

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE LA DERIVA Y VOLATILIDAD DE LAS
FORMULACIONES PROPUESTAS PARA EL PROGRAMA DE CONTROL
EN MALEZAS EN CULTIVOS CON EL EVENTO ENLIST (SOJA DAS-
44406-6 Y MAÍZ DAS-40278-9)**

por

**Jorge CAPURRO HYLAND
Santiago JIMÉNEZ DE ARÉCHAGA COOPER**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2018**

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Diego Sorrondegui

Ing. Agr. Juan Martin Sorrondegui

Ing. Agr. Dra. Juana Villalba

Fecha: 16 de noviembre de 2018

Autores: -----

Jorge Capurro Hyland

Santiago Jiménez de Aréchaga

AGRADECIMIENTOS

Nuestras familias y amigos dentro y fuera de la facultad que nos apoyaron durante toda la carrera.

A Juana Villalba, Juan Martin Sorrondegui y Diego Sorrondegui por el apoyo y tiempo que nos dieron durante toda la tesis.

A la empresa Rutilan S.A. que nos brindó todo lo necesario para poder hacer esta tesis.

Sully Toledo por su ayuda en el tramo final.

A la Facultad de Agronomía que nos deja mucho más que un título universitario.

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 CULTIVO DE SOJA RR..... | 3 |
| 2.2 INCORPORACIÓN DE SOJA CON RESISTENCIA A OTROS HERBICIDAS | 5 |
| 2.3 RESEÑA DE FORMULACIONES DE 2,4-D Y DICAMBA..... | 6 |
| 2.3.1 <u>2,4-D y sus formulaciones</u> | 6 |
| 2.3.1.1 2,4-D dimetilamina..... | 7 |
| 2.3.1.2 2,4-D sal colina | 7 |
| 2.3.1.3 2,4-D butyl éster | 8 |
| 2.3.2 <u>Dicamba</u> | 8 |
| 2.4 VOLATILIZACIÓN Y DERIVA..... | 9 |
| 2.5 FACTORES QUE AFECTAN VOLATILIZACIÓN Y DERIVA . | 10 |
| 2.5.1 <u>Clima</u> | 11 |
| 2.5.1.1 Velocidad del viento..... | 11 |
| 2.5.1.2 Dirección del viento | 12 |
| 2.5.1.3 Inversión térmica | 12 |
| 2.5.1.4 Humedad y temperatura | 12 |
| 2.5.2 <u>Equipos de aplicación y técnicas de aplicación</u> | 13 |
| 2.5.3 <u>Características del líquido pulverizado</u> | 16 |
| | |
| 3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> | 17 |
| 3.1 LOCALIZACIÓN..... | 17 |
| 3.2 EXPERIMENTO VOLATILIZACIÓN..... | 18 |
| 3.2.1 <u>Tratamientos y diseño experimental</u> | 18 |
| | |
| | IV |

| | |
|--|----|
| 3.2.2 <u>Metodología del experimento</u> | 19 |
| 3.2.3 <u>Condiciones meteorológicas al momento de instalación</u> | 21 |
| 3.2.4 <u>Determinación de daño por volatilización</u> | 22 |
| 3.2.5 <u>Análisis estadístico</u> | 23 |
| 3.3 EXPERIMENTO DERIVA | 23 |
| 3.3.1 <u>Tratamientos y diseño experimental</u> | 23 |
| 3.3.2 <u>Metodología de instalación</u> | 24 |
| 3.3.3 <u>Condiciones meteorológicas al momento de la instalación</u> | 25 |
| 3.3.4 <u>Determinación del daño por deriva</u> | 25 |
| 3.3.5 <u>Análisis estadístico</u> | 27 |
| 4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> | 28 |
| 4.1 EXPERIMENTO VOLATILIZACIÓN | 28 |
| 4.2 EXPERIMENTO DERIVA | 33 |
| 5. <u>CONCLUSIONES</u> | 42 |
| 6. <u>RESUMEN</u> | 43 |
| 7. <u>SUMMARY</u> | 45 |
| 8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> | 46 |

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

| Cuadro No. | Página |
|--|--------|
| 1. Guía de velocidad de viento..... | 11 |
| 2. Clasificación de tamaño de gota..... | 14 |
| 3. Tamaño de gota producido por diferentes boquillas a distintas presiones.... | 15 |
| 4. Descripción de los tratamientos..... | 18 |
| 5. Condiciones meteorológicas al momento de la instalación del experimento de volatilización..... | 21 |
| 6. Tratamientos del experimento de deriva..... | 23 |
| 7. Condiciones meteorológicas al momento de la instalación del experimento de deriva..... | 25 |
| 8. p- valor de efecto herbicida, distancia y herbicida por distancia a las cuatro momentos de medición del experimento volatilización..... | 28 |
| 9. Promedio de daño por tratamiento..... | 29 |
| 10. Contrastes del estudio de regresión..... | 37 |
| 11. Porcentaje de daño promedio por medida a los 34 DDA..... | 40 |
| | |
| Figura No. | |
| 1. Aumento cronológico de resistencia global de malezas según modo de acción..... | 5 |
| 2. Condiciones meteorológicas 48 horas post instalación del experimento..... | 21 |
| 3. Croquis parcela volatilización..... | 22 |
| 4. Croquis tratamientos y repeticiones en experimento de volatilización..... | 22 |
| 5. Croquis parcela experimento de deriva..... | 25 |
| 7. Porcentaje de daño por tratamiento por día de medición..... | 31 |
| 8. Porcentaje de daño por distancia 10 DDA..... | 32 |
| 9. Porcentaje de daño por distancia 17 DDA..... | 32 |
| 10. Porcentaje de daño por distancia 25 DDA..... | 33 |
| 11. Porcentaje de daño por distancia 32 DDA..... | 33 |
| 12. Evolución del daño ocasionado por la deriva de los distintos tratamientos a los 7 DDA..... | 35 |

| | |
|---|----|
| 13. Evolución del daño ocasionado por la deriva de los distintos tratamientos a los 14 DDA | 36 |
| 14. Evolución del daño ocasionado por la deriva de los distintos tratamientos a los 34 DDA | 37 |

Imagen No.

| | |
|---|----|
| 1. Ubicación geográfica de los experimentos. | 17 |
| 2. Foto del experimento de volatilización..... | 19 |
| 3. Detalle de bandejas con herbicidas dentro de invernáculos..... | 20 |
| 4. Parcela del experimento de deriva | 26 |
| 5. Soja presentando fitotoxicidad por dicamba | 34 |
| 6. Soja presentando fitotoxicidad por 2,4-D dimetilamina..... | 34 |

1. INTRODUCCIÓN

El Uruguay en los últimos 17 años ha sufrido cambios muy importantes en la agricultura. Se constató un importante aumento del área cultivada, en particular de la soja, que pasó de 12.000 hectáreas en la zafra 2001/02 a 1.103.000 hectáreas en la zafra 2016/17(MGAP. DIEA, 2017).

Este aumento del área se debió a una importante coyuntura económica y tecnológica. En materia de lo económico se presentó un escenario internacional de muy altos precios de venta de soja, donde por ejemplo el precio promedio anual puesto en Montevideo del año 2012 se ubicó por encima de los 540 dólares por tonelada. Esto indudablemente convirtió a este cultivo en un negocio muy rentable.

A su vez por el lado de lo tecnológico se difundió la utilización de semillas con tolerancia a glifosato que acompañó la adopción de la siembra directa. Estas tecnologías adoptadas permitieron mayores rendimientos.

Hoy en día casi la totalidad del área de soja y maíz se hace con plantas transgénicas tolerantes al glifosato lo que trae aparejado un uso intenso de este herbicida. Sin embargo el uso del glifosato en el largo plazo generó y generará malezas tolerantes a este herbicida.

Mundialmente, se dio un aumento del número de biotipos de malezas con distintos tipos de resistencias. Este aumento ha generado una mayor complejidad a la hora de controlarlas en cultivos. En los últimos diez años se aumentó de 357 biotipos resistentes en 2007 a 495 en 2018 (Heap, 2018).

Paralelamente a la aparición de este problema, se han ido desarrollando nuevos eventos biotecnológicos que le proveen nuevas tolerancias a los cultivos económicamente más relevantes.

Un ejemplo de esto son las futuras resistencias en soja a 2,4-D, glufosinato de amonio y glifosato (Enlist) y dicamba (Extend), y en maíz a 2,4-D, glifosato y haloxyfop (Enlist). Estas nuevas tolerancias van a brindar importantes herramientas a la hora de controlar malezas resistentes, pero traen aparejado nuevos desafíos en lo que refiere a la coexistencia de distintos cultivos y distintas tolerancias asociadas. En un futuro cercano van a coexistir en el campo uruguayo cultivos de soja y maíz con distintas tolerancia a herbicidas hormonales y a su vez con cultivos resistentes solo a glifosato.

Históricamente, los cultivos de invierno predominaban sobre los de verano siendo en invierno donde mayoritariamente se realizaba aplicaciones de herbicidas. La expansión de cultivos de verano (mayoritariamente soja), trajo consigo un aumento en el uso de herbicidas, de tipo hormonales, en momentos donde anteriormente no se utilizaban en barbecho químico y ahora la posibilidad de uso en el propio cultivo.

Este nuevo escenario y las características de las moléculas 2,4-D y dicamba en relación a su potencial de volatilización, marca la necesidad de generar conocimiento en lo referido a deriva física y volatilidad de estos herbicidas como puntos fundamentales para una factible coexistencia de cultivos. Por eso también es importante seleccionar las tecnologías más adecuadas para obtener una buena eficiencia en el momento de aplicar y que minimicen los posibles problemas de deriva.

En este contexto se planteó el siguiente trabajo, que se llevó a cabo en dos experimentos. El primero tuvo por objetivo evaluar la volatilidad de dicamba y de diferentes formulaciones del herbicida 2,4-D. El segundo experimento se planteó con el objetivo de evaluar la deriva del herbicida 2,4-D en diferentes formulaciones y aplicando con diferentes tecnologías de aplicación.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTIVO DE SOJA RR

El área de soja en el país sufrió incrementos sustanciales que lo convirtieron en el rubro agrícola más importante del país. Esto se hizo de la mano de avances biotecnológicos como los cultivos transgénicos.

Actualmente, casi la totalidad del área de cultivos de verano se siembra con cultivos transgénicos. Esta área de cultivos transgénicos es de 1.266.000 hectáreas de cultivos transgénicos, de los cuales 1.130.000 son de soja y 136.000 corresponden a maíz CUS (2017). Esto demuestra la gran adopción que hay de esta tecnología.

El evento transgénico más impactante para el país fue habilitado en el año 1996 por el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Este evento (GTS 40-3-2) es una línea de soja que posee tolerancia al herbicida Roundup, este siendo el nombre comercial del glifosato de la empresa Monsanto.

La soja GTS 40-3-2 contiene una enzima llamada 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintetasa (EPSPS) que le permite sobrevivir cuando es expuesta a una dosis de glifosato, que de no tenerla esta dosis sería letal para la planta. La explicación de la tolerancia es que el gen EPSPS insertado en GTS 40-3-2 fue aislado de un gen (CP4) de bacteria común del suelo llamado *Agrobacterium tumefaciens*, que contiene una variante de la enzima EPSPS que tolera al glifosato naturalmente (BCH, 2012).

La inserción de esta tecnología permitió una mejora sustancial en el manejo de malezas. El glifosato permite un control más práctico y más completo que los manejos anteriores que consistían muchas veces del uso de herbicidas pre emergentes con prácticas de laboreo y a veces herbicidas post emergentes que producían daños sobre los cultivos y mermas en los rendimientos (Fernández et al., 2017).

BCH (2012) menciona que sin embargo esta tecnología que fue y en gran medida sigue siendo muy eficaz, dejó de serlo. El abuso del uso de este herbicida fue generando en el largo plazo mayor presión de malezas tolerantes e incluso resistencias que antes no se expresaron.

La resistencia de biotipos de malezas a herbicidas es consecuencia de la mutación natural y de procesos evolutivos. Los biotipos mejores adaptados y no susceptibles a determinada práctica o aplicación de un cierto herbicida son las que permanecerán y aumentarán su población. La menor presión de

selección se logra por medio de distintas prácticas de manejo, esto logra mitigar y desacelerar el proceso de generación de resistencia (HRAC, 2017).

La resistencia de una maleza es la habilidad de sobrevivir a un determinado herbicida, donde normalmente ese herbicida a esa dosis eliminaría la maleza. Por otro lado la tolerancia de una maleza a un herbicida se define como la capacidad inherente de esta a sobrevivir al estar expuesta a este herbicida y luego poder reproducirse (HRAC, 2017).

De Prado y Cruz-Hipólito (2010) expresan que plantas o malezas que sobreviven a la dosis recomendada de un herbicida aunque puedan ser controladas a dosis superiores a las recomendadas son conocidas como plantas con tolerancia natural. Los mismos autores definen resistencia como el desarrollo de un biotipo de malezas que originalmente eran susceptibles a un herbicida y dejan de serlo, como consecuencia de un proceso de presión selectiva.

Existen distintos tipos de resistencia, resistencia simple, cruzada o múltiple. La simple es cuando esa resistencia es hacia un solo principio activo. La cruzada refiere a un biotipo de maleza que es resistente a dos o más herbicidas con igual modo de acción. Y la múltiple refiere a biotipos que tienen resistencia a varios herbicidas, pero estos con distintos modos de acción (Diez de Ulzurrun, 2013).

En la figura 1 se expresa el incremento en biotipos resistentes a distintos modos de acción en el correr de los años. Se puede identificar un incremento creciente de estas resistencias, especialmente en los últimos 30 años. Según Heap (2018) en la actualidad hay 495 biotipos resistentes que presentan algún tipo de resistencia a un modo de acción.

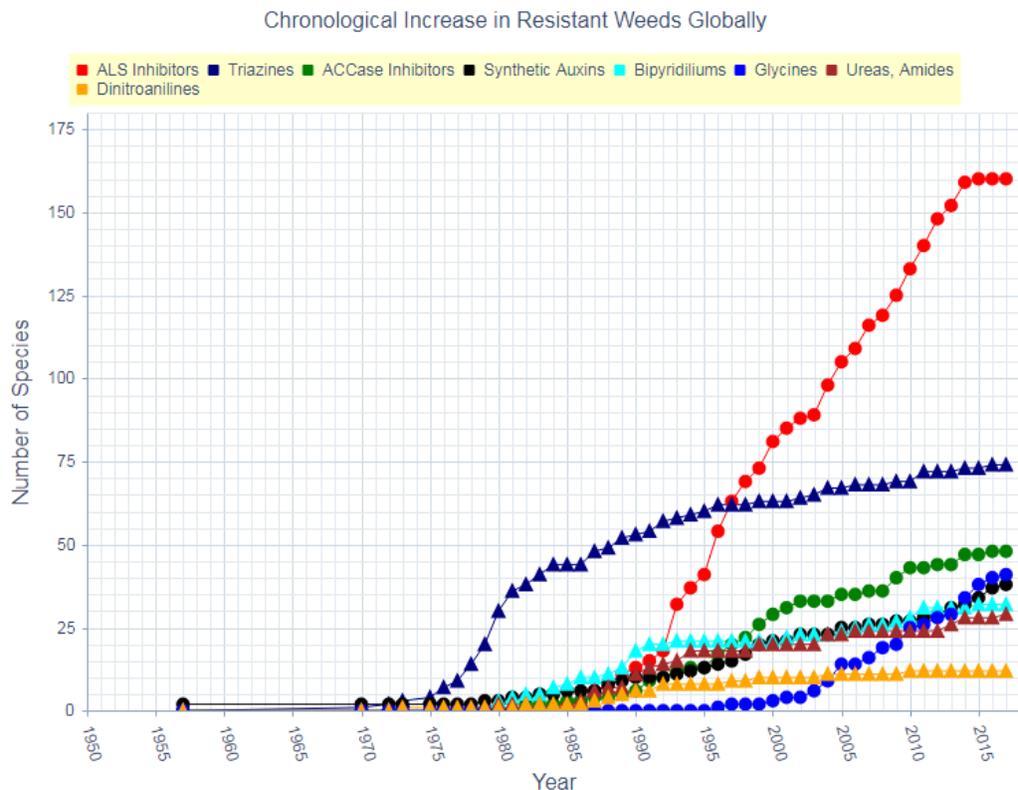


Figura 1. Aumento cronológico de resistencia global de malezas según modo de acción.

