

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DEL HERBICIDA QUINCLORAC Y LA
MEZCLA DE HERBICIDAS IODOSULFURON METHYL Y
THIENCARBAZONE METHYL PARA SU USO EN EL CULTIVO
DE SORGO GRANÍFERO

por

Joaquín LICOS DALMAS

Silvina NEGRÍN BANCHERO

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2018

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. PhD. Alejandro García

Ing. Agr. Dra. Juana Villalba

Ing. Agr. Dra. Grisel Fernández

Fecha: 21 de diciembre de 2018

Autores:

Joaquín Licos Dalmas

Silvina Negrín Banchemo

AGRADECIMIENTOS

A nuestros familiares y amigos, por su esfuerzo y apoyo para que podamos cumplir con las metas para la realización de esta carrera.

A Ing. Agr. PhD. Alejandro García por darnos la posibilidad de realizar la tesis de grado con su apoyo, disposición y dedicación en la realización del trabajo.

A los funcionarios del INIA La Estanzuela, Téc. Agr. Mauricio Cabrera, Evangelina García, Carlos Vázquez y Téc. Agr. Ximena Morales por su buena disposición en todo momento y su colaboración para la concreción de este trabajo.

A Ing. Agr. Dra. Juana Villalba e Ing. Agr. Dra. Grisel Fernández por sus aportes y colaboración.

A Facultad de Agronomía, por darnos la oportunidad de estudiar esta profesión.

MUCHAS GRACIAS

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. EL CULTIVO DE SORGO.....	2
2.2. MANEJO DE MALEZAS EN SORGO.....	3
2.2.1. <u>Control químico</u>	5
2.2.2. <u>Clasificación de los herbicidas</u>	7
2.2.3. <u>Mecanismos de acción evaluados</u>	8
2.2.3.1. Inhibidores de la acetolactato sintetasa (B/2)....	8
2.2.3.2. Inhibidores del flujo de electrones en el fotosistema II (C1/5).....	9 9
2.2.3.3. Inhibidores de la enzima EPSPS (G/9).....	10
2.2.3.4. Inhibidores de la división celular (K3/15).....	11
2.2.3.5. Herbicidas auxínicos.....	11
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	13
3.1. <u>INSTALACIÓN Y MANEJO GENERAL DEL CULTIVO</u>	13
3.2. <u>DISEÑO EXPERIMENTAL</u>	14
3.3. <u>PRODUCTOS COMERCIALES EVALUADOS</u>	17
3.3.1. <u>Percutor (B/2)</u>	17
3.3.2. <u>Gesaprim nueve 0 (C1/5)</u>	17
3.3.3. <u>Roundup full II (G/9)</u>	17
3.3.4. <u>Dual gold 960 EC (K3/15)</u>	17
3.3.5. <u>Exocet 25 flow (O/4)</u>	18
3.4. <u>DETERMINACIONES</u>	19
3.5. <u>ANÁLISIS DE DATOS</u>	20
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	22
4.1. <u>IMPLANTACIÓN DEL CULTIVO</u>	23
4.2. <u>CONTROL DE MALEZAS DE HOJA ANCHA</u>	25
4.3. <u>CONTROL DE MALEZAS GRAMÍNEAS</u>	27
4.4. <u>EVALUACIÓN VISUAL DE FITOTOXICIDAD</u>	30
4.5. <u>ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR</u>	33
4.6. <u>BIOMASA DEL CULTIVO</u>	37
4.7. <u>RENDIMIENTO EN GRANO</u>	39

5. <u>CONCLUSIONES</u>	42
6. <u>RESUMEN</u>	43
7. <u>SUMMARY</u>	44
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	45

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Fecha y condiciones climáticas al momento de la aplicación de los diferentes	14
2. Especificaciones de los tratamientos aplicados a los cultivares de sorgo ZT 705 DP y Pioneer 8419.....	15
3. Secuencia de mediciones experimentales posteriores a la siembra	19
4. Implantación promedio, medida como número de plantas logradas, de los cultivares de sorgo ZT705 DP y Pioneer 8419 para los tratamientos evaluados.....	24
5. Control visual de malezas gramíneas a los 15, 28, 44 y 59 días después de la siembra para la variedad Z705	27
6. Control visual de malezas gramíneas a los 15, 28, 44 y 59 días después de la siembra para la variedad Pioneer 8419	29
7. Fitotoxicidad del cultivo en los diferentes tratamientos, a los 28, 44, 51 y 64 días después de la siembra, para la variedad de sorgo 705.....	30
8. Fitotoxicidad del cultivo en los diferentes tratamientos, a los 28, 44, 51 y 64 días después de la siembra, para la variedad de sorgo Pioneer 8419.....	32
9. Índice de área foliar del cultivo en los diferentes tratamientos, a los 31, 44, 51 y 64 días después de la siembra, para la variedad Z705.....	34
10. Índice de área foliar del cultivo en los diferentes tratamientos, a los 31, 44, 51 y 64 días después de la siembra, para la variedad Pioneer 8419.....	36

11. Biomasa de planta entera de sorgo (kg MS ha ⁻¹) 93 DDS según el tratamiento herbicida	38
--	----

Figura No.

1. Precipitaciones (mm) y temperaturas (°C) promedio históricas y mensuales registradas durante el período junio 2015 a mayo 2016 en la localidad de La Estanzuela	22
2. Control de malezas de hoja ancha para la variedad	
3. Z705 a los 15, 28,44 y 59 días después de la siembra	25
4. Control de malezas de hoja ancha para la variedad Pioneer 8419 a los 15, 28,44 y 59 días después de la siembra	26
5. Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹) promedio para las variedades de sorgo Z705 y Pioneer 8419 para cada tratamiento	40

1. INTRODUCCIÓN

El sorgo es una gramínea de origen tropical que ha sido adaptada a una gran diversidad de ambientes y que por su rusticidad tolera sequías moderadas, constituyendo así, una excelente opción como cultivo de verano en regiones con déficit hídricos transitorios durante la estación estival.

Es el quinto cereal más importante del mundo según el volumen de producción. En la actualidad, el sorgo representa el principal grano en muchas partes de África y Asia donde constituye gran parte de la dieta humana. Se emplea también en alimentación animal, en la producción de forrajes, y para la elaboración de bebidas alcohólicas. En Uruguay, es el cuarto cultivo de verano en importancia por superficie sembrada y cumple un rol fundamental en la alimentación de ganado de carne y leche (como grano y/o silo). Además es importante en los sistemas de rotación de cultivos por la alta cantidad de rastrojo que deja en superficie, y la alta proporción de raíces, lo que tiene efectos positivos en las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Por esto el cultivo de sorgo es una buena alternativa en un sistema de rotación agrícola.

Como muchos cultivos, el sorgo es muy sensible a la competencia inicial que ejercen las malezas, con la diferencia de que en este cultivo existen reducidas opciones herbicidas para el control de malezas. Esta situación se ha visto aún más agravada debido a la prohibición de importación, registro y renovación de productos fitosanitarios a base de atrazina que rige en Uruguay desde el año 2016, el cual constituía la principal opción herbicida para este cultivo.

El objetivo de este trabajo fue el de evaluar el control de malezas y la fitotoxicidad sobre dos variedades de sorgo granífero para diferentes opciones herbicidas aun no registradas en el Uruguay. De esta forma se procura contribuir con información que permita ampliar las limitadas opciones herbicidas que hoy existen en el cultivo de sorgo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EL CULTIVO DE SORGO

El sorgo pertenece a la familia gramínea, subfamilia Panicoidea, tribu Andropogoneae, género *Sorghum* y su nombre científico es *Sorghum bicolor*.

Es una especie C4, lo que explica las características metabólicas que posee, incluyendo su alta eficiencia del uso de agua y nitrógeno, alto puntos de saturación lumínica, elevadas tasas fotosintéticas a temperaturas elevadas, bajo punto de compensación por CO₂ y alto punto de compensación lumínica (Carrasco et al., 1989).

El área de siembra ha presentado oscilaciones en los últimos ocho años, teniendo un mínimo de 31 mil hectáreas para el periodo 2010/2011, y un pico de 88 mil hectáreas en 2011/2012. La producción bruta para la zafra 2015/2016 fue de 238 mil toneladas de sorgo, en 67 mil hectáreas sembradas, lo que significó un promedio de producción nacional de 3606 kg ha⁻¹ (MGAP. DIEA, 2016).

A nivel mundial se produjeron para el año 2014 en torno a 72 millones de toneladas de sorgo, con un rendimiento promedio de 2,3 t ha⁻¹, siendo los principales países productores Estados Unidos, México y Nigeria (FAO, 2014).

Según Ernst (1989), la fecha de siembra para este cultivo tiene relación directa con la temperatura. De no existir otra limitante, fechas de siembra de noviembre y temperaturas medias de aproximadamente 24°C se consideran adecuadas para la expresión del máximo potencial de producción. Las condiciones edáficas más apropiadas para el desarrollo de este cultivo en general son suelos profundos, sin exceso de sales, con buen drenaje, sin capas endurecidas, de buena fertilidad y con pH entre 6,2 y 7,8. Sin embargo, el sorgo es moderadamente tolerante a suelos marginales incluso con alguna salinidad y/o alcalinidad, siendo su comportamiento en estas condiciones, mejor que el de otros cultivos. Tolera mejor la sequía y el exceso de humedad en el suelo que la mayoría de los cultivos y crece bien bajo una amplia gama de condiciones en el suelo. Requiere un mínimo de 250 mm de agua durante su ciclo para llegar a producir grano y pueden obtenerse buenos rendimientos desde 350 mm. Es fundamental que el suelo tenga una adecuada humedad a la siembra para lograr una emergencia rápida, uniforme y una buena implantación del cultivo (Mari, 2003). Según Vallati y Bolletta (2007) el sorgo presenta un sistema radicular numeroso, por este motivo la absorción radicular es dos veces más eficiente que en maíz, aunque el área foliar es inferior. Al mayor sistema radicular, se le adjudica la mayor tolerancia a la sequía que el maíz. Además, la

abundancia de raíces que presenta ayuda a recuperar estructura a los suelos y aporta un generoso volumen de materia orgánica al suelo.

El sorgo cumple un papel muy importante en la alimentación animal, así como también en el aporte de carbono orgánico que realiza al suelo, y la protección que provee a este por el alto nivel de cobertura que deja luego de la cosecha (Hoffman et al., 2013). A nivel edáfico las gramíneas permiten diversificar la secuencia de cultivos y estabilizar el sistema de producción en su conjunto ya que el crecimiento de las raíces generan grietas y canales que incrementan la velocidad de infiltración de agua y facilitan el desarrollo de las raíces de otros cultivos, mejorando la porosidad superficial del suelo. Con respecto a la parte aérea, el aporte de residuos vegetales es uno de los factores más importantes que influyen sobre el balance de la materia orgánica del suelo. Es conocido que las características de las gramíneas en cuanto a distribución del peso de la materia seca entre sus distintos órganos, distancia entre hileras, etc., traen como consecuencia una distribución más uniforme de ese residuo sobre el suelo. Si se trabaja con labranzas, los residuos se mezclan con el suelo, existiendo una relación directa entre la cantidad de residuo vegetal aportado anualmente al suelo y el cambio en el nivel de MO edáfica (Carrasco et al., 2011).

Existe además en la actualidad otra posibilidad de comercialización de variedades de sorgo a nivel nacional para la producción de etanol. La industria demanda aproximadamente 40 mil toneladas anuales, lo que genera también un nicho atractivo para este cultivo (Ferrari, 2017).

2.2. MANEJO DE MALEZAS EN SORGO

La interferencia efectuada por las malezas es un importante factor en el desarrollo de los cultivos, siendo considerado uno de los procesos más críticos en el ciclo de producción (Froud, citado por Acciaresi, 2014). Esta interferencia genera competencia entre el cultivo y las malezas, por los recursos en suministro, los cuales generalmente son limitados. Las malezas compiten con el cultivo de sorgo por luz, agua y nutrientes con diferente intensidad dependiendo del momento relativo de emergencia del cultivo y las malezas, la agresividad de estas últimas, y las condiciones ambientales fundamentalmente humedad y fertilidad de suelo (Carrasco et al., 2011)

El sorgo presenta un crecimiento inicial muy lento en sus primeras etapas de desarrollo, influenciado principalmente por las temperaturas y las precipitaciones. Es, en esos momentos, donde al encontrarse con bajas tasas de producción de biomasa, las malezas suelen ejercer su mayor perjuicio sobre el cultivo. En general, se considera que el cultivo debería estar libre de malezas

en los primeros 30 - 40 días, para no disminuir significativamente la producción, definiéndose este lapso como periodo crítico de competencia. La ausencia de control de malezas en este periodo puede reducir el rendimiento en grano de sorgo hasta en un 80% (García, 2008). Giménez y Ríos (1991), para el litoral oeste del Uruguay, determinaron que realizando un control de malezas en el cultivo de sorgo, se obtiene un incremento de rendimiento de 105% (promedio de varios años en ensayos llevados a cabo en el litoral oeste del Uruguay). Luego de transcurrido el periodo crítico sin competencia de malezas, el cultivo cierra el surco y las respuestas a tratamientos herbicidas son en general poco importantes en términos de rendimiento. Sin embargo, las emergencias tardías en el cultivo pueden llegar a afectar el llenado de grano en determinadas situaciones como así también generar inconvenientes en el momento de la cosecha (Carrasco et al., 2011).

