



Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Trabajo Final de Carrera

“Pulverización con máquinas de botalón y bajo volumen.
Características, eficiencia y riesgos ambientales de la aplicación”

Alumno: Valenzuela, Lucas María

Director: Ing. Agr. Matilde Mur

Co-director: Ing. Agr. Roberto H. Balbuena

Fecha de presentación: 24 de mayo del 2016

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
HIPÓTESIS	14
Hipótesis básica	14
Hipótesis de trabajo.....	14
OBJETIVOS	14
Objetivos generales:.....	14
Objetivos específicos:	15
MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
Ensayo sobre rastrojo de Soja	19
Cantidad de Impactos.....	21
Diámetro volumétrico mediano.....	27
Cobertura.....	30
Eficiencia	33
Deriva de la aplicación.....	36
Ensayo sobre rastrojo de Sorgo.....	42
Cantidad de impactos.....	43
Diametro volumetrico mediano.....	48
Cobertura.....	52
Eficiencia.....	55
Deriva de la aplicación.....	61
CONCLUSIONES	63

RESUMEN

La aplicación de herbicidas en barbecho y presembrado, requiere una correcta aplicación de los agroquímicos para que la mayor cantidad de producto llegue a las malezas objetivo y no se pierdan en el ambiente circundante. Una tecnología de proceso que se está difundiendo, es la de reducir la cantidad de agua que se utiliza como vehículo para el transporte del principio activo.

Con el objetivo de probar esta técnica, se realizaron dos ensayos sobre distintos terrenos, uno sobre un rastrojo de soja y otro sobre un rastrojo de sorgo. En ambos casos se probaron dos tipos de pastillas de pulverización, una de impacto (Turbo Teejet 11002) y otra de disco y núcleo (Albuz D513). La pastilla de impacto utilizada a 2,5 bar de presión y a una velocidad de avance de 5,5 m/s permitió una tasa de aplicación de 70 l/ha, mientras que, la pastilla de disco y núcleo utilizada a 4,5 bar de presión y con una velocidad de 5 m/s distribuyó 30 l/ha. Se utilizaron tarjetas hidrosensibles para la recolección de datos, dispuestas de manera apareadas en el primer ensayo y en dos estratos en el segundo. El programa utilizado para la evaluación de las tarjetas fue el CIR1.5 determinando el número de impactos, cobertura, eficiencia y diámetro volumétrico mediano (DVM).

En el ensayo realizado sobre el rastrojo de soja, la eficiencia alcanzada por la técnica de bajo volumen, fue similar a la técnica de aplicación convencional. No sucedió lo mismo sobre el rastrojo de sorgo, donde tanto las condiciones ambientales como operativas influyeron para que no sucediera lo mismo. En cuanto al número de impactos, ambas técnicas alcanzaron las recomendaciones mínimas para herbicidas sistémicos. La técnica de bajo volumen presentó mayores riesgos de pérdida de producto por exoderiva. El tamaño de gotas que se derivan por el viento fue independiente de la técnica de pulverización utilizada.

INTRODUCCIÓN

Con el incremento en la demanda de alimento de origen vegetal, tanto en calidad como en cantidad, el futuro de las aplicaciones fitosanitarias se convierte cada vez más en un eslabón importante e indispensable en la cadena de producción.

La pulverización es la forma más difundida de aplicación de fitoterápicos, pero su uso es complejo, no solo desde el punto de vista agronómico, sino también por todo aspecto que involucra la preservación del medio ambiente y la salud humana (Onorato & Tesouro, 2004).

La práctica de pulverización debería ser realizada con el concepto de aplicación de plaguicidas, definida como "el empleo de todos los conocimientos científicos necesarios para que un determinado fitoterápico llegue al blanco, en cantidad suficiente para cumplir su cometido sin provocar contaminación ni deriva. Esto requiere trabajar con un enfoque sistémico, integrador, que contemple el análisis y la interacción de múltiples variables, tal como fuera definido por diferentes autores (Bertalanffy, 1981).

Una interpretación sistémica del proceso de aplicación de plaguicidas es la que posibilita una adecuada preparación de los pulverizadores para realizar una tarea exitosa (Massaro, 2004).

Habitualmente, la evaluación de la eficiencia de los plaguicidas (insecticidas, herbicidas y fungicidas) se realiza exclusivamente por sus dosis de principio activo y momento de aplicación, asumiendo que dicha dosis alcanza en su totalidad "el blanco" objeto del tratamiento (insecto, maleza o microorganismo), cuando en realidad sólo una parte de la misma lo hace. Los procesos involucrados para que una pulverización alcance la plaga a tratar o blanco de aspersion son: a) el proceso de formación de gotas, b) la deriva de gotas hacia otros sitios, c) la capacidad de esas gotas para depositarse sobre el blanco alcanzado y d) la cobertura, medida como número de impactos por centímetro cuadrado y la dosis de principio activo que se deposita sobre el blanco en cuestión (Leiva, 1996).

Se entiende por calidad de aplicación a la cantidad de principio activo depositado sobre el blanco con una determinada cobertura y persistencia del producto en una forma absorbible sobre la superficie foliar.

En relación a los procesos de formación de gotas, la pulverización hidráulica es la forma más utilizada en cultivos extensivos El proceso de formación de gotas se da en este

tipo de máquinas por el paso del líquido a cierta presión a través de un orificio calibrado en las pastillas, realizando a partir de la energía cinética del líquido el transporte de los diferentes productos al objeto de aplicación. La cantidad y el tamaño de gotas obtenidas es conocido como espectro de distribución (Magdalena et al., 2000). Éste resulta ideal cuando permite controlar la plaga en cuestión con la mínima cantidad de producto, preservando la seguridad de las personas y el ambiente (Smith et al., 2000).

Es frecuente referirse al tamaño de las gotas por su diámetro en micrones (μm). Un mismo volumen puede dispersarse en gotas grandes o pequeñas. Las gotas grandes tienen la ventaja de descender rápidamente y estar menos expuestas a la deriva por viento y por evaporación. Su principal desventaja es la reducción de deposición y adherencia sobre la superficie vegetal, pudiendo rebotar contra las hojas y caer al suelo en forma directa, o deslizarse y juntarse con otras gotas. A igualdad de volumen, es menor el número de impactos que se puede lograr con gotas grandes (Etiennot, 1993). A nivel internacional existen clasificaciones tanto de las pastillas de pulverización como de la población de gotas que las mismas producen (Doble et al., 1985; ASABE, 2009)

Por lo contrario, las gotas pequeñas mejoran la retención por parte de las hojas, la cobertura, ofreciendo también una mejor penetración en el cultivo, y la posibilidad de alcanzar la cara inferior de las hojas, tallos, etc. Su principal desventaja es que por su menor peso están más propensas a ser transportadas por el viento (deriva) y por su elevada superficie expuesta en relación al volumen, a sufrir una intensa evaporación antes de depositarse. La práctica indica que, trabajando con agua como dispersante, gotas menores de $150 \mu\text{m}$ están muy expuestas a la evaporación y deriva, y aquellas mayores de $350 \mu\text{m}$ no proveen una adecuada cobertura y caen generalmente al suelo arrastrando con ella al agroquímico. Se considera que un adecuado balance se obtiene utilizando gotas entre $200\text{-}250 \mu\text{m}$ de diámetro (Leiva, 1995).

Los tipos de pastillas más frecuentemente utilizadas son las de abanico plano (incluyendo dentro de las mismas las de impacto) y las de cono hueco. Hoy en día se está introduciendo un tercer tipo de pastilla llamada de inducción de aire. Las pastillas de abanico plano se utilizan principalmente para la aplicación de herbicidas donde es importante la uniformidad del tratamiento. La pastilla de cono hueco en cambio, es recomendada para tratamientos con insecticidas y fungicidas donde lo importante es el logro de una gran cantidad de impactos y su penetración, en mayor medida que la uniformidad (Larragueta, 1985; Albuz, 2014; Teejet, 2014).

En cuanto a la eficiencia en la deposición de las gotas, las mismas deben depositarse y permanecer sobre la superficie foliar. Este proceso depende básicamente de dos aspectos: su tamaño y el estado y características de la superficie de contacto de la hoja. Un volumen representado por muchas gotas grandes hacen que algunas de éstas, cayendo con una velocidad mayor que gotas más pequeñas, reboten y caigan al suelo, que se deslicen sobre las hojas y se mezclen con otras formando gotas aún más grandes y acumulándose en las puntas de las láminas o cayendo finalmente de ellas. Este tamaño de gotas tiene un solo sentido de movimiento, hacia abajo. Junto con la gota cae parte del plaguicida dosificado, factor que agrava la situación porque las gotas grandes transportan más plaguicida que las gotas pequeñas.

Las gotas pequeñas, en cambio, tienen la oportunidad de quedar por cierto tiempo suspendidas en el aire y son transportadas por el viento dentro del canopeo impactando no sólo en la cara superior de las hojas, sino en la inferior y sobre tallos y otras estructuras. Una vez en contacto con la superficie vegetal tienen más adherencia por su menor peso (Etiennot, 1990).

Además, la superficie vegetal presenta como dificultad para la adherencia, una capa de cera más o menos gruesa y a veces pelos más o menos largos y densos. La cera favorece el escurrimiento y la coalescencia de las gotas por resbalamiento y los pelos dificultan el contacto con la epidermis (Etiennot, 1993). Estos fenómenos originan, cuando el dispersante es agua, efectos de alta tensión superficial que hacen que las gotas adopten la forma esférica, con poca superficie de contacto, y tiendan a rodar. Para reducir este efecto negativo, es necesario algunas veces el uso de tensioactivos que hacen que la gota adopte una posición achatada incrementando la adherencia por una mayor superficie de contacto (Marer, 1988). Sin tener en cuenta los fenómenos de superficie, las gotas pequeñas en su conjunto tienen más probabilidades de depositarse que un mismo volumen representado por una sola gota más grande.

Otras veces, el estado de la superficie puede afectar la adherencia. Por ejemplo, el rocío por la mañana puede provocar el lavado de las deposiciones, mientras que los efectos de un estrés hídrico prolongado incrementan el espesor de las capas cerosas.

Por todo lo expuesto, se desprende que aquellos tratamientos que requieran un efecto de contacto y de penetración en el canopeo deban hacerse con un menor tamaño de gotas y mayor número de ellas que aquellos realizados con productos traslocables, que sólo requieren alcanzar una parte de la superficie a tratar (Larragueta, 1985). Sin

embargo, las condiciones existentes bajo siembra directa de cultivos pueden modificar las recomendaciones de carácter general. A veces, la masa de residuos constituye una barrera para que los productos alcancen el objeto de aplicación. En dichas circunstancias puede ser necesario recurrir a aplicaciones con gotas pequeñas aunque se apliquen productos sistémicos.

Esta mayor eficiencia de penetración y deposición que generan las gotas pequeñas presenta como riesgo los efectos de la deriva. Se conoce por deriva aquella parte de la aspersión que no alcanza el blanco objeto del tratamiento. Algunos autores (Etiennot, 1990) la dividen en exo y endoderiva. La primera corresponde a aquella parte del líquido pulverizado que cae fuera del área a tratar; la segunda, a aquella parte que cae dentro del área pero no sobre el blanco.

Dentro de los factores que inciden sobre la deriva podemos agrupar a aquellos que corresponden a las características de la aspersión, al equipo y técnicas de aplicación, a las condiciones de tiempo atmosférico y a los equipos y accesorios específicos (Leiva, 1995). Arvidsson et al., (2011), coincide en parte con este agrupamiento pero incorpora también a la habilidad y atención del operador y a las características del ambiente, además de las condiciones meteorológicas.

Las características de la aspersión afectan la deriva a través del tamaño de gotas; a menor tamaño la velocidad de caída es menor, mayor la evaporación por mayor superficie expuesta en relación al volumen transportado que reduce progresivamente el tamaño de la gota durante su caída. El mayor tiempo que permanece suspendida, aumenta las probabilidades de ser transportada por el viento. A igualdad de humedad relativa ambiente y temperatura, 50% de HR y 30°C, una gota de 200 μm demora 42" en reducirse a la mitad, mientras que una de 100 μm tarda sólo 14" en evaporarse completamente (Walla, 1980). En términos prácticos, las condiciones de deriva se incrementan para tamaños de gotas menores a 150 μm si se usa agua como diluyente (Leiva, 1995).

La combinación de gotas pequeñas, viento, baja humedad relativa y temperatura ambiente elevada, puede provocar graves pérdidas de producto. En relación a los efectos negativos de los procesos de exoderiva por viento, Etiennot (1990), menciona la existencia de reglamentaciones que prohíben la aplicación de plaguicidas con vientos superiores a los 15 km/hora, condición que debe respetarse escrupulosamente cuando en el sentido del viento se encuentren cultivos sensibles a herbicidas. Costa et al. (1979)

también indican como límite una velocidad de viento de 15 km/hora en general, sin considerar cuestiones agronómicas específicas. Sin embargo, los cambios acontecidos en la tecnología de aplicación de productos agroquímicos han producido modificaciones en estos aspectos. Etiennot & Piazza (2010) estiman que dicho valor podría considerarse como el límite máximo en zonas próximas a urbanizaciones, cuerpos o fuentes de agua y cultivos sensibles, debiendo ser, además, el sentido del viento, contrario a estas zonas sensibles.

Las normativas vigentes a nivel de la República Argentina varían actualmente a nivel provincial y municipal. Por lo general, no especifican mayores restricciones en relación a la velocidad del viento para las aplicaciones alejadas de los centros urbanos, sino que las mismas son limitadas a que no se realicen aplicaciones en condiciones ventosas. En algunas ocasiones, se indica que al respecto deben respetarse las condiciones indicadas por el fabricante del producto agroquímico. Sin embargo, en las etiquetas de los productos vuelven a quedar sin mayores precisiones aquellos aspectos relacionados a las condiciones atmosféricas al momento de aplicación. Por ejemplo, la etiqueta del glifosato indica como medida precautoria general, entre otros aspectos “Mezclar el producto al aire libre. No pulverizar en días ventosos”

En otras ocasiones, el nivel de detalle es mayor. Por ejemplo, en el caso del Programa provincial de Uso Racional de Agroquímicos, Ley 4073 de biocidas y agroquímicos de Chubut, se recomiendan como medidas de seguridad que no se apliquen pesticidas cuando hay vientos superiores a 10 km/hora.

Según Márquez Delgado (2008) la velocidad del viento atmosférico puede dificultar que el tratamiento sea correcto, perdiéndose por deriva una buena parte del producto. Para evitarlo recomienda utilizar boquillas adecuadas que consigan una pulverización fina para el caso de viento en calma o brisa muy ligera, o pulverización gruesa cuando se superen los 5 a 6 m/s (18 a 21,6 km h⁻¹) de velocidad del viento. Si el viento supera los 7 m/s (25,2 km h⁻¹) se debe evitar la aplicación. En condiciones normales, con velocidades de viento entre 1,5 y 5 m/s (5,4 y 18 km h⁻¹) la pulverización de finura media, con los tamaños de gota anteriormente señalados, es la que proporciona los mejores resultados.

A mayor humedad ambiente se reducen los efectos por evaporación provocados por las altas temperaturas. Como límite de seguridad puede establecerse el no efectuar tratamientos con plaguicidas líquidos a más de 25°C de temperatura y humedad relativa inferior al 60% (Walla, 1980; Etiennot, 1990).

La formulación del plaguicida, a través de la volatilidad de los disolventes, afecta la evaporación potencial de las gotas. A su vez, el agua como medio dispersante, favorece la evaporación en comparación a diluyentes oleosos.

La selección del volumen de líquido en que se debe aplicar un pesticida, en alguna medida queda a criterio del usuario, ya que los márgenes de aplicación de los productos suelen ser amplios, a veces en el orden del 20% al 70% de incremento entre el valor mínimo recomendado y el valor máximo. En la práctica se usa el mismo caudal de campo contra una amplia diversidad de plagas y usualmente es determinado por la descarga que posee el equipo pulverizador.

Las aplicaciones de alto volumen tienen como objetivo cubrir toda el área en cuestión. Se presta poca atención al espectro de pulverización, de tal manera que en el transcurso de los años se han empleado numerosas pastillas pulverizadoras que producen una amplia gama de tamaños de gotas. Al asperjar toda el área de un cultivo, muchas gotas pueden caer entre el follaje y en especial en el espacio que queda entre los surcos. Las que impactan sobre las hojas, pueden coalescer a tal grado que no permanecen retenidas y el líquido excedente gotea a las hojas inferiores y de allí al suelo (endoderiva). Bajo estas condiciones pueden perderse en el suelo hasta un tercio de la sustancia aplicada a los cultivos, especialmente en aquellos de follaje denso en donde se busca colocar el producto en las hojas basales incrementando los volúmenes de aplicación. Algunas estimaciones sugieren que es posible que hasta un 80 % del total del pesticida utilizado llegue al suelo (Courshee, 1960).

Si se considera la cantidad de producto pulverizado en contraste con aquel que realmente alcanzó al objetivo a controlar, también llamado depósito, el proceso de aplicación puede ser considerado como poco eficiente (Courshee, 1960; Graham-Bryce, 1977). La determinación de la eficiencia considerada en los términos precedentes puede ser efectuada a través de distintas metodologías. Domper et al. (2015) compara métodos fluorimétricos con procesos de digitalización de imágenes de tarjetas estableciendo que este último sobreestima la cantidad de líquido recolectado sobre el objeto de aplicación, con valores diferenciales para pastillas con y sin inducción de aire. Sin embargo aún deben considerarse otros aspectos que pueden afectar directamente la acción del producto, aunque éste se halle depositado en el objetivo. Entre ellos se puede mencionar la calidad del agua que se utiliza como vehículo del agroquímico. Su pH, la presencia de cationes y coloides repercuten sobre la capacidad biocida pudiendo afectar seriamente el

tratamiento (Papa & Massaro, 1999; Leiva, 2010). Si bien existen varias alternativas para minimizar estos efectos, la aplicación con volúmenes de agua reducidos pareciera ser una alternativa viable en determinadas condiciones de trabajo, que ha sido adoptada rápidamente a nivel de contratistas. Dicho fenómeno pareciera estar asociado a dos factores. El primero se basa en acotar la cantidad de vehículo para que sus características físico químicas interactúen en menor grado con el producto y el segundo, a una mayor autonomía del equipo pulverizador que apunta a mejorar la rentabilidad de la actividad (Moltoni et al., 2008). En este sentido Leiva & Picapietra (2012) para la aplicación de Glifosato, también coinciden en que al bajar el volumen de pulverización, la incidencia es directamente proporcional, menos agua, menos inactivación del Glifosato. Citan la experiencia práctica de muchos contratistas y productores que a lo largo de más de 10 años, han obtenido resultados muy buenos con volúmenes de 40-50 l/ha. Otros fundamentos que encuentra esta técnica son la mejora en la penetración en el canopeo por disminución del tamaño de gota, un aumento de la concentración del principio activo, la disminución en el uso de agua y la reducción de costos por un aumento en la capacidad de trabajo (hectáreas por hora).

Rodríguez (2011) informa que en los últimos años, con la aparición de nuevas plagas, enfermedades más agresivas, en mayor número y con condiciones ambientales no del todo favorables se comenzó a observar que los tratamientos con productos fitosanitarios pierden eficiencia. Para mejorar esta situación propone la evaluación y el aumento de la eficiencia de los productos como así también disminuir el impacto ambiental. Para llevar a cabo estos objetivos se toman decisiones agronómicas de manejo que permiten variar el tamaño y cantidad de impactos logrando mayor penetración y llegada al objetivo de aplicación de acuerdo a las condiciones ambientales y de cultivo que se tenga en determinado momento. Sugiere la utilización de pastillas de cono hueco con disco y núcleo Albuz D513, a un distanciamiento de 0,70 m entre pastillas y variando la altura del botalón entre 0,70 m y 1,00 m de acuerdo a las condiciones de viento, para favorecer que los conos de aspersion tengan al menos dos cruces entre sí.

Frola (2013) menciona que, para cualquier aplicación, la elección del tamaño de la gota está determinada por la cobertura y la dificultad de llegar al objetivo. Para un barbecho sobre rastrojo de sorgo, la maleza está cubierta por el mismo y el tamaño de la gota debería rondar los 200 micrones. Si el rastrojo es de soja, la dificultad para impactar la maleza es menor y trabajando a 3 bar de presión y con gota de 250 micrones se

cumplirían los objetivos. Recalca además, en relación al uso del agua y la concentración del producto, que no es lo mismo aplicar altos y bajos volúmenes ya que en estos últimos la concentración mayor del producto aumenta la eficiencia del mismo. Asimismo, Para que la técnica de aplicación sea válida deben mantenerse premisas como el respeto del tamaño y el número de impactos, pero también el monitoreo de las condiciones ambientales. Establece que se debe trabajar con temperatura inferior a 30°, humedad relativa superior a 40%, y vientos con velocidades menores a 18-20 km h⁻¹ y tener en cuenta que cuando estas condiciones no son buenas se debe recurrir al uso y manejo de los coadyuvantes antievaporantes, que ayuden a proteger la gota que se está generando.

Ghirardi (2012) cita que para lograr una correcta aplicación de agroquímicos con bajo volumen de agua, es necesario contar con ciertas condiciones ambientales para que la misma sea eficiente. Entre ellas, destaca la función del viento, debido a que disminuye las posibilidades de una inversión térmica y permite la penetración del caldo en cultivos con un canopeo cerrado. Más allá del volumen de líquido utilizado, indican también que lo importante sería obtener un tamaño de gotas adecuado para cada tratamiento y uniformidad en las mismas, sin dejar de lado la cantidad óptima de éstas y su ubicación en el lugar justo.

Casal (2012) presenta estudios de caracterización de las pastillas de cono hueco con disco y núcleo de mayor difusión en la Argentina para las aplicaciones con bajo volumen de agua. Los resultados obtenidos en la medición del tamaño de gotas, para la combinación de disco 5 y núcleo 13, a una presión de 40 psi, arrojó un DV_{0,1} de 90 µm, un DV_{0,5} de 154 µm y un DV_{0,9} de 247 µm. De igual manera se obtuvieron los resultados para la combinación de disco 5 y núcleo 23, donde los resultados obtenidos fueron de un DV_{0,1} de 84 µm, un DV_{0,5} de 147 µm y un DV_{0,9} de 215 µm. En cuanto a la uniformidad de la población de gotas, la amplitud relativa (relación entre el DV_{0,9} el DV_{0,1} con respecto al DV_{0,5}) alcanzó valores de 1,01 para la combinación D513 y de 0,89 para D523, debiendo tenerse en cuenta que a medida que los valores de amplitud relativa se incrementan, es mayor la desuniformidad de la población. Dichos valores marcan entonces que la población de gotas en dichas combinaciones es relativamente uniforme.

Por otra parte, el comportamiento de las pastillas de cono muestra en relación a la cobertura importantes variaciones en acuerdo con la presión de trabajo para distintas pastillas (fabricantes) lo cual indica la necesidad de validar experimentalmente la eficiencia de trabajo en campo.

En cuanto al concepto de eficiencia, la misma está en función de la cantidad de principio activo que se haya depositado sobre el blanco, con una cobertura dada por el número de gotas por cm^2 y el tamaño de las mismas que resulte acorde al tipo de producto empleado. Es condición, además, la persistencia del producto en una forma absorbible sobre la superficie del blanco. A su vez, cuando la acción principal del plaguicida es de contacto y no por absorción-ingestión, se requiere una mayor cobertura. Los insecticidas y fungicidas de contacto requieren una cobertura mínima de 50 gotas/ cm^2 . Esto resulta aún más importante en la aplicación de fungicidas donde su acción es básicamente preventiva de una infección en toda la extensión de la canopia (Larragueta, 1985). Los productos sistémicos en cambio, se traslocan dentro del organismo resultando suficiente que sólo una parte del mismo reciba el plaguicida, por lo que admiten un menor número de impactos y por consiguiente una menor cobertura. Al respecto, Márquez Delgado (2008) afirma que, como norma general, se recomiendan para herbicidas de preemergencia realizar aplicaciones por pulverización con un mínimo de 20 a 30 gotas/ cm^2 con un VMD (DV0,5) de 400 – 600 μm , mientras que para herbicidas de post-emergencia (contacto) el número de impactos asciende a 30 - 40 gotas/ cm^2 con un VMD (DV0,5) 200 – 400 μm . En este aspecto, Frola (2013) considera que se pueden realizar aplicaciones eficientes con bajos caudales y tamaños de gotas uniformes, entre 200 y 400 micrones, de acuerdo al objetivo a controlar, sin grandes riesgos de afectar al cultivo adyacente. Así se aumenta el número de impactos que llegaron al objetivo, mejorando la calidad de aplicación y el posterior control. Sin embargo, advierte que uno de los mayores temores durante la aplicación es el aumento de la deriva. Para minimizarla, hay que evitar las gotas menores de 100 micrones, tanto en aplicaciones aéreas como terrestres, cuando las condiciones del viento lo requieran.

