

Efecto del uso de boquillas de aire inducido y adyuvante sobre la calidad de aplicación de fitosanitarios

Platz, J. P., Bedmar, F., Manetti, P. L., Echarte, M. M. y Cendoya, M. G.

DOI: 10.31047/1668.298x.v41.n1.42315

RESUMEN

La aplicación de fitosanitarios debe garantizar un eficiente control de plagas tratando de evitar pérdidas que afecten la salud humana y el ambiente. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de boquillas hidráulicas tipo cono hueco convencional y aire inducido, y el agregado de un adyuvante (aceite vegetal metilado siliconado [AMS]), sobre la calidad de aplicación de un fungicida (penetración, distribución y homogeneidad) y las pérdidas por endoderivas en canopeos de trigo y soja. En cada cultivo, el diseño experimental fue completamente aleatorizado, con cuatro repeticiones y arreglo factorial boquillas x adyuvante. El espectro de gotas se evaluó con tarjetas sensibles al agua y con azul brillante como trazador dentro del caldo de aplicación. En trigo, el AMS no uniformizó la distribución de las gotas generadas por las boquillas de aire inducido, dado que dependió del estrato considerado dentro del cultivo. Asimismo, si bien el AMS redujo la endoderiva, esta fue independiente del tipo de boquilla. La distribución de las gotas en soja dependió del estrato en el cultivo y no del tipo de boquilla ni del agregado de AMS. Además, el AMS y su combinación con el tipo de boquilla no redujeron la endoderiva en este cultivo.

Palabras clave: distribución de gotas, boquillas de cono hueco, canopeo de trigo y soja, endoderivas

Platz, J. P., Bedmar, F., Manetti, P. L., Echarte, M. M. and Cendoya, M. G.(2024). Effect of using air-induction nozzles and adjuvants on the quality of pesticide application. *Agriscientia*, 41(1), 1-15.

ABSTRACT

Spraying of phytosanitary products must ensure efficient pest control while avoiding losses that could damage human health and environment. The objective of the study was to evaluate the effect of conventional hollow cone

and air-induced hydraulic nozzles, and the addition of an adjuvant (Methylated Seed Oil [MSO]) upon the application quality of a fungicide (penetration, distribution, and uniformity) and losses due to endodrift on wheat and soybean canopies. In each crop, the experimental design was completely randomized, with four replications and a factorial arrangement of nozzles x adjuvant. Droplet spectrum was evaluated by using water-sensitive cards, and brilliant blue as a tracer in the application mixture. According to the results, the MSO did not homogenize the distribution of droplets generated by air-induced nozzles in the wheat canopy, as it depended on the crop height evaluated. In addition, the MSO reduced endodrift independently of the type of nozzle used. The distribution of droplets on the soybean canopy depended on the height and not on the type of nozzle nor the addition of MSO. The MSO and its combination with the nozzle type did not reduce endodrift in this crop.

Keywords: droplet distribution, hollow cone nozzles, canopy of wheat and soybean, endodrift

Platz, J. P. (ORCID: 0000-0003-2454-9359), Bedmar, F. (ORCID: 0000-0002-0118-1224), Manetti, P. L. (ORCID: 0000-0001-5751-0405), Cendoya, M. G. (ORCID: 0000-0002-2523-3930): Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce, Argentina. Echarte, M. M. (ORCID: 0000-0002-1551-6072): Instituto de Innovación para la Producción Agropecuaria y el Desarrollo Sostenible, Balcarce, Argentina.