Según Vergara (2012), en Uruguay el enmalezamiento estival, para cultivo de sorgo está caracterizado principalmente por niveles medios a elevados de *Digitaria spp.*, *Echinochloa spp.*, *Amaranthus ssp*, *Conyza spp*, como malezas de ciclo anual, y *Cynodon dactylon* y *Sorghum halepense*, como malezas perennes.

Para controlar malezas correctamente se debería realizar un manejo integrado que contemple la diversificación del sistema lo máximo posible y tome en cuenta medidas culturales a la hora de sembrar cada uno de los cultivos, en combinación con herramientas químicas. Algunas de las variables culturales que pueden afectar el manejo de malezas incluyen: la densidad de siembra, la distancia entre hileras, la fecha de siembra en función de la emergencia de las malezas, la utilización de variedades con mayor habilidad competitiva y el uso estratégico de la fertilización. En los sistemas de siembra directa las aplicaciones de herbicida para el comienzo y el mantenimiento de barbechos limpios son una parte muy importante de esta tecnología, ya que la eliminación de la vegetación es imprescindible para obtener implantaciones adecuadas y favorecer el crecimiento de los cultivos (Ríos, 2007). Para sistemas que utilizan laboreo convencional para la preparación de la cama de siembra el control químico selectivo es más importante durante el ciclo de los cultivos. Según Orioli et al. (2014), los herbicidas han contribuido a disminuir tanto la abundancia como la tasa de incremento poblacional de las malezas, anuales y perennes, permitiendo en parte la expresión del rendimiento potencial del cultivo, y evitando problemas mayores en años subsiguientes.

2.2.1. Control químico

Para Vergara (2012), el control químico de malezas es el método más utilizado en la actualidad para la producción agrícola. La utilización de herbicidas se explica principalmente por su practicidad y eficiencia, lo cual muchas veces significa también un costo menor comparado a otros métodos de control.

El control de malezas en sorgo se basa fundamentalmente en el uso de herbicidas de pre emergencia de malezas, siendo los más usados tradicionalmente la atrazina y el metolaclor. Con respecto a los herbicidas de post emergencia para sorgo, en Uruguay existen productos registrados fundamentalmente para el control de malezas latifoliadas. Entre estos, se encuentran los ingredientes activos 2,4-D, dicamba, fluroxipyr, picloram y triclopyr (MGAP. DGSSAA, 2017).

En el cultivo de sorgo se utilizan generalmente herbicidas residuales con actividad de suelo que provocan la muerte de las malezas que emergen. Es importante entender los procesos que estos pueden sufrir, y que afectan su disponibilidad para el control de malezas y también su destino final en el ambiente. Según Bedmar y Gianelli (2014), el comportamiento de los herbicidas en el suelo está condicionado por diferentes procesos de retención, transformación y transporte, que pueden disminuir la cantidad inicial de producto aplicado. La adsorción de herbicidas al suelo es un ejemplo de retención de herbicida, es la atracción entre una superficie sólida y las moléculas de herbicida que se encuentran en la solución del suelo. Este fenómeno, está determinado por los niveles de materia orgánica y arcilla que presenta cada suelo. Por otra parte, degradación y fotólisis son procesos de transformación que puede sufrir la molécula herbicida y por ende afectar la biodisponibilidad del mismo. La degradación de un plaguicida puede ser química o por acción de microorganismos, la cual dará lugar a nuevos compuestos que pueden resultar más o menos tóxicos, persistentes y/o móviles que la sustancia original. Dentro del proceso de transporte, se encuentra la volatilización, lixiviación y escurrimiento. La volatilización es el proceso por el cual se produce pérdida de herbicida en forma gaseosa. El escurrimiento ocurre cuando las moléculas disueltas, suspendidas y adsorbidas sobre el sedimento son transportadas por el agua desde una superficie tratada. Por otra parte, la lixiviación es el proceso mediante el cual el herbicida disuelto o suspendido en la solución del suelo, atraviesa el perfil arrastrado por el agua de percolación, significando un potencial riesgo de contaminación de aguas subterráneas.

La combinación de los procesos antes mencionados determina la persistencia de los herbicidas en el suelo. La persistencia de un herbicida se mide por su vida media. La vida media es el tiempo requerido para que la mitad del herbicida original aplicado se descomponga en otro producto (Comfort, citado por Bedmar y Gianelli, 2014). La tasa de degradación de los herbicidas varía con la estructura molecular de cada plaguicida y con las condiciones del suelo, incluyendo: la temperatura, el contenido de agua, el pH, el nivel de oxígeno, el historial de uso de plaguicidas, la fertilidad y las poblaciones microbianas.

El pH del suelo puede acelerar o enlentecer la degradación de los plaguicidas. Por ejemplo, la atrazina, en suelos con pH elevados persiste más tiempo (su biodisponibilidad se incrementa en estos suelos). En el proceso de degradación realizados por los microorganismos importa el tipo de organismo y el número relativo de estos, lo cual determina cuán rápidamente ocurre la descomposición. Por lo tanto, todos aquellos factores que afecten la vida microbiana en el suelo también afectarán la degradación de herbicidas por parte de los microorganismos.

En cuanto a las propiedades del herbicida, existen familias que presentan miembros persistentes, como por ejemplo las triazinas. Las principales propiedades que influyen sobre su persistencia son: la solubilidad en agua, la presión de vapor, la adsorción al suelo y la susceptibilidad de la molécula a la alteración o degradación química o microbiana. En cuanto a la solubilidad en agua, esto se asocia al potencial de lixiviación, en general los herbicidas que son menos solubles en agua y son fuertemente atraídos por las partículas de suelo presentan menor probabilidad de ser lixiviados. En el caso de la atrazina aun con baja solubilidad en agua, a largo plazo es potencialmente lixiviable dada la alta persistencia del producto en el sistema. La presión de vapor de un herbicida determina su volatilidad, en líneas generales a mayor presión de vapor, mayor probabilidad de volatilización. La mayoría de los herbicidas son no volátiles bajo condiciones normales a campo. En cuanto a la adsorción mayor contenido de arcilla y/o materia orgánica en el suelo determinan mayor potencial para retener a los herbicidas, lo cual aumenta su persistencia en el suelo. Por último la estructura química del herbicida determinará como se degradará en el suelo. La degradación química depende no solo de la estructura del herbicida sino también de los factores edáficos y climáticos. En el caso de las triazinas, la tasa de hidrólisis química depende del pH del suelo, con niveles de pH neutros, la hidrólisis es más lenta y por lo tanto el herbicida es más persistente. Por otra parte, la degradación microbiana también está determinada por la estructura química del herbicida, para el caso del 2,4-D la descomposición microbiana es más rápida hacia metabolitos inactivos, si se compara con la atrazina, la cual por su estructura química es más difícil de

atacar por los microorganismos, y por lo tanto esto contribuye a que su descomposición sea más lenta.

2.2.2. Clasificación de los herbicidas

Orioli et al. (2014), clasifican los herbicidas según sus características químicas, momento de aplicación, su transporte dentro de la planta, método de pulverización, selectividad y modo de acción.

La clasificación por familia química se basa en las propiedades fisicoquímicas de los herbicidas, como la constante de disociación (pKa), la solubilidad en agua y la presión de vapor, entre otras.

Según el momento de aplicación con respecto al cultivo, los herbicidas se pueden clasificar como de pre-siembra (pulverizados al suelo antes de la siembra), pre-emergente (pulverizado al suelo inmediatamente después de la siembra del cultivo y antes de la emergencia del mismo), post-emergente (aplicado luego de la emergencia del cultivo y de las malezas).

De acuerdo a la movilidad y transporte que presentan en planta, se clasifican como sistémicos, o de contacto. En el caso de los herbicidas de contacto presentan escasa o nula movilidad dentro de la planta, por esta razón se debe lograr la máxima cobertura posible del área foliar de maleza para aumentar el control. Los herbicidas sistémicos son absorbidos y transportados dentro de la planta hacia los sitios donde ejercen su acción fitotóxica.

El criterio de clasificación según método de pulverización está basado en el órgano principal de la planta por donde va a ingresar el producto. Es decir, los herbicidas que se aplican al follaje son absorbidos con mayor importancia por las hojas, mientras que los herbicidas aplicados al suelo ingresan principalmente por raíz.

Según los efectos producidos sobre las plantas los herbicidas se reconocen como totales (fitotóxico para todo tipo de vegetales), o selectivos, es decir aquellos que tienen la capacidad de ejercer su acción tóxica en determinadas especies, pero son tolerados por el cultivo. Hay distintos factores y procesos que explican la selectividad de un producto para una especie vegetal determinada. El emplazamiento diferencial, dado por la separación espacial (física) del herbicida con el cultivo, por ejemplo, en aplicaciones en pre-emergencia del cultivo. La absorción diferencial determinada por características anatómicas, fisiológicas y morfológicas de cada especie genera selectividad a determinados herbicidas. El transporte diferencial, determinado por las

características fisicoquímicas del herbicida y el efecto de su transporte por los diferentes tejidos de la planta. El metabolismo diferencial, es otro de los factores que contribuyen generalmente de manera importante a la selectividad. Es decir, una especie tolerante posee un mecanismo capaz de alterar la estructura química de un herbicida (detoxificación), minimizando o impidiendo que el herbicida se concentre en cantidades tóxicas en el sitio activo. La utilización de antidotos es otro de los factores que generan selectividad, incrementan la expresión de genes relacionados con enzimas capaces de metabolizar el herbicida.

Por último, otro de los criterios de clasificación que considera el autor, corresponde al modo de acción el cual se define como la secuencia de eventos que ocurren dentro de la planta desde que el herbicida entra en contacto con la misma, hasta que se produce la muerte del vegetal. Sin embargo, en relación a esta clasificación, generalmente se hace referencia al mecanismo de acción que involucra el sitio de acción específico. Para Mónaco, citado por Arregui y Puriccelli (2014), el sitio de acción es el primer evento bioquímico o biofísico afectado directamente por el herbicida en una planta.

2.2.3. Mecanismos de acción evaluados

Para el Comité de Acción contra la Resistencia a Herbicida (HRAC, por sus siglas en inglés), y la Sociedad de la Ciencia de las Malezas de América (WSSA, por sus siglas en inglés), los herbicidas se clasifican según su mecanismo de acción en diferentes grupos. El HRAC utiliza letras y la WSSA utiliza números para dicha clasificación. Conocer el mecanismo de acción de los herbicidas es importante ya que rotar los diferentes modos de acción disminuye la presión de selección por resistencia que podría generarse si se cambia solo los ingredientes activos utilizados. Para Ríos (2005), es clave la utilización de herbicidas adicionales que controlen las mismas especies de malezas más problemáticas, si son residuales, que tengan una persistencia similar, pero que actúen en sitios de acción diferente y que sean degradados por mecanismos distintos.

2.2.3.1. Inhibidores de la acetolactato sintetasa (B/2)

Estos herbicidas inhiben la enzima acetolactatosintasa (ALS), la cual cataliza el primer paso de la síntesis de aminoácidos de cadena ramificada valina, leucina e isoleucina. Esta acción desencadena un disturbio letal en el metabolismo de especies susceptibles al interrumpir la síntesis proteica e interferir con la síntesis de ADN y el crecimiento celular.

Son absorbidos mayormente por raíz y en menor proporción por vía foliar, trasladándose a los tejidos meristemáticos en la planta. La translocación se da vía xilema y floema (acción sistémica) a zonas de nuevo crecimiento en la planta.

Los síntomas luego de la aplicación de estos herbicidas se desarrollan en forma relativamente lenta (una a dos semanas), e incluyen marcada reducción o detención del crecimiento, acortamiento de los entrenudos, clorosis internerval, nervaduras rojizas (especialmente en el envés de las hojas, debido al aumento de antocianinas), seguido de necrosis de nervaduras y peciolo y abscisión de hojas (Arregui y Puricelli, 2014).