Dentro de las tecnologías existentes para lograr mayor eficiencia en las aplicaciones se puede mencionar el uso de coadyuvantes. Estas son sustancias que agregadas en el tanque al caldo de pulverización, en forma separada a la formulación del pesticida, ayudan a mejorar la calidad en la aplicación. (Hartzler, 2001; Hock 2011). Los mismos autores hacen una clara descripción de los diferentes coadyuvantes. Entre ellos podemos mencionar a los tensioactivos, también denominados surfactantes, cuyo objetivo es disminuir la tensión superficial del caldo de pulverización a fin de lograr un mejor mojado en la superficie foliar. Los antiderivantes incrementan el Diámetro Volumétrico Mediano (DVM) de las gotas a fin de ser menos arrastradas por el viento (Hock, 2011). Hewitt et al. (2001) Estudiaron los efectos de las propiedades del líquido y del diseño de la

boquilla de pulverización sobre el potencial de deriva y demostraron que el uso de adyuvantes tiene un efecto directo sobre la ruptura de la pulverización utilizando tipos comunes de boquillas, lo cual ocasiona cambios en las características de la población de gotas, incidiendo sobre el tamaño de las gotas y como consecuencia en las posibilidades de deriva.

Es bien sabido que al aumentar la eficiencia de las aplicaciones de biocidas en el ámbito rural se disminuye las pérdidas de producto obteniéndose un mayor control del objetivo a tratar. Esto incide sobre el aspecto económico, con el real aprovechamiento de las dosis aplicadas y también sobre el marco ambiental, evitando la presencia de fitoterápicos en suelos y aguas. (Mahler et al, 1997). Respecto al concepto de eficiencia, la misma también puede vincularse con la cantidad de producto que efectivamente llega al objeto de aplicación en relación a la cantidad de producto distribuido por unidad de superficie. Martens (2012) menciona que la bibliografía aporta datos de eficiencias entre el 25% y el 60%, correspondiendo los menores valores a las aplicaciones sobre explotaciones arbóreas y las mayores a aquellas efectuadas en condiciones de barbecho y suelo desnudo. Se desprende de hecho que aquella parte del producto que no llega al objetivo es liberada al ambiente, no generando su función, estableciendo pérdidas económicas, riesgos de contaminación ambiental y peligros para la salud. Ejemplifica que una aplicación que alcance niveles aceptables, cercanos al 60% de eficiencia libera 1 l ha⁻¹ cuando se aplican 2,5 l ha⁻¹ de glifosato, 0,2 l cuando se aplica 0,5 l ha⁻¹ de 2,4 D y 0,100 l ha⁻¹ de Cipermetrina, cuando se aplican 0,250 l ha⁻¹

Para las evaluaciones de la calidad de aplicación, se utilizan tarjetas sensibles al agua o al aceite, distribuidas en número variable, entre 8 y 10, en distintos lugares del lote y lejos de las cabeceras. (Miguens, 1981). El uso de tarjetas sensibles es una evaluación accesible y simple que resume la calidad de una aplicación por el simple hecho que, si un producto no llega convenientemente es de esperar que los controles sean deficientes o nulos. Las mismas permiten determinar, a través de distintas metodologías de evaluación el grado de cobertura y uniformidad de un tratamiento, estimar el tamaño de gotas a través de patrones gráficos provistos por la empresa que comercializa las tarjetas, valorar la penetración en el canopeo realizando lecturas a diferentes alturas, cuantificar la deriva y localizar fallas a lo largo del ancho de aspersion.

Sin embargo, son escasos los trabajos que evalúan la prestación de los principales tipos de pastillas y técnicas de aplicación en condiciones productivas. Por ello, se plantea

la realización de ensayos que permitan valorar adecuadamente la calidad y eficiencia de aplicación de las técnicas de alto y bajo volumen en el control de malezas en presiembra, a partir del uso de pastillas de impacto y de cono hueco con disco y núcleo, respectivamente.

HIPÓTESIS

Hipótesis básica

- La eficiencia de aplicación es función de la interacción entre la técnica de aplicación y las condiciones climáticas al momento de efectuar la labor

Hipótesis de trabajo

- La utilización de la técnica de bajo volumen alcanza igual eficiencia que los sistemas de aplicación convencional, en los tratamientos para el control de malezas en presiembra.
- La mayor tasa de aplicación presenta una mayor cobertura del objeto de aplicación.
- La cantidad de principio activo sobre el objeto de aplicación es independiente de la técnica de aplicación utilizada.
- La técnica de bajo volumen presenta mayor exoderiva que la aplicación con alto volumen y pastillas de impacto.
- El tamaño de las gotas que se derivan por el viento es independiente de la técnica de aplicación utilizada.
- La técnica de bajo volumen presenta en el objeto de aplicación una mayor uniformidad de tamaños de gotas.

OBJETIVOS

Objetivos generales:

- Propender hacia una aplicación eficiente de los productos agroquímicos compatible con el medio ambiente

- Realizar aportes a la plataforma cognitiva actual sobre técnicas de aplicación de agroquímicos que contemplan una reducción en el uso del agua y un aumento en la eficiencia de trabajo de las máquinas agrícolas

Objetivos específicos:

- Evaluar la eficiencia de sistemas de aplicación de agroquímicos de amplia difusión en el medio productivo
- Caracterizar la técnica de aplicación de bajo volumen a través de los principales parámetros de evaluación de la calidad de aplicación
- Establecer los riesgos de deriva de las técnicas de bajo y alto volumen de aplicación en condiciones reales de producción
- Determinar en pulverización de herbicidas sistémicos en barbecho la cantidad de producto que efectivamente llega al objeto de aplicación
- Evaluar la uniformidad de la población de gotas que alcanza el objetivo de aplicación

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en la localidad de Fortín Olavarría, partido de Rivadavia, al NE de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, 35° 42 S, 63° 00 W, altitud 97 m.s.n.m.

El terreno sobre el cual se realizó el ensayo fue un rastrojo de trigo/soja de segunda y un rastrojo de sorgo.

El equipo pulverizador con el que se realizaron las aplicaciones es del tipo autopropulsado, marca Metalfor Múltiple 2800 de 23 m de ancho de labor (figura 1).

El herbicida utilizado durante el ensayo, fue Sulfosato Touchdown (glifosato 62%) de Syngenta, en una concentración de 2,5 l ha⁻¹. Al mismo tiempo se utilizó fertilizante foliar Complex Plus como corrector de agua y coadyuvante Novadox en concentraciones de 0,8 l ha⁻¹ y 0,070 l ha⁻¹ respectivamente.

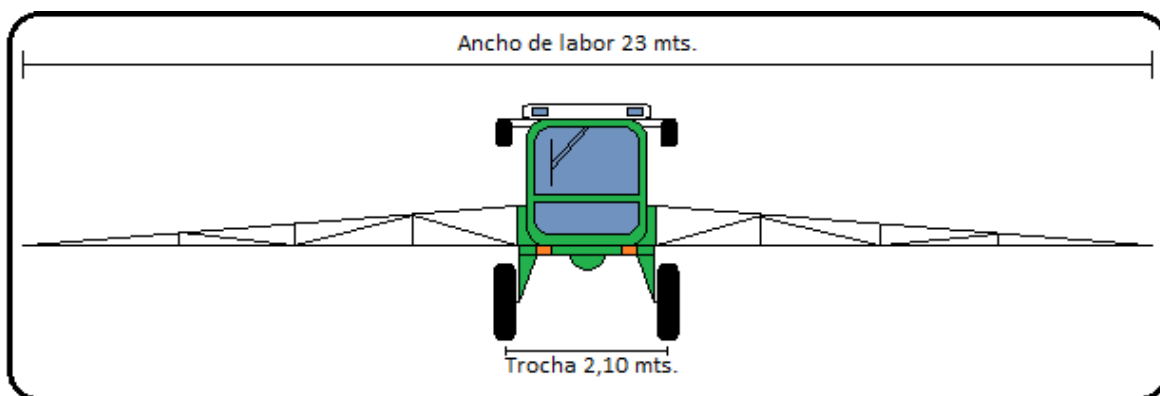


Figura 1. Diagrama de la pulverizadora Metalfor Múltiple 2800.

Tabla 1. Boquillas utilizadas en el ensayo. En la última columna se muestran las siglas de referencia de cada uno de los tratamientos.

Boquillas	Presión (bar)	Velocidad de avance (m.s ⁻¹)	Tasa de aplicación (l.ha ⁻¹)	Siglas de referencia
TTeejet 11002	2,5	5,5	70	A
Albuz D 513	4,5	5	30	B

En forma previa a la aplicación se realizaron los controles de caudal por pastilla que permiten para cada técnica alcanzar el volumen de aplicación correspondiente. El caudal de las pastillas fue ajustado para erogar la dosis deseada por medio de la variación de la presión de trabajo, en el rango estipulado por tablas del fabricante.

La toma de muestras se realizó en cuatro sectores diferentes para determinar los efectos directos de la aplicación y los correspondientes al pasaje de la máquina pulverizadora y la deriva acumulada en los sectores correspondientes a las próximas 3 pasadas, siendo su ubicación establecida en el lote según la dirección del viento predominante al momento del ensayo.

En cada pasada, en correspondencia con cada uno de los 4 sectores de medición se establecieron 3 repeticiones, dentro de cada una de las cuales se colocaron 2 tarjetas distanciadas unos 50 cm entre sí, en el sector medio de la mitad del botalón contrario a la dirección principal del viento predominante. En función de ello en el segundo sector se determinó el efecto acumulado de la deriva de una pasada, en la tercera pasada 2 derivas y en la cuarta 3 derivas, más la aspersion correspondiente a la pasada (figura 2).

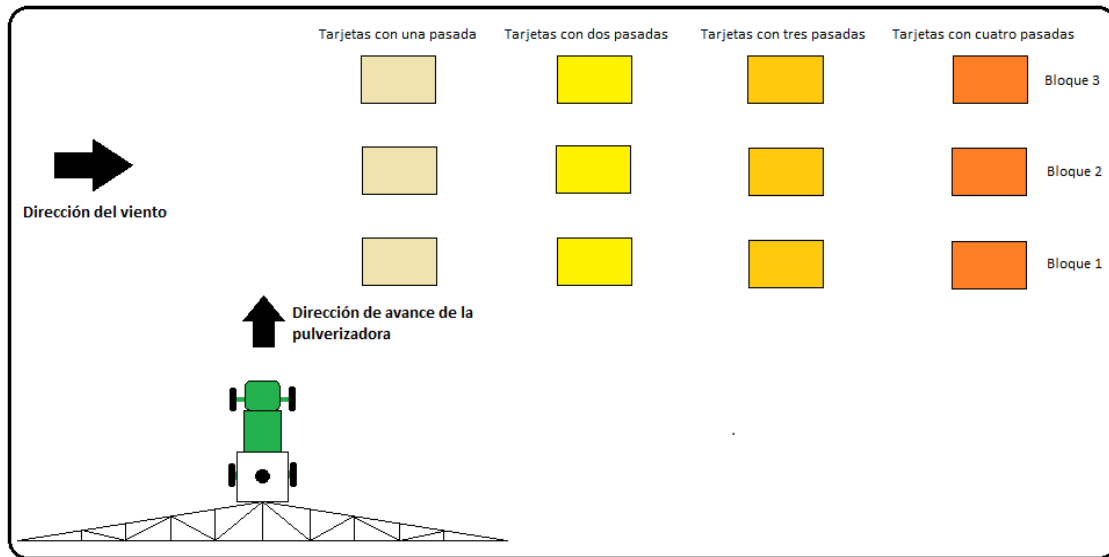


Figura 2. Diagrama de ubicación de las tarjetas para la estación de muestreo 1.

Las tarjetas se colocaron en forma horizontal sobre soportes porta tarjetas, armados con alambre, donde se sujetó la tarjeta a una altura de aproximadamente 0,15 m sobre el nivel del suelo (figura 3).



Figura 3. Soporte porta tarjeta y tarjeta hidrosensible.

Cada par de soportes y tarjetas, constituyó un bloque y los mismos estaban distanciados aproximadamente unos 23 m uno de otro.

También se evaluó la deriva a través de un soporte vertical. En el mismo se colocaron 3 tarjetas en posición vertical y a distintas alturas.

El ensayo sobre rastrojo de sorgo se realizó de la siguiente manera. Las tarjetas se ubicaron agrupadas de a cuatro por bloque, en tres bloques sucesivos, instalados éstos, de forma longitudinal al avance de la pulverizadora y de manera perpendicular a la dirección del viento. Con la primera pasada de la máquina pulverizadora, se recolectó una tarjeta por bloque. En las siguientes pasadas y a medida que la línea de pasadas se alejaba de las estaciones de muestreo, se fueron recolectando las siguientes tarjetas (de a una por pasada), que recolectaron el líquido asperjado por la primer pasada, sumado a la deriva de la segunda, tercera y cuarta pasada (figura 4). Una quinta serie de tarjetas recolectó la deriva vertical de las cuatro pasadas, a tres alturas diferentes.

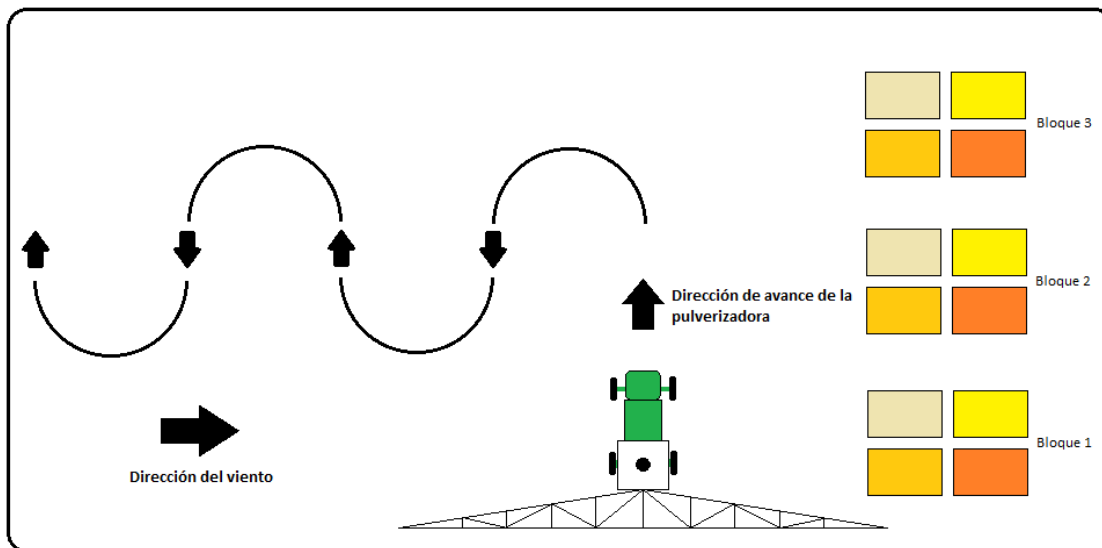


Figura 4. Diagrama de ubicación de las tarjetas para la estación de muestreo 2.

Durante las aplicaciones se recogieron muestras del pulverizado con tarjetas de papel sensible al agua de 3" x 1". Se obtuvieron muestras de tres bloques con dos soportes por bloque. Cada soporte con una tarjeta y tres varillas para medición de deriva, ubicadas desde la punta del botalón de la cuarta y última pasada a 5 metros. Todas las muestras se obtuvieron con la pulverización realizada en forma perpendicular al viento dominante en el momento de realizar el ensayo.

En cada aplicación se tomaron datos de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, proporcionados por una estación meteorológica portátil.

Para la evaluación de las tarjetas de papel sensible al agua se utilizó el programa CIR 1.5 y un scanner de mesa. El programa fue especialmente desarrollado para la

evaluación de tarjetas de papel sensible al agua que se manchan de color azul con las gotas obtenidas por la pulverización. Dichas tarjetas son escaneadas a una resolución de 1200 d.p.i.

Durante el proceso de análisis de las imágenes guardadas, el CIR 1.5 realiza la evaluación de los impactos en cinco ventanas ubicadas en "V", mide las mismas y mediante procesos exclusivos se adecuan y se ajustan por medio de índices de corrección para finalmente determinar tamaños de gotas y cálculos que permiten estimar los parámetros que se detallan a continuación que serán las variables respuesta del ensayo:

- Cantidad de impactos cm^{-2} - Término conocido como cobertura y que permite determinar *a priori* si es factible una aplicación de herbicidas, insecticidas o fungicidas, según su modo de acción, con la cantidad de gotas por cm^2 adecuada.
- Diámetro Volumétrico Mediano – DV-0.5 o DVM - Definido como el diámetro de la gota que divide por la mitad al volumen de contenido en el espectro de pulverización.
- Eficiencia en % referida a la relación entre el volumen aplicado y el efectivamente recogido en el objetivo.
- Amplitud Relativa – Relación existente entre la diferencia del DV-0.9 y DV-0.1 con el DV-0.5.
- Área de Cobertura (%) – Porcentaje del área de la tarjeta de papel sensible cubierta por manchas.

En los casos en que el ANOVA alcanzó significación estadística, se utilizó la prueba de LSD Fisher con un nivel de significación del 5%. En los casos en que el análisis presentó interacciones se procedió a particionar el mismo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo sobre rastrojo de Soja

Las condiciones atmosféricas al momento de realizar el ensayo se visualizan en el grafico 1. Las mismas muestran pequeñas variaciones no significativas en los diferentes momentos de realización de los tratamientos y subtratamientos. Dichas variaciones no afectan de un modo importante los posibles resultados de la aplicación.

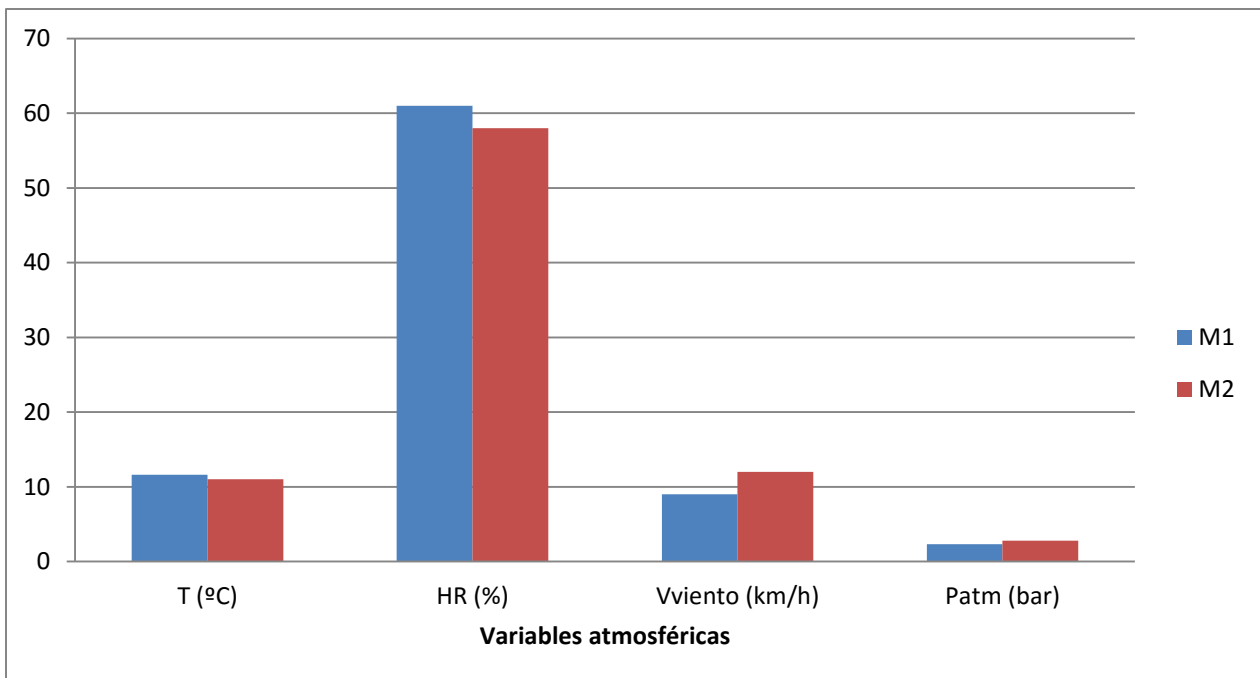


Gráfico 1. Condiciones atmosféricas al momento de realizar el ensayo. T: temperatura; HR: humedad relativa; Viento: velocidad del viento; Patm: presión atmosférica. M1: condiciones atmosféricas para la aplicación con pastillas TT11002; M2: condiciones atmosféricas para la aplicación con pastillas D513.

Hacia el final del ensayo se produjo una pequeña disminución de la temperatura y la humedad relativa y un aumento de la velocidad del viento. En cierta forma estos factores se compensan entre sí en cuanto a los riesgos de deriva por termo deriva y evaporación. Tanto los valores de temperatura como los de humedad relativa registrada, están dentro de los recomendados para realizar una correcta aplicación de agroquímicos. La baja temperatura ambiente registrada impide pérdida de producto por termoderiva y la alta humedad relativa, junto a la baja temperatura, impiden pérdidas por evaporación. Únicamente el efecto de la mayor velocidad del viento habría podido incidir en un aumento de la exoderiva. Sin embargo, los registros de velocidad del viento fueron inferiores a los mencionados por Etiennot (1990), en relación a la existencia de reglamentaciones que prohíben la aplicación de plaguicidas con vientos superiores a los 15 km/hora, condición que debe respetarse escrupulosamente cuando en el sentido del viento se encuentren cultivos sensibles a herbicidas, como también a lo afirmado por Costa et al. (1979). Sin embargo, los cambios acontecidos en la tecnología de aplicación de productos agroquímicos han producido modificaciones en estos aspectos. Etiennot & Piazza (2010) estiman que dicho valor podría considerarse como el límite máximo en zonas próximas a urbanizaciones, cuerpos o fuentes de agua y cultivos sensibles,

debiendo ser, además, el sentido del viento, contrario a estas zonas sensibles. Solamente la velocidad del viento superó algunas normativas vigentes para el Programa provincial de Uso Racional de Agroquímicos, Ley 4073 de biocidas y agroquímicos de Chubut, que recomiendan como medidas de seguridad que no se apliquen pesticidas cuando hay viento sobre 10 km h^{-1} . En cuanto a las recomendaciones establecidas por Márquez Delgado (2008) la velocidad del viento podría considerarse normal, con velocidades de viento entre $1,5$ y 5 m/s ($5,4$ y 18 km h^{-1}) recomendando para este caso la pulverización de finura media. En cuanto a la humedad relativa, las condiciones también fueron aceptables, en acuerdo con Leiva (2015) quien recomienda no hacer aplicaciones de agroquímicos con humedad relativa inferior al 40%. En las condiciones del ensayo, los valores se ubican en el límite del 60%, indicado por este autor a partir del cual la evaporación no resulta significativa, como así también adecuados en función de lo dicho por Walla (1980) y Etiennot (1990) como límite de seguridad en tratamientos con plaguicidas líquidos de no más de 25°C de temperatura y humedad relativa inferior al 60%, e inferiores a los mencionados por Frola (2013) y Rodríguez (2011).

Cantidad de impactos

El análisis de los datos presenta diferencias significativas entre tratamientos, ($p \leq 0,05$) correspondiendo a la técnica de alto volumen (A) los mayores valores y a la técnica de bajo volumen los menores registros (Gráfico 2). No se encontró significancia del efecto de la deriva de pasajes anteriores sobre las diferentes pasadas realizadas, como así tampoco significancia de la interacción entre tratamientos y subtratamientos.

El número de impactos resultó para ambos tratamientos muy superior a los recomendados por Márquez Delgado (2008) quien afirma que, como norma general, se requieren para herbicidas de preemergencia realizar aplicaciones por pulverización con un mínimo de 20 a 30 gotas cm^{-2} con un VMD ($DV_{0,5}$) de $400 - 600 \mu\text{m}$, mientras que para herbicidas de post-emergencia (contacto) el número de impactos asciende a $30 - 40 \text{ gotas cm}^{-2}$ con un VMD ($DV_{0,5}$) $200 - 400 \mu\text{m}$. No obstante ello, el número de impactos resultó un 277% mayor para el tratamiento AV con respecto al de BV, para un incremento del 100% en la tasa de aplicación. También resultan superiores los registros a los recomendados por Frola (2013) para la técnica de aplicación de bajo volumen. Tomando en cuenta únicamente esta primera pasada sería cuestionable la afirmación de Etiennot (1993) en cuanto a que a igualdad de volumen, es menor el número de impactos que se

puede lograr con gotas grandes, puesto que el número de impactos de AV con respecto a BV presenta una relación mayor que la relación de volúmenes aplicados.

