

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE DERIVA DE HERBICIDA (IMAZAPIR+ IMAZAPIC) EN ARROZ
NO CLEARFIELD**

por

Fabricio LEIVA HERNÁNDEZ

Federico ZALDÚA COUSIN

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2016**

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Juana Villalba

Ing. Agr. Néstor Saldain

Ing. Agr. Grisel Fernández

Fecha: 16 de mayo de 2016

Autor: -----

Fabrizio Leiva Hernández

Federico Zaldúa Cousin

AGRADECIMIENTOS

A nuestra directora de tesis Ing. Agr. Juana Villalba por su constante apoyo durante todo el desarrollo del presente trabajo y su generosidad a la hora de brindarnos su tiempo y conocimientos.

Al personal de laboratorios de la EEMAC por su buena disposición en las tareas solicitadas.

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>	3
2.1. LA TECNOLOGÍA CLEARFIELD	3
2.1.1. <u>Herbicidas del grupo de las Imidazolinonas</u>	5
2.1.1.1. Mecanismo de acción	5
2.2. DAÑO POR IMIDAZOLINONAS EN ARROZ NO CLEARFIELD	6
2.2.1. <u>Residuo en el suelo</u>	6
2.2.2. <u>Problemas de deriva</u>	8
2.3. FACTORES QUE PROPICIAN LA DERIVA	10
2.3.1. <u>Marco legal de las aplicaciones de agroquímicos en Uruguay</u>	10
2.3.2. <u>Factores que ocasionan deriva</u>	11
2.3.2.1. El viento	11
2.3.2.2. El tipo de boquilla y el tamaño de gota	11
2.3.2.3. La presión de trabajo	12
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	13
3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES	13
3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS	13
3.3. DETERMINACIONES	14
4. <u>RESULTADOS</u>	16
4.1. EXPERIMENTO 1	16
4.1.1. <u>Fenología</u>	16

4.1.2. <u>Fitotoxicidad</u>	19
4.1.3. <u>Índice verde</u>	22
4.1.4. <u>Materia seca</u>	23
4.2. EXPERIMENTO 2	26
4.2.1. <u>Fenología</u>	26
4.2.2. <u>Fitotoxicidad</u>	28
4.2.3. <u>Índice verde</u>	30
4.2.4. <u>Materia seca</u>	31
4.3. DAÑO COMPARANDO LOS MOMENTOS DE APLICACIÓN	33
4.4. DETECCIÓN DE IMAZAPIR EN PLANTAS DE ARROZ	34
5. <u>CONCLUSIONES</u>	38
6. <u>RESUMEN</u>	39
7. <u>SUMMARY</u>	40
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	41

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Descripción de los tratamientos.	14
2. Detalle de las determinaciones.	14
3. Promedio de índice verde para cada tratamiento en cada fecha de evaluación (Exp. 1).	23
4. Promedios de materia seca para cada tratamiento (Exp. 1).	24
5. Promedio de índice verde para cada tratamiento en cada fecha de evaluación (Exp. 2).	31
6. Promedios de materia seca para cada tratamiento (Exp. 2).	32
7. Concentración de imazapir en planta ppb/g de materia seca.	35
Figura No.	
1. Proporción en casa estado fenológico según escala Zadoks discriminado por tratamiento para los 8, 14 y 37 dpa.	17
2. Fitotoxicidad para las distintas dosis de Kifix (g/ha).	19
3. Nivel de daño de las plantas de arroz del tratamiento de deriva 29% de la dosis (21.51g imazapir + 7.18g imazapic).	20
4. Variabilidad del parámetro de materia seca de la parte aérea para los distintos tratamientos.	24
5. Proporción en cada estadio fenológico según escala Zadoks discriminado por tratamiento para los 8, 14 y 37 dpa.	26
6. Fitotoxicidad para las distintas dosis de Kifix (g/ha).	28
7. Nivel de daño de las plantas de arroz del tratamiento de deriva del 29% de la dosis (21.51g imazapir + 7.18 g imazapic).	29
8. Materia seca de la parte aérea para los distintos tratamientos y su	32

variabilidad.

9. Evolución del daño para T8 (29% de deriva) según momento de aplicación del herbicida. 33
10. Concentración (ppb/ g materia seca arroz) de imazapir para tratamientos aplicados en 3 hojas y para tratamientos aplicados en macollaje. 36

1. INTRODUCCIÓN

Los cultivares de arroz con tecnología Clearfield®, poseen resistencia a herbicidas de la familia de las imidazolinonas. Estos cultivares fueron obtenidos por selección y posterior incorporación de la característica de resistencia en variedades convencionales mediante cruzamientos.

La posibilidad de usar estos herbicidas en arroz permite ampliar la ventana de acción para el control de malezas problemáticas durante el ciclo del cultivo, especialmente de arroz rojo (Menezes et al., 2013).

El arroz rojo, también llamado arroz maleza, es uno de los principales problemas que enfrentan los productores de arroz en las principales regiones arroceras del mundo (Zorrilla de San Martín, 1992). Su causa se debe a la competencia por espacio, recursos del suelo como nutrientes y agua, luz, aumento de costos de producción, dificultades de cosecha entre otros que ejerce esta maleza, pudiendo provocar mermas importantes en el rendimiento y calidad. Esta maleza, posee además, el agravante de pertenecer al mismo género y especie que el arroz cultivado (*Oryza sativa* L.), lo cual dificulta significativamente su control con herbicidas debido a que poseen características morfo-fisiológicas muy similares.

Los datos de reducciones de rendimiento por presencia de arroz rojo oscilan de 22% con 5 plantas de la maleza por m², hasta 58% con 40 plantas de arroz rojo por m² (Diarra et al., Eleftherohorinos et al., citados por Kuk et al., 2008).

En nuestro país, la prohibición autoimpuesta por la cadena arrocera de la utilización de cultivares transgénicos compromete aún más las posibilidades actuales y futuras de controlar esta y otras malezas mediante el uso de la tecnología de la transgénesis, como si ocurre en el cultivo de soja (Aguerre, 2008).

La familia o grupo de herbicidas Imidazolinonas está compuesta por varios principios activos, dentro de los cuales algunos de ellos son utilizados para combatir el arroz rojo como por ejemplo, imazapir e imazapic. Estas moléculas son utilizadas en diversas formulaciones comerciales, solas o mezcladas entre sí y se recomiendan para combatir además del arroz rojo, otras malezas importantes en agricultura como sorgo de alepo (*Sorghum halepense*), nabo (*Brassica campestris*), capín (*Echinochloa crusgalli*, *E. colona*, *E. helodes*), y pasto blanco (*Digitaria sanguinalis*), entre otras tantas gramíneas y de hoja ancha.

El uso de estos herbicidas en cultivos de arroz con tecnología Clearfield®, tanto en aplicaciones aéreas como terrestres no escapan a los problemas de deriva propios de

estas prácticas agrícolas, pudiendo impactar en chacras cercanas sembradas con arroz no resistente a las imidazolinonas u otros cultivos sensibles, causando pérdidas de rendimiento de diversa magnitud (Dal Magro et al., 2006a).

Este trabajo pretende contribuir con información respecto a los posibles efectos de estos herbicidas en cultivares no Clearfield®. Se planteó como objetivo cuantificar los efectos de varios niveles de deriva simulada de la mezcla imazapir + imazapic, en dos estadios de desarrollo de un cultivar de arroz no Clearfield®.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. LA TECNOLOGÍA CLEARFIELD

La tecnología Clearfield®, marca registrada de la compañía alemana BASF, combina el uso de herbicidas de la familia química de las Imidazolinonas con cultivares no transgénicos resistentes a estos. Originalmente fue desarrollada para los cultivos de maíz y girasol y luego fue extendiéndose a otros como el trigo y el arroz (BASF, 2015b). En lo que respecta al arroz, esta tecnología permite el control químico del arroz rojo y de un amplio espectro de malezas de hoja ancha durante el desarrollo del cultivo (Blanco et al., 2011).

El nacimiento de esta tecnología tuvo su origen en el año 1981, en la Universidad estatal de Louisiana, Estados Unidos, cuando el Dr. en biotecnología vegetal Tim Croughan inicio trabajos de investigación que consistieron en provocar mutaciones a semillas de arroz mediante la técnica de la mutación inducida EMS. La técnica se basaba en exponer a estas semillas a un producto químico llamado etilmetanosulfonato (EMS), para posteriormente ser sembradas en parcelas de ensayo donde se las tratarían con herbicidas esperando obtener individuos resistentes (Pazos, 2007).

En 1993 una línea de arroz tolerante a imidazolinonas, denominada “93-AS-3510” fue descubierta por este investigador, cinco años más tarde, en 1998, obtuvieron un material apto para ser producido a escala comercial (Croughan, citado por Levy, 2004).

A partir de entonces fueron desarrollados numerosos cultivares resistentes a Imidazolinonas como el “CL 161”, obtenido por la compañía BASF y la Universidad del Estado de Louisiana, Estados Unidos (INASE, 2015), el IRGA 422 CL quien fuera presentado en Brasil en el año 2002 como el primer cultivar resistente en ese país, (Lopes et al., citados por De Sousa, 2010), y los cultivares Sator Cl, Avaxi Cl, Xp710 Cl E Scs 115 Cl, Brs Sinuelo Cl, entre otros que sucedieron al IRGA 422 CL (Reunião Técnica Da Cultura Do Arroz Irrigado, 2010).

En Argentina, una nueva fuente de resistencia fue desarrollada por INTA, donde se obtuvo la variedad Puitá INTA CL (Blanco et al., 2011). Más recientemente, con el objetivo de mejorar el rendimiento de esta, crearon el cultivar Gurí INTA CL el cual fue obtenido por selección genealógica producto del cruzamiento de los cultivares Camba INTA PROARROZ x Puitá INTA CL (Solaris, 2015).

La aparición y adopción de esta tecnología supuso para los agricultores una herramienta de gran utilidad para el combate de malezas en el cultivo de arroz, no

obstante ello, su preservación, al igual que otras tecnologías que han sido desarrolladas para el control de malezas, enfrenta desafíos que pueden poner en riesgo su efectividad y viabilidad. Uno de ellos es la aparición de ecotipos de malezas, principalmente de arroz rojo, resistentes a imidazolinonas (De Sousa, 2010).

Las causas que pueden explicar la generación de resistencia a herbicidas en general son variadas, dentro de las mismas se pueden destacar el empleo de subdosis de principio activo, la falta de rotación de herbicidas con diferente modo de acción, es decir la utilización en forma intensiva y sistemática de un mismo herbicida o de herbicidas con el mismo modo o sitio de acción, con lo cual la presión de selección hacia individuos resistentes aumenta, permitiendo el surgimiento de poblaciones de individuos resistentes capaces de reproducirse y acelerar la dispersión de su genética (Monquero y Christoffoleti, 2001).

En una investigación realizada en el municipio de Piracicaba/SP-Brasil, Monquero y Christoffoleti (2001), comprobaron un aumento de la frecuencia de alelos resistentes a los herbicidas inhibidores de la síntesis de aminoácidos luego de 8 años de aplicación de estos herbicidas en una población de una maleza mezcla de *Bidens pilosa* y *Bidens subalternans* conocida localmente como picão-preto.

En el caso de la tecnología Clearfield los riesgos asociados a la generación de resistencia es la transferencia de genes entre individuos pertenecientes a cultivares comerciales e individuos de arroz rojo. Las aplicaciones de herbicidas rara vez alcanzan el 100% de efectividad, permitiendo a los individuos de arroz rojo que escapan al control, producir descendencia con genes de resistencia obtenidos mediante cruzamientos dados por la polinización cruzada con individuos con resistencia genética a imidazolinonas como los cultivares de arroz Clearfield® (Shivrain et al., Zhang et al., citados por Kuk et al., 2008).

Magalhães Jr. et al., citados por Villa et al. (2006), durante una investigación realizada en el estado de Río Grande do Sul, Brasil, encontraron, luego de analizar más de 250.000 semillas de arroz rojo, que la tasa de cruzamiento entre este y el arroz comercial vario entre 0.1 y 0.04%. Por otro lado, Villa et al. (2006), luego de analizar las 4637 semillas procedentes de los individuos de arroz rojo que escaparon al control realizado con el herbicida de nombre comercial Only® (mezcla de imazethapyr + imazapic), encontraron que tres de ellas germinaron luego de ser tratadas con imidazolinonas, lo cual arroja una tasa de cruzamiento de 0.065%. Estos valores aunque a priori son poco significativos, pero atendiendo a los cálculos realizados por estos últimos autores, al proyectar la cantidad de semillas resistentes encontradas en la parcela de investigación a una superficie de una hectárea, el resultado fue de 700 semillas de arroz rojo resistente, apenas en el primer año de investigación.

Menezes et al. (2009), en una investigación realizada en 228 cultivos en el estado de Rio Grande do Sul, Brasil, encontraron que en el 55.7% de los casos estudiados se constató la presencia de individuos resistentes a los herbicidas imazethapyr + imazapic. Esta información cobra aun mayor significancia si se considera que en Brasil, la tecnología Clearfield® comenzó a ser adoptada por los productores en la zafra 2003/2004.

En Uruguay el aumento del área infestada con arroz rojo es motivo de preocupación, según MGAP. DIEA (2014), la misma aumentó de 52% de la superficie sembrada en la zafra 2003-2004 a 64% en la zafra 2008-2009.

La preocupación del aumento del área infestada con arroz rojo y la búsqueda de soluciones, han derivado en el incremento del área sembrada con arroz Clearfield®. A mediados de la década pasada, el área sembrada con arroz Clearfield® no alcanzaba las 2000 hectáreas. En esta década se ha venido registrando un incremento sostenido, superando las 10.000 hectáreas en la zafra 2010-2011 (Saldain, 2011).

En la zafra 2013/2014, la superficie sembrada de arroz en nuestro país fue de 167.200 hectáreas (MGAP. DIEA, 2014) mientras el área ocupada por cultivares Clearfield®, se estimó en alrededor de 18.000 hectáreas, aproximadamente un 11% del área total ocupada por el cultivo de arroz, datos que evidencian un aumento en la adopción de esta tecnología (Favero y Gómez, 2013).

