uso en estadio reproductivo se produce con glifosato, pero no con graminicidas.

Asociadas al objetivo n°2

- a) El rendimiento relativo (RY) evaluado a través de biomasa vegetal es mayor para la soja que para ambas malezas (*E. indica* y *E. tristachya*).
- b) El RY es mayor para *E. indica* en relación con *E. tristachya*.
- c) La complementariedad de recursos evaluada a través de la biomasa vegetal es mayor para la combinación soja - *E. tristachya* que para soja - *E. indica*.
- d) La complementariedad de recursos evaluada a través de la biomasa vegetal es mayor para la combinación soja-malezas que para las malezas entre sí. e) La habilidad competitiva evaluada a través de biomasa vegetal es mayor para la soja que para ambas malezas (*E. indica* y *E. tristachya*).
- f) La habilidad competitiva evaluada a través de biomasa vegetal es mayor para *E. indica* en relación con *E. tristachya*.
- g) El RY evaluado a través de la producción de semillas es mayor para la soja que para ambas malezas (*E. indica* y *E. tristachya*).
- h) El RY evaluado a través de la producción de semillas es mayor para *E. indica* en relación con *E. tristachya*.

24

Asociadas al objetivo n°3

- i) La tasa de crecimiento relativo (RGR) de *E. indica* es mayor que la de *E. tristachya* durante todo el ciclo

Asociadas al objetivo n°4

- a) La emergencia de ambas especies de *Eleusine* difieren en el inicio y en la cantidad de individuos.
- b) La mortalidad natural en el cultivo de soja de las plántulas es reducida en ambas especies en el primer año aumentando en el segundo en *E. indica* y en *E. tristachya*.
- c) La mortalidad artificial de plantas producida por glifosato es menor que la producida por el graminicida.
- d) El reclutamiento de ambas especies de *Eleusine* es estable entre años.
- e) El control del graminicida sobre la producción de semillas en todas las cohortes es superior al de glifosato.
- f) En el cultivo de soja, *Eleusine indica* posee mayor producción de semillas.m⁻² que *E. tristachya*.
- g) El banco de semillas sin control químico en postemergencia se incrementa más en *E. tristachya* que en *E. indica*.

Asociadas al objetivo n°5

- h) La longevidad de las semillas en superficie vs 5 cm de profundidad a los 24 meses es mayor, si bien el porcentaje de longevidad difiere entre especies.

25

Asociadas al objetivo n°6

- a) La densidad estomática, la densidad de tricomas y la cantidad de ceras en nomófilos de tres biotipos de *E. tristachya* y un biotipo de *E. indica* es distinta, afectando de manera diferencial la absorción y en consecuencia la eficacia de glifosato y graminicidas.
- b) La cutícula de individuos más desarrollados presenta una mayor acumulación de ceras que actúan como un compartimento de la acumulación de herbicidas y, por lo tanto, impiden mayormente la entrada de graminicidas y en menor medida de glifosato.

Asociadas al objetivo n°7

- c) El daño anatómico foliar en plantas *E. tristachya* y *E. indica* difiere con los herbicidas glifosato, cletodim y haloxifop; y con el estadio de desarrollo de la maleza.

Estructura de la tesis

El presente trabajo de tesis se organiza de la siguiente manera:

En el Capítulo I - “Introducción general y descripción del problema”, se brinda información general del tema de la tesis, se plantea la problemática, se caracterizan tanto la zona como las especies estudiadas y se plantean los objetivos.

En el Capítulo II - “Efecto de los herbicidas y dosis en el control de *Eleusine indica* y *Eleusine tristachya*”, se cuantifica la sensibilidad de cada maleza a glifosato y graminicidas inhibidores de ACCasa, considerando el estadio de las plantas al momento de la aplicación a través de curvas dosis-respuesta.

En el Capítulo III – “Competencia de *Eleusine indica* y *Eleusine tristachya* entre sí y con el cultivo de soja”, se analizan a través de un diseño aditivo diversos índices para cuantificar la complementariedad de recursos y la habilidad competitiva, relacionando la producción de biomasa y de semillas de cada especie en monocultura y en mezcla.

En el Capítulo IV – “Demografía de *Eleusine indica* y *Eleusine tristachya* en barbecho y en el cultivo de soja”, se estudia la dinámica poblacional a través de los cambios en densidad en los distintos estadios de ambas especies (semillas en el banco, plántulas, adultos y producción de semillas) a fin de identificar los procesos demográficos más vulnerables al empleo de herbicidas.

En el Capítulo V – “Factores de las hojas que afectan la absorción de herbicidas y daño anatómico foliar causado por herbicidas en *Eleusine indica* y *Eleusine tristachya* en dos

estados de desarrollo”, se comparan la densidad de tricomas, estomas, y la cantidad de ceras epicuticulares en *Eleusine indica* y en tres biotipos de *Eleusine tristachya* (Aranguren, Crespo y Zavalla) con el objetivo de analizar si estas características morfológicas contribuyen a una menor susceptibilidad a los herbicidas, y además se analizan las alteraciones producidas en la anatomía foliar de estas malezas luego de la aplicación de glifosato y graminicidas.

En el Capítulo VI- “Consideraciones finales, conclusión y estudios futuros”, se integran los conocimientos alcanzados en los capítulos precedentes y se señalan las perspectivas de posibles futuros estudios sobre el manejo de ambas malezas.

CAPÍTULO II

Control Químico

Efecto de las dosis de herbicidas postemergentes sobre el control a corto plazo de *Eleusine indica*, y a corto y largo plazo de *Eleusine tristachya*

CAPÍTULO II

Control Químico. Efecto de las dosis de herbicidas postemergentes sobre el control a corto plazo de *Eleusine indica*, y a corto y largo plazo de *Eleusine tristachya*

Resumen

Eleusine indica y *E. tristachya* se han constituido en Argentina como malezas problemáticas que pueden estar presentes en altas densidades en primavera y verano en barbechos y en maíz y soja. En particular, la razón del aumento de las poblaciones de *E. tristachya*, es que una vez que se establece la maleza, es difícil de eliminar ya que produce una gran cantidad de semillas y se genera un nuevo crecimiento de las plantas después de los tratamientos

con herbicidas. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de los herbicidas (glifosato, haloxifop-metil y cletodim) en el corto plazo (biomasa 30 días después de la aplicación-DDA-) y en el largo plazo (número de macollos, altura y producción de semilla - rebrote 330 DDA) - de biotipos de *E. tristachya* y *E. indica* aplicados en el estado de plántula, vegetativo y reproductivo. Los datos de biomasa fueron ajustados a un modelo log logístico. El control de *E. indica* en el estado de plántula y de los biotipos de *E. tristachya* en los estados de plántula y vegetativo en el corto plazo se logró con ED₅₀ y ED₉₀ menores o iguales a las recomendadas para todos herbicidas. En cambio, *E. indica* en los estados vegetativo y reproductivo y *E. tristachya* en el estado reproductivo requirieron mayores dosis con los tres herbicidas. En *E. tristachya* los valores de ED₉₀ en estado reproductivo mostraron un aumento en relación al de plántula de 3 a 6 veces (glifosato), 6 a 52 veces (haloxifop-metil) y de 5 a 13 veces (cletodim). En *E. indica* este aumento fue de 2 a 4 veces para glifosato y no se pudo cuantificar para haloxifop-metil ni cletodim ya que los datos no ajustaron en estado reproductivo por el escaso control logrado a las máximas dosis ensayadas. El control a largo plazo de *E. tristachya* a la dosis recomendada o inferior no es aceptable en el estado reproductivo ya que el crecimiento de los macollos y la producción de semillas ocurrieron con todos los herbicidas. En consecuencia, se recomienda el control de *E. tristachya* al comienzo de la temporada de crecimiento ya que permite evitar infestaciones debidas al rebrote al año siguiente. Un programa de manejo basado en la combinación de glifosato con gramínicas post-emergencia aplicados en etapas tempranas será efectivo para controlar futuras infestaciones de la maleza.

Introducción

Eleusine indica y *E. tristachya* son capaces de colonizar rápidamente una variedad de ambientes diferentes. Ambas especies se propagan por semillas incrementando el banco en el suelo, y además *E. tristachya* lo hace también por rizomas lo que le permite reanudar el crecimiento luego del invierno. En Argentina, los cultivos agrícolas en la región sojera núcleo se encuentran mayoritariamente bajo sistemas de siembra directa (Alvarez y Steinbach, 2009) en los cuales la ausencia de remoción del suelo favorece la germinación y la emergencia de gramíneas de semillas pequeñas (Teasdale et al., 1991).

A partir de la década del 90 a nivel mundial y en Argentina en particular, los productores adoptaron rápidamente el maíz y la soja resistente a glifosato en sus esquemas productivos (Sikkema y Soltani, 2007). En los últimos años en Argentina, las aplicaciones de glifosato en el barbecho y en los cultivos han aumentado significativamente (Benbrook, 2016). El glifosato es un herbicida foliar no selectivo que puede ser aplicado en presembrado,

preemergencia y postemergencia para el control de un amplio espectro de malezas anuales, bienales y perennes (Shaner, 2014). Además, el control de malezas gramíneas anuales y perennes se puede lograr mediante el uso de herbicidas inhibidores de la acetil coenzima carboxilasa (ACCasa) en los barbechos y en los cultivos agrícolas (Burton et al., 1989) siendo ampliamente utilizados en soja (Vidrine, 1989, Vidrine et al., 1995; Wall y Smith, 2000). Estos herbicidas se clasifican en ariloxifenoxipropionatos (FOP), ciclohexanodionas (DIM) y fenilpirazolina (DEN) según sus estructuras químicas (Hochberg et al., 2009). Aunque los herbicidas inhibidores de la ACCasa han demostrado ser muy eficaces en el control de malezas gramíneas, se han observado diferencias en los niveles de control entre distintas especies de gramíneas y biotipos. *Eleusine indica* posee varios biotipos resistentes al glifosato y ACCasa en distintas partes del mundo como se ha comentado en el Capítulo 1.

Norsworthy et al. (2012) han informado que aplicaciones tardías de glifosato o graminicidas en los cultivos es una opción potencial para disminuir la producción de semillas y los escapes de gramíneas perennes como *Sorghum halepense*. Sin embargo, como se ha comentado, en *E. tristachya* se han observado rebrotes después de tratamientos de dichos herbicidas postemergentes en plantas provenientes de semillas, lo cual la convierte en una especie de difícil manejo con herbicidas en el largo plazo.

La determinación de la dosis de herbicida más adecuada de acuerdo al estado de desarrollo de las malezas ayuda a los productores a maximizar el control de las malezas y el rendimiento del cultivo. El pequeño tamaño de las plantas de malezas en el momento de la aplicación de herbicida es un factor clave para lograr un control adecuado, ya que en un estado temprano las malezas son más susceptibles (Klingman et al., 1992; Soltani et al.,

2016). El tamaño de la maleza influye particularmente en la eficacia de glifosato (Shrestha et al., 2007) y graminicidas (Friesen et al., 1976). Para *E. tristachya* y *E. indica* no hay información sobre la dosis biológicamente efectiva de herbicidas postemergentes en función de sus estados de desarrollo, y una mejor comprensión de las diferencias en el control entre los biotipos es esencial para desarrollar estrategias de manejo a corto y largo plazo. Los objetivos de este capítulo fueron determinar el control de los herbicidas postemergentes (glifosato, haloxifop-metil y cletodim) a diferentes dosis entre biotipos de *E. tristachya* y un biotipo de *E. indica* en tres etapas (plántula, vegetativa y reproductiva) a corto plazo mediante la reducción de la biomasa y en el largo plazo a través del efecto sobre el número de macollos, altura de la planta y la producción de semillas.

Hipótesis

- a) La sensibilidad medida a nivel de DL_{50} con glifosato del biotipo de *E. indica* es mayor que la de los biotipos de *E. tristachya*.

- b) La sensibilidad medida a nivel de DL_{90} (que expresa el control esparado a campo), con glifosato del biotipo de *E. indica* es mayor que la de los biotipos de *E. tristachya*. c) Existe al menos un biotipo de *E. tristachya* que al estado de plántula posee una DL_{50} que supera en 4 veces o más la DL_{50} del resto indicando así la existencia de biotipos susceptibles y resistentes dentro de la especie.
- d) La DL_{90} con glifosato de *E. indica* es mayor que la de *E. tristachya* en todos los estados de crecimiento y biotipos.
- e) Considerando la DL_{90} en relación a la dosis de uso, se requiere más dosis de glifosato que de graminicidas para controlar a todos los biotipos de *E. tristachya* y de *E. indica*.
- f) El rebrote de las plantas de *E. tristachya* aplicadas a la dosis de uso en estado reproductivo se produce con glifosato, pero no con graminicidas.

Materiales y métodos

Los experimentos se realizaron en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias UNR (lat. 33°01'S, long. 60°53'O), Zavalla, Santa Fe, Argentina.

Identificación de los biotipos

En 2016 se recolectaron semillas en tres campos de la región sojera central de Argentina: Aranguren, Entre Ríos (A) {Lat. 32° 14' S Long. 60° 07' O}; Crespo, Entre Ríos (C) {Lat. 32° 02' S, Long. 60° 21' O} y Zavalla, Santa Fe (Zt) {Lat. 33°02'S Long. 60°52'O} para *E.*

tristachya. Asimismo, en Zavalla (Santa Fe) se recolectó semilla de *E. indica* (Zi). Los muestreos se realizaron en 100 plantas en cada sitio. Los campos en cada región comparten una historia agrícola de al menos 10 años caracterizada por el uso recurrente de glifosato y aplicaciones ocasionales de graminicidas. Todos los biotipos de *E. tristachya* utilizados habían sobrevivido a múltiples aplicaciones de glifosato con un efecto adverso reducido, mientras que el biotipo de *E. indica* había presentado algunas dificultades en su control con glifosato a la dosis de uso.

Las muestras de semillas se almacenaron a temperatura ambiente por 6 meses en el laboratorio hasta su siembra. Parte de esas semillas fueron sembradas en macetas aisladas en invernadero para la multiplicación y conservación de cada biotipo.

En cada año se sembraron semillas de los cuatro biotipos en macetas de 5 L (19 cm de profundidad, 20 cm de ancho) con orificios de drenaje. La tierra fue tamizada a través de una zaranda de 5 mm y luego desinfectada durante 24 h a 80 ° C. Las macetas se mantuvieron al aire libre para representar las condiciones naturales de luz y temperatura durante el barbecho primavera-estival, y se regaron regularmente. Cuando las plantas

tuvieron dos hojas se ralearon a una planta por maceta. Cada maceta que contenía una plántula fue considerada una unidad experimental.

Diseño experimental

El diseño experimental fue factorial con cuatro repeticiones donde el primer factor fue la especie/biotipo con cuatro niveles [A, C, Zt y Zi]; el segundo factor fue el estado de desarrollo con tres niveles [plántula (A, C, Zt con 4 macollos y 7 cm de altura en promedio, y Zi con con 2,5 macollos y 13 cm de altura, en promedio), vegetativo (A,C, Zt con 12 macollos y 20 cm de altura en promedio y Zi con 4 macollos y 50 cm de altura en promedio), y reproductivo (A,C, Zt con 25 macollos y 37 cm de altura, en promedio y Zi con 5 macollos y 70 cm de altura en promedio)]; el tercer factor fue el herbicida con tres niveles [sin herbicida, Glifosato (Round up Ultra® SL, 360 g e.a. L⁻¹, Monsanto), haloxifop-metil (Galant® HL EC, 540 g i.a. L⁻¹, Dow) y cletodim (Select® EC, 240 g i.a. L⁻¹, Arysta Lifescience)]. Se utilizaron coadyuvantes, aceite vegetal (Optimizer® EC, Bayer) al 1% para los graminicidas y alcohol etoxilado (Eco Rizospray® SL, 480 g a.i. L⁻¹, Rizobacter) al 0,05% para glifosato]. El cuarto factor fue la dosis con 10 niveles [0X, 1/16X, 1/4X, 1/8X, 1/2X, 1X, 2X, 4X, 8X y 16X (siendo X = 1080 g e.a. ha⁻¹ de glifosato, 64,8 g i.a. ha⁻¹ de haloxifop-metil, y 120 g i.a. ha⁻¹ de cletodim)]. El quinto factor fue el año [2016 y 2017].

La aplicación de herbicidas se realizó cada año en diciembre con las malezas en tres estados de desarrollo en una cabina de pulverización con boquilla hidráulica abanico plano 8002 a 3 bares de presión, erogando una tasa de aplicación de 114 L.ha⁻¹.