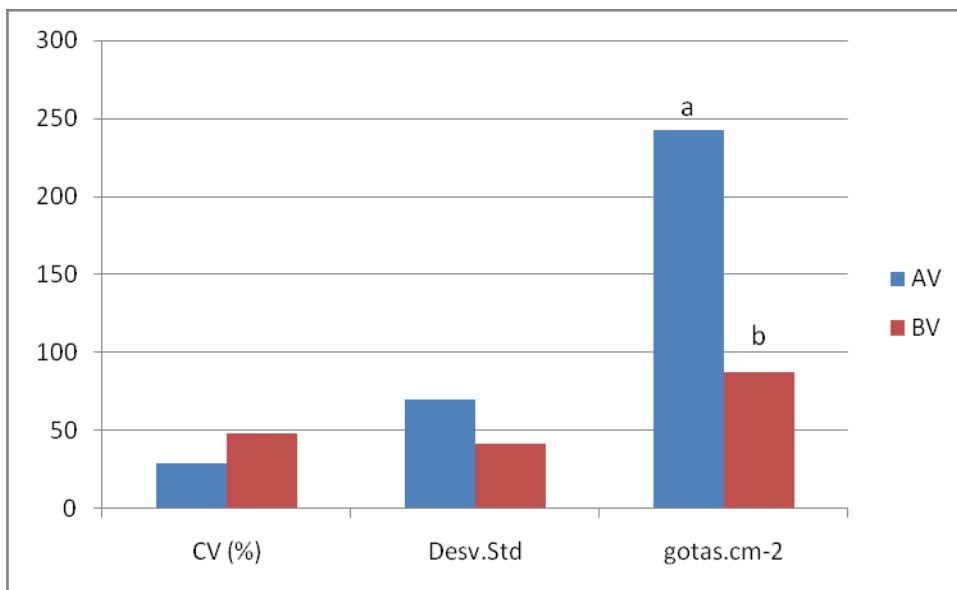


Gráfico 2. Número de impactos en el primer pasaje de la aplicación. **gotas cm⁻²**: número de impactos; **Desv.Std**: desviación estándar del número de impactos; **CV (%)**: coeficiente de variación del número de impactos; **AV**: alto volumen; **BV** bajo volumen. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas según el test de LSD ($p \leq 0,05$)

En acuerdo con los antecedentes de la técnica de bajo volumen, este tratamiento podría en parte ser perjudicado en la primer pasada sobre el terreno, ya que no es posible el aprovechamiento de una parte de la deriva, restringiéndose la misma a lo exoderivado por el sector contrario del botalón en el mismo pasaje. Por el contrario, el tratamiento AV no se espera que genere un tamaño de gota menor a los 100 μm , considerado como posible de ser derivado ante condiciones ambientales inadecuadas.

En cuanto a las características de la uniformidad de aplicación de ambas técnicas, las mismas muestran diferencias importantes entre las diferentes repeticiones y bloques establecidos. Si bien el desvío estándar del tratamiento de AV es mayor, el coeficiente de variación es significativamente menor. Esto implica que en algunos sectores, el número de impactos para el tratamiento de BV se encuentra apenas por encima del límite establecido para herbicidas sistémicos y de contacto indicados por Márquez Delgado (2008). No obstante, aún en un solo pasaje de la máquina, el número de impactos logrado por la técnica de BV es suficiente para alcanzar un adecuado control en la aplicación de herbicidas sistémicos como el glifosato. Pese a ello, la variabilidad puesta de manifiesto

para ambas técnicas de aplicación pero especialmente en BV, implica la necesidad de aumentar el número de tarjetas mencionado por Miguens (1981) para alcanzar una adecuada valoración de la efectividad de la aplicación

La variación del número de impactos en las diferentes pasadas realizadas se muestra en el gráfico 3.

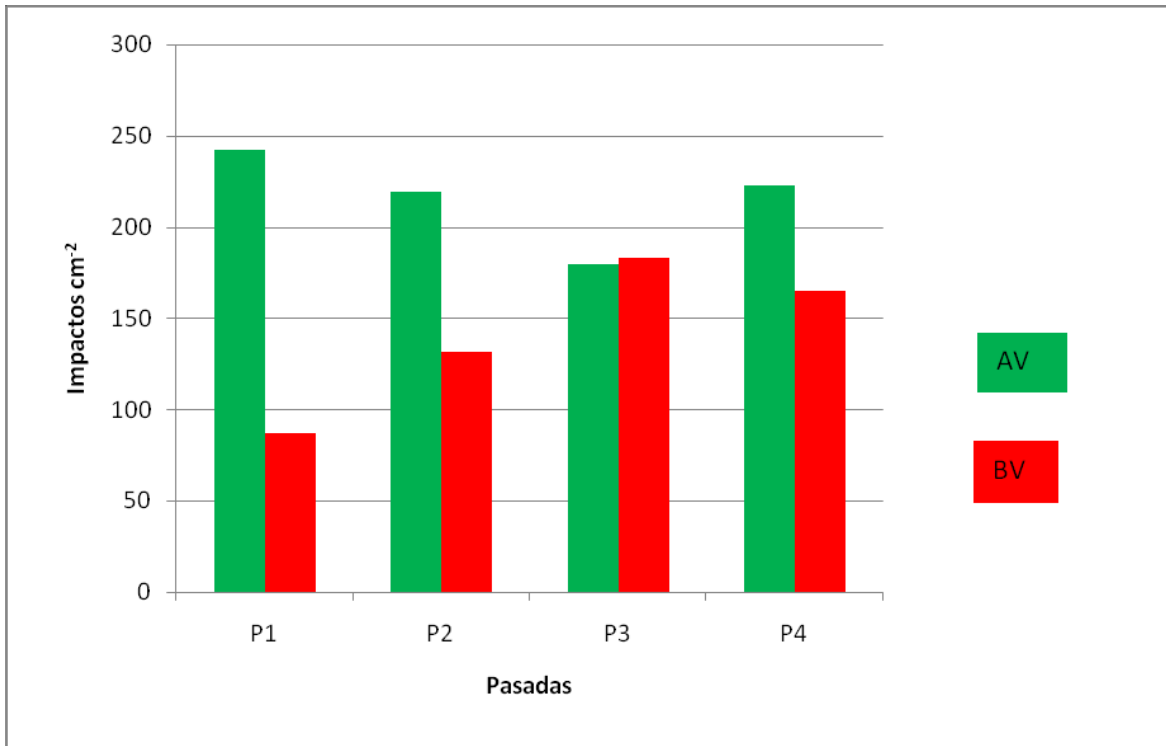


Gráfico 3. Número de impactos para los distintos tratamientos y subtratamientos. AV: Alto volumen; BV: Bajo Volumen. P1: primer pasada; P2: segunda pasada más 1 deriva; P3: tercera pasada más 2 derivas; P4: 4 pasada más 3 derivas

Si bien no se encontró interacción significativa entre tratamientos y subtratamientos la tendencia general del comportamiento en cada uno de los tratamientos fue diferente. En el caso de la técnica de AV, el número de impactos registrados sobre las tarjetas fue disminuyendo a medida que la máquina se alejaba de la primera pasada, a excepción de la última pasada donde el recuento de impactos fue mayor a la tercera pasada. Sin embargo, la diferencia máxima entre los valores medios del menor recuento correspondiente a la tercera pasada con respecto a los de la primera es del orden del 25% y resulta un 16% inferior al promedio de los diferentes sectores correspondientes a las diferentes pasadas.

Los efectos acumulados producto de los procesos de la deriva de sedimentación se incrementan para la técnica de bajo volumen hasta 46 m de distancia de la primera pasada, tendiendo a disminuir sobre la cuarta pasada con respecto a la tercera, pero sigue siendo mayor a la primera y a la segunda. Este comportamiento es en general esperable para pastillas que producen un tamaño de gota fino aunque debería haberse producido un mayor número de impactos en la cuarta con respecto a las otras tres. En un primer análisis podría pensarse que existe una distancia a la cual se concentró la deposición de las gotas derivadas, pero la tercera pasada es a la primera similar a la cuarta pasada con respecto a la segunda. Por lo tanto, es nuevamente la variabilidad producto de las variaciones de la velocidad instantánea del viento la explicación a la variabilidad de los resultados. La primera pasada tuvo un número de impactos 53% menor al de la tercera pasada y 38% inferior al promedio. Los resultados, para la técnica de BV afirman en parte lo dicho por Frola (2013), ya que el arrastre del producto asperjado mejora en parte el número de impactos para las pasadas sucesivas, pero no se limita al ancho de un botalón. En esta evaluación de impactos acumulados, a diferencia de lo dicho anteriormente, tiene validez lo aseverado por Etiennot (1993) que a igualdad de volumen seguramente el número de impactos de AV, con gotas grandes, resultaría inferior al de BV.

Lo expuesto tiene implicancias sobre la metodología de control a través de la técnica de tarjetas hidrosensibles, en acuerdo con las características de la técnica utilizada y las condiciones ambientales al momento de la aplicación. Para el caso de AV, con pastillas de impacto, no reviste demasiados riesgos de error la determinación de las características de la aplicación con un número relativamente reducido de tarjetas en el primer pasaje de la máquina pulverizadora, ya que su coeficiente de variación es del 29% y el número de impactos suficientemente representativo del promedio alcanzado. Por el contrario, en la primera pasada de la técnica de BV el coeficiente de variación supera el 48% y el número de impactos es del 47% del posible de alcanzar en otros sectores. Por lo tanto, sería recomendable efectuar el control en sectores correspondientes a la tercera o a la cuarta pasada sobre el terreno, a los efectos de poder contar con el efecto aditivo del proceso de la deriva de las pasadas anteriores. No debe perderse de vista que ello implica una dificultad en cuanto a una adecuada evaluación y corrección de la aplicación. Si se toma como ejemplo un predio de 49 hectáreas a pulverizar, cuadrado, la máquina debe efectuar la aplicación de 4,8 ha a 6,4 ha (9,8 a 13% de la superficie a tratar) para eventualmente realizar alguna modificación.

En el gráfico 4 se muestran los resultados de la evaluación del número de impactos para 1 pasada y una pasada más el efecto de deriva de las 3 pasadas anteriores, para cada tarjeta de cada bloque.

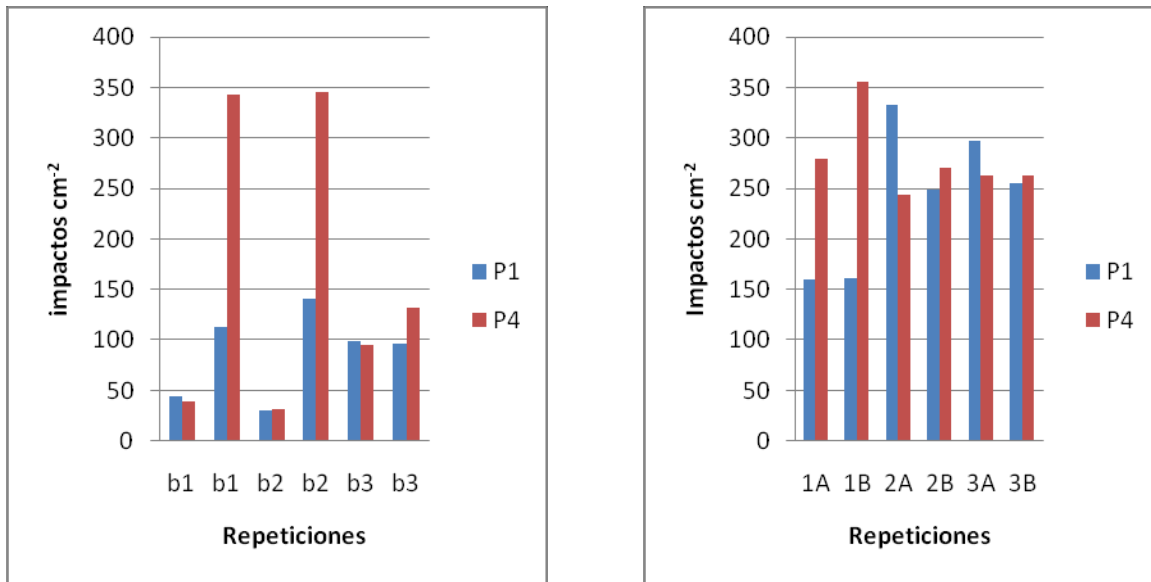


Gráfico 4. A) Número de impactos para una pasada (P1) y una pasada más el efecto de tres derivas (P4), para cada tarjeta de cada bloque para Bajo Volumen (BV). B) Número de impactos y efecto de la deriva de pasadas anteriores en BV. **P1:** 1 pasada; **P4:** 1 pasada más deriva de 3 pasadas anteriores para Alto Volumen (AV).

En el gráfico 4 A, se visualiza con claridad que no existe homogeneidad en la deposición de gotas en distintos sectores del lote, como así tampoco entre la ubicación de las tarjetas en cada uno de los bloques. De haberse encontrado diferencias sistemáticas entre las mismas, podrían haberse atribuido a la colocación de las tarjetas a 0,5 m, distancia que resulta intermedia entre la distancia entre pastillas, lo cual garantiza la evaluación de diferentes sectores del bastidor, correspondientes con diferentes grados de superposición entre pastillas contiguas. Tampoco existe un comportamiento homogéneo entre las distintas repeticiones, por lo que la variabilidad debe buscarse en factores ajenos a la ubicación de las pastillas, la superposición de las mismas y el desplazamiento de la máquina.

En virtud de las condiciones atmosféricas, la variabilidad podría atribuirse a la velocidad del viento. Si bien se constató que la misma era inferior a los 4 m s⁻¹, se registraron permanentes variaciones en su intensidad que provocarían modificaciones en

la deposición de gotas en los sectores aledaños a cada pasaje sobre el terreno. Tal como fuera antedicho, la variabilidad en este tratamiento es sumamente alta, pero no solamente para la primera pasada sobre el terreno, sino también en aquellos sectores de medición donde el producto sufrió efectos de deriva de 3 pasajes anteriores. Por lo tanto, más allá de los posibles beneficios de contar con un efecto de deriva supuestamente controlada (Frola 2013; Rodríguez 2011), la misma no alcanza para eliminar los problemas intrínsecos de la técnica, producto de la aplicación de gotas finas con pastillas de cono a las presiones de trabajo recomendadas para el uso de las mismas.

Asimismo, para el tratamiento AV (gráfico 4B), tampoco se visualiza un patrón de comportamiento en el efecto acumulado de la deriva de pasadas anteriores sobre el número de impactos. Solamente en el sector correspondiente a la repetición 1 se encuentra una diferencia importante en el número de impactos para P4. Nuevamente las condiciones de viento y su variabilidad pueden explicar los resultados encontrados. Esto implicaría que al desplazarse la máquina pulverizadora por dicho sector del lote se haya producido una importante deriva que produjo un mayor número de impactos sobre las tarjetas ubicadas hasta los 69 m de distancia de la primera estación de muestreo. No obstante, los resultados indican que ante determinadas situaciones de campo, con vientos variables, las pastillas de impacto y alto volumen generan una cantidad de gotas finas posibles de ser derivadas hacia otros sectores dentro o fuera del mismo predio. Sería lógico pensar que el porcentaje de gotas de pequeño tamaño para este tipo de pastilla sea menor, pero ante un aumento de la tasa de aplicación de alrededor del 133% la cantidad de gotas pueda eventualmente incrementarse. Independientemente de ello, el tratamiento desde el punto de vista del número de impactos resulta más homogéneo, sin que existan sectores ni repeticiones en que los registros se encuentren cercanos a los mínimos indicados en la bibliografía para este tipo de tratamiento.

Este comportamiento diferencial en distintos sectores del lote debería encontrar correspondencia con las determinaciones para ese mismo sector de las tarjetas ubicadas en las columnas de deriva.

A partir de los resultados obtenidos, es posible aseverar que la técnica de BV alcanza un número de impactos suficiente para tratamientos con herbicidas sistémicos en ausencia de residuos de cosecha que interfieran con el objeto de aplicación, pero con una variabilidad que pone en riesgo la eficiencia de control en caso de optarse por una menor tasa de aplicación que la utilizada en este ensayo

Diámetro volumétrico mediano

Las características de la población de gotas para los distintos tratamientos y subtratamientos se visualizan en el gráfico 5. El análisis estadístico encontró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) tanto para tratamientos como para subtratamientos, sin que exista interacción entre los mismos.

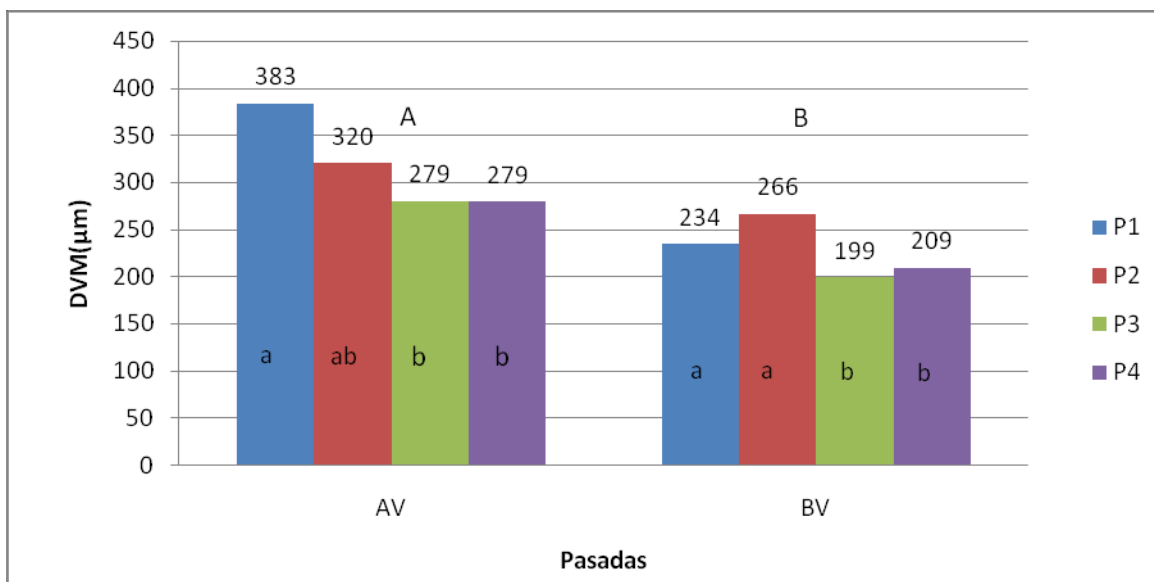


Gráfico 5. Características de la población de gotas para los distintos tratamientos y subtratamientos. DVM: diámetro volumétrico mediano (DV_{0,5}); AV: alto volumen; BV: bajo volumen; P1: primer pasada; P2: segunda pasada más 1 deriva; P3: tercera pasada más 2 derivas; P4: 4 pasada más 3 derivas. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre pasadas en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD

El DV_{0,5} del tratamiento con AV fue significativamente mayor que el de BV, con valores medios de 315,5 μm y 227,1 μm respectivamente. Dichos valores corresponden a la categoría de gotas gruesas para el tratamiento de AV y a gotas medianas para el tratamiento de BV en acuerdo con la clasificación establecida en la Norma ASAE S-572 (ASAE, 2009). Estos valores se encuentran dentro del rango considerado como recomendado por Frola (2013) para las aplicaciones controladas que atienden a disminuir las pérdidas por deriva de la aplicación, ligeramente inferiores en el tratamiento de BV para aplicaciones sobre rastrojo de soja. También se encuentran para BV en rango de gotas de tamaño medio indicado por Márquez Delgado (2008) en condiciones adecuadas

de aplicación, mientras que el DV 0,5 del tratamiento de AV se adecuaría en mayor medida para condiciones de mayor riesgo, aunque las variaciones de velocidad del viento atentan siempre contra la deposición efectiva de la gota en el objeto de aplicación y el valor calculado pertenece a los valores inferiores de la clase de gotas gruesas.

Sin embargo, estudios informados por Casal (2012) hacen referencia a que las pastillas de cono hueco utilizadas en el ensayo presentan un DV0,5 de 149 μm , bastante inferior a los determinados sobre las tarjetas. Asimismo, el DV0,5 de la población de gotas disminuye desde 266 μm a 199 μm para la segunda y tercera pasadas. Estas variaciones podrían ser explicadas por los efectos de deriva. El valor de DV0,1 determinado por Casal (2012) es de 90 μm , lo cual indica que ese 10% del volumen acumulado por gotas de menos de dicho tamaño son fácilmente derivadas por el viento existente al momento de realización del ensayo, siendo posible que en momentos de ráfagas mayores a la velocidad media medida, se hayan derivado gotas de aún mayor tamaño. Esto implicaría que el DV0,5 de la población que llega al objeto de aplicación se incrementa, así como también disminuiría el DV0,5 de la población de gotas de las tarjetas correspondientes a la tercera y cuarta pasada de la máquina pulverizadora, ya que el incremento en el número de impactos se efectúa a expensas de las gotas más pequeñas derivadas de los pasajes previos sobre el terreno.

Un proceso semejante es encontrado en el tratamiento de AV, donde también la población de gotas de las tarjetas de la tercera y cuarta pasada difiere estadísticamente de las de la primera y segunda pasadas. En este caso, con la utilización de pastillas de impacto, la población de gotas producidas suele tener poca uniformidad, lo cual explicaría que si bien el DV0,5 es alto, existe un porcentaje de gotas de pequeño tamaño que siempre pueden derivarse ante condiciones climáticas adversas. Lo expuesto implica que los riesgos de deriva se disminuyen con el uso de pastillas de impacto, pero los mismos no desaparecen. Por el contrario, el uso de pastillas con menor DV0,5 como las de cono hueco aumentan la posibilidad de deriva y ante similares condiciones ambientales los riesgos son mayores. En este sentido y ante los resultados alcanzados en número de impactos por las pastillas con la técnica de alto volumen podría establecerse la hipótesis que se podrían alcanzar adecuados resultados en este tipo de aplicación con pastillas de impacto con menores tasas de aplicación.

Resulta también de importancia destacar que las pastillas de impacto tuvieron un DV0,5 acorde a lo especificado para esa pastilla, mientras que las pastillas de cono hueco

disco y núcleo incrementaron notablemente el DV_{0,5} determinado por Casal (2012) en el primer pasaje, lo cual sería un indicador de la mayor cantidad de gotas derivadas en este tratamiento. Por lo tanto, las pastillas de impacto produjeron una población de gotas que alcanza el objetivo de tamaño mediano a grueso, lo cual se corresponde con la información del fabricante, quien especifica que las gotas de pastillas TT11002 a 2,5 bar es mediana (DV_{0,5} de 249 μm) y gruesa a 2 bar (DV_{0,5} de 365 μm) en acuerdo con la clasificación de Doble et al. (1985) y gruesa según ASAE (2009). Esto indicaría para este tipo de pastillas una adecuada aptitud para la prevención de los riesgos de deriva. Pese a ello este tamaño de gota, superior a 350 μm pueden aumentar la endoderiva, la cual podría haber sido contrarrestada por el tensioactivo utilizado, cuya función es lograr que la gota tome una forma achatada, incrementando la adherencia por una mayor superficie de contacto según Marer (1988). Por lo contrario, las pastillas de cono hueco en el tratamiento de BV presentan un DV_{0,5} dentro del rango recomendado por Leiva (1995) de 200 a 250 μm para la mayoría de las aplicaciones de productos agroquímicos, pero si dicho tamaño surge como consecuencia de deriva y/o evaporación de gotas pequeñas constituye una señal de alerta de la deriva generada.

Por otra parte, en el gráfico 6 se visualizan los cálculos de amplitud relativa para los diferentes tratamientos y pasadas efectuadas. No se encontraron diferencias significativas en este parámetro entre tratamientos y pasadas, por lo que los mismos fueron diferentes en tamaño de gotas pero relativamente homogéneos en el mismo. Esto implicaría que con ambas técnicas uno puede *a priori* hipotetizar cuál será el comportamiento del conjunto de gotas ante determinadas condiciones atmosféricas, sin perder de vista que el análisis siempre se efectúa sobre lo que se deposita sobre el objeto de aplicación y, por lo tanto, ya afectado por los procesos de exoderiva, que disminuirían los registros de Amplitud relativa. Estos aspectos no son tenidos en cuenta por Rodríguez (2011) y Frola (2013) ya que los mismos se refieren a lo registrado sobre las tarjetas, principalmente basados en el DV_{0,5} y el número de impactos, sin analizar espectro de distribución (Magdalena et al., 2000) ni los posibles efectos de la deriva sobre la población de gotas.