2.1.1. Herbicidas del grupo de las Imidazolinonas

Los herbicidas del grupo o familia de las imidazolinonas poseen formulación química y mecanismo de acción similares. Se caracterizan por su selectividad y alta persistencia en el suelo. Son utilizados tanto como pre o post emergente, dado que su absorción es posible tanto por raíces como por hojas y su translocación se da por xilema y floema con lo cual su movimiento dentro de la planta se da en sentido acrópeto y basípeto (Rosales y Esqueda, s.f.).

2.1.1.1 Mecanismo de acción

Las Imidazolinonas comparten junto con otros grupos o familias de herbicidas como las Sulfonilureas y las Triazolopirimidinas entre otras, el mecanismo de acción denominado inhibidores de la síntesis de aminoácidos (Baunmann et al., 1998). Más específicamente, las imidazolinonas actúan inhibiendo la acción de la enzima acetolactato sintetasa, también conocida como ALS. Esta enzima es clave en la síntesis de los aminoácidos de cadena ramificada isoleucina, leucina y valina (FAO 1996, Shaner et al., Muhitch et al., Senseman, citados por Hensley et al. 2012).

Los aminoácidos son componentes estructurales de las proteínas. Cualquier alteración en su producción puede causar severos problemas en la biosíntesis de proteínas, moléculas indispensables para llevar a cabo diversas funciones vitales en los seres vivos (FAO, 1996).

Como consecuencia del bloqueo de la síntesis de estos aminoácidos, se desencadenan diversos trastornos en el metabolismo de la planta que la conducen a su muerte. Entre ellos se destaca el bloqueo de la síntesis de ADN, bloqueo de la síntesis de acetil-CoA y la inhibición del transporte de fotoasimilados (Kramer et al., 2009).

La sintomatología asociada a la acción de las imidazolinonas incluye detención del crecimiento, clorosis y necrosis de meristemas apicales entre otros. Estos síntomas son visibles alrededor de las dos semanas post aplicación (Tan et al., citados por De Sousa, 2010).

2.2. DAÑO POR IMIDAZOLINONAS EN ARROZ NO CLEARFIELD

Los cultivares de arroz que no incluyen la tecnología Clearfield® carecen de la protección que les confiere ésta respecto a la resistencia a las imidazolinonas, pudiendo ser severamente afectados por este grupo de herbicidas. La causa del daño puede ser por presencia de residuos en suelo, por uso anterior o por deriva de herbicidas hacia chacras sembradas con arroz no Clearfield®. La magnitud de este tipo de daño es variable, dependiendo de diversos factores, algunos propios de la planta como el cultivar y/o el estadio de desarrollo al momento de la aplicación, y otros a factores de manejo como el tiempo de espera para sembrar en chacras con antecedentes de uso de imidazolinonas, el herbicida seleccionado, la dosis aplicada, las condiciones meteorológicas y la forma de aplicación, entre otros (Dal Magro et al., 2006b).

2.2.1. Residuo en el suelo

Los herbicidas de la familia de las imidazolinonas se caracterizan por ser altamente persistentes en el suelo (Gianelli et al., 2011). La vida media de estas moléculas varía, dependiendo de las condiciones ambientales a las cuales están expuestas, variando entre 25 y 142 días (Vencill, Tu et al., citados por Gianelli et al., 2011).

A menudo, esta característica causa que el efecto de las aplicaciones de estos herbicidas trascienda el cultivo objeto de control, pudiendo afectar severamente a siembras posteriores. Marchesan et al. (2010), reportaron reducciones del orden de 55% en el rendimiento en grano en plantas de IRGA 417 (cultivar de arroz no tolerante a

Imidazolinonas), a los 371 días de la aplicación y daños visibles en planta pero sin reducción en el rendimiento hasta 705 días post aplicación.

Anzalone et al. (2011), en estudios en maíz, encontraron una relación inversamente proporcional entre residuo de herbicida en el suelo y materia seca de la parte aérea en maíz no Clearfield®, con reducciones del 50% de la biomasa seca aérea con niveles de residuo de 0.0875 a 0.096 mg/kg de suelo de herbicida imazethapyr + imazapic.

La persistencia de las imidazolinonas en el suelo se ve afectada por fenómenos tales como la volatilización, la fotólisis o fotodegradación, la degradación química y microbiana, la absorción por parte de la vegetación, la lixiviación y el escurrimiento superficial entre otros factores (Hans y Holly, citados por Gianelli et al., 2011).

Estudios realizados por Goetz et al. (1990), en dos suelos contrastantes en contenido de arcilla, materia orgánica y pH, encontraron pérdidas por volatilización menores al 2%, pérdidas por fotodegradación de hasta 8% y pérdidas por degradación de hasta el 82% del nivel inicial de imazethapyr en suelo. En este mismo estudio, estos autores reportaron que la vida media del herbicida varió en función del tipo de suelo, la humedad y temperatura, donde para el suelo con mayor contenido de arcilla y materia orgánica la persistencia varió desde 6.4 a 10.6 meses cuando el contenido de humedad y la temperatura disminuyeron y para el suelo de menor nivel de arcilla y materia orgánica la variación fue desde 2.6 a 9 meses. Estos autores atribuyen en gran medida estos resultados al aislamiento del medio que sufren las moléculas del herbicida dado el gran poder de adsorción que ejercen sobre ellas la arcilla y la materia orgánica y a una mayor o menor actividad microbiana al variar las condiciones ambientales del suelo.

Estos resultados coinciden con Loux y Reese, Baughman y Shaw, Stougaard et al., citados por Marchesan et al. (2010), quienes señalan que de las propiedades del suelo, la textura, el grado de acidez o pH y el contenido de materia orgánica son los factores que más inciden en la persistencia de estos herbicidas en el medio.

Investigaciones llevadas a cabo por Stougaard et al. (1990), revelaron que las moléculas de imazaquin e imazethapyr fueron más fuertemente retenidas por los coloides del suelo y su movilidad y eficiencia se veía reducida a medida que la acidez del suelo pasaba de pH 7 a pH 5. Estos autores atribuyen este comportamiento a cambios en la estructura molecular de los herbicidas al descender el pH.

Goetz et al., Tu et al., citados por Gianelli et al. (2011), señalan a la degradación microbiana como el principal fenómeno responsable de la desaparición de las moléculas de imidazolinonas del suelo.

La interacción de factores edáficos y climáticos determina las condiciones del suelo que afectan la actividad de la flora microbiana encargada de la biodegradación de las moléculas de estos herbicidas. Según Flint y Wintt, citados por Marchesan et al. (2010), la misma es llevada a cabo principalmente por microorganismos aerobios que requieren una temperatura óptima del suelo de 30°C y un contenido de humedad cercano al 75% de capacidad de campo, esta afirmación guarda relación con los resultados obtenidos por Goetz et al. (1990), donde la velocidad de degradación de imazapir e imazethapyr aumentó al variar la temperatura del suelo de 25 a 35°C y el contenido de humedad de -100 Kpa a -33 Kpa. En definitiva es el ambiente en el suelo quien condiciona la velocidad con la cual actúan la biodegradación y la fotodegradación de las moléculas de herbicidas, determinando el tiempo de persistencia fitotóxica de éstas (Alister y Kogan, 2005).

En nuestro país, la información brindada por BASF, en la etiqueta del producto Kifix (52.5% Imazapir + 17.5% Imazapic), sobre persistencia en suelo, es de 6 meses a 2 años y la recomendación de tiempo de espera para sembrar cualquier cultivo que no sea Clearfield® es de 2 años (BASF, 2015a).

2.2.2. Problemas de deriva

En términos estrictos, se considera deriva al movimiento del producto aplicado en el aire, el mismo suele clasificarse en endoderiva, cuando este movimiento se da dentro de la zona de aplicación, o exoderiva, cuando se produce fuera de sus límites. El fenómeno de deriva no ocurre únicamente durante el momento de aplicación sino que puede continuar más allá del mismo, pudiéndose registrar pérdidas luego que el producto recalca en las hojas o en la superficie del suelo, la cual es ocasionada generalmente por la lluvia o la volatilización. El movimiento de los productos a otros compartimentos ambientales puede darse desde, por ejemplo, la llegada al suelo por precipitaciones que pueden conducir a las moléculas de agroquímicos por escurrimiento en superficie y hasta contaminar cursos de agua superficiales. Pueden ser retenidas por los coloides o drenar en profundidad hasta alcanzar napas freáticas provocando la contaminación de las mismas. Por otra parte, la volatilización de estos productos hacia la atmósfera puede ocasionar contaminación general cuando estos retornan al medio con la ocurrencia de precipitaciones (Villalba y Hetz, 2010).

Si bien, como se mencionó anteriormente, existen diversos tipos de deriva, en términos generales se acepta que la deriva en una aplicación de agroquímicos en un cultivo se refiere al porcentaje del producto aplicado que se desvía del blanco objetivo. En toda aplicación el espectro de pulverización de un determinado tipo de boquillas está

formado por gotas de diverso tamaño, dentro de las cuales las gotas finas y muy finas son las más propensas a sufrir deriva (Texeira, 2010).

Además de problemas de contaminación del ambiente, la deriva ocasiona pérdidas de diversa cuantía en los cultivos. En este sentido, Dal Magro et al. (2006a), en un experimento sobre deriva simulada realizado en Rio Grande do Sul, Brasil, reportaron, bajo condiciones de suelo inundado, pérdidas de 11.9 kg/ha por cada g/ha de herbicida imazethapyr + imazapic en el sistema. La deriva de 25% del total de la dosis (18.75 g imazapir y 6.25g de imazapic) determinó en esa situación pérdidas de 4.5% del rendimiento, mientras que una deriva del 50% de la dosis, o sea el doble de cantidad de herbicida, generó pérdidas de 9% y cuando la deriva fue del total de la dosis de los herbicidas, las pérdidas en rendimiento fueron de 17.5%. La presencia del riego fue determinante de la menor fitotoxicidad causada al arroz y consecuente menor pérdida de rendimiento. Las pérdidas fueron significativamente mayores en condiciones de suelo seco. En términos generales, estos autores en condiciones de deriva en arroz en secano, obtuvieron pérdidas totales de plantas con el 100% de la deriva, pero a partir de 25% de deriva en esas condiciones obtuvieron pérdidas de número de granos y espigas por panícula y peso de mil granos del cultivar determinando pérdidas totales.

Investigaciones realizadas por Fontana et al. (2007), en ensayos sembrados con dos cultivares de arroz (IRGA 417 e IRGA 422CL), llevados a cabo en el municipio de Capão do Leão, Rio Grande do Sul, Brasil, encontraron que a medida que la dosis aplicada del herbicida Only® (75 + 25 g/L de imazethapyr + imazapic), se incrementaba gradualmente de 0 L/ha a 1.5 L/ha, la fitotoxicidad aumentaba y la altura de las plantas, el área foliar y la producción de materia seca aérea disminuía significativamente para los dos cultivares. Si bien la exposición a dosis crecientes del herbicida afectó a ambos cultivares, los efectos fueron más severos, para todas las variables analizadas, en el cultivar IRGA 417 (no Clearfield®). Estos autores atribuyeron estos resultados a la procedencia del cultivar IRGA 422CL, que al tratarse de un cultivar Clearfield®, como era de esperarse, mostró tolerancia a las imidazolinonas.

Resultados similares encontraron Dal Magro et al. (2006b), en estudios realizados con el objetivo de evaluar los daños causados por la deriva de dosis crecientes del herbicida Only® (75 + 25 g/L de imazethapyr + imazapic), en condiciones de suelo seco e inundado para cuatro cultivares de arroz no Clearfield® (IRGA 417, BR-IRGA 410, BRS Pelota y Qualimax 1). El herbicida causó fitotoxicidad en los 4 cultivares tanto en suelo seco como inundado y la producción de materia seca aérea y radicular se vio disminuida con el aumento de la dosis independientemente de la condición del suelo. En líneas generales, estos autores concluyeron que tanto para la variable fitotoxicidad como producción de materia seca aérea y radicular, los efectos de la deriva fueron más severos en condiciones de suelo seco vs. inundado para todos los cultivares, así como

también que existe diferente grado de susceptibilidad a este herbicida entre los cultivos estudiados. A los 20 días de la deriva, los daños alcanzaron valores de 85% en arroz inundado, es importante resaltar que eso para valores de deriva del 25%. Aunque las diferencias fueron escasas con derivas menores, del 12.5%.

2.3. FACTORES QUE PROPICIAN LA DERIVA

El éxito de una aplicación de productos químicos en cultivos agrícolas está ligado a una serie de factores que determinan en mayor o en menor medida el grado en que éste será alcanzado. El control de estos factores persigue como objetivo maximizar el efecto del producto sobre el blanco objetivo de forma tal de minimizar costos de producción, pérdidas de producto a cosechar e impacto ambiental en los ecosistemas.

2.3.1. Marco legal de las aplicaciones de agroquímicos en Uruguay

En nuestro país existe un amplio marco legal que reglamenta, supervisa y controla diversos aspectos concernientes a la comercialización, uso y manejo de productos agroquímicos. En lo referente a las aplicaciones de los mismos el Decreto No. 457/001 que reglamenta la aplicación aérea de productos fitosanitarios y de las empresas que las realizan, establece entre otras normas la prohibición de toda aplicación a una distancia menor a 500 metros de cualquier zona urbana o suburbana y centro poblado y por otro lado, el Decreto No. 264/004 de 28 de julio de 2004 que reglamenta la aplicación de productos fitosanitarios por vía terrestre y de las empresas que efectúen las mismas, establece en 300 metros la distancia mínima a la cual una aplicación debe distar de cualquier zona urbana o suburbana y centro poblado.

Otros aspectos regulados son la distancia de una aplicación respecto a las fuentes de agua y la forma de abastecimiento de agua a los sistemas de aplicación. En este sentido la resolución MGAP No. 129 del 27/02/2008 prohíbe toda aplicación a una distancia menor a 30 metros para aplicaciones aéreas y 10 metros para terrestres, de cualquier fuente de agua natural o artificial, entendiéndose como fuente de agua cursos de agua naturales como ríos, arroyos, cañadas y lagunas y fuentes artificiales como represas, tajamares, lagos y lagunas entre otros. Adicionalmente, esta misma resolución prohíbe el abastecimiento de agua de los sistemas de aplicación en forma directa de las fuentes de agua antes mencionadas, debiéndose utilizar recipientes intermediarios (MGAP. DGSSAA, 2015b).