32

a) Control a corto plazo

A los 30 días después de la aplicación (DDA) se realizó la estimación de daño visual respecto a un testigo sin tratar (0 X) utilizando una escala de 0 a 100%, donde cero representó ningún daño y 100% la muerte total de la planta. Se cortaron las plantas por maceta y en bolsas rotuladas fueron llevadas a estufa por 48 horas a 72 °C. Se determinó el peso seco por tratamiento que se expresó como porcentaje respecto a plantas testigos sin control.

Los datos fueron analizados con ANVA y ajustados a una curva sigmoidea log logística de cuatro parámetros.

b) Control a largo plazo

El rebrote y la producción de semillas solo se evaluaron para los tres biotipos de *E. tristachya* utilizando un diseño factorial con los mismos factores del diseño mencionado anteriormente, con cuatro repeticiones. Después de la aplicación, las macetas fueron mantenidas al aire libre con riegos periódicos hasta noviembre del siguiente año (330 DDA)

momento en el cual se determinó el número de macollos, altura y fecundidad. El número de semillas por planta se estimó con el peso de dos submuestras de 100 semillas por cada planta. El total de semillas por planta fue calculado con el uso de la ecuación 1 (Mager et al. 2006):

$$S = \frac{W}{A} * 100 \text{ ecuación 1}$$

Donde S es el total de semillas de cada planta, W es el peso total de las semillas de cada planta, y A es el promedio del peso de las dos submuestras.

Análisis estadístico

Se utilizaron los coeficientes de correlación de Pearson y de Spearmans entre la estimación visual y el peso de materia seca de las malezas. Los datos se analizaron con Shapiro Wilks para comprobar su normalidad. Se evaluaron las diferencias e interacciones entre los factores con ANVA. Para cada especie/biotipo se realizaron regresiones entre la reducción de la biomasa vegetal de la maleza y la dosis de herbicida usando el modelo log-logístico de cuatro parámetros descrito por Seefeldt et al (1995) como se indica en la siguiente ecuación:

$$y = c + \frac{(d - c)}{1 + (x/ED_{50})^b} \text{ ecuación 2}$$

33

Donde y es la variable respuesta (peso seco, daño en la maleza), c representa el límite inferior de la curva, d representa el límite superior, b es la pendiente de la curva, x es la dosis del herbicida, y ED₅₀ es la dosis efectiva que produce el 50% de la respuesta (por ejemplo 50% de daño, de biomasa o control visual respecto al testigo sin control).

Los análisis de las curvas dosis respuesta y la comparación de los parámetros fueron realizados con el software estadístico de licencia libre R3.5.2 (R Development Core Team, 2018) y el paquete de software drc (Ritz y Streibig, 2005; Knezevic, et al., 2007).

Se determinaron para cada especie/biotipos la dosis de herbicida efectiva que reduce el crecimiento en un 50 % y un 90 % respecto al control sin tratar (ED₅₀ y ED₉₀ respectivamente). Se analizaron las diferencias por un lado entre los distintos estados de crecimiento para cada maleza y por el otro para un mismo estado de crecimiento entre las distintas especies bajo estudio. Entre distintos estados de crecimiento se elaboraron cocientes de dosis efectivas (ED₉₀/ED₅₀) a modo de indicar el incremento en la dosis de herbicida para producir un control aceptable a campo de 90 %.

Resultados

a) Control a corto plazo

Los coeficientes de correlación entre la estimación visual y el peso de materia seca de las malezas fueron significativos ($P < 0,01$). En consecuencia, se analizaron los datos de materia seca como porcentaje de reducción respecto al testigo sin control. Se determinó una interacción significativa entre los herbicidas, la dosis y estado de todas las especies/biotipos pero no para años. En consecuencia, los datos de los dos años se agruparon y se consideraron 8 repeticiones por tratamiento. Las pruebas de falta de ajuste indicaron que las regresiones describieron adecuadamente los datos de todos los herbicidas y especies/biotipos, excepto para *E. indica* en el estado reproductivo con cletodim y haloxifop metil ($P < 0,05$). En los casos en que no hubo ajuste no se consideraron la ED_{50} y ED_{90} obtenidas.

Los experimentos mostraron que la susceptibilidad de todas las malezas a glifosato, haloxifop-metil y cletodim pudo ser cuantificada en los diferentes estados de crecimiento a través de la ED_{50} y ED_{90} a los 30 DDA y también considerando el control de 100 % relativo a la dosis recomendada (1X) a los 30 DDA.

Glifosato

Los resultados se muestran en la Figura 1 y Tabla 1.

34

Las comparaciones de ED_{50} entre los biotipos fueron las siguientes: en el estado de plántula ($A = C = Z_t = Z_i$); en el estado vegetativo ($Z_i > A > C = Z_t$), y en la etapa reproductiva ($C = Z_t > Z_i > A$). Se observó un aumento de 2 veces la dosis en ED_{50} para el estado reproductivo en relación con los estados de plántula y vegetativo para C y Z_t . Para Z_i el incremento fue de 1,4 veces entre estado de plántula, vegetativo y reproductivo.

Tabla 1. Parámetros de la regresión (Ecuación 2) y dosis de glifosato (g e.a. ha⁻¹) que provee un 90% de control (ED₉₀) en el corto plazo (30 DDA) calculado como porcentaje de materia seca respecto a un testigo sin control para cada estado de crecimiento y biotipo de *Eleusine tristachya*: Aranguren (A), Crespo (C), Zavalla (Zt) y *Eleusine Indica*: Zavalla (Zi)

Herbicida	Estado de crecimiento	Biotipo	Parámetros de la regresión				
			ED ⁹⁰	b	c	d	ED ₅₀
Glifosato							
Plántula							

Aranguren (A) -13,4 (4,66) 0,0 (0,12) 100,0 (0,11) 591,5 (52,28) 646,3 (76,00)
 Crespo (C) -10,0 (8,76) -0,1 (0,72) 100,0 (0,59) 523,4 (48,36) 595,0 (130,00)
 Zavalla (Zt) -10,0 (7,60) -0,1 (0,42) 100,0 (0,35) 530,4 (37,77) 599,2 (88,40)
 Zavalla (Zi) -5,4 (0,33) -0,1 (0,71) 100,0 (0,71) 682,2 (62,34) 1023,0 (39,50)

Vegetativo

Aranguren (A) -5,3 (0,50) -0,1 (0,67) 99,8 (0,66) 600,0 (8,67) 906,6 (49,50)
 Crespo (C) -6,3 (1,11) -0,3 (0,62) 99,3 (0,53) 532,8 (4,45) 609,4 (42,20)
 Zavalla (Zt) -9,4 (3,56) -0,1 (0,46) 99,6 (0,36) 512,9 (18,20) 565,4 (120,00)
 Zavalla (Zi) -1,8 (0,09) -1,5 (1,13) 101,9 (1,10) 717,9 (24,24) 2391,0 (1430,00)

Reproductivo

Aranguren (A) -1,3 (0,09) -3,8 (2,01) 103,0 (1,91) 615,2 (38,17) 2803,0 (207,00)
 Crespo (C) -2,0 (0,20) 1,9 (1,55) 103,5 (1,69) 1189,2 (54,06) 3409,0 (199,00)
 Zavalla (Zt) -2,8 (0,10) -0,2 (0,50) 100,7 (0,61) 1178,4 (24,54) 2530,7 (119,00)
 Zavalla (Zi) -1,7 (0,07) -1,0 (0,81) 102,4 (0,99) 1010,2 (27,38) 3558,0 (244,40)

Leyenda: Error estándar (ES) entre paréntesis. ED= dosis efectiva.

36

Para ED₉₀, los resultados de comparación fueron los siguientes: en el estado de plántula (Zi > A = C = Zt); en el estado vegetativo (Zi > A > C = Zt); y en el estado reproductivo (Zi = C > A = Zt). Al considerar todos los biotipos de *E. tristachya*, ED₉₀ en el estado reproductivo fue de 3 a 6 veces mayor en relación con los otros estados, mientras que para *E. indica* aumentó entre 2 y 4 veces.

Para todos los biotipos de *E. tristachya*, se alcanzó control de 100 % con 1X al estado de plántula y al estado vegetativo y con 4X al estado reproductivo (Fotos 1, 2 y 3). Para *E. indica* el 100 % de control en los estados de plántula, vegetativo y reproductivo se alcanzó con 2X, 4X y 8X respectivamente (Fotos 4, 5 y 6).

En la presente tesis, solo se muestran las fotos de un biotipo por especie: *Eleusine tristachya* Zavalla y *E. indica* Zavalla.

I
o
r
t
c
e
d
e
l
t
c
o
p

I
o
r
t
c
e
d
e
l
t
c
o
p

P
o
r
t
c
o
d
e
l
t
c
o
p

100 80

60

40

20

0

100 80

60

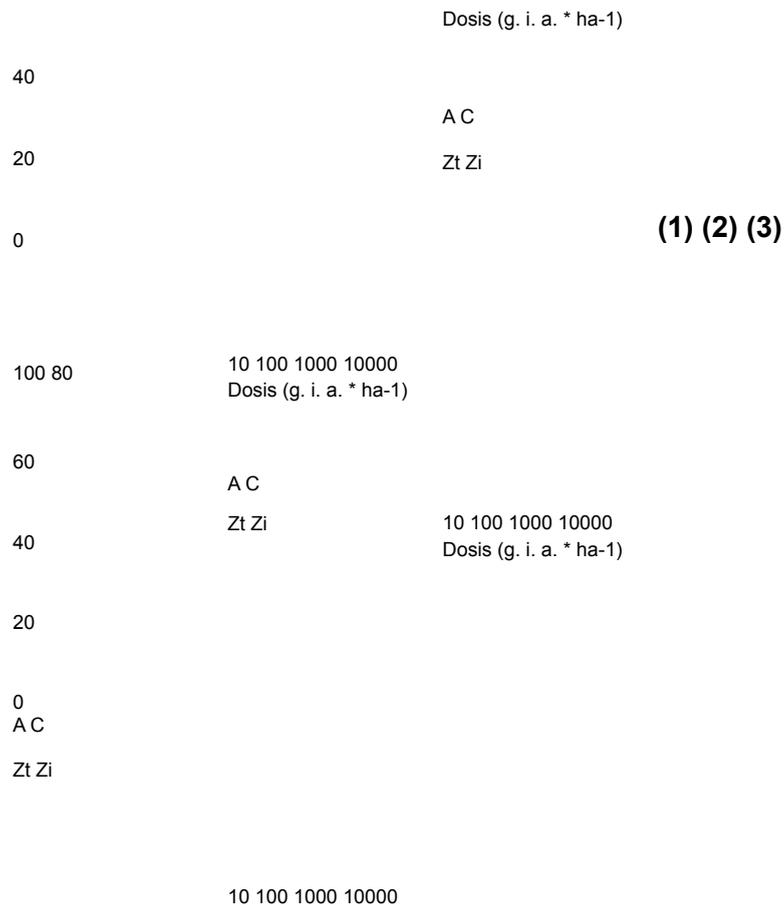


Fig. 1. Porcentaje de control de materia seca respecto a un testigo sin control de los biotipos *Eleusine tristachya* Aranguren: (A), Crespo (C), Zavalla (Zt) y *Eleusine indica* Zavalla (Zi) a los 30 DDA con diferentes dosis de glifosato aplicados en tres estados de crecimiento de las malezas: **(1)** Plántula, **(2)** Vegetativo y **(3)** Reproductivo. Las líneas de regresión fueron construidas utilizando la Ecuación 2 y los valores de los parámetros de la tabla 2. Cada punto corresponde al promedio de los años 2016 y 2017.



Foto 1. Control de *Eleusine tristachya* Zavalla a los 30 DDA de glifosato en estado de plántula



1X 2X 4X 8X 16X $\frac{1}{2}X$ $\frac{1}{4}X$ $\frac{1}{8}X$ T $\frac{1}{16}X$ **Foto 2.** Control de *Eleusine tristachya* Zavalla a los 30 DDA de glifosato en estado de plántula



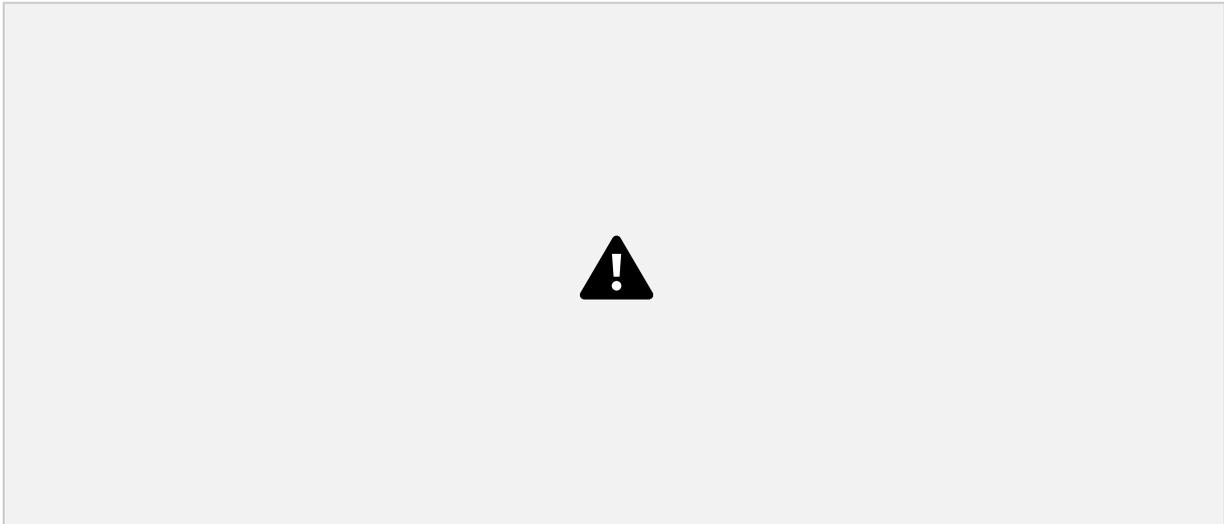
1X 2X 4X 8X 16X $\frac{1}{2}X$ $\frac{1}{4}X$ $\frac{1}{8}X$ T $\frac{1}{16}X$ **Foto 3.** Control de *Eleusine tristachya* Zavalla a los 30 DDA de glifosato en estado de plántula



$\frac{1}{16}X$ 2X 4X 8X 16X $\frac{1}{2}X$ $\frac{1}{4}X$ $\frac{1}{8}X$ T $\frac{1}{16}X$ **Foto 4.** Control de *Eleusine indica* Zavalla a los 30 DDA de glifosato en estado de plántula



1X 2X 4X 8X 16X $1/4$ X $1/2$ X $1/8$ X $1/16$ X **Foto 5.** Control de *Eleusine indica* Zavalla a los 30 DDA de glifosato en estado vegetativo



1X 2X 4X 8X 16X $1/2$ X $1/16$ X $1/8$ X 4 X **Foto 6.** Control de *Eleusine indica* Zavalla a los 30 DDA de glifosato en estado reproductivo

Haloxifop-metil

Se muestran los resultados en la Figura 2 y Tabla 3.

Los resultados de las comparaciones de ED₅₀ entre los biotipos fueron los siguientes: en el estado de plántula (Zi = A = Zt > C); en el estado vegetativo (Zi > Zt > A > C); y en el estado reproductivo (A = C > Zt). En *E. tristachya* se determinó un aumento de dosis de 6 a 11 veces en la ED₅₀ para el estado reproductivo en relación con el estado de plántula.

Para ED₉₀ se observaron las siguientes órdenes de eficacia para los biotipos: en

estado de plántula ($A = Zt > Zi > C$), en estado vegetativo ($Zi > A > C > Zt$) y en estado reproductivo ($C > Zt > A$). En *E. tristachya* se observó un aumento de la dosis de 6 a 52 veces en ED_{90} para el estado reproductivo en relación con el estado de plántula, mientras que en *E. indica* el incremento fue de 5 veces la dosis en ED_{90} al cambiar de estado de plántula a vegetativo.

El control del 100% de todos los biotipos de *E. tristachya* en el estado de plántula se puede lograr con 1/4X o 1/2X mientras que en el estado vegetativo se controló con 1X (Fotos 7 y 8). En el estado reproductivo, el control del 100% se obtuvo con 8X para los biotipos C y Zt y con 16X para A (Foto 9). En *E. indica* el 100 % se logró con 1/2X en plántula, 8X en vegetativo (Foto 10) y 16X en reproductivo.