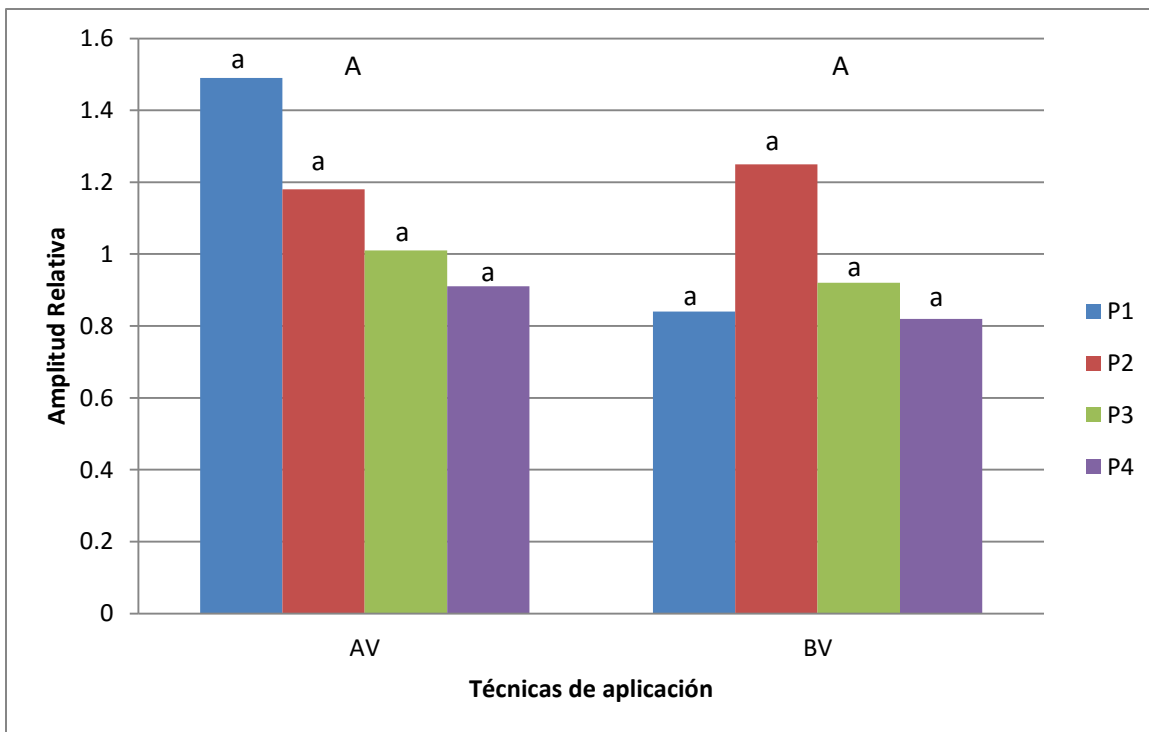


Gráfico 6. Valores de Amplitud relativa para los distintos tratamiento y subtratamientos. AV: alto volumen; BV: bajo volumen; P1: primer pasada; P2: segunda pasada más 1 deriva; P3: tercera pasada más 2 derivas; P4: 4 pasada más 3 derivas. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas tratamientos. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre pasadas en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

Cobertura

En el gráfico 7 se observan los valores de cobertura para los distintos tratamientos y subtratamientos. Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre AV y BV como consecuencia de la mayor tasa de aplicación. No se encontraron en cambio efectos significativos del número de pasadas, como así tampoco significancia de la interacción de técnicas de aplicación y pasadas sobre el terreno.

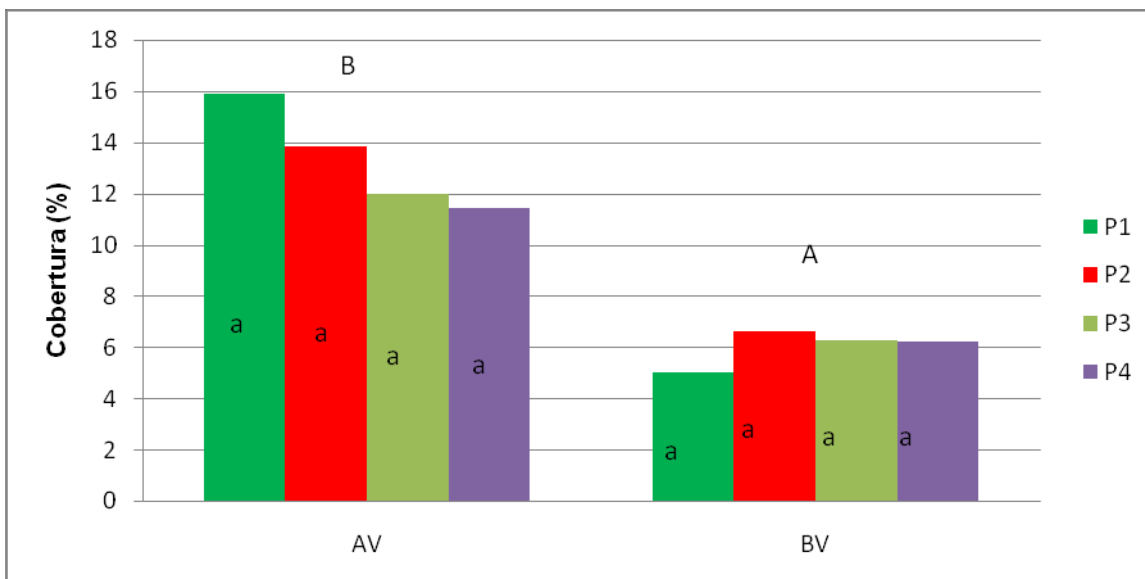


Gráfico 7. Cobertura para los distintos tratamientos y subtratamientos. AV: alto volumen; BV: bajo volumen; P1: primer pasada; P2: segunda pasada más 1 deriva; P3: tercera pasada más 2 derivas; P4: 4 pasada más 3 derivas. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de LSD. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre pasadas en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

Esas diferencias en cobertura del tratamiento AV con respecto al de BV son atribuibles a la conjunción de un mayor número de impactos con un tamaño de gotas de un DV0,5 mayor que los correspondientes al tratamiento de BV. El porcentaje de cobertura varió aproximadamente entre el 11,45 y el 15,88% para el tratamiento AV y entre el 5,03 al 6,6% para el tratamiento BV. Los resultados obtenidos para el tratamiento AV con la pastilla espejo (A) son en parte concordantes con los informados por Tesouro et al. (2006), quienes determinan en su trabajo valores promedio de cobertura que rondan el 12,5%.

En cuanto al número de pasadas la interpretación de los resultados es más dificultosa. El tratamiento de AV presenta una disminución de la cobertura con el aumento del número de pasadas. No existieron diferencias entre pasadas en el número de impactos, pero se produjo una disminución en el tamaño de las gotas de la tercera y la cuarta pasadas que fue explicado por el aporte de gotas de menor diámetro, lo cual debería haber aumentado la cobertura. Las diferencias en cobertura, de escasa magnitud se contraponen en alguna medida a dicha explicación.

Un aspecto que resulta interesante destacar es nuevamente las características de la variabilidad de las determinaciones. En el gráfico 8 se observan los resultados de los

cálculos de coeficiente de variación para BV y AV. Las diferencias entre los tratamientos de alto y bajo volumen vuelven a ser relevantes en cuestiones asociadas a la uniformidad de la aplicación. P1-4 integra la variabilidad de todos los registros de cobertura, mientras que P3-4 solamente los de las tarjetas correspondientes al efecto acumulativo de 3P y 4P, lo cual no disminuyó la variabilidad del tratamiento de AV.

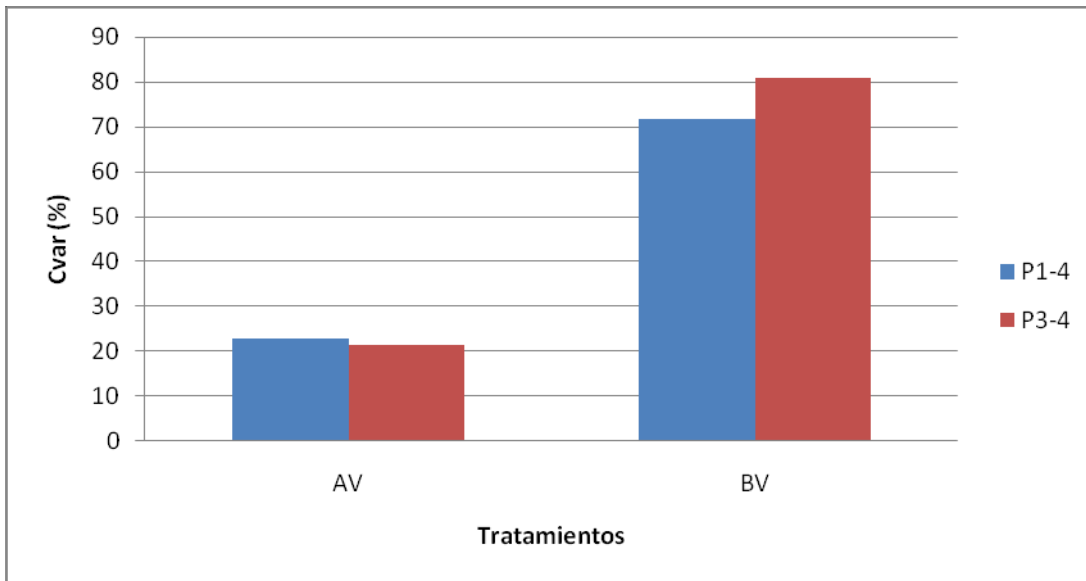


Gráfico 8. Coeficiente de variación de la cobertura para los distintos tratamientos. AV: alto volumen; BV: bajo volumen; P1-4: coeficiente de variación de las pasadas una a cuatro; P3-4: Coeficiente de variación de las pasadas 3-4.

En el tratamiento BV ocurre algo similar, ya que la segunda, tercera y cuarta pasadas son prácticamente iguales, con diferencias en el porcentaje de cobertura menores al 1% entre las mismas. Esto implicaría que más allá de la tendencia hacia un aumento en el número de impactos producto de efectos de deriva en el tratamiento con pastillas de cono hueco, la cobertura del objeto de aplicación no varía significativamente, no resultando este parámetro con alta sensibilidad para valorar los mismos. Esta variabilidad del tratamiento de BV, realizado con pastillas de cono hueco resulta coincidente con lo expuesto por Larragueta (1985) y Teejet (2014). La variabilidad de la cobertura supera en el tratamiento de BV lo indicado por Márquez Delgado (2008) para las aplicaciones de herbicidas, aunque dicho autor relaciona el límite del 30% en el parámetro de número de impactos.

En base a los resultados sobre rastreo de soja, es posible validar la hipótesis planteada en relación a que la mayor tasa de aplicación presenta una mayor cobertura del objeto de aplicación, la cual además presenta al igual que el número de impactos una mayor variabilidad en el tratamiento de bajo volumen que podría afectar la eficiencia de control.

Eficiencia

Los volúmenes de líquido recogido sobre las tarjetas son significativamente mayores para AV con respecto a BV, pero no ocurre lo mismo para la variable eficiencia teniendo en cuenta la tasa de aplicación de cada tratamiento, correspondiéndose los mayores valores a AV, pero con diferencias inferiores al 6% (gráfico 9). Estos valores se alejan de los mencionados por Courshee (1960)

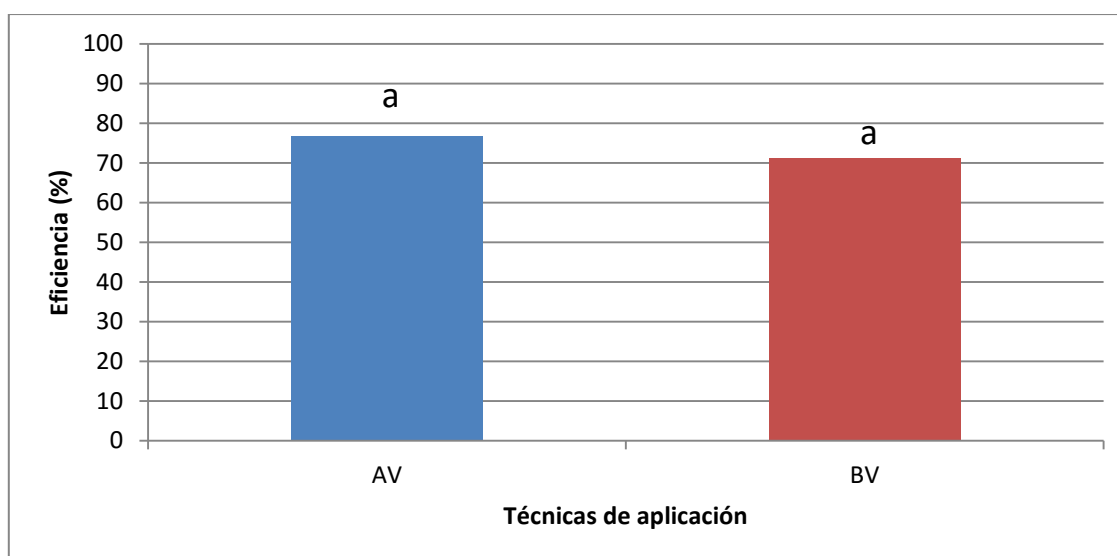


Gráfico 9. Porcentaje de eficiencia para cada uno de los tratamientos. AV: Alto volumen; BV: Bajo volumen). Letras minúsculas similares sobre las columnas indican diferencias no significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

Tanto el tratamiento AV como el BV presentaron valores de eficiencia altos, superiores al 70% lo cual se explica por la ausencia de interferencia entre las pastillas y las tarjetas, producto de las características del residuo remanente. Los resultados son superiores a los indicados por Martens (2012) quien menciona que la bibliografía aporta datos de eficiencias entre el 25% y el 60%, correspondiendo los mayores valores a las aplicaciones efectuadas en condiciones de barbecho y suelo desnudo. No obstante, debe tenerse en consideración que existe una pérdida de aproximadamente 0,58 l de glifosato,

posibles de causar daños por exoderiva, si no se toman recaudos adicionales al acercarse a los límites de la parcela de aplicación en el tratamiento de AV y 0,72 l de glifosato en el tratamiento de BV. Se desprende de hecho que aquella parte del producto que no llega al objetivo es liberada al ambiente, no generando su función, estableciendo pérdidas económicas y riesgos de contaminación ambiental y peligros para la salud.

Sin embargo, si se corrige la eficiencia en función de los resultados obtenidos por Domper et al. (2015), la cantidad de producto que es recolectado sobre las tarjetas, es mucho menor a la estimada por el programa, lo cual aumenta de manera importante la cantidad de producto que no alcanza el objeto de aplicación, y que por las características de la metodología de evaluación deberían generar mayores problemas de exoderiva. En el gráfico 10 se muestran los valores corregidos en acuerdo con el factor obtenido por Domper et al. (2015) de 1,67, para pastillas de cono hueco no inducidas por aire.

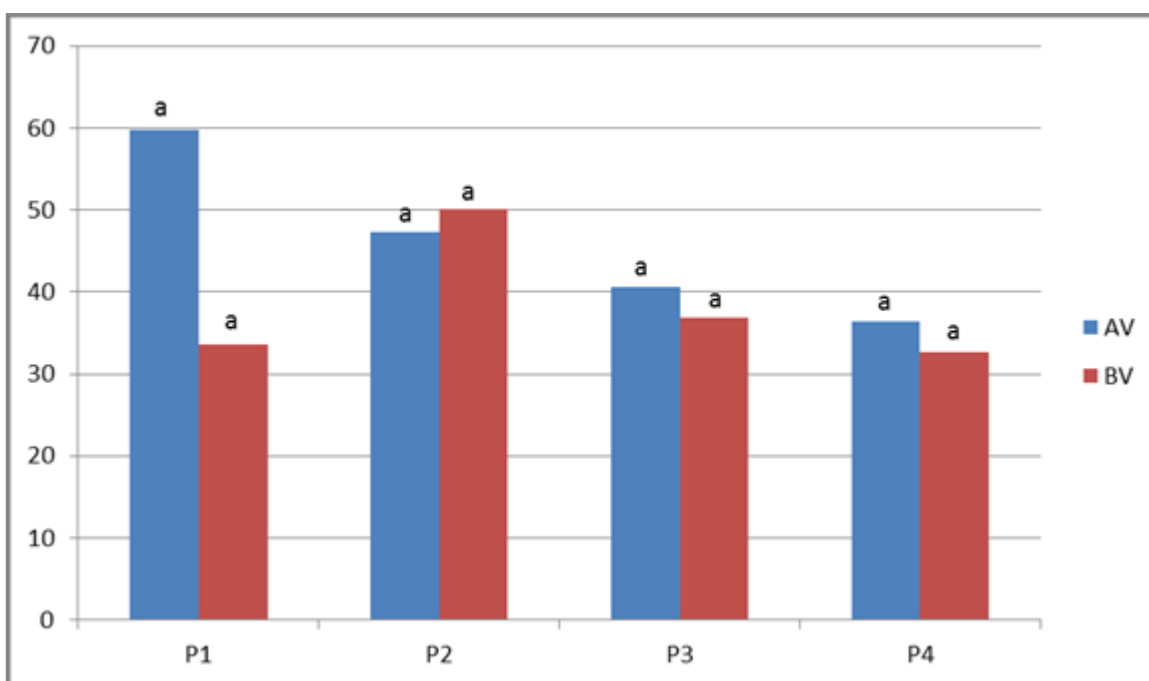


Gráfico 10. Valores de eficiencia (%) para los distintos tratamientos y sectores de evaluación. AV: alto volumen; BV: bajo volumen; P1: primer pasada; P2: segunda pasada más 1 deriva; P3: tercera pasada más 2 derivas; P4: 4 pasada más 3 derivas.

Los valores medios de eficiencia alcanzarían el 46 % para el tratamiento de AV y del 38% en BV, lo que implica que se habrían liberado al ambiente 1,35 y 1,55 l de glifosato respectivamente. Ambos tratamientos podrían calificarse como ineficientes, en concordancia con lo afirmado por Courshee (1960) y Graham-Bryce (1977). Los mismos,

incluidos como indicadores de riesgos de daños al ambiente son preocupantes, ya que ninguna de las 2 tecnologías de aplicación logra reducir pérdidas del 54% al 62% del producto aplicado. Estos valores deberían ser corroborados a través de fluorimetría, ya que es posible que distintos diseños de pastilla presenten diferentes coeficientes de ajuste. De todas formas, se encuentran los mismos cercanos al 70% o al 40%, las pérdidas de producto y los riesgos de daño y contaminación son altos para cualquiera de los dos tipos de pastillas y técnicas de aplicación evaluadas. Las pérdidas podrían haber sido influenciadas por la adición del coadyuvante tensioactivo, que si bien puede ayudar en una mejora en la cobertura y retención del producto sobre el objeto de aplicación (Hartzler, 2001; Hock 2011), también puede modificar las condiciones del líquido y favorecer una mayor fragmentación del mismo, favoreciendo la formación de gotas de menor tamaño. (Hewitt et al, 2001) aumentando la deriva y la evaporación.

No obstante que la diferencia no sea significativa, la menor eficiencia lograda por la técnica BV podría tener una relación directa con el tamaño de gota y las condiciones ambientales reinantes al momento del ensayo. Las ráfagas de viento podrían haber arrastrado con facilidad las gotas más pequeñas y livianas, aumentando la exoderiva, para este tratamiento. Sin embargo, estos resultados son en parte esperados, ya que en función del tamaño de gota de ambos tipos de pastillas y las condiciones de viento existentes al momento de aplicación era posible prever una menor eficiencia para el tratamiento de BV. Tampoco era esperable la baja eficiencia de la pastilla TT11002, mostrando que en condiciones ambientales adversas, no alcanza con la selección de una pastilla de menor potencial de deriva, cuando la tasa de aplicación es lo suficientemente reducida como para que los registros de $DV_{0,1}$ alcancen un diámetro de gota que no sea susceptible de exoderivarse, sino que también habría que modificar caudales y tamaños de gota a través de la presión para limitar la exoderiva, aspectos que podrían eventualmente afectar a la cobertura y el número de impactos. Sarubbi (2010) menciona para esta pastilla, a 2 bar de presión un $DV_{0,1}$ de 203 μm y de 157 a 4 bar, por lo cual es de suponer que en las condiciones de trabajo del ensayo, a 2,5 bar se habría reducido un poco este parámetro por debajo de los 200 μm . No obstante, los valores de $DV_{0,1}$ medidos a partir de las tarjetas vuelven a ser cuestionables, ya que el promedio fue de 144 μm , que podría deberse también a la sobreestimación del volumen ya mencionado anteriormente. De todas formas, el tratamiento de BV presentó un tamaño de gota para el 10% de volumen acumulado de 114 μm inferior y de mayor riesgo de exoderiva que el de AV.

Si se observan los valores de eficiencia por pasada y las sucesivas derivas para ambos tratamientos, tampoco hubo diferencias significativas entre ellas, pero las tendencias difieren entre los distintos tratamientos. Para AV los resultados son contradictorios y difíciles de explicar ya que en pasajes sucesivos no se alcanza la eficiencia del primer pasaje. Por lo tanto, habrían prevalecido los procesos de exoderiva sobre los de deriva de sedimentación. Por lo contrario, en BV claramente se visualizan aumentos de la eficiencia para el 2º y 3º pasaje con respecto al primero afectado seguramente por procesos de exoderiva y deriva de sedimentación. Los riesgos ambientales, sobre suelos y aguas relacionados a la eficiencia en los términos expuestos por Mahler et al. (1997) tendrían en estas condiciones de trabajo límites que excederían los 50 m para BV, en razón del aumento en el número de impactos de las derivas acumuladas y en los 25 m aproximadamente en función de los cálculos de eficiencia efectuados

En función del análisis efectuado, es posible validar para las condiciones de este ensayo que la técnica de bajo volumen con pastillas de disco y núcleo alcanza similar eficiencia que la de alto volumen con pastillas de impacto, con una reducción importante del agua utilizada y por consecuencia un aumento de la capacidad de trabajo del equipo, puesto que una brindaría para una capacidad de tanque de 2800 l la posibilidad de pulverizar 40 ha sin reponer líquido, mientras que en bajo volumen la misma aumenta a 93,3 ha. En contraposición, la técnica de AV en general brinda una mayor homogeneidad en la aplicación tanto en número de impactos, cobertura y eficiencia ya que también en este parámetro el coeficiente de variación de BV supera en más del 100% al de AV

Deriva de la aplicación

En el gráfico 11 se visualizan los resultados de las determinaciones de número de impactos producto de la deriva acumulada luego de efectuadas las 4 pasadas, a diferentes alturas.

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos a ninguna de las 3 alturas. La ausencia de diferencias en este parámetro, puede deberse a la relativa compensación ocasionada por la mayor tasa de aplicación de la técnica de AV con respecto a BV, dada por un porcentaje menor de gotas de tamaño fino pero que al aplicarse más del doble de la de BV podría generar un similar número de gotas posibles de ser derivadas.

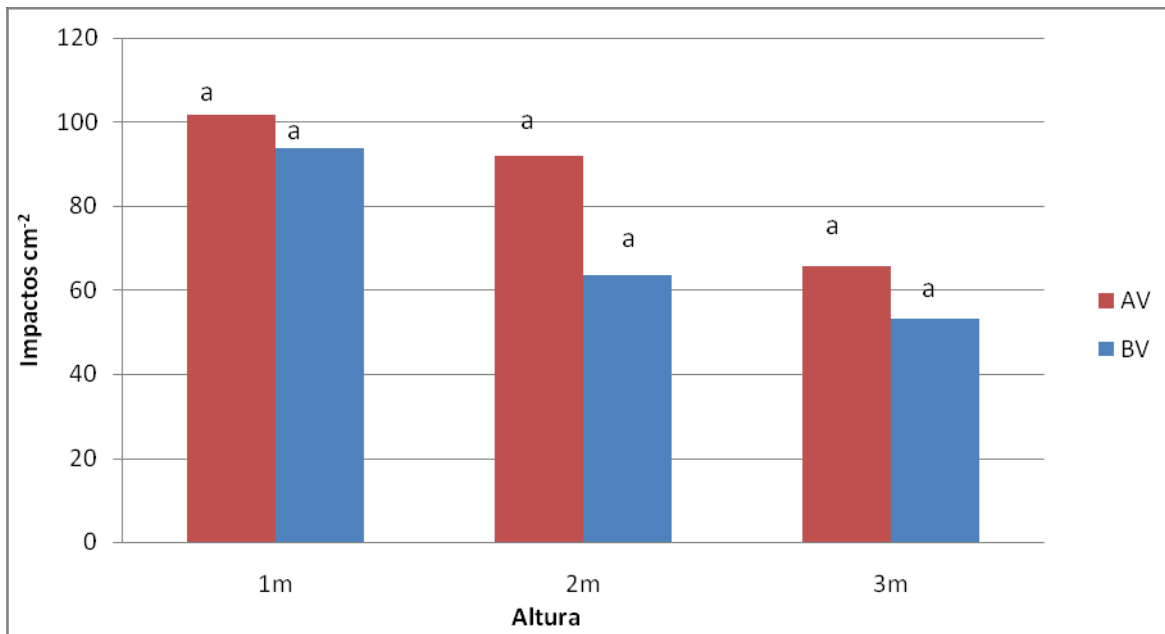


Gráfico 11. Cantidad de impactos acumulados después de haber realizado las cuatro pasadas. AV: alto volumen; BV: bajo volumen. Letras minúsculas similares en cada columna indican diferencias no significativas entre tratamientos para cada altura de medición ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

El número de impactos a cualquier altura supera ampliamente los valores indicados como recomendables para controlar a través de herbicidas sistémicos. En función de ello, ambas técnicas resultan riesgosas ante la presencia de cultivos susceptibles en lotes cercanos. Siempre es importante tener en consideración que la cuantificación a través de tarjetas en el objeto de aplicación como también en la valoración de la deriva es poco certera respecto de algunas características de la aplicación, aunque de gran utilidad a nivel de campo y con fines comparativos. No obstante, en función de lo afirmado por Papa & Massaro (1999) y Leiva (2010) la solución exoderivada en BV sería de mayor potencial de riesgo, por concentración del producto y por menor inactivación del mismo (Leiva & Picapietra, 2012).

