



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Título: *“Control de malezas. Evaluación de la eficiencia y riesgos ambientales de distintas pastillas”*

Alumno: Rodríguez Vassallo, Matías

Legajo: 26324/9

Mail: rv_matias@hotmail.com

Director: Ing. Agr. Matilde Mur

Co-director: Ing. Agr. Mariano Julio Ponce

Diciembre 2017

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	4
HIPÓTESIS.....	10
OBJETIVOS.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	17
Eficiencia de aplicación.....	18
Deriva de sedimentación.....	28
Exoderiva.....	35
CONCLUSIONES.....	46
BIBLIOGRAFÍA.....	47

RESUMEN

La pulverización es la forma más difundida de aplicación de fitosanitarios en Argentina. Pero su uso es complejo, desde el punto de vista agronómico y por sus implicancias en el medio ambiente, contaminación y la salud humana, ya que, el proceso de deriva tiene gran incidencia en los aspectos mencionados. El objetivo del ensayo fue evaluar el desempeño de diferentes técnicas de aplicación para la mitigación de la deriva. Se utilizaron tres diseños de pastillas: abanico plano aire inducido (AI), cono hueco aire inducido (CI) y cono hueco (CC), en dos distancias sobre el botalón, 0,70 m (A) y 0,35 m (B). Se determinaron la densidad de impactos (imp cm^{-2}), la cobertura (%), el $DV_{0,5}$ y la eficiencia sobre tarjetas hidrosensibles. Se evaluó la eficiencia de aplicación debajo del botalón. A 25 m del mismo, sobre el suelo, se valoró la deriva de sedimentación (DS) y sobre torres a 5 m, 25 m y 50 m de distancia, la exoderiva (ED). Los imp cm^{-2} recolectados debajo del botalón fueron mayores en CC diferenciándose significativamente de CI, y a su vez esta primera pastilla fue la que generó un menor $DV_{0,5}$, cercano a 200 μm , diferenciándose de las demás. A su vez, las eficiencias rondaron entre 50% y 60%. Respecto a la DS, todas las pastillas lograron una cantidad suficiente de imp cm^{-2} para generar eficacia biológica con un tamaño de gota independiente de la pastilla, entre 60 y 80 μm de $DV_{0,5}$. La ED fue mayor en cantidad de imp cm^{-2} para 0,35 m en las tres distancias, diferenciándose de 0,70 m en 5 m con un $DV_{0,5}$ de 86 μm . Todas las pastillas generaron imp cm^{-2} superiores a los recomendados para herbicidas de pre siembra y preemergencia. La distancia límite de trabajo para disminuir los daños por exoderiva es dependiente de las pastillas, variables operativas y ambientales.

Palabras claves: pastillas con aire inducido, deriva, tasa de recuperación

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

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

CASAFE (2014) informa que en los últimos 15 años el consumo de fitosanitarios en la República Argentina pasó de 924,7 millones de dólares a 2381,2 millones en el año 2012, siendo los menores registros del período los del año 2002 con 600,1 millones de dólares. Las estadísticas muestran para los últimos 22 años un incremento del 858% en la aplicación de agroquímicos y un 50% de incremento de la superficie agrícola. Dentro de los fitosanitarios, los mayores porcentajes corresponden a los herbicidas, con un 41%, seguido por los insecticidas con un 27% y los funguicidas con un 19% del total facturado. Según Eleisegui (2014), y a partir de estudios llevados a cabo por el Centro de Estudios Legales del Medio Ambiente (CELMA), la venta de agroquímicos en el año 2013 aumentó un 3% con respecto a 2012, mientras que el glifosato, dentro de los herbicidas, representa un 65% del total del rubro, pese a la disminución de su eficiencia de control ante el avance notorio de malezas tolerantes y resistentes.

La pulverización es la forma más difundida de aplicación de fitoterápicos, pero su uso es complejo, no sólo desde el punto de vista agronómico, sino también por sus implicancias en la preservación del medio ambiente, los riesgos de contaminación y la salud humana (Onorato & Tesouro, 2004). Esto requiere trabajar con un enfoque sistémico, integrador, que contemple el análisis y la interacción de múltiples variables.

Se entiende por calidad de aplicación a la cantidad de principio activo depositado sobre el blanco con una determinada cobertura, uniformidad y persistencia del producto en una forma absorbible sobre la superficie foliar. En la mayoría de los casos, la cantidad de principio activo requerido por unidad de superficie para conseguir el control es muy pequeña (Castillo, 2010). Por lo tanto, es necesario establecer una dilución del producto, siendo el medio más común el agua. De allí, la importancia de los métodos para la subdivisión de líquidos en gotas, denominados pulverizaciones. Entre los mismos, la pulverización hidráulica es la forma más utilizada en cultivos (Márquez Delgado, 2007). Las gotas se producen en estos sistemas por el paso del líquido a cierta presión a través de un orificio calibrado en las pastillas y su interacción con el aire circundante. Asimismo, el transporte de las gotas generadas hasta el objeto de aplicación se realiza por la propia energía cinética del líquido. La cantidad y el tamaño de gotas obtenidas en este proceso son conocidos como espectro de distribución. Este está compuesto por una gran cantidad de gotas de líquido de diferentes tamaños y velocidades, según las condiciones de operación. No obstante ello, siempre es deseable que la división del líquido se realice produciendo gotas de tamaño uniforme (Magdalena et al., 2000). Dicho espectro de distribución resulta ideal cuando permite controlar la plaga con la mínima cantidad de producto, preservando la seguridad de las personas y el ambiente (Smith et al., 2000).

Por otra parte, existe una tendencia hacia la disminución del volumen de aplicación, en la medida que las condiciones lo permitan. Una aplicación de bajo volumen permitirá una menor utilización de agua, lo cual implica un menor número de reabastecimientos, un aumento de la capacidad de trabajo y la disminución de los costos de aplicación (Teixeira, 2010). Resulta claro que la disminución del volumen de aplicación obliga a una reducción del tamaño de gotas. 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 y, por su elevada superficie expuesta en relación al volumen, a sufrir una intensa evaporación antes de depositarse. 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. La práctica indica que, trabajando con agua como dispersante, gotas menores de 150 μm están muy expuestas a la evaporación y a la deriva ocasionada por el viento, y aquellas mayores de 350 μm no proveen una adecuada cobertura y pueden caer al suelo arrastrando con ellas al agroquímico, sumado a que pueden coalescer con otras gotas agravando el proceso. Bajo estas condiciones, puede 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). Como concepto general, es posible afirmar que, si las condiciones atmosféricas son desfavorables (presencia de viento), cuanto menor es el tamaño de las gotas mayor será el porcentaje de gotas que serán arrastradas fuera del blanco al que fueron proyectadas (Matthews, 1985). A igualdad de volumen, es menor el número de impactos que se puede lograr con gotas grandes (Etiennot, 1993). Leiva (1995), considera que un adecuado balance se obtiene utilizando gotas entre 200-250 μm de diámetro.

En cuanto a la eficiencia en la deposición de las gotas, además de su tamaño, es importante el estado y las características de la superficie de contacto de la hoja. 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 asegurar la persistencia del asperjado, se utilizan aditivos genéricamente llamados surfactantes, (también conocidos como tensioactivos) y aceites. Los primeros hacen que la gota adopte una forma achatada incrementando la adherencia por una mayor superficie de contacto, mientras que los últimos reducen la evaporación e incrementan la absorción de los plaguicidas. Estos aditivos deben utilizarse bajo recomendación específica de producto, dosis y condición ambiental (Marer, 1988). Asimismo, el estado de humedad de la superficie también puede afectar la adherencia, por ejemplo, temprano a la mañana el rocío puede provocar el lavado de las deposiciones así como también los efectos de un estrés hídrico prolongado incrementan el espesor de las capas cerosas. En tratamientos pos emergentes, el polvo depositado sobre las hojas puede afectar los resultados del control por inactivación de parte del principio activo por un fenómeno de adsorción. Con herbicidas aplicados al suelo, cuando éste está muy seco, los fenómenos de adsorción se manifiestan parcialmente irreversibles, aun cuando por efecto de una lluvia ocurrida con posterioridad existiera agua disponible para disolver el producto (Larragueta, 1985). 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. Pulverizando con gotas de pequeño tamaño se puede conseguir mayor cobertura para la misma cantidad de caldo aplicado, aunque también aumenta el porcentaje de gotas que se evaporan sin alcanzar el objetivo (Márquez Delgado, 2005).

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 blanco. Para un barbecho sobre rastrojo de sorgo, la maleza está cubierta por el mismo y el tamaño de la gota debería rondar los 200 μm . Si el rastrojo es de soja, la dificultad para impactar la maleza es menor y trabajando a 300 kPa de presión y con gota de 250 μm 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. Larragueta (1985) sostiene 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 sistémicos, que sólo requieren alcanzar una parte de la superficie a tratar.

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. En este sentido, existen distintas alternativas de pastillas, las más utilizadas son las de abanico plano (incluyendo dentro de las mismas a las de impacto) y las de cono hueco. Las pastillas de abanico plano se utilizan principalmente para la aplicación de herbicidas donde es importante la uniformidad del tratamiento. Las mismas constan de un solo cuerpo que asperja el líquido en un plano único y de ángulo variable, mayoritariamente entre 80° y 110°, generando gotas de tamaños que varían entre los 100 y 500 μm . Las pastillas de cono hueco, en cambio, son recomendadas para tratamientos con insecticidas y fungicidas donde lo importante es lograr una gran cantidad de impactos y su penetración, en mayor medida que la uniformidad. Producen un chorro cónico con ángulo en el vértice de 65° a 80° cuyo interior se encuentra prácticamente libre de gotas. Forma gotas de entre 100 y 250 μm (Larragueta, 1985; Teejet, 2008). Dentro de estos tipos de pastillas, se han introducido en los últimos años pastillas con inducción de aire, que modifican tanto las características de formación de gotas, como así también su constitución, deposición, aptitud y comportamiento frente a las condiciones ambientales. Estas, funcionan por succión de aire a través de un orificio o ranura calibrada. Las gotas antes de ser pulverizadas se cargan con burbujas de aire, aumentando su tamaño y de ese modo al tomar contacto con el blanco, estallan, produciendo un número mayor de gotas (Cid & Masiá, 2011). Normalmente el tamaño de las gotas está en el orden de 800 μm .

Rodríguez (2011) informa que en los últimos años, ante la aparición de nuevas plagas y enfermedades más agresivas, y con condiciones ambientales no del todo favorables, se comenzó a observar que los tratamientos con productos fitosanitarios perdían eficiencia. Para mejorar esta situación el autor propone la evaluación y el aumento de la eficiencia de los productos para además disminuir el impacto ambiental. Para lograr estos objetivos se toman decisiones agronómicas de manejo que permiten variar el tamaño y cantidad de impactos consiguiendo 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 aspersión tengan al menos dos cruces entre sí. 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 276 kPa, arrojaron 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 . Cabe aclarar que el DVM o $DV_{0,5}$ es el diámetro de la gota que divide por la mitad al volumen de líquido contenido en el espectro de distribución, en tanto que el $DV_{0,9}$ indica que el 90% del volumen de pulverización está compuesto por gotas más pequeñas que este valor y el $DV_{0,1}$ indica que el 10% del volumen de pulverización está contenido en gotas más pequeñas que este valor. En cuanto a la uniformidad de la población de gotas, la amplitud relativa (relación entre el $DV_{0,9}$ y el $DV_{0,1}$ con respecto al $DV_{0,5}$) alcanzó valores de 1,01 para la combinación D513 y 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.

La eficiencia de deposición y aplicación son determinadas a partir de variables como número de impactos, porcentaje de cobertura y eficiencia de recolección. Para su evaluación se utilizan diferentes metodologías. Entre las mismas se destaca por su frecuencia de uso, comodidad, disponibilidad y costo, las tarjetas hidrosensibles (Miguens, 1981). Salyani & Hoffman (1996), afirman que las tarjetas captan una cantidad de producto significativamente mayor que las hojas. No obstante esto, resulta en la

actualidad el método más utilizado para evaluar los depósitos producto de la aplicación de diferentes pastillas en diversas condiciones de aplicación.

Las recomendaciones y conocimientos que existen a nivel productivo son de carácter muy general, adecuadas a las necesidades de los productores agropecuarios y operarios agrícolas. La cuantificación a nivel de campo de las tarjetas se hace principalmente a partir de un único parámetro que es el número de impactos cm^{-2} . La misma suele efectuarse a través de lupas o simplemente en forma comparativa, por medio de tarjetas patrones y se basa en el número mínimo de impactos requeridos para lograr el control por parte del fitoterápico. En este sentido, Weber (1982), establece un mínimo de 20 a 30 impactos cm^{-2} , como norma general, para herbicidas sistémicos con un DVM ($DV_{0,5}$) de 400-600 μm ; mientras que para herbicidas de contacto el número asciende a 30-40 impactos cm^{-2} con un DVM ($DV_{0,5}$) de 200-400 μm . Frola (2013) considera que se pueden realizar aplicaciones eficientes con bajos volúmenes de aplicación y tamaños de gotas uniformes, entre 200 y 400 μm , de acuerdo al objetivo a controlar, sin grandes riesgos de afectar al cultivo adyacente. Así se aumenta el número de impactos que llegan 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 μm , tanto en aplicaciones aéreas como terrestres, cuando las condiciones del viento lo requieran.

Asimismo, la FAO, citada por Leiva (2015), destaca que los herbicidas requieren de una aplicación uniforme, no superando una variabilidad del 30% entre diferentes lugares de un lote. Indica además, que la cobertura del agroquímico varía según el tipo de producto.

Queda claro que durante muchos años, el énfasis en las aplicaciones de productos agroquímicos se basó únicamente en la eficiencia de control, sin importar sus consecuencias en relación al ambiente. Pese a ello, se cuenta con diferentes herramientas que permiten estimar la eficiencia de las aplicaciones en función de la captación por parte del objeto de aplicación del líquido y productos asperjados en relación al volumen de aplicación distribuido en la hectárea. Entre ellas, el programa CIR 1.5[®] (Software para Análisis de Espectro de Pulverización), realiza una modelización y predicción de la cantidad de producto depositado, cuya fiabilidad no ha sido hasta el momento documentada. Al respecto, Casal (com. pers., 2011) indica que la metodología presenta algunos inconvenientes en la evaluación de la eficiencia de recolección, principalmente con las pastillas de inducción de aire. El mismo, establece como hipótesis que la inconsistencia de los resultados es debida al aumento de superficie de la gota, con aire inducido, que produce una impronta mayor al volumen real de líquido que la misma contiene. En el mismo sentido, Domper et al., (2015) comparando la eficiencia de aplicación de pastillas de cono hueco 80015 convencionales y de aire inducido, encontraron que la metodología de procesamiento de imágenes sobreestima la eficiencia de aplicación para pastillas con inducción de aire. Por otro lado, las mediciones de cobertura sobre blancos artificiales no necesariamente se correlacionan con los blancos naturales (hojas, frutos). Esto indica que no se puede esperar que un blanco artificial por su forma, tamaño y orientación simule el comportamiento de uno natural. A estas razones se le suma el efecto causado por el movimiento natural del blanco con la aproximación de las gotas (Cowell et al., 1988). En condiciones normales de tratamiento, la velocidad y turbulencia del flujo de aire que proyecta el equipo provoca cierta agitación de las hojas. Este movimiento típico no puede ser simulado con otros materiales. Es así como los datos obtenidos con papeles y/o láminas no se ajustan a los valores reales (Trefan, 1985).

Por otra parte, a nivel experimental se utilizan trazantes fluorimétricos que permiten por medio de análisis químicos de laboratorio la determinación de la cantidad de producto efectivamente depositado sobre el objeto de aplicación (Cowell et al., 1988). Los mismos resultan de utilidad cuando no es posible, por los volúmenes de aplicación, el uso de tarjetas hidrosensibles. Brindan mayor exactitud, pero no son aplicables a nivel productivo. Al respecto, Martens (2012) cita porcentajes de eficiencia entre 25% y 60%, correspondiendo los menores valores a las aplicaciones sobre explotaciones arbóreas y los mayores a aquellas efectuadas en condiciones de barbecho y suelo desnudo. Existen evidencias suficientes

(Graham-Bryce, 1977; Pergher, 2001; Gil et al., 2007) que indican que en aplicaciones pos emergentes, solo el 50-70% del volumen total asperjado llega a las plantas. Esto muestra que entre el 30% y 50% de la dosis calculada no es depositada sobre el objetivo a controlar. Aquella parte del producto que no llega al objetivo, es liberada al ambiente produciendo pérdidas económicas, contaminación ambiental y peligros para la salud. A modo de ejemplo, una aplicación con niveles aceptables de eficiencia, cercanos al 60%, 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.

La parte de la aspersión que no alcanza el blanco objeto del tratamiento (Leiva, 1996) se denomina deriva. Algunos autores (Etiennot, A; 1990) la dividen en exo y endoderiva. La primera corresponde a aquella parte del pulverizado que cae fuera del área a tratar; la segunda, a aquella parte que cae dentro del área pero no sobre el blanco. ASAE (1993) la define como el desplazamiento de un fitoterápico fuera del blanco determinado, transportado por masas de aire o por difusión. La Coalición Nacional para la Minimización de la Deriva de Estados Unidos, considera a la deriva como el movimiento de un agroquímico a través del aire al mismo tiempo de la aplicación o inmediatamente después fuera del objetivo de aplicación, no considerando como deriva a los movimientos por erosión, migración y/o volatilización después de la aplicación (Environmental Protection Agency, 1999; Villalba & Hetz, 2010). Estas pérdidas a veces se producen aún días después de realizada la aplicación, conociéndose como deriva por vapor y está comúnmente asociada con la volatilización (cambio del estado líquido a gas) de los pesticidas con el subsecuente desplazamiento fuera del área tratada. Esta situación preocupa significativamente solo si el pesticida es altamente volátil y las condiciones atmosféricas son favorables para una volatilización rápida del mismo (Ozkan, 2016; Matthews, 1993). La Agencia de Protección Ambiental (EPA) toma a la deriva como posible situación de riesgo dado que puede afectar a la salud humana y al ambiente; al provocar la exposición de personas y animales, contaminar alimentos para consumo directo como hortalizas y frutas, dejando residuos de plaguicidas que pueden ser relevantes en posteriores procesos de agro industrialización. Todos los años se registran en países como Estados Unidos miles de denuncias por problemas relacionados a la deriva. (Environmental Protection Agency, 1999).

Cid et al., (2014), indican que sin lugar a dudas, uno de los aspectos más conflictivos de nuestra producción agrícola está centrado en las aplicaciones de agroquímicos en las zonas que circundan a los pueblos y a las escuelas rurales. Atribuye dicha conflictividad y consecuente preocupación a la falta de una Ley Nacional de Agroquímicos actualizada que contemple y analice todas las circunstancias que esta actividad genera. 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 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 relación a la interacción de los distintos factores que favorecen los procesos de deriva, se menciona que la combinación de gotas pequeñas, viento, baja humedad relativa y temperatura ambiente elevada, puede provocar graves pérdidas de producto, que en realidad terminan por ocasionar un perjuicio ambiental no deseado en algún sitio. Los mayores recaudos y recomendaciones en cuanto a condiciones meteorológicas se centran en la velocidad del viento.