Fuente: Heap (2018).

2.2 INCORPORACIÓN DE SOJA CON RESISTENCIA A OTROS HERBICIDAS

Los eventos Enlist, van a permitir a los productores utilizar nuevos herbicidas para el control de malezas anuales y/o perennes en soja, algodón y maíz.

En soja va a habilitar el uso de 2,4-D, glufosinato de amonio y glifosato tanto en pre como post emergencia del cultivo.

El evento para soja DAS-44406-6 (Enlist) contiene tres genes de suma importancia. El gen *aad-12* de *Deftia acidovorans* el cual codifica para la proteína AAD-12 (ariloxialcanoatodioxigenasa 12) confiriéndole tolerancia al herbicida 2,4-D. Por otra parte el evento posee el gen *pat* aislado de *Streptomyces viridochromogens*, codificando la proteína fosfotricina-acetil transferasa (PAT) y este le confiere tolerancia al herbicida glufosinato de amonio. Finalmente el gen *2mepsps* proviene de *Zea mays*, está diseñado para

expresar una doble mutación del gen nativo que codifica para la proteína 5-enolpiruvilshikimato-3 fosfato (2mEPSPS), otorgando tolerancia al glifosato (MAGP. SAGyP, 2012).

Según Tuesca et al. (2016) este paquete tecnológico que incluye aparte de los eventos transgénicos en soja y maíz a los herbicidas Enlist (Colex-D) y Enlist Duo (Colex-D), agrega una opción de control de la maleza *Amaranthus palmeri*, que en este momento presenta una gran desafío de control, considerando las tecnologías actuales.

Enlisto Duo (Colex-D) es un producto mezcla de dos principios activos, 2,4-D sal colina (22,4%) y glifosato dimetilamina (22,1%). También posee glicol de propileno (6,4%) y otros ingredientes (47,1%, Dow Agrosiences, 2014).

Enlist (Colex-D) es un producto que solo va a ser comercializado en Latinoamérica, su principal diferencia es que no tiene glifosato dimetilamina. Su principio activo herbicida sería el 2,4-D sal colina a una mayor concentración, 56,5% (Dow Agrosiences, 2014).

Ambos productos son formulados con la tecnología Colex-D, lo cual es un paquete de coadyuvantes, que según Dow Agrosiences (2014) le atribuye un potencial de minimizar la deriva.

2.3 RESEÑA DE FORMULACIONES DE 2.4-D Y DICAMBA

2.3.1 2,4-D y sus formulaciones

El herbicida 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético) pertenece al grupo fenoxi- carboxílico. Se menciona que el principal uso de este grupo es para el control en pos emergencia de malezas de hoja ancha (Anderson, 1983).

Este autor menciona que generalmente se utilizan los herbicidas de este grupo en forma de sales y ésteres. Las sales comunes utilizadas son aminas, sódicas y amoniacaes, pero la más utilizada sin duda es la amina. La sal amina se caracteriza por tener una buena solubilidad en agua lo cual forma una solución verdadera y se comporta bien cuando se aplica con volúmenes de aplicación reducidos. Las sales aminas comúnmente utilizadas incluyen dimethylamina, trimethylamina, dietanolamina, trietanolamina y aminas en combinaciones con metilo, etilo y sustituyentes de etanol. Una característica de las sales es que cuando se utilizan con aguas duras los iones de calcio y magnesio pueden formar sales insolubles con la parte aniónica del herbicida. Estas sales insolubles precipitan en la solución del caldo y tapan y obstruyen

filtros y boquillas. De las tres sales utilizadas las aminas son las menos afectadas por este fenómeno.

El 2,4-D al ser un ácido débil cuando está en solución puede tender a unirse a cationes cuando se utilizan aguas duras para las aplicaciones, Roskamp et al. (2013) comprobaron que el agregado de sulfato de amonio aumenta el porcentaje de control de malezas cuando las aguas son duras.

Por otro lado, Scott, citado por Unglesbee (2017), afirma que se elimina el uso de sales amoniacaes y sulfato de amonio dentro de las formulaciones ya que acidifican la solución. Ya que esto afecta las soluciones de herbicidas rompiendo las largas cadenas de moléculas reduciendo la capacidad de no volatilizarse.

2.3.1.1 2,4-D dimetilamina

Según Dow Agrosiences (2017), 2,4-D dimetilamina presenta bajo potencial de volatilización. Se recomienda para aplicar en zonas críticas donde la volatilidad de los otros selectivos puede crear un problema.

En el estudio de Montoya y Porfiri (s.f.) aseguran que la volatilidad está directamente relacionada a la presión de vapor inherente al compuesto químico. La sal dimetilamina teniendo una presión de vapor entre 1×10^{-7} y $1,4 \times 10^{-7}$ se clasifica como de baja volatilidad.

A su vez Grover et al. (1972) aseguran que el potencial de deriva de esta formulación es entre 8 y 10 veces menor en comparación con un 2,4-D de formulación butyl ester (en condiciones determinadas).

2.3.1.2 2,4-D sal colina

Según Dow Agrosiences (2017), la sal colina de 2,4-D con tecnología Colex-D fue especialmente desarrollada para otorgar a esta formulación atributos como ser de ultra-baja volatilidad (en relación con la dimetilamina y éster), reducido olor y mínimo potencia de deriva física.

Otros autores como Eytcheson (s.f.) exhiben que este tipo de sal de 2,4-D presenta mayor estabilidad y una menor posibilidad de volatilidad que las otras formulaciones.

Wilson et al. (2012) hacen un experimento entre 2,4-D dimetilamina y 2,4-D colina donde llegan a resultados que el 2,4-D colina produce menos gotas

(32%) menores a 140um, indicando una característica que produce menos deriva potencial.

Sosnoskie et al. (2015) determinaron que el 2,4-D sal colina tiene una reducida capacidad de volatilizarse en comparación con un éster de 2,4-D y que no debería volatilizarse más que un 2,4-D dimetilamina.

2.3.1.3 2,4-D butyl éster

Esteres de los herbicidas fenoxi-carboxilicos son solubles en aceites pero insolubles en agua, y por razones prácticas son formulados como concentrados emulsionables. La molécula de los herbicidas éster es no iónica (no se disocia en agua) y a diferencia de las sales no reacciona con calcio y magnesio, por lo que no precipita en casos de utilizarse con aguas duras. Los esterres de cadena corta utilizados que son metilo, etilo, isopropilo y butilo son altamente volátiles incluso con temperaturas estándar lo que presenta una amenaza para plantas no blanco susceptibles. Los esterres de cadena larga tienden a ser menos volátiles que los de cadena corta (Anderson, 1983).

Según Bosch (1983), la volatilización de 2,4-D butylester de suelos húmedos suele ser un proceso importante según la constante de Henry, derivada de su presión de vapor y su solubilidad en agua. En otro escenario, cuando es aplicado sobre suelos secos, no se espera que se volatilice basado en su presión de vapor.

2.3.2 Dicamba

El dicamba puede ser formulado de diferentes maneras, puede ser a base de sales potásicas, diglicolamina, sales sódicas o dimetilaminas. El dicamba formulado a base sales dimetilamina ocasionan mayores daños que los otros (Hartzler, 2017). Esta formulación es la utilizada en el experimento.

Por su alto valor de presión de vapor ($2,0 \times 10^{-5}$ mm Hg a 25°C) tiene alta predisposición a volatilizarse según Beherens et al. (1979). Los mismos autores en su trabajo comparan que en Minnessota en el año 1974 se aplicaron 200.000 ha con dicamba y se reportaron 68 casos de daño por deriva en soja, mientras que 2,4-D fue utilizado en 800.000 ha y solo se reportaron 7 casos daño por deriva.

Da Silva et al. (2018) comprueban que el dicamba en comparación con 2,4-D es hasta dos veces más dañino en cultivos como soja sin resistencias a herbicidas hormonales.

Werle et al. (2018) por su parte, comentan que el agregado de sulfato de amonio como coadyuvante para un aplicación de dicamba, aumenta la volatilidad de este.

2.4 VOLATILIZACIÓN Y DERIVA

Hoy en día los agroquímicos desempeñan un rol fundamental en la producción agrícola, que ha ocasionado preocupación en diversos segmentos de la sociedad por su potencial riesgo ambiental. En la sociedad hay consenso de que los agroquímicos son perjudiciales para el hombre (Cunha et al., 2013).

Esto mencionado anteriormente ha dado lugar a que se estudie y desarrolle fuertemente la tecnología de aplicación, que es colocar una cantidad conocida de ingrediente activo en el objetivo, con la máxima eficiencia y de la manera más económica posible, sin afectar el ambiente (Durigan, citado por Cunha et al., 2013).

Mueller (2015) afirma que la volatilidad, a veces llamada deriva de vapor ocurre cuando el herbicida luego de aterrizar en la planta sufre una transformación y se vuelve gaseoso. Este después por medio del viento acaba en un lugar diferente al que se lo quiso aplicar en su principio.

La volatilidad representa la tendencia de un fitosanitario a pasar a la fase gaseosa. Todas las sustancias orgánicas son volátiles en algún grado dependiendo de su presión de vapor, del estado físico en que se encuentren y de la temperatura ambiente. La volatilidad se mide a partir de la constante de Henry, la cual depende de la presión de vapor en estado líquido y de la solubilidad en agua (Etiennot y Piazza, 2010).

EPA (2016) define la deriva de pesticida pulverizado como el movimiento de polvo o gotas a través del aire al momento de la aplicación o poco después a un lugar distinto de donde se intentó aplicar. La gran mayoría de los productos de protección vegetal son líquidos pulverizados (Farooq et al., 2001).

La deriva de agroquímicos es considerada como una de las mayores causas de daño indeseado de estos. Estos productos químicos por su complejidad y peligrosidad obligan a ser aplicados de una manera lo más eficiente y efectiva posible. La gran mayoría de estos productos son considerados ambientalmente amigables o con poco riesgo para este, sin embargo el incremento en el uso de productos no selectivos o principios activos

potentes aumentan el riesgo de daño a cultivos no objetivo o al ecosistema en sí (Farooq et al., 2001).

La deriva según Himel, citado por Mathews y Hislop (1993) puede ser separada en endo deriva y exo deriva. La endo deriva refiere a producto aplicado que cae al suelo por resbalarse por el haz de la hoja o por ser aplicado sobre un insecto. Exo deriva es producto que no llega al objetivo por la acción del viento.

2.5 FACTORES QUE AFECTAN VOLATILIZACIÓN Y DERIVA

Según Moya, citado por Etiennot y Piazza (2010) los factores físicos y químicos del producto aplicado, clima, la técnica y tecnología de aplicación son los factores que inciden a que un producto se pueda volatilizar.

Estos autores dentro de los factores climáticos, mencionan la temperatura, la humedad relativa del aire y el viento como los que más inciden. La presión de vapor, ligada a la deriva de vapor, se incrementa con el aumento de la temperatura y disminuye cuando la misma desciende.

Valores de humedad muy bajos, 50% o menos, pueden causar gran evaporación reduciendo el diámetro de las gotas antes que lleguen al blanco (Etiennot y Piazza, 2010).

La deriva de productos pulverizados es función de condiciones meteorológicas que a su vez son condicionadas por parámetros de aplicación como calidad de aplicación, altura de aplicación y presión de aplicación. Para que una aplicación sea efectiva se debe combinar determinados parámetros de aplicación para distintas condiciones meteorológicas (Farooq et al., 2001).

Ozkan (2016) expone que eliminar totalmente la deriva de las pulverizaciones es imposible, pero sin embargo los problemas pueden ser reducidos significativamente si el aplicador está atento a los factores que más afectan la deriva.

Tamaño de gota y velocidad de viento son los parámetros más influyentes en el efecto de la deriva. La humedad relativa influye en el coeficiente de evaporación de una gota, por lo tanto afecta su tamaño, tiempo de vuelo, velocidad y distancia de deriva (Farooq et al., 2001).

Según European Crop Protection (s.f.) hay variables que se pueden catalogar como controlables o modificables como son la calibración de la pulverizadora y técnicas de aplicación, mientras que hay variables no

modificables a las que hay que adaptarse como son la velocidad y dirección del viento.

Estas variables mencionadas anteriormente son categorizadas por Farooq et al. (2001) en cuatro, donde se puede ver que tres de éstas pueden ser controladas, equipo de aplicación y técnicas de aplicación; característica de la pulverización; cuidado y habilidad del operario y una sola que es el clima es una variable que condiciona las demás.

2.5.1 Clima

2.5.1.1 Velocidad del viento

La cantidad de agroquímicos desviado de su objetivo y distancia de éste, aumenta proporcionalmente a la velocidad del viento. La mayoría de las recomendaciones no indican aplicar con condiciones de velocidad de viento que superen los 16 km/h (Sumner, 1997).

Otros autores como Frank, citado por Celen y Onler (2011) aseguran que la deriva es incontrolable a velocidades de vientos dentro de 10-12 km/h, y que todas las aplicaciones deben ser suspendidas a velocidad de viento superiores a las mencionadas.

En el cuadro 1 se expresan diferentes escenarios con respecto a la velocidad del viento y los recaudos necesarios a tomar para cada caso, considerando deriva de fitosanitarios.

Cuadro 1. Guía de velocidad de viento.

| Velocidad del viento a la altura del botalón | Escala de Beaufort a 10m | Recomendación de aplicación |
|--|--------------------------|--|
| menos de 2km/h | Fuerza 0 | Usar tamaño de gota medio o grueso |
| 2.3-3.2 km/h | Fuerza 1 | Condiciones aceptables para aplicar |
| 3.2-6.5 km/h | Fuerza 2 | Condiciones ideales de aplicación |
| 6.5-9.6 km/h | Fuerza 3 | Incremento en el riesgo de deriva, tener cuidado |
| 9.6-14.5 km/h | Fuerza 4 | No se recomienda |

| | | |
|--|--|---------|
| | | aplicar |
|--|--|---------|

Fuente: adaptado de Crop Protection Association (s.f.).

2.5.1.2 Dirección del viento

Celen y Onler (2011) consideran que la dirección del viento es tan importante como la velocidad del viento, especialmente si hay cultivos adyacentes sensibles a los agroquímicos que se van a aplicar. Recomiendan que si la dirección del viento es hacia un cultivo sensible se debe como mínimo dejar una zona buffer de 30 metros.