Correspondencia a: jplatz@mdp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La protección y cuidado de los cultivos extensivos mediante la aplicación de productos fitosanitarios, es una de las principales actividades para mantener rendimientos y márgenes económicos sustentables (Oerke, 2006; Etiennot y Plaza, 2010; Andrade, 2020; Satorre y Andrade, 2021). Sin embargo, su forma de aplicación debe garantizar eficiencia en el control de las plagas, además de reducir al mínimo pérdidas que podrían ocasionar daños a la salud y al ambiente (Chechetto et al., 2010; Rosenbaum et al., 2015; Gaona et al., 2019). Estas pérdidas se denominan deriva y corresponden a la fracción de producto aplicado que no es interceptada ni retenida por el objetivo (Nuyttens, 2007; Tepper, 2012; Enz et al., 2017). Por tal motivo, es una de las principales fuentes de contaminación por fitosanitarios (Felsot, et al., 2010; Socorro et al., 2016; Langenbach y Caldas, 2018). La magnitud de las pérdidas puede oscilar entre un 30 % y 50 % (Pergher et al., 1997; Van den Berg et al., 1999) y en algunos casos supera el 70 % (Sinfort et al., 2009; Yates et al., 2015).

Una pulverización se compone de una gran

cantidad de gotas de líquido de diferentes tamaños y velocidades según las condiciones de operación y calibración del equipo. Para lograr la mejor eficacia biológica de un fitosanitario, es indispensable que la mayor proporción de gotas se deposite en los objetivos y posea una correcta cobertura (Nuyttens et al., 2007; Ellis et al., 2011). Entre otras formas, dichos objetivos se pueden cumplir aumentando el número de gotas, reduciendo el diámetro de estas o bien incrementando el volumen de aplicación (Wolf, 2004; Renaudo et al., 2022; Nascimento et al., 2017). Sin embargo, la reducción del tamaño de las gotas está directamente asociada a un potencial aumento de pérdidas por derivas (Nascimento et al., 2022).

Existen en el mercado diversos tipos de boquillas hidráulicas, con usos definidos para condiciones diferentes y específicas (Cunha et al., 2003). En Argentina y otros países de la región (p. ej. Brasil), la utilización de boquillas de cono hueco convencional de bajo caudal continúa siendo una preferencia por parte de los aplicadores (Román et al., 2009). No obstante, si el equipo de aplicación no es calibrado correctamente, puede generar una proporción de gotas finas a muy finas que están directamente asociadas a la vulnerabilidad

de pérdidas por derivas. Este tipo de boquillas son usadas tradicionalmente en aplicaciones de fungicidas e insecticidas, como así también para barbechos químicos con herbicidas en busca de una mejor penetración y cobertura (Alves y Cunha, 2014; da Silva Camolese y Baio, 2016).

Para disminuir la proporción de gotas con alto riesgo de deriva, existen boquillas que poseen el sistema de aire inducido (AI). Estas boquillas, tienen la particularidad de generar mayor proporción de gotas clasificadas como muy gruesas a extremadamente gruesas, pudiéndose de esta manera reducir las pérdidas por derivas de evaporación. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que existe una relación inversa entre el tamaño de las gotas y su cobertura cuando el propósito consiste en lograr mayor cantidad de impactos o cobertura en el objetivo (Butler-Ellis et al., 2002; Dorr et al., 2013).

Debido a que los cultivos y malezas poseen diferentes estructuras foliares, la eficiencia del control químico no depende exclusivamente de la dosis del fitosanitario utilizado, sino también de la colocación y distribución del asperjado en el cultivo/maleza en relación con el modo de acción del producto y el comportamiento de las plagas (Gitiirana Neto y Cunha, 2016). Dependiendo del estado vegetativo de las plantas, su estructura foliar puede presentarse como un obstáculo cuando se aplican gotas de distintos tamaños en el asperjado de productos fitosanitarios (Souza et al., 2007). La mayoría de las aplicaciones se realiza desde la parte superior o dosel del cultivo, siendo las primeras hojas una barrera física para la penetración y distribución en los distintos estratos (Boschini et al., 2008).