Nordby & Skuterud (1974) concluyen que la velocidad de viento límite para aplicar agroquímicos es de 10,8 km h⁻¹. Etiennot (1990), menciona la existencia de reglamentaciones que prohíben la aplicación de plaguicidas con vientos superiores a los 15 km h⁻¹, condición que debe respetarse fielmente cuando se

encuentran en el sentido del viento, cultivos sensibles a herbicidas. Del mismo modo, Costa et al., (1979), también indican como límite una velocidad de viento de 15 km h^{-1} 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. 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 18 km h^{-1} a $21,6 \text{ km h}^{-1}$ de velocidad del viento. Si el viento supera los 25 km h^{-1} se debe evitar la aplicación. En condiciones normales, con velocidades de viento entre $5,4 \text{ km h}^{-1}$ y 18 km h^{-1} la pulverización de finura media, con los tamaños de gota anteriormente señalados, es la que proporciona los mejores resultados.

Muchas veces se pulveriza en condiciones de alto riesgo de exoderiva pero el producto utilizado no permite visualizar fácilmente su efecto (insecticidas, fungicidas), mientras que en la aplicación de los herbicidas los perjuicios son más fácilmente detectables ante la presencia en lotes cercanos de especies susceptibles.

Leiva (1995) indica como factores que inciden sobre la deriva a aquellos que se corresponden con las características de la aspersión, con el equipo, con las técnicas de aplicación, con las condiciones atmosféricas y accesorios específicos. Arvidsson et al., (2011), coinciden en parte con este agrupamiento pero incorporan también a la habilidad y atención del operador y a las características del ambiente, además de las condiciones meteorológicas. En cuanto a las técnicas de aplicación, la altura de aspersión del equipo cumple un rol importante dado que gotas pequeñas tienen baja energía inercial, haciéndolas altamente susceptibles a la deriva. Por otro lado, está comprobado que la vida media de la gota se encuentra influenciada por la distancia a recorrer desde su formación hasta el objetivo. Cuando las distancias son mayores se incrementa notablemente la probabilidad que las gotas pequeñas se evaporen antes de alcanzar el blanco. Desde este punto de vista, mientras más cerca del blanco se encuentre la boquilla menor será el efecto de deriva por viento (Jayanthi et al., 1998; Murphy et al., 2000; Matthews, 1993).

Respecto a las características de la aspersión, a menor tamaño de gotas, la velocidad de caída es menor y mayor es la evaporación por mayor superficie expuesta en relación al volumen transportado, reduciéndose progresivamente el tamaño de la gota durante su caída. Con una humedad relativa ambiente del 50% y temperatura de 30°C , una gota de $200 \mu\text{m}$ de diámetro demora 42 s en reducirse a la mitad, mientras que una de $100 \mu\text{m}$ de diámetro tarda sólo 14 s en evaporarse completamente (Walla, 1980). Una manera de contrarrestar sus efectos es incrementando el tamaño de la gota. 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). No obstante (Frola, 2013) establece que se debe trabajar con temperatura inferior a 30° , humedad relativa superior a 40%, y vientos con velocidades menores a 18 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.

En cuanto a la presión ejercida sobre las boquillas hidráulicas, proporciona la energía que rompe la vena líquida en gotas, y por lo tanto es un factor clave en la regulación de tamaño de las mismas. La relación entre presión de trabajo y tamaño de gota es inversa, es decir que cuando aumenta la presión de trabajo aumenta el volumen que ocupan las gotas pequeñas; a modo de ejemplo, un aumento de presión de pulverización en boquillas de abanico plano de 138 kPa a 236 kPa produce un aumento de más del doble del volumen en gotas de $100 \mu\text{m}$ y menores aún. El razonamiento en el sentido inverso

también es válido: reducciones en la presión aumentará el tamaño de la gota y por lo tanto reducirá la deriva. Sin embargo, este mecanismo tiene un límite de aplicabilidad: el funcionamiento de boquillas por debajo de la presión recomendada afectará los patrones de distribución del volumen asperjado, pudiendo causar deficiencias en la cobertura por superposición inapropiada de la pulverización (Mc Mullan, 1995). Piggott & Matthews (1999) evaluaron el comportamiento de boquillas de inducción de aire a distintas presiones. Determinaron que la proporción de gotas extremadamente grandes en estas boquillas se puede reducir, en cierta medida, aumentando la presión de trabajo, pero advierten que pueden existir inconvenientes relacionados a las altas presiones con equipos estándar.

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).

Nuyttens et al., (2007), analizaron el efecto del tipo de boquilla, el caudal erogado por la misma, la presión de pulverización y la altura de la barra de pulverización sobre la deriva, según la norma ISO 22866 (2005), concluyendo que las pastillas inducidas con aire mediante el uso de un aspirador Venturi presentaban el mayor potencial de reducción de deriva, seguidas por las boquillas de baja deriva y las boquillas de abanico plano estándar.

Por último, diferentes estudios determinaron que con el agregado de polímeros en las mezclas se logra reducir en parte la deriva producida por diferentes causas (Yates et al, 1978). Los antiderivantes incrementan el DVM de las gotas a fin de ser menos arrastradas por el viento (Hock & Lorenz, 2004). Richardson, (1994) realizó ensayos en túnel de viento con retardantes de deriva logrando una reducción del 63% al 94% en función de los productos analizados.

Atendiendo al conjunto de las problemáticas planteadas, las empresas proveedoras de insumos para la aplicación de productos agroquímicos desarrollan año tras año nuevos diseños de pastillas tratando de brindar alternativas tecnológicas que se adecuen a las diferentes situaciones que se presentan a nivel productivo. Existen por lo tanto permanentemente nuevas condiciones que deben evaluarse, ya que a las variables enunciadas se suman diferentes interacciones con las pastillas de pulverización, las condiciones atmosféricas presentes al momento de operación y las particularidades de los diferentes equipos de aplicación, en conjunto con las variables operativas, que los operarios agrícolas deciden ante cada situación.

Por ello, se plantea la realización de ensayos que permitan valorar adecuadamente la calidad y eficiencia de aplicación de las técnicas de mayor difusión en el control de malezas en nuestro país a nivel de cultivos extensivos.

HIPÓTESIS

Hipótesis básica

- La eficiencia de aplicación es función de la interacción entre la tecnología de aplicación, las condiciones climáticas y las variables operativas al momento de efectuar la labor.

Hipótesis específicas

- Las pastillas con inducción de aire presentan menos exoderiva que las pastillas convencionales.
- La pastilla cono hueco convencional produce una mayor cobertura y mayor cantidad de impactos que la pastilla de cono inducido.
- Las variables operativas afectan directamente la eficiencia de aplicación independientemente del diseño de las pastillas.

- Las pastillas de inducción disminuyen la deriva de sedimentación independientemente de su diseño.

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 contemplen 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 diferentes técnicas de aplicación de agroquímicos de amplia difusión en el medio productivo.
- Valorar los riesgos de deriva de distintas tecnologías de aplicación, asociadas a diferentes pastillas de pulverización en condiciones reales de producción.
- Caracterizar la prestación de pastillas con inducción de aire para el control de malezas en condiciones de campo

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Julio Hirschhorn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP. Para su realización se utilizó un tractor John Deere 6300 de 100 CV y una pulverizadora montada marca Hatsuta compuesta por un tanque de 400 l de capacidad y un botalón de 8,4 m de longitud con 24 portapicos múltiples distanciados a 0,35 m.

Se establecieron 3 tratamientos en correspondencia con las alternativas de utilización de pastillas (Tabla 1; Figura1), las cuales se montaron en los portapicos múltiples. Estas erogaron un caudal de 0,59 l min⁻¹ a la presión de referencia (300 kPa).

Tabla 1. Tratamientos del ensayo con sus respectivas siglas de referencia.

Tratamiento	Tipo de pastilla	Presión (kPa)	Sigla
Hypro 110015	Abanico plano inducido por aire	300	AI
AITXA Conejet 80015	Cono hueco inducido por aire	300	CI
TXA Conejet 80015	Cono hueco convencional	300	CC

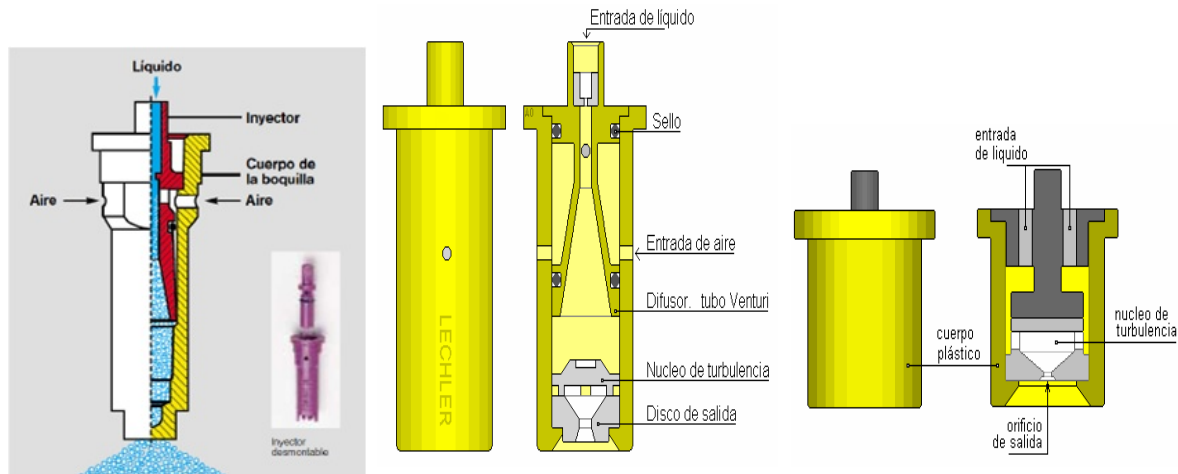


Figura 1. Vista lateral y en corte de las pastillas bajo estudio. De izquierda a derecha: boquilla abanico plano inducida por aire (AI); boquilla como hueco inducida por aire (CI); boquilla como hueco convencional (CC).

En forma previa a cada aplicación se corroboró el estado de las pastillas y se procedió al cambio de aquellas que difirieron en más del 10% del caudal erogado por una nueva a la presión de trabajo normalizada (300 kPa). Las mediciones se efectuaron por medio de jarras graduadas de 1 l de capacidad y se corroboró el caudal por medio de un medidor instantáneo de caudal marca SpotOn Sprayer Calibrator®, modelo SC-1 con capacidad de medición de 0 a 3,8 l min⁻¹ (Figura 2).



Figura 2. Medición del caudal de pastilla con jarras manuales graduadas

La presión de trabajo del sistema se evaluó en cada pastilla de pulverización por medio de un manómetro de precisión.

El caudal de las pastillas se ajustó para erogar el volumen de aplicación deseado por medio de la variación de la presión de trabajo, en el rango establecido por el fabricante.

Como subtratamientos se establecieron 2 distanciamientos entre pastillas, 0,35 m (B) y 0,70 m (A), anulando pico por medio. Con el menor distanciamiento entre boquillas la máquina pulverizadora se desplazó a 18 km h⁻¹, mientras que con el mayor distanciamiento la velocidad de avance fue de 9 km h⁻¹, aplicando en ambas situaciones un volumen de 57,14 l ha⁻¹ (Tabla 2).

Tabla 2. Subtratamientos del ensayo y sus respectivas siglas de referencia.

Distanciamientos entre pastillas (m)	Velocidad de avance (km h ⁻¹)	Volumen de aplicación (l ha ⁻¹)	Sigla
0,70	9	57,14	A
0,35	18	57,14	B

En cuanto a las condiciones operativas, se trabajó a una presión de 300 kPa y la altura de pulverización fue de 0,75 m respecto al suelo.

El ensayo estuvo dividido en 2 etapas. En la primera se procedió a evaluar la eficiencia de aplicación sobre suelo desnudo (estación de muestreo 1) y en la segunda se determinaron las derivas de sedimentación y exoderiva producidas durante la pulverización (estaciones de muestreo 2 y 3 respectivamente).

Eficiencia de aplicación sobre suelo desnudo (estación de muestreo 1)

Los ensayos de determinación de eficiencia de aplicación sobre suelo desnudo se efectuaron por medio de tarjetas hidrosensibles Syngenta® de 3" x 1" colocadas en forma horizontal sobre soportes de alambre a una altura de 0,10 m sobre el nivel del suelo (Figura 3).



Figura 3. Soporte porta tarjeta y tarjeta hidrosensible en la estación de muestreo 1

Las tarjetas estuvieron dispuestas en 4 bloques, con dos repeticiones cada uno, como se ilustra en la Figura 4. Posteriormente se procedió al avance de la máquina pulverizadora, utilizando para la aplicación el botalón paralelo a la dirección del viento con el objetivo de atenuar los efectos de deriva.

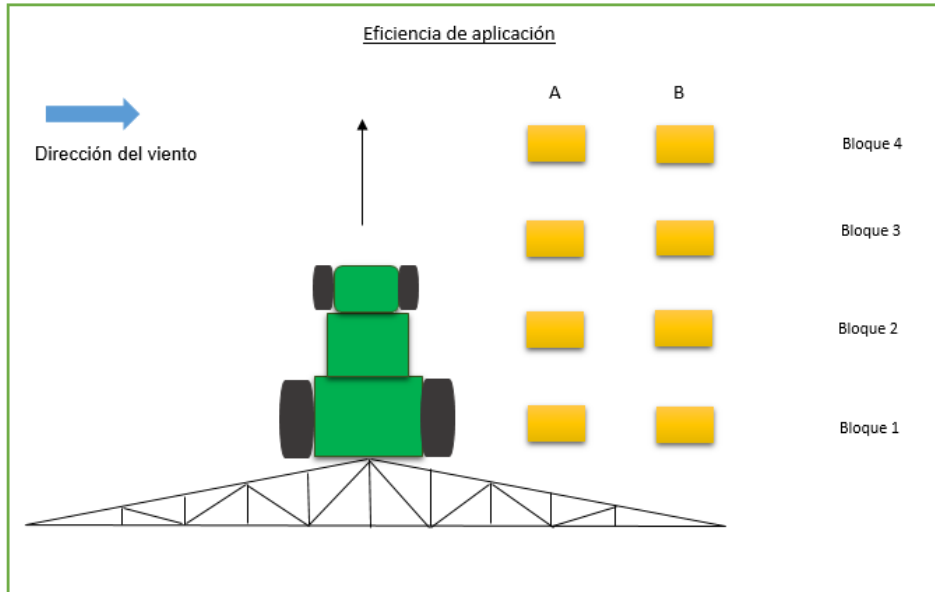


Figura 4. Diagrama de ubicación de las tarjetas en la estación de muestreo 1.

Derivas en la pulverización (estaciones de muestreo 2 y 3)

Para la medición de las derivas durante la pulverización, se establecieron dos estaciones de muestreo, la estación de muestreo 2 donde se determinó la deriva de sedimentación y la estación de muestreo 3 para la determinación de la exoderiva.

Para el caso de la deriva de sedimentación la toma de muestras se realizó en forma similar a la utilizada en la estación de muestreo 1, ubicando las tarjetas hidrosensibles de manera horizontal sobre varillas de alambre a una altura de 0,10 m sobre el nivel del suelo, dispuestas individualmente en 4 bloques y distanciadas a 25 metros del extremo del botalón (Figura 5).

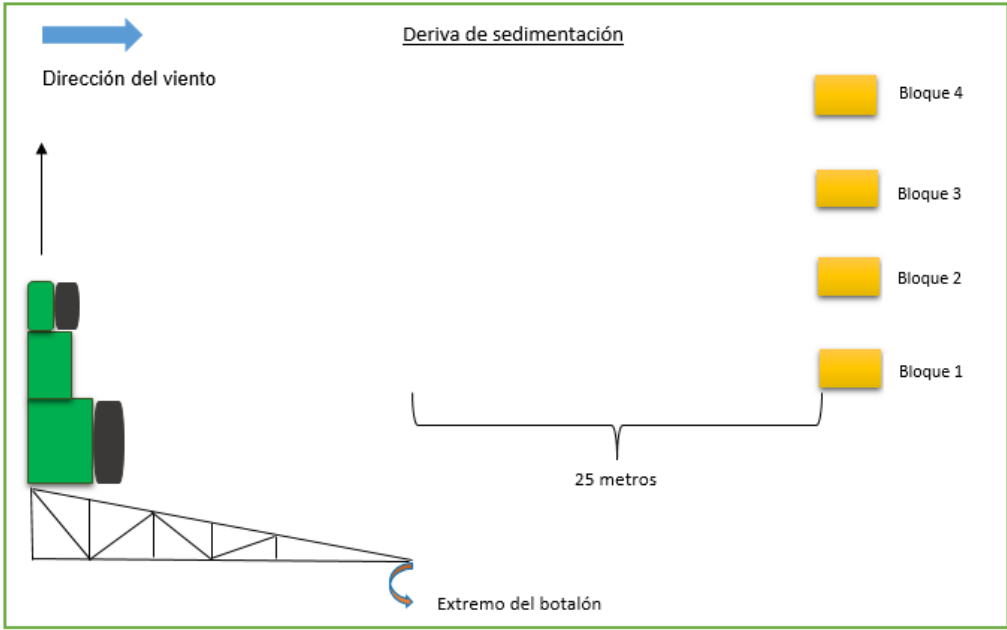


Figura 5. Diagrama de ubicación de las tarjetas en la estación de muestreo 2.

Para la medición de la exoderiva, se colocaron tarjetas hidrosensibles de manera vertical a 1, 2 y 3 m de altura sobre torres de soporte. Las columnas se colocaron en un punto fijo del lote y se procedió a pasar con la pulverizadora a 5, 25 y 50 m de distancia con respecto al extremo del botalón. Se establecieron 2 repeticiones por cada distanciamiento (Figura 6).

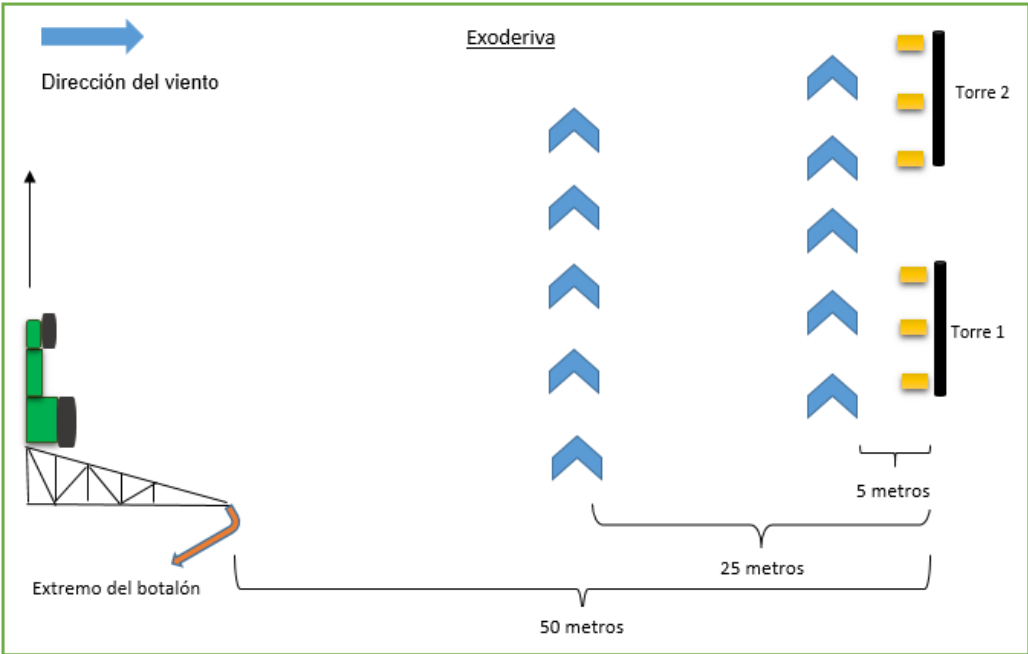


Figura 6. Diagrama de ubicación de las tarjetas en la estación de muestreo 3.