La vida media de las sulfonilureas se incrementa con las bajas temperaturas y humedad en suelo, así como con elevados niveles de pH (mayor a 7). En trabajos realizados en la localidad de Bordenave, se estableció que no existían rastros detectables de iodosulfuron 130 días después de la aplicación en suelos franco-limosos y franco-arcillosos con pH 6,4 (López, citado por Bedmar y Gianelli, 2007).

Uno de los herbicidas comercializados en Uruguay dentro de este grupo y usado en los experimentos presentados es el Percutor.

2.2.3.2. Inhibidores del flujo de electrones en el fotosistema II (C1/5)

Los herbicidas dentro de este grupo inhiben la transferencia de electrones hacia el aceptor (Q), en el fotosistema II (FII), lo cual produce un exceso de energía, que genera por un lado la degradación de la proteína D1 (constituyente básico del FII), y por otro lado un estado energizado de la molécula de oxígeno con características de radical libre lo que desencadena un daño irreversible sobre la integridad del sistema de membrana del cloroplasto (Arregui y Puricelli, 2014).

Los herbicidas dentro de este grupo presentan una rápida absorción radicular, y limitada absorción foliar. La traslocación se realiza por xilema.

Las plantas afectadas generalmente presentan clorosis en márgenes de hojas maduras y ápices foliares, más rápidamente después de la aplicación en presencia de luz (Villalba, 2016).

Dentro de este grupo se encuentra la atrazina, uno de los herbicidas usados en los experimentos presentados en el presente trabajo. El producto comercial utilizado fue Gesaprim nueve 0.

El uso de atrazina en Uruguay se fue restringiendo gradualmente. En el año 2011 se limitó su dosis a 1,5 kg de ingrediente activo por hectárea y el 5 de diciembre de 2016 se prohibió definitivamente la importación, registro y renovación de productos fitosanitarios a base de atrazina (resolución No. 104 de MGAP. DGSSAA, 2016). Su prohibición se debe al potencial riesgo de contaminación de fuentes de agua por su persistencia en el ambiente.

Hang y Nassetta (2003) determinaron para suelos de la provincia de Córdoba, que los niveles de atrazina extractable (biodisponible) disminuye a medida que el contenido de carbono orgánico, arcilla y pH de los suelos aumenta. Tanto la degradación como la retención en la matriz del suelo reducen la disponibilidad de atrazina. Este comportamiento desde un punto de vista agronómico puede afectar su eficacia y desde un punto de vista ambiental puede reducir su movilidad. Existe mayor mineralización, cuándo hay menor adsorción edáfica del producto, ya que los compuestos quedan disponibles para los microorganismos.

Estudios realizados en México muestran que la vida media en suelo para este herbicida es alta (entre 0,76 a 25,32 años) lo que puede estar explicado por la baja adaptación de los microorganismos a los diferentes suelos. Típicamente, la atrazina se adsorbe a través de interacciones hidrofóbicas y tiende acumularse en la materia orgánica del suelo, mientras que incrementos en salinidad, fertilización o alcalinidad pueden causar que la atrazina se vuelva más persistente, ya que el aumento en la concentración de estos componentes desfavorece la mineralización del herbicida (González y Hansen, 2009).

2.2.3.3. Inhibidores de la enzima EPSPS (G/9)

Los herbicidas dentro de este grupo inhiben la biosíntesis de aminoácidos aromáticos triptófano, fenilalanina y tirosina (precursores de metabolitos secundarios) mediante la inhibición de la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato-sintetasa (EPSPS), la quinta enzima en la vía del ácido shiquímico.

La absorción de estos herbicidas se da a través de la cutícula de las hojas durante las horas siguientes a la aplicación. La translocación dentro de la planta se da principalmente vía floema (Salazar López et al., 2011).

Villalba (2016), reporta que luego de la aplicación de glifosato se observa clorosis en hojas nuevas, puntos de crecimiento y meristemos apicales. Además, el crecimiento cesa inmediatamente luego de la aplicación y a partir de

la primera semana post-aplicación comienza a manifestarse necrosis en los tejidos vegetales.

El herbicida perteneciente a este grupo utilizado en el experimento fue glifosato Roundup full II.

La vida media en suelo para este herbicida es entre 20 y 60 días (UNL, 2010)

2.2.3.4. Inhibidores de la división celular (K3/15)

Estos herbicidas inhiben la síntesis de ácidos grasos de cadena muy larga (VLCFA), los cuales forman parte de las ceras cuticulares (Diez, 2013).

Son herbicidas que se utilizan generalmente previos a la instalación del cultivo, la absorción se produce principalmente por los tallos (coleóptile e hipocótile) y en menor medida por las raíces y semillas.

De acuerdo a Diez (2013), los síntomas que se observan luego de la aplicación en gramíneas afectadas son atrofia y malformación de las hojas que emergen del coleoptile, mientras que en latifoliadas se observan hojas mal formadas con acortamiento de la nervadura central. Se produce la detención del crecimiento de los tallos, y como consecuencia provoca la muerte de las plántulas antes de emerger.

Para Bedmar y Gianelli (2014), la vida media para este herbicida determinada en laboratorio para suelos superficiales de Argentina es de 82 a 83 días.

Dentro de este grupo se encuentra el s-metolaclor, uno de los herbicidas usados en los experimentos presentados en el presente trabajo. El producto comercial utilizado fue Dual gold 960 EC.

2.2.3.5. Herbicidas auxínicos (O/4)

Los herbicidas dentro de este grupo actúan de forma similar a las auxinas (fitohormonas vegetales). Las auxinas estimulan la elongación y división celular, diferenciación de los meristemas florales, fototropismo, senescencia, dominancia apical y formación de raíces. La aplicación de estos herbicidas simula un incremento desproporcionado en la concentración de esta fitohormona, lo cual genera anomalías en el crecimiento, incremento en la

producción de etileno, y acumulación de peróxido de hidrogeno por cierre de estomas lo cual produce daños en el tejido y muerte celular (Diez, 2013).

La absorción se da principalmente por vía radicular y en menor grado por vía foliar, afectando el desarrollo de los meristemas (Chebataroff, 2012).

Según Grossman (2009), los herbicidas auxínicos controlan preferentemente dicotiledóneas, a excepción del quinclorac que además controla *Echinochloa* spp, *Digitaria* spp., *Setaria* spp. y *Brachiaria* spp. en arroz.

En dicotiledóneas, luego de la aplicación de herbicidas de este grupo, en primera instancia se observa detención de crecimiento y clorosis leve en las hojas nuevas. Posteriormente, provocan un rápido crecimiento, caracterizado por malformaciones en tallos, hojas y raíces, y epinastia de tallos y hojas. Los ácidos quinolincarboxílicos también controlan algunas especies gramíneas, presentando como síntomas en especies sensibles detención del crecimiento, clorosis, marchitamiento y necrosis (Diez, 2010).

Exocet 25 flow fue el producto comercial utilizado en los experimentos realizados, el cual contiene quinclorac como ingrediente activo herbicida perteneciente a este grupo.

Estudios de campo indican que el quinclorac presenta una vida media de herbicida de 18 a 176 días, dependiendo del grado de degradación microbiana la cual es promovida por altas temperatura y humedad del suelo (Cantou et al., 2009).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. INSTALACIÓN Y MANEJO GENERAL DEL CULTIVO

Los experimentos se llevaron a cabo en INIA La Estanzuela, en la localidad de Semillero, departamento de Colonia en el periodo estival 2015-2016.

El cultivo se implantó sobre un suelo Brunosol Éutrico perteneciente al grupo CONEAT 10.5, Unidad Libertad (MGAP. DGRNR. CONEAT 1994, MGAP. RENARE 2017). La chacra utilizada no tuvo cultivo durante el invierno previo a la siembra del sorgo. A principios de octubre se realizó un laboreo con una rastra de discos y posteriormente a los 5 días se realizó un laboreo secundario con un vibro cultivador.

Los tratamientos se aplicaron en parcelas de 10 m² (2 x 5 m), y la siembra se realizó el 23/11/2015 en sentido transversal al largo de las parcelas. Se sembraron dos variedades de sorgo: ZT705 DP y Pioneer 8419 en dos cuadros adyacentes. La siembra de ambos cuadros se realizó con las mismas especificaciones. Se utilizó una sembradora experimental neumática de 4 surcos (Hartwich). La densidad de siembra utilizada fue de 12 kg ha⁻¹ de semilla lo que corresponde a un número de 17 semillas por metro a una distancia entre hileras de 40 cm.

Para que la fertilización no fuera limitante se realizó una aplicación de 150 kg ha⁻¹ de 18/46-46/0 al voleo el día 24/11/2015, y posteriormente el 14/12 cuando el cultivo estaba en V4, se fertilizó con 110 kg ha⁻¹ de urea.

Las aplicaciones de herbicida se realizaron con una máquina Experimental de CO₂, con boquillas Teejet AI 110015 regulada para aplicar 110 L ha⁻¹. Las condiciones de aplicación fueron iguales para ambos cultivos ya que se realizaron en el mismo momento.

Cuadro No. 1. Fecha y condiciones climáticas al momento de la aplicación de los diferentes tratamientos

Fecha	Viento (km h-1)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
26/10/2015	9	19	81
9/11/2015	6	27	60
16/11/2015	12	23	54
24/11/2015	5	19	56
16/12/2015	10	17	71

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental consistió en cuatro bloques completos donde tres fueron al azar y uno dirigido, para cada variedad de sorgo. Se evaluaron 12 tratamientos que se detallan en el cuadro No. 2.

Cuadro No. 2. Especificaciones de los tratamientos aplicados a los cultivares de sorgo ZT 705 DP y Pioneer 8419

Tratamiento	Producto	Principio activo	Dosis producto comercial por ha	Dosis ingrediente activo (kg i.a. ha-1)	Momento de aplicación (días)
1	Roundup full II + Percutor	glifosato + iodosufuron metil + thien carbazone metil	2L+ 0,03Kg	1,08 + 0,002 + 0,014	28 DPS*
2	Roundup full II + Percutor	glifosato + iodosufuron metil + thien carbazone metil	2L+ 0,03Kg	1,080+ 0,002 + 0,014	14 DPS
3	Roundup full II + Percutor	glifosato + iodosufuron metil + thien carbazone metil	2L+ 0,03Kg	1,08+ 0,002 + 0,014	7 DPS
4	Roundup full II+ Percutor +Dual gold 960 EC	glifosato + iodosufuron metil + thien carbazone metil+ s-metolaclor	2L + 0,03 Kg + 1,6 L	1,080+ 0,002 + 0,014 + 1,54	14 DPS
5	Roundup full II+ Percutor + Dual gold 960 EC	glifosato+ iodosufuron metil + thien carbazone metil+ s-metolaclor	2L + 0,03 Kg + 1,6 L	1,08+ 0,002 +0,014+1,54	7 DPS
6	Roundup full II + Gesprim nueve0 + Dual gold 960 EC	glifosato + atrazina + s-metolaclor	2 L+1,5 L + 1,6 L	1,08 +1,35 + 1,54	0 DPS

(continúa cuadro No. 2.)

Tratamiento	Producto	Principio activo	Dosis producto comercial por ha	Dosis ingrediente activo (kg i.a. ha-1)	Momento de aplicación (días)
7	Gesaprimnueve0+ Dual gold 960 EC //Exocet 25 flow	atrazina + s-metolaclor// quinclorac	1,5 L+1,6 L // 1,5 L	1,35 +1,54 // 0,38	0 DPS// 37 DDS**
8	Gesprimnueve0 + Dual gold 960 EC // Exocet 25 flow	atrazina+ s-metolaclor //quinclorac	1,5L+1,6L //2L	1,35+ 1,54//0,5	0 DPS// 37 DDS
9	Gesprimnueve0 + Dual gold 960 EC //Exocet 25 flow	atrazina + s- metolaclor// quinclorac	1,5L+1,6L //3L	1,35+1,54// 0,75	0 DPS// 37 DDS
10	Percutor + Dual gold 960 EC //Exocet 25 flow	iodosufuron metil + thiencazone metil+ s-metolaclor//quinclorac	0,03Kg+ 1,6L // 1,5L	0,002+ 0,014//0,38	14 DPS// 37 DDS
11	TESTIGO LIMPIO ¹				
12	TESTIGO SUCIO				

*DPS: días pre siembra **DDS: días después de la siembra. 1 Desmalezado manual

3.3. PRODUCTOS COMERCIALES EVALUADOS

3.3.1. Percutor (B/2)

Este producto contiene dos ingredientes activos con acción herbicida, el iodosulfuron metil (6% i.a. en peso), perteneciente a la familia química de las sulfonilureas y el thiencazone metil (45 % i.a. peso) perteneciente a la familia de las sulfonilaminocarbonil-triazolinon. Esta mezcla de herbicidas controla especies latifoliadas y gramíneas tanto perennes como anuales. Se recomienda su utilización para la preparación de barbechos, siendo actualmente el tiempo de espera aconsejado para la siembra de sorgo de 60 días (MGAP. DGSSAA, 2017).