2.3.2. Factores que ocasionan deriva

La deriva ocasionada durante la aplicación de agroquímicos puede ser consecuencia de múltiples factores. Villalba y Hetz (2010), clasifican a los mismos en tres categorías: características de la pulverización, condiciones ambientales y cuidados durante la operativa. Algunos de estos factores pueden ser controlados mediante decisiones técnicas como el tipo de boquilla, la presión de trabajo, el volumen y la técnica de aplicación y otros factores inherentes a la aplicación, mientras otros factores pueden ser evitados como los referentes a las condiciones climáticas al momento de las operaciones.

2.3.2.1. El viento

Mientras la temperatura y la humedad relativa son los factores ambientales que mayormente afectan la evaporación de las gotas producidas por el equipo de aplicación, la dirección y fundamentalmente la velocidad del viento afectan la deriva de estas (Thistle, citado por Hensley, 2009).

Según ANDEF (2004), las condiciones ambientales óptimas para minimizar las pérdidas por deriva y evaporación durante las aplicaciones de productos fitosanitarios son, un mínimo de 55% de humedad relativa, velocidad del viento de 3 a 10 km/h y temperatura por debajo de 30°C.

Villalba y Hetz (2010), mencionan que gotas de 100 μm aumentan de 10 a 35 metros la distancia recorrida durante la deriva cuando la velocidad del viento pasa de 5.18 km/h a 25.8 km/h.

Otros datos indican que en condiciones atmosféricas moderadamente estables, con velocidad de viento de 3m/s, la deriva fue de 71% a 400 metros del área objetivo y de 50% a 2200 metros (Crabbe et al., Thistle, citados por Hensley, 2009).

2.3.2.2. El tipo de boquilla y tamaño de gota

El tipo de boquillas usado para la pulverización, más allá de si la aplicación es aérea o terrestre, determina el caudal emitido por la boquilla a determinada presión, y además el tamaño de gota. El parámetro que caracteriza el tamaño de gotas se denomina DMV (diámetro mediano volumétrico). La bibliografía en general, considera que una aplicación tiene riesgos de generar deriva cuando mayor es el porcentaje de gotas menores a 100 o 150 μm .

Según Cunha et al., citados por Bayer et al. (2012), para que una aplicación pueda considerarse segura, el porcentaje de gotas de tamaño menor a 100µm no debe superar el 15%.

Da Cunha et al. (2011), en un ensayo de campo, usando tarjetas hidrosensibles obtuvieron variaciones significativas en el espectro de pulverización del % de gotas menores a 100 µm en función del tamaño de gota (DMV). Encontraron variaciones que oscilaron desde 32% de gotas < 100 µm para gotas de DMV de 112 µm hasta 1.4% de gotas < 100 µm para gotas de DMV de 510 µm. Estos autores concluyeron que las boquillas que producen gotas de mayor DMV reducen la probabilidad de deriva en aplicaciones al producir menor proporción de gotas de DMV por debajo de 100 µm.

Griso et al., citados por Kruger et al. (2013), reportaron, a velocidad de viento constante de 4.8 km/h, variaciones en la deriva de acuerdo al tamaño de gota, con distancias recorridas por gotas de 1000 µm de poco más de 1 metro hasta casi 5000 metros realizados por gotas de 5 µm.

2.3.2.3. La presión de trabajo

Todas las boquillas vienen recomendadas a un determinado rango de presión de trabajo a usar. Pero dentro de este cuánto mayor es la presión que se genera a la salida de la boquilla, menor es el tamaño de gota.

En este sentido, datos obtenidos por TeeJet (2004), mediante la pulverización de agua en condiciones de laboratorio, muestran que la proporción de gotas de tamaño inferior a 200 µm para una boquilla XR TeeJet® 110°, paso de 14 a 34% al variar la presión de trabajo de 1.5 a 3 bares, incrementándose de esta forma la probabilidad de deriva, confirmando el efecto de la presión de trabajo en aumentar la probabilidad de deriva, por la disminución del tamaño de gotas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Este trabajo fue conducido bajo invernáculo en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC), de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, en el departamento de Paysandú - Uruguay.

Se realizaron dos experimentos, simulando deriva del herbicida Kifix. En Uruguay este herbicida está formulado como granos dispersables al 70% y está compuesto por 52.5% Imazapir + 17.5% Imazapic. Se aplicaron en ambos experimentos iguales tratamientos que se constituyeron de diferentes concentraciones de Kifix, que simulaban distintos porcentajes de deriva. Uno de los experimentos se aplicó cuando el arroz se encontraba en el estadio de 3 hojas (Ensayo 1) y el otro con 1 macollo (Ensayo 2).

Con el fin de que ambos experimentos estuvieran bajo las mismas condiciones de aplicación, ésta se hizo el mismo día, para lo cual se realizó en distintos momentos la siembra, el experimento 2 se sembró el 10 de enero del 2015 y a los 9 días se sembró el experimento 1.

El cultivar usado en ambos casos fue El Paso 144 de INIA Uruguay, y fue sembrado en macetas de 2.5 L de volumen de suelo, con una mezcla de 2 partes de arena por 3 de tierra. Cada maceta fue sembrada con 5 semillas de arroz. Luego de la emergencia se raleo con el objetivo de obtener 3 plantas por maceta.

La aplicación se realizó el 30 de enero del 2015, siendo las condiciones meteorológicas de 19.8°C de temperatura y 73% de humedad relativa.

Todos los tratamientos se mantuvieron con igual humedad correspondiente a saturación, en todo el periodo experimental.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

Ambos experimentos presentaron un diseño experimental completamente al azar, con 8 tratamientos con 14 repeticiones por tratamiento. El modelo estadístico se describe a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

donde:

Y_{ij} : observación del tratamiento i en la maceta j

τ_i : efecto del tratamiento i

ϵ_{ij} : término de error aleatorio asociado a la observación Y_{ij}

Los tratamientos se conformaron a partir de porcentajes de deriva de la dosis recomendada del herbicida comercial Kifix, la cual es de 140g/ha (73.5 g imazapir + 24.5 g imazapic).

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos

Tratamiento	% de deriva	Dosis PC (g/ha)	Dosis de cada ingrediente activo (g imazapir + g imazapic)
T1	0	0	---
T2	0,01	0,014	0.0074 + 0.0024
T3	0,03	0,04	0.0221 + 0.00740
T4	0,11	0,16	0.0809 + 0.0270
T5	0,46	0,64	0.3381 + 0.1127
T6	1,83	2,56	1.3451 + 0.4484
T7	7,31	10,24	5.3729 + 1.7910
T8	29,26	40,96	21.5061 + 7.1761

Luego de realizadas las diluciones correspondiente a cada tratamiento a partir de soluciones madres fue pulverizado con pulverizador manual, que pulverizaba la cantidad de caldo que simulaba para el área de la maceta un volumen de 113 L/ha.

3.3. DETERMINACIONES

Se realizaron distintos tipos de determinaciones cualitativas y cuantitativas de forma de cuantificar el daño provocado por la deriva del herbicida. En el Cuadro 2 se enumeran el tipo de determinaciones y el momento en el que fueron realizadas, expresadas en días post- aplicación (dpa.).

Cuadro 2. Detalle de las determinaciones

Determinaciones	Días post-aplicación
Fenología	9, 15, 37
Fitotoxicidad	8, 14, 21, 28, 36
Índice verde medido con	8, 14, 21, 29, 36

SPAD	
Materia Seca	37
Imazapir en planta	15

La sintomatología de daño, se realizó usando una escala visual asignando un valor a cada repetición, del 0 al 10, donde 0 significaba sin sintomatología de daño visible y 10 significaba plantas completamente muertas.

La fenología se hizo usando la escala de Zadoks a todas las plantas de cada maceta.

El índice verde medido con SPAD se realizó usando un medidor de clorofila Kónica Minolta SPAD-502 Plus. Las mediciones se realizaron a todas las plantas en el tallo principal en la última hoja completamente desarrollada, en el primer tercio superior de la hoja.

A los 14 días post aplicación se tomaron muestras vegetales de cada tratamiento para analizar la presencia del herbicida imazapir en planta, determinaciones que fueron realizadas en el Laboratorio del Polo Agroindustrial de Facultad de Química localizado en la EEMAC. Para ello se cortaron las plantas de 2 macetas en el Experimento 1 y de 2 macetas en el Experimento 2. Las muestras vegetales de cada tratamiento fueron trituradas y se pesó 2,0 g, se realizó con 10 mL de solvente (una mezcla de Solución de ácido clorhídrico y metanol). Agitación manual durante 2 minutos. Luego se centrifugó y se tomó una alícuota de 3mL para realizar clean-up (purificación) con sulfato de magnesio, PSA (amina primaria y secundaria y GCB (carbón grafitizado). Se dejó en freezer 24 hs, se filtró para pasar a vial para análisis. El análisis se realizó mediante HPLC-MS/MS (cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem).

Finalmente se realizó estimación de materia seca a todos los tratamientos que sobrevivieron. Para lo cual se cortó la parte aérea de todas las plantas de cada maceta y se colocó en estufa hasta secar para la estimación del peso.

Para el análisis estadístico se trabajó con el software estadístico InfoStat. Se realizó un análisis de varianza de comparación de medias a través de prueba Tukey, a nivel de significancia $p \leq 0.05$ y 0.1.

4. RESULTADOS

4.1. EXPERIMENTO 1

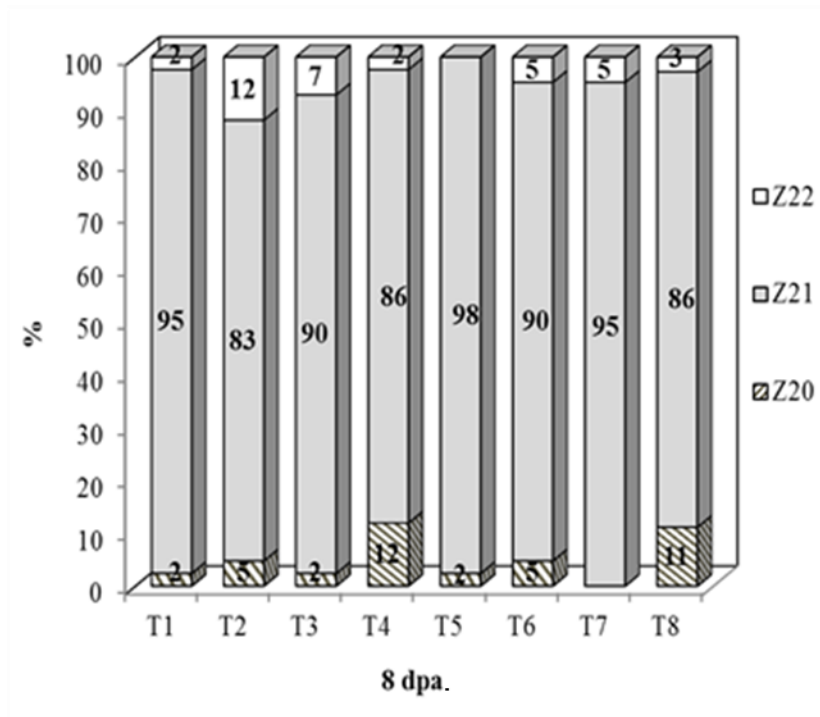
Como fuera mencionado en Materiales y Métodos en este experimento los tratamientos que simulaban la deriva de Kifix, fueron aplicados con el arroz en 3 hojas.

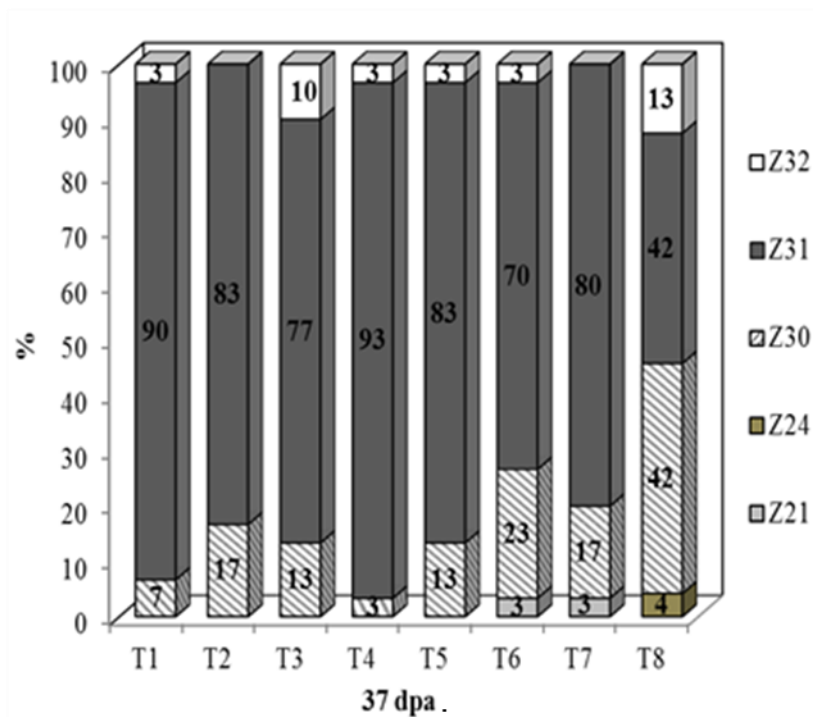
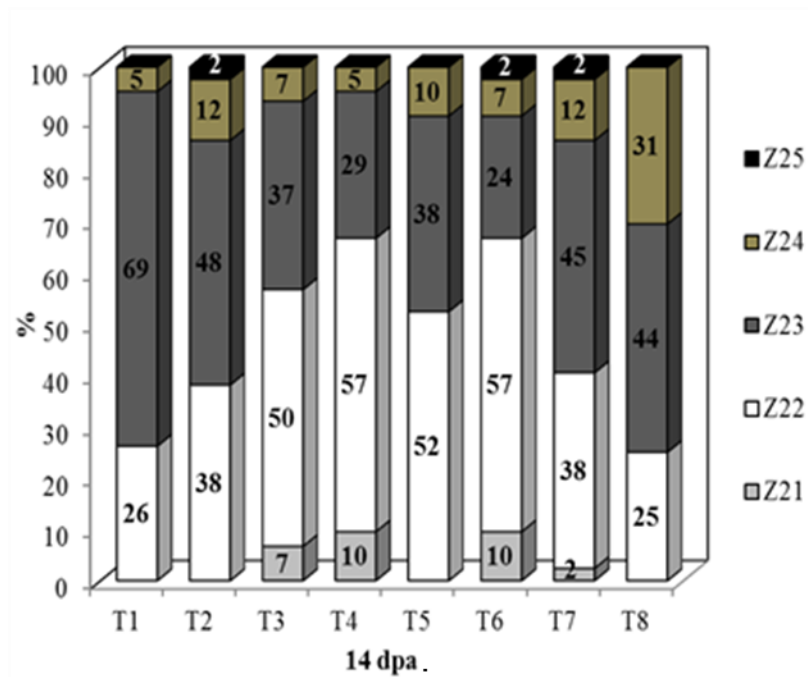
4.1.1. Fenología

La variabilidad entre tratamientos era muy escasa y no permitió detectar diferencias estadísticas, por ello se prefirió presentar el desarrollo de las plantas como porcentaje en cada estadio, según escala Zadoks, para las 3 fechas de evaluación. A los 8 dpa. no se observaron grandes diferencias entre el testigo y los demás tratamientos, la mayoría de la población independientemente de la dosis de herbicida recibido, estaba en Z 21.