Tabla 2. Parámetros de la regresión (Ecuación 2) y dosis de Haloxifop metil ($g\ i.a.\ ha^{-1}$) que provee un 90% de control (ED_{90}) en el corto plazo (30 DDA) calculado como porcentaje de materia seca respecto a un testigo sin control para cada estado de crecimiento y biotipo de *Eleusine tristachya*: Aranguren (A), Crespo (C), Zavalla (Zt) y *Eleusine Indica*: Zavalla (Zi)

Herbicida	Estado de crecimiento	Biotipo	<u>Parámetros de la regresión</u>					
			a	b	c	d	ED_{90}	ED_{50}
Haloxifop								
Plántula								
	Aranguren (A)		-4,2 (0,51)	1,8 (1,41)	100,0 (0,26)	16,3 (0,35)	27,5 (1,64)	
	Crespo (C)		-10,8 (7,17)	-0,0 (1,38)	100,0 (0,74)	8,3 (0,83)	9,0 (2,64)	
	Zavalla (Zt)		-3,3 (0,28)	1,2 (1,57)	101,1 (0,86)	15,3 (0,44)	31,1 (1,54)	

Zavalla (Zi) -12,1 (6,6) 0,0 (0,11) 100,0 (0,08) 14,9 (1,25) 21,6 (8,19)

Vegetativo

Aranguren (A) -3,6 (0,24) -0,8 (1,22) 100,2 (0,91) 21,4 (0,54) 38,8 (1,83)

Crespo (C) -2,5 (0,15) -2,1 (1,65) 100,7 (0,93) 12,5 (0,40) 30,2 (1,78)

Zavalla (Zt) -3,5 (0,32) 1,0 (1,21) 101,2 (0,95) 31,6 (0,79) 21,6 (88,19)

Zavalla (Zi) -1,8 (0,12) -3,6 (1,26) 97,1 (1,28) 33,0 (1,29) 109,2 (10,65)

Reproductivo

Aranguren (A) -4,0 (0,34) -0,3 (0,96) 95,0 (1,30) 95,5 (2,59) 164,0 (8,82)

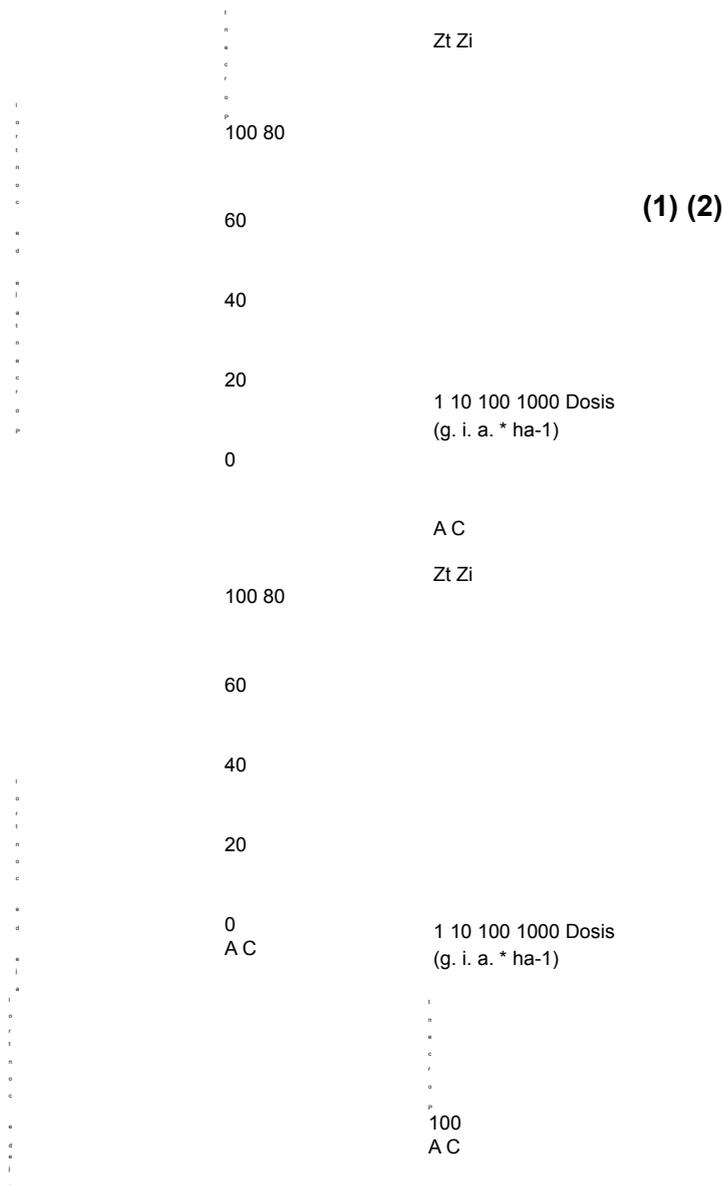
Crespo (C) -1,3 (0,13) -3,6 (1,81) 103,2 (3,71) 88,5 (8,20) 454,7 (66,13)

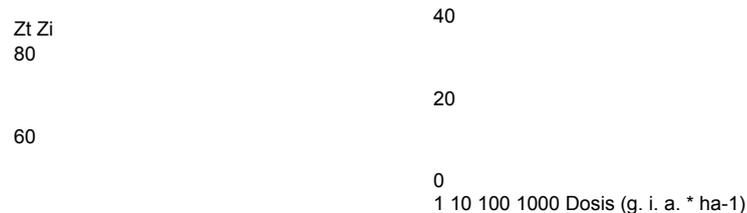
Zavalla (Zt) -1,7 (0,11) -2,2 (1,16) 99,1 (1,43) 57,0 (2,27) 199,0 (18,27)

Zavalla (Zi) -0,7 (0,11) -1,0 (1,47) 125,8 (33,43) 897,5 (613,44) 17666,1 (19692,42)

Leyenda: Error estándar (ES) entre paréntesis. ED= dosis efectiva.

42

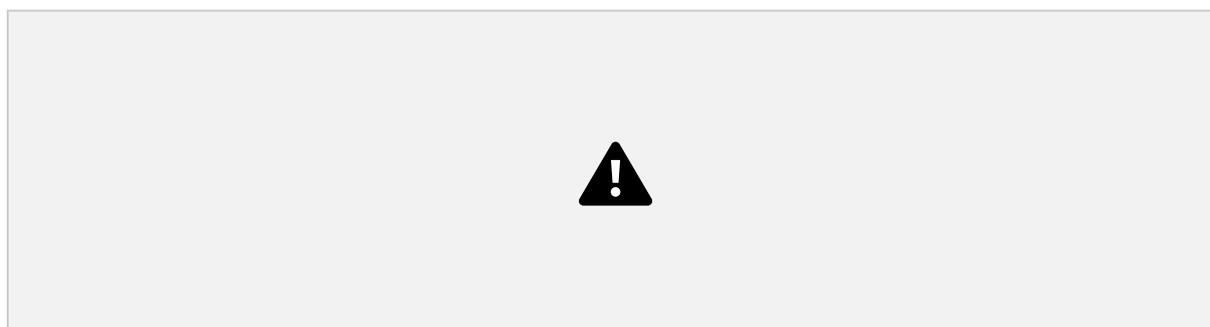




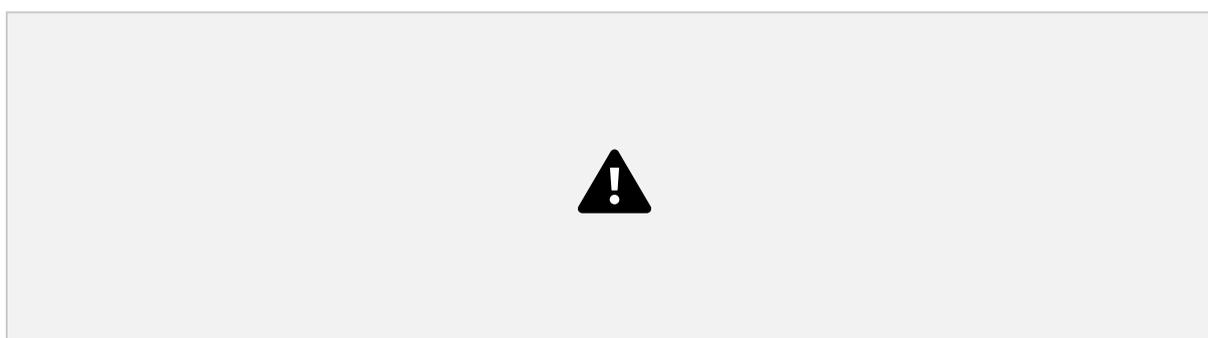
(3)

Fig. 2. Porcentaje de control de materia seca respecto a un testigo sin control de los biotipos *Eleusine tristachya* Aranguren: (A), Crespo (C), Zavalla (Zt) y *Eleusine indica* Zavalla (Zi) a los 30 DDA con diferentes dosis de haloxifop-metil aplicados en tres estados de crecimiento de las malezas: (1) Plántula, (2) Vegetativo y (3) Reproductivo. Las líneas de regresión fueron construidas utilizando la Ecuación 2 y los valores de los parámetros de la tabla 2. Cada punto corresponde al promedio de 2016 y 2017.

43



1X 2X 4X 8X 16X ¹/₂X ¹/₄X ¹/₈X ¹ T ¹/₁₆X **Foto 7.** Control de *Eleusine tristachya* Zavalla a los 30 DDA de haloxifop-metil en estado de plántula



1X 2X 4X 8X 16X ¹/₄X ¹/₂X ¹/₈X ¹ T ¹/₁₆X **Foto 8.** Control de *Eleusine tristachya* Zavalla a los 30 DDA de haloxifop-metil en estado vegetativo



1X 2X 4X 8X 16X $1/2X$ $1/4X$ $1/8X$ $1/16X$ ^T**Foto 9.** Control de *Eleusine tristachya* Zavalla a los 30 DDA de haloxifop-metil en estado reproductivo

44



1X

2X 4X 8X 16X $1/2X$ $1/4X$ $1/8X$ $1/16X$ ^T**Foto 10.** Control de *Eleusine indica* Zavalla a los 30 DDA de haloxifop-metil en estado vegetativo. Las fotografías al estado de plántula y reproductivo no se encuentran disponibles.

Cletodim

Se muestran los resultados en la Figura 3 y Tabla 3.

Los resultados de las comparaciones de ED₅₀ entre los biotipos fueron los siguientes: en el estado de plántula (Zi > A > C > Zt); en el estado vegetativo (Zi > A > C > Zt); y en la etapa

reproductiva ($A = C > Zt$). Para los biotipos de *E. tristachya* se incrementó 6 veces la ED_{50} entre el estado de plántula y reproductivo.

Para ED_{90} se observaron las siguientes clasificaciones para los biotipos: en la etapa de la plántula ($A = C > Zt = Zi$), en el estado vegetativo ($Zi > A = C = Zt$) y en la etapa reproductiva ($A = C > Zt$). Se observó en los biotipos de *E. tristachya* un aumento en la dosis de 5 a 13 veces en ED_{90} entre el estado de plántula y reproductivo, mientras que en *E. indica* el incremento fue de 7 veces la dosis en ED_{90} al pasar de estado de plántula a vegetativo.

El control del 100 % de todos los biotipos de *E. tristachya* en el estado de plántula y vegetativo se logró con 1X (Fotos 11 y 12) mientras que en el estado reproductivo con 16X (Foto 13). En cambio, para *E. indica* el 100 % de control en estado de plántula se logró con 1X (Foto 14), en estado vegetativo con 8 X (Foto 15) y en estado reproductivo no se observó ya que a la máxima dosis utilizada en este experimento (16X) fue de 80% (Foto 16).

45

Table 3. Parámetros de la regresión (Ecuación 2) y dosis de cletodim ($g\ i.a.\ ha^{-1}$) que provee un 90 % de control (ED_{90}) en el corto plazo (30 DDA) calculado como porcentaje de materia seca respecto a un testigo sin control para cada estado de crecimiento y biotipo de *Eleusine tristachya*: Aranguren (A), Crespo (C), Zavalla (Zt) y *Eleusine Indica*: Zavalla (Zi)

Herbicida	Estado de crecimiento	Biotipo	Parámetros de la regresión				
			ED_{90}	b	c	d	ED_{50}
Cletodim							
Plántula							
	Aranguren (A)		-3,0 (0,24)	-2,0 (1,43)	100,0 (0,39)	54,7 (1,50)	111,8 (5,68)
	Crespo (C)		-2,0 (0,11)	0,3 (0,21)	100,0 (0,20)	34,4 (1,16)	98,5 (6,07)
	Zavalla (Zt)		-2,1 (0,11)	-2,0 (1,47)	100,0 (0,27)	31,2 (1,04)	88,3 (5,51)
	Zavalla (Zi)		-8,5 (2,28)	2,4 (0,54)	100,1 (0,55)	68,7 (2,50)	89,5 (6,31)
Vegetativo							
	Aranguren (A)		-3,2 (0,28)	-1,1 (1,21)	101,5 (0,77)	61,6 (1,58)	120,9 (6,32)
	Crespo (C)		-2,3 (0,11)	0,6 (1,04)	101,5 (0,71)	44,5 (1,09)	112,3 (4,79)
	Zavalla (Zt)		-2,2 (0,12)	1,4 (1,17)	101,7 (0,78)	45,0 (1,26)	120,1 (5,91)
	Zavalla (Zi)		-1,4 (0,06)	-1,9 (0,94)	103,5 (1,38)	135,7 (4,94)	617,6 (71,58)
Reproductivo							
	Aranguren (A)		-1,0 (0,07)	-2,2 (1,39)	104,0 (2,94)	177,9 (13,43)	1345,2 (218,80)

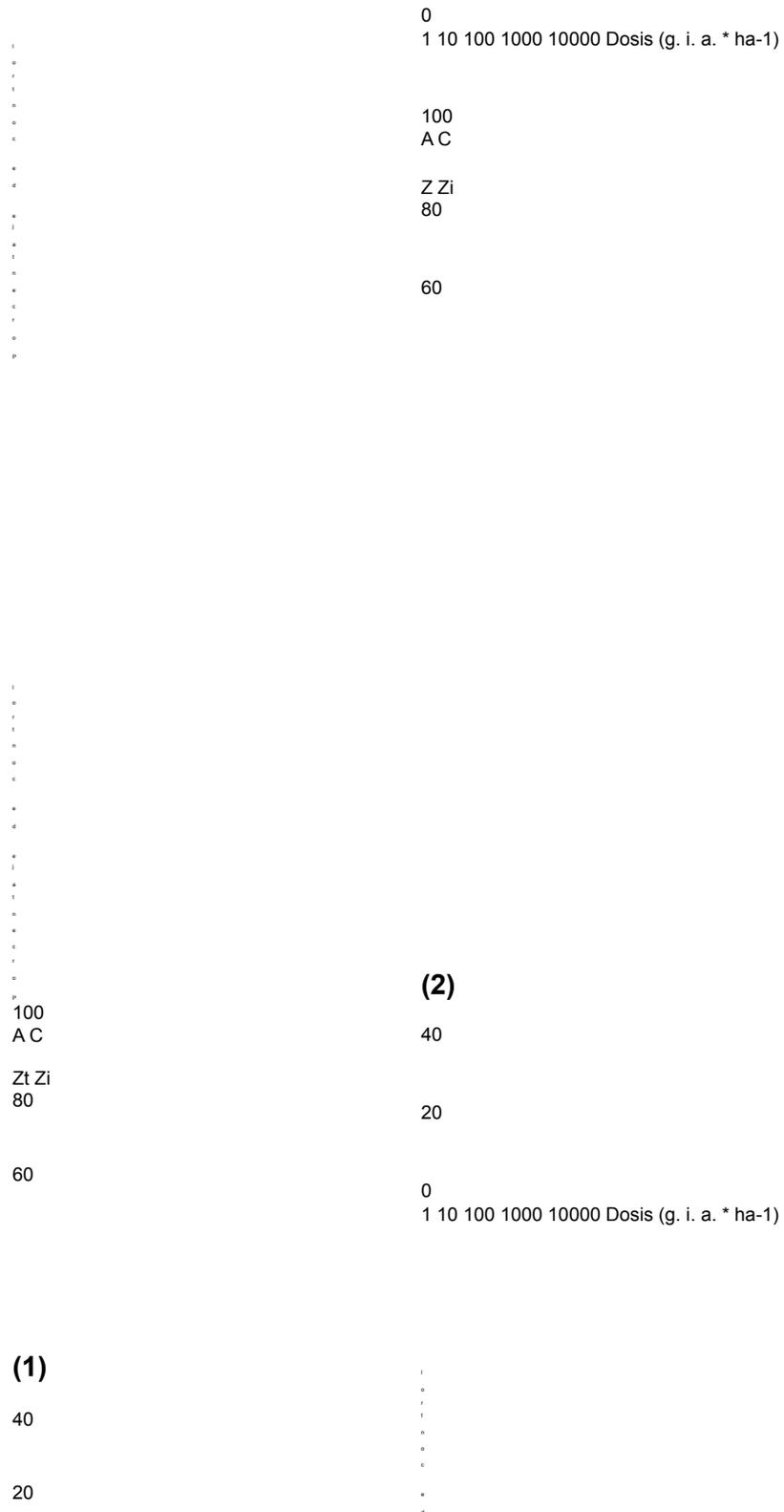
Crespo (C) -1,1 (0,09) -2,2 (1,49) 97,7 (3,50) 190,8 (17,55) 1350,9 (240,20)