3.3.2. Gesaprim nueve 0 (C1/5)

Contiene el ingrediente activo atrazina (concentración de 90% de i.a en peso), pertenece a la familia química de las triazinas. Controla malezas hojas ancha y algunas gramíneas en preemergencia y post emergencia temprana (MGAP. DGSSAA, 2017).

3.3.3. Roundup full (G/9)

Este herbicida contiene el ingrediente activo glifosato (540 g i.a. L⁻¹), y se encuentra dentro de la familia química de las glicinas. Ingresa a la planta por el follaje y tiene alta sistemía dentro de la planta. Se considera un herbicida total (no es selectivo naturalmente para ningún cultivo), controla malezas anuales y perennes, latifoliadas y gramíneas (MGAP. DGSSAA, 2017).

3.3.4. Dual gold 960 EC (K3/15)

Este herbicida contiene el ingrediente activo s-metolaclor (960 g i.a. L⁻¹), pertenece al grupo químico de las cloracetamidas y se clasifica como un herbicida selectivo cuya mayor acción se logra cuando se aplica en preemergencia de las malezas.

Se aplica al suelo, controla principalmente gramíneas anuales en germinación y algunas malezas de hoja ancha en varios cultivos (MGAP. DGSSAA, 2017).

3.3.5. Exocet 25 flow (O/4)

El ingrediente activo herbicida que lo compone es quinclorac (250 g i.a. L⁻¹) pertenece a la familia química del acidoquinolin- carboxílicos (MGAP. DGSSAA, 2017). El quinclorac es un herbicida selectivo de postemergencia, el cual actúa por contacto y traslocación. Su principal uso hasta el momento es en arroz con el fin de controlar *Echinochloa* spp en post siembra.

Controla especies gramíneas y hoja ancha, se ha detectado resistencia a quinclorac en poblaciones de diferentes especies de *Echinochloa* (Chebataroff, citado por Eberhart et al. 2000, Menezes et al. 2000, Merotto et al. 2000). Según Tostle et al. (2010), estudios realizados en Texas demuestran que aplicaciones de 2,4-D o dicamba mas quinclorac en post emergencia para el control de malezas es seguro y efectivo en el cultivo de sorgo

3.4. DETERMINACIONES

Cuadro No. 3. Secuencia de mediciones experimentales posteriores a la siembra

Fecha de medición	DDS	Medición en maleza	Medición en cultivo
23/11/2015	0	%control hoja ancha %control gramíneas	-
8/12/2015	15	%control hoja ancha %control gramíneas	Implantación Fitotoxicidad
15/12/2015	22	%control hoja ancha %control gramíneas	Fitotoxicidad
21/12/2015	28	%control hoja ancha %control gramíneas	Fitotoxicidad
24/12/2015	31		Índice área foliar
31/12/2015	38	%control hoja ancha %control gramíneas	Fitotoxicidad
6/01/2016	44	%control hoja ancha %control gramíneas	Fitotoxicidad Índice área foliar
13/01/2016	51	%control hoja ancha %control gramíneas	Fitotoxicidad Índice área foliar
21/01/2016	59	%control hoja ancha %control gramíneas	Fitotoxicidad
26/01/2016	64	%control hoja ancha %control gramíneas	Fitotoxicidad Índice área foliar
24/02/2016	93		Biomasa planta
06/05/2016	167		Rendimiento

DDS: días después de la siembra.

Las determinaciones se realizaron en las filas internas de cada parcela, esto fue para evitar efectos de las parcelas que estaban contiguas al tratamiento evaluado. El control de malezas (hoja ancha y gramíneas por separado) y la fitotoxicidad sobre el cultivo fueron evaluadas de forma visual. Como parámetros de comparación se usaron los tratamientos sin control de malezas (testigo sucio) y el tratamiento que se mantuvo libre de malezas arrancando las que germinaban a mano (testigo limpio). Para determinar el grado de control de malezas se usó una escala porcentual de 0 a-100%, donde

0 es sin control, y 100 corresponde a control total. Para fitotoxicidad la escala utilizada fue de 0 a 10, donde 0 es sin fitotoxicidad, y 10 muerte del cultivo.

También se estimó el índice de área foliar (IAF) del cultivo de sorgo en los distintos tratamientos y para las distintas variedades presentes en este estudio. Estas mediciones se hicieron con un ceptómetro con el cual se midió la radiación incidente sobre el follaje del cultivo y luego se midió en la parte inferior del mismo, estimándose por diferencia de la luminosidad incidente, el valor de IAF. Estas mediciones se realizaron cada dos semanas desde V5 hasta el estado de embuche, con el objetivo de correlacionar la información relevada durante el desarrollo del cultivo con la fitotoxicidad producido por herbicidas en los diferentes tratamientos.

Adicionalmente, se determinó la biomasa del cultivo al momento de la floración. Para ello, en cada parcela se cortaron dos hileras de 1 m lineal cada una. Para cada submuestra se determinó el número de plantas y el peso fresco. Se tomaron 8 muestras compuestas por cada variedad de sorgo que se llevaron a estufa para calcular el contenido de humedad. Este dato se utilizó para expresar la biomasa de sorgo en materia seca ha⁻¹.

La cosecha se realizó el 5/5/2016, utilizando una cosechadora experimental Wintersteiger. Luego se procedió a la limpieza del grano con zaranda, se obtuvo el peso de grano para cada parcela, el peso de mil semillas y la humedad por parcela. El contenido de humedad del grano se determinó a partir de muestras de 100 g cada una, con esos datos se ajustó el rendimiento de sorgo a 14 % de humedad.

3.5. ANÁLISIS DE DATOS

Los datos del experimento fueron analizados usando el módulo de modelos lineales generales y mixtos del programa InfoStat (Di Rienzo et al., 2011). Se estudió la interacción entre tratamientos herbicidas y cultivar para cada variable. En el caso de que no hubiera interacción (i.e. $p > 0.05$) se analizó el efecto de los tratamientos sobre el promedio de ambos cultivares para la variable en cuestión. En el caso contrario (interacción positiva entre tratamientos herbicidas y cultivar) los datos para dichas variables se analizaron y se presentan para cada cultivar por separado. Para cada variable se realizó el test de Shapiro-Wilks para determinar si la distribución de los errores era normal y se analizaron visualmente los gráficos de los residuos estandarizados versus los valores predichos para determinar problemas de homogeneidad de varianza. Cuando los residuos resultaron no ser normales la variable se transformó previo al análisis para cumplir con este supuesto y las medias presentadas corresponden a las medias destransformadas luego del análisis

estadístico. Estos fueron los casos de los datos de la variable implantación, sobre la cual se aplicó una transformación Box-Cox, y las variables control de malezas y fitotoxicidad del cultivo sobre las cuales se aplicó una transformación angular ($\text{Arcsen}\sqrt{x}$). En el caso de que se detectara algún problema de heterogeneidad de las varianzas, se corrigió utilizando las opciones disponibles en el módulo de modelos lineales, generales y mixtos del infostat (solapa "Heteroscedasticidad"). En todos los casos en donde se exploró más de un modelo, se utilizó finalmente aquel con los menores valores de AIC y BIC (Akaike y Schwarz). En todos los casos las medias se compararon mediante el test de la diferencia mínima significativa (DMS) de Fisher al 5 % de probabilidad.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura No. 1. se detallan las condiciones ambientales durante el periodo en que se llevó a cabo el experimento

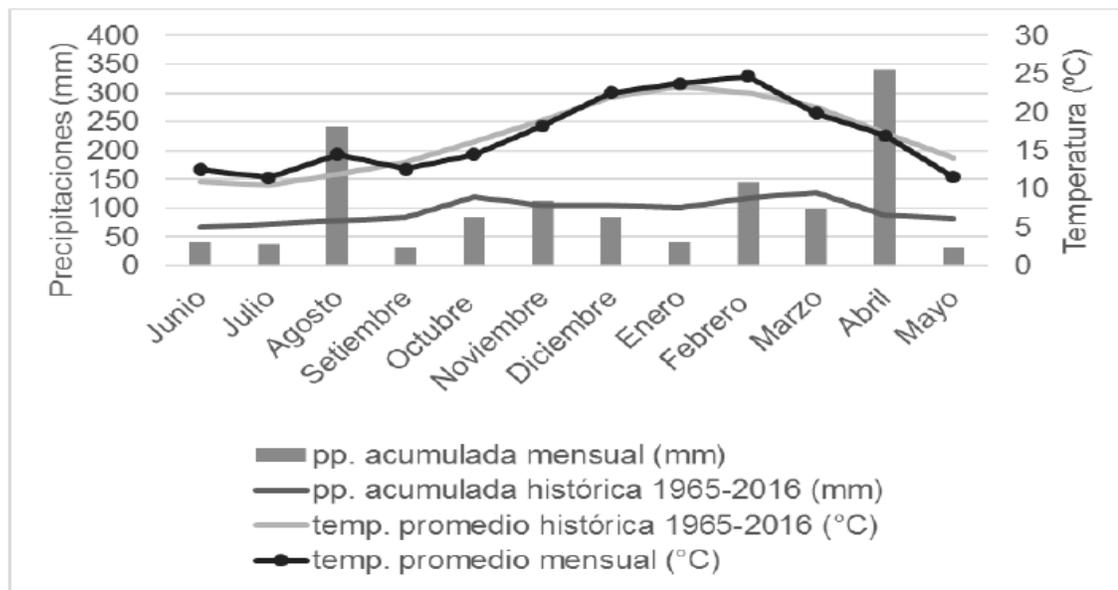


Figura No. 1. Precipitaciones (mm) y temperaturas (°C) promedio históricas y mensuales registradas durante el período junio 2015 a mayo 2016 en la localidad de La Estanzuela

Como se observa en la figura anterior la temperatura promedio mensual para el período estudiado es similar a la temperatura promedio histórica (1965-2016). En cuanto a las precipitaciones acumuladas mensuales para el mes de diciembre, enero, marzo y mayo, estuvieron por debajo de las precipitaciones acumuladas históricas, mientras que los meses de noviembre, febrero y abril estuvieron por encima de las precipitaciones acumuladas históricas. En el mes de febrero se ubicó el periodo crítico de determinación de rendimiento (floración), donde las condiciones de precipitaciones y temperatura fueron adecuadas. Para Carrasco et al. (2011), una carencia en esta etapa se traduce directamente en menores rendimientos. Sin embargo, si las condiciones ambientales son favorables, la planta de sorgo puede compensar las limitaciones que hayan sucedido durante el ciclo, y que hayan causado un menor tamaño de la planta, área foliar o número de plantas mediante el aumento del número de granos por panoja, así como el peso de los mismos.

Previo a la instalación del cultivo, se registró el enmalezamiento en el área experimental, pudiendo determinarse la existencia de malezas de ciclo

primavero-verano-otoñal y otras otoño-inverno-primaveral finalizando su ciclo. Las malezas con mayor presencia y cobertura al momento de iniciar el barbecho eran: *Raphanus sp.*, *Stachis arvensis* y *Digitaria sanguinalis*.

Durante el ciclo del cultivo predominaron claramente malezas gramíneas, dentro de estas principalmente *Echinochloa colona* y en menor medida *Digitaria sanguinalis*. En cuanto a las hojas anchas, se registró la presencia principalmente de: *Portulaca oleracea*, *Chenopodium álbum*, *Amaranthus sp.* y *Xanthium spinosum*.

4.1. IMPLANTACIÓN DEL CULTIVO

El análisis de este parámetro se realizó para obtener información sobre el posible efecto de los diferentes tratamientos en el inicio del desarrollo del cultivo.

El análisis estadístico determinó que la interacción entre los tratamientos herbicidas y cultivar no fue significativa ($p > 0,0001$), por lo cual se analizaron las dos variedades juntas.