Una de dichas características es relacionada al tamaño de las gotas, las cuales muestran una gran uniformidad entre los distintos tratamientos (gráfico 12). El DV0,5 de ambos tratamientos a las distintas alturas se encontró entre 70 y 80 μ m aproximadamente. Por lo tanto sería posible validar la hipótesis que el tamaño de las gotas que se derivan es independiente de la técnica de aplicación y dependiente fundamentalmente de las condiciones ambientales durante la aplicación. Sin embargo, lo antedicho implica la necesidad de disminuir tanto la cantidad como la proporción de gotas fácilmente derivables. Para ello será conveniente la adecuada selección de la técnica de

aplicación, como la disminución de la tasa de aplicación sin recurrir a las variables que reducen el tamaño de gota. No obstante, esto resultará efectivo siempre y cuando la reducción en el número de gotas derivadas supere el relativo aumento de la concentración de producto en las gotas.

Debe recordarse además, que cuanto mayor tiempo permanece suspendida, mayor es la probabilidad de ser transportada por el viento. Walla (1980) indica que una gota de 100 μm tarda sólo 14" en evaporarse completamente y una de 200 μm demora 42" en reducirse a la mitad con 50% de humedad relativa y 30°C de temperatura. Esta condición resulta menos favorable que la del ensayo para los procesos de evaporación, ya que la temperatura no fue tan alta durante el ensayo como tampoco resultó demasiado baja la humedad relativa, el viento desplazó las gotas de pequeño tamaño no menos de 50 m, tiempo durante el cual las gotas pueden haber reducido su tamaño y aumentar la concentración de producto, ya que frecuentemente la tensión de vapor del agua es menor a la del producto aplicado. Lo antedicho, podría aumentar el riesgo potencial de la deriva medida en estas condiciones.

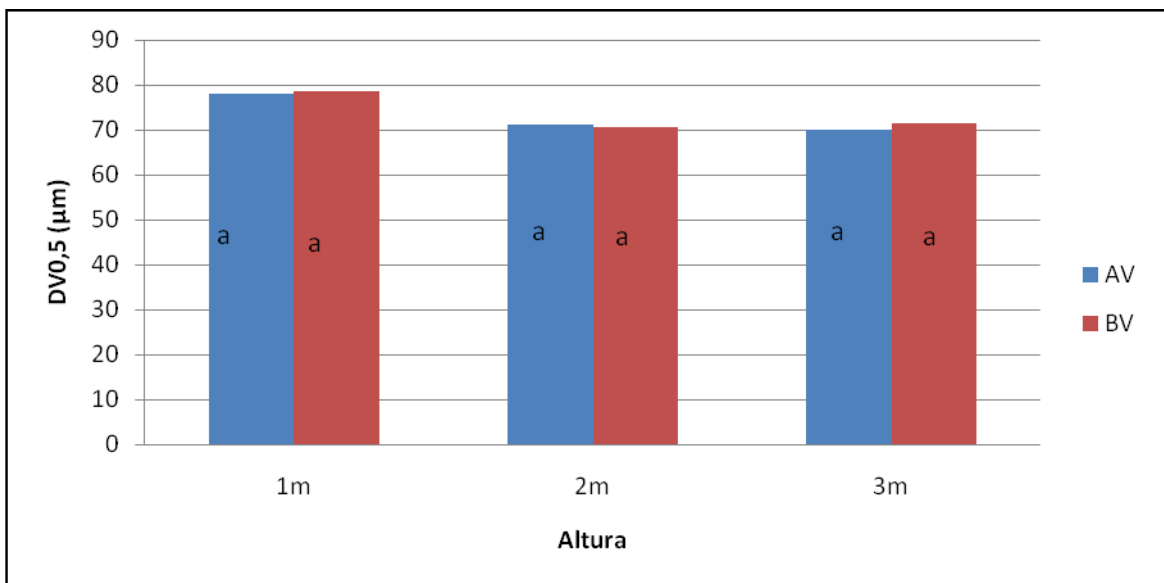


Grafico 12. Diámetro mediano volumétrico (DVO,5) de la población de gotas exoderivadas. AV: alto volumen; BV bajo volumen a tres alturas diferentes; 1m, 2 m y 3 m: ubicación de las tarjetas sobre el nivel del suelo. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos para cada altura ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

La evaluación de la amplitud relativa de ambos tratamientos, muestra valores inferiores a la unidad a todas las alturas de medición de la exoderiva, lo cual asiste no

solo a que las gotas derivadas son pequeñas sino también que su población es muy uniforme, con pequeñas variaciones entre las distintas alturas de medición

Dada la conjunción de una población de gotas con DV0,5 por debajo de los 80 um junto a un número de gotas inferior a lo determinado sobre el objeto de aplicación, se produjo una cobertura menor sobre las tarjetas, pero potencialmente de alto riesgo. En el gráfico 13 puede observarse que la cobertura no muestra diferencias significativas entre tratamientos pero la técnica de bajo volumen alcanza una mayor cobertura en todas las alturas. Tampoco se registran diferencias entre alturas, aunque a 1 m los valores son superiores a los de 2 y 3 m, lo cual puede deberse a la dinámica de los procesos de deriva de sedimentación en el pasaje cercano a las torres de deriva.

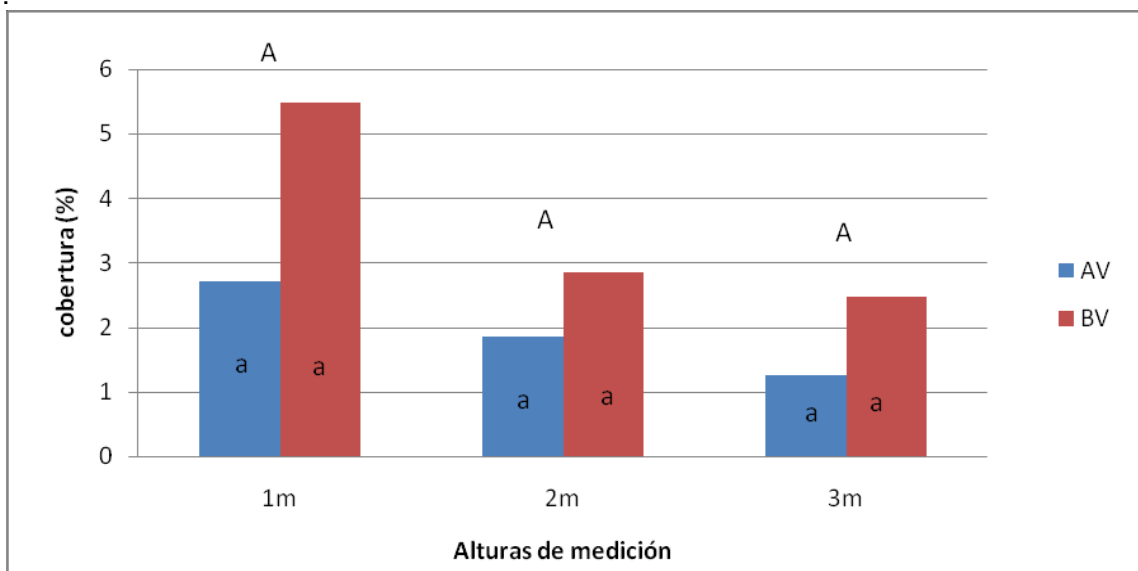


Gráfico 13. Cobertura sobre las tarjetas para evaluación de deriva. AV: alto volumen; BV: bajo volumen. 1, 2 3: altura en metros de las tarjetas de evaluación. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos en cada altura de medición. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas de la cobertura entre alturas según el test de LSD ($p \leq 0,05$).

Si se efectúan los cálculos de solución exoderivada a partir de los cálculos del programa utilizado para el análisis de las tarjetas, se visualiza que existen pequeñas diferencias a las diferentes alturas de medición, correspondiendo al tratamiento de AV los mayores valores, con diferencias significativas con la técnica de BV. Esto resulta lógico desde el punto de partida que la tasa de aplicación de AV es más del 100% superior a la de BV. Por ello, pese a que las pastillas TT11002 usadas para AV presentan un espectro de pulverización con mayor DV0,5 que las cono hueco con disco y núcleo usadas en BV (gráfico 14). Asimismo, la cercanía del botalón en la cuarta pasada con respecto a las

columnas de deriva, explica que resulten mayores los recuentos a 1 m de altura que a 2 y 3 m de altura.

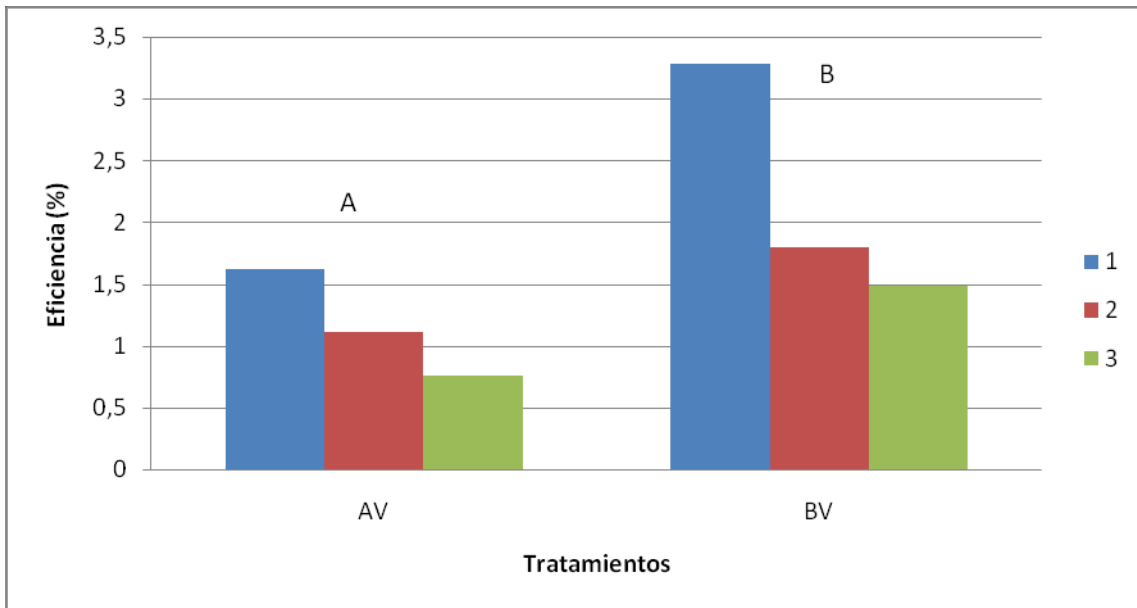


Gráfico 14. Litros de solución exoderivada calculados a partir de los valores de eficiencia determinados sobre las tarjetas de deriva acumulada en las cuatro pasadas para las diferentes alturas de evaluación. AV: Alto volumen; BV: Bajo volumen. 1, 2, 3, alturas de medición con tarjetas hidrosensibles a partir de la superficie del terreno. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas según el test de LSD ($p \leq 0,05$).

En el cálculo de la cantidad de Glifosato que se deriva (gráfico 15) se registraron valores significativamente mayores de producto para el tratamiento de BV con respecto al de AV, sin que exista interacción de tratamientos y subtratamientos (altura). Si bien no se alcanzó significancia de los resultados para la altura de medición ($p \leq 0,08$) al 5% del test de LSD, se visualiza una tendencia lógica de mayores valores a menores alturas, dado que las tarjetas de medición recolectaron la deriva acumulada desde 5 m de distancia hasta aproximadamente 100 m. Sería de esperar que a las mayores alturas hayan incidido los efectos de las pasadas más lejanas y que en la menor altura se acumulen gotas provenientes de pasadas cercanas y alejadas.

La cantidad de glifosato exoderivada resulta de alto riesgo principalmente en el tratamiento de BV, si se tiene en cuenta no solamente la cantidad sino también su concentración. Las estimaciones efectuadas son meramente indicadoras del potencial de riesgo, pero no pueden asumirse como valores reales absolutos derivados. Si el proceso de evaporación de las gotas hace que primariamente se evapore el agua antes que el

producto, sería lógico pensar que las gotas recogidas tengan una concentración de producto mayor a la del tanque, lo que implicaría un aumento de su potencial de daño. Lo antedicho reafirma que resultan inadecuadas las valoraciones parciales comúnmente realizadas de número de impactos, ya que las mismas no contemplan la preservación de los aspectos de seguridad de las personas y el ambiente (Smith et al., 2000)

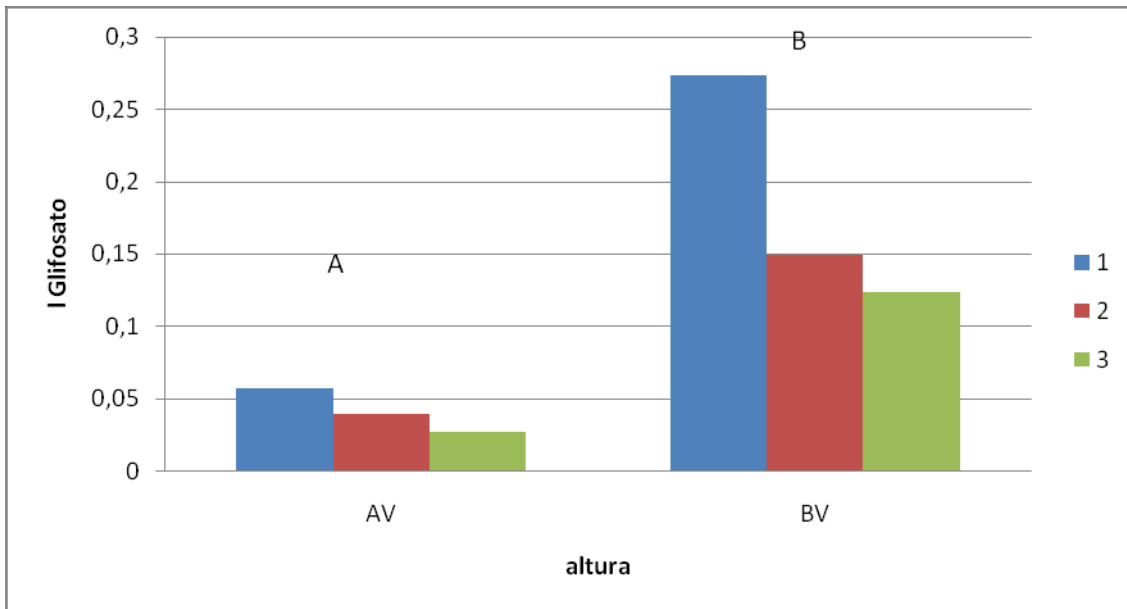


Gráfico 15. Cantidad de glifosato recogido sobre las tarjetas de deriva a distintas alturas de medición luego de 4 pasadas de la pulverizadora. AV: alto volumen; BV: bajo volumen. 1, 2, 3, alturas de medición con tarjetas hidrosensibles a partir de la superficie del terreno. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos según el test de LSD ($p \leq 0,05$).

Tomando en cuenta el conjunto de datos vinculados a la deriva de sedimentación y de exoderiva, resulta importante la incidencia y valoración de los distintos factores mencionados por Leiva (1995), que incluyen las características de la aspersion, al equipo y técnicas de aplicación, a las condiciones de tiempo atmosférico y a los equipos y accesorios específicos, como así también lo dicho por Arvidsson et al. (2011), respecto a la habilidad y atención del operador para establecer los cambios en la técnica en función de las características del ambiente, además de las condiciones meteorológicas y evitar los riesgos indicados por Mahler et al. (1997)

Ensayo sobre rastreo de Sorgo

Las condiciones atmosféricas al momento de realizar el ensayo sobre el rastreo de sorgo, se visualizan en el gráfico 16.

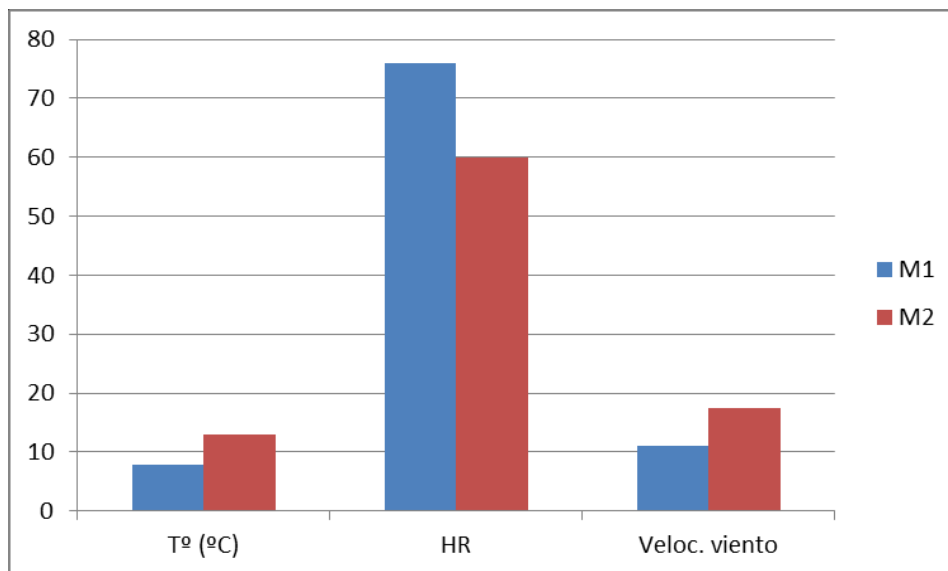


Gráfico 16. Condiciones atmosféricas al momento de realizar el ensayo. T: temperatura; HR: humedad relativa; Viento: velocidad del viento.

Si bien el ensayo completo se realizó en el transcurso de una mañana, los momentos correspondientes a la recolección de datos de cada una de las dos pastillas, tuvieron cierta variación de las condiciones atmosféricas. Las mismas se encontraban para BV dentro de la ventana de aplicación a la que hace referencia Ghirardi (2012) aunque la velocidad del viento fue un parámetro que dificultó la valoración de la prestación de las pastillas TT11002 del tratamiento de AV.

Para ambos momentos, la temperatura no fue una variable que las pudiese afectar, debido a que la máxima temperatura registrada fue de 13°C. Este registro dista de los valores registrados por Walla (1980) y Etiennot (1990) que marcan como límite de seguridad en tratamientos con plaguicidas líquidos no más de 25°C de temperatura y humedad relativa inferior al 60%.

La velocidad del viento, en cambio, afectó de manera distinta a un tratamiento y a otro. Cuando se realizó la primer prueba, en BV con la pastilla D513, la velocidad registrada estuvo en torno a los 10-12 km/h. Este valor es inferior a lo propuesto por Etiennot (1990), en relación a la existencia de reglamentaciones que prohíben la

aplicación de plaguicidas con vientos superiores a los 15 km/hora, condición que debe respetarse escrupulosamente cuando en el sentido del viento se encuentren cultivos sensibles a herbicidas, como también lo afirmado por Costa et al. (1979). Al momento de realizar la prueba con la pastilla TT11002, se produjo un aumento en la velocidad del viento, registrándose valores entre 16 y 19 km/h. Según los datos obtenidos por Márquez Delgado (2008), estos valores estarían en el límite para una correcta aplicación de agroquímicos. Según este autor, la velocidad del viento podría considerarse normal, con velocidades de entre 1,5 y 5 m/s (5,4 y 18 km h⁻¹) recomendando para este caso la pulverización de finura media.

Las condiciones respecto a la humedad relativa fueron aceptables, en acuerdo con Leiva (2015) quien recomienda no hacer aplicaciones de agroquímicos con humedad relativa inferior al 40%. En las condiciones del ensayo, los valores se ubicaron en el rango del 60% y hasta 76%.

Por lo expuesto, no fue posible establecer condiciones similares para ambos tratamientos de AV y BV, resultando perjudicado el primero. Si bien las pastillas TT11002 son recomendables para estas condiciones, a los efectos comparativos establecidos en este ensayo no pudo respetarse la homogeneidad de las condiciones ambientales, por lo cual la totalidad de los parámetros evaluados deberán ser interpretados en acuerdo con los problemas enunciados en forma precedente.

Cantidad de impactos

No se encontraron efectos significativos de tratamientos (BV y AV), estratos (I y S) ni de las pasadas sucesivas sobre el número de impactos (P1, P2, P3 y P4) como así tampoco significancia de la interacción entre tratamientos y pasadas o estratos de medición. No obstante, los mayores efectos diferenciales sobre el número de impactos se encontraron entre el estrato superior e inferior, siendo lógicamente mayores en la parte superior en valores cercanos al 25% (gráfico 17).

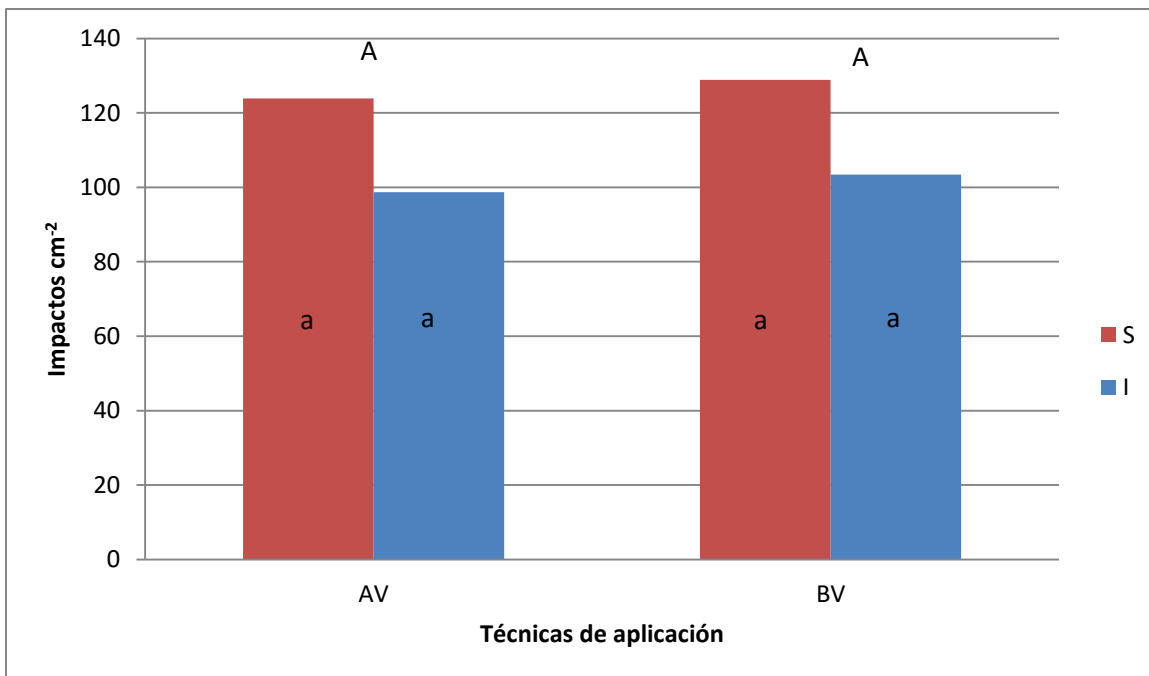


Gráfico 17. Número de impactos para ambos tratamientos (AV, BV), en los dos estratos evaluados, inferior (I) y superior (S). Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre estratos según test de LSD ($p \leq 0,05$). Letras mayúsculas diferentes, indican diferencias significativas entre tratamientos según el test de LSD ($p \leq 0,05$).