Otro autor como Sumner (1997) no realiza aplicaciones si hay un cultivo adyacente sensible, recomienda esperar hasta que cambie el viento.

2.5.1.3 Inversión térmica

La inversión térmica se da cuando una capa de aire frío que está cerca del suelo está atrapada bajo una capa de aire caliente. Las condiciones para que se de este fenómeno se dan cuando el suelo está con una temperatura aproximada de 1,6° C. (Sumner ,1997).

Bajo condiciones severas de inversión puede ocurrir deriva, esto ocurre porque las gotas quedan suspendidas en la capa de aire caliente no pudiendo penetrar la capa de aire fría sobre el suelo y luego con una leve brisa esta capa con agroquímicos puede viajar grandes distancias (Sumner, 1997).

Wolf, citado por Celen y Onler (2011) indica que cuando se dan condiciones de inversión térmica es recomendable esperar a condiciones más favorables. Las condiciones más favorables referidas son cuando hay un viento suave y constante en su dirección y velocidad.

2.5.1.4 Humedad y temperatura

Sumner (1997) hace referencia en su trabajo a que baja humedad relativa y/o altas temperaturas causan mayor evaporación de las gotas de una pulverización, favoreciendo la deriva ya que la evaporación hace que las gotas sean más pequeñas. A su vez menciona que si la humedad relativa es superior a 70% las condiciones son ideales para aplicar. Y por otro lado menciona que una humedad relativa por debajo de 50% es riesgosa y se debe poner atención a la aplicación.

2.5.2 Equipos de aplicación y técnicas de aplicación

Existen varios tipos de pulverizadores hidráulicos, que van desde los más simples, de tipo costal, utilizados en pequeñas áreas, hasta los equipos más sofisticados, como los pulverizadores de barra autopropulsados. Estos equipos y los picos de pulverización representan sin duda uno de los principales componentes que garantizan la calidad y la seguridad de la aplicación (Tewari et al., 1998).

Lo que se llama genéricamente pico es un conjunto de piezas colocado al final del circuito hidráulico, a través del cual es emitido el caldo de la máquina. Este pico está compuesto de varias partes, de la cual la punta de pulverización es la más importante, regulando la salida, tamaño de gotas y forma de aspersión emitida (Christofolletti, citado por Cunha et al., 2013).

El patrón de aspersión de una boquilla está formado por muchas gotas de diversos tamaños. El tamaño de la gota es el diámetro de una gota individual de aspersión. El tamaño de las gotas se expresa en micrones (micras). Un micrón equivale a 0.001 mm. La mayoría de las boquillas producen una amplia gama de tamaños de gota. Generalmente esos tamaños de gota se resumen mediante análisis estadísticos basados en los resultados de pruebas realizadas con equipos sofisticados para la medición del tamaño de las gotas, Tee-Jet (2004).

Una selección inadecuada de las boquillas de pulverización o el uso de boquillas que operan por debajo de su nivel óptimo de desempeño puede conducir a la necesidad de volver a pulverizar o a una reducción en el rendimiento (Tee-Jet, 2004).

La forma de aspersión de las boquillas según Tee-Jet (2004) se clasifican en tres tipos, abanico plano, cono hueco, cono lleno.

ASABE (2009) desarrolló una clasificación de tamaños de gota (ASABE S-572.1) que va desde extremadamente fina hasta ultra gruesa, basado en diámetro volumétrico mediano (DVM) medido en micrones (cuadro 2).

El DVM refiere a la mediana del tamaño de un grupo de gotas, donde la mitad del volumen de las gotas totales está por debajo de ese valor y la otra mitad del volumen de la aplicación está por encima. A modo de ejemplo, un DVM de 400 micrones indica que la mitad del volumen de la aplicación está en tamaño de gotas menor a 400 micrones y la otra mitad del volumen aplicado está en gotas superiores a 400 micrones, tomado de Pesticide Environmental Stewardship (s.f.).

Cuadro 2. Clasificación de tamaño de gota.

| Clasificación | Símbolo (en inglés) | Código de color | Rango aprox. DVM (micrones) |
|-----------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Extremadamente fina | XF | Púrpura | <60 |
| Muy fina | VF | Rojo | 60-145 |
| Fina | F | Naranja | 145-225 |
| Media | M | Amarillo | 226-325 |
| Gruesa | C | Azul | 326-400 |
| Muy gruesa | VC | Verde | 401-500 |
| Extremadamente gruesa | EC | Blanco | 501-650 |
| Ultra gruesa | UC | Negro | >650 |

XF= Extra fine; VF= Very fine; F= Fine; M= Medium; C= Coarse; VC= Very coarse; EC= Extremely coarse.

Fuente: adaptado de ASABE (2018).

Tee Jet (2004) asegura que el tamaño de gota es un factor clave a la hora de elegir una boquilla. En casos de aplicaciones donde es importante la cobertura aconseja utilizar boquillas que generen gotas finas ya que se logra mejor cobertura con estas. Por otro lado, para aplicaciones con productos sistémicos o aplicados al suelo donde la cobertura no es tan importante se recomiendan boquillas que produzcan gotas medianas.

Muchos trabajos han estudiado la eficiencia de una aplicación experimentando variaciones en el tamaño de gota y tipo de aplicación y difieren de lo antes mencionado. Olivet et al. (2013) mencionan en un experimento sobre control de mancha amarilla en trigo que el tamaño de gota en el control de esta enfermedad no presenta diferencias entre tratamientos. Incluso en una aplicación en soja donde el objetivo fue una mejor llegada de producto a los estratos inferiores del cultivo se vieron mejores resultados con tamaños de gota muy gruesos (VC) que finos (F). La diferencia entre utilizar un tamaño de gota fino (F) y una gota gruesa (C) radica en el potencial de deriva, el cual con gotas finas es mayor que utilizando una de tamaño mayor. Por consiguiente no hay razón para utilizar boquillas que produzcan gotas finas ya que no le agrega beneficio alguno a la aplicación.

Tee-Jet (2004) asegura que las boquillas venturi o de aire inducido (AI) son ideales para reducir la deriva. Estas lo hacen por medio de introducción de aire hacia el interior de la boquilla creando un patrón de aspersion formado por gotas gruesas, grandes llenas de aire y muy poco susceptible a la deriva. Comparando una boquilla abanico plano (XR) con una de abanico plano aire inducido (AIXR) de mismas características (caudal y ángulo de aspersion) y misma presión de trabajo produciría gotas mucho más finas. Se expresa lo referido anteriormente en el cuadro 3.

Cuadro 3. Tamaño de gota producido por diferentes boquillas a distintas presiones.

| | Tamaño de gota por tipo de boquilla | | | |
|-----|-------------------------------------|------------|----------|------------|
| bar | XR11015 | AIXR 11015 | XR 11003 | AIXR 11003 |
| 2 | F | MG | F | XG |
| 4 | F | G | F | G |

F= fina; M= media; G= gruesa; MG= muy gruesa; XG= extremadamente gruesa

Fuente: adaptado de Tee-Jet (2011).

Una presión más elevada de trabajo produce una disminución en el tamaño de gotas lo que aumenta el potencial de deriva. Por otra parte, trabajar con presiones más elevadas genera un mayor desgaste al orificio de la boquilla. A su vez se asevera que trabajar con presiones incorrectas influye en el ángulo y la cobertura de la pulverización, por lo que Tee Jet (2004) recomienda trabajar en el rango de presión apropiado para cada boquilla.

Sumner (1997) menciona que la relación entre la tasa de flujo (l/min) y la presión de trabajo (psi) no es lineal. Esto es importante para cuando se quiere aumentar el volumen de aplicación, para modo de ejemplo para duplicar el volumen de aplicación por medio de aumento de presión, este debería cuadruplicarse para conseguir este resultado. Esta acción recién descrita favorece mucho a la deriva, por lo que aumentar la presión de trabajo para aumentar el volumen de aplicación es una acción inaceptable ya que disminuye el DVM de la pulverización. Una solución coherente a este problema es seleccionar boquillas con mayor capacidad de caudal.

Miller, Hobson et al., Miller et al., citados por Matthews y Hislop (1993) demostraron que gotas menores a 75 um son las más propensas a ser arrastradas por el viento, por ende un rango de gotas con este tamaño tiene altas probabilidades de generar deriva.

El botalón tiene regulación de altura y según Bretthauer (2015) de la Universidad de Illinois al incrementar la altura del botalón, se aumenta la distancia que cada gota debe viajar desde la boquilla hasta el objetivo. Como consecuencia de este aumento en distancia, la gota pulverizada queda expuesta por más tiempo al viento, determinando que las gotas vuelen a mayores distancias.

Cuanto más alto esté la boquilla del cultivo o el objetivo, más oportunidad habrá para que el viento o corrientes de aire muevan las gotas aplicadas del lugar donde se quiso aplicar (Pesticide Environmental Stewardship, s.f.).

2.5.3 Características del líquido pulverizado

El tamaño de gotas producidas por una boquilla de pulverización depende de varios factores, entre los cuales se pueden destacar las propiedades del líquido pulverizado. Fluidos con mayor viscosidad y tensión superficial requieren mayor cantidad de energía para la pulverización. Por lo tanto la pulverización de líquidos que tengan mayor viscosidad y mayor tensión superficial producen gotas de mayor tamaño (Christofoletti, citado por Cunha et al., 2013).

Los cambios en las propiedades sobre los líquidos pulverizados pueden influenciar tanto el proceso de formación de gotas como el comportamiento de estas cuando toman contacto con el blanco, alterando el riesgo potencial de la deriva de aplicación (Miller y Ellis, citados por Cunha et al., 2013).

De esta forma una opción encontrada para aumentar la viscosidad del líquido, como también la eficiencia de las pulverizaciones, ha sido la adición de aceite vegetal como adyuvante a los caldos de pulverización. La utilización de aceites vegetales tiene como principal función de adhesivo esparcidor, y también su característica de viscosidad puede alterar el espectro de gotas pulverizadas (Azevedo, citado por Cunha et al., 2013).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

Los experimentos fueron instalados en dos chacras distintas. El experimento de volatilidad se instaló en el departamento de Paysandú a 3.8 km del pueblo Porvenir ($32^{\circ}23'42.17''\text{S}$ $57^{\circ}56'24.10''\text{W}$). El experimento de deriva fue instalado en el departamento de Río Negro sobre la ruta 3 km 322 en el establecimiento La Tropicilla ($32^{\circ}37'27.60''\text{S}$ $57^{\circ}43'44.96''\text{W}$)

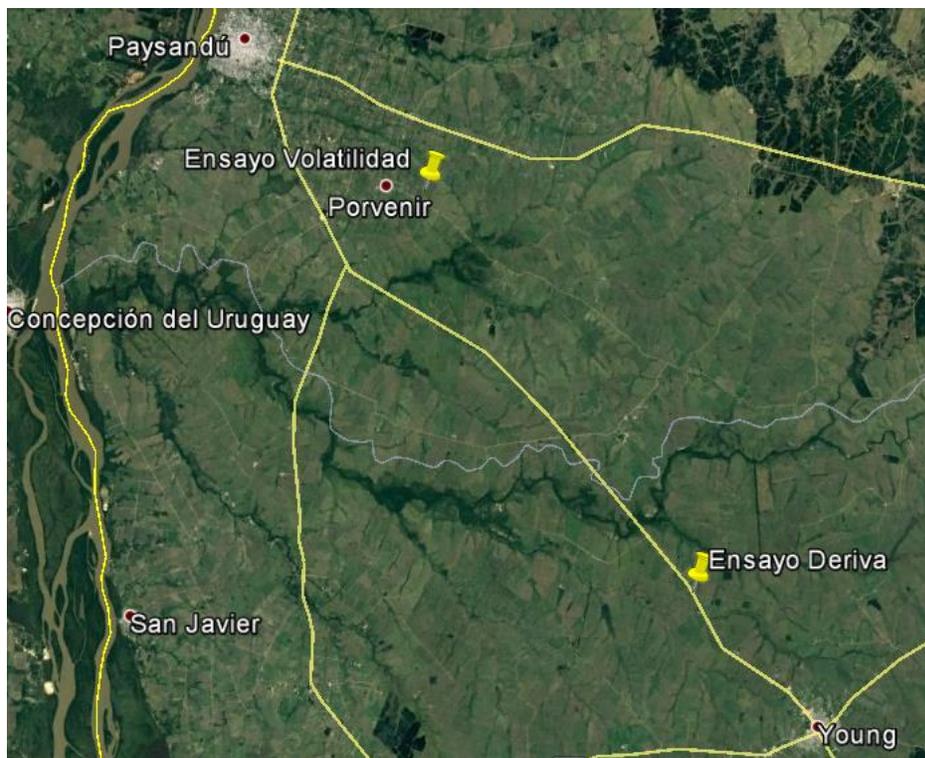


Imagen 1. Ubicación geográfica de los experimentos.

En ambos experimentos se trabajó sobre soja con tolerancia a glifosato "Roundup Ready", por lo que los daños mostrados son los provocados por los herbicidas hormonales evaluados.

3.2 EXPERIMENTO VOLATILIZACIÓN

3.2.1 Tratamientos y diseño experimental

El experimento consistió en cinco tratamientos herbicidas compuestos por mezclas de glifosato con un herbicida hormonal. El herbicida hormonal utilizado fue diferente en los tratamientos, siendo diferentes formulaciones de 2,4-D en cuatro de ellos y dicamba en el tratamiento restante.

Las dosis utilizadas de todos los principios activos fue de 4 veces la considerada “normal”. Lo normal en el caso de 2,4-D fue de 900g ea/ha, en glifosato fue de 960g ea/ha y en dicamba de 560g ea/ha.

Cuadro 4. Descripción de los tratamientos

| Trat. | Producto comercial | Ingrediente activo | Eq ácido (g/ha) | Dosis (ml o g/ha) |
|-------|-----------------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| 1 | Esteron Ultra | 2,4-D butyléster | 3647 | 4712 |
| | Panzer Gold | Glifosato dimetilamina | 3840 | 8000 |
| | Sulfato de amonio | | | 2400 |
| 2 | Amina Dow Agrosiences | 2,4-D dimetilamina | 3647 | 7520 |
| | Panzer Gold | Glifosato dimetilamina | 3840 | 8000 |
| | Sulfato de amonio | | | 2400 |
| 3 | Enlist (GF-3073) | 2,4-D sal colina | 3648 | 8000 |
| | Panzer Gold | Glifosato dimetilamina | 3840 | 8000 |
| | Sulfato de amonio | | | 2400 |
| 4 | Enlist Duo (GF-2726) | 2,4-D sal colina | 3648 | 18708 |
| | | Glifosato dimetilamina | 3835 | |
| | Sulfato de amonio | | | 2400 |
| 5 | Banvel | Dicamba dimetilamina | 2240 | 4668 |
| | RoundUP Ultramax | Glifosato monoamónico | 3802 | 5600 |
| | Sulfato de amonio | | | 2400 |

El agregado de sulfato de amonio al 2% v/v tuvo el objetivo de maximizar la volatilidad de los activos, según lo expresado en la revisión bibliográfica (Unglesbee 2017, Werle et al. 2018).