Cuadro No. 4. Implantación promedio, medida como número de plantas logradas, de los cultivares de sorgo ZT705 DP y Pioneer 8419 para los tratamientos evaluados

Tratamiento	Implantación (No. pl/metro lineal)*
1	12,54 bc
2	14,85a
3	14,75 a
4	14,91 a
5	13,84 ab
6	14,45 a
7	13,71 ab
8	13,71 ab
9	13,71 ab
10	14,01 ab
11	14,04 ab
12	11,26 c

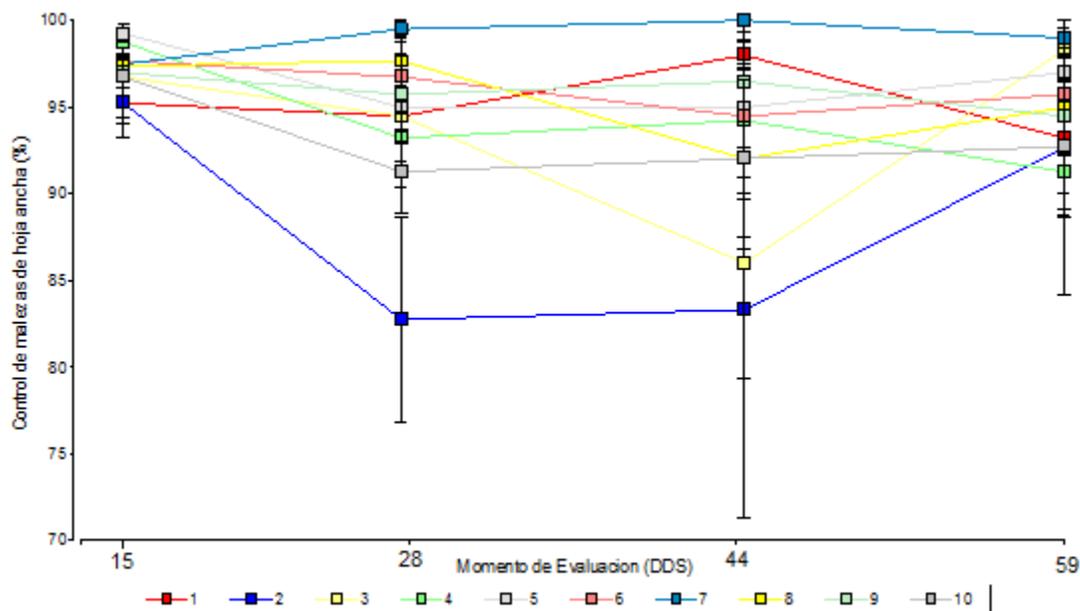
*Valores que presentan letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

En el tratamiento 1 (T1), se constató un menor número de plantas emergidas que en los tratamientos 2, 3, 4 y 6 (T2, T3, T4 y T6, respectivamente). Esto puede estar explicado por la alta concentración de malezas que presentaba el T1, al momento de la emergencia del cultivo, ya que la residualidad del tratamiento herbicida aplicado no fue suficiente para mantener la parcela libre de malezas hasta el momento de la siembra. De igual forma el testigo sucio (T12) presenta diferencias significativas al resto de los tratamientos, por no haber recibido ningún tipo de control de malezas. Con

respecto al resto de los tratamientos, no se detectaron diferencias entre ellos en lo que respecta a la implantación del cultivo.

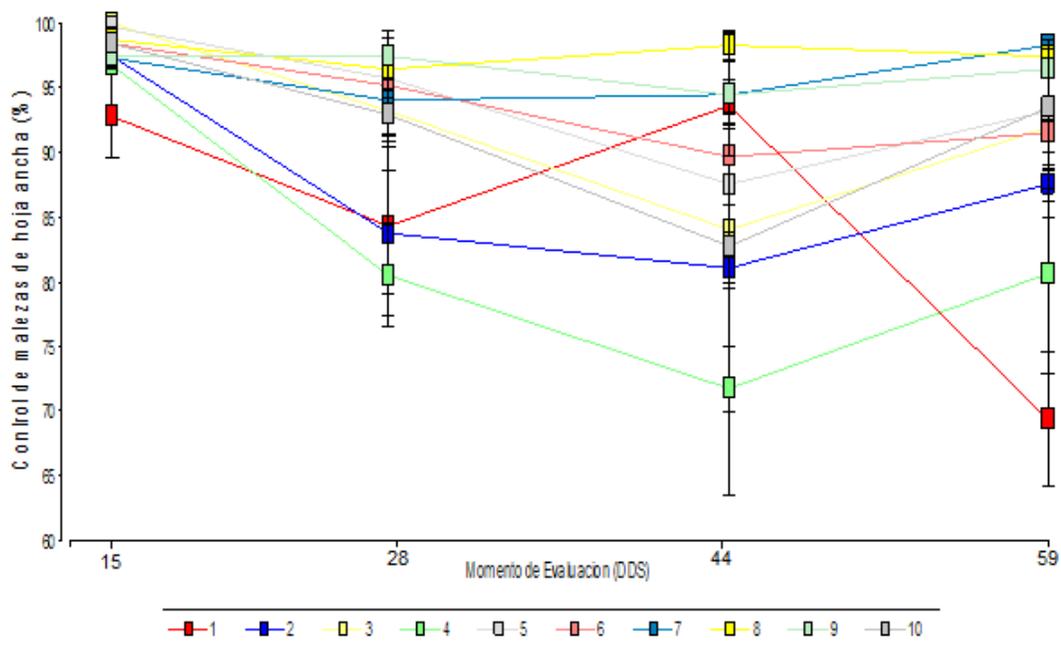
4.2. CONTROL DE MALEZAS DE HOJA ANCHA

Los datos de control de malezas de hoja ancha (HA) presentaron limitaciones importantes como para ser analizados utilizando modelos lineales. Estos presentaron una fuerte heterogeneidad de varianza y los errores no se ajustaron a una distribución normal, no pudiéndose corregir estas condiciones a través de ninguna de las transformaciones efectuadas. A su vez, en general todos los tratamientos resultaron en controles de malezas HA relativamente altos. Por estos motivos, para esta variable se presentan graficados para cada fecha y variedad el promedio y el error estándar de la media.



Cada cuadrado representa el valor medio para el tratamiento indicado y las barras representan el error estándar de la media (n = 4).

Figura No. 2. Control de malezas de hoja ancha para la variedad Z705 DP a los 15, 28, 44 y 59 días después de la siembra



Cada cuadrado representa el valor medio para el tratamiento indicado y las barras representan el error estándar de la media (n = 4).

Figura No. 3. Control de malezas de hoja ancha para la variedad Pioneer 8419 a los 15, 28, 44 y 59 días después de la siembra

El control de latifoliadas para ambas variedades tuvo porcentajes altos para todos los tratamientos, en general por encima del 80% de control. Si bien no se pudo realizar un análisis estadístico formal, el aparente menor control de malezas HA observado en el T4 para la variedad Pioneer 8419 puede atribuirse a un descenso en la residualidad del Percutor que interactuó con el efecto de control de gramíneas del Dual Gold. Esto pudo haber ocasionado una mayor presencia de malezas HA en este tratamiento. El menor control observado en T1, puede atribuirse al menos parcialmente a la misma razón explicada para T4, aunque en este tratamiento la infestación de gramíneas fue notoriamente mayor ya que el T1 no incluía Dual Gold 960 EC.

Debido a la variabilidad de las evaluaciones entre fechas para el T1, no se descarta que la falta de entrenamiento de los evaluadores haya influido en los valores presentados. Sin embargo, tanto sea por el efecto de los tratamientos herbicidas como por la alta competencia ejercida por malezas gramíneas en algunos tratamientos, los datos son consistentes en que las

malezas HA no representaron niveles de infestación importantes en ningún caso.

4.3. CONTROL DE MALEZAS GRAMÍNEAS

Para el parámetro control de malezas gramíneas, la interacción entre los tratamientos herbicidas y cultivar fue significativa ($p < 0,0001$), por lo cual se analizaron las dos variedades por separado.

Cuadro No. 5. Control visual de malezas gramíneas a los 15, 28, 44 y 59 días después de la siembra para la variedad Z705

Tratamiento	Control de gramíneas (%)*			
	15	28	44	59
----- DDS -----				
1	62,63 b	13,75 c	0 d	0,35 d
2	84,77 ab	68,04 b	15,88 c	29,12 c
3	98,98 a	90,05 ab	87,53 ab	88,19 ab
4	95,62 a	90,05 ab	88,82 ab	88,82 ab
5	98,77 a	97,11 a	96,76 a	96,76 a
6	94,76 a	88,19 ab	89,45 ab	90,64 ab
7	95,62 a	90,05 ab	94,76 ab	91,77 ab
8	96,02 a	70,80 b	87,53 ab	93,35 ab
9	95,62 a	89,45 ab	91,77 ab	81,01 ab
10	95,62 a	91,22 ab	92,84 ab	86,86 ab

*Valores que presentan letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

DDS: días después de la siembra.

Para el caso del T1 el control de malezas gramíneas en todos los momentos evaluados se observó un mayor enmalezamiento. En líneas generales, en el tratamiento T2 también se observó un menor control de gramíneas con respecto al resto de los tratamientos que recibieron herbicida (cuadro No. 5). Esto puede explicarse por el mayor tiempo transcurrido entre la aplicación, el momento de siembra (28 y 14 días para T1 y T2, respectivamente) y las evaluaciones; lo que indicaría un pobre control residual del herbicida Percutor sobre especies como *Echinochloa colona* y *Digitaria sanguinalis*.

Salvo alguna excepción, los tratamientos T3 al T10 tuvieron pocas diferencias entre ellos en cuanto al control de gramíneas, el cual en general fue muy bueno. Los tratamientos T4 al T10 incluían la aplicación de Dual Gold 960 EC, el cual sin duda es un factor importante para explicar este resultado. La aplicación de Percutor siete días previos a la siembra (T3), fue suficiente para obtener resultados similares al de los tratamientos que incluían Dual gold 960 EC. Probablemente, el presumible corto efecto residual del Percutor sobre las gramíneas de verano presentes en la chacra, en interacción con la competencia del cultivo más próxima que en los tratamientos T1 y T2 expliquen este mejor desempeño de este herbicida.

Considerando los tratamientos T4 al T10, no se detectaron diferencias en el control de gramíneas entre los tratamientos con y sin Exocet 25 flow. El hecho de que este grupo de tratamientos incluía Dual gold 960 EC, y que este realizó un buen control de gramíneas, influyó en que la aplicación de Exocet 25 flow no se viera reflejada en el control de gramíneas. Sin embargo, esto era deseable ya que de esta manera fue el cultivo el que absorbió y debió metabolizar este herbicida.

Cuadro No. 6. Control visual de malezas gramíneas a los 15, 28, 44 y 59 días después de la siembra para la variedad Pioneer 8419

Tratamiento	Control de gramíneas (%)*			
	15	28	44	59
----- DDS -----				
1	56,44 b	11,12 b	1,94 d	0,63 d
2	93,35 a	76,94 a	27,32 c	78,61 bc
3	97,74 a	88,19 a	68,97 b	76,10 c
4	95,20 a	81,79 a	68,97 b	68,04 c
5	99,49 a	96,76 a	91,22 a	96,76 a
6	95,20 a	84,05 a	79,42 ab	80,22 bc
7	95,62 a	91,77 a	82,56 ab	83,31 abc
8	95,20 a	85,48 a	86,18 ab	82,56 bc
9	95,20 a	82,56 a	81,79 ab	79,42 bc
10	98,03 a	93,84 a	92,84 a	93,84 ab

*Valores que presentan letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

DDS: días después de la siembra.

Las diferencias en la respuesta a los tratamientos herbicidas entre variedades fueron pocas y se observaron fundamentalmente en las últimas fechas de evaluación (44 y 59 DDS). Similarmente a lo registrado para la variedad Z705, el T1 presentó el menor control de malezas gramíneas, y esto fue consistente para todas las fechas de evaluación.

Para esta variedad se refleja nuevamente la importancia en el control de gramíneas del S-metolaclof en mezcla con Gesaprim nueve 0 o Percutor.

Aunque no se realizó una comparación estadística formal, al final del período de evaluación (59 DDS) se observa una clara tendencia hacia un menor control de gramíneas (i.e. mayor enmalezamiento) en la variedad Pioneer 8419 para varios tratamientos. Esto puede deberse a un efecto de competencia, o de interacción herbicida-competencia diferencial entre variedades.

Los resultados obtenidos indican que potencialmente se podría lograr un control similar de malezas (o al menos de las especies representadas en este experimento) con la mezcla de Percutor más Dual gold 960 EC, que con la mezcla tradicionalmente usada de Gesaprim nueve 0 más Dual gold 960 EC.