El número de impactos supera al igual que en el caso del rastrojo de soja los requerimientos establecidos para la aplicación de herbicidas sistémicos por Márquez Delgado (2008) quien indica de 30 a 40 impactos cm^{-2} y de 20 a 30 impactos cm^{-2} según Sarubbi (2010). No obstante, si se diferencian los estratos y se analizan sus resultados para valorar las posibilidades de control de distintos tipos de malezas, tampoco existen diferencias en la prestación de ambas técnicas ni del número de pasadas. El tratamiento de BV registró una diferencia entre estratos del orden 24 % entre el superior y el inferior, sin que las pasadas hayan permitido visualizar efectos de la deriva sobre el número de impactos ya que la primera pasada en este ensayo, tuvo el mayor número de impactos. Sin que sea posible comparar ambos ensayos, dadas las diferencias en características del rastrojo, su altura como también en las condiciones meteorológicas, el número de impactos alcanzado para el estrato superior es muy inferior en ambos tipos de pastillas y técnicas de aplicación que los alcanzados para el rastrojo de soja. También es interesante visualizar que las características de los residuos remanentes, pese a su altura, no dificultaron la llegada al estrato inferior. La distancia entre surcos del cultivo de sorgo precedente, a 0,52 m, las características del residuo de dicho cultivo y la altura del botalón

con respecto a la parte superior del mismo serían las variables que permitieron llegar con un número de impactos más que suficiente para los objetivos de este tipo de tratamiento. Siendo el número de impactos prácticamente el único factor que eventualmente el productor toma en cuenta para la evaluación de la calidad de aplicación a nivel de campo, es posible que los mismos pudieran tomar alguna de las siguientes decisiones. Por un lado, para ambas técnicas de aplicación es posible disminuir la tasa de aplicación, ya que el número de impactos triplica o cuadruplica el nivel mínimo requerido para el control de malezas con herbicidas sistémicos. La misma podría en sistemas de pulverización hidráulica convencional aumentar la velocidad de avance, disminuir la presión de trabajo, aumentar la distancia entre pastillas y de ser posible, cambiar el caudal para cada tipo de pastillas utilizado, lo cual permitiría maximizar la capacidad de trabajo y aumentar la rentabilidad del equipo de pulverización (Moltoni et al, 2008). Sin embargo, no todas esas alternativas tienen el mismo efecto para cada técnica de aplicación. En el caso de la técnica de bajo volumen las pastillas se encuentran distanciadas a 0,7m, por lo cual no sería posible aumentar la distancia entre pastillas, sin que sea necesario aumentar la altura del botalón, lo cual resultaría inconveniente por los riesgos de exoderiva en las condiciones de aplicación de la región. En este sentido, las pastillas de cono hueco pulverizan habitualmente con un ángulo de 80° a 90°, según el disco utilizado, en acuerdo con los datos provistos por Albus (2014). Teejet (2014) señala para pastillas de cono hueco, con ángulo de aspersion de 80°, que la altura óptima recomendada debe ser de 0,75 m para alcanzar homogeneidad en la distribución en el botalón. La disminución de la presión de trabajo del sistema es una alternativa posible de implementar, debiéndose corroborar que no aumente demasiado la variabilidad de los depósitos sobre el objeto de aplicación, producto de la disminución del ángulo de aspersion de las pastillas, como así también el aumento del tamaño de la población de gotas, a expensas de una disminución del número de impactos, lo cual puede nuevamente aumentar la variabilidad de los depósitos en la zona de interacción de 2 pastillas contiguas. Por último, el aumento de velocidad es siempre conflictivo, ya que depende de la uniformidad del terreno, siendo frecuente que a un incremento de este factor se corresponda un aumento de la altura del botalón y ambos factores inciden en el potencial de deriva, por el viento aparente y la distancia al objetivo.

Para las pastillas utilizadas en AV, las consideraciones son diferentes, ya que las mismas se encuentran dispuestas a 0,35 m entre sí, con lo cual sería posible su colocación a 0,52, si la máquina lo permite. De esta forma, la tasa de aplicación

disminuiría a 47,11 l ha⁻¹, debiéndose verificar que no aumente demasiado la variabilidad en el totalón (lo cual podría solucionarse con un incremento de su altura) ni se reduzcan los depósitos sobre el objeto de aplicación. La incidencia de esta modificación sería de menor impacto sobre el potencial de deriva, dado el DV0,5 de las mismas y el ángulo de aspersión de 110°, por lo que pareciera la alternativa más potable, balanceando eficiencia de aplicación y riesgos ambientales de la operación. Teejet (2014) señala para la pastilla TT11002 que la altura óptima para un distanciamiento de 0,5 m entre pastillas es de 0,5 m, por lo cual se podría realizar sin inconvenientes en cuanto a superposición entre pastillas la modificación propuesta.

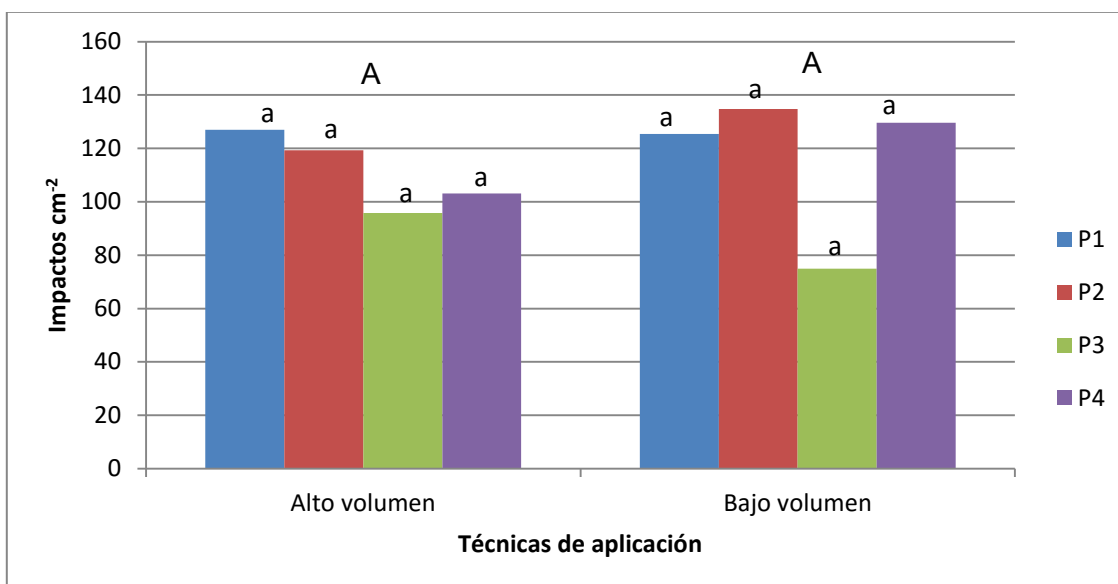


Gráfico 18. Número de impactos para ambos tratamientos (AV, BV) en cada una de las pasadas P1: primer pasada; P2: segunda pasada más 1 deriva; P3: tercera pasada más 2 derivas; P4: 4 pasada más 3 derivas. Letras mayúsculas similares indican diferencias no significativas tratamientos según el test de LSD ($p \leq 0,05$). Letras minúsculas similares en cada columna indican diferencias no significativas entre pasadas en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD

Cuando se observa el gráfico 18, correspondiente a la cantidad de impactos recolectados, según las distintas pasadas y sin tener en cuenta los estratos, se observa que en ninguno de los tratamientos existió un aporte significativo de impactos producto de la deriva de sedimentación, siendo probable que la misma haya sido interceptada por el rastrojo de sorgo. En el caso de la técnica BV se observa un aumento, en el número de impactos registrado en las tarjetas a medida que nos alejamos de la primer pasada, salvo

en la tercer pasada. Esta situación es más concordante con lo que se esperaría que suceda y permite corroborar la susceptibilidad que presentan las gotas más pequeñas para ser derivadas por el viento principalmente. La diferencia en la acumulación de gotas, en las últimas pasadas, para cada una de las técnicas es prueba de ello.

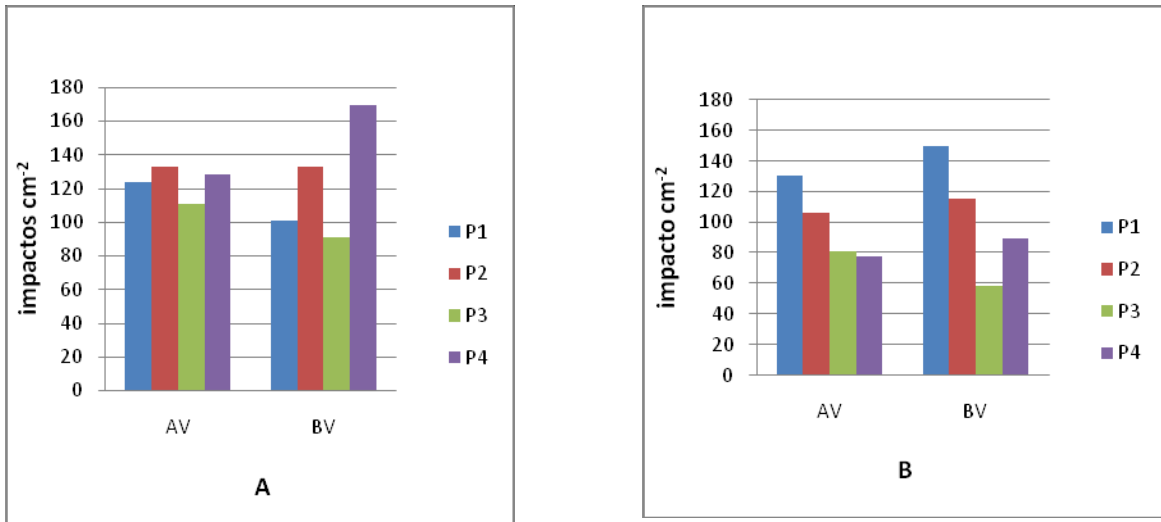


Gráfico 19. Número de impactos para los distintos estratos de medición. A) Estrato superior; B) Estrato inferior. AV: Alto Volumen; BV: Bajo Volumen) P1: primera pasada; P2: más 1 deriva; P3: primera pasada más 2 derivas; P4: primera pasada más 3 derivas.

En cuanto a lo ocurrido en los distintos estratos de medición (gráfico 19), no surgen tendencias claras para AV en el estrato superior, como tampoco se pueden explicar los resultados en dicho tratamiento sobre el estrato inferior, ya que las 4 tarjetas utilizadas en cada repetición se dispusieron en este caso sobre una superficie rectangular de 8 x 12 cm con no más de 4 cm de distancia entre una y otra, por lo que era dable esperar que al menos todos los pasajes tuviesen una base más o menos común de número de impactos dado por la primera pasada sobre las tarjetas. Por lo expuesto queda claro que entre las características comunes de las diferentes técnicas de aplicación, la variabilidad es un aspecto relevante. Además, la reducción de los efectos de deriva de sedimentación podrían vincularse a que al elevarse el botalón por la presencia del rastrojo se podrían haber favorecido los procesos de exoderiva en detrimento de la deriva de sedimentación.

Diámetro Volumétrico mediano

En cuanto a las características de la población de gotas, el análisis estadístico indicó significancia de la técnica de pulverización y del estrato. En virtud de ello se realizó la partición del análisis para evaluar los efectos de los tratamientos, para cada uno de los estratos. En un análisis general el DV_{0,5} del tratamiento de AV es superior al indicado para la pastilla TT11002 a la presión de trabajo de 2,5 bar. Los valores medios de las distintas pasadas superan los 470 μm . Asimismo, el valor medio supera en más de 100 μm el valor obtenido en el ensayo sobre rastrojo de soja. Estas variaciones podrían explicarse a partir de las diferentes condiciones atmosféricas para este tratamiento con respecto al día anterior. El viento atmosférico, tal como fuera especificado anteriormente, aumentó considerablemente al momento de evaluación de las pastillas de impacto, lo cual habría ocasionado una mayor exoderiva, arrastrando las gotas de menor tamaño y modificando como consecuencia las características de la población, generando un incremento del DV_{0,5}. Claramente, no fue posible efectuar las pasadas de ambos tratamientos en similares condiciones, dificultando el análisis de los resultados de este ensayo.

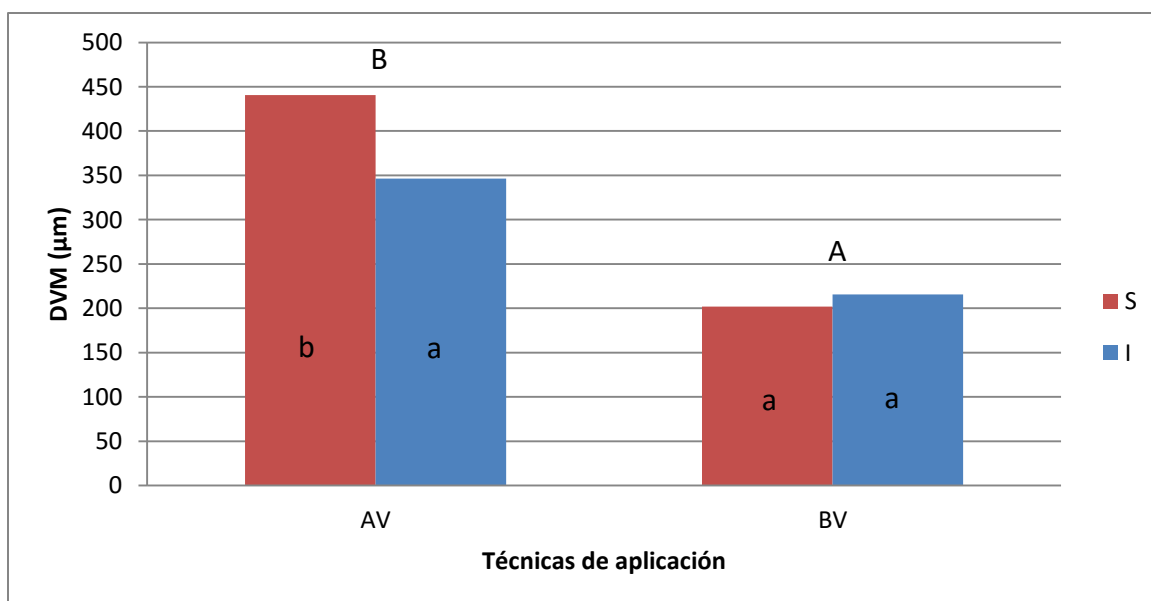


Gráfico 20. Diámetro volumétrico mediano (DMV) para los diferentes tratamientos y estratos de medición. AV: Alto volumen; BV: Bajo volumen. S: Estrato superior; I: Estrato inferior. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre pasadas en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD. Letras mayúsculas

diferentes sobre los tratamientos indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de LSD

La menor humedad atmosférica también medida en ese momento podría haber favorecido una mayor evaporación de las gotas, pero las bajas temperaturas registradas no parecieran suficientes para ocasionar dicho proceso, siendo el viento entonces el principal factor. En cuanto al tratamiento de BV, caben las mismas consideraciones hechas para el ensayo sobre rastrojo de soja, puesto que también se registró sobre las tarjetas un aumento del DV0,5 en relación con lo informado por Casal (2012), siendo esperable que sea nuevamente la exoderiva el factor determinante. En AV existieron diferencias significativas entre los estratos, a diferencia de lo acontecido con BV, en el que no se encontraron diferencias significativas entre las gotas depositadas en el estrato superior y en el inferior, lo cual puede atribuirse al menor tamaño de gotas de este tratamiento y posiblemente a una mayor uniformidad de las mismas (gráfico 20).

En el estrato inferior existieron diferencias significativas entre tratamientos sin que existiese interacción entre tratamientos y número de pasadas, ni efectos del número de pasadas sobre la población de gotas que alcanza el objeto de aplicación. El DV0,5 del tratamiento AV prácticamente duplica a las del BV.

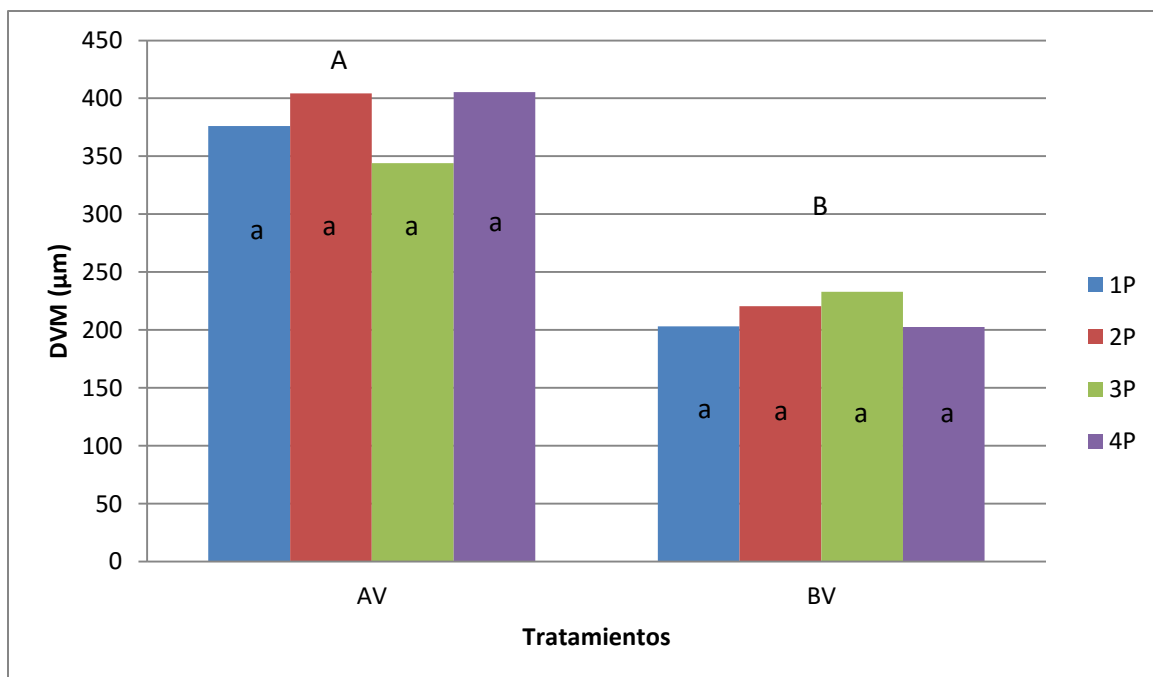


Gráfico 21. Diámetro Volumétrico Mediano (DVM) para las técnicas de Alto Volumen (AV) y Bajo Volumen (BV) en el estrato inferior en las diferentes pasadas P1: primer pasada; P2: segunda pasada más 1 deriva; P3: tercera pasada más 2 derivas; P4: 4 pasada más 3 derivas. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos según el test de LSD ($p \leq 0,05$). Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre pasadas en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

El análisis entre pasadas del estrato inferior, dentro de cada uno de los tratamientos; no presentó diferencias significativas (gráfico 21). Es decir, para el tratamiento BV todas las pasadas tuvieron estadísticamente el mismo tamaño de gotas en el estrato inferior. Lo mismo se observó en el tratamiento AV. Esto podría deberse al efecto del rastrojo de sorgo presente en el lote al momento de la aplicación, el cual habría actuado como pantalla sobre las tarjetas ubicadas en dicho estrato, evitando los efectos de la deriva por sedimentación, no pudiéndose aprovechar en este caso el desplazamiento del producto de las pasadas posteriores.

En el caso del estrato superior (gráfico 22), la tendencia fue similar al estrato inferior. En el caso de la técnica BV, prácticamente no existieron variaciones en el tamaño de las gotas del estrato superior respecto al estrato inferior, siendo las mismas inferiores al 5%. Con respecto a la técnica de AV las diferencias fueron también reducidas sin significancia estadística entre las diferentes pasadas efectuadas.

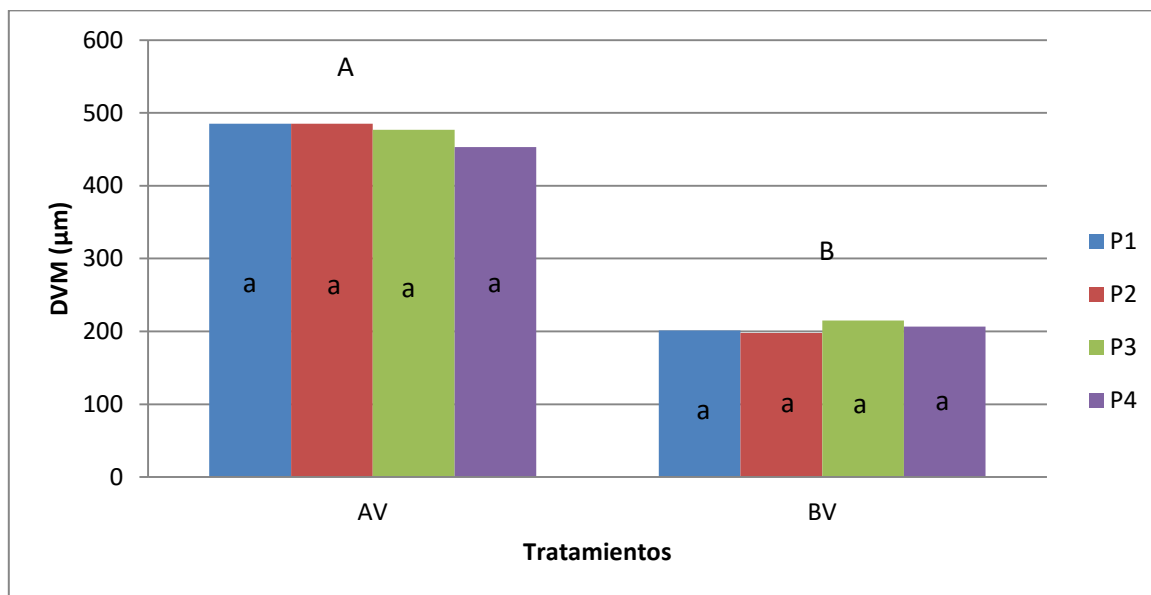


Gráfico 22. Diámetro Volumétrico Mediano (DVM) para las técnicas de Alto Volumen (AV) y Bajo Volumen (BV) en el estrato superior en las diferentes pasadas P1: primer pasada; P2: segunda pasada más 1 deriva; P3: tercera pasada más 2 derivas; P4: 4 pasada más 3 derivas. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias

significativas según el test de LSD ($p \leq 0,05$). Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre pasadas en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

Esto reafirma lo antedicho para el análisis del número de impactos, en relación a que no se manifestaron mayormente efectos de deriva de sedimentación en los estratos y que la velocidad del viento al momento de realización del ensayo, del orden de los 12 km h^{-1} , habría eventualmente favorecido mayores pérdidas por exoderiva, en lugar de corrimiento de la pulverización hacia sectores cercanos dentro del mismo ámbito de la aplicación. Tampoco se habría favorecido una mayor penetración de gotas en el estrato inferior.

En los gráficos 23 y 24, se muestran los registros de amplitud relativa de la población de gotas en los distintos estratos y pasadas sobre el terreno con acumulación de deriva.

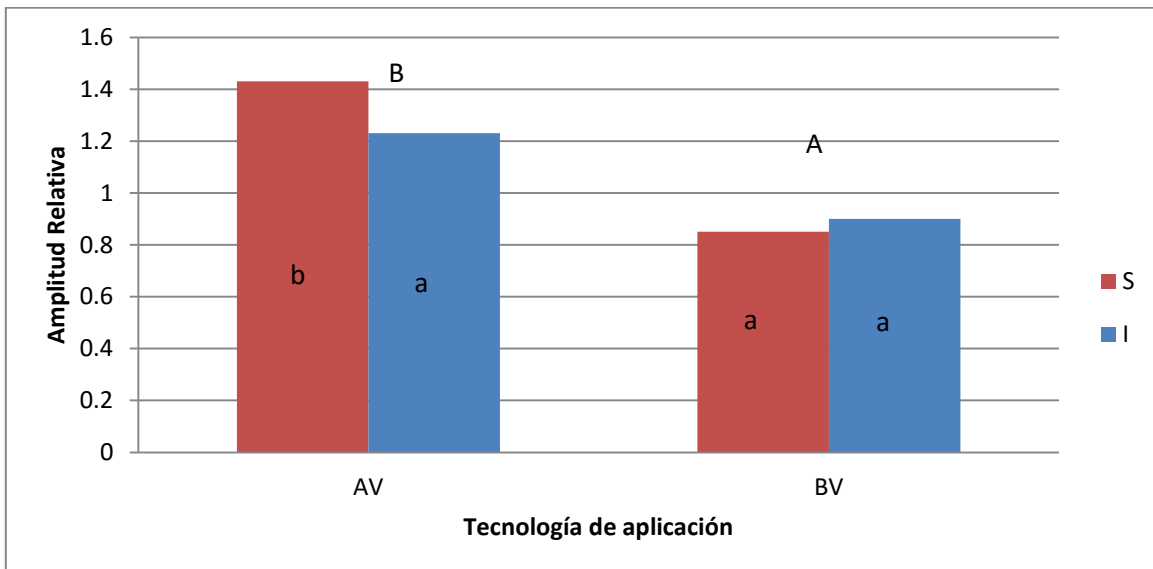


Gráfico 23. Amplitud relativa para los diferentes tratamientos y estratos de medición. AV: Alto volumen; BV: Bajo volumen. S: Estrato superior; I: Estrato inferior. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre estratos en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD. Letras mayúsculas diferentes sobre los tratamientos indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

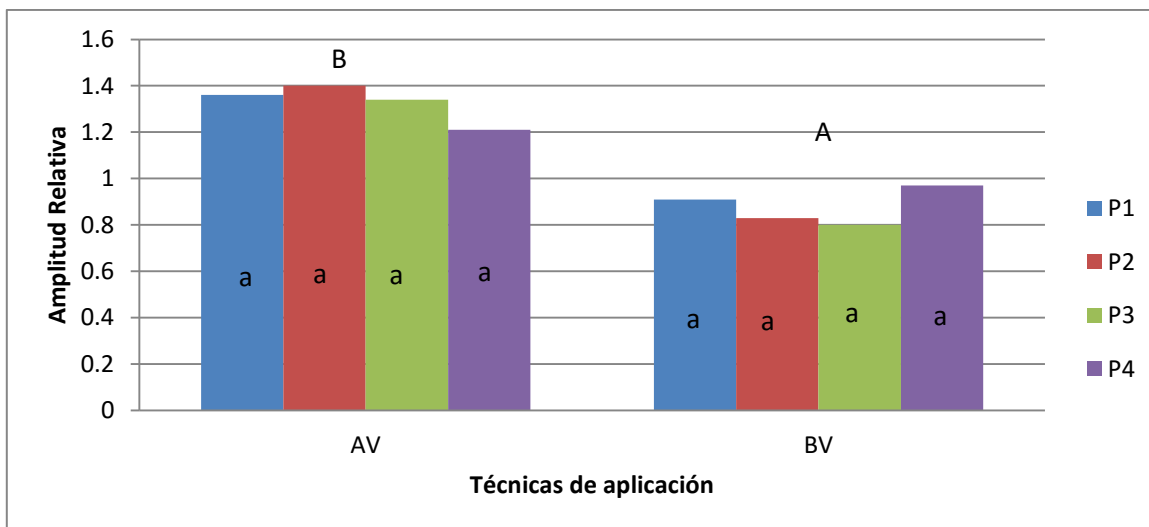


Gráfico 24. Amplitud relativa para los diferentes tratamientos y pasadas. AV: Alto volumen; BV: Bajo volumen. P1: primer pasada; P2: segunda pasada más 1 deriva; P3: tercera pasada más 2 derivas; P4: 4 pasada más 3 derivas. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre pasadas en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD. Letras mayúsculas diferentes sobre los tratamientos indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

A diferencia del ensayo sobre soja, existieron diferencias significativas en la uniformidad de gotas entre AV y BV correspondiendo a AV los mayores registros, con valores semejantes a los de soja, superiores a la unidad y con máximos cercanos a 1,4. En BV en cambio los registros fueron siempre inferiores a la unidad, sin que se visualicen efectos claros de los procesos de deriva.