En cada instancia de medición se tomaron datos de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, proporcionados por una estación meteorológica portátil Kestrel 3500 DT[®].

Para la evaluación de las tarjetas hidrosensibles, las mismas fueron escaneadas a una resolución de 1200 dpi y posteriormente procesadas con el programa CIR 1.5[®].

Durante el proceso de análisis de las tarjetas, mediante el programa CIR 1.5, se realizó la evaluación de los impactos y la determinación de las variables respuesta sobre el promedio de cinco ventanas de medición (Figura 7).

Las variables respuesta bajo estudio fueron:

- 1) *Cantidad de impactos (impactos cm⁻²)*: cantidad total de impactos en todos los sectores. 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 cm² adecuada.
- 2) *Diámetro volumétrico mediano (DV_{0.5} o DVM)*: es el diámetro de una gota, tal que el 50 % del líquido está contenido en gotas de diámetro menor y el 50 % restante en gotas de diámetro mayor que el indicado.
- 3) *Amplitud Relativa (AR)*: es la relación existente entre la diferencia del DV_{0.9} y DV_{0.1} con DV_{0.5}.
- 4) *Eficiencia*: relación entre el volumen efectivamente recogido (calculado) en el objetivo y el aplicado (dosis de caldo) en porcentaje (%).
- 5) *Cobertura (%)*: porcentaje del área de la tarjeta de papel sensible cubierta por manchas.

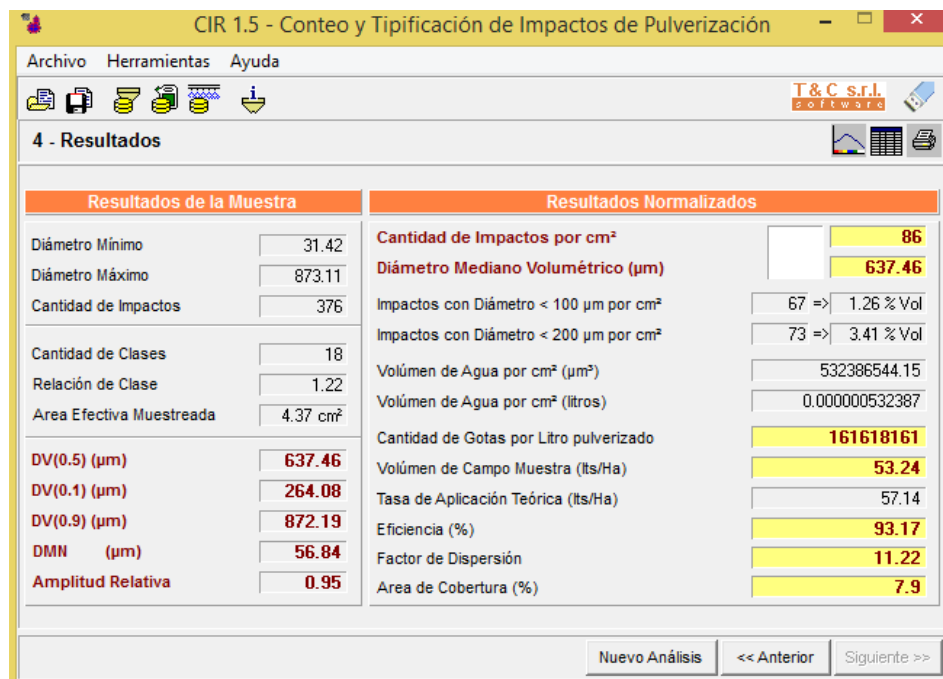


Figura 7. Resultados del análisis de las imágenes a través del programa CIR 1.5[®]

Los resultados se procesaron estadísticamente mediante un ANOVA y las medias fueron comparadas por el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Se utilizaron planillas Excel para el ordenamiento de los datos y para el análisis estadístico el programa STATGRAPHICS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones atmosféricas al momento de realizar el ensayo se visualizan en la Figura 8. Las mismas muestran variaciones en los diferentes momentos de realización de los tratamientos, pudiendo haber afectado los resultados de la aplicación.

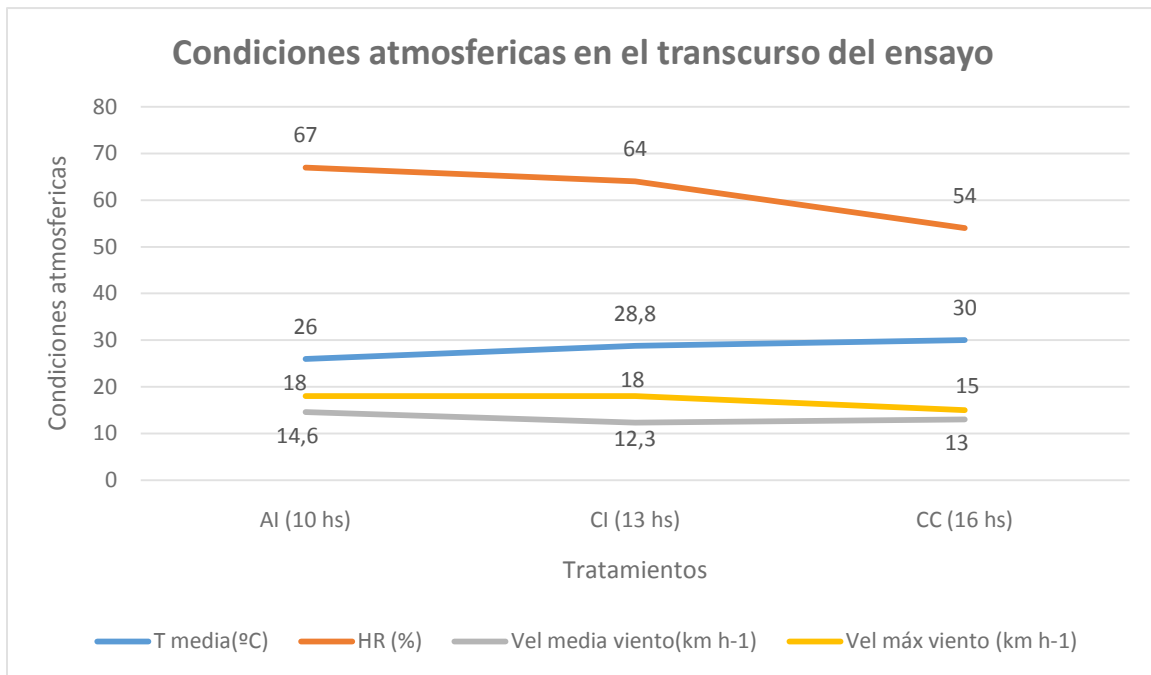


Figura 8. Condiciones atmosféricas en el transcurso del ensayo. T media (°C): Temperatura media; HR (%): Humedad relativa; Vel media viento (km h-1): velocidad media del viento; Vel máx viento (km h-1): velocidad máxima del viento

El ensayo se comenzó a realizar a las 10:00 am, con una temperatura media de 26 °C, la humedad relativa fue de 67 % y la velocidad media del viento fue de 14,6 km h⁻¹ presentándose ráfagas de 18 km h⁻¹. Hacia el mediodía comenzó a aumentar la temperatura y a observarse una disminución de la humedad. Se registraron valores de 28,8 °C, HR de 64% y una velocidad media del viento de 12,3 km h⁻¹ con ráfagas de 18 km h⁻¹ al momento del tratamiento CI. Hacia la tarde, continuó incrementándose la temperatura y descendiendo la humedad relativa, verificándose también una disminución de la velocidad máxima del viento. Durante el tratamiento CC se registraron valores de temperatura media de 30 °C, HR de 54% y velocidad media del viento de 13 km h⁻¹, determinándose una velocidad máxima del mismo de 15 km h⁻¹. Tanto los valores de temperatura como los de humedad relativa y velocidad del viento registrados, están en discusión ya que hay discrepancia entre los autores a la hora de establecer los límites para una correcta aplicación de agroquímicos.

La elevada temperatura ambiente y la baja humedad relativa registradas podrían haber generado pérdidas por termoderiva, mientras que el efecto de la velocidad del viento habría

incidido en un aumento tanto de la exoderiva como de la deriva de sedimentación. Los registros de velocidad media del viento fueron inferiores a los 15 km h^{-1} mencionados por Etiennot (1990) y por Costa et al. (1979), como limitante para la pulverización a campo.

Sin embargo, las ráfagas durante los tratamientos superaron dicho valor resultando en un incremento de las gotas arrastradas fuera del blanco. Por otro lado la velocidad media del viento registrada durante todo el ensayo, fue superior a la recomendada por Nordby & Skuterud (1974) como medida de seguridad para que no se apliquen pesticidas cuando hay vientos mayores a los $10,8 \text{ km h}^{-1}$. Teniendo en cuenta las recomendaciones establecidas por Márquez Delgado (2008), la velocidad del viento podría considerarse normal entre $5,4$ y 18 km h^{-1} aconsejando para este caso una pulverización de finura media. En cuanto a la humedad relativa, las condiciones fueron aceptables en acuerdo con Leiva (2015) y Frola (2013) quienes recomiendan no hacer aplicaciones de agroquímicos con humedad relativa inferior al 40%. Frola (2013) también menciona como condiciones meteorológicas inadecuadas, temperaturas superiores a los $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, que solamente se observaron durante el tratamiento CC pudiendo provocar la evaporación de las gotas más pequeñas y como consecuencia, una menor eficiencia de la aplicación y una mayor contaminación ambiental. Sin embargo, si tomamos las recomendaciones de Walla (1980) y Etiennot (1990) quienes establecen como límite de seguridad temperaturas menores a 25°C y humedad relativa mayor al 60%, las condiciones durante el ensayo no fueron las adecuadas siendo la temperatura media registrada superior a $26 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y durante el tratamiento CC se registraron valores de HR inferiores a la citados por los mismos.

Eficiencia de aplicación

Cantidad de impactos

El análisis de los datos no presentó interacción entre tratamientos y subtratamientos. Los mayores valores correspondieron al tratamiento CC, el cual se diferenció significativamente del tratamiento CI pero no así de AI que tuvo un comportamiento intermedio (Figura 9). Independientemente del distanciamiento entre picos, el tratamiento CC produjo 27,48 % y 75,34% más de impactos que el AI y el CI respectivamente.

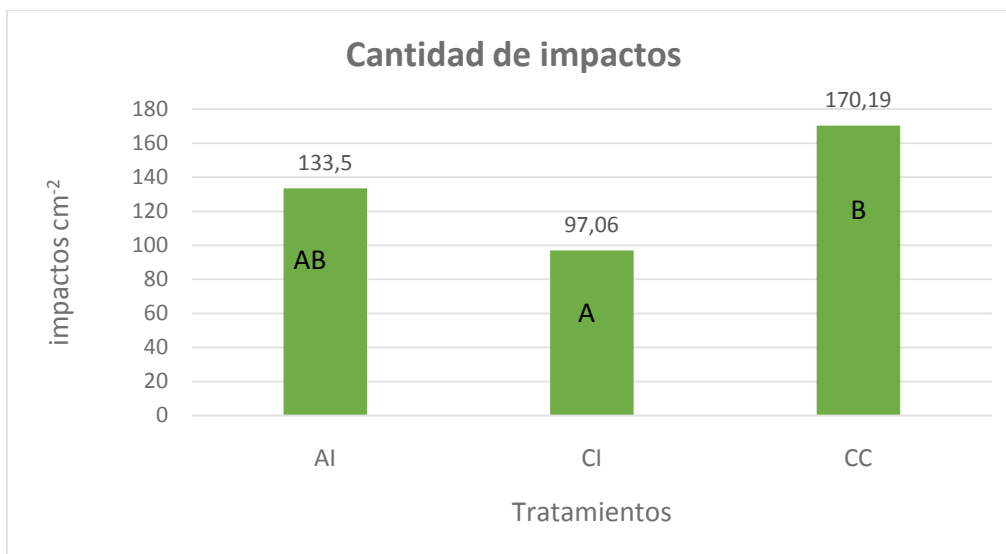


Figura 9. Cantidad de impactos para los diferentes tratamientos. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

El número de impactos en todos los tratamientos fue muy superior a los recomendados por Márquez Delgado (2008) quien afirma que para herbicidas de preemergencia se requiere un mínimo de 20 a 30 gotas cm^{-2} , mientras que para herbicidas de post-emergencia (contacto) el número de impactos asciende a 30 - 40 gotas cm^{-2} . Teniendo en cuenta que el ensayo se realizó sobre suelo desnudo simulando la aplicación de herbicidas en pre siembra o pre emergencia, el tratamiento CC produjo 5,66 veces la cantidad de impactos recomendada por el autor, mientras que en los tratamientos AI y CI los valores fueron 4,45 y 3,23 veces respectivamente. Asimismo, estos resultados coinciden con Etiennot (1993) quien sostiene que a igualdad de volumen, es menor el número de impactos que se puede lograr con gotas grandes. Dadas las características de diseño de las pastillas inducidas por aire de los tratamientos AI y CI, el diámetro de las gotas generadas es mucho mayor que el de una pastilla de CC, afirmando lo mencionado anteriormente.

En la figura 10 se muestran los resultados de la variable imp cm^{-2} para cada tratamiento y subtratamiento. La pastilla de CC presentó la mayor cantidad de impactos a 0,7 m diferenciándose estadísticamente de CI a 0,35 m, ratificando lo citado por Etiennot (1993). Si bien no existieron diferencias significativas entre subtratamientos, el distanciamiento de 0,7 m tuvo mayor cantidad de impactos en los tratamientos CI y AI, sin embargo, en CC se dio lo contrario, siendo 0,35 m el de mayor número de gotas.

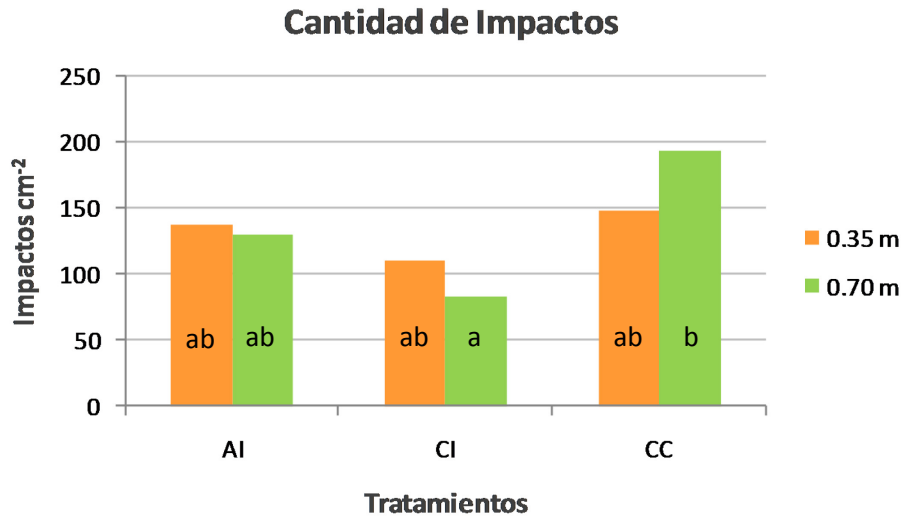


Figura 10. Cantidad de impactos para los distintos tratamientos y subtratamientos. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional; 0,7 m: 0,70 m de distancia entre picos; 0,35 m: 0,35m de distancia entre picos. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre alternativas de combinación de boquillas y distanciamiento entre picos ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

A partir de los resultados obtenidos, es posible afirmar que la pastilla de cono hueco convencional, independientemente del distanciamiento entre picos, produce una mayor cantidad de impactos que la pastilla de cono inducido. Asimismo, si bien no se diferencia estadísticamente, la boquilla señalada también produce mayor número de gotas que el tratamiento AI.

Diámetro volumétrico mediano ($DV_{0.5}$)

Las características de la población de gotas para los distintos tratamientos y subtratamientos se visualizan en la figura 11. El análisis estadístico no encontró interacción entre las variables independientes, existiendo diferencias significativas entre tratamientos pero no así entre subtratamientos. Los mayores $DV_{0.5}$ se visualizaron con la pastilla de CI, significativamente diferente a AI y CC, mientras que el tratamiento de CC tuvo los menores valores, AI presentó un comportamiento intermedio.

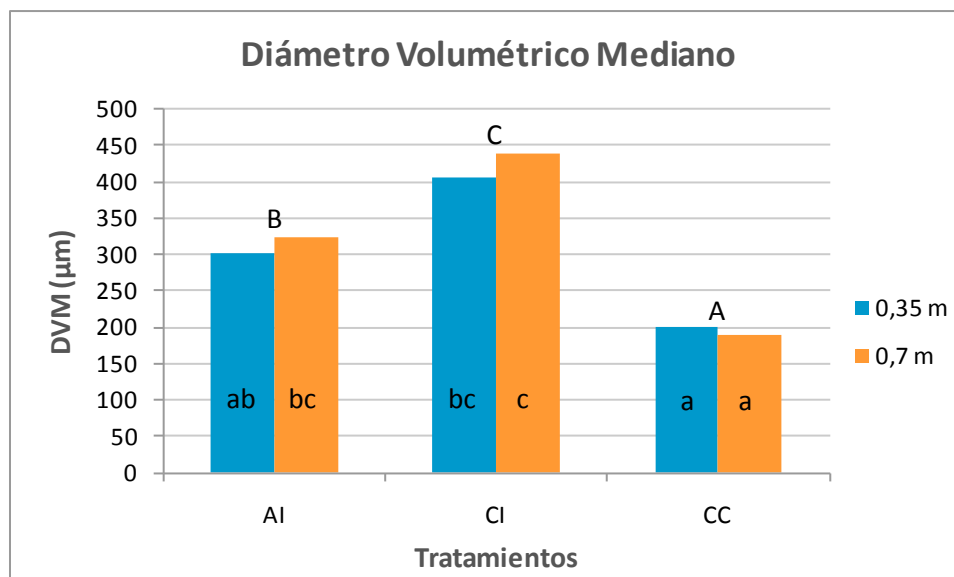


Figura 11. Diámetro volumétrico mediano para los distintos tratamientos. DVM: diámetro volumétrico mediano ($DV_{0,5}$); AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional; 0,70 m de distancia entre picos; 0,35 m: 0,35 m de distancia entre picos. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre alternativas de combinación de boquillas y distanciamiento entre picos ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

Independientemente de los distanciamientos entre pastillas, el tratamiento CC presentó valores de $DV_{0,5}$ cercanos a los 200 μm . Estos resultados coinciden con lo citado por Larragueta (1985) y Teejet (2008) quienes afirman que las pastillas de cono hueco convencional forman gotas de entre 100 y 250 μm . En tanto que, las pastillas con inducción de aire presentaron valores comprendidos entre 300 y 450 μm , muy por debajo del $DV_{0,5}$ de 800 μm mencionado por Cid & Masiá (2011) para las boquillas inducidas por aire. Debido a que la presión de trabajo durante todo el ensayo fue la misma (3 bares), no se pueden adjudicar las diferencias significativas entre AI y CI a esta variable operativa, mencionada por Piggott & Matthews (1999) como responsable de una reducción en el diámetro de las gotas más grandes ante un incremento de la misma, para boquillas con aire inducido. Sin embargo, los resultados obtenidos se pueden asociar a las condiciones atmosféricas al momento del ensayo. La menor humedad relativa y la mayor temperatura durante el tratamiento CI, respecto a AI, pudieron provocar una termoderiva de las gotas más finas, llegando al objetivo únicamente gotas de mayor tamaño y como consecuencia un aumento en el diámetro volumétrico mediano de la población. No obstante esto y en coincidencia con Frola (2013) quien sostiene que una aplicación eficiente se logra con tamaños de gotas entre 200 y 400 μm , el tratamiento AI es el único que presenta una población de gotas con un diámetro volumétrico mediano comprendidas dentro del rango, sin grandes riesgos de afectar al cultivo adyacente. Sin embargo, en aplicaciones de herbicidas, el mismo autor propone trabajar con tamaños de gota de 200 μm si la pulverización es sobre rastrojo de sorgo y con gotas de 250 μm si el rastrojo es de soja, ya que en este último considera que la dificultad para impactar la maleza es menor. En este sentido, los tratamientos con aire inducido no cumplirían con las recomendaciones mencionadas. Asimismo, ninguno de los tratamientos presentó un $DV_{0,5}$ dentro del rango recomendado por Leiva (1995) de 200 a 250 μm para un

adecuado balance, sin embargo, el DVM de la población de gotas del tratamiento CC se aproxima al límite inferior de dicha recomendación, quedando el 50 % del volumen de aplicación expuesto a la exoderiva. En tanto que, los tratamientos AI y CI presentaron un DVM que supera ampliamente el límite propuesto por dicho autor, quedando más del 50% del volumen de la aplicación propenso a endoderivarse.