4.4. EVALUACIÓN VISUAL DE FITOTOXICIDAD

El objetivo principal de este trabajo era determinar la posible fitotoxicidad de herbicidas no tradicionalmente usados en sorgo, sobre este cultivo.

La interacción entre los tratamientos herbicidas y cultivar fue significativa ($p < 0,0001$), por lo cual se analizaron las dos variedades por separado.

Cuadro No. 7. Fitotoxicidad del cultivo en los diferentes tratamientos, a los 28, 44, 51 y 64 días después de la siembra, para la variedad de sorgo Z705

Tratamiento	Momento de evaluación*			
	28	44	51	64
	-----DDS-----			
1	0 c**	0,98	0,98 ab	0,98 a
2	0,56 abc	0,81	0,81 ab	0,98 a
3	1,89 a	0,28	1,17 a	0,28 b
4	0,35 bc	0,12	0,56 ab	0,12 b

(continúa cuadro No. 7.)

Tratamiento	Momento de evaluación*			
	28	44	51	64
-----DDS-----				
5	1,17 ab	0,12	0,12 b	0,35 b
6	0,81 ab	0,19	0,56 ab	0,03 b
7	0,93 ab	0,22	0,22 ab	0,66 ab
8	1,58 ab	0,22	0,98 ab	0,22 b
9	1,24 ab	0,43	0,32 ab	0,12 b
10	0,47 bc	0,25	0,12 b	0,19 b

*Valores que presentan letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

DDS: días después de la siembra.

Para el parámetro fitotoxicidad los resultados obtenidos se correlacionan directamente con el momento de aplicación del herbicida.

En la primera evaluación se observó que el T1 (aplicación de Percutor a los 28 días pre siembra) no presentó efectos de fitotoxicidad en el cultivo. En los tratamientos en los que se observó menor fitotoxicidad (T4 y T10) se realizó la aplicación de Percutor a los 14 días previo a la siembra. Para el mismo momento de evaluación, los niveles más altos de fitotoxicidad fueron: T3, T5, T6, T7, T8 y T9 siendo T3 y T5 Percutor a los 7 días pre-siembra, y T6, T7, T8 y T9 Gesaprim nueve 0 más Dual gold 960 EC a la siembra. Esto indicaría que, al menos visualmente, para la variedad Z705, el efecto del Percutor sobre el cultivo no sería diferente al de la mezcla de Gesaprim nueve 0 más Dual Gold.

Si bien durante la evaluación de fitotoxicidad, se buscaban síntomas claros del efecto de los herbicidas después del primer momento de evaluación las plantas en T1 y parcialmente el T2 comenzaron a verse disminuidos por la competencia de malezas gramíneas, característica que se manifestó claramente en la medición de área foliar (sección 4.5)

Para el caso de los tratamientos en los que se aplicó Exocet 25 flow a los 37 días post siembra (T7, T8, T9 y T10), en diferentes dosis de este herbicida, no presentaron diferencias significativas de fitotoxicidad con respecto al T6. Es decir, visualmente no se constataron efectos fitotóxico de este herbicida en comparación con el tratamiento tradicionalmente usado (Gesaprim + Dual Gold) ni con el T11 (aunque este no fue incluido en el análisis estadístico).

Cuadro No. 8. Fitotoxicidad del cultivo en los diferentes tratamientos, a los 28, 44, 51 y 64 días después de la siembra, para la variedad de sorgo Pioneer 8419

Tratamiento	Momento de evaluación*			
	28	44	51	64
	-----DDS-----			
1	2,05 a	0,87	0,25	1,11 a
2	0 d	0,19	0,35	0,51 ab
3	0,39 c	0,28	0,12	0,19 bc
4	1,81 ab	0,19	0,43	0,03 bc
5	0 d	0,56	0,35	0 c
6	1,51 ab	0,61	0,06	0,12 bc
7	0,93 abc	0,09	0,03	0,03 bc
8	1,05 abc	0,25	0,12	0,28 abc
9	1,73 ab	0,93	0,12	0,03 bc
10	1,44 ab	0,12	0,61	0,03 bc

*Valores que presentan letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

La evaluación de fitotoxicidad para la variedad Pioneer 8419 arrojó diferencias entre algunos tratamientos solo en el primer y el último momento de medición.

Las diferencias detectadas son menores y difíciles de explicar desde el punto de vista de la posible toxicidad generada por herbicidas. En los tratamientos T3 y T5 que contenían Percutor aplicado en el momento más próximo a la siembra no se observó fitotoxicidad. El T1 fue el tratamiento con mayor fitotoxicidad (aunque no difirió del T4, T6, T7, T8, T9 y T10). Los valores subjetivos de fitotoxicidad pudieron estar determinados por la competencia de las malezas en el cultivo y no por el efecto del herbicida en sí. Para el caso de T6, T7, T8 y T9, es probable que se haya detectado un leve efecto fitotóxico de la aplicación de los herbicidas Gesaprim nueve 0 más Dual gold 960 EC a la siembra en el primer momento de evaluación, que luego se diluyó con el crecimiento del cultivo.

Para el caso de los tratamientos en los que se aplicó quinclorac a los 37 días post siembra (T7, T8, T9 y T10) no se observa fitotoxicidad que pueda atribuirse directamente a este herbicida.

En ambas variedades hubo una leve tendencia a que los tratamientos que recibieron herbicida presentaran mayores valores de fitotoxicidad en la primera evaluación visual en comparación al testigo desmalezado manualmente (datos no mostrados). Sin embargo, estas diferencias se fueron disminuyendo conforme avanzaba el ciclo del cultivo. Esto puede estar explicado por el aumento de la tasa de crecimiento, desarrollo y metabolización de productos químicos por parte del cultivo. Visualmente no se detectaron efectos fitotóxicos claros que puedan ser atribuidos a los herbicidas Percutor o Exocet flow 25. Algunas diferencias en fitotoxicidad difíciles de explicar por efectos de herbicida podrían ser producto de la evaluación subjetiva de evaluadores con poca experiencia.

4.5 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) DEL CULTIVO

Dicho parámetro se evaluó para contar con una medida objetiva que puede asociarse directamente a posibles efectos de fitotoxicidad determinado por tratamientos herbicidas.

Para IAF, la interacción entre los tratamientos herbicidas y cultivar fue significativa ($p < 0,0001$), por lo cual se analizaron las dos variedades por separado.

Cuadro No. 9. Índice de área foliar del cultivo en los diferentes tratamientos, a los 31, 44, 51 y 64 días después de la siembra, para la variedad Z 705

Tratamiento	Momento de evaluación *			
	31	44	51	64
	-----DDS-----			
1	0,94	0,43 d	0,95 c	1,27 c
2	1,41	3,93 bc	3,8 b	3,74 b
3	1,85	4,67 abc	5,58 a	5,57 a
4	1,24	6,09 a	6,06 a	6,56 a
5	1,53	6,06 a	6,15 a	6,22 a
6	1,26	5,53 abc	6,29 a	5,96 a
7	1,40	4,61 abc	5,87 a	6,32 a
8	1,14	5,37 abc	5,85 a	6,01 a
9	1,05	4,64 abc	5,74 a	5,47 a
10	1,55	5,41 abc	6,73 a	6,13 a
11	1,35	5,69 ab	5,86 a	5,56 a
12	1,20	0,49 d	1,26 c	0,28 c

*Valores que presentan letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

DDS: días después de la siembra.

Para el IAF del cultivo de sorgo de la variedad Z705 a los 31 días posteriores a la siembra, no se observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos (cuadro No. 9). A los 44 días post siembra el T1 y el T12 presentaron los niveles más bajos de IAF con respecto al resto de los tratamientos; por otra parte el T4 y T5 presentaban el mayor IAF, aunque este fue estadísticamente diferente solo del T1, T2 y T12. Para los 51 y 64 DDS todos los tratamientos presentaron un comportamiento similar para ambos

momentos de evaluación, a excepción del T1, T2 y el T12 los cuales son estadísticamente diferentes al resto y presentaban IAF muy poco desarrollados.

Esta situación puede estar explicada por la competencia que ejercen las malezas en estas parcelas por los recursos de luz, agua y nutrientes, lo que genera un menor desarrollo, menor acumulación de materia seca y en consecuencia menor IAF del cultivo.

A partir de la segunda evaluación el tratamiento que llevo solo Percutor y Rondup full 14 días previo a la siembra (T2), presentó diferencias significativas en el IAF con respecto a T4, pudiendo estar explicado por el uso del s-metolaclor. Esto evidencia que Percutor solo no tiene buen control de gramíneas y que el menor desarrollo de IAF se debe a la competencia por malezas y no al efecto del Percutor sobre el sorgo. Para las siguientes mediciones se ve un aumento en el IAF para todos los tratamientos a excepción de T12 y T1.

Cuadro No. 10. Índice de área foliar del cultivo en los diferentes tratamientos, a los 31, 44, 51 y 64 días después de la siembra, para la variedad Pioneer 8419

Tratamiento	Momento de evaluación *			
	31	44	51	64
	-----DDS-----			
1	1,46 b	1,39 c	1,99 c	1,79 c
2	2,76 ab	6,45 ab	4,73 abc	4,72 ab
3	2,97 ab	7,16 ab	4,88 ab	4,68 ab
4	3,21 ab	7,56 a	6,02 a	5 a
5	2,31 ab	6,68 ab	3,72 abc	5,42 a
6	2,61 ab	6,81 ab	5,46 ab	5,81 a
7	2,91 ab	6,49 ab	4,37 abc	5,35 a
8	2,34 ab	7,18 ab	5,15 ab	4,86 a
9	2,56 ab	7,38 a	4,78 abc	4,7 ab
10	2,69 ab	5,06 b	2,95 bc	4,38 ab
11	3,28 a	7,44 a	5,94 a	4,96 a
12	1,82 ab	0,76 c	2,97 bc	2,43 bc

*Valores que presentan letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

DDS: días después de la siembra.

Para la variedad Pioneer 8419, a los 31 días posteriores a la siembra el T1 es el que presenta el menor nivel de IAF, aunque es diferente solo del testigo limpio (T11). Esto posiblemente se deba a la mayor competencia maleza-cultivo. Los demás tratamientos en dicho momento de evaluación no presentan diferencias con respecto al testigo limpio lo que indica un buen desarrollo inicial del cultivo para todos estos tratamientos.

Para todos los tratamientos evaluados los niveles de IAF aumentaron en el período de evaluación, a excepción de T1 y T12, los cuales presentaron descensos en este parámetro por la competencia que ejercieron las malezas en el cultivo.

En los tratamientos que fueron aplicados con quinclorac a los 37 DDS, no se observó ninguna disminución a nivel del IAF del cultivo, lo que implica que posiblemente no tenga efectos negativos para el crecimiento de cultivo.

Las diferencias en el IAF se pueden correlacionar con los efectos fitotóxico de los diferentes tratamientos en estudio. En ambas variedades se puede resaltar la mejora en el índice de IAF a medida que se aleja de la fecha de siembra, esto principalmente se puede explicar por el efecto del propio cultivo y el menor efecto de los herbicidas con el transcurso del tiempo. Esto no se refleja así en el T1 para ambas variedades debido a que dicho tratamiento químico se realizó con una mayor anticipación a la instalación del cultivo por lo que la variación del IAF para T1 se explica únicamente por competencia de malezas. En cuanto a las particularidades de ambas variedades la variedad Z705 tiene un mejor comportamiento en línea general con los herbicidas utilizados y esto se explica por la mayor capacidad de aumentar el IAF en la mayoría de los tratamientos en mediciones más cercanas a la fecha de siembra.

4.6. BIOMASA DEL CULTIVO

La biomasa del cultivo (kg M.S. ha⁻¹) cerca de la finalización del ciclo (93 DDS) fue tomada como otro posible indicador del posible efecto fitotóxico de los tratamientos herbicidas.

Para esta variable la interacción entre los tratamientos herbicidas y el cultivar fue significativa ($p= 0,2472$), por lo cual se analizó el efecto de los tratamientos sobre ambas variedades en forma conjunta (cuadro No. 9).