A los 14 dpa. el tratamiento 8, el que correspondía a la mayor dosis del herbicida, presentaba una mayor proporción de plantas en estadios más avanzados, 26% en estado Z24, esto contrariamente a lo esperado, ya que había sido el tratamiento que había recibido mayor deriva, esto quizás explicado por el desorden que ocasionó el herbicida, producción de muchos macollos pero de escaso crecimiento, observándose que las repeticiones que presentaron mayores niveles de daños presentaban un mayor número de tallos pero de escaso crecimiento y con una coloración verde más intensa. Estas observaciones guardaron concordancia con los resultados observados, por Dal Magro et al. (2006a), con simulaciones de deriva del 12.5 y 25%, en el estadio de Z1.3 - Z1.4 (Zadoks), utilizando el producto de nombre comercial Only (75% imazetapir + 25% imazapic), a dosis comercial de 100 g/ha. Ellos obtuvieron a dosis similares de los ingredientes activos al tratamiento 8, un aumento en el número de tallos comparado al testigo y comentaron que podría estar relacionado con la toxicidad provocada por el herbicida, debido al uso de dosis reducidas, lo que provocaría un mayor macollaje en las plantas. La diferencia de nuestra situación con la de los autores es que la aplicación se encontraba bajo condiciones de suelo inundado, y la aplicación se realizó con coadyuvante no iónico (DASH). Estos incrementos en el macollaje podrían ser consecuencia del efecto del herbicida como un inhibidor de la dominancia apical, efectos similares también reportaron Giménez et al. (2015). Los autores comentaron que la eliminación de la fuente productora de auxinas por decapitación o por la aplicación de un inhibidor del transporte libera a las yemas laterales del control apical. También Hensley et al. (2012) mencionan como efectos secundarios de las imidazolinonas la interrupción de translocación de fotosintatos, desbalance hormonal, consecuencia de la interrupción de la relación fuente- fosa.

En la última lectura, a los 37 dpa., los tratamientos con mayor % de deriva (T6, T7 y T8) presentaban una mayor proporción de plantas en estadios menos avanzados, si bien en la lectura anterior presentaban una alta tasa de macollaje, estos macollos no continuaron creciendo y no elongaron vástago (Figura 1).





T1: 0%; T2: 0.01%; T3: 0.03%; T4: 0.11%; T5: 0.46%; T6: 1.83%; T7: 7.31%; T8: 29.26%

Figura 1. Proporción en cada estado fenológico según escala Zadoks, discriminado por tratamiento para los 8, 14 y 37 dpa.

4.1.2. Fitotoxicidad

Los tratamientos T1 a T7, donde los porcentajes de deriva variaron de 0.01 a 7.13% (0.014 a 10.24 g PC/ha), no presentaron sintomatología de daño visible, no se observaron síntomas que reflejaran una visible fitotoxicidad para todo el periodo evaluado (Figura 2).

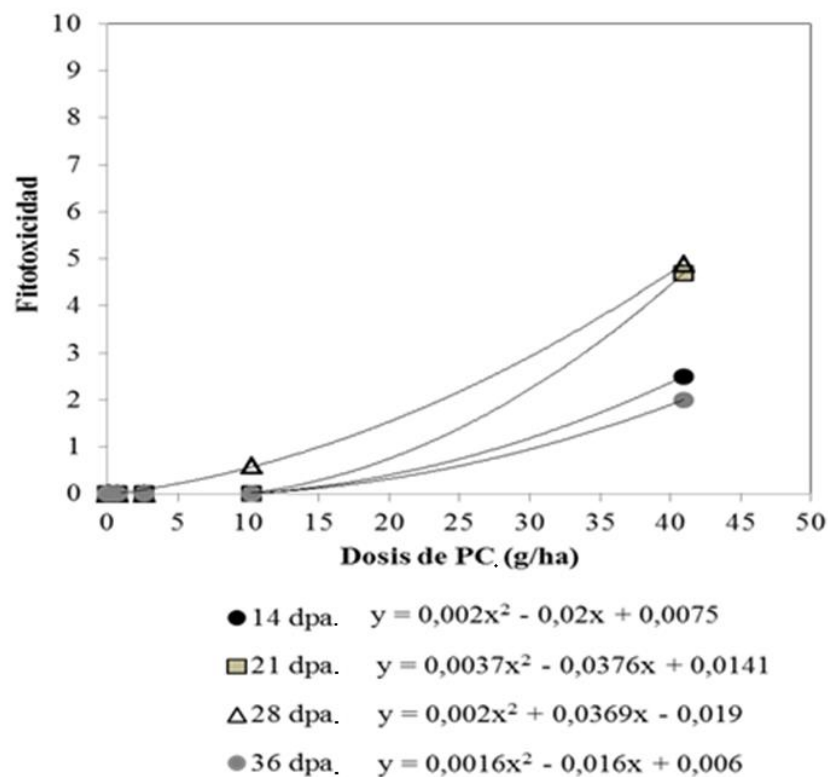


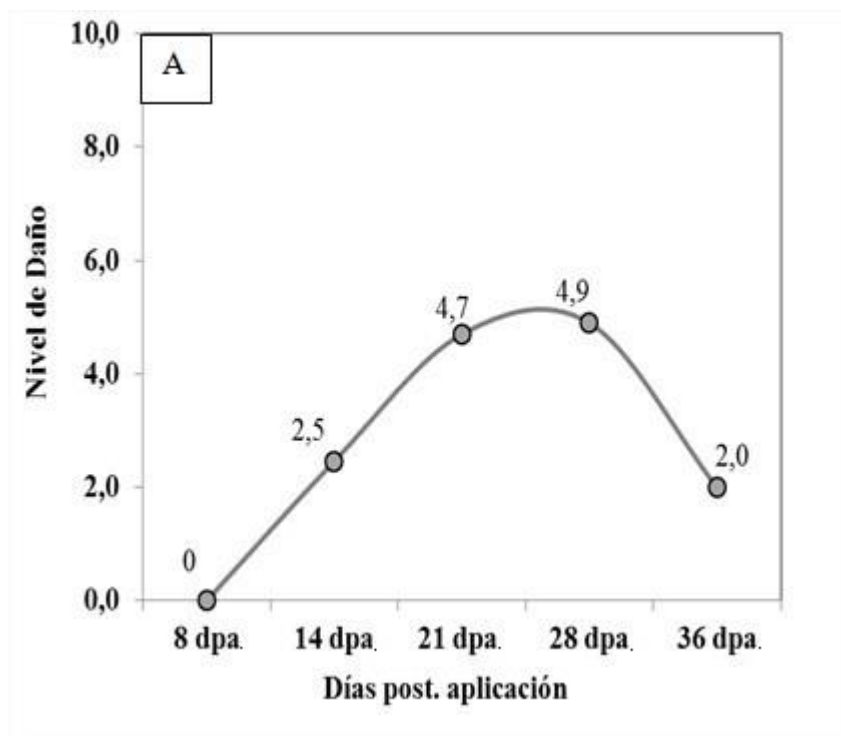
Figura 2. Fitotoxicidad para las distintas dosis de Kifix (g/ha).

Estos resultados pueden estar indicando que dosis muy bajas de herbicida no llegan a manifestar daño al cultivo y también puede estar explicado por la dilución del herbicida, ya que esas dosis de herbicida fueron aplicadas en volumen de 113 L/ha.

Varios autores comentan que los estudios de deriva donde las dosis de herbicida se simulan a volumen constante pueden confundir los efectos ya que la dosis diluida tiene menores efectos fitotóxicos. Si bien es un punto controversial, Banks y Schroeder (2002) encontraron que el daño de glifosato en maíz para la misma dosis de herbicida dependió del volumen de aplicación. En dosis bajas no hubo efecto de este factor pero en las dosis mayores, el daño fue mayor en el caso del volumen variable, donde el caldo aplicado estaba más concentrado.

Para el análisis del daño, nos centramos en el tratamiento 8, con porcentaje de deriva de 29%, debido a que fue en el único tratamiento donde se observaron síntomas claros de toxicidad.

La sintomatología de daño, a la dosis mencionada, describe un comportamiento que muestra una tendencia de tolerancia al herbicida a las dosis aplicadas, donde el daño observado fue nulo en los primeros días post aplicación (8 dpa.), a los 14 dpa., comenzaron a evidenciarse síntomas de daños (nivel de daño promedio 2.5), hasta alcanzar un máximo a los 21 y 28 dpa. donde todas las plantas presentaban daños más severos (nivel de daño de 4.7 y 4.9 respectivamente según escala confeccionada donde 0 era daño nulo y 10 era muerte de plantas) para luego decrecer hacia los 37 dpa. a nivel de daño promedio de 2 (Figura 3A).



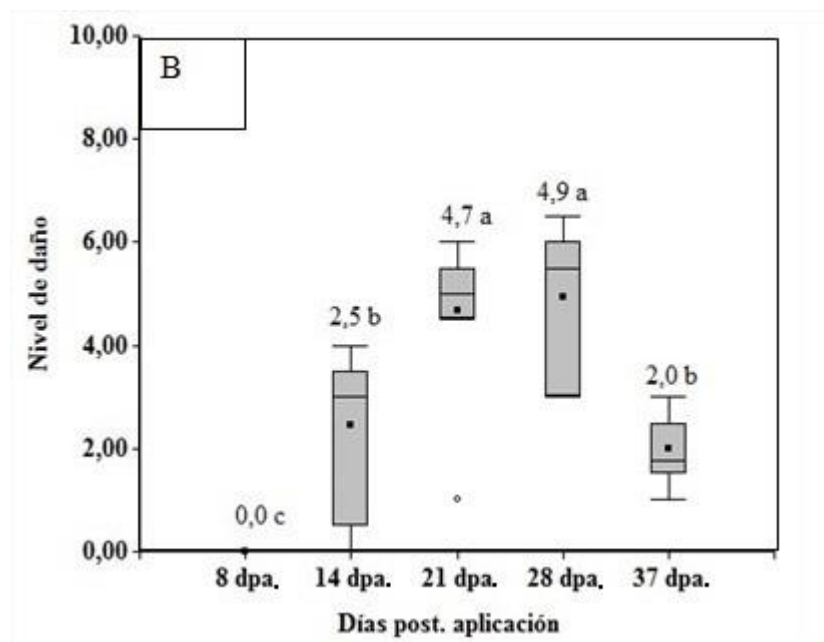


Figura 3. Nivel de daño de las plantas de arroz del tratamiento de deriva del 29% de la dosis (21.51g imazapir + 7.18 g imazapic) A. Evolución del daño; B. Variabilidad dentro de cada fecha de evaluación.

A su vez la variabilidad observada en cada una de las observaciones fue amplia, principalmente a los 14 y 28 dpa., donde se observaron plantas moderadamente afectadas a plantas con bajo nivel de daño (Figura 3B).

El análisis de varianza para los distintos periodos de evaluación muestra que los mayores valores de fitotoxicidad se presentaron a los 21 y 28 dpa., siendo estadísticamente significativo en comparación a las demás lecturas realizadas. En la última lectura, realizada a los 37 dpa., se observó una recuperación de las plantas.

La bibliografía consultada no es consistente en relación al nivel de daño que ocasiona la deriva en cultivares no Clearfield®. Dal Magro et al. (2008), encontraron fitotoxicidad en plantas de arroz no Clearfield®, con dosis inferiores a las del tratamiento T8 de este trabajo (21.51 g de imazapir + 7.18 g de imazapic). En el trabajo citado, se detectaron niveles de fitotoxicidad de 11, 10 y 4% para las evaluaciones realizadas a los 14, 21 y 28 días post aplicación, respectivamente, con derivas de 2.4 g de imazetapir + 0.8 g de imazapic. Con derivas más altas (18.8 g imazetapir + 6.3 g imazapic) las que podrían asimilarse al tratamiento T8 los niveles de fitotoxicidad constatados fueron de 52, 53 y 28% para el mismo periodo de evaluación anteriormente mencionado. Aun cuando los valores de fitotoxicidad fueron mayores a los encontrados en este trabajo,

presentaron un comportamiento similar en la evolución, difiriendo en la magnitud y en el momento de ocurrencia del pico de daño y recuperación posterior en comparación al tratamiento T8 (29% deriva), donde los niveles de fitotoxicidad detectados fueron de 25, 47, 49 y 20%. En el trabajo citado, a diferencia del que presentamos, los tratamientos fueron aplicados con coadyuvante no iónico (DASH) y el momento de aplicación fue en Z1.3 y Z1.4.