Cobertura

En el gráfico 25, se muestran los resultados de cobertura para los distintos tratamientos en ambos estratos. La cobertura para el tratamiento de AV resultó significativamente mayor a la del tratamiento de BV, con valores aproximadamente 3,5 veces superiores en ambos estratos de medición.

Los registros alcanzan valores del 11 al 14 % aproximadamente para el tratamiento de AV en el estrato inferior y superior respectivamente, cercanos a los reportados por Tesouro et al. (2006). Dichos valores son similares, ligeramente inferiores, a los encontrados para el ensayo sobre rastrojo de soja, dado que en ambas situaciones no existen interferencias ente la pastilla y el objeto de aplicación, siendo las

características de la población de gotas en conjunto con las condiciones ambientales las principales limitantes para la llegada de las gotas al mismo.

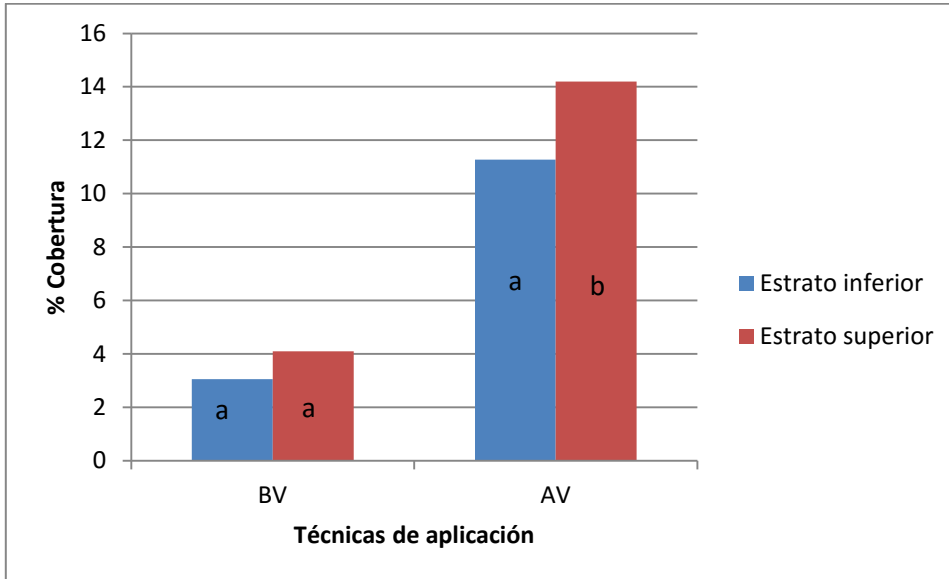


Gráfico 25. Porcentaje de cobertura para ambos tratamientos (AV, BV) y para ambos estratos. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre pasadas en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

En el tratamiento de bajo volumen, en cambio, los valores oscilaron entre el 3% y el 4% para el estrato inferior y superior, sin diferencias significativas entre los mismos, lo cual puede ser explicado por el número de impactos alcanzado con un tamaño de gota significativamente inferior al de las pastillas de impacto utilizadas en el tratamiento de AV. Los valores de BV resultaron en su variabilidad algo superiores a los indicados por Sarubbi (2010), mientras que para AV tuvieron un coeficiente de variación del orden del 25% dentro de los límites mencionados como recomendables para la aplicación de herbicidas sistémicos.

Los gráficos 26 y 27 muestran los resultados de cobertura para ambos tratamientos para cada pasada en el estrato superior e inferior respectivamente

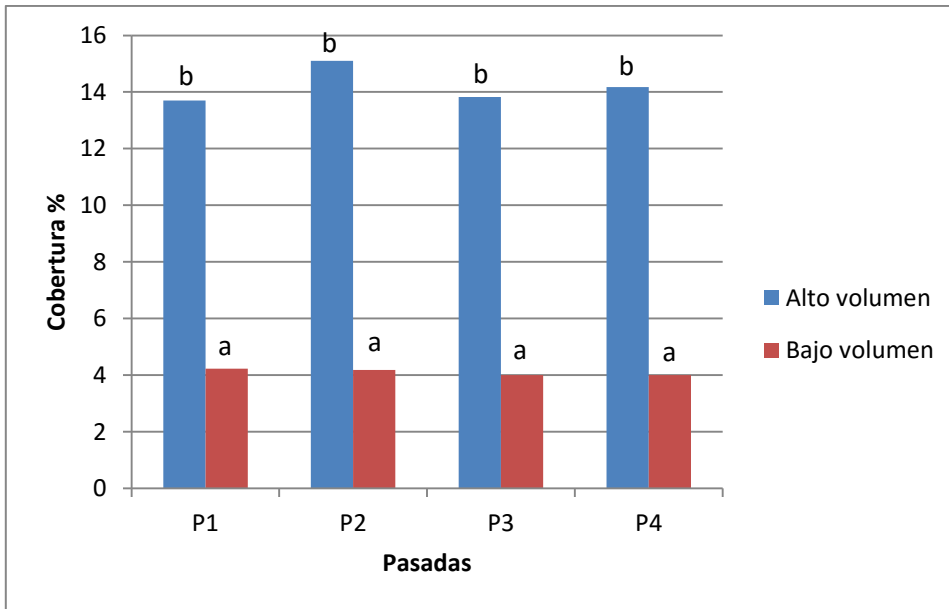


Gráfico 26. Porcentaje de cobertura en cada una de las pasadas P1: primer pasada; P2: segunda pasada más 1 deriva; P3: tercera pasada más 2 derivas; P4: 4 pasada más 3 derivas, para ambos tratamientos (AV, BV) para el estrato superior. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos para cada pasada según test de LSD ($p \leq 0,05$).

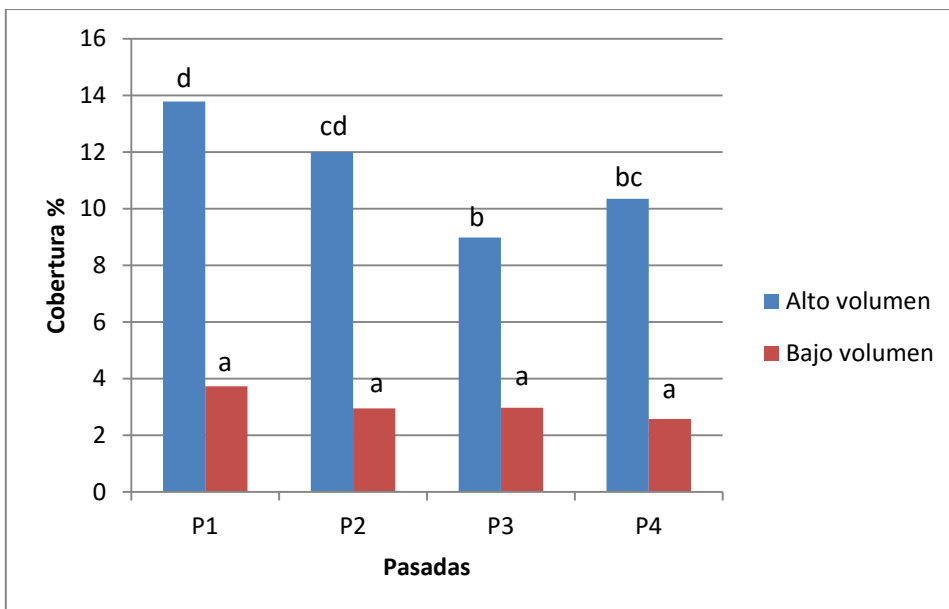


Gráfico 27. Porcentaje de cobertura en cada una de las pasadas P1: primer pasada; P2: segunda pasada más 1 deriva; P3: tercera pasada más 2 derivas; P4: 4 pasada más 3 derivas, para ambos tratamientos (AV, BV) y solo para el estrato inferior. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre pasadas en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

Tanto en el estrato inferior, como en el superior, se valida la hipótesis planteada respecto a que la mayor tasa de aplicación (técnica AV), logró una mayor cobertura del objetivo de aplicación, sin diferencias entre las distintas pasadas en el estrato superior y solamente diferencias entre pasadas en el estrato inferior, sin que las mismas encuentren una explicación razonable, ya que las 4 recibieron la primera pasada al mismo tiempo siendo la ubicación de las tarjetas y la disposición del cultivo la única variable que por azar puede justificar los mismos

Eficiencia

En eficiencia existieron diferencias significativas entre técnicas de aplicación como así también resultó significativa la interacción de tratamientos y estratos, por lo cual se dividió el análisis de los efectos de los estratos para cada tratamiento (gráfico 28).

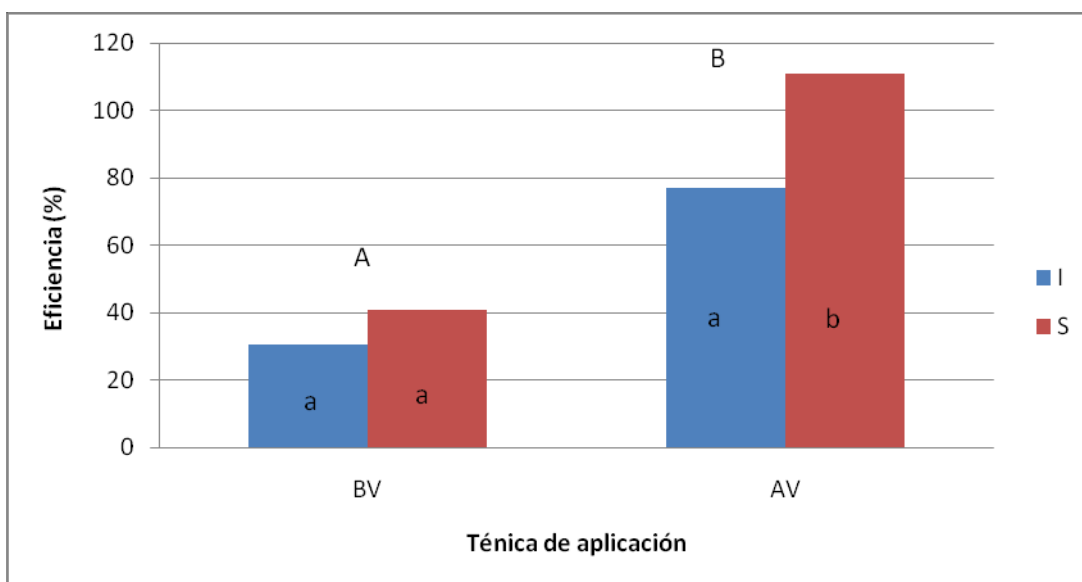


Gráfico 28. Eficiencia en porcentaje en para cada tratamiento en los distintos estratos de medición. BV: Bajo volumen; AV: Alto volumen. I: Estrato inferior; S: Estrato superior. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre estratos en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

Como puede apreciarse en el mismo, solamente existieron diferencias significativas entre estratos para la técnica de AV registrándose los valores mayores para el estrato superior.

En la técnica BV, los valores estuvieron entre aproximadamente 30 y 40% de eficiencia, para el estrato inferior y el superior, respectivamente. Estos resultados están asociados al tamaño de gotas utilizado (aproximadamente 200 μm) y a las condiciones reinantes al momento de la realización del ensayo, donde predominaban las ráfagas de viento, que podrían haber arrastrado con facilidad las gotas de menor tamaño. Si bien los valores de eficiencia no fueron tan altos como en la técnica AV, los mismos fueron estadísticamente iguales en ambos estratos, lo cual nos habla de la capacidad de penetración de las gotas más pequeñas.

Con respecto a la técnica AV, los valores de eficiencia estuvieron comprendidos entre 77% para el estrato inferior y 111%, para el estrato superior. En los casos en que se dan estos resultados, en donde los valores de eficiencia superan el 100%, se puede suponer que se debe a un error de análisis del programa tal como fuera informado por Domper et al. (2015), quien indica que el programa de análisis utilizado sobreestima los resultados, debiéndose afectar los mismos por un coeficiente de 1,67 para las pastillas sin inducción de aire. Esto se debería a que el programa analiza la impronta de las gotas sobre las tarjetas y en base a la marca dejada sobre la misma, estima el volumen que tenía esa gota. En consecuencia se podrían generar errores, debido a la expansión de las gotas sobre la tarjeta, del tamaño de las gotas y su energía cinética, como así también la incidencia del coadyuvante utilizado en el ensayo para disminuir la tensión superficial (Marer, 1988). Los valores obtenidos a partir de la aplicación de dicho factor de corrección (gráfico 29), sin que puedan tomarse como certeros, darían una mejor aproximación a la realidad, acercándose a lo relevado por Martens (2012). Esto cambiaría la percepción de una muy alta eficiencia para ambas pastillas

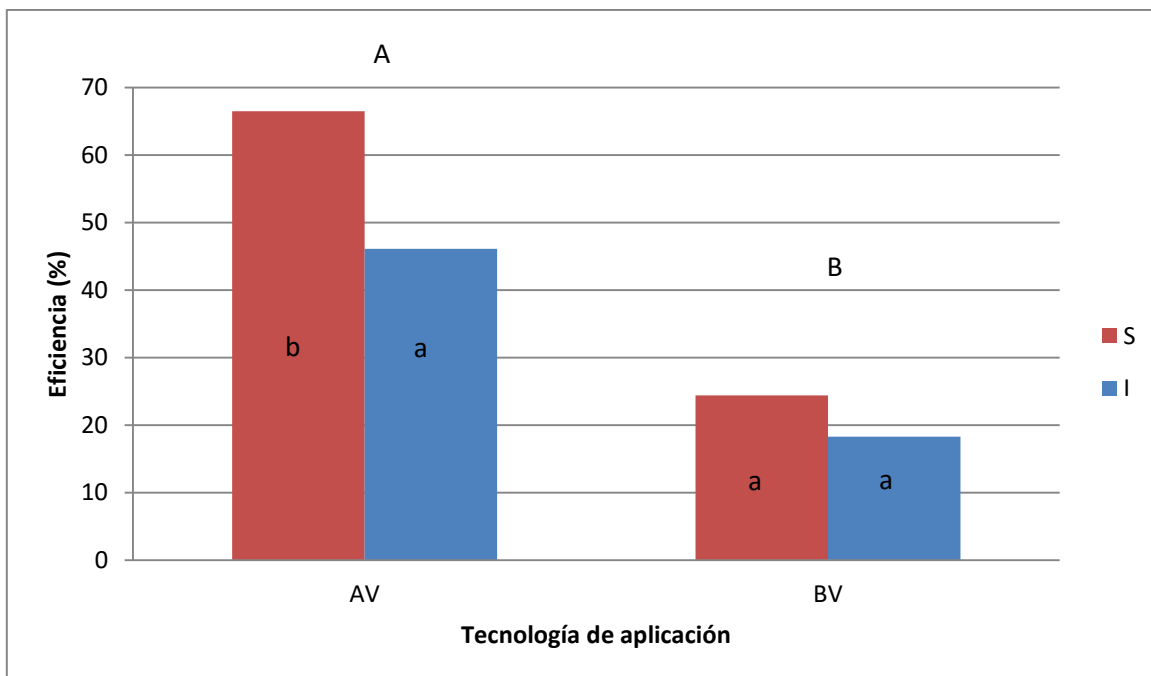


Gráfico 29. Porcentaje de eficiencia corregida para los diferentes tratamientos y estratos de medición. AV: Alto volumen; BV: Bajo volumen; S: estrato superior; I: estrato inferior. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de LSD. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre estratos en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

También es posible expresar la eficiencia como el producto glifosato recuperado por el objeto de aplicación (gráfico 30 a) o valorar la ineficiencia a partir del producto no recuperado por el objetivo (gráfico 30 b) como diferencia entre la dosis de producto distribuida en la hectárea (2,5 l) y lo calculado, corregido, por el programa de análisis de tarjetas CIR 1,5.

La misma permite visualizar la ineficiencia de las aplicaciones para ambos tipos de técnicas de aplicación, como así también el potencial de riesgo ambiental de las pérdidas de producto, por exoderiva, endoderiva, o termoderiva. La referencia para los mismos debería hacerse en relación al estrato superior, ya que las tarjetas correspondientes al estrato inferior no se encuentran en similar posición que las del superior, por lo que no corresponde la suma de lo recolectado en ambos estratos.

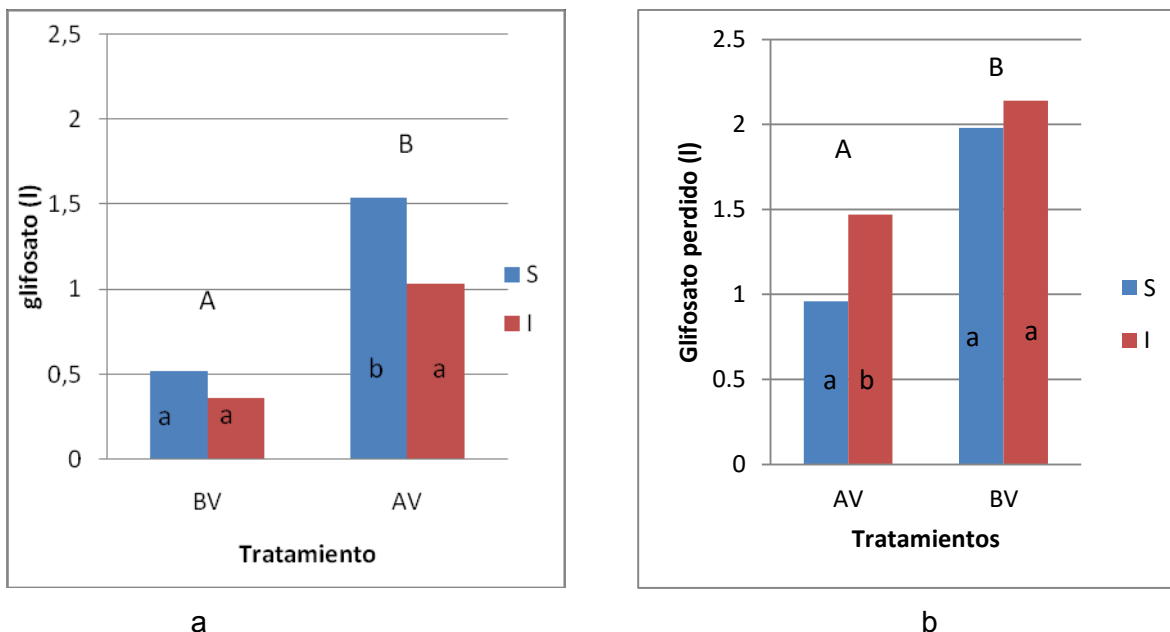


Gráfico 30. Glifosato depositado sobre el objeto de aplicación (a) y fuera del objetivo (b) para los diferentes tratamientos y estratos de medición. AV: Alto volumen; BV: Bajo volumen; S: estrato superior; I: estrato inferior. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de LSD. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre estratos en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

En BV en el estrato superior los depósitos superan ligeramente $0,5 \text{ l ha}^{-1}$ y $0,36 \text{ l ha}^{-1}$ en el inferior, mientras que para AV la recuperación se encuentra entre $1,5 \text{ l ha}^{-1}$ y 1 l ha^{-1} para el estrato superior e inferior respectivamente

Es conveniente recordar que la medición de la “calidad” o “eficiencia de la aplicación a nivel de producción se efectúa únicamente a través del número de impactos, lo que indicaría que ambas técnicas resultan similares. Sin embargo, la cantidad de solución y producto que se deposita sobre el objetivo difieren significativamente, sin que ello tampoco implique que los resultados a nivel biológico difieran, ya que los mismos dependerán de las características de las malezas, el tratamiento del agua utilizada, los coadyuvantes adicionados y la mayor o menor inactivación del producto, pero permiten inferir mayores posibilidades de efectivo control y menor contaminación ambiental

El gráfico 31 muestra los resultados obtenidos del análisis de la eficiencia por pasadas en el estrato inferior, con diferencias significativas a favor de la técnica de AV. En la técnica BV, no se presentaron diferencias significativas entre pasadas, mientras que en AV la tercera pasada registró significativamente menor eficiencia que el resto, no

existiendo tal como fuera analizado en otras variable razones para ello más que la ubicación relativa del cultivo con respecto a la tarjeta vinculado a la condición de viento, que pudiese interferir sobre el depósito en el pasaje del botalón sobre las mismas, correspondiente a la denominación P1. Es claro que no existieron mayores aportes de producto hacia el estrato inferior en las sucesivas pasadas efectuadas.