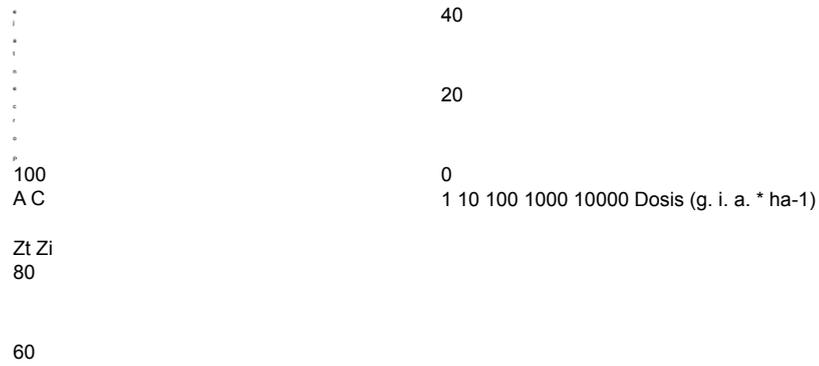
Zavalla (Zt) -1,3 (0,08) -4,2 (1,49) 99,3 (1,77) 77,8 (4,45) 419,1 (53,40)

Zavalla (Zi) -0,8 (0,08) -3,2 (1,02) 92,5 (5,43) 364,08 (56,27) 4218,8 (1347,50)

Leyenda: Error estándar (ES) entre paréntesis. ED= dosis efectiva.

46

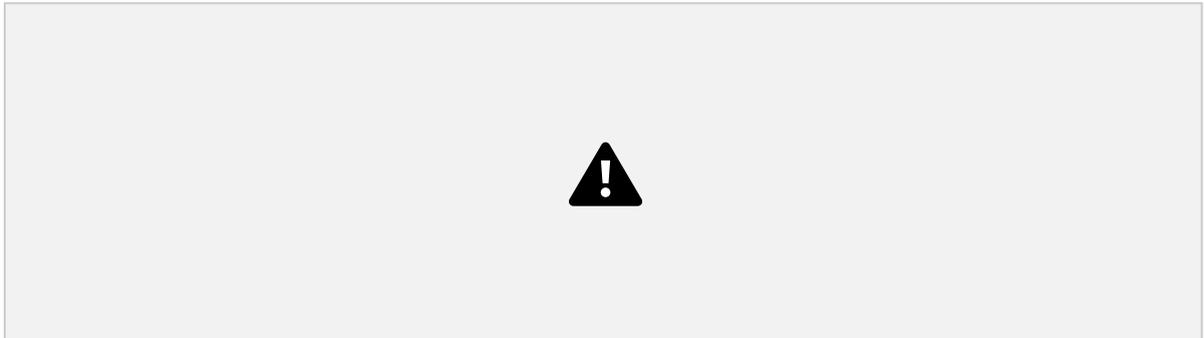




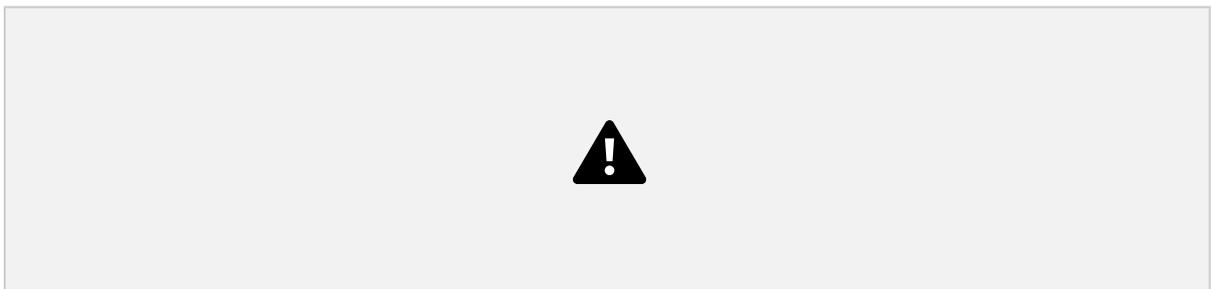
(3)

Fig. 3. Porcentaje de control de materia seca respecto a un testigo sin control de los biotipos *Eleusine tristachya* Aranguren: (A), Crespo (C), Zavalla (Zt) y *Eleusine indica* Zavalla (Zi) a los 30 DDA con diferentes dosis de cletodim aplicados en tres estados de crecimiento de las malezas: **(1)** Plántula, **(2)** Vegetativo y **(3)** Reproductivo. Las líneas de regresión fueron construidas utilizando la Ecuación 2 y los valores de los parámetros de la tabla 2. Cada punto corresponde al promedio de 2016 y 2017.

47



1X 2X 4X 8X 16X 1/2X 1/4X 1/8X 1 T 1/16X **Foto 11.** Control de *Eleusine tristachya* Zavalla a los 30 DDA de cletodim en estado de plántula



T 1/16X 1/8X 1/4X 1/2X 1X 2X 4X 8X 16X **Foto 12.** Control de *Eleusine tristachya* Zavalla a los 30 DDA de cletodim en estado vegetativo



1X 2X 4X 8X 16X $\frac{1}{2}$ X $\frac{1}{4}$ X $\frac{1}{8}$ X 1^T $\frac{1}{16}$ X **Foto 13.** Control de *Eleusine tristachya* Zavalla a los 30 DDA de cletodim en estado reproductivo

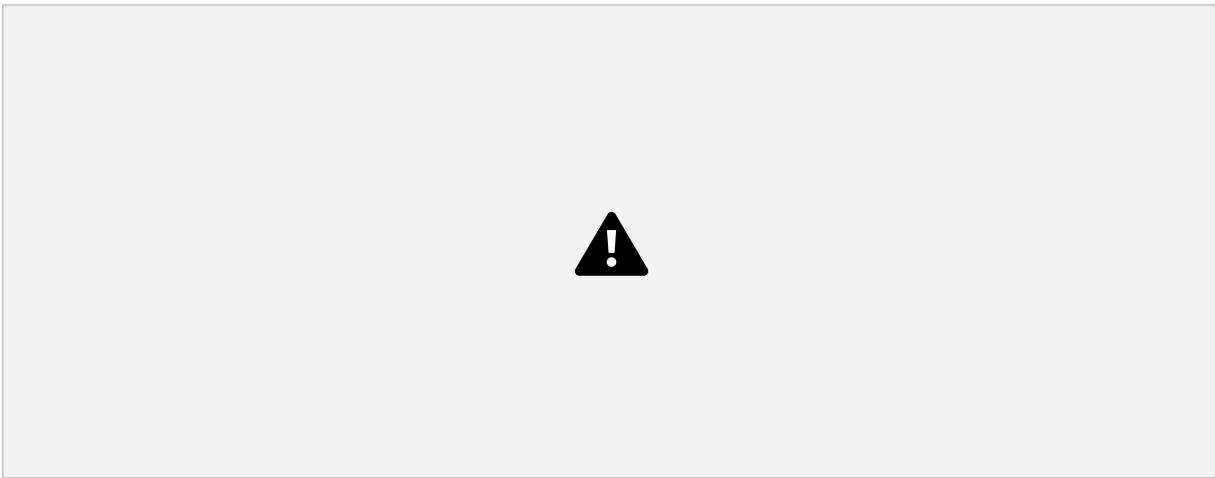
48



1X 2X 4X 8X 16X $\frac{1}{4}$ X $\frac{1}{2}$ X $\frac{1}{8}$ X 1^T $\frac{1}{16}$ X **Foto 14.** Control de *Eleusine indica* Zavalla a los 30 DDA de cletodim en estado de plántula



$1/2X$ $1X$ $2X$ $4X$ $8X$ $16X$ $1/4X$ $1T$ $1/16X$ $1/8X$ **Foto 15.** Control de *Eleusine indica* Zavalla a los 30 DDA de cletodim en estado vegetativo



$1X$ $2X$ $4X$ $8X$ $16X$ $1/2X$ $1/4X$ $1/8X$ $1T$ $1/16X$ **Foto 16.** Control de *Eleusine indica* Zavalla a los 30 DDA de cletodim en estado reproductivo

49

Para cada herbicida y estado de crecimiento el ordenamiento de los biotipos y especies según ED_{50} o ED_{90} fue diferente. No fue posible determinar la existencia de un biotipo susceptible y otro resistente de *E. tristachya* y, por consiguiente, no se pudo evaluar la resistencia a los herbicidas.

Por otro lado, si se realiza la comparación entre herbicidas se observa que a medida que aumenta el tamaño de la maleza se requiere mayor cantidad de DL_{90} en relación a la dosis de uso en graminicidas que en glifosato (Tabla 4).

Tabla 4. Unidades de dosis de uso de los herbicidas glifosato, haloxifop-metil y cletodim que

proveen un 90% de control (ED_{90}) en el corto plazo (30 DDA) calculado como porcentaje de materia seca respecto a un testigo sin control para cada estado de crecimiento y especie/biotipo de *Eleusine tristachya*: Aranguren (A), Crespo (C), Zavalla (Zt) y *Eleusine Indica*: Zavalla (Zi)

Estado de crecimiento	Especie/biotipo	Herbicida		
		Glifosato	Haloxifop-metil	Cletodim
Plántula	Aranguren (A)	0,60	0,42	0,93
	Crespo (C)	0,55	0,14	0,82
	Zavalla (Zt)	0,55	0,48	0,74
	Zavalla (Zi)	0,95	0,33	0,75
Vegetativo	Aranguren (A)	0,84	0,60	1,01
	Crespo (C)	0,56	0,47	0,94
	Zavalla (Zt)	0,52	0,33	1,00
	Zavalla (Zi)	2,21	1,69	5,14
Reproductivo	Aranguren (A)	2,60	2,53	11,21
	Crespo (C)	3,16	7,02	11,26
	Zavalla (Zt)	2,34	3,07	3,49
	Zavalla (Zi)	3,29	-	-

Leyenda: Las celdas verdes indican dosis menores a 0,90 dosis de uso, las celdas amarillas indican dosis cercanas a la dosis de uso (0,90-1,10), y las celdas rojas indican dosis mayores a la dosis de uso (>1,10). (1= a la dosis de uso para cada herbicida). Un guión (-) significa que no se pudo calcular este índice.

b) Control a largo plazo

A 330 DAT, no hubo diferencias en la respuesta entre los biotipos para cada herbicida y en cada crecimiento de la maleza, por lo que solo se muestran los resultados para el biotipo A (Tabla 5).

Para glifosato, el rebrote con aplicaciones en el estado de plántula y vegetativo se produjo en el rango de dosis entre 0X a 1/2X, mientras que, en estado reproductivo, se observaron nuevos macollos con dosis que oscilaron entre 0X y 1X. Para todos los estados de crecimiento, con 1/16X y 1/8X el número de macollos y semillas fue mayor que para 0X, mientras que la altura de las plantas fue similar. El número de macollos y semillas aumentó con el desarrollo de la maleza y con la reducción de la dosis.

Para los graminicidas, en el estado de plántula, el rebrote se produjo de 0X a 1/4X para haloxifop-metil y de 0X a 1/2X para cletodim. Para ambos herbicidas en el estado vegetativo, se observó rebrote con dosis entre 0X a 1/2X. El número de macollos y semillas mostró una respuesta errática con el estado de desarrollo de la maleza, pero los números siempre aumentaron con la reducción de la dosis.

Comparando glifosato versus graminicidas, con dosis inferiores a 1X, el rebrote fue mayor para glifosato en todos los estados de crecimiento de la planta. En cambio, a 1X, el número de macollos fue más bajo para glifosato, intermedio para cletodim y más alto para haloxifop-metil. A 2X el rebrote se produjo solo con graminicidas. La producción de semillas en el estado reproductivo a 1X fue mayor con glifosato, intermedio para cletodim y menor para haloxifop-metil, mientras que con 2X solo se observó producción de semillas con graminicidas.

Herbicida

Tabla 5. Efecto a largo plazo de las dosis de herbicidas aplicadas en diferentes estados de crecimientos de *E. tristachya* sobre el número y altura de macollos y la producción de semilla

Estado de

crecimiento Variable Dosis (X = dosis recomendada de herbicida)

0X 1/16X 1/8X 1/4X 1/2X 1X 2X 4X - 8X - 16X

Glifosato

Plántula

Macollos 23,2 (1,82) 27,6 (2,35) 25,0 (2,33) 18,1 (1,51) 13,4 (1,38) ----- Altura 21,0 (0,96) 21,3 (1,42) 22,6 (0,81) 17,4 (1,15) 15,9 (0,63) ----- Semillas 923,2 (100,12) 1146,0 (111,87) 1188,0 (92,45) 948,2 (84,93)

395,1 (14,84) ----- *Vegetativo*

Macollos 24,1 (1,94) 37,8 (3,56) 35,5 (3,26) 22,3 (1,66) 10,3 (1,31) ----- Altura 23,3 (1,28) 24,5 (1,93) 22,6 (2,52) 21,7 (2,14) 13,8 (1,55) ----- Semillas 988,1 (98,53) 1392,0 (115,32) 1309,0 (125,09) 1135,7 (99,72)

609,8 (43,23) ----- *Reproduct.*

Macollos 25,7 (2,24) 44,4 (3,31) 45,6 (2,90) 40,1 (3,10) 28,7 (2,17) 9,2 (1,40) ----- Altura 23,4 (1,72) 23,6 (1,55) 25,5 (1,73) 22,1 (1,91) 15,8 (2,21) 15,4 (2,06) ----- Semillas 1054 (81,56) 1446,3 (130,46) 1458,4 (125,74) 1352,7 (117,68) 1082,6 (97,20) 630,5 (48,78) ----- **Haloxifop**

metil

Plántula

Macollos 26,3 (1,84) 24,1 (2,13) 17,5 (1,56) 11,4 (1,88) ----- Altura 21,2 (1,78) 22,3 (2,02) 19,4 (1,98) 15,6 (2,26) ----- Semillas 874,0 (90,49) 764,8 (56,76) 784,6 (52,63) 658,2 (48,41) ----- *Vegetativo*

Macollos 25,5 (1,63) 27 (1,47) 25,1 (1,55) 16,4 (1,26) 12,6 (0,99) ----- Altura 23,2 (1,92) 24,1 (2,14) 22,4 (1,23) 21,8 (1,63) 20,6 (1,48) ----- Semillas 1011 (106,24) 954,7 (70,32) 935,0 (60,17) 878,3 (77,87) 841,2 (64,26) -----

52

Reproduct..