El diseño experimental fue un diseño completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento.



Imagen 2. Foto del experimento de volatilización

3.2.2 Metodología del experimento

El experimento se instaló el 28 de diciembre de 2015 sobre una soja RR sembrada a 42 cm de distancia entre hileras, en estadio de desarrollo V3-V4.

En primera instancia se procedió a instalar pequeños “invernáculos”, tres por cada tratamiento, lo que determinó 15 “invernáculos”. Los “invernáculos” consistieron en 4 arcos de hierro colocados equidistante entre si cubiertos con un pvc transparente. En los extremos se los dejó abierto para que corra el aire y no aumente demasiado la temperatura ocasionando la muerte de la soja. Cada uno de estos tenía 4 m de largo y ocupaba dos surcos de soja de ancho.

Luego se procedió a preparar 4 bandejas de 50cm x 30cm por repetición de cada tratamiento con 2 L de arena húmeda cada una. Se dispusieron las bandejas sobre el suelo en un lugar alejado de los “invernáculos”.

Una vez hecho esto, se aplicó la mezcla preparada para cada tratamiento sobre las bandejas con arena con un botalón experimental. El botalón era de 4 boquillas espaciado 0,5cm por boquilla y se aplicó a razón de 130 litros por hectárea de caldo con una presión de trabajo de 1 bar. Una vez hecho esto, se le colocaron dentro de los invernáculos, en el entre surco de la soja 4 bandejas por repetición. Estas se colocaron desde el centro del invernáculo en fila hacia los extremos de este. Las bandejas se dejaron 48 horas en los invernáculos, luego de transcurrido este tiempo las mismas se retiraron y se procedió a desarmar los “invernáculos”.



Imagen 3. Detalle de bandejas con herbicidas dentro de invernáculos

3.2.3 Condiciones meteorológicas al momento de instalación

Se presenta en el cuadro 5 las condiciones meteorológicas al momento de la aplicación de los herbicidas y en la figura 2 las condiciones meteorológicas en las 48 horas posteriores a la aplicación.

Cuadro 5. Condiciones meteorológicas al momento de la instalación del experimento de volatilización.

| | |
|------------------------------------|----------|
| Hora de inicio de aplicación | 18:30 pm |
| Hora de finalización de aplicación | 19:00 pm |
| Temperatura | 35.6 °C |
| Humedad relativa | 53.2 % |

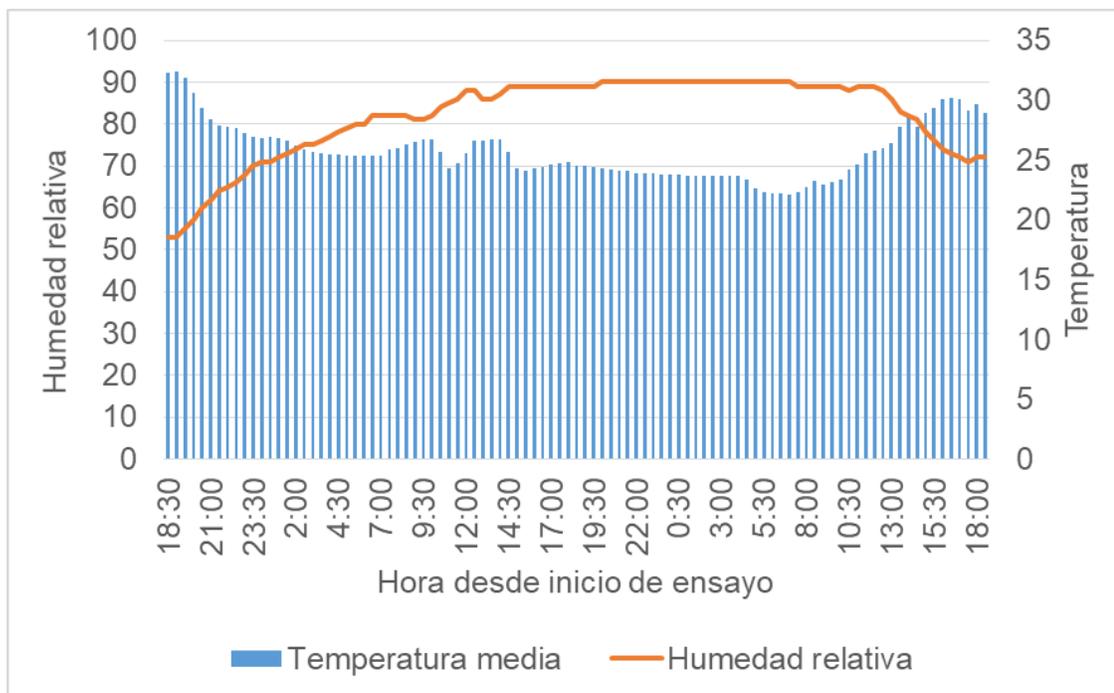


Figura 2. Condiciones meteorológicas 48 horas post instalación del experimento

3.2.4 Determinación de daño por volatilización

Luego de la instalación del experimento se procedió a detectar efectos de daño en cada parcela, a los 10, 17, 25 y 32 DDA (días después de aplicado).

En cada una de las 15 parcelas se hicieron mediciones de fitotoxicidad desde el punto 0 (medio del “invernáculo”) hacia ambos extremos en las siguientes medidas: 36cm, 72cm, 114cm, 156cm y 200cm, como se presenta en el diagrama siguiente.

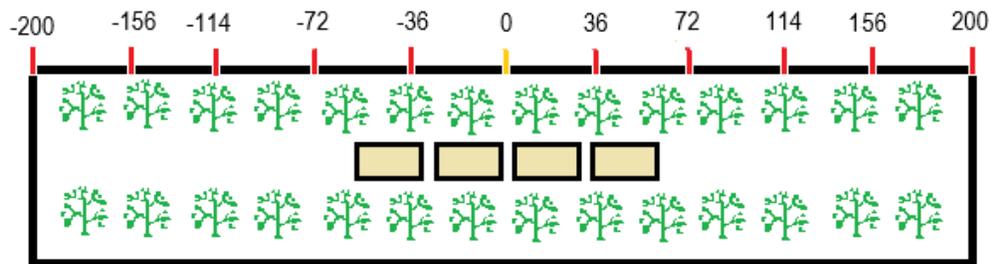


Figura 3. Croquis parcela volatilización (medidas en cm)

Para cuantificar el efecto de la volatilización de los herbicidas se determinó una escala visual porcentual de fitotoxicidad, en la que una planta de soja muerta, sin posibilidad de recuperación correspondió a un 100%, mientras que una planta sana sin ningún efecto visual del herbicida era un 0%. Dentro de ese rango se le asignaba a cada planta medida un porcentaje de daño.

En la siguiente figura se puede observar la distribución espacial de los tratamientos. El primer número dentro de cada cuadro refiere al número de tratamiento, utilizando como referencia la información en el cuadro 3. El segundo número en cada cuadro refiere a la repetición de cada tratamiento.

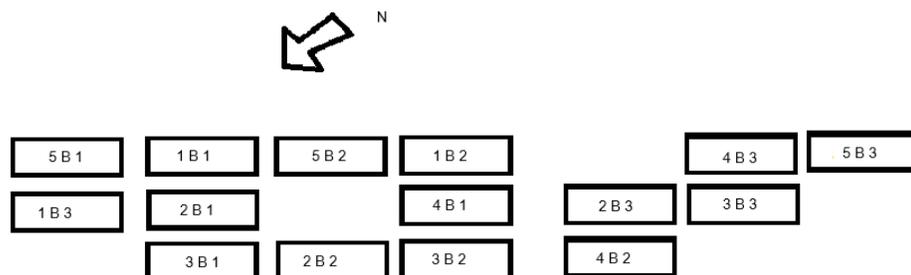


Figura 4. Croquis tratamientos y repeticiones en experimento de volatilización

3.2.5 Análisis estadístico

Los resultados de daño por volatilización fueron analizados usando los Ln de cada porcentaje de daño. A su vez se realizaron los promedios de las distancias equidistantes del punto 0, por no identificar variaciones que justificaran incluir en el factorial ambos lados desde el punto indicado como 0.

Se analizó el efecto de los factores herbicida, distancia y la interacción de ambos, realizando la separación de medias por Tukey al 10%.

3.3 EXPERIMENTO DERIVA

3.3.1 Tratamientos y diseño experimental

El experimento consistió de seis tratamientos mezcla de diferentes formulaciones de 2,4-D con una misma base de glifosato dimetilamina (Panzer Gold), todos los herbicidas a igual dosis de equivalente ácido. A su vez en el caso de las formulaciones 2,4-D amina y butylester, se ensayaron dos tecnologías de aplicación contrastante.

Cuadro 6. Tratamientos del experimento de deriva

| Trat. | Producto | Ingrediente activo | Eq ácido (g/ha) | Dosis (ml o g/ha) | Boquilla |
|-------|-----------------------|------------------------|-----------------|-------------------|-------------|
| 1 | Enlist (GF-3073) | 2,4-D sal colina | 912 | 2000 | AIXR 110015 |
| | Panzer Gold | Glifosato dimetilamina | 960 | 2000 | |
| 2 | Enlist DUO (GF-2726) | 2,4-D sal colina | 912 | 4677 | AIXR 110015 |
| | | Glifosato dimetilamina | 959 | | |
| 3 | Amina DowAgrosciences | 2,4-D dimetilamina | 912 | 1880 | XR 110015 |
| | Panzer Gold | Glifosato dimetilamina | 960 | 2000 | |
| 4 | EsteronUltra | 2,4-D butyléster | 912 | 1178 | XR 110015 |
| | Panzer Gold | Glifosato dimetilamina | 960 | 2000 | |
| 5 | Amina DowAgrosciences | 2,4-D dimetilamina | 912 | 1880 | AIXR 110015 |

| | | | | | |
|---|---------------|------------------------|-----|------|-------------|
| | Panzer Gold | Glifosato dimetilamina | 960 | 2000 | |
| 6 | Esteron Ultra | 2,4-D butyléster | 912 | 1178 | AIXR 110015 |
| | Panzer Gold | Glifosato dimetilamina | 960 | 2000 | |

El diseño fue completamente al azar, con tres repeticiones, siendo el tamaño de las parcelas de 8 x 4 metros de largo dejando un espacio de 3 metros entre parcela y parcela para evitar la contaminación entre tratamientos. Cabe destacar que las parcelas fueron de 4 metros de largo porque después de esa distancia no se registró más daño

3.3.2 Metodología de instalación

El experimento consistió en la aplicación de herbicida cuando la soja estaba en estado V6. El cultivo estaba instalado con espaciamento entre hileras de 0,4m y el estado sanitario del mismo era bueno.

Se seleccionó una chacra donde los surcos estuviesen de norte a sur para así favorecer los vientos de verano del norte.

La aplicación del herbicida se hizo desde el borde de la parcela del lado que mide 8m perpendicular al sentido de siembra de extremo a extremo de esta. Al momento de la aplicación la dirección del viento fue en igual sentido que el de siembra.

Esta aplicación fue llevada a cabo por un mochila experimental de CO₂ con un botalón de cuatro boquillas con un espaciamento de 0,5m entre boquilla. Se utilizó siempre la misma presión en cada tratamiento de 1 bar, aplicando un volumen de aplicación de 130 L/ha y las boquillas utilizadas fueron AIXR110015 y XR110015, según correspondiera a cada tratamiento. En cuanto a la velocidad de avance, se utilizó un marcapaso que emitía un sonido cada vez que se debía dar un paso, esta velocidad de avance era de 1m/s. Cabe destacar que aunque se realizó la aplicación con las mismas condiciones, ambas boquillas emiten un tamaño de gota bien contrastante entre si.

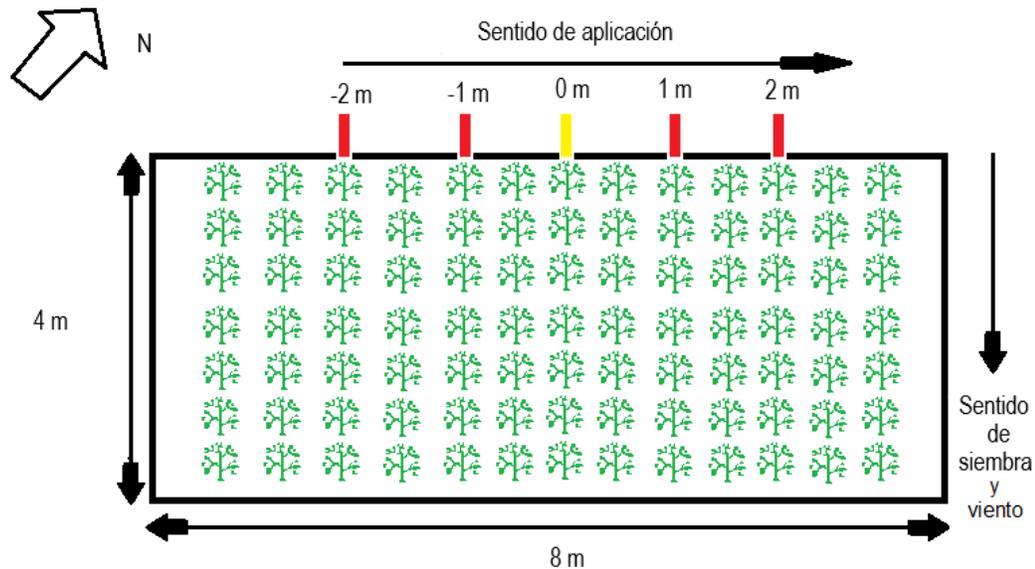


Figura 5. Croquis parcela experimento de deriva

3.3.3 Condiciones meteorológicas al momento de la instalación

Se presenta en el cuadro 6 las condiciones ambientales al momento de la aplicación de los herbicidas.

Cuadro 7. Condiciones meteorológicas al momento de la instalación del experimento de deriva

| | |
|--------------------------------------|------------------|
| Hora de inicio de aplicación: | 11:30 am |
| Hora de finalización de aplicación: | 12:30 pm |
| Temperatura | 34.5 °C |
| Humedad relativa | 52.8% |
| Viento promedio (ráfagas) al inicio: | 12,5 (16,7) km/h |
| Viento promedio (ráfagas) al final: | 14,8 (18,2) km/h |

3.3.4 Determinación del daño por deriva

Luego de la instalación del experimento se procedió a detectar efectos de deriva en cada parcela, a los 7, 14 y 34 DDA (días después de aplicado).

La determinación de fitotoxicidad se hizo en 5 puntos de cada parcela. Los puntos de donde se midió fueron seleccionados de la siguiente manera: el punto 0 (representado en croquis en página anterior) es al centro de la parcela del lado de 8m. El punto 1 y 2 son a 1 y 2 metros a la derecha del punto 0 respectivamente, y los puntos -1 y -2 son a 1 y dos metros a la izquierda del punto 0 respectivamente. En cada uno de estos puntos se seleccionó el surco de soja más cercano. Dentro de ese surco seleccionado se realizó una medición cada 25cm comenzando a medir desde donde se aplicó hacia adentro de la parcela, determinando la fitotoxicidad con una escala visual porcentual que se le adjudicaba a cada planta que estuviera en la medición. Esa escala porcentual utiliza el 100% como una planta muerta sin posibilidad alguna de recuperarse y el 0% a una planta sana sin presencia de fitotoxicidad visible. El rango entre 100% y 0% también se utilizaba para adjudicar presencia de daño. Esta medición se continuaba por el surco cada 25cm hasta que no se viera más indicio de fitotoxicidad asociada a los herbicidas aplicados, hasta los 4 metros.