En la figura 12 se visualizan los $DV_{0,1}$ y $DV_{0,9}$ de los diferentes tratamientos. Como es de esperar los menores valores, significativos, los presentó el tratamiento CC, mientras que CI tuvo los mayores valores, significativamente diferente a AI en el $DV_{0,9}$ pero sin diferencias significativas en el $DV_{0,1}$. Si bien es sabido que las gotas pequeñas mejoran la retención por parte de las hojas, así como también la cobertura y poseen la posibilidad de alcanzar la cara inferior de las mismas, Ghirardi (2012) y Leiva (1995) sostienen que las gotas menores a $150 \mu\text{m}$ se encuentran más propensas a ser transportadas por el viento y a evaporarse antes de llegar al objetivo. En este sentido, el tratamiento CC posee más del 10% del volumen de aplicación contenido en gotas menores a ese diámetro, mientras que los tratamientos con aire inducido presentan una población con gotas mucho más grandes, con bajo riesgo de pérdida por exoderiva. Sin embargo, y coincidiendo con el mismo autor, las gotas mayores a $350 \mu\text{m}$ no proveen una adecuada cobertura y pueden caer al suelo arrastrando con ellas al agroquímico. Se puede afirmar que en el tratamiento CC el 90 % de las gotas son inferiores a $291 \mu\text{m}$, es decir que es poco susceptible a la endoderiva. En consecuencia, podría decirse que CC es menos susceptible a la endoderiva que los dos tratamientos restantes.

Por lo dicho anteriormente, y coincidiendo con Larragueta (1985) y Márquez Delgado (2005), el tratamiento de cono hueco convencional presenta una gran parte de su población con gotas de pequeño tamaño, permitiendo una mayor penetración en el canopeo y como consecuencia una mayor cobertura para la misma cantidad de caldo aplicado, sin embargo, también es mayor el riesgo de que las gotas se evaporen o se deriven por el viento sin alcanzar el objetivo. Los tratamientos AI y CI presentaron tamaños de gotas mayores que si bien permiten disminuir los riesgos mencionados anteriormente, son propensas a rebotar y caer al suelo, de acuerdo a lo mencionado por Etiennot (1990). A pesar de ello, las gotas nunca superaron el tamaño de $800 \mu\text{m}$ mencionado por Cid & Masiá (2011).

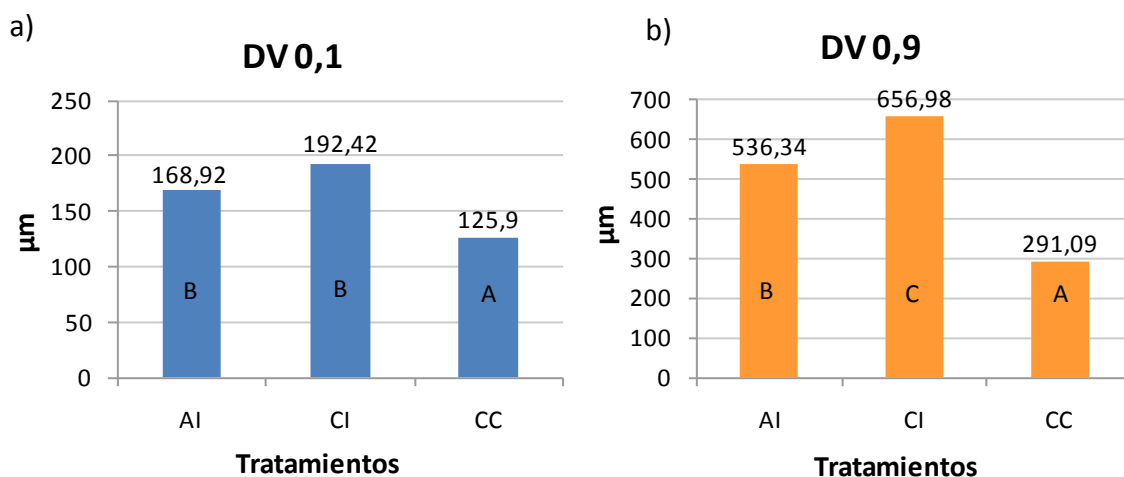


Figura 12. Características de la población de gotas para los distintos tratamientos. a) $DV_{0,1}$: diámetro volumétrico 0,1. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos según el test de Tukey. b) $DV_{0,9}$: diámetro volumétrico 0,9; AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos según el test de Tukey.

Amplitud Relativa

El análisis de los datos no presentó interacción entre tratamientos y subtratamientos. Sin embargo, se encontró interacción entre pastillas, siendo el tratamiento CC el de menor amplitud relativa, significativamente diferente a CI y AI que presentaron comportamientos similares (Figura 13). Respecto a los subtratamientos, no se encontraron diferencias significativas entre distanciamientos de pastillas, adjudicando las diferencias encontradas a los efectos de los tratamientos únicamente.

De acuerdo a los resultados y conforme a lo citado por Magdalena et al., (2000), quienes consideran que siempre es deseable que la división del líquido se realice produciendo gotas de tamaño uniforme, el tratamiento de cono hueco convencional fue el que presentó los menores valores de amplitud relativa, corroborando una mayor uniformidad en la población de gotas. Estos resultados pueden asociarse con lo visto anteriormente, donde los valores de $DV_{0,1}$ y $DV_{0,9}$ de la pastilla cono hueco convencional resultaban relativamente próximos entre sí, indicando una población de gotas homogénea. Diferente es lo que se puede observar para los tratamientos AI y CI, donde los $DV_{0,1}$ se apartan mucho de los $DV_{0,9}$ siendo los valores de amplitud relativa mayores a 1 y como consecuencia una población de gotas más heterogénea.

Por otro lado, si bien no hubo diferencias significativas entre distanciamientos de boquillas, hubo un comportamiento diferente en los distintos tratamientos. En las pastillas de cono hueco, tanto convencional como inducida por aire, el distanciamiento de 0,7 m y velocidad de 9 km h^{-1} presentó mayores valores de amplitud relativa que el de 0,35 m a 18 km h^{-1} , sin embargo no ocurrió lo mismo con el abanico inducido. La menor amplitud relativa del distanciamiento de 0,7 m a 9 km h^{-1} en el tratamiento AI con respecto a la otra combinación para esa misma pastilla pudo deberse a que las ráfagas registradas durante la aplicación superaron las recomendaciones que establecen algunos autores para una aplicación segura. Este factor favorece la deriva de las gotas pequeñas, quedando una población con menor valor de amplitud relativa, más homogénea y con gotas de mayor diámetro.

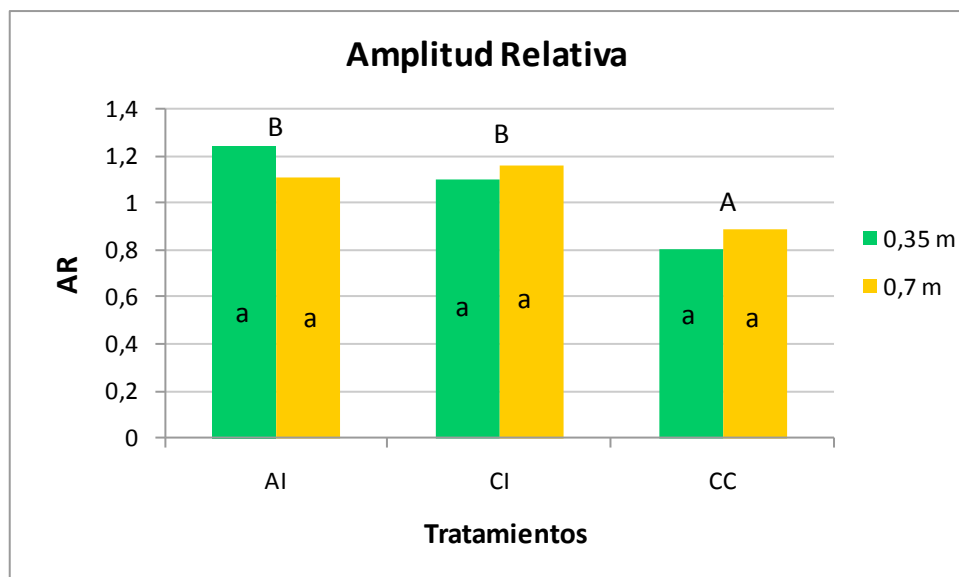


Figura 13. Amplitud relativa para los diferentes tratamientos y subtratamientos. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional; 0,70 m: 0,70 m de distancia entre picos; 0,35 m: 0,35m de distancia entre picos. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre distanciamientos en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

Asimismo, los valores encontrados en la pastilla de cono hueco convencional fueron inferiores a los citados por Casal (2012) de 1,01 y 0,89 para pastillas D513 y D523 respectivamente. Esto permite asegurar que el tratamiento CC puede ser una opción junto a las pastillas de disco y núcleo al momento de seleccionar la mejor alternativa para producir una correcta aplicación, tanto en condiciones de barbecho como en preemergencia, ya que éste arrojó valores promedio de amplitud relativa de 0,85. Debe tenerse en cuenta, como se mencionó anteriormente, que a medida que los valores de amplitud relativa se incrementan es mayor la desuniformidad de la población.

Cobertura

En la figura 15 se pueden visualizar los porcentajes de cobertura para los diferentes tratamientos y subtratamientos. Al igual que se observó con la variable anterior, no se encontró interacción entre pastillas y distancia entre picos. Sin embargo, los porcentajes de cobertura fueron significativamente mayores para los tratamientos CC y AI, siendo estos de 10,68% y 8,79% respectivamente, mientras que CI con un porcentaje de 5,71% tuvo la menor cobertura. Dicho de otra manera, las coberturas generadas por las pastillas CC y AI fueron 87% y 54% superiores a la producida por CI (Figura 8).

Estos resultados presentan correlación con los obtenidos en las variables cantidad de impactos y $DV_{0,5}$, ya que el tratamiento CC fue el que obtuvo la mayor cantidad de impactos cm^{-2} y el menor $DV_{0,5}$, es decir que a igual volumen de aplicación, se disminuye el diámetro de las gotas y se incrementa el número de impactos cm^{-2} , generando consecuentemente una mayor cobertura. Estos resultados coinciden con Márquez Delgado (2005) quien asegura que pulverizando con gotas de pequeño tamaño se puede conseguir mayor cobertura para la misma cantidad de caldo aplicado. En tanto que, el tratamiento AI si bien tuvo menor $DV_{0,5}$ la mayor

cantidad de impactos terminó generando una mayor cobertura que la pastilla de cono hueco inducido.

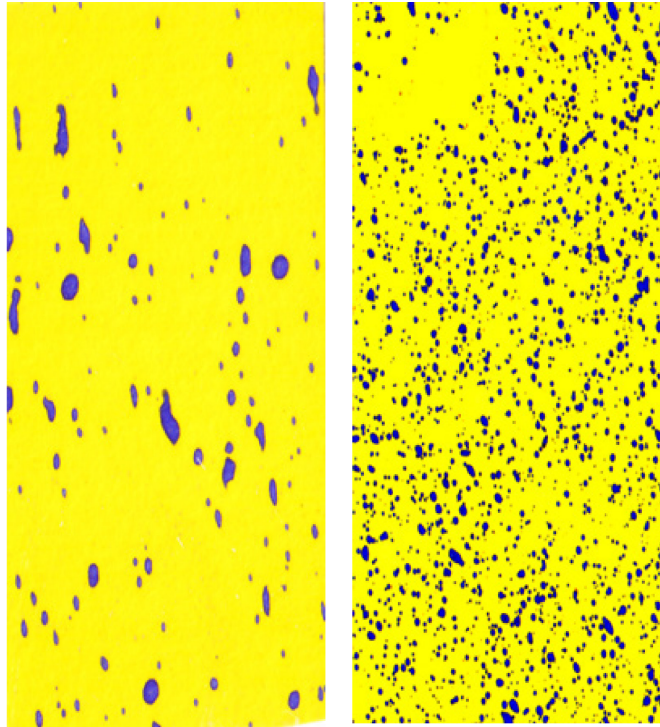


Figura 14. Tarjetas hidrosensibles, Izquierda: cobertura para el tratamiento CI. Derecha: cobertura generada por el tratamiento CC.

Analizando los subtratamientos, no se encontraron diferencias significativas entre los mismos, siendo el porcentaje de cobertura para el menor distanciamiento de 8,91%, mientras que para el distanciamiento de 0,70 m la cobertura fue de 7,87%. Estas pequeñas diferencias pueden deberse a las oscilaciones de altura ocurridas en el botalón debido a las velocidades con que se produjeron cada uno de los subtratamientos.

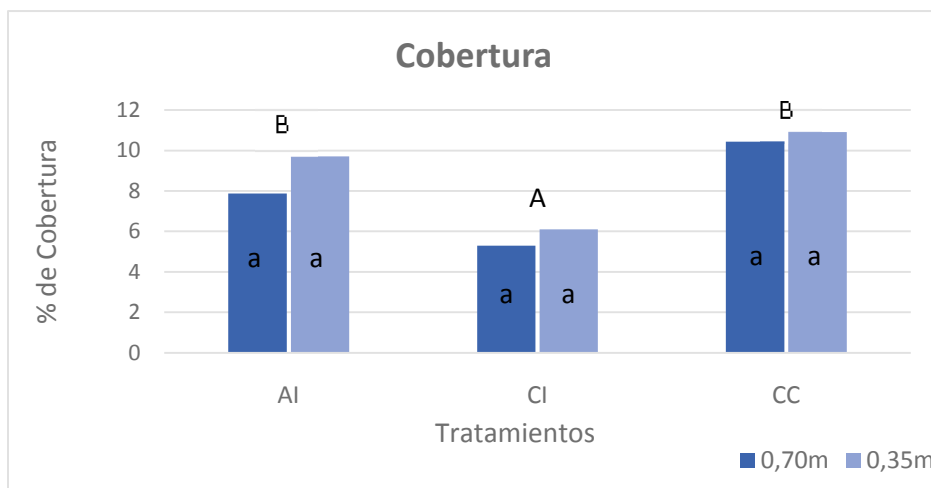


Figura 15. Porcentaje de Cobertura para los diferentes tratamientos y subtratamientos. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional; 0,70 m: 0,70 m entre picos; 0,35 m: 0,35m entre picos. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre distanciamientos en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

De acuerdo a los resultados encontrados, es posible validar la hipótesis planteada en relación a que la pastilla de cono hueco convencional produce una mayor cobertura y mayor cantidad de impactos que la pastilla de cono inducido. Independientemente del distanciamiento entre boquillas, la pastilla de cono hueco convencional produjo un 87% y un 75% más de cobertura y cantidad de impactos que el cono hueco con aire inducido. Asimismo, si bien no existieron diferencias significativas, el tratamiento CC también generó una mayor densidad de impactos y cobertura que el abanico con aire inducido.

Eficiencia

En el análisis de los volúmenes recogidos no se encontró interacción entre tratamientos y subtratamientos, siendo los porcentajes de eficiencia para las distintas pastillas y distanciamientos similares, sin diferencias significativas entre sí. Sin embargo, existieron pequeñas variaciones entre las pastillas, ya que el tratamiento AI presentó los mayores valores, con un porcentaje de caldo recolectado de 62,95%, seguido por CC con 56,67% de eficiencia y por último CI con 49,72%.

Estos porcentajes de eficiencia se alejan de los indicados por Courshee (1960) quien asegura que es posible lograr que hasta un 80% del total del pesticida utilizado llegue al suelo. Sin embargo, a excepción del tratamiento CI, los resultados coinciden con lo expresado por Martens (2012) quien cita valores de eficiencia del orden del 60% para aplicaciones efectuadas en condiciones de barbecho y suelo desnudo. Asimismo, los resultados coinciden con lo indicado por Graham-Bryce (1977), Pergher (2001) y Gil et al., (2007) quienes mencionan que en aplicaciones postemergentes, solo el 50-70% del volumen total asperjado llega a las plantas y que por lo tanto entre el 30 y 50% de la dosis calculada no es depositada sobre el objetivo a controlar. No obstante esto y considerando que el ensayo fue llevado a cabo bajo condiciones de suelo desnudo, sería esperable encontrar en aplicaciones post emergentes valores de

volumen recogido aún menores que los citados por estos autores ya que el canopeo actuaría como un impedimento en la trayectoria de las gotas que se dirigen hacia el blanco.

Teniendo en cuenta que la tasa de aplicación fue de 57,14 l ha⁻¹, y en función de la eficiencia obtenida por cada pastilla, la tabla 3 representa los volúmenes de campo recogidos por cada tratamiento.

Tabla 3. Volúmenes de campo recogidos por los diferentes tratamientos. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional.

Tratamientos	Tasa de aplicación teórica(l ha ⁻¹)	Volúmenes de campo recogidos (l ha ⁻¹)
AI	57,14	35,97
CI		28,41
CC		32,38

En los subtratamientos se encontraron valores de eficiencia de 52,42 % para 0,70 m entre picos a 9 km h⁻¹ de velocidad de avance y de 60,48 % para 0,35 m a 18 km h⁻¹. Si bien estadísticamente no presentaron diferencias significativas, hubo una diferencia de aproximadamente 5 litros entre ambos distanciamientos, a favor de la combinación de menor distanciamiento a mayor velocidad.