Macollos 24,4 (1,59) 26,3 (1,27) 24,8 (1,26) 25,4 (1,26) 26,0 (1,21) 29,4 (1,51) 17,6 (1,86) -- Altura 24,0 (2,25) 23,0 (0,99) 24,0 (1,24) 24,0 (1,55) 23,0 (1,25) 20,0 (1,24) 15,0 (0,71) -- Semillas 936,7 (81,32) 850,0 (49,18) 963,3 (75,27) 1036,7 (70,97) 935,0 (49,56) 513,3 (53,77) 267,0 (28,35) -- **Cletodim**

Plántula

Macollos 23,2 (1,33) 20,1 (1,18) 19,4 (1,96) 16,5 (1,20) 10,8 (1,73) ----- Altura 21,4 (1,52) 20,8 (1,66) 21,9 (2,03) 18,4 (1,92) 10,7 (2,18) ----- Semillas 891,3 (99,36) 1053,0 (108,31) 972,4 (81,54) 729,8 (67,68) 648,6 (51,46) ----- *Vegetativo*

Macollos 24,6 (1,54) 24,7 (1,85) 21,6 (1,57) 22,6 (0,99) 17,5 (1,26) ----- Altura 25,2 (1,26) 25,4 (1,74) 23,6 (1,58) 19,7 (1,26) 12,5 (0,91) ----- Semillas 933,8 (60,78) 862,4 (81,34) 938,4 (76,84) 847,1 (50,74) 756,8 (66,43) ----- *Reproduct.*

Macollos 25,7 (1,76) 24,2 (1,86) 22,8 (1,06) 18,4 (1,75) 15,9 (1,59) 16,2 (1,4) 16,57 (1,14) -- Altura 22,3 (0,72) 22,4 (1,33) 23,8 (1,80) 18,6 (1,21) 16,7 (0,658) 15,6 (0,8) 14,76 (1,13) -- Semillas 1086 (93,51) 1098,7 (84,80) 972,0 (101,44) 904,2 (91,38) 695,4 (62,74) 435 (33,2) 255,01 (28,70) --

Leyenda: Error estandar en paréntesis (ES). El guión medio (-) indica que no se produjo rebrote. *Reproduct*: reproductivo.

Discusión

No hay trabajos publicados sobre el efecto del estado de desarrollo de *E. indica* y *E. tristachya* sobre la eficacia de herbicidas. Para todos los herbicidas estudiados, a los 30 DDA (control a corto plazo), ED₅₀ y ED₉₀ aumentaron con el estado de desarrollo con excepción de la ED₅₀ del biotipo A de *E. tristachya* con glifosato. Queda demostrado que el estado de la planta al momento de la aplicación es un factor clave para controlar la biomasa de ambas especies de *Eleusine*. Estos resultados concuerdan con otros estudios con glifosato en los cuales las especies de malezas son generalmente más susceptibles a los herbicidas en las etapas iniciales de crecimiento en comparación con las plantas más grandes (Jordan et al., 1997; Kudsk, 2008; Soltani et al., 2016). En estudios con otras especies, se estableció que fue necesario mayor dosis de glifosato para controlar *Conyza* spp en estados avanzados de crecimiento (Shrestha et al., 2007) y alrededor del doble de la dosis para controlar *S. halepense* cuando se aplicó a individuos más grandes al final del ciclo en comparación con las plantas que tienen 30 cm o menos al comienzo del ciclo (Johnson et al., 2009; Johnson y Norsworthy, 2014). La eficacia de los graminicidas en el presente estudio también disminuyó en estados avanzados lo que coincide con Friesen et al. (1976), posiblemente debido a que en plantas más desarrolladas se reduce la absorción y el metabolismo (Singh y Singh, 2004).

El hecho de que en el presente estudio se alcanzó mejor o igual control con menos dosis en relación a la dosis de uso con haloxifop-metil en comparación con cletodim, especialmente en el estado de plántula, concuerda con otro estudio que muestra que los FOP fueron más efectivos que los DIM en *Setaria viridis* (L.) Beauv. y *Avena fatua* L., cuando se aplicaron en una etapa temprana de crecimiento (Friesen et al., 1976). En contraste, en otro estudio, el cletodim controló mejor plántulas y plantas con rizomas de *S. halepense* que FOP cuando se aplicaron con 3 a 4 hojas de la maleza (Rosales-Robles et al., 1999).

Aunque todos los tipos de *E. tristachya* se recolectaron en campos con aplicaciones repetidas de glifosato, no demostraron ser resistentes a este herbicida ni a los graminicidas. Sin embargo, en la especie relacionada *E. indica*, existen precedentes de evolución de resistencia a varios modos de acción, como los inhibidores de la EPSPS (Lee y Ngim, 2000)

y los inhibidores de la ACCasa (McCullough et al., 2016). Además, *E. tristachya* es una gramínea perenne y hay abundante bibliografía sobre la resistencia a los herbicidas para este grupo de malezas como por ejemplo *S. halepense* (Smeda et al., 1997, Vila-Aiub, 2007) por lo cual es probable que se encuentren en el futuro biotipos resistentes de *E. tristachya*.

54

La hormesis puede explicar el mayor crecimiento a largo plazo (330 DDA) en dosis bajas de glifosato en relación con el control sin herbicidas determinado en el presente estudio. Otros estudios también informan que las dosis subtóxicas de glifosato inducen consistentemente la hormesis en una variedad de especies de plantas, en varios órganos. Como este efecto no es inducido por los gramínicos, es probable que esté relacionado con el sitio de acción del glifosato (Duke et al., 2006; Velini et al. 2008; Duke, 2018). La estimulación del crecimiento de las plantas cuando se aplica glifosato a dosis bajas (<50 % ED₅₀) generalmente ocurre en un solo rasgo de las plantas (Duke et al., 2006) si bien en el presente estudio se observó en dos rasgos para *E. tristachya*, a nivel de número de semillas y de macollos, pero no para altura. En un estudio previo, la hormesis no se prolongó con el tiempo (Cedergreen, 2008), pero en el presente experimento se demostró que el efecto se observó varios meses después de la aplicación (330 DAT).

Cuando se realizó la aplicación de herbicidas en el estado reproductivo, el control a largo plazo fue difícil con glifosato a la dosis recomendada y con gramínicos a dos veces la dosis recomendada, debido a la capacidad de *E. tristachya* de producir macollos de rebrote. Esto sugiere que los herbicidas no se translocaron lo suficiente hacia los tejidos subterráneos, o que los herbicidas se metabolizaron en los tejidos como se observó en un estudio de Obrigawitch et al., (1990) sobre control de *S. halepense* con glifosato.

La producción de semillas en las malezas anuales y perennes con mayor éxito ecológico puede variar ampliamente entre especies relacionadas, biotipos de una misma especie, sitios y tipo de herbicida. En consecuencia, los programas de control de malezas en postemergencia han mostrado resultados variables en la reducción de la producción de semillas de malezas (Defelice et al., 1989; Steckel et al., 1990; Walker y Oliver, 2008). Muchos autores han mencionado que glifosato reduce la producción de semillas cuando se aplica en o cerca de la floración (Biniak y Aldrich, 1986; Isaacs et al., 1989; Shuma y Raju 1993; Shuma et al., 1995; Taylor y Oliver, 1997; Clay y Griffin, 2000; Walker y Oliver, 2008). En el presente estudio, la producción de semillas de plantas de rebrote de *E. tristachya* dependió principalmente del tipo de herbicida y fue mayor con glifosato en cualquiera de las dosis consideradas.

Conclusiones

Se concluye que la dosis de glifosato o de graminicida para controlar la biomasa en los distintos estados de desarrollo varía entre los biotipos de *E. tristachya* y *E. indica* para el control a corto plazo. Por otro lado, las dosis requeridas se acrecientan sustancialmente con

55

el aumento en el desarrollo de ambas especies de malezas, aunque en forma variable entre herbicidas y especies/biotipos. En el estado reproductivo aún con la mayor dosis ensayada no fue posible lograr un control aceptable de *E. indica* con graminicidas. Teniendo en cuenta el control a largo plazo, todos los biotipos muestran el mismo comportamiento, que consiste en el rebrote y la producción de semillas cuando la aplicación fue realizada a dosis de uso en la etapa reproductiva. En consecuencia, un control adecuado a corto plazo implica una buena respuesta a largo plazo que puede obtenerse a través de un programa de aplicación en postemergencia a la dosis recomendada o incluso a dosis más bajas, pero siempre en los estados de plántula o vegetativo. En cambio, en el estado reproductivo se necesitan dosis muy altas de herbicida postemergente para evitar nuevas infestaciones debidas al rebrote.

CAPÍTULO III

56

Competencia entre el cultivo de soja y las malezas *Eleusine indica* y *Eleusine tristachya*

CAPÍTULO III

Competencia entre el cultivo de soja y las malezas *Eleusine indica* y *Eleusine tristachya*

Resumen

La interferencia es una interacción entre dos especies que incluye a la alelopatía y la competencia. No hay información publicada sobre competencia entre cultivos y *E. tristachya* y existen pocos estudios sobre *E. indica*. Los diseños aditivos incluyen monoculturas con la misma densidad y una mezcla binaria también con la misma densidad de cada uno de los

componentes en monoculturas. Este tipo de experimento es apropiado para iniciar estudios de competencia entre especies, considerando que el factor de interés es el tipo de vecino y no la densidad o la proporción de la mezcla. El rendimiento relativo total (RYT) consiste en la adición de los rendimientos relativos de cultivos y malezas e indica la complementariedad de recursos. La agresividad tiene en cuenta el efecto de la competencia tanto en el cultivo como en la maleza e indica la habilidad competitiva que es una función de muchos atributos de una especie que hace que la misma obtenga una mayor proporción de recursos limitados en relación a otras especies. No se han determinado RYT y agresividad para *E. indica* ni para *E. tristachya*, si bien existen estudios que lo han evaluado para otras malezas en Argentina. Los objetivos de este capítulo fueron evaluar para *E. tristachya* y *E. indica*: a) la complementariedad de recursos para biomasa (RYT_{biomasa}) y semillas (RYT_{semillas}), la habilidad competitiva para biomasa (RYT_{biomasa}) y semillas (RYT_{semillas}) y la altura, en competencia entre sí y con el cultivo de soja; y b) la materia seca total por planta (TDM) y la tasa de crecimiento relativo (RGR). La cantidad de semillas producidas por planta fue superior para *E. indica* vs *E. tristachya*. Ambos años, RYT_{biomasa} y RYT_{semillas} entre malezas no fue significativamente diferente de 1, indicando competencia completa o ausencia de complementariedad de recursos. La biomasa de *E. indica* en presencia de *E. tristachya* en relación con su monocultura creció 80 %, mientras que *E. tristachya* en presencia de *E. indica* aumentó 26 %. Por lo tanto, la reducción del crecimiento debido a la competencia fue menor para *E. indica*. En los estadíos R3 y R5 de la soja, *E. indica* presentó mayor altura que el cultivo y que *E. tristachya*. RGR entre ambas especies de *Eleusine* no difirió, excepto a los 7 días después de la emergencia (DDE) y en los momentos de RGR máximo para cada especie (0,37 a 42 DDE en *E. indica* y 0,32 a 49 DDE en *E. tristachya*). Estos resultados también señalan que *E. indica* alcanzó su máximo RGR antes

58

que *E. tristachya*. La TDM al final del ciclo de crecimiento en *E. indica* es 90 g superior que la de *E. tristachya*.

Introducción

Definición de interferencia, competencia y alelopatía

La interferencia es una interacción entre dos especies que incluye a la alelopatía y la competencia. Se considera que la alelopatía es relativamente poco importante y muy difícil de demostrar en condiciones de campo. En la competencia, las malezas y los cultivos se afectan de manera adversa por compartir recursos limitados (Goldberg, 1990, Gaudet y Keddy, 1988; Keddy y Shipley, 1989; Aarssen, 1992, Swanton et al., 2015) lo que puede conducir a una menor supervivencia, o reducción en el crecimiento o reproducción de los individuos intervinientes (Harper, 1977). Es importante remarcar que la competencia resulta

en perjuicio para ambas especies involucradas (Radosevich y Ghera 1997). Así, la competencia es un proceso clave que afecta a las poblaciones o comunidades de plantas (Casper y Jackson, 1997; Berger et al., 2008, Jha, 2017).

Por su rusticidad, las malezas competitivas se destacan por la velocidad y la eficiencia de utilización de los recursos ambientales (Myers & Anderson, 2003), asegurando su supervivencia y ventajas de crecimiento ya afectando a las plantas cultivadas, aunque en muchos casos los cultivos son también competitivos con las malezas. Así, los principales cultivos agrícolas presentan capacidad variable para competir con las malezas, lo que comprende desde cultivos que prácticamente no proporcionan competencia hasta competidores muy agresivos. Los cultivares competitivos tienen el potencial de reducir el crecimiento y la producción de semillas de malezas evitando la reposición del banco de semillas por lo que pueden servir como una herramienta de bajo costo en el manejo de malezas (Holt, 1995, Kumar et al., 2013, Sardana et al., 2017). Muchos cultivares modernos pueden reducir la competencia causada por las malezas durante las primeras semanas después de la siembra, etapa de cultivo donde existe una gran competencia por los recursos del ambiente.

El éxito de la competencia entre especies vegetales se ha atribuido a:

- a) la fenología como la velocidad de crecimiento (Buchanan y Burns, 1971; Kropff, 1988, Rizzarda et al., 2003; Bianchi et al., 2006a)
- b) las características fisiológicas como la eficiencia de los recursos ambientales, incluyendo agua, luz y nutrientes (Regnier y Stoller, 1989; Ballaré y Casal, 2000; Bianchi et al., 2006b; Marín y Weiner, 2014)

59

- c) las diferencias morfológicas como la altura (Kissmann, 1997; Kumar, 2016) d) la relación entre el tamaño y el tiempo de establecimiento, es decir, plantas que se establecen antes que otras plantas y probablemente crezcan más.

Estas diferencias entre las malezas y el cultivo pueden explicar los cambios en la habilidad competitiva. A su vez, las especies de malezas, y a veces las especies dentro de un mismo género, pueden variar mucho en sus hábitos de crecimiento presentando tasas de crecimiento por planta marcadamente diferentes y alcanzando alturas muy variables. Las malezas de alto porte que no son controladas durante el establecimiento de los cultivos, pueden superarlos en altura y causar grandes pérdidas de rendimiento debido al sombreo. El objetivo del manejo de malezas es fortalecer la competitividad del cultivo al reducir o retrasar el crecimiento y desarrollo de las malezas, lo que hace posible que el cultivo obtenga una mayor proporción de los recursos limitados. Es importante contar con métodos

culturales complementarios al control químico a raíz del aumento en la cantidad de especies de malezas resistentes, a la selección de especies tolerantes y los problemas ambientales que los herbicidas generan. No hay información publicada sobre competencia entre los cultivos y *E. tristachya*, por lo que solo se mencionarán estudios sobre *E. indica*, si bien hasta la fecha, tampoco se cuenta con suficientes investigaciones sobre la competencia de dicha especie.

En maíz, Rambakudzibga et al. (2002) indican que *E. indica* puede reducir el crecimiento, desarrollo y rendimiento. Wandscheer et al. (2013) evaluaron el impacto de *E. indica* con el modelo de serie de reemplazo y encontraron reducción de la productividad cuando la densidad de las malezas fue mayor que la del maíz.

Por otra parte, en algodón, *E. indica* crece semipostrada y rara vez supera los 90 cm, permaneciendo a menor altura que el cultivo durante todo el período de crecimiento. Esto resulta en un uso menos eficiente de la luz que el algodón, lo que podría ser una de las razones por las que *E. indica* no es competitiva con este cultivo a bajas densidades. Sin embargo, en otros estudios se demostró que, siendo que *E. indica* es una gramínea de raíces profundas, cuanto más densa es su población, más agua y nutrientes requiere, lo que reduce el rendimiento del algodón (Buchanan et al., 1977; Rushing et al. 1985). En otro estudio, se demuestra que la competencia de *E. indica* puede reducir significativamente el rendimiento del algodón a una densidad de 4 plantas.m⁻¹ en la fila por lo que se recomienda controlar *E. indica* aún con bajas densidades temprano en la temporada de crecimiento para mantener el rendimiento del algodón (Ismail et al., 2003).

60

La soja es el principal cultivo oleaginoso en Sud América y en particular en Argentina (Cerqueira et al, 2011). Para una gestión exitosa y sostenible de las dos especies de *Eleusine* presentes en Argentina, es relevante conocer sus hábitos de crecimiento, la complementariedad de recursos, la capacidad competitiva y la producción de semillas entre el cultivo de soja y *E. indica* o *E. tristachya* y entre ambas malezas, por lo tanto, los estudios sobre la biología y las relaciones de competencia de estas especies son fundamentales. No hay estudios publicados sobre la competencia entre dos especies que pertenecen a un mismo género.

Evaluación de la competencia

Los diseños aditivos incluyen monoculturas con la misma densidad y una mezcla binaria con la misma densidad de cada uno de los componentes en monoculturas (Cousens, 1991). Este tipo de experimento es apropiado para iniciar estudios de competencia entre especies, considerando que el factor de interés es el tipo de vecino y no la densidad o la proporción de

la mezcla (Cousens, 1991).