Cabe destacar que la última medición se distanció en el tiempo con respecto a las anteriores, ya que unos días de déficit hídrico en la zona dificultó la lectura, por lo tanto se decidió esperar que ocurrieran precipitaciones y así realizar una determinación donde el cultivo reflejara únicamente daño de herbicida y no estrés por falta de agua.

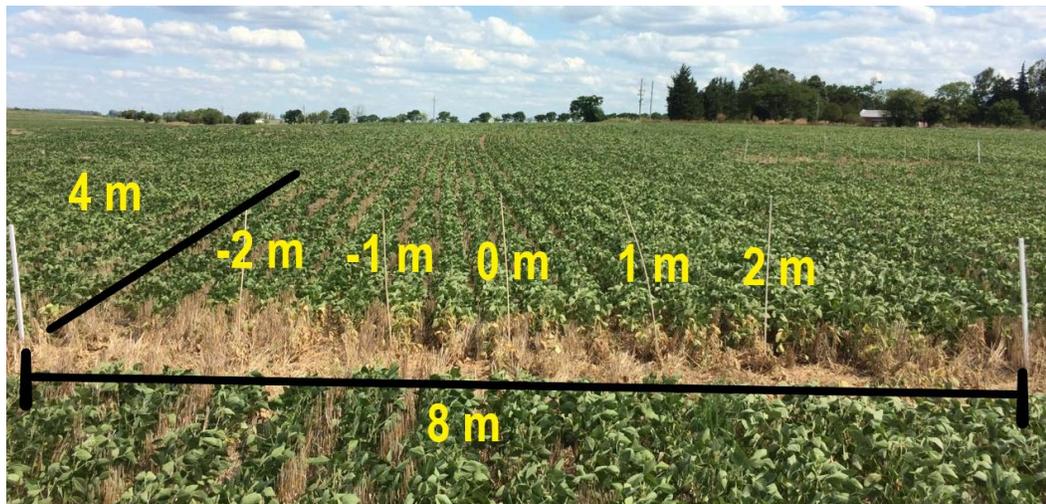


Imagen 4. Parcela del experimento de deriva

3.3.5 Análisis estadístico

Los resultados de daño por deriva fueron analizados a través de regresiones, usando los Ln de cada porcentaje de daño. Los datos de cada fecha de evaluación ajustaron a un modelo exponencial cuadrático:

$$\text{Ln}(Y) = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \varepsilon_i$$

Para la comparación entre tratamientos, las curvas fueron comparadas por contrastes. Para dicho análisis se usó el programa PROC MIXED del paquete estadístico SAS.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EXPERIMENTO VOLATILIZACIÓN

El daño por volatilización solo presentó efecto por herbicida, no se detectaron efectos de la distancia de evaluación ni interacción de ambos factores (cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis de varianza p- valor de efecto herbicida, distancia y herbicida por distancia a las cuatro momentos de medición del experimento volatilización.

| Efecto | p-valor DDA | | | |
|-----------------------|-------------|--------|--------|--------|
| | 10 | 17 | 25 | 32 |
| Herbicida | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 |
| Distancia | 0.8787 | 0.9751 | 0.7405 | 0.965 |
| Herbicida x distancia | 0.9851 | 0.9774 | 0.6732 | 0.9824 |

Se presenta a continuación en el cuadro 9, los valores promedios de daño estimado para cada tratamiento herbicida, con la separación de medias comparando dentro de cada fecha de evaluación.

Los tratamientos de 2.4- D éster Esteron Ultra (1) y dicamba Banvel (5) presentaron mayor daño indicando la existencia de mayor volatilidad en las dos primeras fechas de medición (10 y 17 DDA).

En el caso del Esteron Ultra (1) tiene concordancia con lo expresado en la revisión bibliográfica por Anderson (1983) que explica que la formulación éster de 2,4-D es altamente volátil, incluso a temperaturas consideradas estándar, por lo que al día del experimento con temperaturas de hasta 33° C era esperable una alta volatilidad en este tratamiento.

En el caso de Banvel (tratamiento 5) confirma lo citado por Beherens et al. (1979) que el dicamba por su alta presión de vapor de $2,0 \times 10^{-5}$ mm Hg a 25°C tiene una alta tendencia a volatilizarse.

Los tratamientos de Amina Dow (2), Enlist (3) y Enlist Duo (4) presentaron diferencias con los ya mencionados pero no entre sí. En el caso del

tratamiento 2, Montoya y Porfiri (2017) mencionan que la formulación de 2,4-D sal dimetilamina presenta un valor bajo de presión de vapor que va entre 1×10^{-7} y $1,4 \times 10^{-7}$, por ende clasificándose como de baja volatilidad. Los tratamientos 3 y 4 formulados con sal colina, presentaron un bajo nivel de daño, y según Peterson et al. (2016) es la formulación que presenta mayor estabilidad y una menor posibilidad de volatilización que las otras formulaciones ya utilizadas.

Cuadro 9. Promedio de daño por tratamiento

| Trat. | Promedio de daño | | | |
|-------|------------------|---------|---------|---------|
| | 10 DDA | 17 DDA | 25 DDA | 32 DDA |
| 1 | 43.19 A | 41.53 A | 24.86 B | 20.56 B |
| 2 | 3.92 B | 5.00 B | 3.19 D | 4.03 C |
| 3 | 4.72 B | 8.61 B | 7.22 C | 6.94 C |
| 4 | 4.58 B | 6.67 B | 4.17 CD | 3.75 C |
| 5 | 53.78 A | 56.94 A | 53.19 A | 50.14 A |

Tratamientos 1= Esteron Ultra-Panzer Gold, 2= Amina Dow Agrosociencias-Panzer Gold, 3= Enlist (GF-3073)-Panzer Gold, 4= Enlist Duo (GF-2726)-Panzer Gold, 5= Banvel-RoundUp Ultramax. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos. DDA= Días después de aplicado

A los 25 días después de aplicado se reflejaron otras diferencias. El herbicida dicamba Banvel (5) continuó siendo el tratamiento de mayor nivel de daño en las plantas de soja, pudiéndose inferir que el daño generado no permitió a las plantas recuperarse.

Por el contrario, el daño en esta fecha de 2.4-D éster Esteron Ultra (1) sugiere que los daños causados por la volatilización fueron en parte revertidos por la capacidad de la planta de detoxificar el herbicida. En esta fecha presentó el 50% del daño que generó el tratamiento de dicamba, coincidente con lo obtenido por Da Silva et al. (2018).

El caso de Amina Dow (2), Enlist (3) y Enlist Duo (4) que se trata de las formulaciones menos volátiles se presentaron variaciones en esta medición con respecto a las anteriores, coincidiendo con Sosnoskie et al. (2015). El Enlist (3) no indicó diferencias con Enlist Duo (4), pero si con Amina Dow (2), anteriormente no habían presentado diferencias. Enlist Duo (4) se mantuvo sin diferencias entre Amina Dow (2) y Enlist (3). Esto podría deberse a que el 2,4-D amina permitió una leve mejora de la planta frente al 2,4-D colina del Enlist (3).

Por último, en la última medición (32 DDA) se mantienen las diferencias entre Esteron Ultra (1) y Banvel (5) como a los 25 DDA, lo que demuestra que el dicamba mantuvo un daño de volatilización mayor a todos los tratamientos y se mantuvo en niveles similares en todas las fechas de evaluación.

La única diferencia con la medida anterior a los 25 DDA es que los tratamientos de Amina Dow (2), Enlist (3) y Enlist Duo (4) se mostraron nuevamente sin diferencias entre ellos.

La evolución del efecto volatilidad para los diferentes tratamientos herbicidas se presentan en la figura 7 donde puede visualizarse claramente la diferencia entre los herbicidas Esteron Ultra (1) y Banvel (5) contra Amina Dow (2), Enlist (3) y Enlist Duo (4) donde claramente se evidencia la baja fitotoxicidad de los últimos tres, por ende el bajo potencial de volatilidad de estos.

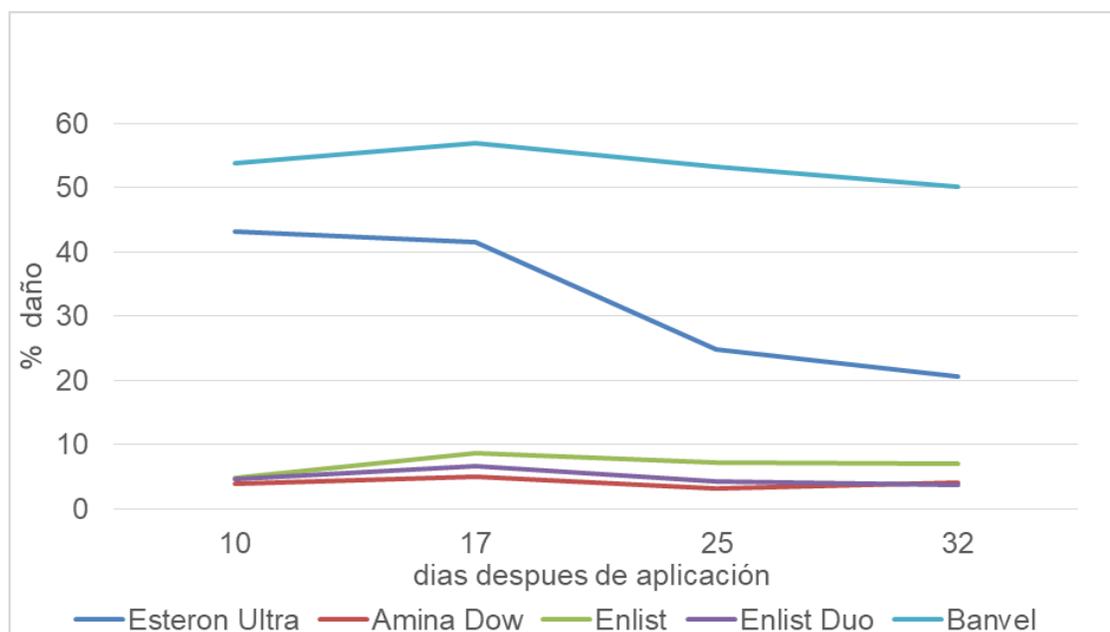


Figura 6. Porcentaje de daño por tratamiento por día de medición.

A pesar de no existir interacción del efecto herbicida en las distintas distancias de evaluación, se presentan en las figuras 8, 9, 10 y 11 el porcentaje de daño causado para cada fecha de evaluación de los herbicidas según las distancias evaluadas.

En la figura 8 (10DDA), se pueden identificar ciertas tendencias, por ejemplo Esteron Ultra y Banvel causaron más daño más próximo de la fuente emisora del herbicida (las bandejas) y hacia los extremos el daño fue disminuyendo. Esteron Ultra se siguió comportando de igual manera que lo referido anteriormente en las restantes mediciones pero cada vez demostrando menor fitotoxicidad infiriendo que hubo recuperación de las plantas. Banvel sostuvo la misma tendencia de mayor daño en la proximidad de la fuente emisora y disminuyendo hacia los extremos, pero las plantas manifestaron poco poder de recuperación indicando que este herbicida es más tóxico para la soja que el Esteron Ultra.

En el caso de los herbicidas Enlist, Enlist Duo y Amina Dow los valores del daño nunca superaron el 10%. Y en los puntos más cercanos al punto emisor de herbicida solamente el Enlist Duo generó algo más de daño, aunque como fuera comentado sin diferencias estadísticas. Otra leve tendencia fue observada en estos tres tratamientos que fue que hacia los extremos se notó un incremento en fitotoxicidad, posiblemente explicado por una leve brisa que se registró durante el experimento que pudo haber trasladado los productos hacia esa zona del “invernáculo”.