Pese a que el subtratamiento B (distanciamiento entre pastillas de 0,35 m y velocidad de avance de 18 km h⁻¹) produjo valores de eficiencia mayores al subtratamiento A (distanciamiento de 0,7 m entre boquillas y velocidad de desplazamiento de 9 km h⁻¹), las diferencias no fueron significativas por lo que no estamos en condiciones de asegurar que las variables operativas afectan directamente la eficiencia de aplicación independientemente del diseño de las pastillas, rechazando de esta manera la tercera hipótesis.

Por último es importante comentar que si bien el programa CIR 1.5 realiza una modelización y predicción de la cantidad de producto depositado, Casal (com. pers., 2011) y Domper et al., (2015) indican que la metodología presenta algunos inconvenientes en la evaluación de la eficiencia de recolección, produciendo una sobredimensión, principalmente con las pastillas de inducción de aire. Del mismo modo, Salyani & Hoffman (1996), afirman que las tarjetas hidrosensibles captan una cantidad de producto significativamente mayor que las hojas por lo que se puede suponer que la eficiencia de recolección medida en el ensayo se encuentra sobrestimada y por lo tanto la cantidad de volumen que llega al objetivo es menor. Es así que afectando los valores de eficiencia obtenidos por los coeficientes de Domper et al., (2015) (1,67 para boquillas convencionales y 3,38 para las pastillas inducidas por aire) se obtienen porcentajes de eficiencia real para los tratamientos CC, CI y AI de 33,93%, 14,71% y 18,62% respectivamente, es decir que la pastilla de cono hueco convencional sería la más eficiente de los tratamientos analizados y los valores coincidirían con lo citado por Courshee (1960) quien, sostiene que los valores de caldo que llegan al blanco rondan aproximadamente el 20%. De este modo, debe tenerse en consideración que durante el ensayo existió una pérdida aproximada de entre 65 y 85 % del caldo y que si bien el mismo contiene agua, las aplicaciones periódicas convencionales se realizan con altas dosis de herbicidas generando una elevada probabilidad de causar daños por termo, endo y exoderiva. En conclusión, aquella parte del producto que no llega al objetivo es liberada al ambiente, produciendo riesgos de contaminación ambiental y peligros para la salud.

Deriva de sedimentación

Cantidad de impactos

En el análisis estadístico de esta variable se registró interacción significativa entre tratamientos y subtratamientos por lo que se procedió a la partición por pastillas para su estudio (Figura 16). Todos los tratamientos presentaron diferencias significativas entre subtratamientos sin embargo, el comportamiento no fue igual para las tres boquillas. En las pastillas de cono hueco convencional y abanico inducido, el subtratamiento 0,7 m a 9 km h⁻¹ presentó valores significativamente mayores a 0,35 m con 18 km h⁻¹, mientras que en el cono hueco inducido los resultados fueron inversos. Esto último podría explicarse fundamentalmente por dos aspectos, por un lado la mayor velocidad de avance para mantener el volumen de aplicación cuando se trabaja con el menor distanciamiento entre picos y por el otro, los mayores valores de DVM que presentó la pastilla CI. La mayor velocidad de avance pudo haber desplazado parte de la población de gotas fuera del objetivo de aplicación y siendo las gotas generadas por CI de un diámetro considerable, las mismas no permanecen mucho tiempo suspendidas en el aire y por su propio peso caen al suelo. En tanto que, las pastillas AI y CC presentaron una población de gotas con un DVM menor, pudiendo moverse parte de la misma a otros sectores del lote sin caer al suelo, generando así riesgos de exoderiva, o evaporarse durante su traslado.

En cuanto a los resultados observados para las pastillas AI y CC, el menor distanciamiento entre picos permitiría trabajar con el botalón a menor altura manteniendo un correcto solapamiento de los perfiles de distribución, disminuyendo aún más los riesgos de deriva.

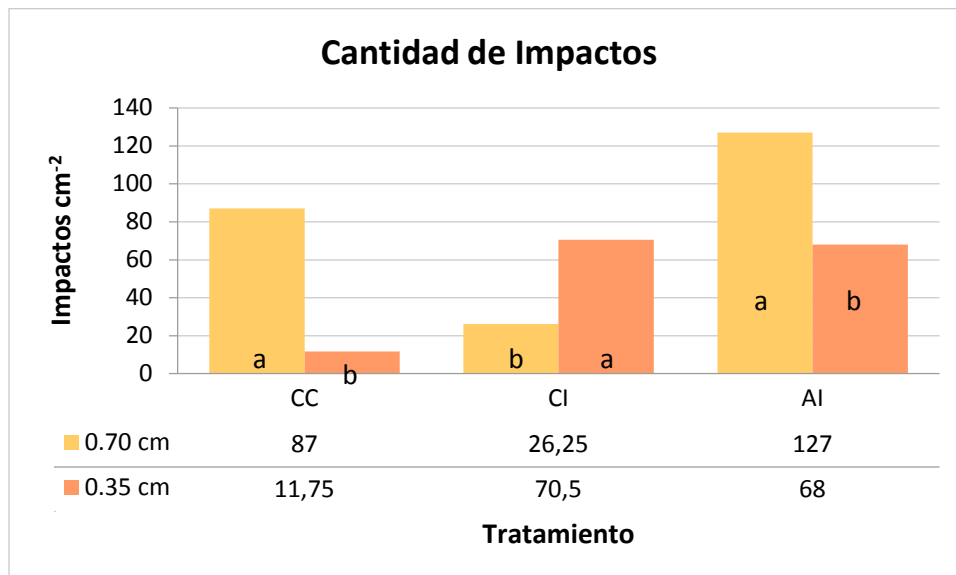


Figura 16. Cantidad de impactos para la partición de los subtratamientos en función de los tratamientos. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional; 0,70 m: 0,70 m entre picos; 0,35 m: 0,35m entre picos. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre distanciamientos en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

Tomando las recomendaciones de número de impactos para tratamientos con herbicidas citadas por Márquez Delgado (2008), el tratamiento AI en los dos distanciamientos y las pastillas de cono hueco distanciadas a 0,7 m superaron ampliamente los valores de 30 – 40 gotas cm^{-2} mencionadas por el autor. Estos resultados, junto con los valores de cantidad de impactos encontrados en la estación de muestreo 1, nos permitirían inferir que con la utilización de dichas alternativas se podría reducir el volumen de aplicación sin dejar de ser eficientes en el control de malezas.

En un análisis general de las distintas alternativas de pastillas, el tratamiento AI alcanzó la mayor densidad de gotas con un valor promedio de 97,5 impactos cm^{-2} , discrepando con lo citado por Nuyttens et al., (2007) quienes concluyen que las pastillas inducidas con aire presentan el mayor potencial de reducción de deriva. En tanto que, las pastillas de cono hueco presentaron los menores valores, siendo 48,38 para CI y 49,38 impactos cm^{-2} para CC.

En función de los resultados encontrados, no estamos en condiciones de validar la cuarta hipótesis que sostiene que las pastillas de inducción disminuyen la deriva de sedimentación independientemente de su diseño. No obstante, podría suponerse que el tratamiento CC arrojó una baja cantidad de impactos debido a que una gran proporción de gotas podrían haber sido termoderivadas antes de llegar al blanco, teniendo en cuenta que al momento de realizar el ensayo la temperatura registrada fue de 30 °C y la HR de 54 %, condiciones mencionadas por Walla (1980) como predisponentes para la evaporación de las gotas menores a 200 μm .

Diámetro volumétrico mediano ($DV_{0.5}$)

En la figura 17 se visualizan los diámetros volumétricos medianos de las gotas encontradas a 25 m de distancia del extremo del botalón para los diferentes tratamientos y subtratamientos. Al igual que se observó con la variable anterior, se encontró interacción significativa entre tratamientos y subtratamientos, por lo que se procedió a particionar por pastilla para su estudio.

En el análisis de cada boquilla, no se visualizaron diferencias significativas entre distanciamientos. Sin embargo, el tratamiento CI fue el único que presentó valores similares para los dos distanciamientos, mientras que en CC y AI la ausencia de diferencias significativas se puede deber a la alta variabilidad de los resultados encontrados.

En un análisis general de los tratamientos, la boquilla CC registró valores promedio de 70,68 μm , CI de 66,4 μm , mientras que en AI se visualizaron valores de 62,27 μm . Como se observa el tamaño de las gotas derivadas fue similar para todas las pastillas, clasificándolas de acuerdo a los valores de referencia de Leiva (1995) y Frola (2013) como gotas altamente derivables. El problema es aún más grave con el tratamiento CC, ya que las gotas generadas por dicha boquilla están llenas de líquido, por lo que tienen mayor riesgo de contaminación y daño a los organismos que no son objetivo de la pulverización.

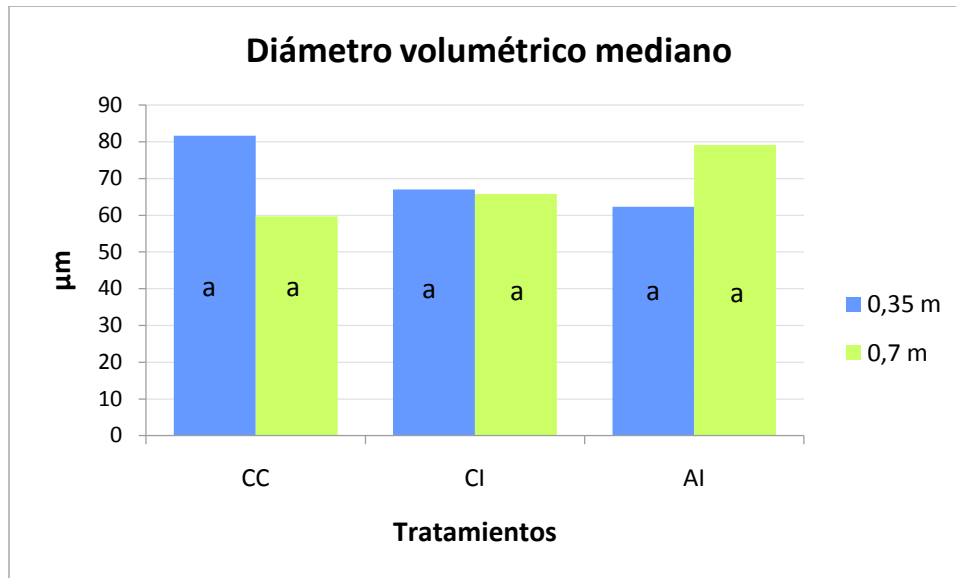


Figura 17. Características del tamaño de la población de gotas para los distintos tratamientos. DV_{0,5}: diámetro volumétrico 0,5; AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional. Letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre distanciamientos en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

Analizando las características de la población de gotas, se encontró interacción significativa entre tratamientos y subtratamientos para la variable DV_{0,9}, por lo que se procedió a particionar el análisis estadístico en función de los resultados encontrados. La pastilla AI tuvo un comportamiento diferente a CI y CC, encontrando a 0,7 m valores de DV_{0,9} significativamente mayores respecto al menor distanciamiento.

En la figura 18 se puede verificar que el 90 % del volumen de aplicación en todas las alternativas, a excepción del abanico inducido a 0,7 m, estuvo contenido en gotas inferiores a los 100 µm y 150 µm, de acuerdo a lo expresado por Leiva (1995) y Frola (2013) respectivamente, quienes sostienen que las condiciones de deriva se incrementan para tamaños de gotas menores a esos diámetros. Si bien la pastilla de abanico plano inducido distanciada a 0,7 m presentó valores de DV_{0,9} por encima de los diámetros citados anteriormente, una gran proporción de su población de gotas son altamente derivables.

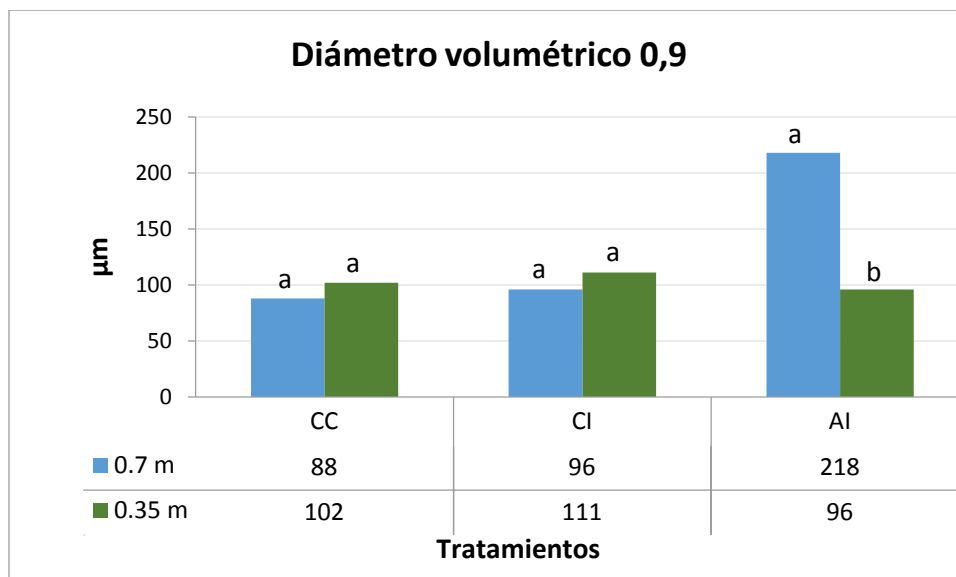


Figura 18. Características de la población de gotas para los distintos tratamientos. $DV_{0,9}$: diámetro volumétrico 0,9; AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre distanciamientos en cada tratamiento ($p < 0,05$) según el test de Tukey.

Amplitud Relativa

En el análisis de la variable amplitud relativa, se encontró interacción significativa entre tratamientos y subtratamientos por lo que se procedió a particionar el análisis por pastilla (Figura 19). El tratamiento AI fue el único que presentó diferencias significativas entre subtratamientos, siendo el valor de amplitud relativa para el distanciamiento de 0,7 m de 2,09 y de 0,86 para 0,35 m entre picos. En tanto que, las pastillas de cono hueco no presentaron diferencias significativas entre distanciamientos, siendo el tratamiento CC el de los menores valores para los dos distanciamientos.

Los valores de amplitud relativa encontrados, a excepción de la pastilla AI a 0,7 m de distanciamiento entre picos, fueron semejantes entre sí, variando entre 0,68 y 0,96. Estos resultados fueron esperables ya que las gotas derivadas son las de menor diámetro, resultando en una población de gotas derivadas homogénea.

Al igual que se observó en la estación de muestreo 1, la pastilla de cono hueco convencional fue la alternativa de mayor uniformidad en su población de gotas. Estos resultados fueron inferiores a los citados por Casal (2012) de 1,09 y 0,89 para pastillas de disco y núcleo. En tanto que, la pastilla AI presentó la menor uniformidad debido a la mayor amplitud relativa a 0,7 m de distanciamiento entre picos por el alto valor de $DV_{0,9}$, como se observó en la figura 18.

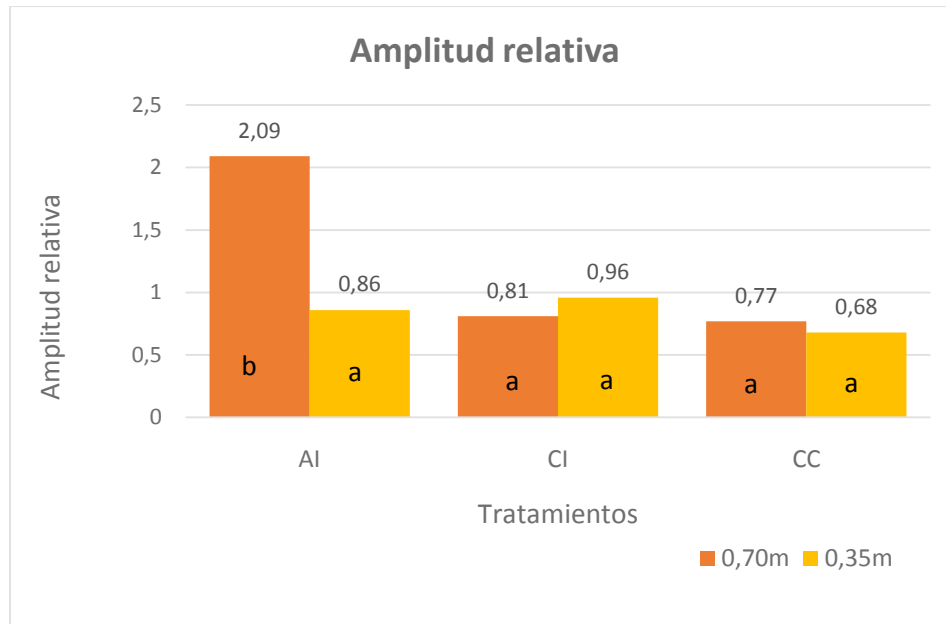


Figura 19: Amplitud relativa para la combinación de los tratamientos con los subtratamientos. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional; 0,70 m: 0,70 m entre picos; 0,35 m: 0,35m entre picos. Letras minúsculas diferentes en las columnas indican diferencias significativas entre distanciamientos en cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

Cobertura

En la variable cobertura se observó interacción entre los tratamientos y subtratamientos (Figura 20), por lo que se particionó el análisis en función de los diferentes diseños de pastillas. Para todos los tratamientos se encontraron diferencias significativas entre distanciamientos, siendo el subtratamiento de 0,70 m el que mostró los mayores valores de cobertura en todos los casos. Asimismo, puede visualizarse que la boquilla AI a 0,70 m fue la alternativa que produjo la mayor cobertura mientras que CC a 0,35 m fue la combinación que expresó la mejor performance, con el menor porcentaje de cobertura. No obstante esto, y como se mencionó anteriormente, se debe tener en cuenta las condiciones climáticas bajo las cuales fueron llevadas a cabo cada uno de los tratamientos.

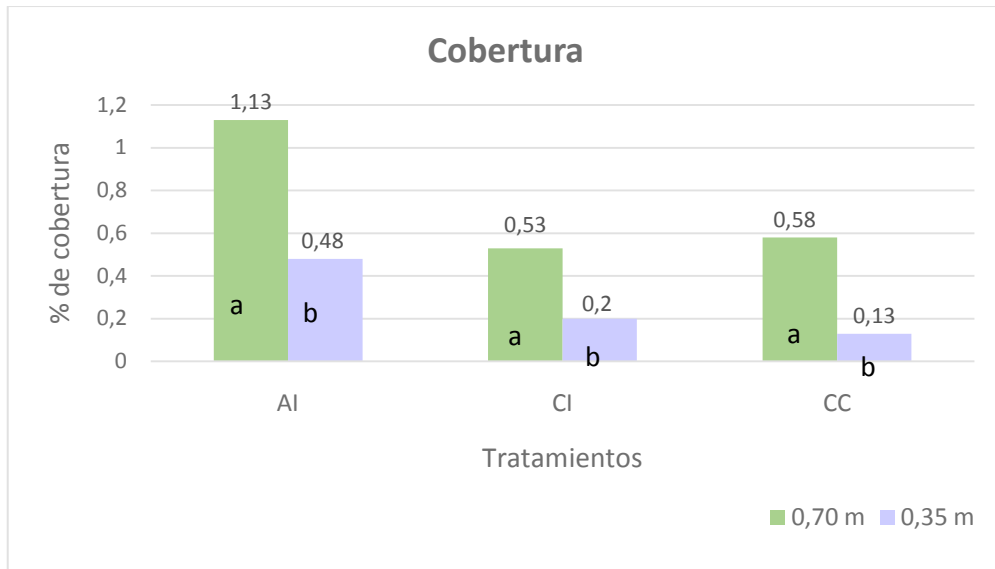


Figura 20. Cobertura generada para la partición de los subtratamientos en función de los tratamientos. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional; 0,70 m: 0,70 m entre picos; 0,35 m: 0,35m entre picos. Letras diferentes dentro de cada tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las alternativas según el test de Tukey.