Se utilizan diferentes índices para evaluar la competencia. Algunos de esos índices son:

a) Rendimiento relativo total

El rendimiento relativo total (RYT) (De Wit, 1960) consiste en la adición de los rendimientos relativos de cultivos y malezas e indica la *complementariedad de recursos*. RYT no se ha determinado para *E. indica* ni para *E. tristachya* si bien existen estudios que lo han evaluado para otras malezas en Argentina (Puricelli et al., 2003; Puricelli et al., 2012).

b) Agresividad

La agresividad tiene en cuenta el efecto de la competencia tanto en el cultivo como en la maleza e indica la *capacidad competitiva*. La capacidad competitiva es una función de muchos atributos de una especie que hace que la misma obtenga una mayor proporción de recursos limitantes que otras especies (Holt, 1988). Hay estudios sobre la capacidad competitiva de varias malezas en un cultivo determinado (Welbank, 1963; Farahbakhsh et al., 1987; Wilson y Wright, 1990) y se sabe que la agresividad de una maleza puede ser mayor o menor que la del cultivo (Dawson, 1965; Moraes et al. 2009; Silva et al. 2014).

Análisis del crecimiento de las plantas

El análisis del crecimiento es una herramienta analítica empleada para caracterizar las especies de plantas, con datos de la biomasa acumulada en los diferentes órganos a lo largo del ciclo (Poorter et al., 2012). Por lo general, las plantas que presentan un crecimiento más rápido y un mayor tamaño son aquellas que están más capacitadas para competir por los recursos del ambiente (Roush y Radosevich, 1985). Las evaluaciones de la biomasa y de los órganos reproductivos asociados con el crecimiento y desarrollo de las poblaciones de malezas se considera un requisito previo para mejorar las prácticas de manejo (Lamichhane et al., 2017).

La tasa de crecimiento relativo (RGR) se ha propuesto como un medio para integrar los atributos fisiológicos de una planta (Evans 1972; Grime y Hunt 1975; Benincasa, 2003). En ecología vegetal, se considera que RGR es una de las características clave de las plantas que se correlacionan positivamente con la capacidad competitiva (Grime 1977; Grace 1990). Como el RGR tiene en cuenta la biomasa preexistente, un RGR alto indica que un cultivo o una especie de maleza aumenta de tamaño más rápidamente y puede ocupar un espacio más grande que sus vecinos (Poorter et al., 2012). Un estudio realizado por

Mohammadi (2007) reveló que, entre los parámetros de crecimiento, el RGR fue el mejor predictor de la competitividad del maíz.

La flora herbácea anual está formada generalmente por especies ruderales que se adaptan a ambientes perturbados y fértiles. Una de las características de los ruderales es un alto RGR en la fase de plántula (Grime, 2001). El conocimiento del RGR de las plántulas es fundamental para comprender la ecología funcional de las especies (Grime y Hunt, 1975; Grime et al., 1997; Hunt y Cornelissen, 1997; Poorter y Garnier, 1999). Dentro de una comunidad de malezas hay un rango de RGR (Seibert y Pearce, 1993) y es importante determinar este parámetro para las especies principales de malezas en una región a fin de desarrollar sistemas de manejo de malezas sostenibles económica y ambientalmente. El análisis de crecimiento de las malezas Poaceae ha recibido poca atención.

Hipótesis

- a) el rendimiento relativo (RY) evaluado a través de biomasa vegetal es mayor para la soja que para ambas malezas (*E. indica* y *E. tristachya*)
 - b) el RY es mayor para *E. indica* en relación con *E. tristachya*
 - c) la complementariedad de recursos evaluada a través de la biomasa vegetal es mayor para la combinación soja - *E. tristachya* que para soja- *E. indica*
- 62
- d) la complementariedad de recursos evaluada a través de la biomasa vegetal es mayor para la combinación soja-malezas que para las malezas entre sí
 - e) la habilidad competitiva evaluada a través de biomasa vegetal es mayor para la soja que para ambas malezas (*E. indica* y *E. tristachya*)
 - f) la habilidad competitiva evaluada a través de biomasa vegetal es mayor para *E. indica* en relación con *E. tristachya*
 - g) el RY evaluado a través de la producción de semillas es mayor para la soja que para ambas malezas (*E. indica* y *E. tristachya*)
 - h) el RY evaluado a través de la producción de semillas es mayor para *E. indica* en relación con *E. tristachya*
 - i) La tasa de crecimiento relativa de *E. indica* es mayor que la de *E. tristachya* durante todo el ciclo

Los objetivos de este capítulo fueron:

- 1) evaluar para *E. tristachya* y *E. indica* en competencia de las malezas entre sí y de cada una con el cultivo de soja:

- a) la complementariedad de recursos en base a biomasa (RYT_{biomasa}) y a producción de semillas (RYT_{semillas})
 - b) la habilidad competitiva en base a biomasa y producción de semillas
 - c) la altura
- 2) Analizar la biomasa total por planta (TDM), tasa de crecimiento relativo (RGR) y la producción de semillas de *E. tristachya* y *E. indica*

Materiales y métodos

El experimento se realizó en la Estación Experimental de la Universidad de Rosario, en Zavalla (lat.33°01'S, long. 60°53'O), Argentina, en 2015/16 y 2016/17 durante la temporada de crecimiento de las malezas y la soja.

Dependiendo del tratamiento (monocultura o mezclas binarias), las semillas de malezas y/o soja se sembraron en macetas de 15 L con orificios de drenaje (40 cm de profundidad, 30 cm de ancho). Este tamaño de maceta minimiza las restricciones de crecimiento de la raíz. Las macetas contenían un suelo tamizado de 5 kg. que se obtuvo del sitio, se tamizó a través de una malla de 5 mm y se pasteurizó durante 24 horas a 80 °C. Las semillas de malezas y soja se sembraron a una profundidad de 2-3 cm y 1-2 cm,

63
respectivamente. Se permitió que las plántulas se establecieran al aire libre y se regaron regularmente. Las plantas de maleza se ralearon cuando tenían 2 hojas verdaderas y las de soja al estado cotiledonar, para dejar una planta por especie. El suelo de las macetas no se fertilizó y las plantas se trataron con insecticidas cuando fue necesario. Las plantas distintas de las malezas estudiadas y de la soja fueron eliminadas. Las macetas se rotaron dos veces a la semana durante el experimento para evitar cualquier sesgo asociado con la disposición de la maceta. En estas rotaciones, las macetas se movieron en sentido contrario a las agujas del reloj por bloque.

Rendimiento relativo total (RYT) e índice de agresividad (AI)

Los tratamientos consistieron en monoculturas de cada una de las malezas y de soja, mezclas de soja creciendo con *E. indica* o *E. tristachya*, y mezcla entre ambas malezas; se organizaron en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La densidad total de plantas en mezclas de malezas (2 plantas por maceta) fue igual a la suma de la densidad de cultivos y malezas en monocultivos (1 planta por maceta), un diseño totalmente aditivo según Snaydon (1991).

Los RYT se calcularon utilizando la ecuación 1 propuesta por McGilchrist y Trenbath

$$(1971): RYT = (RY_{ab} / RY_{aa}) + (RY_{ba} / RY_{bb}) \text{ ecuación 1}$$

donde RY_{aa} y RY_{bb} son los pesos ($RYT_{biomasa}$) o semillas ($RYT_{semillas}$) por planta de las especies 'a' y 'b' cuando se cultivan en monocultivos y RY_{ab} y RY_{ba} son los pesos por planta o semillas de las especies en mezclas entre sí.

Los valores de RYT se muestran en diagramas bivariados (Snaydon y Satorre, 1989) trazando la biomasa relativa de la soja contra la de cada una de las malezas y la biomasa relativa de *E. tristachya* contra la de *E. indica*. Para un experimento aditivo, un valor RYT de 1 significa competencia completa entre especies, y un valor RYT de 2 significa no competencia. Cualquier valor de RYT entre 1 y 2 significa que la competencia es parcial, es decir, que existe cierta complementariedad de recursos entre las especies.

Para medir la agresividad de las malezas cuando se cultivan en mezcla con la soja, se calculó el índice de agresividad (AI) (McGilchrist y Trenbath 1971). Los valores de AI de malezas por debajo de cero indican que la especie de maleza es menos competitiva que la soja y los valores de AI por encima de cero indican que la maleza es más competitiva que la soja. Los valores de AI para biomasa o semillas se determinaron para cada especie de maleza con soja mediante la ecuación 2:

$$AI = (RY_{ab} / RY_{aa}) - (RY_{ba} / RY_{bb}) \text{ ecuación 2}$$

64

donde RY_{aa} y RY_{bb} son los pesos o semillas por planta de las especies de malezas correspondientes (a) y soja (b) cuando se cultivan en monocultivos y RY_{ab} y RY_{ba} son los pesos por planta o semillas de las especies en mezclas entre sí. En mezclas de ambas malezas, (a) corresponde a *E. indica* y (b) a *E. tristachya*.

Parámetros de crecimiento

Los tratamientos consistieron en monoculturas de *E. indica* y *E. tristachya* (1 planta por maceta). Las cosechas de plantas se realizaron semanalmente en 16 fechas durante la temporada de crecimiento: de 7 a 135 días después de la emergencia (DDE). El diseño experimental fue completamente aleatorizado, con cuatro repeticiones. En cada fecha de muestreo, se determinó la altura de las plantas y luego se cortaron las mismas a nivel del suelo para evaluar la materia seca a fin de calcular la tasa de crecimiento relativo (RGR), que expresa el crecimiento de una planta en un período de tiempo, considerando la materia seca acumulada al inicio de este intervalo, calculado por la siguiente ecuación:

$$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1) \text{ ecuación 3}$$

donde W_2 y W_1 son el peso de la planta (g) en los tiempos 2 y 1 (días) (t_2 y t_1 , respectivamente). RGR es la tasa de crecimiento relativo ($g\ g^{-1}\ día^{-1}$).

Asimismo, para describir la dinámica de crecimiento de cada especie, los datos se ajustaron a la siguiente logística de 4 parámetros:

$$y = c + \frac{(d - c)}{1 + \exp(-bx - t_{50})} \quad \text{ecuación 4}$$

Donde y es la variable respuesta (materia seca), c representa el límite inferior de la curva, d representa el límite superior, b es la pendiente de la curva, x es es la cantidad de días acumulados, y t_{50} es la cantidad de días que proporciona el 50% de la variable de respuesta

Producción de semillas

El número de semillas por planta se estimó con la metodología del Capítulo 2 (ecuación 1).

65

Análisis estadístico

Los análisis y la comparación de los parámetros fueron realizados con el software estadístico de licencia libre R3.5.2 (R Development Core Team, 2018). Antes del análisis, la materia seca se transformó en logaritmo ($\log(x^{-1/2}+1)$) para homogeneizar la varianza y mejorar la normalidad. Se utilizó un ANVA ($P < 0,05$) para probar el efecto del año, los tratamientos y todas las posibles interacciones.

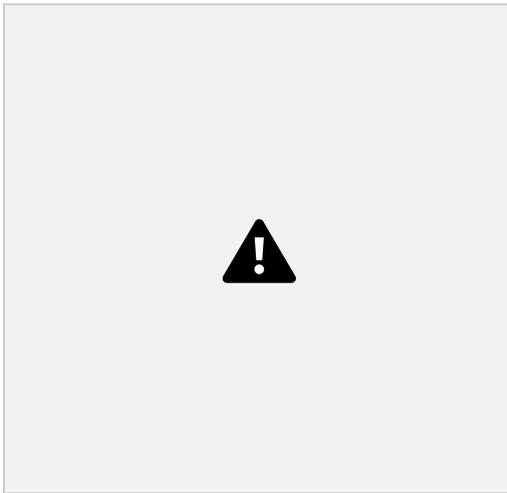
Los valores de rendimiento relativo total (RYT_{biomasa} y RYT_{semilla}) de todos los tratamientos se sometieron a ANVA ($P < 0,05$), y se calculó el LSD ($P < 0,05$) para comparar los valores medios con un RYT de 1. Agresividad, y altura de todos los tratamientos se sometieron a ANVA ($P < 0,05$). Las comparaciones de TDM y RGR por fecha entre *E. indica* y *E. tristachya* se realizaron utilizando una prueba t ($P < 0,05$).

Resultados y discusión

RYT biomasa

La interacción año x tratamiento no fue significativa en RYT_{biomasa} y RYT_{semillas} para *E. indica* en mezcla con *E. tristachya* y para ambas malezas en mezcla con soja, por lo que los datos agruparon entre años.

Ambos años, RYT_{biomasa} y RYT_{semillas} entre malezas no fue significativamente diferente de 1, indicando competencia completa o no complementariedad de recursos (Figura 1). En otros experimentos sobre competencia entre especies de gramíneas perennes, se demostró que después de algún período de establecimiento, RYT_{biomasa} fue 1 indicando que las especies a menudo se excluyen mutuamente, (De Wit y Van Den Bergh; 1965). La biomasa de *E. indica* en presencia de *E. tristachya* en relación con su monocultura creció 80 %, mientras que *E. tristachya* en presencia de *E. indica* creció 26 %, por lo tanto, la reducción del crecimiento debido a la competencia fue menor para *E. indica* (Figura 1 y Foto 1). En un estudio en el que se comparó de a pares el crecimiento de distintas especies de plantas se determinó que la competencia es generalmente asimétrica en el sentido de que una especie es más afectada que la otra (Keddy et al., 1997).



Eleusine indica en monocultura (a)

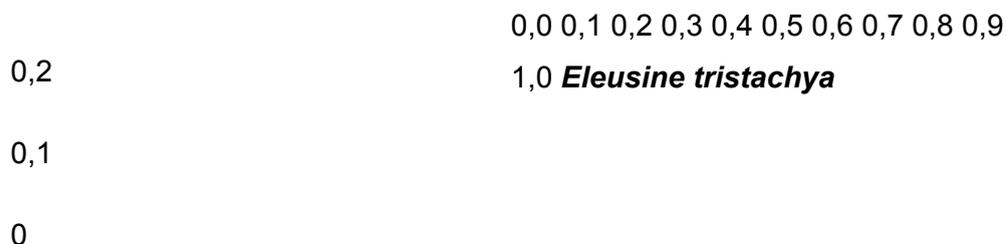


Figura 1. Diagrama bivariado basado en la biomasa relativa de *Eleusine indica* en competencia con *E. tristachya* en (○) 2016 y (●) 2017. La línea diagonal indica las condiciones de $RYT_{biomasa} = 1$. La barra indica un LSD ($P = 0,05$).

$RYT_{biomasa}$ de soja en mezcla con *E. indica* fue significativamente mayor que 1, mostrando una competencia parcial o complementariedad de recursos (Figura 2 y Foto 2) y cierto grado de diferenciación de nicho (Fowler, 1982). En general, la complementariedad de recursos se observa en mezclas de leguminosas y especies de gramíneas, debido a la fijación de nitrógeno por *Rhizobium* asociado con la leguminosa (De Wit et al., 1966; Hartfield y Stewart, 1994; Liebman et al., 2001) como es el caso de la soja. Radosevich et al. (1997) señalan que existe menor pérdida de productividad en mezclas ya que las plantas de distintas especies tienen diferente nicho ecológico.

En presencia de *E. indica*, la biomasa de soja en relación con su monocultura fue del 53 % (Figura 2 y Foto 2). Estos valores fueron más bajos que para el cultivo de soja con *E. tristachya* (81 %) (Figura 2 y Foto 2). Esto implica que la soja mostró una mayor complementariedad de recursos con *E. tristachya* que con *E. indica*. Por lo tanto, la mayor

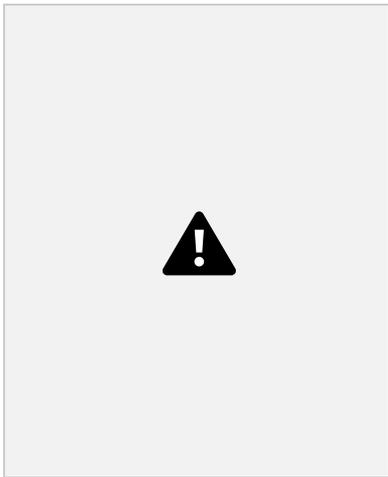
68

evitación parcial de la competencia de la soja en relación a ambas especies de malezas fue evidente. Los valores de $RYT_{biomasa}$ superiores a 1 se determinaron en otros estudios con especies de malezas en barbechos entre sí (Puricelli et al., 2012) y con malezas en soja (Crotser y Witt 2000; Vitta y Satorre 1999; Puricelli et al., 2003). Asimismo, se ha observado competencia completa en un estudio con soja en coexistencia con *Brachiaria plantaginea* en la misma proporción de individuos (Agostinetto et al., 2009).