Cuadro No. 11. Biomasa de planta entera de sorgo (kg MS ha⁻¹) 93 DDS según el tratamiento herbicida

Tratamiento	Biomasa (kg MS ha ⁻¹)
1	6358,04 c
2	14748,77 b
3	14192,35 b
4	14418,69 b
5	14419,46 b
6	14064,41 b
7	15442,23 ab
8	17506,69 a
9	14906,99 b
10	15413,46 b
11	15644,36 ab
12	1452,94 d

*Valores que presentan letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

El único tratamiento de los que recibió herbicida que acumuló menos MS a los 93DDS en comparación al testigo sin aplicación fue el T1 (aplicación de Percutor 28 DPS). El T12 (testigo sucio) fue el que acumuló menos MS de sorgo. El resto de los tratamientos no presentaron diferencias en la acumulación de biomasa, lo que indica que dadas las condiciones del experimento y el año los tratamientos evaluados no significaron un daño que se reflejara en esta variable.

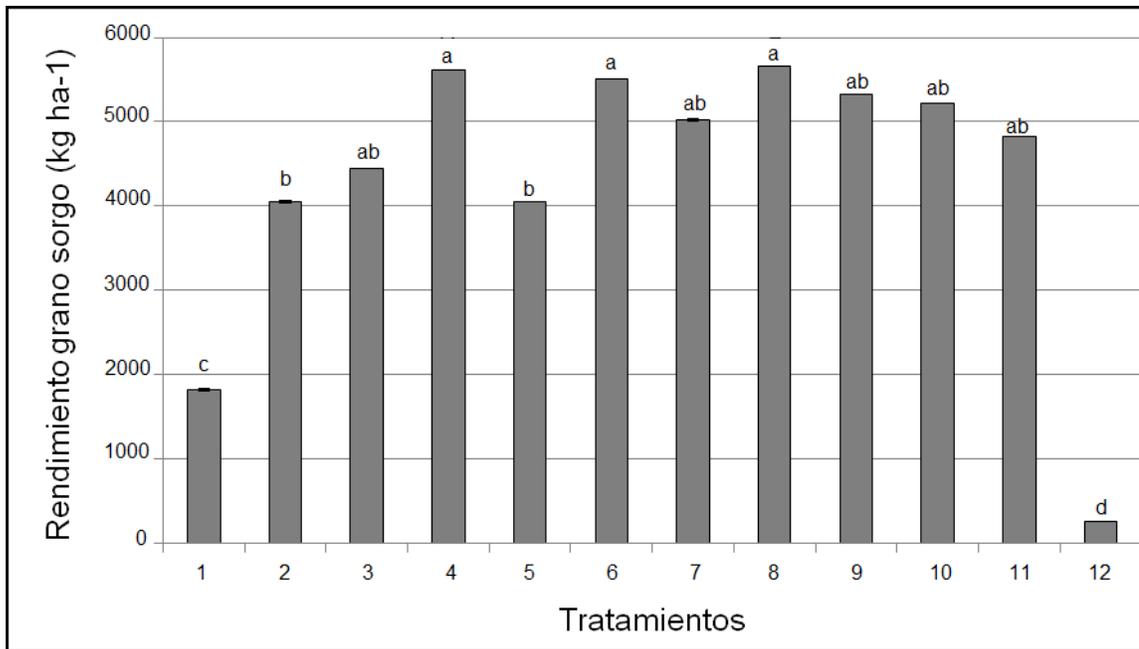
El T12 sufrió una reducción de MS de 90,71% en comparación al testigo limpio. Es lógico pensar que esta reducción se deba a la gran competencia de

malezas que sufrió durante todo el ciclo del cultivo. En el caso del T1, los niveles de interferencia de malezas fueron menores que en el T12 ya que este tratamiento si recibió herbicida. Los niveles de control de maleza al día de la siembra fueron altos en el T1 (80% de control de gramíneas y 100% control de hoja ancha, datos no presentados). Sin embargo, la competencia de malezas durante el período crítico de competencia en el T1 fue importante de cualquier manera y esto repercutió en la biomasa del cultivo. Si bien la competencia en T1 no llegó a los niveles observados en el testigo sin aplicación, fue suficiente para determinar mermas del orden del 50% en la biomasa con respecto a tratamientos que recibieron el mismo tratamiento pero más próximo a la siembra (T2 y T3).

4.7. RENDIMIENTO DE GRANO (kg grano seco. ha⁻¹)

La variable rendimiento es otro indicador (probablemente uno de los de mayor importancia) de la performance de los diferentes tratamientos realizados, ya que cuantifica el efecto de los diferentes tratamientos herbicidas en el resultado final del cultivo.

El análisis estadístico determinó que la interacción entre los tratamientos herbicidas y cultivar no fue significativa para esta variable ($p > 0,05$), por lo cual se analizaron las dos variedades juntas.



Letras diferentes sobre cada barra indica que los valores de rendimiento difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

Figura No. 4. Rendimiento de grano (kg ha^{-1}) promedio para las variedades de sorgo Z705 y Pioneer 8419 para cada tratamiento. El rendimiento corresponde al peso del grano corregido al 14% de humedad

Hubo claras diferencias en rendimiento de grano entre algunos de los tratamientos evaluados. El tratamiento desmalezado manualmente rindió 4830 kg ha^{-1} . Si bien este tratamiento no se diferenció de los tres tratamientos con mayor rendimiento (T4, T6 y T8), tampoco lo hizo de los tratamientos T2 y T5 en los cuales claramente no se alcanzó el potencial máximo de rendimiento para este experimento. El testigo limpio se desmalezó manualmente cada 15 días. La presión de malezas (especialmente gramíneas) era tan grande en el sitio del experimento que es probable que, en algún momento dentro del periodo crítico, el cultivo haya sentido momentáneamente la competencia y esto pudo haber afectado en algún grado que no se llegara a el rendimiento máximo potencial. El T6 sin embargo, rindió 5511 kg ha^{-1} habiendo sido tratado con Dual gold 960 EC más Gesaprim nueve 0. Este tratamiento ha sido tradicionalmente

el más usado en el cultivo de sorgo. Su aplicación en general resulta en excelentes controles de malezas y ha sido extensamente demostrado que no afecta el rendimiento potencial del cultivo de sorgo. Por estas razones, es que para la discusión de esta variable se tomará el T6 como un parámetro de comparación con respecto a los otros tratamientos.

El tratamiento sin control de malezas rindió aproximadamente el 5% de lo que rindió el T6. Esto coincide con el gran impacto en rendimiento reportado por Giménez y Ríos (1991), quienes afirmaron que con un control de malezas en este cultivo se podría lograr un aumento del rendimiento por hectárea hasta un 105%.

El T1 rindió 1822 kg ha⁻¹ y fue el de menor rendimiento de los que recibieron herbicida, sin considerar la aplicación de glifosato en el testigo sucio a los 28 DPS. La diferencia de rendimiento entre el T1 y el T12 por ende está dada por el control de malezas residual que ejerció el Percutor aplicado 28 DPS. Los valores de control de malezas gramíneas registrados a lo largo del cultivo para los diferentes tratamientos (cuadros No. 5 y No. 6) y la falta de síntomas relacionados a la aplicación de herbicidas inhibidores de la ALS sugieren que el bajo rendimiento del T1 es debido a la fuerte competencia por malezas y no a un efecto fitotóxico del herbicida.

El T4 no tuvo diferencia de rendimiento con el T6. Esto sugiere que el Percutor aplicado 14 días antes de la siembra del cultivo de sorgo no tuvo un efecto sobre el rendimiento final del cultivo. Es probable que la diferencia de rendimiento entre el T2 y los tratamientos T4 y T6 se haya debido a la competencia de malezas gramíneas más que a un posible efecto fitotóxico del herbicida (cuadros No. 5 y No. 6).

Sin embargo, los resultados de las variables medidas (rendimiento, IAF y fitotoxicidad) en los tratamientos que recibieron Percutor 7 días antes de la siembra (T3 y T5) sugieren que si hay un efecto fitotóxico sobre el cultivo y que la expresión de este efecto depende del tiempo que trascorra entre la aplicación y la siembra.

Los tratamientos que recibieron Exocet 25 flow no se diferenciaron del T6, lo que indica que este herbicida podría ser usado con seguridad para control de malezas en post-emergencia del sorgo. Este resultado coincide con aquellos reportados por Vincent (2015).

5. CONCLUSIONES

La depresión en rendimiento de los tratamientos con pobre o nulo control de malezas evidenció la gran presión de malezas en el sitio experimental y las pérdidas en el cultivo que pueden significar si no se realiza un adecuado manejo de estas.

Si bien el diseño experimental y la metodología utilizadas en este trabajo no permitieron aislar la máxima expresión de los efectos de fitotoxicidad de los herbicidas evaluados, la interpretación conjunta de las diferentes variables medidas brindó información sólida e interesante sobre la performance del Percutor y el Exocet 25 sobre la fitotoxicidad y control de malezas en el cultivo de sorgo.

El control de malezas latifoliadas del Percutor fue muy bueno. El control de gramíneas con este herbicida, en cambio, mostró deficiencias importantes, teniendo mejores resultados cuando el mismo es acompañado con s-metolaclof.

Los resultados de este trabajo indican que el Percutor pueda ser usado como una herramienta para el manejo de malezas en este cultivo, y concretamente que la aplicación de Percutor 14 días previo a la siembra podría ser una opción a considerarse. Sin embargo, se requieren más estudios para ajustar mejor dosis y tiempo de espera antes de la siembra.

No se observó un efecto fitotóxico en ninguna de las variables medidas que puedan ser adjudicadas a la aplicación del herbicida quinclorac. Esto sugiere que este herbicida puede ser una opción para el control de algunas malezas gramíneas en post-emergencia del cultivo de sorgo. Se requieren más trabajos que garanticen la seguridad de este herbicida sobre los cultivares de sorgo sembrados en Uruguay, y también que contribuyan a determinar las mejores estrategias de uso de este herbicida (momentos de aplicación respecto al cultivo y las malezas, dosis, malezas que controla, etc.).

6. RESUMEN

El cultivo de sorgo presenta reducidas opciones herbicidas para el control de malezas. La atrazina es una de las moléculas herbicidas más importantes utilizadas en este cultivo. La prohibición de importación, registro y renovación de productos fitosanitarios a base de atrazina que rige en Uruguay desde el año 2016 reduce aún más las opciones herbicidas para el control de malezas en sorgo. La mezcla de iodosulfuronmetil + thiencazone metil (Percutor) y el quinclorac (Exocet 25 flow) son herbicidas que potencialmente podrían usarse para el control de malezas en este cultivo. Los tratamientos evaluados consistieron en aplicaciones de mezclas de herbicidas que incluían Percutor (30 g ha⁻¹) en diferentes momentos pre-siembra (28, 14 y 7 días) y Exocet 25 flow en diferentes dosis (1.5, 2 y 3 L ha⁻¹) en post-emergencia de dos variedades de sorgo (Pioneer 8419 y Z705). Además, se incluyeron un testigo comercial (glifosato + atrazina + s-metolaclor), un testigo desmalezado manualmente y un testigo sin control de malezas. Se evaluaron: la implantación del cultivo, el control de malezas de hoja ancha y malezas gramíneas, la fitotoxicidad en el cultivo, el índice de área foliar, la biomasa del cultivo y el rendimiento en grano. Durante el ciclo del cultivo las malezas predominantes fueron las gramíneas *Echinochloa colona* y en menor medida *Digitaria sanguinalis*. No se detectó daño adjudicado estrictamente al herbicida Percutor en ninguna de las variables medidas, cuando este fue aplicado 28 o 14 días previos a la siembra del cultivo. Sin embargo, si se observó daño y efecto en el rendimiento que se asoció al uso de Percutor 7 días previo a la siembra. Se obtuvo un excelente control de malezas de hoja ancha con este herbicida, pero el control residual sobre malezas gramíneas fue muy pobre. No se observaron efectos fitotóxicos en ninguna de las variables medidas adjudicables al herbicida quinclorac. Los resultados de este trabajo indican que tanto el Percutor como el quinclorac son opciones herbicidas que podrían registrarse en Uruguay para el control de malezas en el cultivo de sorgo. Sin embargo, más estudios son necesarios para evaluar la selectividad de estos herbicidas sobre más cultivares de sorgo, así como para determinar las mejores estrategias (fundamentalmente momento de aplicación y dosis) de uso de estos herbicidas.

Palabras clave: *Sorghum bicolor*; Malezas; Herbicidas; Iodosulfuron metil + Thiencazone metil; Quinclorac.