Los valores de cobertura para AI fueron de 0,8 %, mientras que los tratamientos CI y CC presentaron valores de 0,36 % y 0,35 % respectivamente. Estos resultados presentan correlación con los obtenidos en las variables cantidad de impactos y $DV_{0,5}$, determinando que el tratamiento AI es el de mayor deriva de sedimentación. No obstante esto, como se mencionó anteriormente, es probable que se hayan evaporado una gran cantidad de gotas pequeñas pertenecientes al tratamiento CC y que por lo tanto no hayan llegado a impactar en las tarjetas hidrosensibles que registraron la deriva por sedimentación.

Por otro lado, al momento de evaluar el tratamiento AI se registraron los mayores valores de velocidad media del viento ($14,6 \text{ km h}^{-1}$), y si bien no superaron las recomendaciones de Etiennot (1990) y Costa et al., (1979), se presentaron ráfagas de 18 km h^{-1} que podrían haber generado un incremento de la cantidad de gotas derivadas. En consecuencia, este conjunto de condiciones climáticas habría sido la causa de los resultados expresados.

Analizando el comportamiento de los subtratamientos, se hallaron porcentajes de cobertura para el distanciamiento de 0,7 m entre picos de 0,63%, mientras que a 0,35 m el porcentaje de cobertura fue de 0,38 %. Como se mencionó, estos resultados corroboran lo encontrado en las variables analizadas anteriormente, donde la alternativa de 0,70 m entre picos fue la que presentó mayor densidad de impactos, constituyendo una mayor deriva de sedimentación.

Eficiencia

En la variable eficiencia, también se registró interacción significativa entre tratamientos y subtratamientos. Se hallaron diferencias estadísticas significativas entre subtratamientos en todas las pastillas, sin embargo, el comportamiento de 0,35 m y 0,7 m en los distintos tratamientos no fue el mismo. Para las pastillas abanico plano inducido y cono hueco convencional, la alternativa de mayor distanciamiento entre boquillas y menor velocidad de avance presentó los mayores valores de eficiencia, mientras que para el tratamiento de cono

huevo inducido ocurrió lo contrario (Figura 21). Esto último puede explicarse por la mayor cantidad de impactos que presentó el CI a 0,35 m respecto a 0,70 m, ya que el DVM fue similar en ambos subtratamientos.

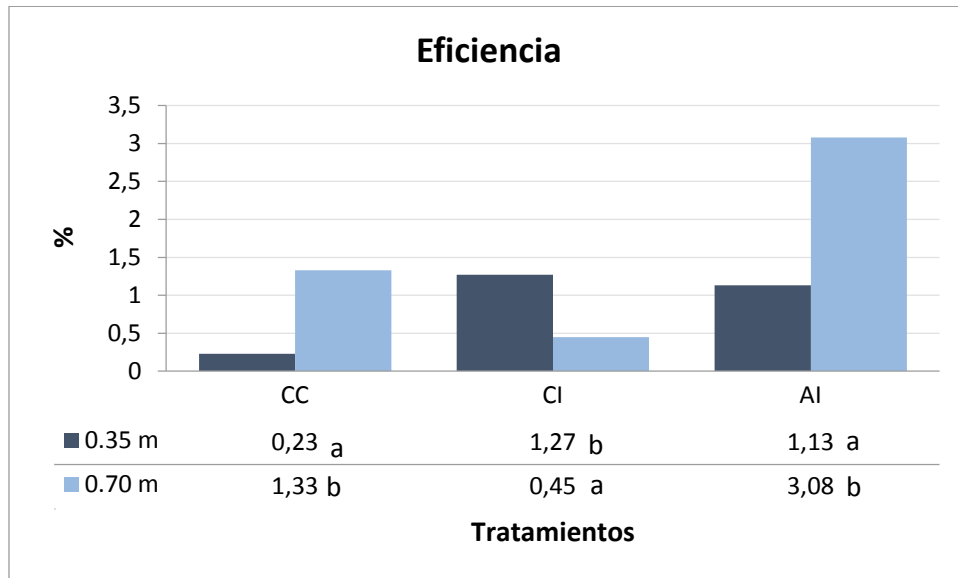


Figura 21. Eficiencia generada para la partición de los subtratamientos en función de los tratamientos. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional; 0,70 m: 0,70 m entre picos; 0,35 m: 0,35m entre picos. Letras diferentes dentro de cada uno de los tratamientos indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las alternativas según el test de Tukey.

Los valores de deposición siguieron la tendencia de las variables anteriormente analizadas, registrándose un 2,1% ($1,2 \text{ l ha}^{-1}$) para el tratamiento AI, siendo este un 144,18 % mayor que CI y 169,23 % mayor que CC, asegurando que dicho tratamiento es el que generó mayor deriva de sedimentación. Estos resultados no coinciden con lo mencionado por Nuyttens et al., (2007) quienes determinaron que las pastillas inducidas con aire mediante el uso de un aspirador Venturi presentan el mayor potencial de reducción de deriva. Aunque las pastillas de cono hueco no se diferenciaron entre sí, la pastilla de abanico plano con aire inducido generó un porcentaje de volumen recuperado significativamente mayor a las otras, afirmando de esta manera el rechazo de la cuarta hipótesis que hace referencia a la disminución de la deriva de sedimentación cuando se utilizan pastillas de inducción, independientemente de su diseño.

En un análisis general de los subtratamientos, el distanciamiento de 0,7 m a 9 km h^{-1} presentó significativamente mayor porcentaje de eficiencia que 0,35 m a 18 km h^{-1} . El distanciamiento de 0,7 m obliga a levantar el botalón para conseguir una adecuada superposición entre pastillas, obteniendo así un perfil de distribución uniforme al momento de realizar la aplicación. Sin embargo, esta mayor altura de aspersión, expone a la pluma de pulverización a mayores riesgos de deriva, coincidiendo con Leiva (1995) y Arvidsson et al., (2011) quienes mencionan, entre otros aspectos, a la técnica de aplicación como un factor que incide sobre la deriva. En este sentido, el distanciamiento de 0,35 m entre picos permite disminuir la altura del botalón consiguiendo un adecuado solapamiento de los perfiles de distribución y disminuyendo los riesgos de deriva. Cabe aclarar que si bien esto es cierto, no se dio así para el tratamiento de CI. En este caso al momento de realizar la aplicación con la boquilla de cono inducido a 0,35 m

podría haber ocurrido un incremento de la ráfaga produciendo un resultado diferente al de las otras dos combinaciones.

La pastilla de abanico inducido con el distanciamiento de 0,70 m fue la que mostró los mayores valores de deposición, mientras que la combinación de cono convencional a 0,35 m fue la que produjo los menores valores de recolección de caldo. Sin embargo, con esta última técnica de aplicación, debemos tener en cuenta que las condiciones ambientales de elevada temperatura y humedad relativa de 54%, pudieron haber provocado la evaporación de las gotas pequeñas, sin llegar las mismas a las tarjetas ubicadas sobre el suelo a los 25 m del botalón.

Exoderiva

En el estudio de la exoderiva, se analizaron los efectos de los distintos tratamientos, subtratamientos y distancias desde el extremo del botalón hasta las torres de recolección, como así también sus respectivas combinaciones. Se debe aclarar que no se analizaron los efectos de las diferentes alturas (1, 2 y 3 m) ya que no se halló significancia estadística entre las mismas, para todas las variables respuesta.

Cantidad de impactos

El análisis estadístico de esta variable arrojó interacción entre tratamientos y subtratamientos, lo que significa que las pastillas se comportaron diferente en función de la distancia a la que se encuentran en el botalón (0,35 m ó 0,70 m), pudiendo deberse principalmente a las diferencias en la velocidad de avance para mantener el volumen de aplicación constante y a las condiciones climáticas al momento de realizar el ensayo. Consecuentemente, se procedió a particionar el análisis estadístico por pastilla. En un análisis general, AI registró 27,83 imp cm⁻², CC 12,31 imp cm⁻² y CI 9 impactos cm⁻² respectivamente. Los resultados hallados no coinciden con lo expresado por Nuyttens et al., (2007), quienes analizando el efecto del tipo de boquilla sobre la deriva, concluyeron que las pastillas inducidas con aire presentan el mayor potencial de reducción de deriva. Al igual que para la deriva de sedimentación, el tratamiento AI fue el que presentó la mayor exoderiva, en contraposición con el supuesto de que los mayores valores deberían estar representados por la pastilla de cono hueco convencional. Debido a ello no se puede validar la hipótesis planteada que sostiene que las pastillas con inducción de aire presentan menos exoderiva que las pastillas convencionales, al menos bajo las condiciones atmosféricas en las que se realizó el ensayo. Cabe recordar nuevamente que el tratamiento CC fue efectuado en condiciones de elevada temperatura y baja HR y por lo tanto una gran proporción de gotas finas podrían haberse evaporado repercutiendo esto en una menor cantidad de imp cm⁻² en las tarjetas que evaluaron la deriva por viento. Lo expuesto presenta correlación con lo citado por Teixeira (2010), quien asegura que las gotas pequeñas presentan la desventaja de que por su elevada superficie expuesta en relación al volumen son más propensas a sufrir una intensa evaporación antes de depositarse.

Por lo tanto, y bajo determinadas condiciones, fundamentalmente si la velocidad del viento es superior a 15 km h⁻¹, las gotas con aire inducido, caracterizadas por mayor resistencia a la evaporación, pueden ser transportadas a importantes distancias generando perjuicios en flora espontánea o cultivos sensibles a determinados herbicidas.

En la figura 22 se visualizan los resultados para todos los tratamientos, subtratamientos y distancias desde el extremo del botalón hasta las torres de recolección. En la pastilla de abanico inducido, los mayores valores se obtuvieron para todas las distancias de evaluación en 0,35 m con respecto a 0,70 m, siendo a los 5 m estadísticamente superior a las demás situaciones. Es decir, a la menor distancia entre pastillas y la mayor velocidad de avance, bajo condiciones de velocidad de viento promedio cercano a los 15 km h⁻¹ y ráfagas de 18 km h⁻¹, las gotas con aire inducido pueden ser derivadas. Asimismo, todos los resultados obtenidos a 0,35 m generaron suficiente cantidad de impactos para la aplicación de productos sistémicos, en función de los valores recomendados por Weber (1982). Del mismo modo, los impactos que alcanzaron las tarjetas a los 5 m y 25 m, también son suficientes para el control de malezas cuando el modo de acción del herbicida es por contacto.

En el tratamiento cono hueco convencional, no se encontraron diferencias significativas entre 0,70 m y 0,35 m para ninguna de las distancias evaluadas. La cantidad de impactos se encuentra por debajo de las recomendaciones para generar eficacia biológica, sin embargo los riesgos de daño sobre el ambiente existen ya que incluso a los 50 m de distancia del extremo del botalón se encuentran en promedio 10 impactos cm⁻².

En cuanto a la pastilla de cono hueco con aire inducido, solo el subtratamiento de 0,35 m entre picos a los 5 m con 18 imp cm⁻² se diferenció significativamente de todas las distancias de medición de 0,70 m, no así de la combinación de 25 m y 50 m con 0,35 m entre boquillas. Sin embargo, en ninguna distancia de evaluación se alcanzaron los impactos suficientes para el control de malezas con productos sistémicos.

A modo general, los mayores valores de exoderiva, en lo que respecta a cantidad de impactos, se encontraron con el menor distanciamiento entre picos (mayor velocidad de avance). Es decir que la velocidad de avance de la máquina pulverizadora tiene influencia en el desplazamiento total de las gotas en el campo y en su potencial de deriva. En otras palabras, la elevada velocidad de avance de la pulverizadora (18 km h⁻¹) para mantener el volumen de aplicación cuando el distanciamiento entre picos es de 0,35 m, podría haber desplazado una gran proporción de gotas fuera del objetivo de aplicación, sin caer en el suelo a los 25 m del extremo del botalón y llegando a una mayor distancia y altura, incrementando así la exoderiva. En función de lo mencionado anteriormente, un mayor distanciamiento entre picos y una menor velocidad de avance de la máquina pulverizadora, serían recomendables para disminuir la exoderiva, pero como consecuencia la capacidad operativa del conjunto disminuiría considerablemente.

Asimismo, analizando la densidad de impactos lograda por cada pastilla y subtratamiento en las diferentes distancias de evaluación, se observa una disminución de la misma a medida que la distancia aumenta. En este sentido, además del efecto de la deriva por sedimentación, también podría haber ocurrido un proceso de termoderiva, coincidiendo con lo expresado por Jayanthi et al., (1998) y Murphy et al., (2000) quienes comprobaron que la vida media de la gota se encuentra afectada por la distancia a recorrer y cuanto mayor sea esta, se incrementa notablemente la probabilidad de que las gotas pequeñas se evaporen antes de alcanzar el blanco. Walla (1980) concluye que una gota de 100 µm tarda sólo 14 segundos en evaporarse completamente y una de 200 µm demora 42 segundos en reducirse a la mitad, con 50% de humedad relativa y 30°C de temperatura. Los resultados indican que a la hora de establecer una distancia límite de trabajo para no ocasionar daños por exoderiva podrían utilizarse tanto 25 m

como 50 m indistintamente, ya que estadísticamente se comportan iguales. De todos modos y como se analizó anteriormente, se deberían tener en cuenta la combinación de todas las variables para establecer una distancia limite más precisa en cada caso particular.

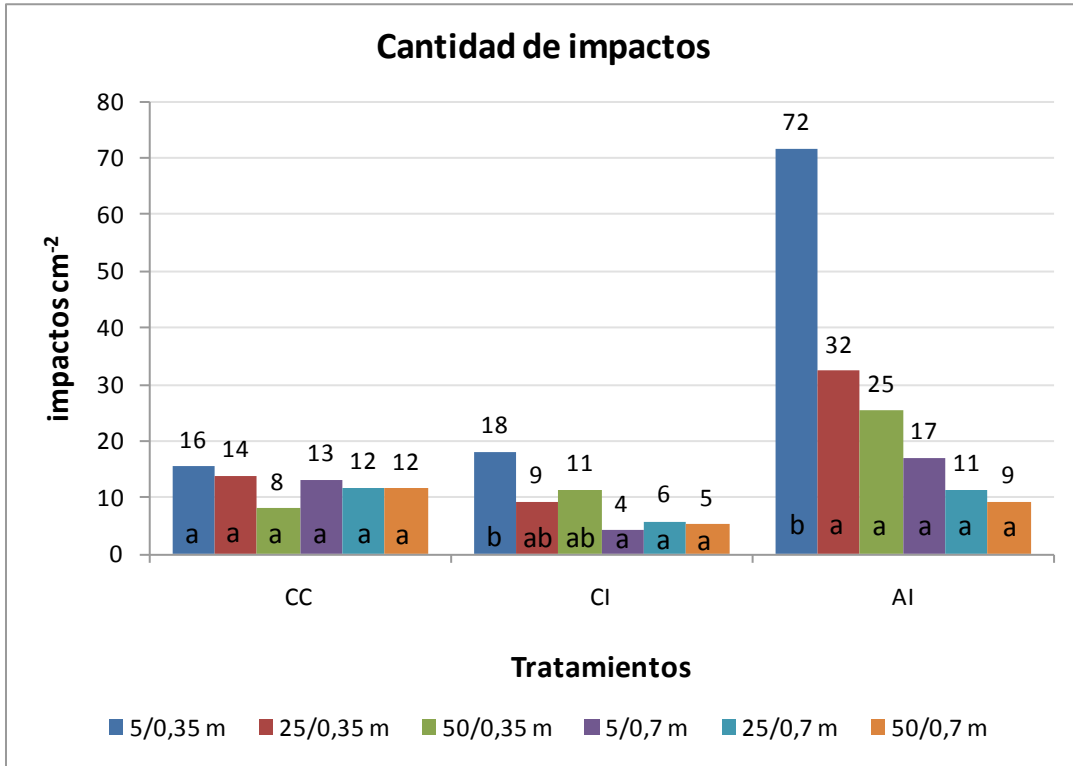


Figura 22. Cantidad de impactos según tratamientos, subtratamientos y distancias de evaluación de exoderiva. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional; 0,70 m: 0,70 m entre picos; 0,35 m: 0,35m entre picos; 50m: 50 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 25m: 25 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 5m: 5 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva. Letras minúsculas diferentes en cada tratamiento indican diferencias significativas entre subtratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

No se registraron diferencias significativas entre las distancias de las torres para cada subtratamiento con las pastillas CI y CC, pero si en AI para 0,35 m entre picos, encontrando a 5 m la mayor cantidad de impactos, siendo esta un 125 % y 188 % mayor que la visualizada a 25 m y 50 m respectivamente. No obstante esto, si bien no se registran diferencias estadísticas entre las demás opciones, a la hora de minimizar la exoderiva la recomendación sería adoptar alguna de las alternativas que generan la menor cantidad de impactos, siendo el distanciamiento de 0,7 m entre pastillas una buena opción.

Por otro lado, se realizó un análisis estadístico de la cantidad de impactos derivados en función del subtratamiento para cada distancia evaluada (Figura 23). En este sentido, únicamente se encontraron diferencias significativas en las torres ubicadas a 5 m. Sin embargo, independientemente de la distancia de evaluación, la mayor cantidad de impactos se registró con la alternativa de 0,35 m, siendo las diferencias con respecto a 0,7 m entre picos de 207%, 91% y 72% para 5 m, 25 m y 50 m respectivamente. Estos resultados ratifican lo analizado previamente y aseguran que las alternativas con el menor distanciamiento entre picos fueron las que generaron la mayor exoderiva. No obstante esto, al momento de realizar una

pulverización sería esperable tomar por los menos 50 m como distancia límite de aplicación en cercanías a la población o vegetación sensible no objetivo.