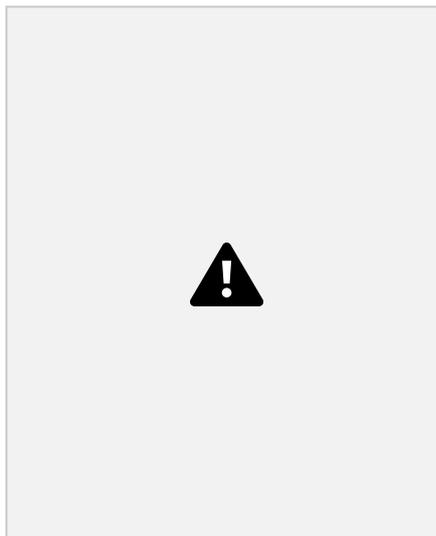
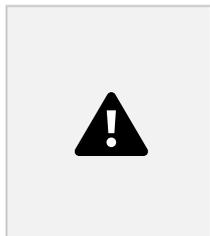
La biomasa de *E. indica* en presencia de soja en relación con su monocultura creció 87 %, mientras que *E. tristachya* en presencia de soja creció 83 %, por lo tanto, la reducción del crecimiento debido a la competencia es menor para *E. indica* (Figura 3 y Foto 3).



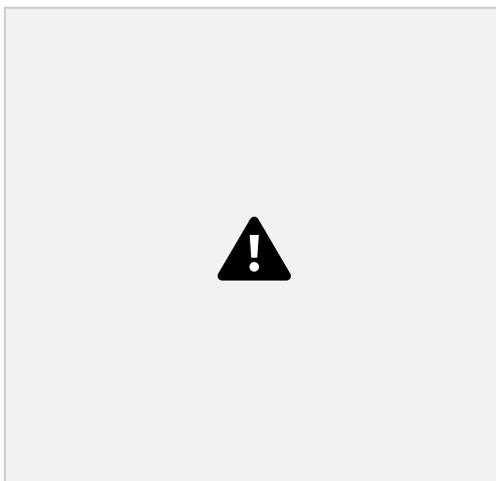
Figura 2. Diagrama bivariado basado en la biomasa relativa de *Glicine max* (soja) en competencia con *Eleusine indica* en (○) 2016 y (●) 2017 y *Glicine max* en competencia con *Eleusine tristachya* en (Δ) 2016 y (▲) 2017. La línea diagonal indica las condiciones de $RYT_{biomasa} = 1$. La barra indica un LSD ($P = 0,05$).



Soja en monocultura (a)

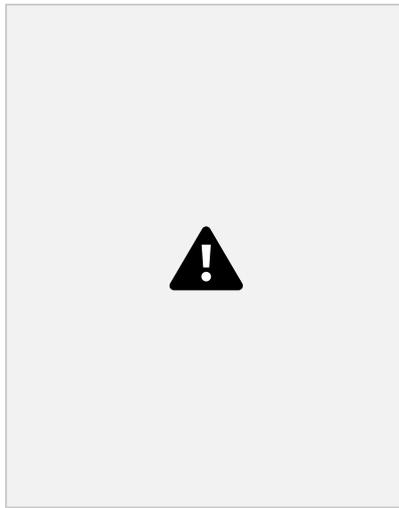


Soja y *E. indica* en
mezcla binaria (a + b)

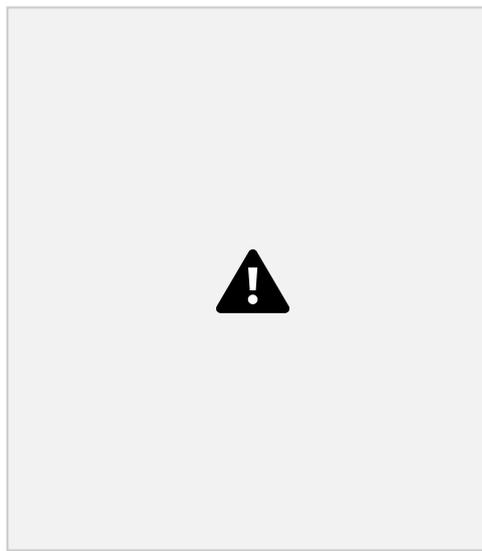


Eleusine indica en monocultura (b)

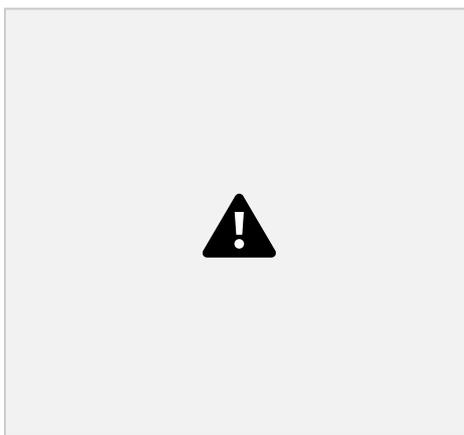
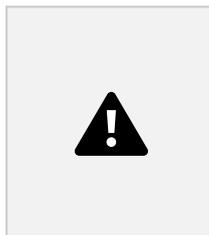
Foto 2. Soja (a) y *Eleusine indica* (b) creciendo en monocultura y en mezcla binaria (a + b)



Soja en monocultura (a)



Soja y *E. tristachya* en
mezcla binaria (a + b)



Eleusine tristachya en monocultura (b)

Foto 3. Soja (a) y *Eleusine tristachya* (b) creciendo en monocultura y en mezcla binaria (a + b)

Para la IA_{biomasa} , no se detectó una interacción significativa año x tratamiento; por lo tanto, se agruparon los datos de cada año.

1. IA entre cultivo (en esta tesis el cultivo de soja) y malezas pueden existir tres relaciones distintas:

1.1 *La maleza tiene mayor habilidad competitiva que el cultivo*

IA para la mezcla de soja y *E. indica* fue de 0,34. Otros experimentos también muestran que las malezas pueden tener mayor habilidad competitiva que la soja (Regnier y Stoller, 1989, Puricelli et al., 2003, Lamego et al., 2005; Bianchi et al. 2006). La alta habilidad competitiva de *E. indicaremarca* el beneficio de controlar esta especie para optimizar el manejo de malezas. Roush y Radosevich (1985) han indicado que la aplicación de herbicidas debe dirigirse solo a las malezas más competitivas.

1.2 *La maleza y el cultivo tienen la misma habilidad competitiva*

IA para la mezcla de soja y *E. tristachya* fue de 0,02, lo que indica que lo que también ha sido observado en otro estudio con *E. indica* en maíz (Wandscheer, 2013).

1.3 *La maleza tiene menor habilidad competitiva que el cultivo*

Esta relación no fue observada en el presente estudio pero ha sido descrita en otros trabajos (Christoffoleti et al, 1996; Hoffman y Buhler, 2002; Moraes et al., 2009; Yamauti et al., 2011; Guglielmini et al., 2016)

2. IA de la mezcla de *E. indica* y *E. tristachya*

IA para la mezcla de ambas malezas fue de 0,54, siendo *E. indica* más competitiva que *E. tristachya*. Esto ha sido observado en *Galium aparine*, cuya habilidad competitiva fue mayor a otras especies de malezas aparentemente debido a su mayor tasa de crecimiento, especialmente en las últimas etapas y con plantas grandes (Wilson, 1986; Peters, 1984; Wilson y Wright, 1987).

RYT_{semillas}

La interacción del año x tratamiento no fue significativa para *E. indica* en mezcla con *E. tristachya* y para ambas malezas en mezcla con soja, por lo que los datos se agruparon entre años.

RYT_{semillas} fue significativamente menor que 1, lo que indica que ambas malezas en competencia producen menos semillas que en su monocultura (Figura 3). La producción de

semillas de *E. indica* en presencia de *E. tristachya* en relación con su monocultura fue de 79%, mientras que la de *E. tristachya* en presencia de *E. indica* fue de 26%. Por lo tanto, la reducción de la producción de semillas debido a la competencia es menor para *E. indica*. Se ha demostrado que cuando las especies nativas crecen junto con especies exóticas reducen sustancialmente su producción de semillas (Cook-Patton y Agrawal, 2014), lo que puede explicar la menor producción de semillas de *E. tristachya* (nativa) en presencia de *E. indica* (exótica).

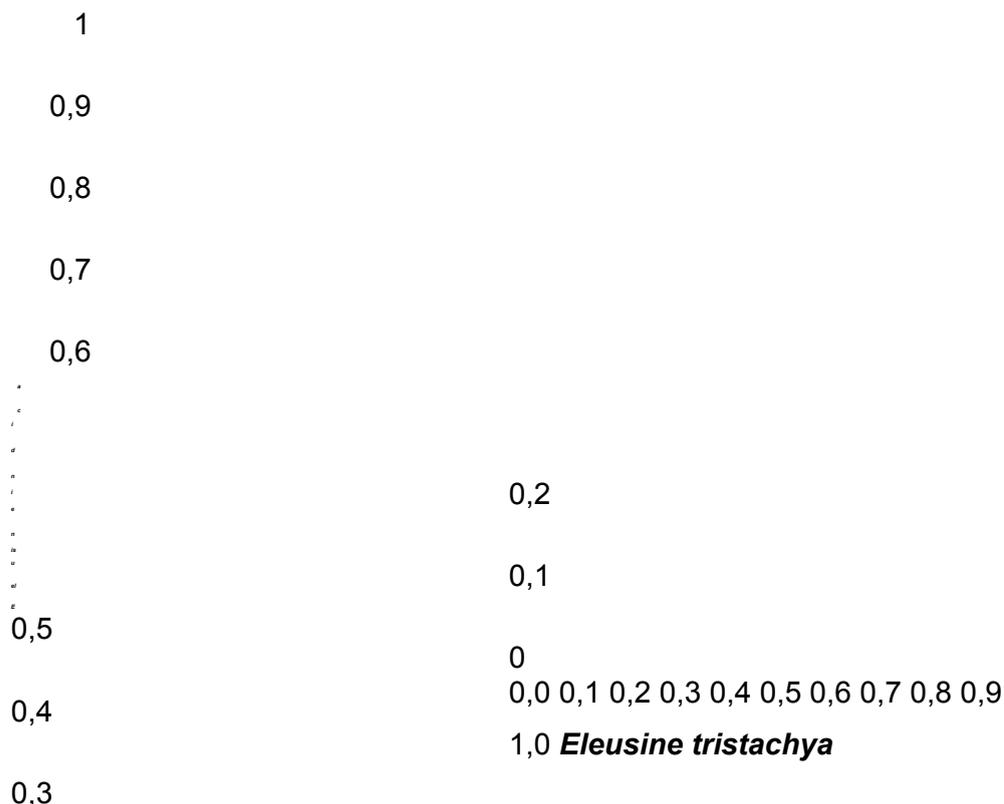


Figura 3. Diagrama bivariado basado en la producción de semillas relativa de *Eleusine indica* en competencia con *E. tristachya* en (○) 2016 y (●) 2017. La línea diagonal indica las condiciones de $RYT_{biomasa} = 1$. La barra indica un LSD (P = 0,05).

$RYT_{semillas}$ de soja en mezcla con *E. indica* fue significativamente mayor que 1, indicando competencia parcial o complementariedad de recursos (Figura 4). La cantidad de semillas de soja en relación con su monocultura fue del 53%. Estos valores fueron más bajos que para el cultivo de soja con *E. tristachya* (81%). No se conocen estudios que comparen $RYT_{semillas}$ de diferentes especies de malezas o cultivos.

*
c
u
r
r
e
n
t
e
s

1
1

0,9

0,9

0,8

0,8

0,7

0,7

0,6

0,6

*
r
e
s
u
l
t
s

0,5

0,5

0,4

0,4

0,3

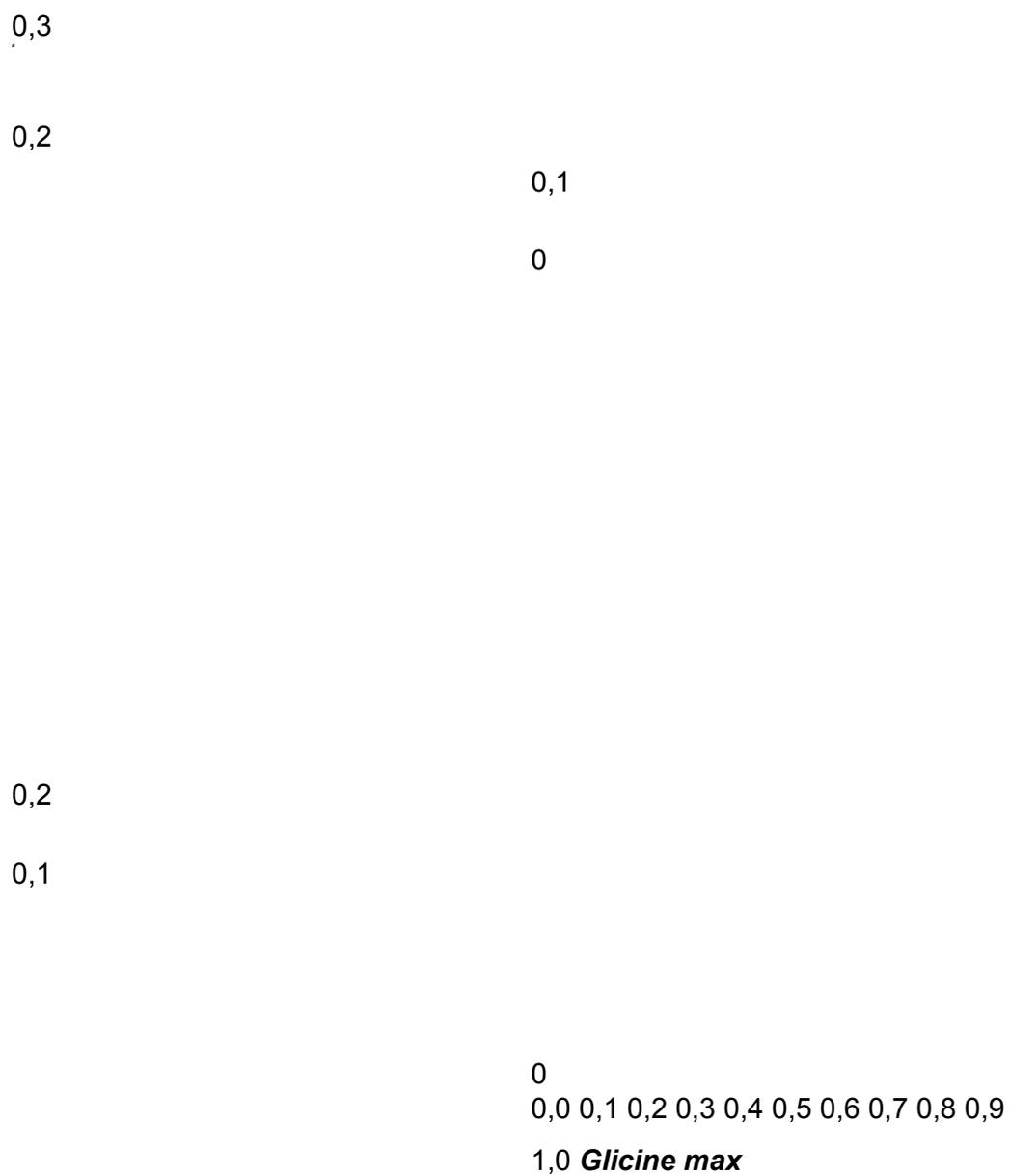


Figura 4. Diagrama bivariado basado en la producción de semilla relativa de *Glicinemax* (soja) en competencia con *Eleusine indica* en (○) 2016 y (●) 2017 y *Glicine max* en competencia con *Eleusine tristachya* en (△) 2016 y (▲) 2017. La línea diagonal indica las

condiciones de $RYT_{biomasa} = 1$. La barra indica un LSD ($P = 0,05$).

Agresividad semillas

Para la $IA_{semillas}$, no se detectó una interacción significativa año por tratamiento, por lo tanto, se agruparon los datos de cada año.

74

IA para la mezcla de soja y *E. indica* fue de 0,36 lo cual indica la mayor competencia de esta maleza en la producción de semillas. En cambio, IA de la mezcla de soja y *E. tristachya* no fue significativamente diferente de 0, señalando igual habilidad competitiva. Se determinó correlación entre $AI_{biomasa}$ y $AI_{semilla}$.