A diferencia del presente trabajo, Dal Magro et al. (2006b), obtuvieron diferente grado de susceptibilidad de diferentes cultivares frente a distintas dosis de herbicida. También en este caso la aplicación de la deriva simulada fue con el agregado del coadyuvante (DASH) y el momento de aplicación fue Z1.3 y Z1.4. La fitotoxicidad fue evidente ya con derivas muy bajas del orden de 2.4 g de imazetapir + 0.8 g de imazapic, aunque con variaciones por cultivar. Ya derivas con dosis de 4.7 g imazetapir + 1.6 g imazapic determinaron que las diferencias entre cultivares desaparecieran presentando valores medios a altos de fitotoxicidad independientemente del momento de evaluación.

En un trabajo similar con simulación de deriva en el estadio de Z1.4 y aplicadas con coadyuvante no iónico DASH HC, Fontana et al. (2007) obtuvieron daños a los 21 dpa. de 90% para derivas de 18.8 g imazetapir + 6.3 g de imazapic. Estos resultados guardan diferencia con los observados en esta investigación, al compararlos con los obtenidos en el T8 (21.51 g de imazapir + 7.18 g de imazapic), a dosis y momento de aplicación similares, donde el nivel de daño fue inferior a 50%, a los 21 dpa. El trabajo citado incluye el inicio del riego por inundación a los 3 días post aplicación.

Según Dal Magro et al. (2008), el estatus hídrico del suelo al momento de la aplicación, determina importantes diferencias en la manifestación del daño del herbicida a cultivares sensibles a imidazolinonas, dado que la presencia de una lámina de agua puede causar la dilución del herbicida, provocar su lixiviación, hidrólisis y/o modificar su absorción y metabolización por parte de las plantas de arroz.

4.1.3. Índice verde

Para la variable de índice verde en la primera evaluación (8 dpa.), ningún tratamiento se diferenció estadísticamente del testigo (Cuadro 3).

En las lecturas realizadas a los 14, 21 y 28 dpa., el único tratamiento que se diferenció estadísticamente del Testigo fue el T8 (29% de deriva de la dosis comercial de Kifix), presentando los mayores valores promedio de índice verde (32.2, 34.4 y 33.7, respectivamente).

En la última lectura, realizada a los 38 dpa. el Tratamiento 8 se diferenció significativamente del Testigo, presentando valores promedio menores a este último (30.2 vs. 31.9 del testigo).

Cuadro 3. Promedio de Índice verde para cada tratamiento en cada fecha de evaluación (Exp1).

Tratamiento en % de deriva	8 dpa.	14 dpa.	21 dpa.	28 dpa.	38 dpa.
0	34,2 a	28,3 b	28,4 b	30,9 b	31,9 ab
0.01	35,1 a	28,3 b	27,8 b	31 b	32,1 ab
0.03	34,5 a	27,5 b	28,3 b	31,5 b	31,6 ab
0.11	33,6 a	27,6 b	28,1 b	31,2 b	32,3 a
0.46	33,8 a	27,3 b	27,7 b	30,7 b	32 ab
1.83	33,6 a	28,3 b	29,1 b	30,6 b	31,5 abc
7.31	33,9 a	30,2 ab	29 b	31,2 b	30,7 bc
29.26	34,9 a	32,2 a	34,4 a	33,7 a	30,2 c
CV%	11,3	8,7	6,8	4,8	3,4
p-valor	0,9466	<0,0001	<0,0001	0,0023	0,0006

Medias con igual letra no son significativamente diferentes en cada fecha de evaluación (Tukey $p \leq 0,05$)

Este parámetro no parece ser un buen estimador para reflejar los daños ocasionados por el herbicida, como fuera comentado la dosis de 29% de deriva determinó un mayor macollaje y una coloración verde más intensa.

4.1.4. Materia seca

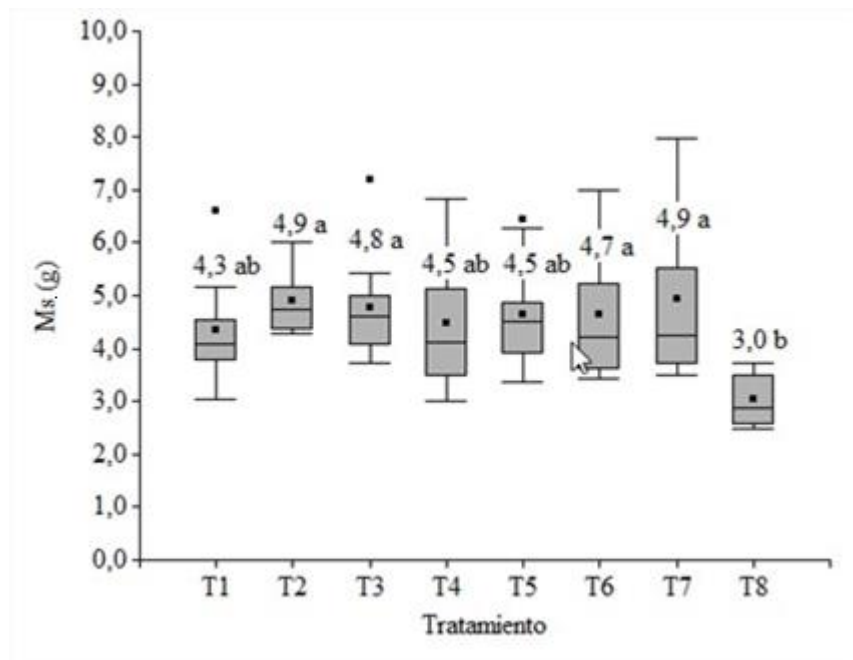
Para la variable Materia Seca (MS) ningún tratamiento presentó diferencias estadísticas significativas con respecto al testigo. En el caso del tratamiento 8 que fue el que había manifestado síntomas visuales y en desarrollo de las plantas, produjo un 30% menos de MS con respecto al testigo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Promedios de materia seca para cada tratamiento (Exp. 1).

Tratamiento (% deriva)	MS (g)
0	4,3 ab
0.01	4,9 a
0.03	4,8 a
0.11	4,5 ab
0.46	4,6 ab
1.83	4,7 a
7.31	4,9 a
29.26	3.0 b
CV %	24,8
p-valor	0,0243

Medias con igual letra no son significativamente diferentes (Tukey $p \leq 0,05$)

A pesar de las diferencias absolutas no se constataron diferencias estadísticas, quizás por la gran variabilidad que presentó esta variable (Figura 4).



T1: 0%; **T2:** 0.01%; **T3:** 0.03%; **T4:** 0.11%; **T5:** 0.46%; **T6:** 1.83%; **T7:** 7.31%; **T8:** 29.26%

Figura 4. Variabilidad del parámetro de materia seca de la parte aérea para los distintos tratamientos.

Dal Magro et al. (2008), encontraron una relación lineal negativa entre la dosis de herbicida y la materia seca, cada gramo del herbicida Only (75 g imazetapir + 25 g imazapic) redujo 0.89 g en la producción de materia seca del cultivar BRS Pelota. En el trabajo de estos autores las reducciones en materia seca fueron de un 8% para derivas de 18.8 g imazetapir + 6.3 g imazapic. En nuestro caso la reducción de la materia seca fue mayor (30%), para dosis de 21.51 g de imazapir + 7.18 g de imazapic, pero la variabilidad existente no permitió diferencias estadísticas. En el trabajo citado, recién cuando se utilizó la dosis comercial 100 g/ha de Only (75g imazetapir + 25g imazapic), las reducciones en materia seca alcanzaron el 33%. Estas diferencias en reducciones de materia seca, pueden deberse al momento de determinación de esta variable, ya que en el trabajo de estos autores esta determinación se realizó en el estadio de Z59, y en el presente trabajo la determinación se realizó en el estadio Z31 teniendo menos tiempos para su recuperación, ya que en ambos trabajos se observó recuperación post aplicación, inclusive en el trabajo citado, cuando se utilizó la dosis comercial 100 g/ha (75 g imazetapir + 25 g imazapic) los niveles de daños en planta fueron de 76, 84 y 68% para las evaluaciones realizadas a los 14, 21 y 28 dpa. respectivamente, evidenciando recuperación a la dosis completa del herbicida.

Por otra parte, Dal Magro et al. (2006a), encontraron grandes reducciones en la producción de materia seca independientemente de los cultivares no Clearfield® utilizados. Estas reducciones fueron en el orden 85 a 92% con derivas de 18.8 g imazetapir + 6.3 g imazapic. Con derivas menores (2.4 g de imazetapir + 0.8 g de imazapic), las reducciones de materia seca fueron del orden de 0 a 30% dependiendo del cultivar, también en este caso las determinaciones de materia seca se realizaron cercanas a la aplicación, 25 dpa.

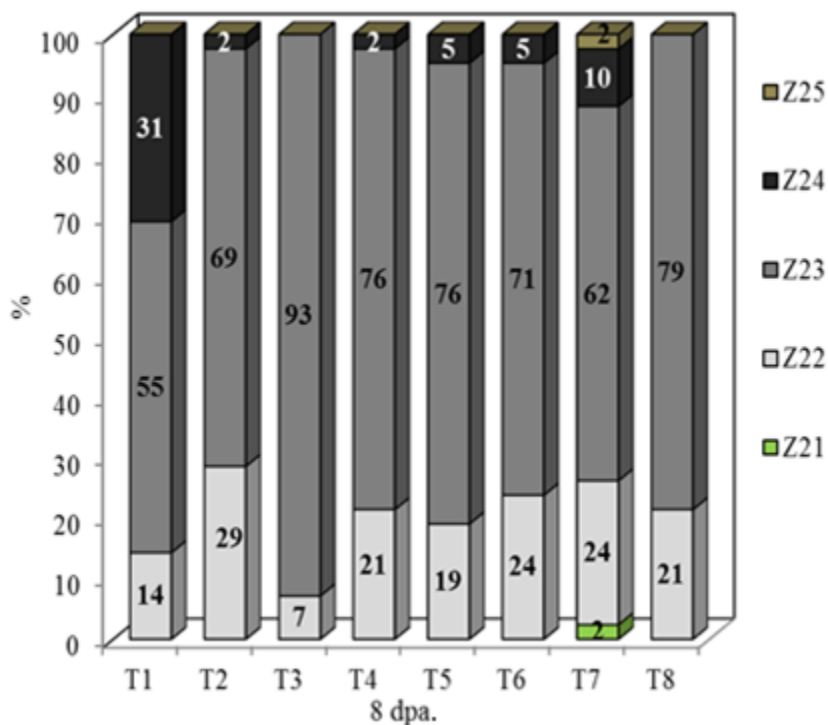
Reducciones de materia seca también importantes encontraron Fontana et al. (2007), quienes obtuvieron una disminución del 95% en la producción de materia seca con deriva de 0.25 L.ha⁻¹ del herbicida Only (18.8 g imazetapir + 6.3 g imazapic) evaluadas a los 28 dpa.

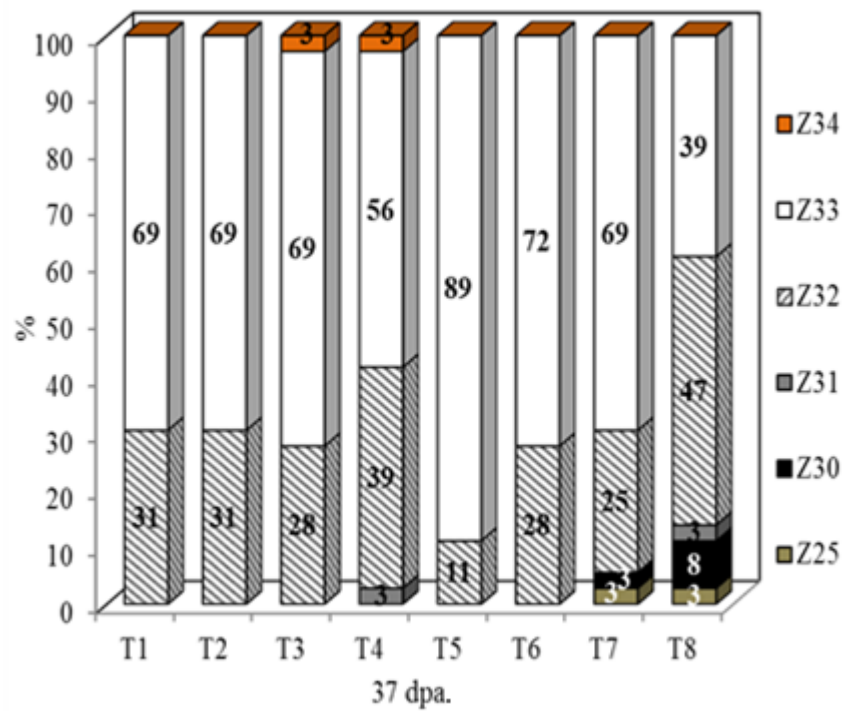
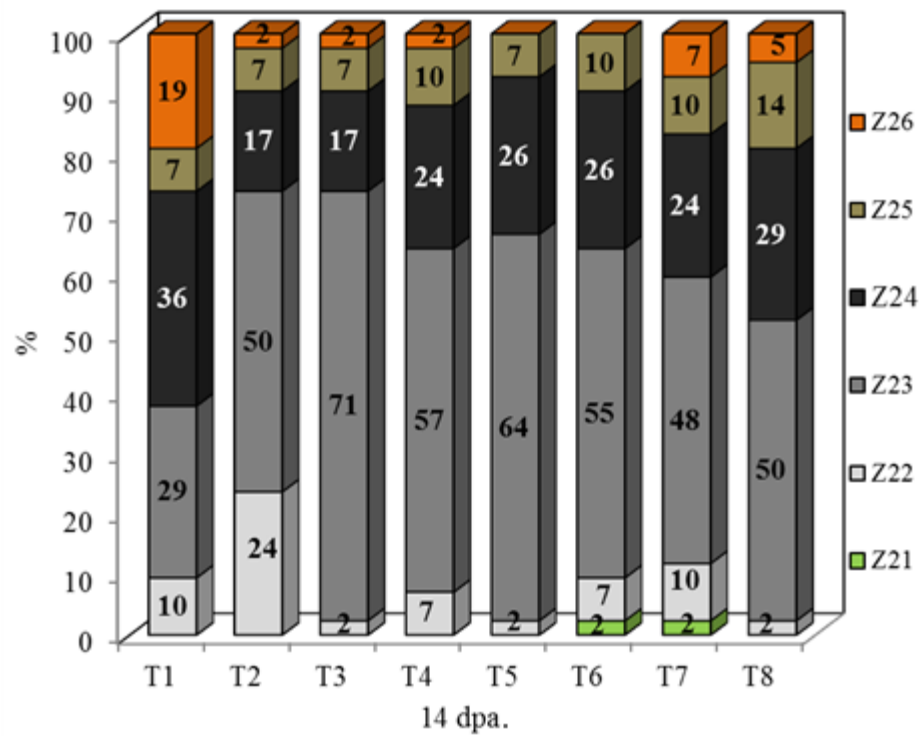
4.2. EXPERIMENTO 2

Los tratamientos que simularon las derivas en este experimento fueron realizados con el arroz en 1 macollo.