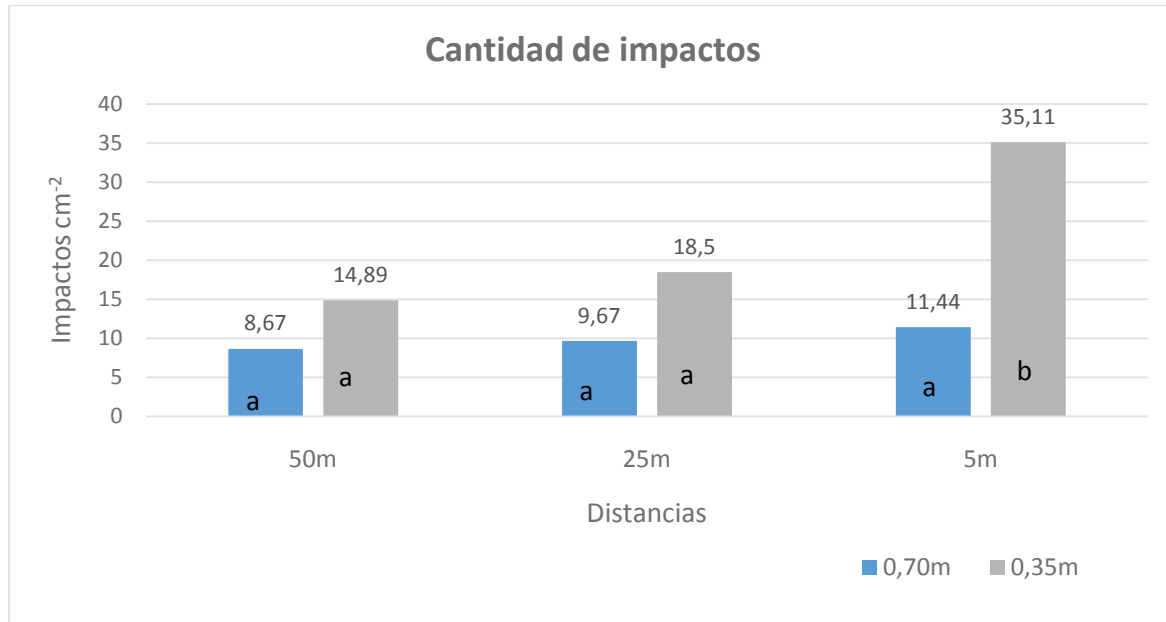


Figura 22. Cantidad de impactos cm⁻² para cada subtratamiento según distancia de evaluación de exoderiva. 0,70 m: 0,70 m entre picos; 0,35 m: 0,35m entre picos; 50m: 50 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 25 m: 25 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 5 m: 5 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva. Letras minúsculas diferentes en cada distancia indican diferencias significativas entre subtratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

Diámetro volumétrico mediano (DV_{0,5})

El análisis estadístico no mostró interacción significativa entre tratamientos, subtratamientos y distancias de evaluación. Se registraron valores promedio de 76,09 μm para el tratamiento CI, 72,22 μm para CC y 68,37 μm para AI, sin diferencias significativas entre ellos. No obstante esto, los diámetros volumétricos medianos encontrados estuvieron comprendidos entre 60 μm y 90 μm , por lo que es posible afirmar que el tamaño de las gotas que se derivan es independiente de la técnica de aplicación y dependiente fundamentalmente de las condiciones ambientales.

En general, los menores tamaños de gotas fueron encontrados a las mayores distancias, 25 m y 50 m, y los mayores a 5 m (Figura 23). Estos resultados fueron en parte los esperados, ya que las gotas que se trasladan a mayores distancias se encuentran más expuestas a procesos de evaporación que reducen su tamaño y a procesos de deriva de sedimentación, llegando gotas de un menor DV_{0,5}.

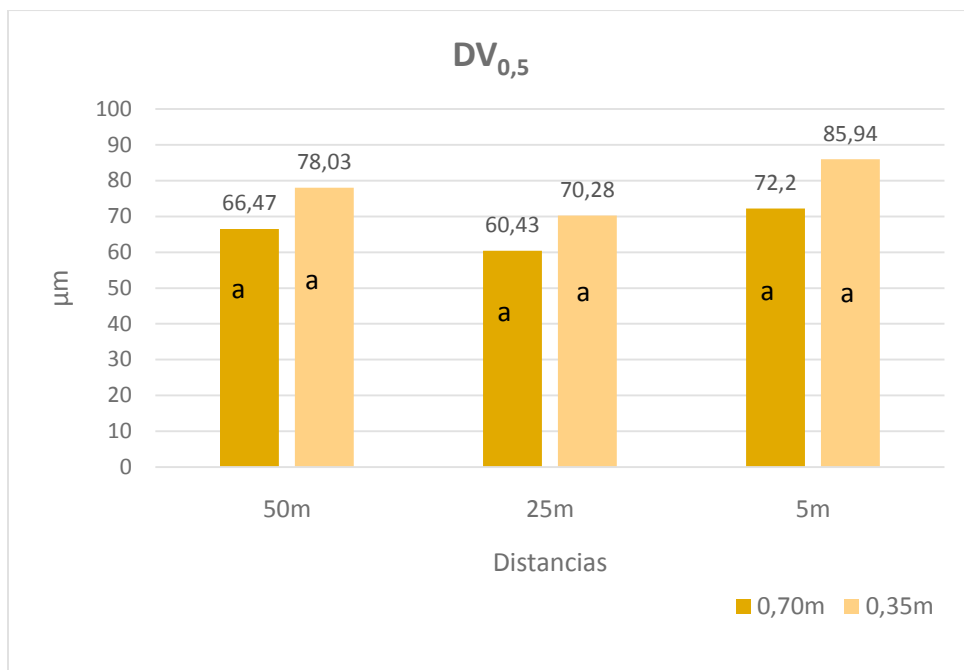


Figura 23. Diámetro volumétrico mediano ($DV_{0,5}$) para cada subtratamiento y distancia de evaluación de exoderiva. 0,70 m: 0,70 m entre picos; 0,35 m: 0,35m entre picos; 50m: 50 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 25m: 25 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 5m: 5 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva. Letras minúsculas diferentes para cada distancia indican diferencias significativas entre alternativas ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

Como puede visualizarse en la figura 23 el subtratamiento de 0,35 m presentó los mayores $DV_{0,5}$ en todos los distanciamientos evaluados, sin diferencias significativas con respecto a 0,70 m. Estos resultados permiten nuevamente poner especial atención a la velocidad de desplazamiento de la máquina pulverizadora (18 km h^{-1}), siendo un factor determinante en el proceso de exoderiva de las gotas, ya que a partir de estos valores podría suponerse que la migración de gotas de mayor tamaño es producida por la inercia generada tras el paso de la pulverizadora a dicha velocidad.

Finalmente, al igual que para la deriva por sedimentación, los resultados coinciden con lo manifestado por Frola (2013) quien asegura que la exoderiva se produce en aquellas gotas menores de $100 \mu\text{m}$, tanto en aplicaciones aéreas como terrestres. También hubo correlación con lo expresado por Leiva (1995) quien sostiene que las condiciones de deriva se incrementan para tamaños de gotas menores a $150 \mu\text{m}$ si se usa agua como diluyente.

Amplitud Relativa

Se registró interacción significativa entre tratamientos y distancias a las torres de exoderiva, por lo que se analizó el comportamiento de cada pastilla a 5 m, 25 m y 50 m (Figura 24).

En un análisis general de esta variable, el tratamiento AI presentó un valor promedio de 0,99 diferenciándose estadísticamente del tratamiento de cono hueco convencional que presentó un valor de 0,74 con la mayor uniformidad de gotas en el espectro de distribución. Por otro lado, CI no presentó significancia con ninguno de los tratamientos anteriores, con un valor de 0,84.

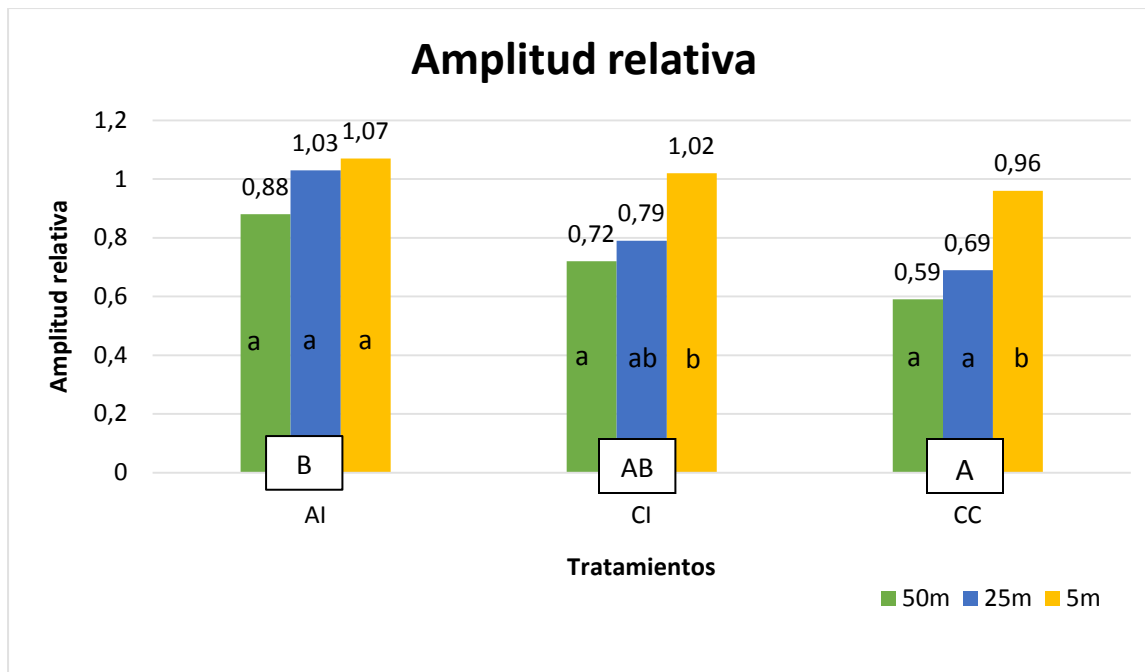


Figura 24. Amplitud relativa para las diferentes pastillas en función de las distancias de evaluación de exoderiva. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional; 50m: 50 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 25m: 25 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 5m: 5 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey. Letras minúsculas diferentes dentro de cada tratamiento indican diferencias significativas entre distancias ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

Independientemente del tratamiento, los mayores valores de amplitud relativa se encontraron a 5 m de distancia del botalón, es decir que a medida que aumenta la distancia se incrementa la uniformidad del espectro de distribución. Probablemente esto se deba a que las gotas de mayor diámetro y más pesadas, hayan caído al suelo rápidamente, coincidiendo con Etiennot (1990), sin impactar en las tarjetas ubicadas sobre las torres, provocando un menor $DV_{0,9}$ de la población de gotas y como consecuencia un menor valor de amplitud relativa. Es importante recordar que la misma se calcula a partir de la relación que existe entre la diferencia del $DV_{0,9}$ y el $DV_{0,1}$ con el $DV_{0,5}$.

En el análisis de los subtratamientos, los mayores valores se encontraron para el distanciamiento de 0,35 m entre picos con una amplitud relativa promedio de 0,94, diferenciándose estadísticamente de 0,70 m quien arrojó valores de 0,78. No se hallaron diferencias significativas entre distancias de evaluación de exoderiva para cada subtratamiento (Figura 25). Sin embargo, al igual que se observó anteriormente, a los 5 m se encontraron los mayores valores de amplitud relativa, mientras que a 50 m los menores valores. Es decir que se repite la tendencia, a mayor distancia mayor es la homogeneidad en la población de gotas. Nuevamente, el mayor distanciamiento entre pastillas y menor velocidad de avance del equipo, tuvo los mejores resultados, siendo la población de gotas exoderivada, independientemente del tipo de boquilla, más homogénea que la generada con el distanciamiento de 0,35 m entre picos. Estos resultados confirman lo analizado hasta aquí, respecto de que la población de gotas que se derivó cuando se trabajó con el distanciamiento entre picos de 0,7 m se caracterizó por ser

de menor cantidad de impactos, diámetros más chicos y, como consecuencia, mayor homogeneidad respecto a la población producto de un menor distanciamiento entre picos.

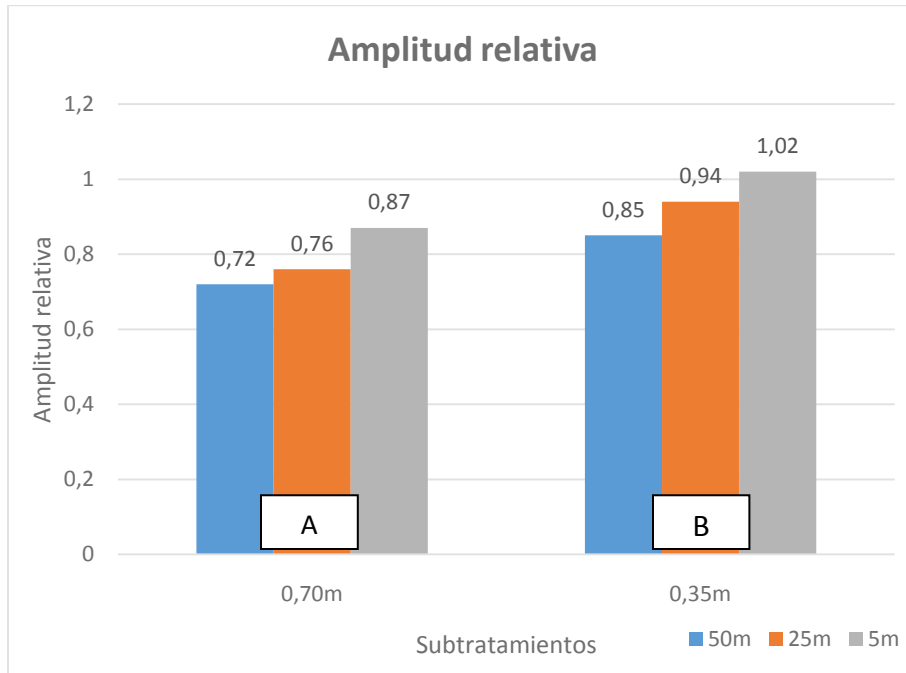


Figura 25. Amplitud relativa para la combinación de los subtratamientos con las distancias. 0,70 m: 0,70 m entre picos; 0,35 m: 0,35m entre picos; 50m: 50 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 25m: 25 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 5m: 5 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre subtratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

Cobertura

Para esta variable, se registró interacción significativa entre tratamientos y subtratamientos, y entre tratamientos y distancias a las torres de exoderiva. Debido a la gran variabilidad de los datos se decidió particionar los resultados por los subtratamientos y distancias en función de los tratamientos (Figura 26).

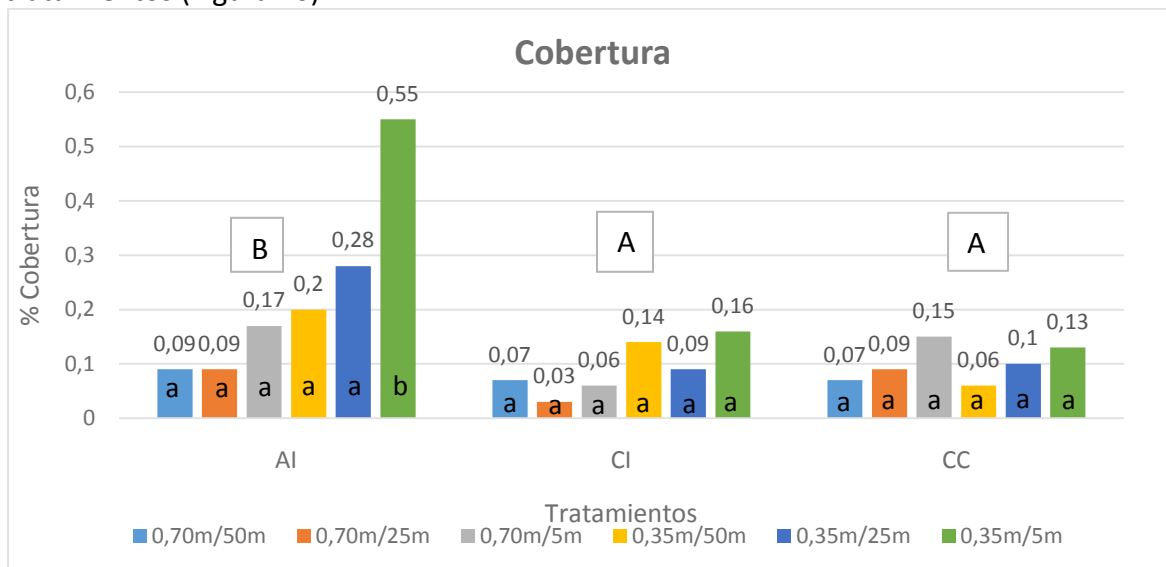


Figura 26. Porcentaje de cobertura para los subtratamientos y distancias a las torres de exoderiva en función de los tratamientos. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional; 0,70 m: 0,70 m entre picos; 0,35 m: 0,35m entre picos; 50m: 50 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 25m: 25 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 5m: 5 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre boquillas ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey. Letras minúsculas diferentes dentro de cada tratamiento indican diferencias significativas entre alternativas ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

En un análisis general, los mayores valores se hallaron para el tratamiento AI (0,23 %), presentando diferencias significativas con CI y CC que presentaron valores de cobertura de 0,1 % y 0,09 % respectivamente. Estos datos se relacionan con los encontrados para cantidad de impactos donde AI fue el que presentó la mayor cantidad de imp cm^{-2} , indicando que dicho tratamiento fue el que generó la exoderiva más importante. Nuevamente los resultados encontrados no concuerdan con lo mencionado por Nuyttens et al., (2007) respecto de que las pastillas inducidas por aire producen menos exoderiva que las boquillas convencionales, al menos bajo las condiciones atmosféricas en las cuales fue realizado el ensayo.

No se registraron diferencias significativas para las distintas alternativas de los tratamientos CI y CC, pero sí se hallaron diferencias estadísticas en AI, presentando el subtratamiento 0,35 m a 5 m significativamente mayor cobertura que los demás. Estos resultados se correlacionan con los hallados en cantidad de impactos, demostrando que el tratamiento AI cuando trabaja con una distancia entre picos de 0,35 m, una velocidad de desplazamiento de 18 km h^{-1} y a 5 m de distancia del cultivo o zona rural genera una marcada exoderiva, estadísticamente diferente a la que producen las otras alternativas. Para esta pastilla debería trabajarse con el subtratamiento de 0,70 m entre picos y a 50 ó 25 m de distancia límite, ya que estas son las combinaciones que presentan la menor cobertura. No obstante, también podrían utilizarse otras opciones, como por ejemplo 0,70 a 5 m, 0,35 a 50 m, y 0,35 a 25 m ya que estadísticamente se comportan igual que las alternativas anteriormente mencionadas.

Analizando el comportamiento de los subtratamientos, se encontraron valores de cobertura de 0,19 % para 0,35 m y 0,09 % para 0,70 m, es decir que el menor distanciamiento entre picos generó un 111 % más de cobertura que el distanciamiento de 0,7 m, atribuible, en principio, a la mayor velocidad de avance de la pulverizadora (18 km h^{-1}), como se mencionó anteriormente. Sin embargo, únicamente el tratamiento AI presentó diferencias significativas entre subtratamientos, siendo la diferencia entre 0,35 m y 0,70 m mayor al 200%. No obstante las diferencias encontradas, los valores de cobertura no superaron en ningún caso el 0,35 %.

En tanto que, en el análisis de las torres de exoderiva, la tendencia encontrada fue la misma que para densidad de impactos, obteniéndose los mayores valores a 5 m (0,2 %), diferenciándose estadísticamente de 25 m (0,11 %) y 50 m (0,1%). Los resultados podrían deberse a los procesos de deriva de sedimentación y termoderiva los cuales tenderían a incrementarse a medida que aumenta la distancia del extremo del botalón hasta las torres de exoderiva. Estas diferencias significativas, solo se observaron en el tratamiento AI, mientras que en CC y CI, si bien existieron diferencias, las mismas no fueron significativas (Figura 27).