A continuación, en la Tabla 1 se puede observar las distintas relaciones y el grado de intensidad entre las mezclas estudiadas para RYT biomasa y semillas y AI biomasa y semilla:

Tabla 1. Relaciones e intensidad entre las mezclas *Eleusine indica* – Soja, *Eleusine tristachya* – Soja y *Eleusine indica* – *Eleusine tristachya* para los índices $RY_{biomasa}$, $RY_{semilla}$, $AI_{biomasa}$ y $AI_{semilla}$

Combinaciones de especies

E. indica – Soja *E. tristachya* - Soja *E. indica* – *E. tristachya*

$RY_{biomasa}$ ++ +++ +

$RY_{semilla}$ ++ +++ -

$AI_{biomasa}$ *E. indica*>Soja *E. tristachya*=Soja *E. indica*>*E. tristachya* $AI_{semilla}$ *E. indica*>Soja *E. tristachya*= Soja *E. indica*>*E. tristachya* Leyenda: el signo positivo indica valores mayores a

1. El signo negativo indica valores menores a 1. La intensidad está expresada con la cantidad de signos+/-, tres signos indican mayor intensidad, dos signos intensidad intermedia y un signo menor intensidad.

Altura de la planta

El efecto competitivo está relacionado con la adquisición de recursos con plantas grandes o altas que deprimen a las más pequeñas (Gaudet y Keddy, 1988; Keddy y Shipley, 1989; Goldberg, 1990; Aarssen, 1992). En varios estudios, se muestra que la altura de la planta puede influir en la competencia entre las malezas y los cultivos en función de las especies involucradas, sus comportamientos de crecimiento y su período de coexistencia (Zanine y Santos, 2004; Blackshaw, 1994; Huel y Hucl, 1996; Lemerle et al., 2001). En el presente estudio, la altura de la soja y las malezas no difirió entre mezclas y monoculturas. Como se muestra en la Figura 5, la soja en el estadio V2 fue más alta que las malezas, las cuales no

difirieron entre sí en altura. En R3 y R5, *E. indica* presentó mayor altura que la soja y que *E. tristachya*. Algunas especies de malezas que producen follaje por encima del canopeo del cultivo de soja causan pérdidas en el rendimiento de la soja al competir por la luz (Coble et al., 1981; Stoller y Woolley, 1985; Wiles y Wilkerson, 1991; Silva et al., 2004; Bianchi et al.,

2006; Rezende et al., 2012). En otros estudios, la altura de la soja fue superior a la de la maleza (Jannink et al., 2000; Puricelli et al., 2003).

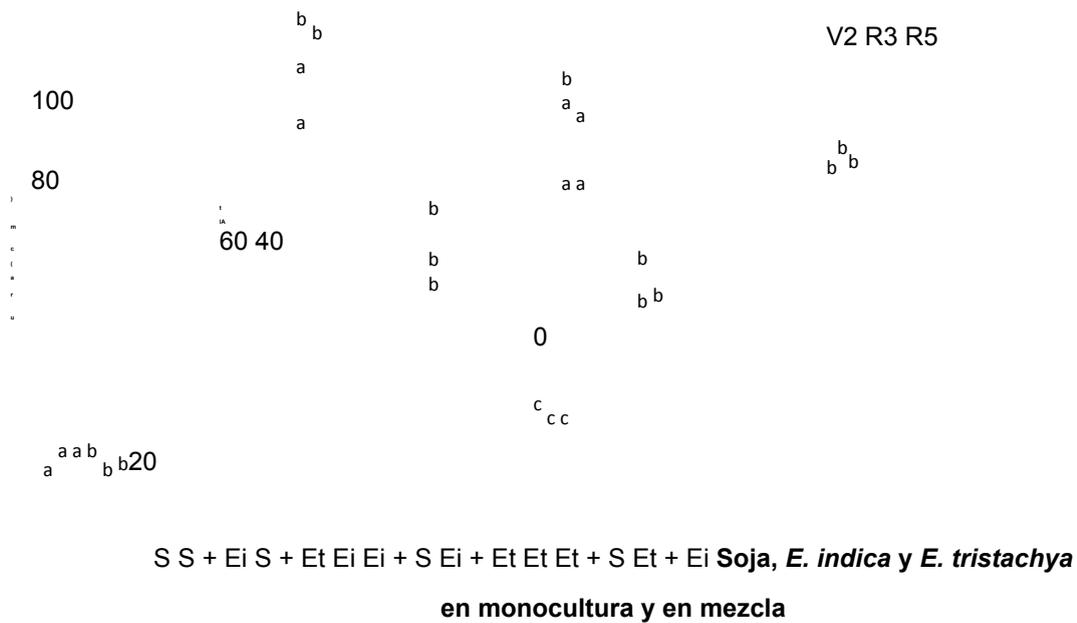


Figura 5. Altura de Soja (S), *Eleusine indica* (Ei) y *Eleusine tristachya* (Et) en monocultura y en mezcla binaria evaluados en tres estadios fenológicos de la soja: V2, R3 y R5 (Fehr y Caviness, 1977), a los 25, 45 y 90 días después de la emergencia del cultivo y las malezas. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas para cada estadio fenológico entre la soja y cada una de las malezas.

Parámetros de crecimiento

TDM y RGR

En el presente estudio, *E. indica* y *E. tristachya* no mostraron diferencias en la biomasa por planta hasta los 35 DDE (Figura 6) según una prueba de t ($P < 0,05$). La acumulación de materia seca fue baja durante este período inicial, lo que coincide con otros estudios en Poaceae, como *Digitaria insularis* y *Chloris polydactyla*, que también muestran una acumulación lenta de materia seca hasta alrededor de 45 DDE (Carvalho et al., 2005; Machado et al., 2006).

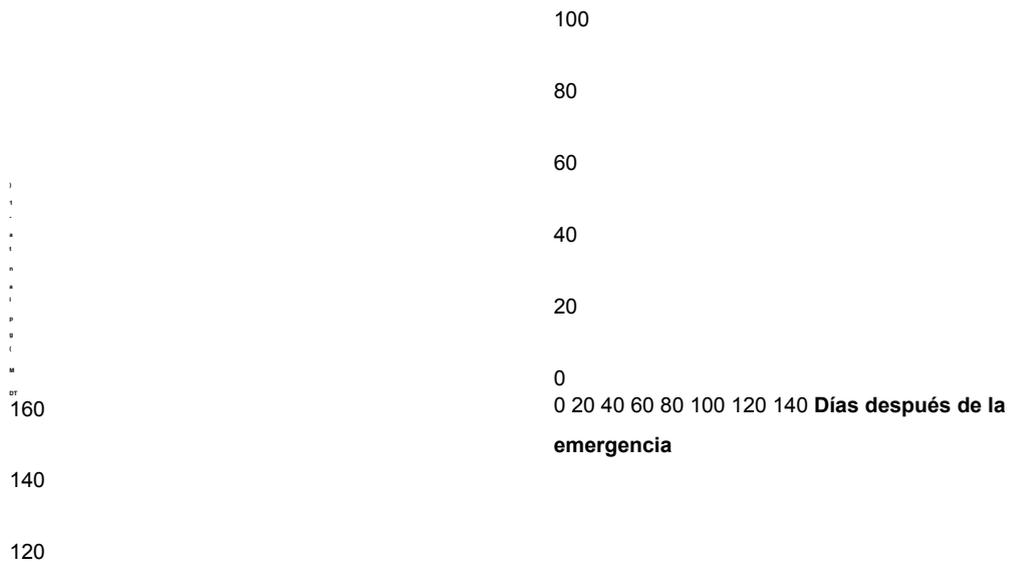


Figura 6. (TDM) Materia seca total por planta (g día^{-1}) a lo largo del ciclo de desarrollo de *Eleusine indica* (●) y *Eleusine tristachya* (▲) creciendo en monocultura

A partir de 35 DDE en *E. indica* y de 42 en *E. tristachya*, se determinó un aumento exponencial en la acumulación de biomasa hasta llegar a un punto de inflexión a los 74 DDE para las dos malezas. En otro estudio en un invernadero con *E. indica*, el punto de inflexión se produjo más temprano en la temporada de crecimiento, probablemente debido a las temperaturas más altas durante el experimento (Takano, 2016). Luego del punto de inflexión, se redujo la acumulación, siendo RGR muy baja (Figura 6) hasta el final del ciclo de crecimiento, lo que concuerda con el estudio realizado por Takano (2016). La baja acumulación se debe a que el gran aumento en la producción de materia seca resulta en nuevas estructuras de la planta que requieren fotoasimilados para su mantenimiento, lo que disminuye la cantidad de energía disponible para desarrollar nuevas estructuras (Benincasa, 2003). Las diferencias en TDM se maximizan en el final del ciclo de crecimiento, con 90 gramos más por planta en *E. indica* que *E. tristachya* (Foto 4 y Figura 6).

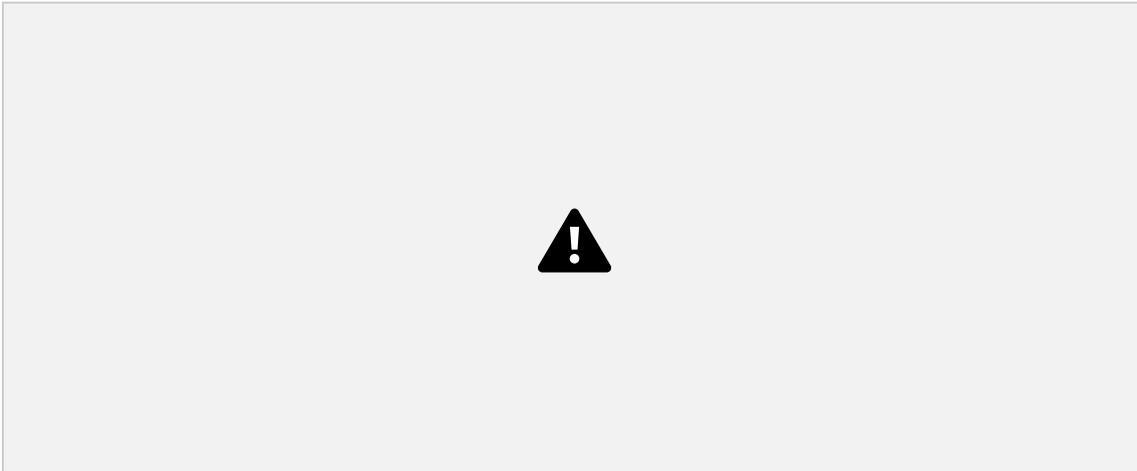


Foto 4. De izquierda a derecha: *Eleusine indica* y *Eleusine tristachya* a los 107 días de crecimiento en monocultura

En ecología vegetal, se considera que RGR es una de las características claves de las plantas que se correlaciona positivamente con la capacidad competitiva (Grime, 1977; Grace, 1990). Los ambientes agrícolas más productivos tienden a tener especies con mayor RGR (Grime y Hunt, 1975) que pueden competir mejor por recursos limitantes (Roush y Radosevich, 1985). Sin embargo, en otro estudio en arroz RGR no se asoció a la mayor competitividad, mientras que la biomasa al momento del macollaje del arroz fue el mejor predictor de la competitividad contra malezas (Ni et al., 2000). En el presente estudio, RGR entre ambas especies de *Eleusine* no difirió, excepto a los 7 DDE y en los momentos de RGR máximo para cada especie (0,37 a 42 DDE en *E. indica* y 0,32 a 49 DDS en *E. tristachya*). Estos resultados también indican que *E. indica* alcanza su máximo RGR antes que *E. tristachya*.

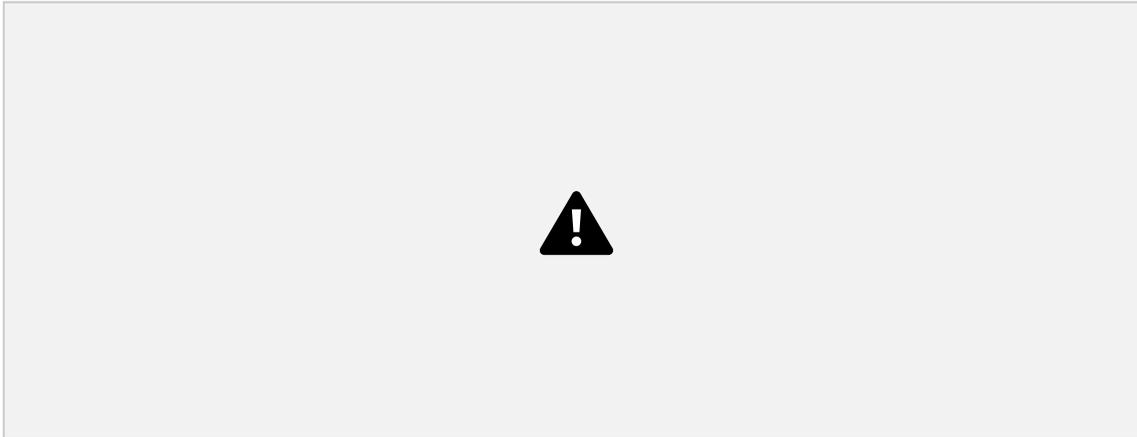


Figura 7. Tasa de crecimiento relativo ($\text{g g}^{-1} \text{día}^{-1}$) de *Eleusine indica* (●) y *Eleusine tristachya* (▲) en el tiempo (días después de la emergencia) creciendo en monocultura. Un asterisco

78

(*) indica para cada fecha diferencias estadísticas significativas de RGR entre ambas especies, según una prueba de t ($P < 0,05$).

Como se observa en la Figura 7, los valores máximos de RGR son mayores a los determinados en *E. indica* de $0,15 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ (Takano, 2016) y de otras malezas C4, como *Digitaria insularis* (Machado et al., 2006) y *Cyperus rotundus* (Brighenti et al., 1997), que exhiben un RGR máximo que varía de $0,12$ a $0,14 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$. En gramíneas, Storkey (2004) encontró valores ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) de $0,18$ para *Bromus sterilis*, $0,20$ para *Lolium multiflorum*, y $0,21$ en *Poa annua*.

En consecuencia, de los resultados se infiere que es importante controlar *E. indica* antes de que la planta alcance el RGR más alto. La eficacia de los herbicidas de post emergencia (glifosato o inhibidores de ACCasa) se reduce considerablemente con el aumento de la etapa de desarrollo y se optimiza con aplicaciones realizadas hasta cuatro hojas como lo ha determinado Ulguim et al. (2013) lo que coincide también con lo demostrado en el capítulo 2 de la presente tesis.

Producción de semillas

La reproducción sexual contribuye al mantenimiento de una alta variabilidad genética y permite a las especies de malezas colonizar nuevos hábitats mediante la dispersión a gran distancia de las semillas (Heimann y Cussans, 1996). No hay información publicada sobre la producción de semillas de *E. tristachya*. Los datos de crecimiento y producción de semillas de *E. indica* y *E. tristachya* obtenidos en el presente y en otros estudios se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Duración de la estación de crecimiento, inicio de la producción de semillas, período

de producción de semillas y producción de semillas por planta de *Eleusine indica* y *Eleusine tristachya* en el presente estudio y en la literatura.

E. indica * *E. indica* *E. tristachya* *

Duración de la estación de

crecimiento (días) 142 120 (Takano, 2016) 142 Inicio de la producción de
semillas (días después de la siembra) 100 38 84

Período de producción de 40 70 (Takano, 2016) 58

79

semillas (días) 40 (Ismail et al. 2002, 2003)

4000 (Mailett, 1991)

120000 (Takano, 2016) 2003

Producción de semillas por 140000 (Chin, 1979)

planta (n° semillas / 400000 (Ismail et al. 2002, 3502

planta) 20127

Leyenda: Un asterisco (*) indica los datos del presente estudio.

Un largo período de producción y dispersión de semillas contribuye a la reposición del banco de semillas *in situ* y la dispersión a nuevas áreas (Walsh & Powles, 2014). Se ha determinado que *E. indica* puede propagarse rápidamente en áreas cultivadas ya que su alta fecundidad contribuye a su éxito como una maleza en todo el mundo (Ismail, 2003) y además porque las semillas pueden ser transportadas por el viento (Kissmann, 1997). La cantidad de semillas producidas por planta fue superior para *E. indica* vs *E. tristachya*. La menor producción de semillas de *E. tristachya* puede deberse a que esta maleza también se reproduce por vía vegetativa.