7. SUMMARY

Sorgo cultivation presents reduced herbicidal options for weed control. atrazine is one of the most important herbicidal molecules used in this crop. The prohibition of importation, registration and renewal of phytosanitary products based on atrazine ruling in Uruguay since 2016 reduces the herbicidal options for the control of weeds in sorgo. the mixture of iodosulfuronmetil + thienclorac (Percutor) and quinclorac (Exocet 25 flow) are herbicides that could potentially be used for the control of weeds in this cropping. The evaluated treatments consisted of applications of herbicide mixes that include Percutor (30 g ha⁻¹) in different pre-seed moments (28, 14 and 7 days) and Exocet 25 flowen different dose (1.5, 2 and 3 l ha⁻¹) in post-emergency of two varieties of sorgo (Pioneer 8419 and Z705). Also, a commercial witness (glyphosate + atrazine + s-metolaclo) is included, a manually weeded witness and a witness without control of weeds. The implementation of the crop, the control of broad leaf weeds and gramine weeds, the crop phyto-toxicity, the foliar area index, the crop biomass and grain yield was evaluated. During the cultivation cycle the predominant weeds were the grasses *Echinochloa colona* and in less measure, *Digitaria sanguinalis*. No damage was detected strictly attributed to the Percutor herbicide in any of the variables measured, when it was applied 28 or 14 days before planting the crop. However, there was damage and effect on the performance that was associated with the use of a Percutor, 7 days before sowing. Excellent weed control of this herbicide was obtained, but residual control on gramineous weeds way very poor. No ditotoxic effects were observed in any of the measured variables adjudicable to the quinclorac herbicide. The results of this work indicate that both, the percutor and the quinclorac, are herbicidal options that could be registered in our country for the control of weeds in the sorgo crop. However, more studies are necessary to evaluate the selectivity of these herbicides on more sorgo cultivars, as well as to determine the best strategies (fundamentally moment of application and dosage) of the use of these herbicides.

Key words: *Sorghum bicolor*; Weeds; Herbicides; Iodosulfuron methyl + Thienclorac methyl; Quinclorac.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Acciaresi, H. A.; Sobrero, M. T.; Leguizamón, E. S. 2014. Interacción maleza-cultivo I: competencia, teorías, recursos y factores; estrategias competitivas. In: Acciaresi, H. A.; Leguizamón, E. S.; Fernández, O. A. eds. Malezas e invasoras de la Argentina. Santa Fé, Universidad Nacional del Sur. t.1, pp. 171-197.
2. Arregui, C.; Beldoménico, H.; Cassano, A.; Collins, P.; Gagneten, A.; Kleinsorge, E.; Lajmanovich, R.; Lenardón, A.; Lorenzatti, E.; Luque, E.; Maitre, M.; Muñoz de toro, M.; Ortega, H.; Peltzer, P.; Poletta, G.; Rodríguez, A.; Sánchez, J.; Simoniello, M.; Varayoud, J.; Zalazar, C. 2010. Informe acerca del grado de toxicidad del glifosato. (en línea). Santa Fé, UNL (Universidad Nacional del Litoral). 272 p. Consultado 6 jun. 2018. Disponible en <https://www.sertox.com.ar/img/item/full/Informe%20Glifosato%20UNL.pdf>
3. _____; Puricelli, E. 2014. Sitio de acción de los herbicidas. In: Acciaresi, H. A.; Leguizamón, E. S.; Fernández, O. A. eds. Malezas e invasoras de la Argentina. Santa Fé, Universidad Nacional del Sur. t.1, pp. 391-406.
4. Bedmar, F.; Gianelli, V. 2014. Comportamiento de los herbicidas en el suelo. In: Acciaresi, H. A.; Leguizamón, E. S.; Fernández, O. A. eds. Malezas e invasoras de la Argentina. Santa Fé, Universidad Nacional del Sur. t.1, pp. 361-389.
5. Cantou, G.; Roel, A.; Carlomagno, M.; González-Sapienza, G. 2009. Disipación de los herbicidas clomazone y quinclorac en arroz bajo dos tratamientos de riego. (en línea). In: Arroz: resultados experimentales 2008-2009. Montevideo, INIA. cap. 6, pp. 1-6 (Actividades de Difusión no. 611). Consultado 6 jun. 2018. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/9300/1/cap6-p.1-7.pdf>
6. Carrasco, P. 1989. Fisiología del rendimiento. In. Carrasco, P.; Pérez, F. eds. Sorgo granífero. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. pp. 5-16.
7. Carrasco, N. 2011. Inclusión del sorgo en la rotación. (en línea). In: Carrasco, N.; Zamora, M.; Melin, A. eds. Manual de sorgo.

Buenos Aires, INTA. pp. 21-26. Consultado 30 may. 2018.
Disponible en
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_sorgo_renglon_191.pdf

8. Chebataroff, N. 2012. Arroz uruguayo. Montevideo, Hemisferio Sur. 352 p.
9. Diez, P. 2013. Manejo de malezas problema; modos de acción de herbicidas. (en línea). Rosario, Argentina, REM- AAPRESID. 52 p. Consultado 31 ene. 2017. Disponible en
http://www.academia.edu/25593348/Modos_de_acci%C3%B3n_herbicida.
10. Ernst, O. 1989. Época de siembra. In: Carrasco, P.; Pérez, F. eds. Sorgo granífero. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. pp. 47- 55.
11. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2014. FAOSTAT: base de datos estadísticos. (en línea). Roma. s.p. Consultado 14 nov. 2017. Disponible en
<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
12. Ferrari, N. 2017. ALUR duplica su demanda de sorgo. (en línea). El Observador, Montevideo, UY, nov. 14: 1. Consultado 12 mar. 2018. Disponible en
<https://www.elobservador.com.uy/nota/alur-duplica-su-demanda-de-sorgo-2017921500>
13. García, A. 2018. Manejo de malezas en sorgo. (en línea). In: Jornada de Cultivos y Forrajeras de Verano de la Unidad Experimental de Palo a Pique (2008, Treinta y Tres). Resultados experimentales. Montevideo, INIA. pp. 35-41. Consultado 30 jun. 2017. Disponible en
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4124/1/ad-538.pdf>
14. Giménez, A.; Ríos, A. 1991. Herbicidas evaluados y recomendados para cultivos de verano. Montevideo, INIA. 12 p. (Boletín de Divulgación no. 13).
15. González-Márquez, L.; Hansen, A. 2009. Adsorción y mineralización de atrazina y relación con parámetros de suelos del DR 063 Guasave, Sinaloa. (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 26 (3):587-599. Consultado 30 jun. 2017. Disponible en

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742009000300004

16. Grossmann, K. 2009. Auxin herbicidas: current status of mechanism and mode of action. (en línea). Pest Management Science. 66: 113-120. Consultado 1 jun. 2018. Disponible en https://passel.unl.edu/Image/Robles%20VazquezWilfredo1129928587/auxin_herb.pdf
17. Hang, S.; Nassetta, M. 2003. Evolución de la degradación de atrazina en dos perfiles de suelo de la provincia de Córdoba. (en línea). Revista RIA. 32 (1): 57-69. Consultado 23 jun. 2017. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3995849.pdf>
18. Hoffman, E.; Castro, A; Arbeletche, P. 2013. Área agrícola y superficie cultivada anualmente en Uruguay: implicancias de las diferencias en los números oficiales. Cangüé. no. 34: 12-18.
19. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad Agro-clima y Sistema de Información, UY). 2017. Predicción de estado fenológico para soja, girasol, maíz, sorgo granífero, forrajero, dulce y silero. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 4 jul. 2017. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Alertas-y-herramientas/Utilidades>
20. Mari, S. 2003. Sorgo: planificando la siembra. (en línea). Revista del Plan Agropecuario. no. 107: 56-58. Consultado 15 abr. 2017. Disponible en http://planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R107/R107_56.pdf
21. MGAP. DGSSAA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de Servicios Agrícolas, UY). 2012a. Etiqueta aprobada de Dual gold 960 EC. Form. 235. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 abr. 2017. Disponible en <https://www.mgap.gub.uy/profit/viewproductos.aspx?nN8/LZ6LAjJUNdy0SDUeGQ=>
22. _____. _____. 2012b. Etiqueta aprobada de Gesaprim nueve 0. Form. 235. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 abr. 2017. Disponible en <https://www.mgap.gub.uy/profit/viewproductos.aspx?mWj0LgxRpPfmU8N2pOdCjw==>

23. _____. 2014. Etiqueta aprobada de Percutor. Form. 235. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 abr.2017. Disponible en <https://www.mgap.gub.uy/profit/viewproductos.aspx?rPd0zkkRaOkpTDhGxCEAVA==>
24. _____. 2016. Resolución no. 104 de DGSSAA de 05/12/2016. Prohíbese la importación, registro y renovación de los productos fitosanitarios a base de Atrazina. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 abr. 2017. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/prohibicion_atrazina_ndeg_104.pdf
25. _____. 2017. Etiqueta aprobada de Roundup full II. Form. 235. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 abr.2017. Disponible en <https://www.mgap.gub.uy/profit/viewproductos.aspx?d9GDhRLJ7bUPjMT7RFy4wQ==>
26. _____. 2018a. Consulta producto fitosanitario por cultivo-plaga. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 abr. 2017. Disponible en <https://www.mgap.gub.uy/profit/consultascultivoplagaaux.aspx?j1mLKbOdfRzkM/1QINhuLQ==>
27. _____. 2018b. Etiqueta aprobada de Exocet 25 flow. Form. 235. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 abr. 2017. Disponible en <https://www.mgap.gub.uy/profit/viewproductos.aspx?qdKUqJGa6TB+i2WLqhjlsQ==>
28. _____. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuaria, UY). 2016. Anuario estadístico agropecuario 2016. (en línea). Montevideo. 196 p. Consultado 26 dic. 2017. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-diea/anuario2016>
29. _____. RENARE (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de Recursos Naturales Renovables, UY). 2017. CONEAT. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 29 jul. 2017. Disponible en <http://web.renare.gub.uy/js/visores/coneat/>

30. Orioli, G.; Irigoyen, J.; Arregui, C.; Leguizamón, E. 2014. El control químico: herbicidas. *In*: Acciaresi, H. A.; Leguizamón, E. S.; Fernández, O. A. eds. Malezas e invasoras de la Argentina. Santa Fé, Universidad Nacional del Sur. t.1, pp. 329-345.
31. Ríos, A. 2005. Resistencia de malezas a herbicidas. (en línea). *In*: Jornada de Resistencia de Malezas a Herbicidas (2005, Mercedes). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp.1-6 (Actividades de Difusión no. 407). Consultado 16 jul. 2017. Disponible en http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/le/ad/2005/ad_407.pdf
32. _____.; Fernández, G.; Collares, L.; García, A. 2007. Comunidades de malezas asociadas a los sistemas de siembra directa en Uruguay. (en línea). *In*: Seminario de Actualización Técnica Manejo de Malezas (2007, Young). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 25-31 (Actividades de Difusión no. 489). Consultado 16 jul. 2017. Disponible en http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ad/ad_489.pdf
33. Salazar López, N.; Aldana, M. 2011. Herbicida glifosato: usos, toxicidad y regulación. (en línea). *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. 13(2): 23-28. Consultado 5 jun. 2018. Disponible en <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/83/76>
34. Trostle, C.; Bean, B.; Kenny, N. ; Isakeit, T.; Porter, P.; Parker, R.; Drake, D.; Baughman, T. 2010. Weed Control. (en línea). *In*: Dahlberg, J.; Roemer, E.; Casten, E.; Kilgore, G.; Vorderstrasse, J. A. eds. United Sorghum, Checkoff program west Texas production guide. Texas, USCP Research Committee. pp. 90-108. Consultado 1 jul. 2017. Disponible en http://www.sorghumcheckoff.com/assets/media/productionguides/2013_02WestTexasGuide.pdf
35. Vallati, A.; Bolleta, A. 2007. Morfología y fisiología. (en línea). *In*: Zamora, M.; Melin, A. eds. Sorgo en el Sur. Buenos Aires, INTA. pp. 13-15. Consultado 7 dic. 2017. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/sorgo-en-el-sur>
36. Vergara, G. 2012. Efecto del uso de diferentes safeners en la selectividad de sorgo al uso de graminicidas preemergentes. Tesis

Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República.
Facultad de Agronomía. 51 p.

37. Villalba, J. 2015. Clasificación de los herbicidas. In: Curso de Manejo de Malezas (2016, Paysandú). Presentaciones. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. pp. 1-15.
38. Vincent, W. 2015. Evaluating Quinclorac for Grass Weed Management in Grain Sorghum in North Carolina. (en línea). Thesis MSc. Raleigh, North Carolina, USA. University of North Carolina State University. Graduate Faculty. 166 p. Consultado 29 nov. 2018. Disponible en <https://repository.lib.ncsu.edu/bitstream/handle/1840.16/11119/etd.pdf?sequence=2&isAllowed=y>