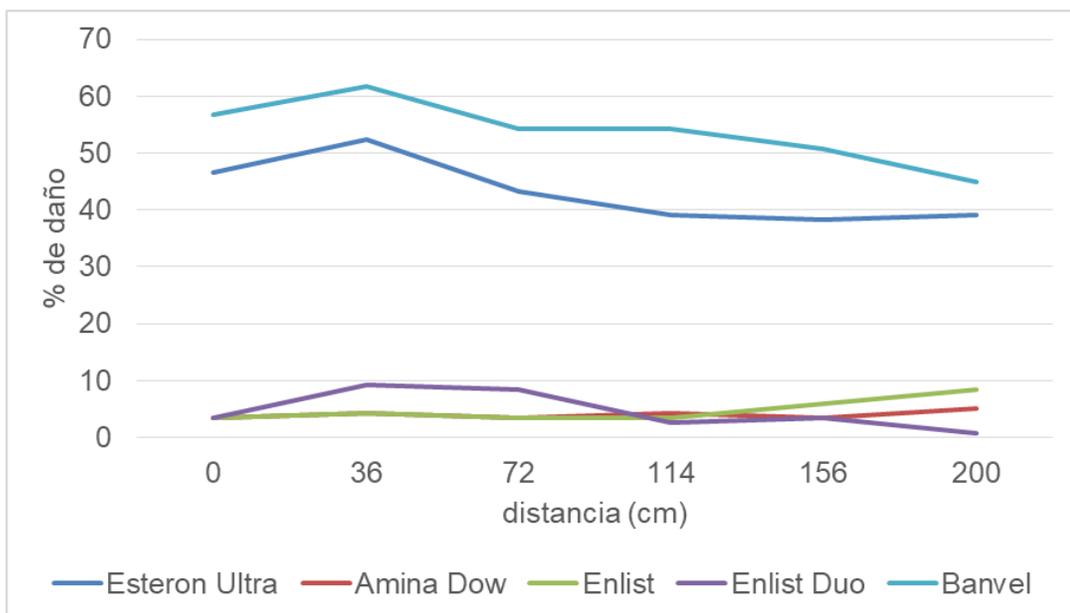


Figura 7. Porcentaje de daño por distancia 10 DDA

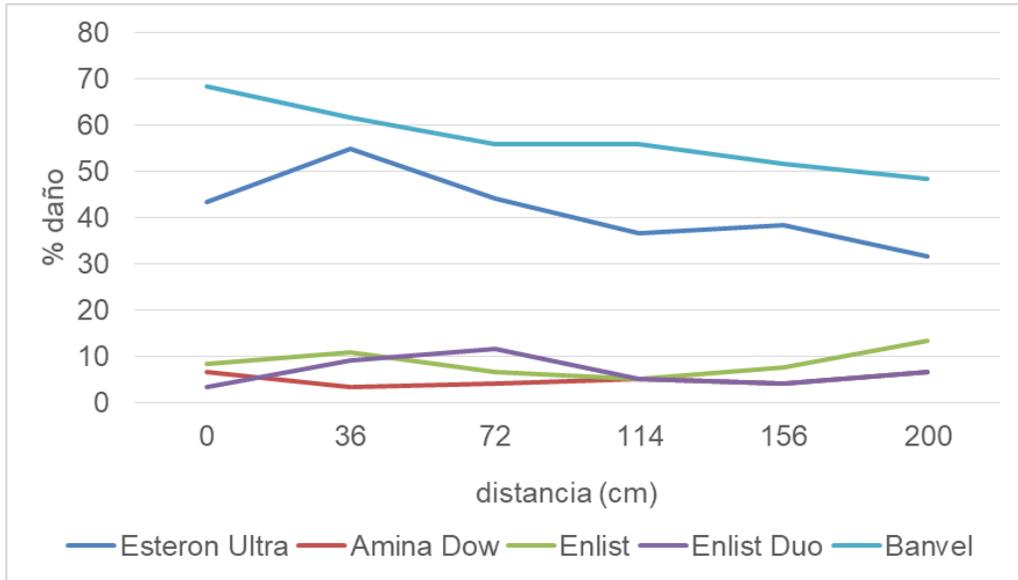


Figura 8. Porcentaje de daño por distancia 17 DDA

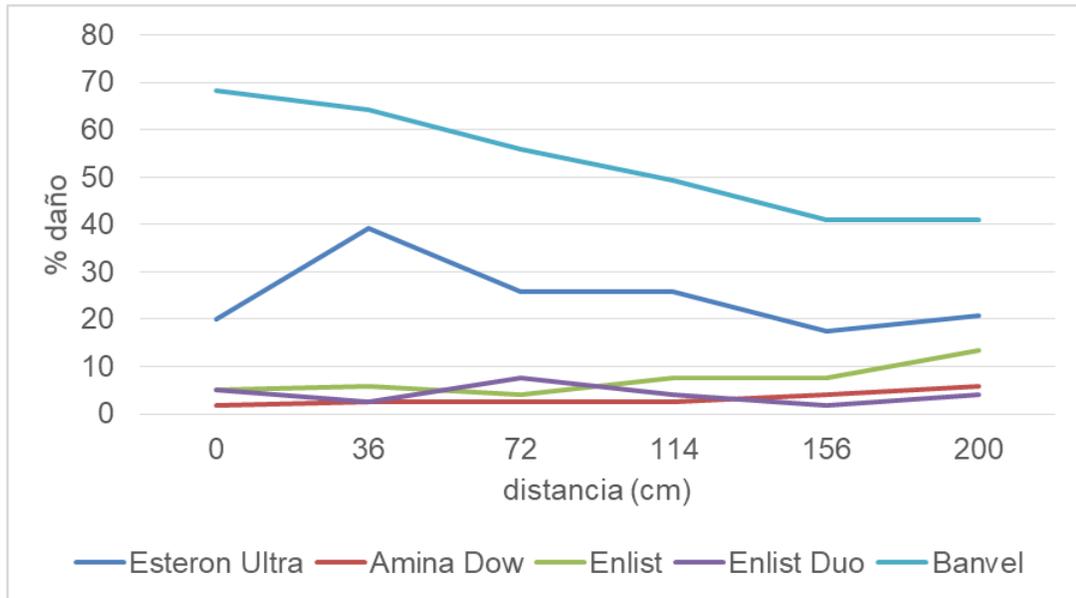


Figura 9. Porcentaje de daño por distancia 25 DDA

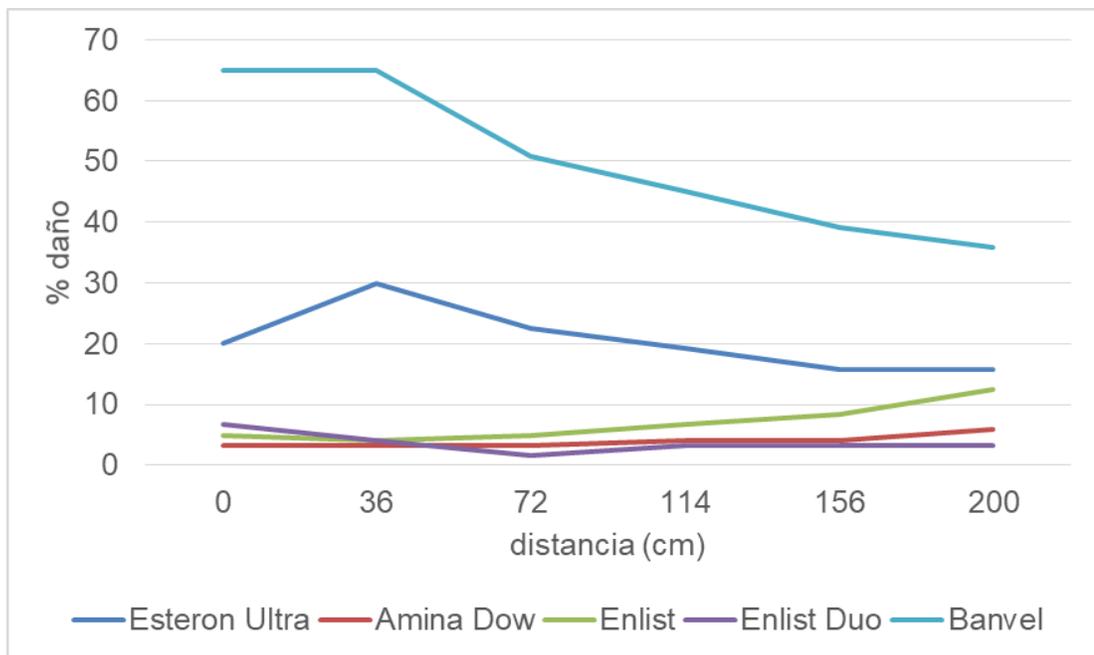


Figura 10. Porcentaje de daño por distancia 32 DDA



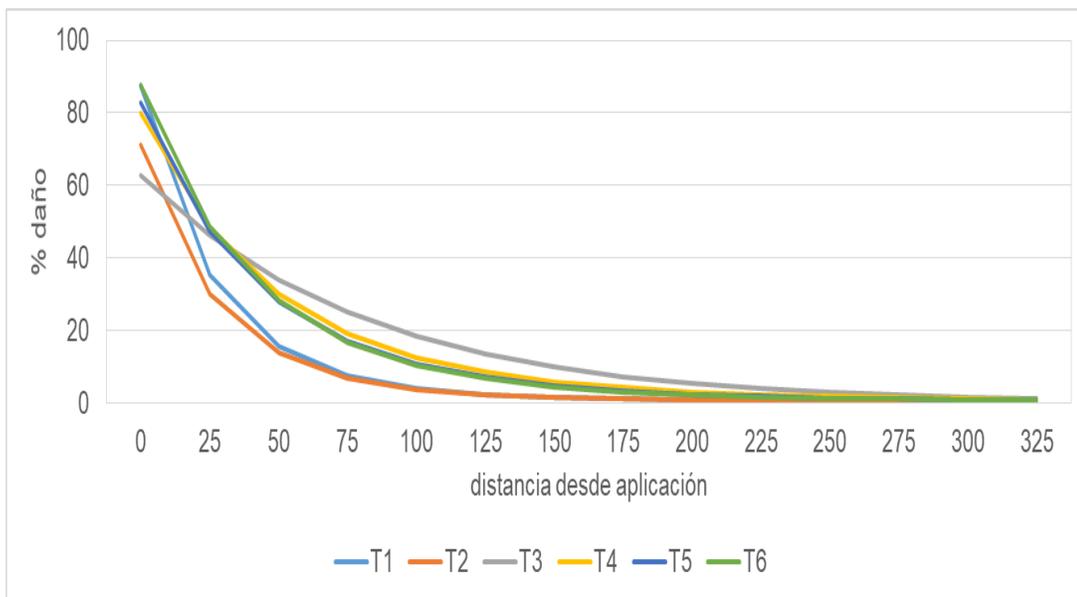
Imagen 5. Soja presentando fitotoxicidad por dicamba.



Imagen 6. Soja presentando fitotoxicidad por 2,4-D dimetilamina.

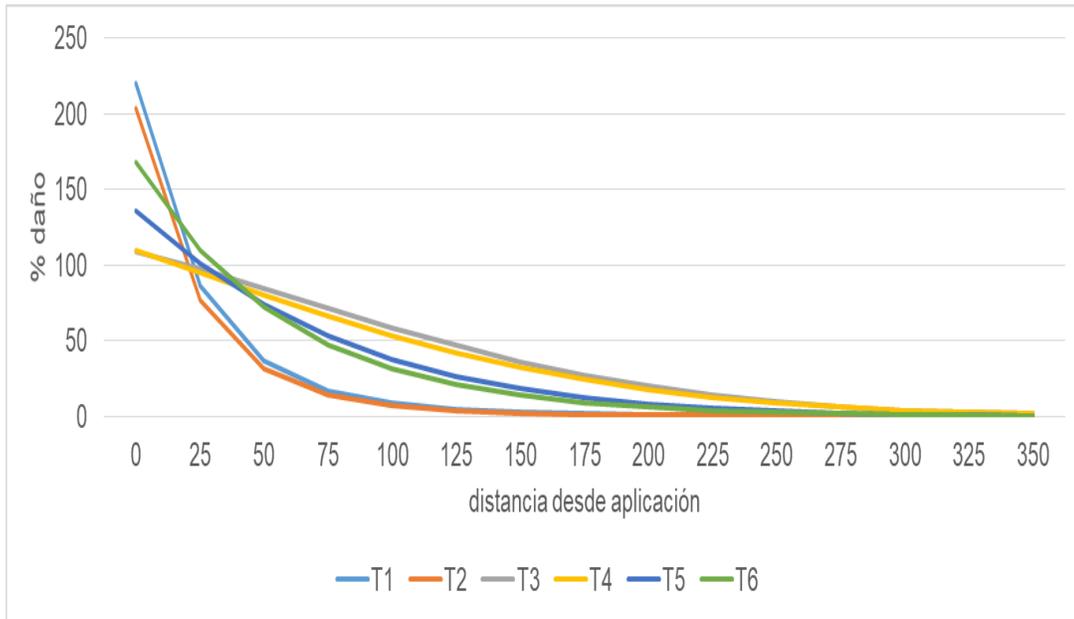
4.2 EXPERIMENTO DERIVA

En las figuras 12, 13 y 14 se presentan la deriva en función de las distancias para las 3 fechas de evaluación. En las curvas se visualiza que los comportamientos de los distintos herbicidas fue muy similar, y que las curvas de daño de Enlist (T1) y Enlist Duo (T2) es muy similar y son los menores. Las curvas indican que, particularmente a las menores distancias estos herbicidas determinaron menor daño en la soja, indicando que las derivas de estos fueron menores.



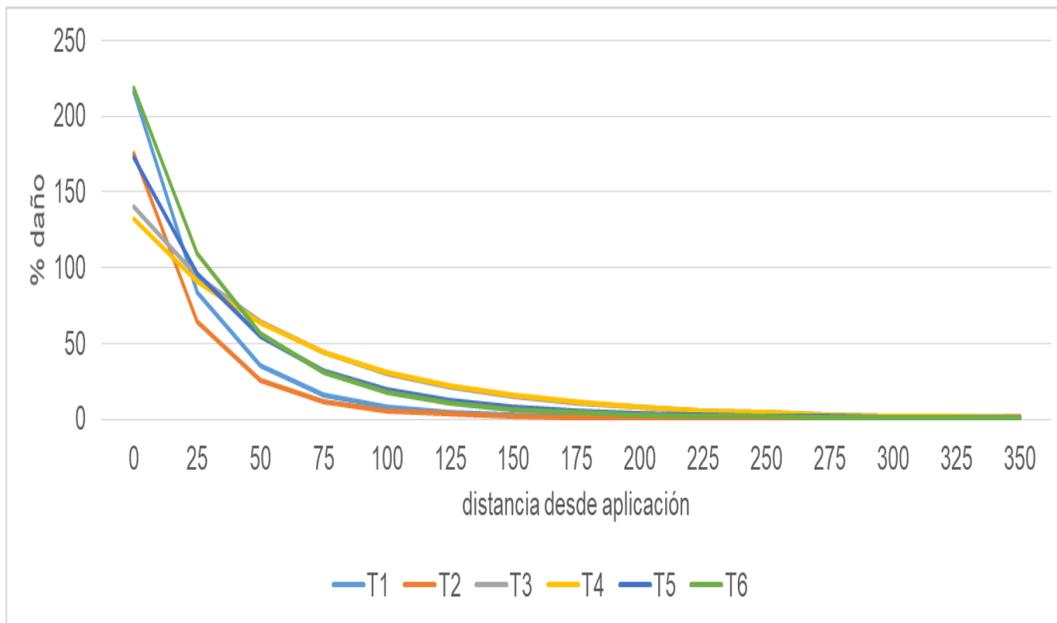
T1=Enlist (AIXR); T2= Enlist Duo (AIXR); T3= Amina Dow (XR); T4= Esteron Ultra (XR); T5= Amina Dow (AIXR); T6= Esteron Ultra (AIXR).

Figura 11. Evolución del daño ocasionado por la deriva de los distintos tratamientos a los 7 DDA.



T1= Enlist (AIXR); T2= Enlist Duo (AIXR); T3= Amina Dow (XR); T4= Esteron Ultra (XR); T5= Amina Dow (AIXR); T6= Esteron Ultra (AIXR).

Figura 12. Evolución del daño ocasionado por la deriva de los distintos tratamientos a los 14 DDA



T1= Enlist (AIXR); T2= Enlist Duo (AIXR); T3= Amina Dow (XR); T4= Esteron Ultra (XR); T5= Amina Dow (AIXR); T6= Esteron Ultra (AIXR).

Figura 13. Evolución del daño ocasionado por la deriva de los distintos tratamientos a los 34 DDA

Los tratamientos de interés se compararon a través de contrastes, que permitieron comparar las curvas de daño (cuadro 10). Se puede afirmar que para las 3 fechas de evaluación, no existieron diferencias entre los tratamientos Enlist (T1) y Enlist Duo (T2). Esto es coherente ya que ambos utilizan la misma boquilla y tienen una formulación relativamente parecida siendo una sal colina y glifosato. Enlist (Colex-D) posee la misma sal y se le agrega el glifosato, mientras Enlist Duo (Colex-D) ya posee el glifosato en su formulación y ambos utilizan glifosato dimetilamina.