4.2.1 Fenología

En el desarrollo fenológico de los distintos tratamientos en este experimento no se observaron grandes diferencias entre el testigo y los tratamientos. Al comparar el efecto del 29% de deriva (T8) en relación al testigo, este último presentó una mayor proporción de plantas en estadios más avanzados (Figura 5). A diferencia del experimento 1 el testigo en la etapa vegetativa (8 y 14 dpa.) tiene un mayor porcentaje de plantas en estadios más avanzado, en la última lectura ya en etapa reproductiva esta diferencia solo se mantiene con los tratamiento 7 y 8 de mayor % de deriva, tendencia similar al experimento 1 (Figura 5).





T1: 0%; T2: 0.01%; T3: 0.03%; T4: 0.11%; T5: 0.46%; T6: 1.83%; T7: 7.31%; T8: 29.26%

Figura 5. Proporción en cada estadio fenológico según escala Zadoks, discriminado por tratamiento para los 8, 14 y 37 dpa.

4.2.2. Fitotoxicidad

Al igual que en el experimento 1, solo el tratamiento de mayor porcentaje de deriva (T8), presentó sintomatología clara de daño (Figura 6). Como fuera comentado en el experimento 1, las sub dosis de herbicidas no manifestaron síntomas de daño, quizás por la elevada dilución en el caldo al aplicar, lo que puede estar afectando la tasa de absorción del herbicida y en consecuencia determinar menos daño.

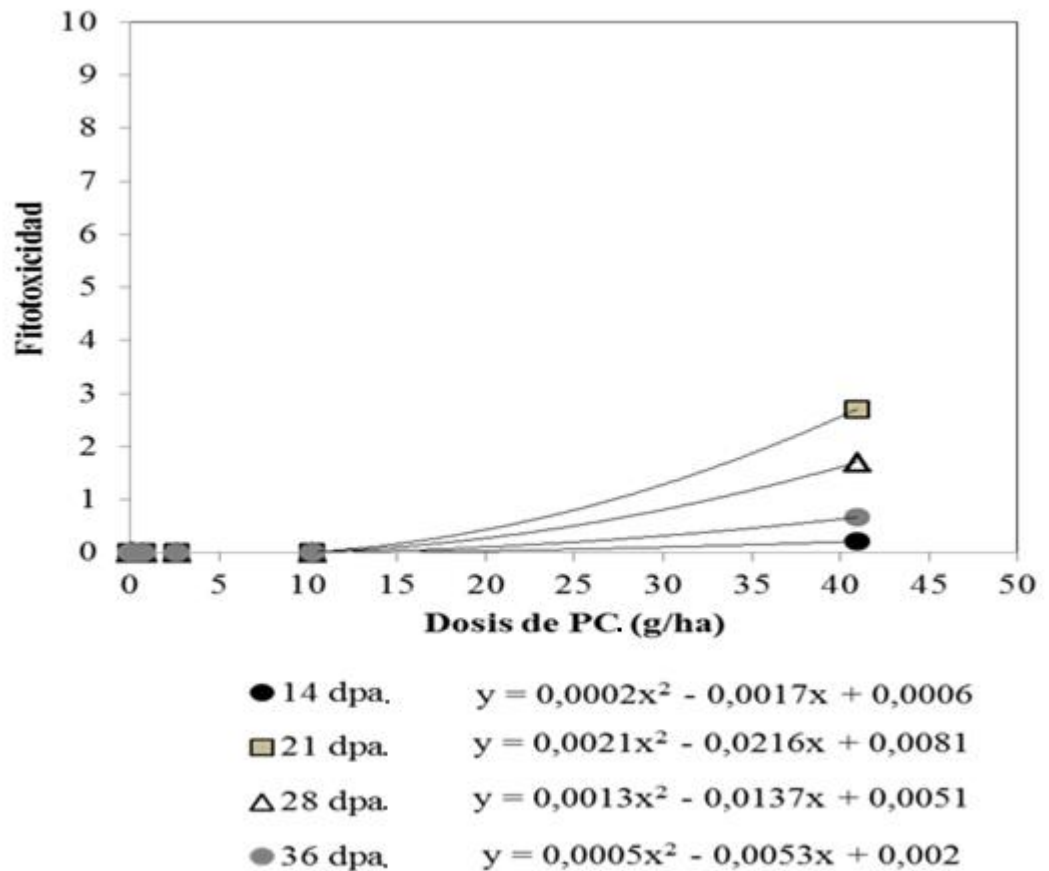
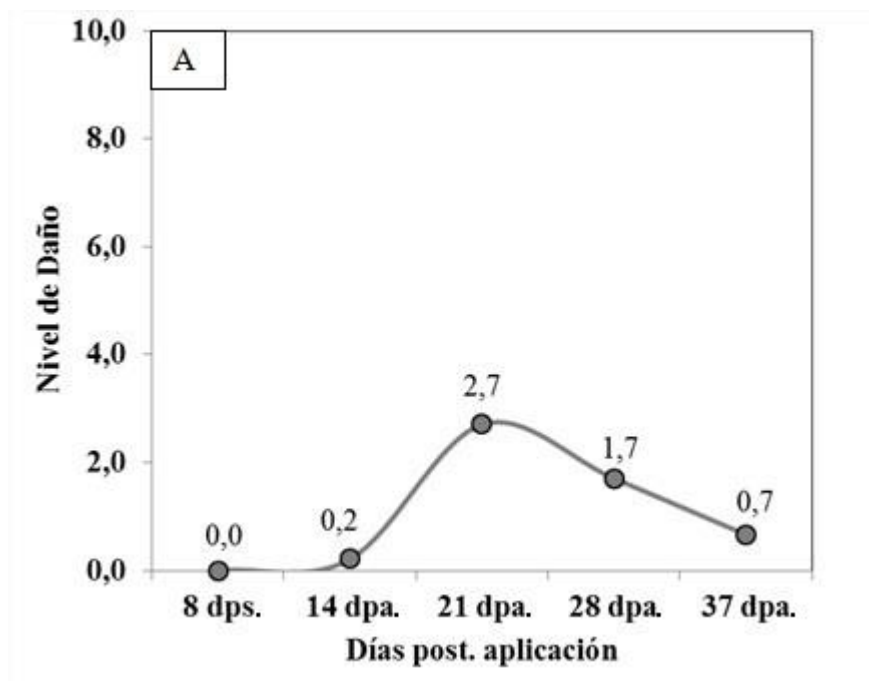


Figura 6. Fitotoxicidad para las distintas dosis de Kifix (g/ha).

Al igual que en el experimento 1, solo presentamos los resultados del tratamiento 8. Se observó una tendencia de recuperación de las plantas frente a los daños causados por el herbicida, donde luego de alcanzar el pico máximo de daño, el mismo comienza a disminuir, mostrando una tendencia similar a cuando las derivas fueron realizadas con el arroz en 3 hojas, Experimento 1 (Figura 7A).

Desde el punto de vista estadístico, los datos mostraron diferencias significativas entre las distintas lecturas. A los 14 dpa. los síntomas de daño no alcanzaron en promedio 0.5 puntos en la escala de 0 a 10, siendo estos escasamente visibles. Recién a los 21 dpa. fue donde se expresaron los máximos niveles de daño, resultando estadísticamente diferentes al resto de las evaluaciones, los daños fueron claramente visibles en todas las plantas, presentando valores promedio 2.7 (escala confeccionada donde 0 era daño nulo y 10 era muerte de plantas)

Las lecturas realizadas a los 28 y 37 dpa., siendo los síntomas más leves, mostrando valores inferiores, de 1.7 y 0.7%, respectivamente. En la última lectura en algunas de las repeticiones (25% de las plantas), se observó una recuperación total y en el resto el nivel de daño fue muy bajo, lo cual llevó a que la recuperación fuera total, ya que no existen diferencias significativas entre las lecturas tomadas a los 8 dpa. donde aún no se advertían daños visibles y a los 37 dpa.



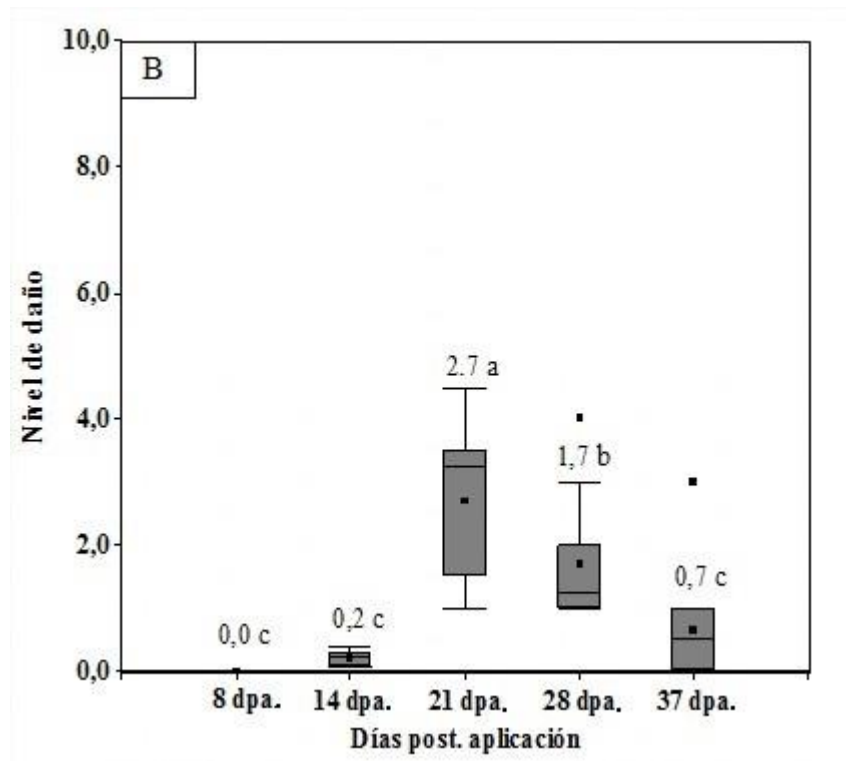


Figura 7. Nivel de daño de las plantas de arroz del tratamiento de deriva del 29% de la dosis (21.51g imazapir + 7.18 g imazapic) A. Evolución del daño; B. Variabilidad dentro de cada fecha de evaluación.

4.2.3. Índice verde

El índice verde mostró que salvo en la lectura realizada a los 9 dpa., el tratamiento 8 presentó valores superiores al testigo, siendo estadísticamente diferentes al mismo, coincidiendo esto con la aparición de síntomas de daño observados visualmente en esas lecturas. El contenido relativo de clorofila que manifiestan los distintos tratamientos depende del nivel de toxicidad que genera el herbicida en la planta, así fue comentado por Giménez et al. (2015), quienes también obtuvieron en tratamientos con sub dosis de imidazolinonas, valores mayores de índice verde.

Cuadro 5. Promedio de Índice verde para cada tratamiento en cada fecha de evaluación (Exp 2).

Tratamiento (% deriva)	9 dpa.	15 dpa.	22 dpa.	29 dpa.	37 dpa.
0	31 a	28,3 ab	27,4 ab	30,4 b	30,3 b
0.01	28,9 b	27,3 b	27,4 ab	30,2 b	30,5 b
0.03	30 ab	27,8 b	27,2 b	29,9 b	29,6 b
0.11	29,1 ab	28,1 b	27,9 ab	30,4 ab	31,3 b
0.46	29,8 ab	27,6 b	26,8 b	30,2 b	29,9 b
1.83	29,3 ab	27,5 b	26,9 b	29,9 b	30,9 b
7.31	29,8 ab	28 b	27,9 ab	30 b	31,1 b
29.26	31 a	29,9 a	28,9 a	32,3 a	33,1 a
CV%	5,5	4,9	4,3	5	3,8
p-valor	0,0047	0,0001	0,0008	0,0043	0,0001

Medias con igual letra no son significativamente diferentes en cada fecha de evaluación (Tukey $p \leq 0,05$).