Teniendo en cuenta lo mencionado por Márquez Delgado (2008) quien recomienda utilizar boquillas que consigan una pulverización gruesa cuando se superen los 18 km h^{-1} de velocidad de viento, los resultados del trabajo coinciden en parte con lo citado por el autor, ya que con la pastilla de abanico con aire inducido se obtuvieron los mayores valores de densidad de impactos y cobertura en las torres de exoderiva, mientras que con las pastilla de cono hueco

con aire inducido se obtuvieron los menores valores de exoderiva. Esto nos permitiría inferir que no todas las pastillas con aire inducido se comportan de igual manera y que, para las condiciones atmosféricas bajo las cuales se realizó el ensayo, el tratamiento CI fue el de menor riesgo de deriva.

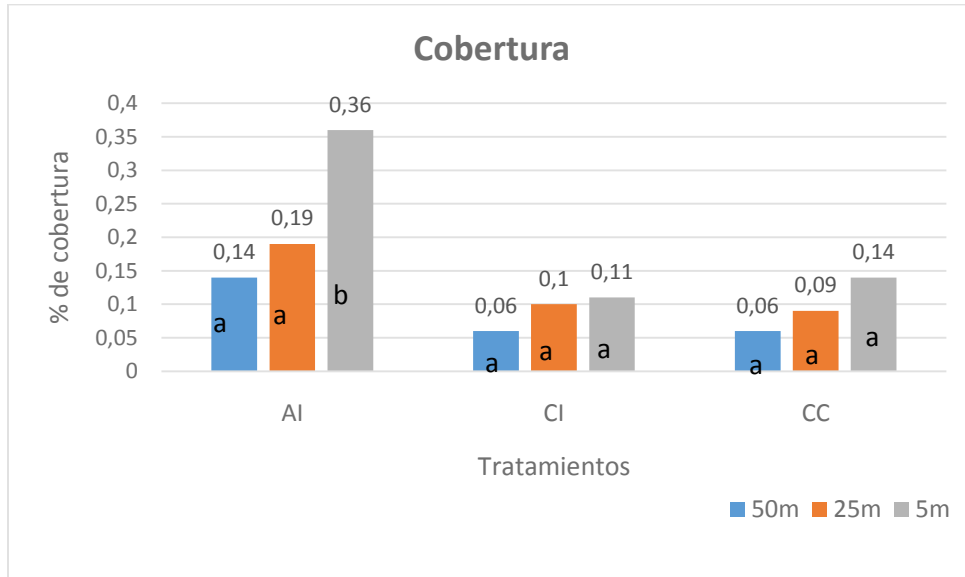


Figura 27. Cobertura generada por la combinación de los tratamientos y las distancias. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional; 50m: 50 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 25m: 25 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 5m: 5 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre distancias de evaluación de exoderiva para cada tratamiento según el test de Tukey.

Eficiencia

En el análisis de la varianza de la variable eficiencia, se encontró interacción significativa entre tratamientos y subtratamientos. La pastilla de abanico plano con aire inducido presentó valores de eficiencia significativamente mayores a CI y CC, siendo estos de 0,54%, 0,24% y 0,27% respectivamente. Estos resultados coinciden con lo analizado en las variables anteriores, donde la mayor tasa de recuperación del tratamiento AI se debió a la mayor cantidad de impactos derivados, siendo que el tamaño de las gotas no varió entre las pastillas.

En la comparación de los subtratamientos, los resultados se condicen con lo analizado en las variables anteriores. Si bien las tasas de recuperación fueron despreciables ya que en ningún caso se alcanzó el 0,5 %, el menor distanciamiento entre boquillas presentó un 144% más de eficiencia que 0,7 m. Estos resultados vuelven a mostrar los riesgos de daño y contaminación de una alternativa respecto a la otra. En la figura 28 se visualiza el comportamiento de los dos distanciamientos para cada tratamiento. Las boquillas con aire inducido presentaron diferencias significativas entre subtratamientos, mientras que en el cono hueco convencional tuvieron similar comportamiento. Las diferencias encontradas en los tratamientos AI y CI se deben principalmente a la mayor cantidad de impactos que llegaron cuando se trabajó a 0,35 m respecto a 0,7 m, ya que el DVM de las gotas que alcanzaron las torres fue similar.

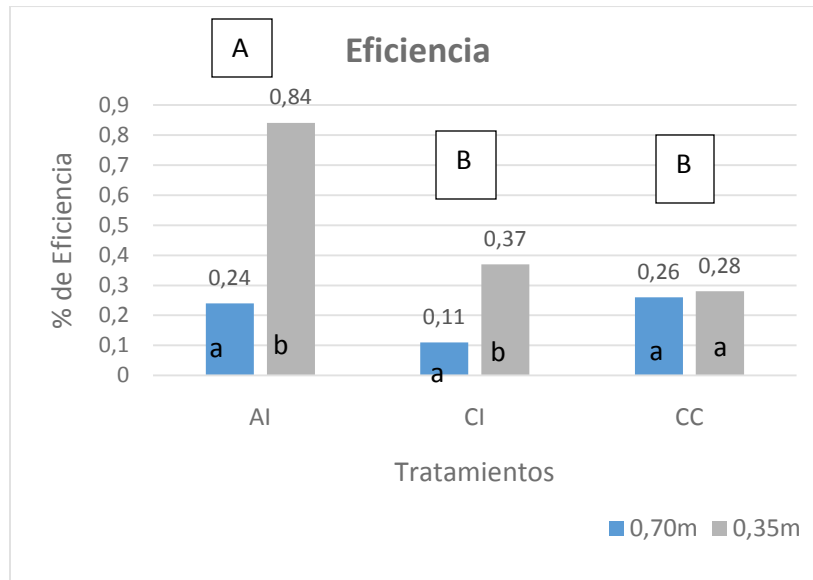


Figura 28. Eficiencia de los subtratamientos en función de los tratamientos. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional; 0,70 m: 0,70 m entre picos; 0,35 m: 0,35m entre picos. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre boquillas ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey Letras minúsculas diferentes dentro de cada tratamiento indican diferencias significativas entre subtratamientos ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

En lo referente a las distancias a las torres, los resultados fueron los esperados. Los mayores valores de recuperación estuvieron a 5 m, diferenciándose estadísticamente de 25 m y 50 m. El porcentaje promedio de caldo recolectado para la menor distancia fue de 0,52 %, mientras que a 25 m fue de 0,28 % y para 50 m de 0,25%, prácticamente después de los 5 m se redujo la eficiencia a la mitad. En la figura 29 se observan los resultados producto de la combinación de los tratamientos y las distancias a las torres, sin interacción significativa entre los factores. El tratamiento AI a 5m se diferenció significativamente de todas las alternativas, a excepción de AI a 25 m que presentó igual comportamiento. Independientemente de esto, para cada distancia de evaluación, el tratamiento de abanico con aire inducido se destacó por los mayores valores respecto a las demás pastillas.

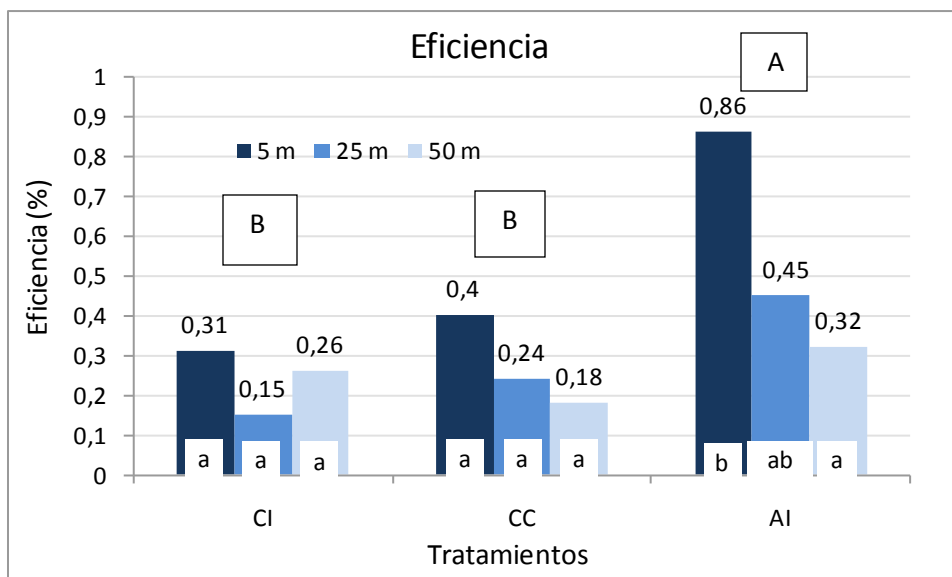


Figura 29. Eficiencia para la combinación de los tratamientos con las distancias. AI: boquilla de abanico plano inducida por aire; CI: boquilla de cono hueco inducida por aire; CC: boquilla de cono hueco convencional; 50m: 50 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 25m: 25 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva; 5m: 5 m de distancia entre botalón y torre de exoderiva. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre las 9 alternativas evaluadas ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

En función de los dos gráficos analizados, la alternativa de 0,35 a 5 m, independientemente de la pastilla, presentó los mayores valores de eficiencia. Las causas de estos resultados fueron analizadas previamente, adjudicando una gran responsabilidad a la velocidad de avance del conjunto tractor-pulverizadora que provoca el desplazamiento de las gotas a distancias fuera del objetivo de aplicación. Asimismo, por efectos de condiciones ambientales adversas, las gotas van disminuyendo su tamaño o cayendo al suelo durante su traslado, ocasionando menores tasas de recuperación a 25 m y 50 m y a una altura promedio de 2 m.

Si además, como se estudió anteriormente, tenemos en cuenta que la pastilla de abanico plano con aire inducido fue la que peor comportamiento tuvo, esta alternativa tecnológica no se recomendaría si lo que buscamos es minimizar los problemas de exoderiva y como consecuencia las problemáticas de contaminación. No obstante esto, y teniendo en cuenta lo mencionado por Casal (com. pers., 2011) y Domper et al., (2015) quienes indican que la metodología de procesamiento de imágenes sobreestima la eficiencia de aplicación, principalmente en pastillas de inducción de aire, los resultados encontrados podrían ser mucho menores a lo que realmente son.

Sin embargo, y como se mencionó para la variable cantidad de impactos, los resultados hasta aquí encontrados no permiten validar la primera hipótesis de trabajo respecto a que las pastillas con inducción de aire presentan menos exoderiva que las pastillas convencionales.

CONCLUSIONES

- Todas las pastillas generaron una densidad de impactos muy superior a las recomendadas para herbicidas de pre siembra y preemergencia.
- La densidad de impactos evidenció una relación directa con el área de cobertura.
- El cono hueco convencional produce una mayor cantidad de impactos y mayor cobertura que la pastilla de cono hueco con aire inducido.
- Las variables operativas distanciamiento entre boquillas y velocidad de avance, no afectan de manera directa la eficiencia de aplicación.
- Las pastillas de cono hueco convencional presentan una mayor reducción de la deriva de sedimentación y exoderiva que las inducidas con aire, al menos bajo las condiciones ambientales a las cuales fue sometido el ensayo.
- La distancia límite de trabajo para disminuir los daños por exoderiva es dependiente de las pastillas, de las variables operativas y ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- Arvidsson, T., L. Bergström & J. Kreuger.** 2011. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. *Pest. Manag. Sci.* 67, 586-598.
- CASAFE.** 2014. Mercado Argentino de Productos Fitosanitarios 2012. Disponible en: <http://www.casafe.org/publicaciones/estadisticas/> Último acceso: agosto 2016.
- Casal, G.A.** 2011. Comunicación personal
- Casal, G.A.** 2012. Aspectos de tecnología de aplicación de agroquímicos. Simposio Internacional CIDETER. Las Parejas, provincia Santa Fe, Argentina. Agosto 2012. 12 pp.
- Castillo, H.B.** 2010. Formación de gotas en la aplicación de plaguicidas. En: *Tecnologías de aplicación de agroquímicos*. Ed. INTA Alto Valle, Río Negro. pp. 55-65.
- Cid R. & G. Masiá.** 2011. Manual para agroaplicadores. Uso responsable y eficiente de fitosanitarios. ISBN 978-987-679-036-9. p.37.
- Cid, R., S. Duro, G. Masiá & L. Venturelli.** 2014. Uso de tensioactivos y antiderivantes en forma simultánea: evaluación de interacciones. Disponible en: http://inta.gob.ar/documentos/uso_de_tensioactivos_y_antiderivantes_en_forma_simultanea_evaluación_de_interacciones/ Último acceso: agosto de 2016
- Costa, J.J., A.E. Margheritis & O. Mársico.** 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.
- Cowell C., Lavers A. & Taylor W.** 1988. A preliminary evaluation of a surface deposit fluorimeter for assessing spray deposition in the field. *Annales International Symposium on pesticide application*. París, ANPP. Session 1: 19-29.
- 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, La Plata*. Vol 113 (2): 202-210
- Eleisegui, P.** 2014. Mercado de agroquímicos en la argentina: baja el uso de glifosato, crecen los productos más potentes y los plaguicidas llegan a toda la agricultura. Disponible en: <http://el-galo.blogspot.com.ar/2014/05/mercado-de-agroquimicos-en-argentina.html> Último acceso: Julio 2016
- Environmental Protection Agency.** 1999. Spray drift of pesticides. EPA Publication No.735F99024, Environmental Protection Agency, Washington, DC. Disponible en: <http://www.epa.gov/pesticides> Último acceso: junio 2016.
- 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. 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: noviembre de 2016.

Ghirardi, G.J. 2012. Eficacia y Eficiencia en las aplicaciones de Fitosanitarios. AgroSpray. Disponible en: <http://www.agrospray.com.ar/sitio/pdfs/noticias/67.pdf>. Último acceso: enero 2017

Gil, E., A. Escola, J.R. Rosell, S. Planas & L. Val. 2007. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. Crop Protection. Vol 26, Issue 8, pp. 1287–1297.

Graham-Bryce, I.J. 1977. Crop Protection: a consideration of the effectiveness and disadvantages of current methods and of the scope for improvement. Phil. Trans. R. Lond. B281, 163-179.

Hock, W.K. & E.S. Lorenz. 2004. Spray Adjuvants. Pennsylvania State University – College of Agricultural Sciences – Agricultural Research and Cooperative Extension Pesticide Application.

ISO. 2005. ISO 22866:2005: Crop Protection Equipment e Methods for Field Measurement of Spray Drift. Geneva, Switzerland.

Jayanthi, P., P. Krishnan, & L.J. Kemble. 1998. Effect of nozzle wear and operating parameters on spray pattern distribution of 8004 fan nozzles. Written for presentation at the ASAE annual international meeting. Orlando, Florida.

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, 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. 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.gob.ar/sites/default/files/script-tmpinta_pergamino_recaudos_por_deriva_en_pulverizaciones.pdf. Último acceso: Enero 2017.

Magdalena, J.C., R.H. Balbuena, A.P. Di Prinzio & J.A. 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, Buenos Aires. pp. 150-156.

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.

Marquez-Márquez Delgado, L. 2005. El control de la deriva en la aplicación de fitosanitarios. Las boquillas de baja deriva. Revista Agrotécnica. Año VIII. Nº 4. Abril 2005. pp: 38-43.

Márquez Delgado, L. 2007. Pulverización y pulverizadores neumáticos. Agrotécnica. Año X. Nº2. Febrero 2007. pp: 37-41.

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. Disponible en: <http://www2.fepex.es/archivos/publico/Fitosanitarios/Fitosanitarios-%20Texto.pdf>. Último acceso: enero de 2016.

Martens, F. 2012. Guía para el uso adecuado de plaguicidas y la correcta disposición de sus envases. Boletín de divulgación Nº 41. ISSN 0328-3380. 26 pp.

Matthews G.A. 1985. Application from the ground. En: Pesticide Application. Principles and Practice. Ed. P.T. Haskell. Clarendon Press, Oxford, UK. pp. 95-177.

Matthews, G.A. 1993. Insecticide application in the stores. En: Application Technology for Crop Protection. Matthews, G.A. & Hislop, E.C. (eds.), CABI, Wallingford. pp: 101-117.

Mc Mullan, P.M. 1995. Effect of spray volume, spray pressure and adjuvant volume on efficacy of sethoxydim and fenoxaprop-p-ethyl. Crop Protection. Vol 14(7): 549-554.

Miguens M.M. 1981. Aplicación de plaguicidas. 1ra. ed. (Series Ed: Departamento de Estudios. Cuaderno de Actualización Técnica, Número 29) Asoc. Arg. de Consorcios Reg. de Exper. Agr. (AACREA), Buenos Aires. 43 pp.

Murphy, S.D., P.C.H. Miller & C.S. Parkin. 2000. The effect of boom section and nozzles configuration on the risk of spray drift. J. Agric. Eng Res. 75, 127-137.

Nordby, A. & R. Skuterud. 1974. The effects of boom height, working pressure and wind speed on spray drift. Weed research. Vol 14, Issue 6, 385-395.

Nuytens, D., M. de Schampheleire, K. Baetens & B. Sonck. 2007. The influence of operator controlled variables on spray drift from field crop sprayers. Trans. ASABE 50 (4) 1129-1140.

Ozkan, E. 2016. New Nozzles for Spray Drift Reduction. Ohio State University Extension. Agricultural Engineer, Food, Agricultural and Biological Engineering. Disponible en: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/fabe-523> Último acceso: julio 2017

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, INTA. 33 (3): 3-13.

Pergher, G. 2001. Recovery rate of tracer dyes used for spray deposit assessment. Transactions of the ASAE 44: 787-794.

Piggott, S. & G.A. Matthews. 1999. Air induction nozzles: a solution to spray drift. Multinational Pest Control, Jan/Feb., pp. 24-28.

Richardson, R.D. 1994. Control of spray drift with thickening agents. Journal of Agric. Eng. Res. 19(3): 1401-1407.

- 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_12062013165540.pdf 26 pp. Último acceso: noviembre de 2016.
- Salyani M. & Hoffman W.** 1996. Air and spray distribution from an aircarrier sprayer. *Applied Engineering in Agriculture*. ASAE: 12 (5): 539- 545.
- 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 Technologies Catálogo 50A-E.** 2008. Spraying Systems Company, Wheaton, Illinois 60187-7900, U.S.A. 196 pp.
- Trefan, L.** 1985. Possibilità di valutare la distribuzione dei prodotti antiparassitari in frutticoltura. *Macchine e Motori Agricoli*, 5: 17-25.
- Teixeira, N.N.** 2010. Estudio de la formación de gotas de la pulverización. En: *Tecnologías de aplicación de agroquímicos*. Ed. INTA Alto Valle, Río Negro. pp. 67-75.
- Villalba, J. & E. Hetz.** 2010. Deriva de productos agroquímicos - Efectos de las condiciones ambientales. *Tecnología de aplicación de agroquímicos*. Red "PULSO". pp. 45-52
- Walla, W.J.** 1980. *Aerial Pesticide Application*. Texas A&M University. Texas, USA. 26 pp.
- Weber, R.** 1982. La quatrième session du panel FAO sur la mécanisation agricole : matériels et méthodes pour l'application de pesticides pour la préparation des sols et la protection des cultures. *Machinisme Agricole Tropical* (77): 54-63.
- Yates, W.E., N.B. Akesson & D.E. Bayer.** 1978. Drift of glyphosate spray applied with aerial and ground equipment. *Weed science* 26(6): 597-604