Cuadro 10. Contrastes del estudio de regresión

| Contrastes | p-valor | | |
|--|---------|--------|--------|
| | 7DDA | 14DDA | 34DDA |
| (1)Enlist (AIXR) - (2) Enlist Duo (AIXR) | 0.8096 | 0.8376 | 0.3305 |
| (1)Enlist (AIXR) - (3) Amina (XR) | <.0001 | <.0001 | <.0001 |
| (1) Enlist (AIXR) - (4) Esteron (XR) | <.0001 | <.0001 | <.0001 |
| (1) Enlist (AIXR) - (5) Amina (AIXR) | <.0001 | <.0001 | <.0001 |
| (1) Enlist (AIXR) - (6) Esteron (AIXR) | <.0001 | <.0001 | 0.0006 |
| (2) Enlist Duo (AIXR) - (3) Amina (XR) | <.0001 | <.0001 | <.0001 |
| (2) Enlist Duo (AIXR) - (4) Esteron (XR) | <.0001 | <.0001 | <.0001 |
| (2) Enlist Duo (AIXR) - (5) Amina (AIXR) | <.0001 | <.0001 | <.0001 |
| (2) Enlist Duo (AIXR) - (6) Esteron (AIXR) | <.0001 | <.0001 | <.0001 |

| | | | |
|--|--------|--------|--------|
| (3)Amina (XR) - (4) Esteron (XR) | 0.0005 | 0.9634 | 0.9951 |
| (3) Amina (XR) - (5) Amina (AIXR) | <.0001 | <.0001 | 0.0008 |
| (3) Amina (XR) - (6) Esteron (AIXR) | <.0001 | <.0001 | <.0001 |
| (4) Esteron (XR) - (5) Amina (AIXR) | 0.1492 | <.0001 | 0.0004 |
| (4) Esteron (XR) - (6) Esteron (AIXR) | 0.0486 | <.0001 | <.0001 |
| (5) Amina (AIXR) - (6) Esteron (AIXR) | 0.9589 | 0.593 | 0.8115 |
| \bar{x} (1) Enlist (AIXR) y (2) Enlist Duo (AIXR) vs \bar{x} (3) Amina (XR), (4) Esteron (XR), (5) Amina (AIXR) y (6) Esteron (AIXR) | <.0001 | <.0001 | <.0001 |
| dif. entre (3) Amina (XR) y (5) Amina (AIXR) = dif. Entre (4) Esteron (XR) y (6) Esteron (AIXR) | 0.0716 | 0.9308 | 0.8571 |
| \bar{x} (1) Enlist (AIXR) y (2) Enlist Duo (AIXR) vs. \bar{x} (5) Amina (AIXR) y (6) Esteron (AIXR) | <.0001 | <.0001 | <.0001 |

Entre paréntesis número de tratamiento y tipo de boquilla utilizada

En cuanto a los tratamientos Enlist (1) y Amina Dow (XR) (3) el contraste indica que existen diferencias entre ellos en el daño provocado por la deriva. Esto seguramente se deba principalmente al tipo de gota usada más que por el producto en sí. En el caso del producto 2.4-D colina se usó gota muy gruesa y en el otro se usó gota fina. La información de las boquillas proporcionada por Tee-Jet (s.f.), menciona que las boquillas (AI) producen gotas muy gruesas llenas de aire y menos susceptible a la deriva. El tamaño de gota es uno de los factores más determinantes en la deriva al momento de la aplicación. Igual comportamiento se verificó en las siguientes mediciones. Pero al contrastar estos mismos tratamientos aplicados con la boquilla anti deriva (AIXR), contraste de tratamientos 1 y 5, se detectaron diferencias significativas entre curvas, y en este caso el menor daño por deriva del tratamiento Enlist, sí estuvo explicado por la formulación colina. Esto concuerda con los resultados

de Wilson et al. (s.f.) donde obtuvieron resultados indicando que la sal colina produjo menos gotas pequeñas que la sal dimetilamina.

El tratamiento Enlist (AIXR) (1) y Esteron Ultra (XR) (4) presentan significancia entre ellos en todas las fechas de medición, sucede lo mismo que lo comentado para la comparación entre los tratamientos 1 y 3. Más que formulaciones distintas, son aplicaciones distintas por el uso de boquillas que generan tamaños de gota bien contrastantes en relación a su comportamiento en la deriva. Al compararlo aplicados con igual boquilla (AIXR), contraste de tratamientos Enlist (1) y Esteron Ultra (AIXR) (6), se observa que nuevamente, la sal colina determinó menor daño por deriva, ya que presentaron diferencias significativas las curvas. Por lo tanto la formulación de los tratamientos es responsable de estas diferencias significativas, afirmando lo mencionado por Dow Agrosciences que las formulaciones con sal colina poseen una mínima deriva física comparado con dimetilamina y éster. Nuevamente las tres mediciones arrojan el mismo resultado entre estos tratamientos.

En cuanto a Enlist Duo (2) en las 3 determinaciones, comparado con los tratamientos de Amina Dow (5) y Esteron Ultra (6) aplicados con boquilla anti deriva AIXR, presenta las mismas diferencias significativas que Enlist (1) y esos mismos por los mismos supuestos explicados previamente ya que el Enlist Duo (2) está formulado con la misma sal y mismo glifosato.

Amina Dow (XR) (3) y Esteron Ultra (XR) (4) presentan diferencia significativa entre ellos a los 7 días de aplicado. Ambos tratamientos fueron aplicados con boquillas XR110015 por lo que implica que la diferencia significativa está dada por sus formulaciones. Los resultados cuando se extrapolan con la gráfica, donde se puede observar que el potencial de deriva del tratamiento 3 es mayor que el 4 no concuerdan con Grover et al. (1972) donde aseguran que el potencial de deriva de dimetilamina es menor al de la formulación con Butyl Ester. Este resultado no se repite con las mediciones posteriores 14 y 34 DDA donde no existen diferencias entre tratamientos.

Amina Dow (XR) (3) y Amina Dow (AIXR) (5) presentan diferencias significativas. El menor daño de la deriva está plenamente explicado por el tipo de boquilla utilizado ya que la formulación de los mismos fue exactamente igual. El daño del tratamiento 3 fue mayor, ya que fue aplicado con la boquilla que genera gotas finas y en la aplicación del tratamiento 5 se realizó con una boquilla reductora de deriva. En las determinaciones posteriores se mantiene esta diferencia significativa.

Amina Dow (XR) (3) y Esteron Ultra (AIXR) (6), presentan diferencias significativas dadas por dos factores. Uno de los factores es el tamaño de gota,

donde en el tratamiento 6 se utilizó la boquilla AIXR110015 tecnología anti deriva y el tratamiento 3 se aplicó con la boquilla que eroga gota fina y además podría estar explicado por el tipo de formulación. Al comparar ambas formulaciones aplicados con tecnología reductora de deriva, contraste de tratamientos Amina Dow (AIXR) (5) y Esteron Ultra (AIXR) (6) no presentaron diferencias significativas, estos demuestran que utilizando tecnología anti deriva, las formulaciones no presentan diferencias significativas siendo ambas estadísticamente iguales.

Cuando se compararon estos dos tratamientos realizados con boquillas convencionales de abanico plano, estos sí presentaron diferencias significativas, aunque solamente a los 7 DDA. Esto implica que la utilización de las boquillas anti deriva contrarresta el potencial de deriva de la formulación.

Observando Esteron Ultra (XR) (4) y Amina Dow (AIXR) (5) a los 7DDA no presentaron diferencia significativa entre ellos. El tratamiento 4 utilizó boquilla XR110015 mientras que el tratamiento 5 utilizó boquilla AIXR110015. Cuando se estudiaron estas formulaciones en otros tratamientos utilizando las mismas boquillas sí presentaron diferencias significativas por lo que el resultado de esta comparación se explica por las boquillas exclusivamente. En las consiguientes mediciones se dan las diferencias significativas esperadas entre estos tratamientos, determinando que la dosis derivada fue significativamente mayor y demoró en expresar los síntomas y fueron visualmente importantes en las evaluaciones de los 14 y 24 DDA.

La comparación del daño por deriva del producto Esteron Ultra aplicado con gota fina (4) y con gota muy gruesa (6) presentaron las diferencias esperadas, menor deriva generada con las boquillas anti deriva.

También se hizo análisis estadístico entre el promedio de Enlist (1) y Enlist Duo (2) contra el promedio del resto de los tratamientos lo que presentó diferencia significativa. Esto tiene de negativo que se comparan formulaciones y boquillas como un conjunto por lo que no se puede comparar en profundidad, solo compara las formulaciones pero no distingue boquillas.

Por otra parte se comparó Amina Dow (XR) (3) y Amina Dow (AIXR) (5) juntos contra Esteron Ultra (XR) (4) y Esteron Ultra (AIXR) (6), anulando el efecto boquilla ya que estos tratamientos compartían la misma sal de base. En la primera medición fue mínimamente significativo por lo cual muestra una diferencia en formulaciones con respecto a la deriva. Esta diferencia de daño desapareció en las evaluaciones de los 14 y 24 DDA.

Por último, se comparó el promedio de las dos formulaciones con base sal colina Enlist (1) y Enlist Duo (2) contra el promedio de las otras dos formulaciones utilizadas dimetilamina y butyl éster Amina Dow (AIXR) (5) y Esteron Ultra (AIXR) (6) utilizando la misma tecnología de aplicación, boquilla anti deriva (AIXR). Esta comparación pretende disminuir las diferencias entre los tratamientos intentando comparar solamente las formulaciones. Los resultados en todas las determinaciones fueron altamente significativos y extrapolando con la gráfica se ve que los tratamientos 1 y 2 fueron los superiores en cuanto a disminuir la deriva ocasionada por viento coincidiendo con la bibliografía citada.

Los resultados de deriva en las diferentes distancias no fueron significativos, pero igualmente se presenta para la última fecha de evaluación, el daño promedio (en porcentaje) para las distintas distancias de evaluación del experimento (cuadro 11). Se puede identificar claramente las diferencias antes mencionadas entre los tratamientos Enlist (1) y Enlist Duo (2) del resto.

Es importante destacar que estos valores son indicativos de las diferencias entre tratamientos, porque las distancias no pueden ser consideradas como rangos seguros en el caso de aplicaciones comerciales, ya que dos factores muy importantes en determinar la deriva como son altura de la barra y velocidad de avance son bien diferentes a las evaluadas en este experimento.

Cuadro 11. Porcentaje de daño promedio por medida a los 34 DDA

| Trat. | Porcentaje de daño en cada distancia | | | | | | | |
|----------------------|--------------------------------------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| | 0 m | 0.5 m | 1 m | 1.5 m | 2 m | 2.5 m | 3 m | 3.5 m |
| (1)Enlist (AIXR) | 100 | 58 | 19 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| (2)Enlist Duo (AIXR) | 100 | 45 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| (3)Amina (XR) | 95 | 78 | 32 | 16 | 7 | 4 | 2 | 1 |
| (4)Esteron (XR) | 100 | 66 | 43 | 25 | 10 | 9 | 2 | 0 |
| (5)Amina (AIXR) | 98 | 77 | 16 | 19 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| (6)Esteron (AIXR) | 100 | 89 | 42 | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 |

5. CONCLUSIONES

La volatilidad de la sal colina en ambas formulaciones tanto Enlist (Colex-D) como Enlist Duo (Colex-D) fueron bajas. Por otro lado, la sal amina demostró tener iguales o mejores cualidades en cuanto a volatilización que los formulados con sal colina.

Las otras dos formulaciones presentaron alto potencial de volatilidad, siendo mayor el daño provocado por dicamba.

Para las condiciones del experimento, la deriva de ambas formulaciones que utilizaron la sal colina como base fueron las que presentaron menor deriva.

Los tratamientos que utilizaron 2,4-D butyl éster (Esteron Ultra) y 2,4-D dimetilamina (Amina Dow) comparados con igual tecnología de aplicación no presentaron diferencias en el daño generado por deriva.

En cuanto a las tecnologías de aplicación las boquillas que erogaron tamaño de gota gruesa, fueron muy efectivas en disminuir el potencial de deriva, pero igualmente hubo un efecto adicional de la formulación colina.

6. RESUMEN

La utilización de glifosato sobre la soja transgénica trajo aparejados problemas de resistencia de malezas. Esto ha llevado al uso de otros principios activos incluso a la aparición de eventos con resistencia a herbicidas hormonales. Estos herbicidas son cuestionados por los daños que pueden ocasionar a cultivos sensibles por volatilización y también por deriva. Este trabajo tuvo como objetivo estudiar los daños por volatilización de distintas formulaciones del herbicida 2,4-D y dicamba, este estudio fue realizado en la localidad de Porvenir, Paysandú. Por otro lado, se llevó a cabo también el estudio de la deriva del herbicida 2,4-D en sus distintas formulaciones y el uso de distintas boquillas, este estudio fue realizado en la localidad de Young, Rio Negro. Ambos trabajos fueron realizados sobre soja RR (Roundup Ready), sensible a los herbicidas hormonales. Para la determinación de ambos experimentos se utilizó una escala visual de porcentaje de daño causado por el herbicida, siendo 100% una planta muerta sin posibilidad de recuperación y 0% una planta sin ningún tipo de daño causado por herbicida. El estudio de volatilización fue realizado con los herbicidas Enlist + Panzer Gold, Enlist Duo, Esteron Ultra + Panzer Gold, Amina Dow + Panzer Gold y Banvel + RoundUp Ultramax, a todos se les agregó sulfato de amonio. El diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones. Las determinaciones de daño en la soja se realizaron a los 10, 17 y 25 días post aplicación. El experimento de deriva fue realizado con los herbicidas Enlist + Panzer Gold y Enlist Duo, ambos aplicados con la boquilla AIXR110015. Y los herbicidas Amina Dow + Panzer Gold y Esteron Ultra + Panzer Gold ambos tratamientos aplicados con boquillas XR110015 y AIXR110015. Este estudio fue realizado con un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. Las evaluaciones de daño de soja fueron a los 7, 14 y 34 días post aplicación. Los resultados de daño por efecto de la volatilización indicaron que las formulaciones Enlist (Colex-D) y Enlist Duo (Colex-D) con sal colina como base y la formulación Amina Dow con dimetilamina como base fueron las que presentaron menor volatilidad. Mientras que dicamba fue el herbicida que causó mayores daños. Los resultados del estudio de deriva para las condiciones de aplicación con mochila experimental, mostraron que ambas formulaciones con sal colina como son Enlist (Colex-D) y Enlist Duo (Colex-D) presentaron baja deriva siendo estadísticamente iguales entre sí. Las otras formulaciones como, Esteron Ultra y Amina Dow presentaron diferencias en la primera medición cuando fueron aplicados con boquillas convencionales y luego en las siguientes mediciones fueron estadísticamente iguales. Cuando fueron aplicados con boquillas antideriva fueron estadísticamente similares. El daño producto de la deriva de los herbicidas siempre fue menor para las aplicaciones con boquilla de reducción de deriva.

Palabras clave: Deriva; Volatilidad; Enlist; Dicamba.

7. SUMMARY

The use of glyphosate in transgenic soybean crops has brought many resistant and tolerant weeds. This has pushed farmers to the use of new herbicides and new events with different resistance such as new active principles or even hormonal resistance. These herbicides are questioned due to the harm they may cause to sensible crops by spray drift or volatilization. The objective of this experiment was the study the volatility of different 2,4-D herbicides and dicamba studied on a soybean event called Enlist which is resistant to 2,4-D. On the other hand an experiment on herbicide drift was also done studying the drift of different 2,4-D formulations sprayed with conventional nozzles and also with drift reduction nozzles done on a Roundup Ready soybean. The herbicides used on the volatility experiment were Enlist + Panzer Gold, Enlist Duo, Dow Agrosiences Amina, Esteron Ultra + Panzer Gold and Banvel + Roundup Ultramax. The herbicides used on the drift experiment were Enlist + Panzer Gold, Enlist Duo, Dow Agrosiences Amina + Panzer Gold (drift reduction nozzle), Esteron Ultra + Panzer Gold (drift reduction nozzle), Dow Agrosiences Amina + Panzer Gold (conventional nozzle) and Esteron Ultra + Panzer Gold (conventional nozzle). The determination of the experiment was done through a visual scale where a dead plant with no capability of surviving was 100% and a live plant with absolutely no harm caused by herbicide was 0%. Measurements were done in the volatility study 10, 17 and 25 days after the application and in the drift experiment were done 7, 14 and 34 days after the application of the herbicides. The results of the volatility experiment showed that Enlist (Colex-D), Enlist Duo (Colex-D) and Dow Agrosiences amina showed the least volatility causing very to no harm to the soybean plant whereas Banvel showed the most harm. On the other hand, the drift experiment showed that Enlist and Enlist Duo demonstrated the least drift. Dow Amina and Esteron Ultra showed on the first measurement that Esteron Ultra had less drift but then on the other measurements (14 and 34 days after application) were statistically the same. When comparing different nozzles, drift reduction nozzles showed less drift than the conventional ones.