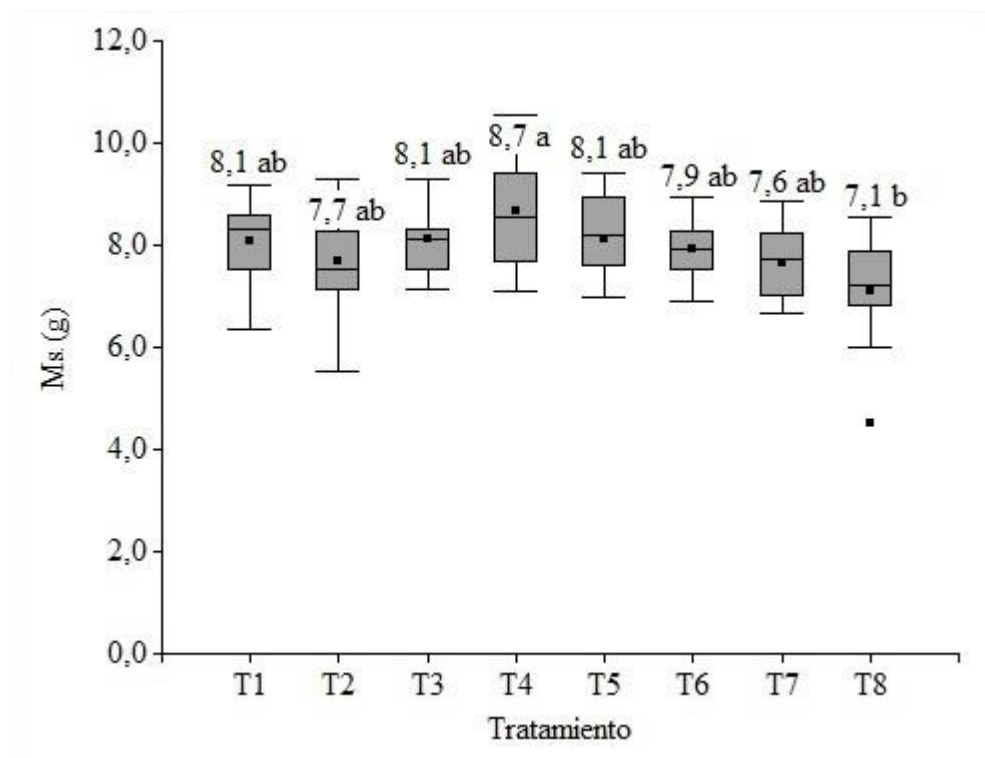
4.2.4. Materia seca

Para la variable materia seca ningún tratamiento presentó diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo. En el caso del Tratamiento 8 que fue el tratamiento que presentó fitotoxicidad, produjo un 12% menos de MS con respecto al testigo (Cuadro 6 y Figura 8). Similares resultados obtuvieron Dal Magro et al. (2008), quienes con derivas simuladas de 18.8 g imazetapir + 6.3 g imazapic, similares al T8, encontraron reducciones en materia seca de 8%, pero este aplicado en V3- V4.

Cuadro 6. Promedios de materia seca para cada tratamiento (Exp. 2).

Tratamiento (% deriva)	MS (g)
0	8,1 ab
0.01	7,7 ab
0.03	8,1 ab
0.11	8,7 a
0.46	8,1 ab
1.83	7,9 ab
7.31	7,6 ab
29.26	7,1 b
CV %	10,7
p-valor	0,0032

Medias con igual letra no son significativamente diferentes (Tukey $p \leq 0,05$)



T1: 0%; **T2:** 0.01%; **T3:** 0.03%; **T4:** 0.11%; **T5:** 0.46%; **T6:** 1.83%; **T7:** 7.31%; **T8:** 29.26%

Figura 8. Materia seca de la parte aérea para los distintos tratamientos y su variabilidad.

4.3. DAÑO COMPARANDO LOS MOMENTOS DE APLICACIÓN

En la figura 9 se ilustra el nivel de daño para ambos momentos de aplicación, se observa que la aplicación en 1 macollo presentó en todas las lecturas, niveles de daño menores respecto a la aplicación en 3 hojas, en esta ultima los síntomas comenzaron a evidenciarse antes y la recuperación fue mayor en comparación con la aplicación en 1 macollo (Figura 9).

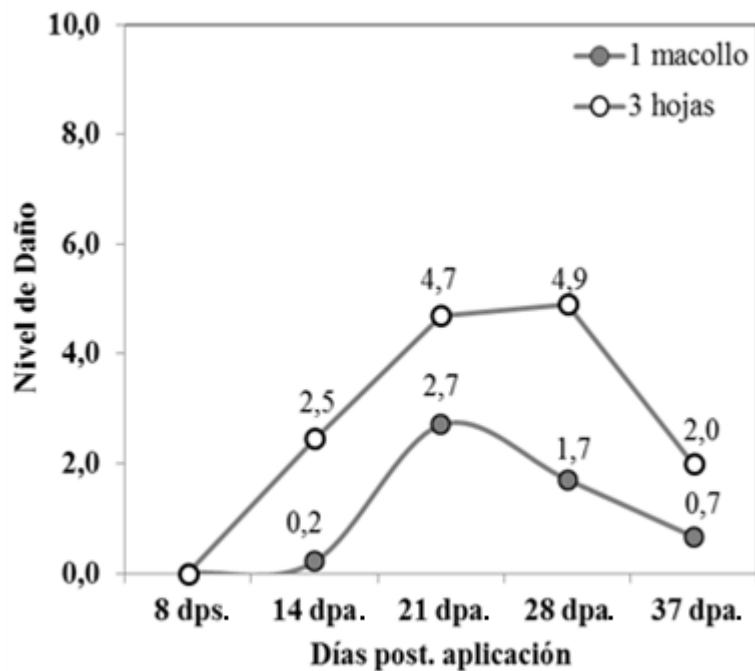


Figura 9. Evolución del daño para T8 (29% de deriva) según momento de aplicación del herbicida.

También Hensley et al. (2012), obtuvieron mayores pérdidas cuando la deriva fue simulada en etapas vegetativas, hasta 1 macollo, aun cuando existen posibilidades de recuperación es muy dependiente de las condiciones climáticas que se dan posteriormente a la deriva y a las condiciones de crecimiento que compensen ese daño, pudiendo ser mayores las pérdidas de rendimiento. En caso de ocurrencia de deriva es

fundamental la disponibilidad de agua, o sea la entrada del riego para su pronta recuperación (Dal Magro et al., 2006b).

La escasa fitotoxicidad obtenida y solo para el tratamiento de 29% de deriva, como fuera comentado, puede estar explicada por las bajas dosis de los demás tratamientos que no generaran daño visible. También puede ser consecuencia de la dilución de esas dosis que cuando ocurre una deriva en condición real de campo, la cantidad derivada es porcentaje del total aplicado y en consecuencia la dilución es otra, una dosis en caldo más concentrado. Pero además, como comenta Sawchuck et al. (2006), es difícil extrapolar estos resultados a otras situaciones reales, porque la deriva que ocurre a campo es la de gotas pequeñas muy concentradas y que para algunos herbicidas puede determinar mayor actividad del herbicida en planta y además la deposición de esas gotas tiene un patrón desuniforme, contrariamente a lo que se hace en los estudios de simulación.

El otro aspecto destacado por Hensley et al. (2012), es que la aparición de síntomas no necesariamente es inmediata e incluso puede aparecer ya en la etapa de madurez, determinando pérdidas de rendimiento y/o costos por el uso de insumos en un cultivo que ya estaba deprimido en su potencial de rendimiento.

Resumiendo, hay varios factores que deben mencionarse para relativizar el nivel de daño encontrado en nuestro experimento, si bien en varios trabajos los niveles de daño fueron altos, estuvieron asociados a cantidades de herbicida mayores al 25% de deriva de la dosis total. El nivel de recuperación en estudios similares, estuvo asociado al cultivar y a las condiciones de crecimiento posteriores a la aplicación, y siempre los estudios han sido simulados en las mismas condiciones de dosis diluidas, por uso de mayores volúmenes de agua en la aplicación.

4.4. DETECCIÓN DE IMAZAPIR EN PLANTAS DE ARROZ

El objetivo del análisis de la cantidad de herbicida en planta, en este caso imazapir, fue para intentar relacionar los síntomas con cantidades de herbicida en planta, considerando que esto puede ayudar a dirimir un problema de deriva, y así poder identificar el origen y el impacto de un evento de deriva.

El análisis fue capaz de detectar imazapir en todos los tratamientos, incluso en el que de la deriva fue de 0.01% (Cuadro 7). Las cantidades encontradas siempre fueron superiores para los tratamientos que fueron aplicados en macollaje. Esto puede estar explicado porque la mayor área foliar de las plantas fue capaz de interceptar más

herbicida, mientras que la aplicación en el cultivo en 3 hojas determinó que buena parte del mismo cayera directamente en suelo.

Cuadro 7. Concentración imazapir en planta ppb/g de materia seca.

Tratamiento (% deriva)	g imazapir aplicado (PC/ha)	Experimento 1 (Z1.3)	Experimento 2 (Z2.1)
0	0	--	--
0.01	0.0074	0.12	0.21
0.03	0.0221	0.33	0.25
0.11	0.0809	0.97	0.66
0.46	0.3381	1.10	2.49
1.83	1.3451	2.63	4.41
7.31	5.3729	8.85	22.39
29.26	21.5061	40.66	89.77

Las concentraciones de imazapir encontradas en las plantas se relacionan muy bien con la cantidad de herbicida aplicado (Figura 10), indicando que el análisis puede ser usado para confirmar una deriva del herbicida en cuestión, igualmente es importante destacar que la precisión del análisis permite encontrar pequeñas cantidades en planta, como cuando la deriva fue de tan solo 0.01%. Por tanto, siempre que haya habido una aplicación de herbicida cercana al cultivo no Clearfield es posible detectar herbicida en planta, pero esto no necesariamente puede significar daño en el cultivo.

La concentración de imazapir en planta no permite inferir la magnitud del daño porque en el caso de la aplicación en Z13, la presencia de 40.66 ppb/g de arroz determinó daño mayor que 89.77 ppb/g arroz, que fuera cuantificado en la aplicación en macollaje. Seguramente esto debe estar asociado a la capacidad de recuperación del arroz en ese estado que no lo tiene en estados más juveniles. O quizás esa recuperación total puede ocurrir más allá de los 37 días de la aplicación, momento final de la evaluación de este trabajo.

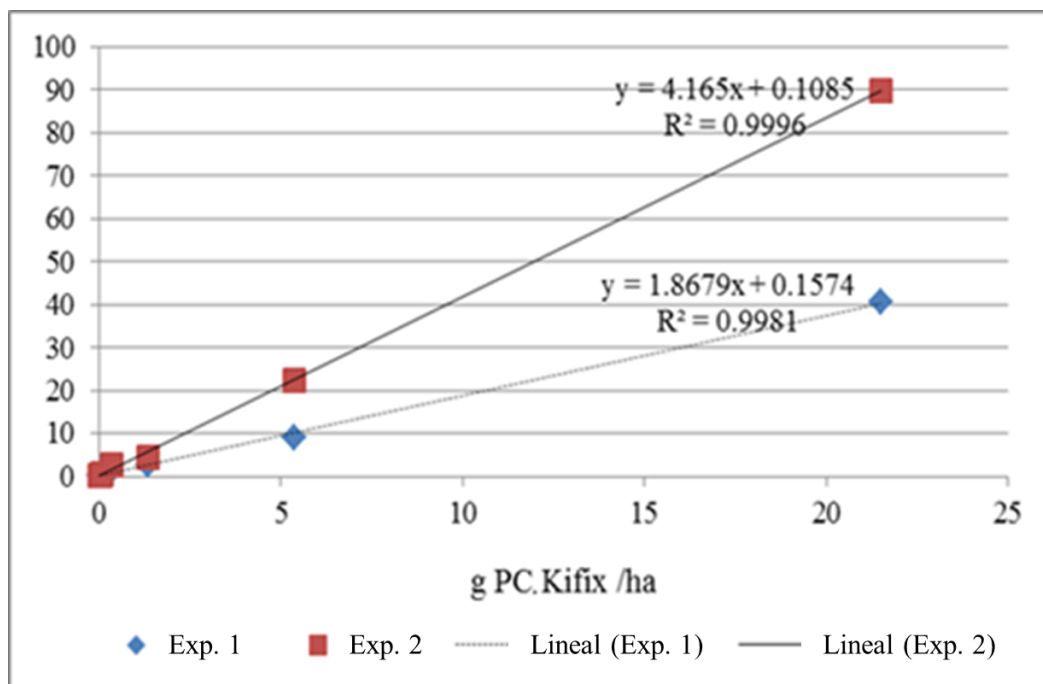


Figura 10. Concentración (ppb/g materia seca arroz) de imazapir para tratamientos aplicados en 3 hojas (línea punteada) y para tratamientos aplicados en macollaje (línea entera).

5. CONCLUSIONES

En las condiciones de nuestro experimento, donde las plantas de arroz crecieron sin limitantes hídricas, la dosis de la deriva simulada fueron bajas y solo evidenció síntomas de daño la deriva del 29% del total de la dosis de Kifix. El daño fue mayor cuando el herbicida fue aplicado en el cultivo en 3 hojas, comparado a la aplicación en macollaje. La evolución del daño en ambos casos indica que la manifestación del mismo se da aproximadamente a los 14 días, con un pico a los 20- 30 días y luego en nuestro caso hubo una recuperación a los 37 dpa. Es necesario hacer estudios por periodos mayores, incluso llegando hasta rendimiento, para conocer si la recuperación es total.

El residuo de imazapir en planta no permite inferir la magnitud del daño porque el mismo está muy asociado a la cantidad interceptado y esto depende del desarrollo y del cultivo, además de las condiciones de crecimiento post- deriva.

Es difícil la extrapolación de resultados porque la deriva real ocurre con patrones de distribución muy distintos a la que ocurre en los estudios de simulación y además las concentraciones en las que se encuentra el herbicida especialmente en aplicaciones aéreas es muy distinto.

6. RESUMEN

En nuestro país, la superficie de cultivos de arroz afectados por el arroz rojo o arroz maleza ha ido creciendo a lo largo de los últimos años. Paralelamente se ha observado un incremento en el área sembrada con cultivares de arroz que incorporan la tecnología Clearfield®, la cual les confiere tolerancia a los herbicidas del grupo de las imidazolinonas. El objetivo de este trabajo fue, evaluar el comportamiento de un cultivar de arroz no Clearfield® frente a dosis crecientes del herbicida Kifix, perteneciente a la familia de las imidazolinonas compuesto por 52.5% imazapir + 17.5% imazapic. El experimento fue conducido bajo invernáculo, sembrado en macetas. El diseño experimental fue diseño completamente al azar, con 8 tratamientos con 14 repeticiones. Para testear el efecto del herbicida se realizó una simulación de deriva con dosis crecientes del herbicida, 0; 0.01; 0.03; 0.11; 0.46; 1.83; 7.31; 29.26 % de deriva de la dosis recomendada del herbicida de 140g/ha. Se evaluó fitotoxicidad mediante escala de daño visual, materia seca, índice verde y desarrollo fenológico. Los daños causados solo fueron evidentes con porcentajes de deriva de 29% deriva respecto a la dosis recomendada.

Palabras clave: Arroz; Imidazolinonas; Kifix; Deriva; Tecnología Clearfield.