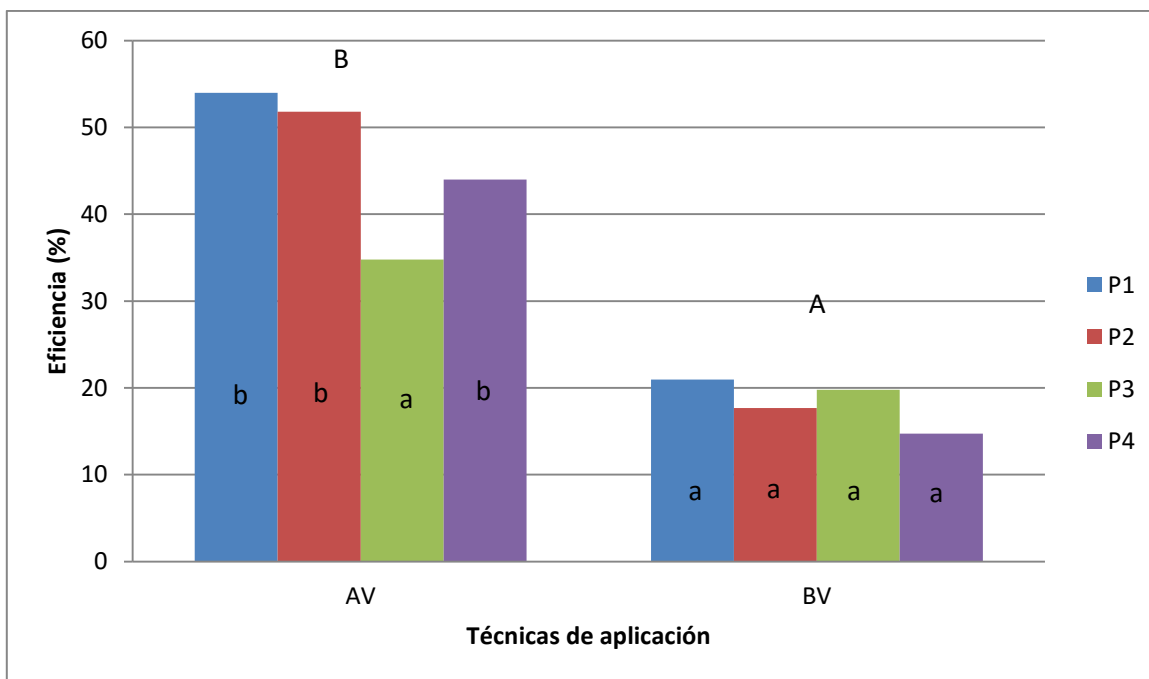


Gráfico 31. Eficiencia en porcentaje para los distintos tratamientos en el estrato inferior en cada una de las pasadas. AV: Alto Volumen; BV: Bajo Volumen. P1: primer pasada; P2: Primer pasada más 1 deriva; P3: Primer pasada más tercera más 2 derivas; P4: Primer pasada más 3 derivas, Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre pasadas en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

En el estrato superior también fue la eficiencia significativamente mayor para AV, sin que en este caso se produjesen diferencias entre los subtratamientos correspondientes a las sucesivas pasadas

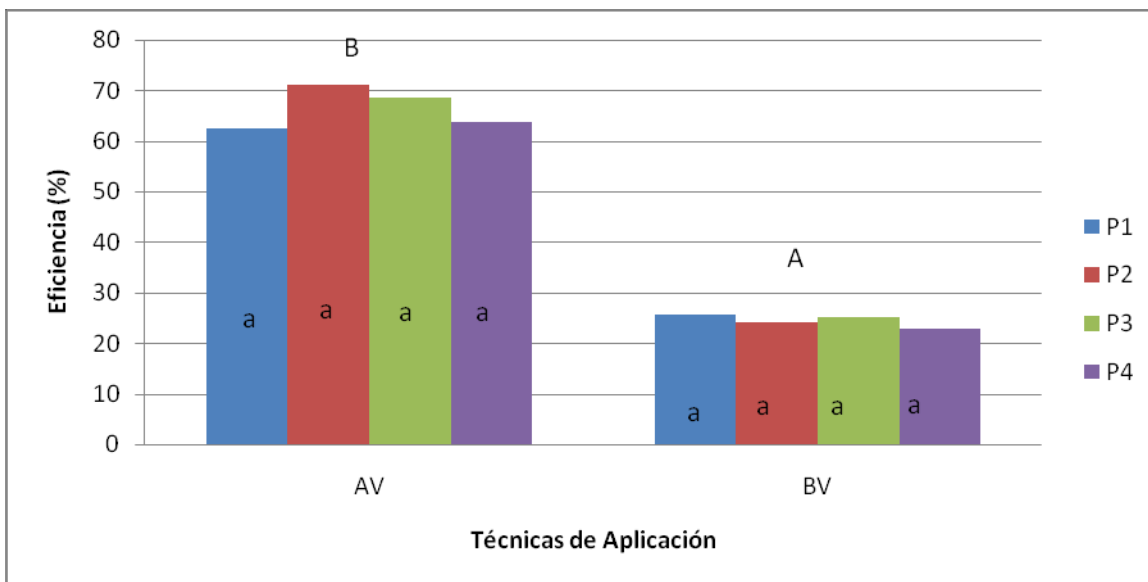


Gráfico 32. Eficiencia en porcentaje para los distintos tratamientos en el estrato superior en cada una de las pasadas. AV: Alto Volumen; BV: Bajo Volumen. P1: primer pasada; P2: Primer pasada más 1 deriva; P3: Primer pasada más tercera más 2 derivas; P4: Primer pasada más 3 derivas, Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre pasadas en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de LSD. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

Los resultados, en su conjunto, reafirman las consideraciones de carácter general expuestas por Onorato & Tesouro (2004) en relación a la complejidad que involucra a la pulverización como técnica de aplicación de fitoterápicos, no solo desde el punto de vista agronómico, sino también por la preservación del medio ambiente, la salud humana y la necesidad de trabajar con un enfoque sistémico que contemple la interacción de múltiples variables (Bertalanffy, 1981; Leiva, 1996) La eficiencia será entonces el resultado de la interacción de múltiples factores tal como fuera aseverado por Leiva (1995) y Arvidsson et al. (2011) cuyo análisis conduce a una adecuada preparación de los pulverizadores para realizar una tarea exitosa (Massaro, 2004).

En base a esto, teniendo en cuenta los diferentes análisis realizados para el ensayo sobre el rastrojo de sorgo, es posible rechazar la hipótesis que la cantidad de principio activo sobre el objeto de aplicación es independiente de la técnica de aplicación utilizada y afirmar que la utilización de la técnica de bajo volumen no alcanza igual eficiencia que los sistemas de aplicación convencional, en los tratamientos para el control de malezas en pre-siembra.

Deriva de la aplicación

En el gráfico 33 se visualizan los valores de número de impactos determinados sobre las tarjetas ubicadas sobre las columnas para medición de deriva a diferentes alturas. No existieron diferencias significativas entre tratamientos, alturas de medición ni en la interacción de técnicas de aplicación y alturas de medición.

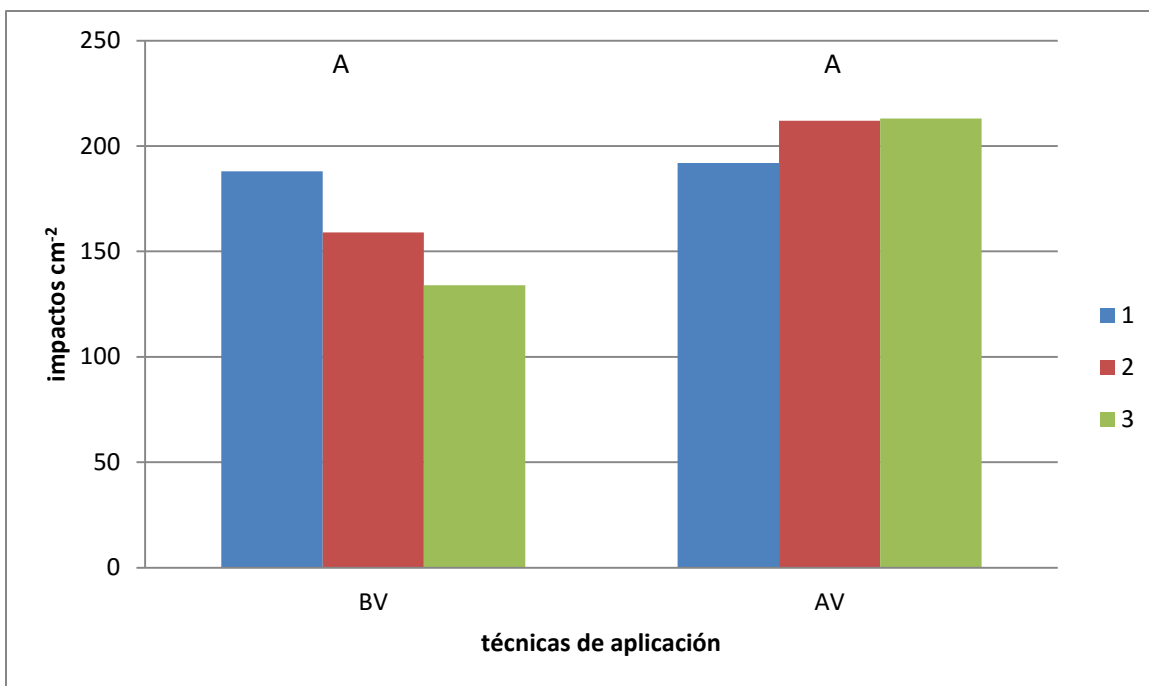


Gráfico 33. Número de impactos en columnas de deriva. BV: Bajo volumen; AV: Alto volumen. 1, 2, 3: alturas (m) de las tarjetas de medición. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre técnicas de aplicación ($p \leq 0,05$) según el test de LSD.

El número de impactos es muy alto y resulta superior a lo registrado en el ensayo sobre rastrojo de soja. Se determinó un mayor número de impactos para el tratamiento AV en relación con BV, que al igual que en el ensayo sobre rastrojo de soja podría explicarse por la diferencia de caudales entre ambos tratamientos. Es importante destacar que la velocidad del viento para AV fue muy superior a la de BV, lo cual indica la importancia de las características de la población de gotas de las pastillas TT11002 para la disminución de los riesgos de deriva. No obstante, existen pequeñas diferencias en la tendencia de la cantidad de impactos a las diferentes alturas de medición para los tratamientos. Pareciera que en el AV se registra una mayor incidencia de procesos de exoderiva, mientras que en BV, con menor incidencia de la velocidad del viento prevaleció la deriva de sedimentación,

a la cual colabora también la cercanía del extremo de la barra de pulverización durante el primer pasaje de la máquina (5 m de distancia).

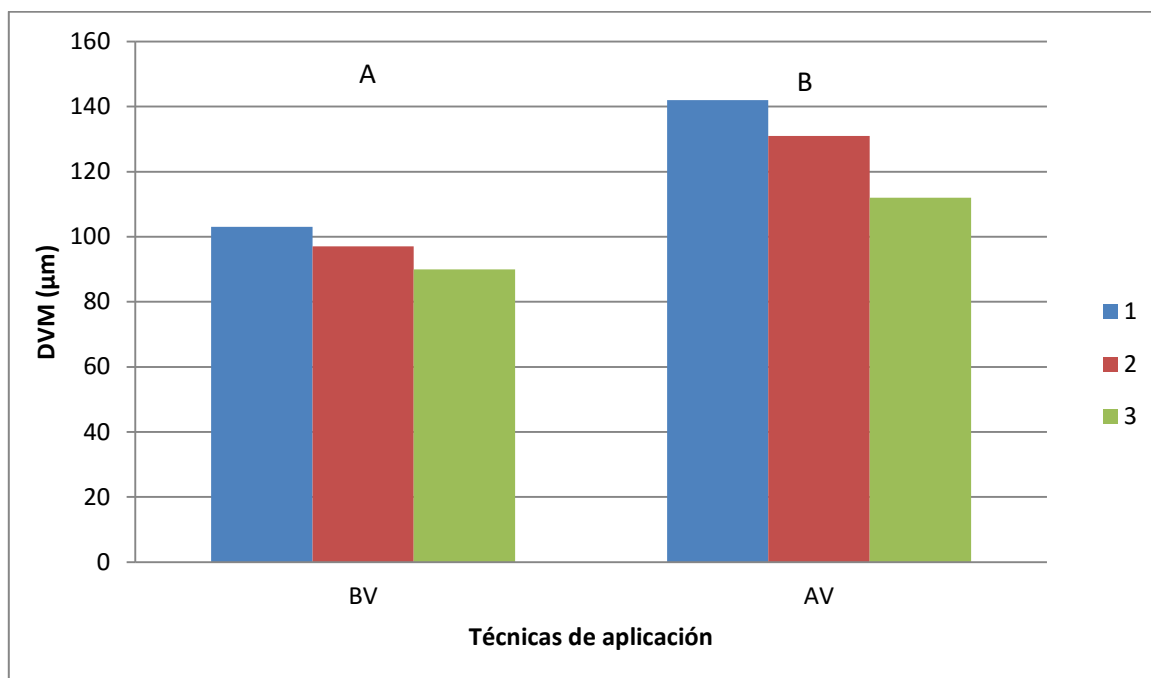


Gráfico 34. Diámetro volumétrico mediano de la población de gotas exoderivadas. BV: Bajo volumen; AV: Alto volumen. 1, 2, 3: alturas (m) de las tarjetas de medición. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre técnicas de aplicación según el test de LSD ($p \leq 0,05$).

Asimismo, el DV0,5 de las gotas exoderivadas resultó significativamente mayor para AV atribuible a las condiciones ambientales predominantes para el mismo, resultando esperable que en estas condiciones exista un gradiente de mayor a menor tamaño a medida que se incrementa la altura de captación de las tarjetas (gráfico 34). El conjunto de factores, número de impactos, DV0,5 y concentración de cada técnica de aplicación, junto a las condiciones atmosféricas de cada tratamiento ocasionó que no se encontraran diferencias significativas en la cantidad de glifosato exoderivado. No obstante, nuevamente BV registró una pérdida de producto superior a la de AV pese a la diferencia de 6 a 7 km h^{-1} de mayor velocidad de viento, no alcanzando significancia la diferencia por la gran variabilidad del tratamiento de BV, visualizándose los resultados en el gráfico 35.

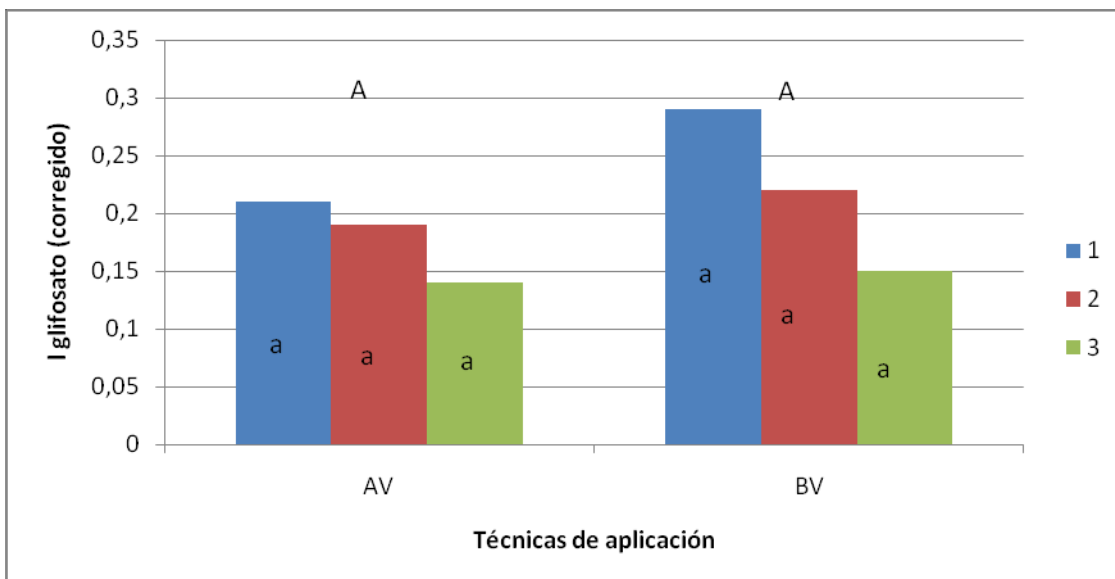


Gráfico 35. Glifosato perdido en función de la eficiencia calculada sobre las tarjetas de deriva (l ha⁻¹). BV: Bajo volumen; AV: Alto volumen. 1, 2, 3: alturas (m) de las tarjetas de medición. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre técnicas de aplicación según el test de LSD ($p \leq 0,05$). Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre alturas de muestreo dentro de cada tratamiento según el test de LSD ($p \leq 0,05$).

CONCLUSIONES

La utilización de la técnica de bajo volumen alcanza similar eficiencia que el sistema de aplicación convencional, en los tratamientos para el control de malezas en presiembra sobre el rastrojo de soja, pero no así en las condiciones de aplicación correspondientes al rastrojo de sorgo, donde las condiciones climáticas y operativas ocasionaron para la misma una reducción significativa de la cantidad de glifosato recolectada sobre el objeto de aplicación, independientemente del estrato de evaluación

La mayor tasa de aplicación presenta una mayor cobertura del objeto de aplicación en tratamientos de control de malezas independientemente de las características del residuo remanente y del estrato de evaluación considerado.

Tomando en cuenta el número de impactos como forma de evaluación de la efectividad de la aplicación por parte de técnicos y productores ambas técnicas de aplicación resultan adecuadas para el control de malezas en barbecho con productos sistémicos ya que las mismas exceden las recomendaciones para este tipo de tratamiento

La técnica de bajo volumen presenta mayores riesgos de pérdidas de producto en algunos casos por exoderiva y en otros por procesos que en conjunto ocasionan una mayor liberación del mismo al ambiente, en relación con las condiciones climáticas y las condiciones de operación de la pulverizadora en acuerdo a las características del residuo remanente.

El tamaño de las gotas que se derivan por el viento es independiente de la técnica de aplicación utilizada.

La técnica de bajo volumen presenta en el objeto de aplicación una mayor uniformidad de tamaños de gotas.

BIBLIOGRAFÍA

- Albuz. 2014. Albuz boquillas de pulverización. Catálogo CoorsTek 2014. COORSTEK Advanced Materials France. Zone industrielle N°1, rue de l'industrie 27000 Evreux – France. 36 pp
- Arvidsson, T., Bergström, L. & J. Kreuger, , 2011. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. *Pest. Manag. Sci.* 67, 586-598.
- ASAE. 2009. Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. S572.1. 2009. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI., 4 pp
- Bertalanffy, L. 1981. Teoría General de los Sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones. Ed. Fondo de Cultura Económica, México DF. pp. 167 – 169.
- Casal, G.A. 2012. Aspectos de tecnología de aplicación de agroquímicos. Simposio Internacional CIDETER. Las Parejas, provincia Santa Fe, Argentina. Agosto 2012. 12 pp.
- Costa, J.J., A.E. Margheritis & O. Marsico. 1979. Introducción a la Terapéutica Vegetal. Ed. Hemisferio Sur. Primera reimpresión. Argentina. 533 pp.
- Courshee, R.J. 1960. Some aspects of the application of insecticides. *Annual Review of Entomology*, Palo Alto, vol. 5. pp. 327 - 352.
- Doble, S.J., G.A. Matthews, I. Rutherford & E.S.E Southcombe. 1985. A System for classifying hydraulic nozzles and other atomizers into categories of spray quality. p. 1125–1133. In: *Proc. Brighton Crop Prot. Conf. – Weeds*. Brighton, UK, 18–21 November 1985, 1300 pp.

- Domper, G.N., M. Mur, & R.H. Balbuena. 2015. Eficiencia de aplicación de pastillas de pulverización con inducción de aire en el cultivo de soja. *Revista de la Facultad de Agronomía* 113 (2) 202-210
- Etiennot A.E. & A. Piazza. 2010. Buenas prácticas de aplicación en cultivos planos extensivos. Distancias a zonas urbanas. Criterios y soluciones. *Acta toxicol. Argent.* 18 (2): 40 – 53.
- Etiennot, A.E. 1990. Cuarto Curso de Actualización para Pilotos Aeroaplicadores. Instituto Nacional de Aviación Civil (INAC), Buenos Aires. 119 pp.
- Etiennot, A.E. 1993. Pulverizaciones terrestres. Segundo Congreso Nacional de Siembra Directa. Septiembre 1993. Huerta Grande, Córdoba, Argentina. pp. 163 - 173.
- Frola, E. 2013. Manejar tamaño, número y distribución de impactos para lograr aplicaciones de calidad. Disponible en: <http://www.todoagro.com.ar/noticias/nota.asp?nid=25566>. Último acceso: diciembre de 2015.1pp.
- Ghirardi, G.J. 2012. Eficacia y Eficiencia en las aplicaciones de Fitosanitarios. AgroSpray. Dto. de Desarrollo Agrospray. Disponible en: **¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.** Último acceso: enero 2014
- Graham-Bryce, I.J. 1977. Crop protection: a consideration of the effectiveness and disadvantages of current methods and of the scope for improvement. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London B*, 281, 163-179.
- Hartzler, B. 2001. Role of Spray Adjuvants with Postemergence Herbicides. Iowa State University. Disponible en: <http://www.weeds.iastate.edu/mgmt/2001/additives.htm>. Último acceso: diciembre 2013.
- Hewitt, A.J., Miller, P.C.H., Bagley, W.E., 2001. Interaction of Tank Mix and Nozzle Design on Spray Performance and Drift Potential. American Society for Agricultural Research. ASAE Paper No: 01-011081. 7pp.
- Hock, W.K. 2011. Spray Adjuvants. Pesticide Safety Fact Sheet. The Pennsylvania State University. Disponible en: <http://pubs.cas.psu.edu/freepubs/pdfs/uo221.pdf>. Último acceso: diciembre 2015. 4 pp.
- Larragueta, O. 1985. Picos pulverizadores. Boletín de Pulverizaciones, Agrícolas, Publicación No 2. Departamento de Ingeniería Rural, INTA Castelar - Barbuy S.A., Buenos Aires. 3 pp.

- Leiva, P.D. 1995. Manejo de la deriva en la aplicación de agroquímicos. Carp. Produc. Vegetal. INTA, EEA Pergamino, SERIE: Generalidades, Tomo XIV, Información N° 139, Septiembre, Ed: Puig, R. 6 pp.
- Leiva, P.D. 1996. Calidad de aplicación de plaguicidas. En: primera Jornada de Control Químico de Enfermedades del trigo en sistemas de manejo para alta productividad. Bolsa de Cereales de Buenos Aires. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino, INTA. 12 pp.
- Leiva, P.D. 2010. Consideraciones generales sobre calidad de agua para pulverización agrícola. Grupo Protección Vegetal - INTA, Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/2010/Calidad_Aguas_para_pulverizacion.pdf. Enero 2014.
- Leiva, P.D. & P. Picapietra. 2012. Compatibilidad para mezclas de tanque de tres herbicidas utilizados en barbecho químico. Grupo Protección Vegetal - INTA, Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Disponible en: <http://inta.gov.ar/documentos/compatibilidad-para-mezclas-de-tanque-de-tres-herbicidasutilizados-en-barbecho-quimico/> . Último acceso: Enero 2014.
- Leiva, P.D. 2015. Recaudos por deriva en pulverizaciones agrícolas. Siete aspectos importantes para su manejo. Grupo Protección Vegetal - INTA, Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Disponible en: http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_pergamino_recaudos_por_deriva_en_pulverizaciones.pdf. Último acceso: Enero 2014.
- Magdalena, J.C., R. Balbuena, A. Di Prinzio & J. Capurro. 2000. Equipos para aplicación de agroquímicos. Propuestas de unificación de denominación y clasificación. En: Avances en Ingeniería Agrícola 1998/2000".Ed. Facultad de Agronomía de Buenos Aires. pp. 150-156.
- Mahler, R.L., Homan, H.W. G.P. Carpenter. 1997. Pesticides and their movement in soil and water. University of Idaho. Cooperative extension system. Disponible en: <http://www.uiweb.uidaho.edu/wq/wqpubs/cis865.html>. Último acceso: enero de 2014.

- Marer, P.J. 1988. The safe and effective use of pesticides. Univ. of California Statewide Integrated Pest Management Project, Div. of Agr. and Natural Res., Publ. 3324. 329 pp.
- Márquez Delgado, L. 2008. Buenas Prácticas Agrícolas en la Aplicación de los Fitosanitarios. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Secretaría General Técnica. Madrid, España. 124 pp. Disponible en: <http://www2.fepex.es/archivos/publico/Fitosanitarios/Fitosanitarios-%20Texto.pdf>. Último acceso: enero de 2014.
- Martens, F. 2012. Guía para el uso adecuado de plaguicidas y la correcta disposición de sus envases. Boletín de divulgación N° 41. ISSN 0328-3380. 26 pp.
- Massaro, R.A. 2004. Tecnología para la aplicación de fungicidas foliares en soja con equipos terrestres. Revista Para Mejorar la Producción n. 27, Soja campaña 2003/2004. pp. 112-119
- Miguens, M.M. 1981. Aplicación de plaguicidas. Cuaderno de actualización Técnica N° 29. Ed: AACREA, Departamento de Estudios, Departamento de Prensa y Difusión Cuaderno de Actualización Técnica, Buenos Aires. 43 pp.
- Moltoni, L., G. Masiá & A. Moltoni. 2008. Cost and income analysis of agricultural labors: the role of agricultural machinery services providers in Argentina. International Conference of Agricultural Engineering - XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Foz do Iguaçu, Brasil. 4 pp.
- Onorato A.A. & M.O. Tesouro. 2004. Desempeño antideriva de una boquilla de pulverización agrícola de cono hueco inducida por aire. Revista de investigaciones agropecuarias, 33 (2): 3-13.
- Papa, J.C. & R.A. Massaro. 1999. Evaluación de la fitotoxicidad sobre maíz de nicosulfurón aplicado solo y en mezcla con clorpirifos. Maíz: para mejorar la producción N° 10. E.E.A. Oliveros INTA. pp. 63-66.
- Rodríguez, J.F. 2011. Calidad de aplicación de productos Fitosanitarios y su influencia en el efecto de control de plagas, malezas y enfermedades. Disponible en http://www.agriculturaconsciente.com/admin/content/materiales/material_12062013_165540.pdf. 26 pp. Último acceso: noviembre de 2015

- Sarubbi, C. A. 2010. Tecnología de la aplicación de productos fitosanitarios. 1a Edición. Universidad Nacional de Buenos Aires. 304pp.
- Smith, D.B., S.D. Askew, W.H. Morris, D.R. Shaw & M. Boyette. 2000. Droplet size leaf morphology effects on pesticide spray deposition. Transactions of the ASAE 43 (2): 255-259.
- TeeJet. 2014. TeeJet Technologies. Catálogo 51A-ES.. Spraying Systems Company, Wheaton, Illinois 60187-7900, U.S.A. 164 pp.
- Tesouro, M.O., G. Masiá, L. Venturelli & A.M. Fuica. 2006. Ensayo de tecnologías de aplicación de fungicidas para roya de la soja. Centro de investigación en agroindustrias Centro nacional de investigaciones agropecuarias. 35 pp.
- Walla, W.J. 1980. Aerial Pesticide Application. Texas A & M University. Texas, USA. 26 pp.