Keywords: Spray Drift; Volatility; Enlist; Dicamba.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Anderson, W. 1983. Weed Science Principles and Applications. 2nd . ed. Minneapolis, USA, West Publishing. pp. 224-232.
2. ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers, US). 2009. Droplet Size Classification. (en línea). Michigan, USA. s.p. Consultado ago. 2017. Disponible en https://cdn2.hubspot.net/hub/95784/file-32015844-pdf/docs/asabe_s572.1_droplet_size_classification.pdf
3. BCH (Biosafety Clearing House, CA). 2012. Gene and DNA Sequence. (en línea). Quebec, Canadá. s.p. Consultado jul. 2017. Disponible en <http://bch.cbd.int/database/record.shtml?documentid=101942>
4. Behrens, R.; Lueschen, W. 1979. Dicamba Volatility. (en línea). Weed Science. 27(5):486-493. Consultado ago. 2017. Disponible en <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/dicamba-volatility/28C48474F2557F95ED13FE17490E92CF>
5. Bosch, S. 1983. 2,4-D Butyl Ester. Enviromental Fate & Exposure. (en línea). Maryland, US. National Library of Medicine/US. Toxicology Data Network. p. irr. Consultado ago. 2017. Disponible en <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/a?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+1633>
6. Brethauer, S. 2015. Boom height: uniformity and drift. (en línea). AgPro Farm Journal. Extension oct. 2015. s.p. Consultado jul. 2017. Disponible en <https://www.agprofessional.com/article/boom-height-uniformity-and-drift>
7. Bueno, M.; Cunha, J.; Roman, R. 2013. Tamanho de gotas de pontas de pulverização em diferentes condições operacionais por meio da técnica de difração do raio laser. (en línea). Engenharia Agrícola. 33(5):976-985. Consultado ago. 2018. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162013000500009

8. Celen, I.; Onler, E. 2011. Reducing Spray Drift. (en línea). Namik, Turkey Kemal University. Faculty of Agriculture, Biosystem Engineering. pp. 150-165. Consultado ene. 2017. Disponible en <http://cdn.intechweb.org/pdfs/21984.pdf>

9. Cunha, J.; Teixeira, M.; Coury, J.; Ferreira, L. 2003. Avaliação de estratégias para reducao da deriva de agrotóxicos em pulverizacoes hidráulicas. (en línea). Planta Daninha. 21(2):325-332. Consultado feb. 2017. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/pd/v21n2/a19v21n2>

10. CUS (Cámara Uruguaya de Semillas, UY). 2017. Preguntas frecuentes- biotecnología. (en línea). Montevideo, Uruguay. s.p. Consultado feb. 2017. Disponible en <http://www.cus.org.uy/web/preguntas/biotecnologia#biotecnologia>

11. Da Silva, D.; Da Silva, N.; Moraes de Aguiar, C.; Novello, B.; Da Silva, A.; Basso, J. 2018. Drift of 2,4-D and dicamba applied to soybean at vegetative and reproductive growth stage. Ciencia Rural. 48(8):s.p.

12. De Prado, R.; Cruz-Hipólito, H. 2010. Mecanismos de resistencia de las plantas a los herbicidas. (en línea). Córdoba, España. s.p. Consultado ago. 2018. Disponible en http://www.inia.org.uy/estaciones/la_estanzuela/webseminariomalezas/articulos/depradorrafael.pdf

13. Diez de Ulzurrun, P. 2013. Manejo de malezas problema. Modos de acción herbicida. (en línea). Rosario, Argentina, AAPRESID. pp. 2-3. Consultado oct. 2018. Disponible en <http://www.aapresid.org.ar/rem/encuesta-manual-modos-de-accion-herbicida/>

14. Dow Agrosiences, US. 2014. Understanding the Differences between Volatility and Spray Drift. (en línea). Indianápolis. s.p. Consultado jul. 2017. Disponible en <http://www.dowagro.com/en-us/vm/evistas/december-2014/understanding-the-differences-between-volatility-and-spray-drift>

15. _____. 2017a. DMA 6 herbicida. (en línea). Indianápolis, US. s.p. Consultado ago. 2017. Disponible en http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDAS/dh_08e5/090

1b803808e5fdc.pdf?filepath=py/pdfs/noreg/013-80003.pdf&fromPage=GetDoc

16. _____. 2017b. Enlist Duo Herbicide. (en línea). Calgary, Canada. s.p. Consultado ago. 2017. Disponible en http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDAS/dh_09b6/0901b803809b65b2.pdf?filepath=ca/pdfs/noreg/010-22617.pdf&fromPage=GetDoc
17. _____. 2017c. Herbicida Enlist concentrado soluble. (en línea). Buenos Aires, Argentina. s.p. Consultado ago. 2017. Disponible en http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDAS/dh_09bf/0901b803809bfa39.pdf?filepath=ar/pdfs/noreg/013-50182.pdf&fromPage=GetDoc
18. EPA (Environmental Protection Agency, US). 2016. Annual Spray Drift Review. (en línea). Washington, USA. s.p. Consultado ene. 2017. Disponible en <https://archive.epa.gov/scipoly/sap/meetings/web/html/spraydrift.html>
19. Etiennent, A.; Piazza, A. 2010. Buenas prácticas de aplicación en cultivos extensivos: distancias a zonas urbanas. Criterios y soluciones. (en línea). Acta Toxicológica Argentina. 18(2):s.p. Consultado feb. 2017. Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-37432010000200002
20. Eytcheson, A.; Reynolds, D.; Irby, J.; Steckel, L.; Walton, L.; Haygood, R.; Ellis, D.; Richburg, J. s.f. Volatility of GF-2726 as Compared with Other Auxin Herbicides. Mississippi, USA, Mississippi State University. s.p.
21. Farooq, M.; Balachandar, R.; Wulfsohn, D.; Wolf, T. 2001. PA- Precision Agriculture: Agricultural Sprays in cross-flow and drift. Journal of Agricultural Engineering Research. 78(4): 347-358.
22. Fernández, G.; Villalba, J. 2017. Aportes y riesgos del uso de cultivos genéticamente modificados para resistencia a herbicidas. In: Simposio Nacional de Agricultura (5º., 2017, Montevideo, Uruguay). Al futuro no alcanza con llegar. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 25-35

23. Grover, R.; Maybank, J.; Yoshida, K. 1972. Droplet and Vapor Drift from Butyl Ester and Dimethylamine Salt of 2,4-D. *Weed Science*. 20(4):320-324.
24. Hartzler, B. 2017. Dicamba: past, Present, and Future. (en línea). Ames, USA, Iowa State University. Extension and Outreach. s.p. Consultado may. 2018. Disponible en <https://crops.extension.iastate.edu/blog/bob-hartzler/dicamba-past-present-and-future>
25. Heap, I. 2018. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. (en línea). Westminster, USA. s.p. Consultado jun. 2018. Disponible en <http://weedsociety.org/Graphs/SOAGraph.aspx>
26. HRAC (Herbicide Resistance Action Committee). 2017. Overview: herbicide resistance versus herbicide tolerance. (en línea). Corvallis, USA. s.p. Consultado ago. 2017. Disponible en <http://hracglobal.com/herbicide-resistance/overview>
27. INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, AR). 2017. Pastillas de pulverización. Las tres funciones que las pastillas pulverizadoras desempeñan. (en línea). Buenos Aires, Argentina. s.p. Consultado ago. 2017. Disponible en <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-pastillas.pdf>
28. MAGP. SAGyP (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca, AR). 2013. Segunda fase evaluación documento de decisión. Soja genéticamente modificada DAS-44406-6 (OECD), que confiere tolerancia a los herbicidas 2,4-D, glufosinato de amonio y glifosato, presentado por la empresa Dow AgroSciences Argentina S.A. (en línea). Buenos Aires, Argentina. s.p. Consultado ago. 2017. Disponible en http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2014/bosques/Dec_%20Soja_Dow_Dic2013.pdf
29. Matthews, G.; Hislop, E. 1993. Application technology for crop protection. Spray drift and its measurement. Eastbourne, Anthony Rowe. 101 p.
30. MONSTANTO, BR. 2017. Soja roundup ready. (en línea). San Pablo, Brasil. s.p. Consultado ago. 2017. Disponible en

<http://www.monsantoglobal.com/global/br/produtos/pages/soja-rr.aspx>

31. Montoya, J.; Porfiri, C. s.f. Estudio de la volatilidad de diferentes formulaciones de 2,4-D. (en línea). In: Congreso AAPRESID (25°. , 2017, Rosario, AR). Trabajos presentados. Anguil, La Pampa, Kairos. s.p. Consultado ene 2018. Disponible en <https://2017.congresoaaapresid.org.ar/wp-content/uploads/2017/08/Montoya-Estudio-de-la-volatilidad-de-diferentes-formulaciones-de-24-D.pdf>
32. Mueller, T. 2015. Methods to measure herbicide volatility. (en línea). Weed Science. 63(1):116-120. Consultado mar. 2018. Disponible en <http://www.bioone.org/doi/pdf/10.1614/WS-D-13-00127.1>
33. NCBI (National Center for Biotechnology Information, US). 2005. PubChem. National Library of Medicine. (en línea). Rockville, USA. s.p. Consultado ago. 2017. Disponible en https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Butyl_2_4-dichlorophenoxyacetate#section=Environmental-Fate
34. NDSU (North Dakota State University, US). 2017. Reducing Spray Drift. (en línea). Fargo, USA. s.p. Consultado ago. 2017. Disponible en <https://www.ag.ndsu.edu/pubs/ageng/machine/ae1210.pdf>
35. Olivet, J.; Villalba, J.; Schenzer, D. 2013. Tecnología de aplicación de agroquímicos en cultivos extensivos. Proyecto FPTA-260- Optimización de la tecnología de aplicación terrestre en cultivos extensivos. (en línea). Montevideo, Uruguay, INIA. 40 p. (FPTA no. 53). Consultado set. 2018. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429170314125051.pdf>
36. Ozkan H. E.; Zhu H. 2010. New Nozzles for Spray Drift Reduction. (en línea). Ohio State University. Extension Fact Sheet. AEX-523-98. s.p. Consultado feb. 2017. Disponible en <http://docplayer.net/34099326-Ohio-state-university-extension-fact-sheet.html>
37. _____. _____. 2016. Effect of Major Variables on Drift Distances of Spray Droplets. (en línea). Columbus, USA, Ohio State University Extension. s.p. (FABE-525). Consultado feb. 2017. Disponible en <http://ohioline.osu.edu/factsheet/fabe-525>

38. PES (Pesticide Environmental Stewardship, US). s.f. Understanding Droplet Size. (en línea). Brookings, USA, South Dakota Cooperative Extension Service. s.p. Consultado ago. 2017. Disponible en <https://pesticidestewardship.org/pesticide-drift/understanding-droplet-size/>
39. Peterson, M.; McMaster, S.; Riechers, D.; Skelton, J.; Stahlman, P. 2016. 2,4-D Past, Present, and Future: a Review. (en línea). Weed Technology. 30:303-345. Consultado ago. 2017. Disponible en https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/06C087DC1566A52C855B1EF1E109DD0B/S0890037X0000470Xa.pdf/24d_past_present_and_future_a_review.pdf
40. Roskamp, J.; Chahal, G.; Johnson, W. 2013. The Effect of Cations and Ammonium Sulfate on the Efficacy of Dicamba and 2,4-D. (en línea). Weed Technology. 27(1):72-77. Consultado ago. 2017. Disponible en <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-technology/article/effect-of-cations-and-ammonium-sulfate-on-the-efficacy-of-dicamba-and-24d/B41288AE70401C7585F8D55B925165ED>
41. Sosnoskie, L.; Culpepper, A.; Braxton, L.; Richburg, J. 2015. Evaluating the Volatility of Three Formulations of 2,4-D When Applied in the Field. Weed Science. 29(2): 177-184.
42. Sumner, P. 1997. Reducing Spray Drift. (en línea). Athens, The University of Georgia. College of Agricultural and Environmental Sciences. Cooperative Extension Service. 10 p. Consultado ago. 2017. Disponible en <http://caes2.caes.uga.edu/commodities/spray/pubs/documents/reducing.PDF>
43. Teejet, US. 2004. Guía del usuario de boquillas de pulverización. (en línea). Wheaton, USA. 56 p. Consultado ago. 2017. Disponible en <http://teejet.it/media/350064/lms112%20users%20guide%20spanish.pdf>
44. _____. 2011. Tee-Jet Technologies. Catálogo 51-ES. (en línea). Wheaton, USA. 144 p. Consultado ago. 2017. Disponible en http://teejet.it/media/427750/cat51_spanish.pdf

45. Tewari, V.; Muralikrishna, R.; Pandya, A. 1998. Performance evaluation and computer aided design of valve type hollow cone nozzles: ASAE 98-1025. St. Joseph, USA, ASAE. 15 p.
46. Topps Water Protecton. BE. s.f. Reduction of spray drift. (en línea). Brussels, Belgium. s.p. Consultado ene. 2017. Disponible en <http://www.topps-life.org/spray-drift.html>
47. Tuesca, D.; Papa, J.; Morichetti, S. 2016. Manejo de malezas problema. *Amaranthus palmeri* (S.) Watson. Bases para su manejo y control en sistemas de producción. (en línea). Rosario, Argentina, AAPRESID. 31 p. Consultado set. 2018. Disponible en <http://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/3/2016/12/Manual-Amaranthus-Palmeri-PARA-WEB-FINAL.pdf>
48. Unglesbee, E. 2017. Dicamba Decisions 3. (en línea). Rockville, SA, The Progressive Farmer. s.p. Consultado jun. 2017. Disponible en <https://www.koenigequipment.com/industry-news/2017/02/dicamba-decisions-3>
49. Victoria State Government, AU. 2017. Spraying, spray drift and off-target damage. (en línea). Victoria, Australia. s.p. Consultado ago. 2017. Disponible en <http://agriculture.vic.gov.au/agriculture/farm-management/chemical-use/agricultural-chemical-use/spraying-spray-drift-and-off-target-damage>
50. Werle, R.; Proost, R.; Boerboom, C. 2018. Soybean Injury from Dicamba. (en línea). Wisconsin, USA, University of Wisconsin. s.p. (Extension A4161). Consultado may. 2018. Disponible en <https://learningstore.uwex.edu/Assets/pdfs/A4161.pdf>
51. Wilson, L.; Hillger, D.; Havens, P.; Qin, K.; Kruger, G.; Hewitt, A. 2012. Evaluating Reduction of Spray Drift with Colex-D Technology. In: Congresso Brasileiro da Ciencia das plantas Daninhas (28^o., 2012, Campo Grande, BR). A ciencia das plantas daninhas na era da Biotecnologia. Mato Grosso del Sur, Brasil, Campo Grande, Brazilian Weed Science Society. pp. 83-87.