7. SUMMARY

In our country, the rice crop area affected by red rice or weedy rice has been growing over recent years. In parallel there has been an increase in the area planted to rice cultivars Clearfield® incorporating the technology area, which confers tolerance to herbicides imidazolinones group. The objective of this work was to evaluate the behavior of a rice cultivar not Clearfield® against increasing doses of the herbicide Kifix, belonging to the family of the imidazolinones comprised 52.5% 17.5% imazapyr + imazapic. The experiment was conducted under greenhouse, planted in pots. The experimental design was completely randomized design with 8 treatments with 14 repetitions. To test the effect of herbicide, a simulation was conducted drift with increasing doses of the herbicide, 0 occurred; 0.01; 0.03; 0.11; 0.46; 1.83; 7.31; 29.26% of the herbicide recommended dose of 140g / ha. Phytotoxicity was evaluated by visual scale damage, dry matter, green and phenological development index. Damage was evident with percentages were just drift derives 29% of the recommended dose.

Keywords: Rice; Imidazolinones; Kifix; Drift; Clearfield technology.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguerre, T. 2008. Uruguay país arrocerero. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 3 mar. 2015. Disponible en <http://www.iica.int/Esp/regiones/sur/uruguay/Documentos%20de%20la%20Oficina/CoyunturaAgropecuaria/coy-diciembre2008.pdf>
2. Alister, C.; Kogan, M. 2005. Efficacy of imidazolinone herbicides applied to imidazolinone-resistant maize and their carryover effect on rotational crops. *Crop Protection*. 24: 375-379.
3. ANDEF (Associação Nacional de Defesa Vegetal, BR). 2004. Manual de tecnología de aplicación de productos fitosanitarios. (en línea). São Paulo. 50 p. Consultado 13 set. 2015. Disponible en http://www.nufarm.com/Assets/15064/1/Manual_Tecnologia.pdf
4. Anzalone, A.; Ruiz, M.; Zambrano, C.; Ortiz, A. 2011. Evaluación de *Zea mays* L. y *Phaseolus vulgaris* L. como bioindicadores de herbicidas imidazolinonas en suelo. (en línea). *Bioagro* 23(2). 121-128. Consultado 19 may. 2015. Disponible en <http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev23%282%29/7.%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20Z.%20mays%20y%20P.%20vulgaris%20como%20bioindicadores.pdf>
5. Banks, P. A.; Schroeder, J. 2002. Carrier volume affects herbicide activity in simulated spray drift studies. *Weed Technology*. 16(4): 833-837.
6. BASF (Badische Anilin- und Soda-Fabrik, AR). 2015a. Folleto comercial herbicida Kifix. (en línea). s.l. 2 p. Consultado 15 set. 2015. Disponible en http://www.agro.basf.com.ar/Uploads/productos_folletos/kifix.pdf
7. ————. 2015b. Tecnología Clearfield. (en línea). s.l. s.p. Consultado 17 may. 2015. Disponible en <http://www.agro.basf.com.ar/clearfield/clearfield.htm>
8. Baumann, P. A.; Dotray, P.; Prostko, E. P. 1998. Herbicides; how they work and the symptoms they cause. (en línea). Texas, The Texas A&M University System. Texas Agriculture Extension Service. s.p. Consultado 17 mar. 2015. Disponible en <http://twig.tamu.edu/B6081.pdf>
9. Bayer, T.; Arrué, A.; Dressler da Costa, I.; Lenz, G.; Coradini, C.; Giacomini, B.; Pizzuti, P. 2012. Aplicação aérea de fungicidas na cultura do arroz

- irrigado com diferentes bicos de pulverização. *Ciência Rural*. 42(12): 2185-2191.
10. Blanco, P.; Molina, F.; Lavecchia, A.; Marchesi, C.; Martínez, S.; Silvera, W.; Casales, L. 2011. Evaluación avanzada de cultivares Clearfield. *In*: Arroz; resultados experimentales 2010 – 2011. Montevideo, INIA. cap. 6, pp. 25-32 (Actividades de Difusión No. 651).
 11. Da Cunha, J.; Farnese, A.; Olivet, J.; Villalba, J. 2011. Deposição de calda pulverizada na cultura da soja promovida pela aplicação aérea e terrestre. *Engenharia Agrícola*. 31(2): 343-351.
 12. Dal Magro, T.; Agostinetto, D.; Pinto, J.; Galon, L.; Rezende, A. 2006a. Efeito de deriva simulada de herbicida inibidor de ALS nos componentes da produtividade do arroz irrigado. *Planta Daninha*. 24(4): 805-812.
 13. _____.; Pinto, J.; Agostinetto, D.; Galon, L.; Rezende, A.; Lazarotto, C. 2006b. Suscetibilidade de cultivares de arroz irrigado (*oryza sativa*) à deriva simulada do herbicida imazethapyr + imazapic. *Planta Daninha* 24(4): 751-759.
 14. _____.; Oliveira, J.; Agostinetto, D.; Galón, L.; Simone, C. 2008. Modificação de características morfofisiológicas da cultura de arroz irrigado decorrente da deriva da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr + imazapic. *Agrociência*. 14(1): 59-67.
 15. De Sousa, C. 2010. Crescimento de plantas de arroz sob aplicação de herbicidas do grupo das imidazolinonas e sua atividade residual em plantas bioindicadoras. (en línea). Maestría en Fisiologia Vegetal. Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. Universidade Federal de Pelotas. 60 p. Consultado 7 may. 2015. Disponible en http://guaiaica.ufpel.edu.br:8080/bitstream/123456789/2032/1/dissertacao_camila_sousa.pdf
 16. FAO. 1996. Manejo de malezas para países en desarrollo. (en línea). Roma. s.p. (Estudio FAO. Producción y Protección Vegetal no. 120). Consultado 3 feb. 2015. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/t1147s/t1147s0e.htm>
 17. Favero, H.; Gómez, S. 2013. Evolución en la presencia de arroz rojo en las muestras de arroz. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 14 abr. 2015. Disponible en <http://www.aca.com.uy/wp-content/uploads/2014/08/Arroz-Rojo.pdf>
 18. Fontana, L.; Agostinetto, D.; Pinto, J.; Rigoli, R.; Figueredo, S.; Rosenthal, M. 2007. Tolerância de cultivares de arroz irrigado (*oryza sativa*) ao herbicida Nicosulfuron e à mistura formulada de Imazethapyr + Imazapic. *Planta Daninha*. 25(4): 791-798.

19. Gianelli, V.; Bedmar, F.; Monterubianessi, M. 2011. Persistencia del herbicida imazapir en el suelo y efectos fitotóxicos sobre cultivos de invierno y de verano. (en línea). Investigaciones Agropecuarias. 37(1): 18-25.

Consultado 16 may. 2015. Disponible en <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3655360.pdf>
20. Giménez, J. P.; Yanniccari, M.; Istilart, C.; Giménez, D. 2015. Efecto fitotóxico de imidazolinonas sobre trigo susceptible e imi-tolerante durante implantación. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 26 nov. 2015. Disponible en http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_barrow_-_efecto_fitotxico_de_imidazolinonas_sobr.pdf
21. Goetz, A.; Lavy, T.; Gbur, E. 1990. Degradation and field persistence of Imazethapyr. Weed Science. 38(4-5): 421-428.
22. Hensley, J. 2009. Effects of simulated drift of glyphosate, imazethapyr, glufosinate, and imazamox to non-transgenic rice. (en línea). PhD. Baton Rouge, USA. Louisiana State University. The School of Plant, Environmental, and Soil Sciences. 124 p. Consultado 8 may. 2015. Disponible en http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-11022009-154616/unrestricted/Hensley_Dissertation.pdf
23. ———.; Webster, E.; Blouin, D.; Harrel, D.; Bond, J. 2012. Impact of drift rates of Imazethapyr and low carrier volume on non-Clearfield rice. Weed Technology. 26 (2): 236-242.
24. INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). 2015. Registro de propiedad de cultivos. (en línea). s.l. s.p. Consultado 17 abr. 2015. Disponible en <http://www.inase.org.uy/Sitio/RegistroPropiedadCultivos/Default.aspx>
25. Kraemer, A.; Marchesan, E.; Avila, L.; Machado, S.; Grohs, M. 2009. Destino ambiental dos herbicidas do grupo das imidazolinonas– revisão. (en línea). Planta Daninha. 27(3): 629-639. Consultado 4 may. 2015. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/pd/v27n3/25.pdf>
26. Kruger, G.; Klein, R.; Ogg, C. 2013. Spray drift of pesticides. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 10 ago. 2015. Disponible en <http://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g1773.pdf>
27. Kuk, Y.; Burgos, N.; Shivrain, V. 2008. Natural tolerance to Imazethapyr in red rice (*Oryza sativa*). (en línea). Weed Science. 56(1):1-11. Consultado 26

- dic. 2014. Disponible en <http://www.bioone.org/doi/full/10.1614/WS-07-073.1>
28. Levy, R. 2004. Imidazolinone tolerant rice; weed control, crop response, and environmental impact. (en línea). PhD. Baton Rouge, USA. Louisiana State University. 60 p. Consultado 19 abr. 2015. Disponible en http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-07022004-211551/unrestricted/Levy_Jr_dis.pdf
 29. Marchesan, E.; Dos Santos, F.; Grohs, M.; De Avila, L.; Machado, S.; Senseman, S.; Massoni, P.; Sartori, G. 2010. Carryover of Imazethapyr and Imazapic to non tolerant rice. (en línea). Weed Technology. 24 (1): 6-10. Consultado 16 abr. 2015. Disponible en <http://www.bioone.org/doi/full/10.1614/WT-08-153.1>
 30. Menezes, V.; Mariot, C.; Kalsing, A.; Goulart, I. 2009. Arroz-vermelho (*Oryza sativa*) resistente aos herbicidas imidazolinonas. Planta Daninha. 27: 1047-1052.
 31. _____.; Paim, C.; Kalsing, A.; Stella De Freitas, T.; Grosh, D.; De Oliveira, F. 2013. Associação de glyphosate e imidazolinonas no controle de arroz-vermelho em arroz Clearfield®. Ciência Rural. 43 (12): 2154 – 2159.
 32. MGAP. DGSSAA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección General de Servicios Agrícolas, UY). 2015a. Consulta de productos sanitarios; número de registro 3351. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 set. 2015. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/profit/wwproductos.aspx>
 33. _____. _____. 2015b. Marco normativo. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 25 abr. 2015. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,dgsa,dgsa-marco-normativo-decretos,O,es,0>,
 34. _____. DIEA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de Estadísticas Agropecuarias, UY). 2014. Anuario estadístico agropecuario 2014. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 14 abr. 2015. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-anuario-2014,O,es,0>
 35. Monquero, P.; Christoffoleti, P. 2001. Manejo de populações de plantas daninhas resistentes aos herbicidas inibidores da acetolactatosintase. (en línea). Planta Daninha. 19 (1): 67-74. Consultado 19 may. 2015. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/pd/v19n1/08.pdf>

36. Pazos, F. 2007. Cultivos no-transgénicos resistentes a herbicidas, una nueva solución de la industria; la tecnología Clearfield. (en línea). Montevideo, s.e. 8 p. Consultado 30 may. 2015. Disponible en http://www.rapaluruaguay.org/agrotoxicos/Prensa/Cultivos_no-transgenicos_resistentes_a_herbicidas.pdf
37. Reunião Técnica Da Cultura Do Arroz Irrigado (28a., 2010, Bento Gonçalves – Rio Grande Do Sul). 2010. Arroz irrigado; recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. (en línea). Porto Alegre, SOSBAI. 188 p. Consultado 9 may. 2015. Disponible en http://www3.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1288898784Arroz_Irigado_Recomendacoes_Tecnicas.pdf
38. Rosales, E.; Esqueda, V. s.f. Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 6 may. 2015. Disponible en <http://www.senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp?IdDocumento=19766&IdUrl=31595>
39. Saldain, N. 2011. Impacto ambiental de la adopción del arroz resistente a las imidazolinonas en sistemas contrastantes de América Latina. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 10 abr. 2015. Disponible en <http://www.aca.com.uy/wp-content/uploads/2014/08/IMPACTO-AMBIENTAL-ING.-AGR.-MSc-Nestor-Saldain.pdf>
40. Sawchuck, J. W.; Van Acker, R. C.; Friesen, L.R. 2006. Influence of a range of dosages of MCPA, glyphosate, and thifensulfuron:tribenuron (2 : 1) on conventional canola (*Brassica napus*) and white bean (*Phaseolus vulgaris*) growth and yield. *Weed Technology*. 20:184-197.
41. SOLARIS. 2015. Sistema Clearfield. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 23 may. 2015. Disponible en <http://www.solaris.com.uy/6471/Clearfield>
42. Stougaard, R.; Shea, P.; Martin, A. 1990. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility, and efficacy of Imazaquin e Imazethapyr. *Weed Science*. 38 (1): 67-73.
43. TeeJet. 2004. Guía del usuario de boquillas de pulverización. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 31 oct.2015. Disponible en <http://www.teejet.com/media/350064/lms112%20users%20guide%20spanish.pdf>
44. Texeira, M. 2010. Estudio de la población de gotas de pulverización. In: Magdalena, J. C. coord. Tecnología de aplicación de agroquímicos. Allen, INTA Alto Valle. pp. 67-76.
45. Villa, S.; Marchezan, E.; Avila, A.; Massoni, P.; Telo, G.; Machado, S.; Camargo, E. 2006. Arroz tolerante a imidazolinonas; controle do arroz-vermelho, fluxo gênico e efeito residual do herbicida em culturas

sucessoras não-tolerantes. (en línea). Planta Daninha. 24 (4):761-768.
Consultado 20 may. 2015. Disponible en
<http://www.scielo.br/pdf/pd/v24n4/a17v24n4.pdf>

46. Villalba, J.; Hetz, E. 2010. Deriva de productos agroquímicos – efecto de las condiciones ambientales. In: Magdalena, J. C. coord. Tecnología de aplicación de agroquímicos. Allen, INTA Alto Valle. pp. 45- 54.
47. Zorrilla de San Martín, G. 1992. Arroz rojo, conózcalo y combátalo. (en línea). Montevideo, INIA. 17 p. (Boletín de Divulgación no. 20). Consultado 15 mar. 2015. Disponible en
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807154749.pdf>