La ubicación del objetivo a impactar en los distintos estratos del cultivo variará de acuerdo con el lugar de inicio del ciclo de los patógenos en una planta. La protección de las hojas en el estrato inferior de cultivos como soja o trigo constituye un desafío en aplicaciones de fungicidas. Ambos cultivos se caracterizan por tener vástagos principales y secundarios, macollos en trigo y ramas en soja. Sin embargo, en el trigo, como en la mayoría de los cereales de invierno o verano, las hojas se disponen en ángulos agudos con respecto a la vertical (canopia erectófila), mientras que en la soja se disponen en forma horizontal (canopia planófila). Esta variación en la disposición de las hojas respecto de un eje horizontal y vertical, supone diferencias en la penetración y distribución de las gotas asperjadas en cada estrato (alto, medio y bajo) (Souza et al., 2017). Por otra parte, el estrato suelo, puede representarse como el sitio de captación del volumen de aplicación que

se pierde directamente del asperjado o bien, del que puede caer por escurrimiento desde las mismas hojas. Las gotas o porción del volumen aplicado que no pueden ser retenidas, se definen como endoderiva, representando una porción del asperjado que resta eficiencia a la aplicación, así como también puede tener un efecto contaminante no deseado en suelo y aguas superficiales (Souza et al., 2007).

El uso de adyuvantes tiene varias finalidades, siendo una de ellas la protección de las gotas finas para evitar pérdidas por derivas, lo que constituye una práctica común en aplicaciones de cobertura total (Machado et al., 2019). Sin embargo, existen interacciones en la homogeneidad del líquido de pulverización debidas al tipo de formulación del fitosanitario y la adición de distintas clases de adyuvantes, lo que puede afectar la formación de gotas y el potencial de deriva (Appah et al., 2020). Entre los nuevos desarrollos de adyuvantes, se encuentran los organosiliconados y, dentro de este grupo, los más comercializados son los trisiloxanos (Cunha et al., 2010). Estos compuestos, reducen la tensión superficial de la gota, de tal forma que el producto es capaz de deslizarse por las aberturas microscópicas de las superficies de las hojas (cutículas). Por otra parte, pueden ser combinados con aceite vegetal refinado modificado, logrando de esta manera, cambios en el diámetro de las gotas y sus propiedades, los que contribuyen a disminuir el porcentaje de gotas propensas a la acción de vientos, y constituyen un factor auxiliar para reducir la deriva (Cunha et al., 2003).

Existen diversos parámetros para evaluar la calidad de una aplicación, siendo los más utilizados, el número o cantidad de gotas depositados sobre una superficie conocida (impactos cm^{-2}) y la clasificación de sus diámetros de cobertura estimada a través del Diámetro Mediano Volumétrico (DV0.5). Esta información es útil para conocer la eficiencia de las boquillas seleccionadas, teniendo en cuenta el destino ambiental y biológico (Durão y Boller, 2017). En tal sentido, una herramienta muy utilizada para evaluar y cuantificar la eficiencia de aplicación y su llegada al blanco es el uso de tarjetas hidrosensibles (TH) o papel sensible al agua (Brun et al., 2017). Otra forma de estudiar la eficiencia de aplicación y sus pérdidas es mediante el uso de trazadores con características fluorescentes o metálicas que se agregan al caldo de aplicación en el tanque del pulverizador y se aplican sobre un blanco determinado (Palladini et al., 2005).

El objetivo del trabajo consistió en evaluar los efectos de la estructura de los canopeos de los cultivos trigo y soja sobre la distribución y

volumen de las gotas generadas por boquillas de cono hueco de aire inducido y la utilización de un adyuvante AMS.

MATERIALES Y METODOS

Los experimentos se realizaron en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce (37° 45' 39" S; 58° 17' 56" O) en dos lotes destinados a la producción de trigo (*Triticum aestivum*) y soja (*Glycine max*) durante los ciclos 2016 y 2017. En la Tabla 1 se presentan las características de interés de los cultivos sobre los que se realizaron los experimentos.

Tabla 1. Información agronómica de los cultivos de trigo y soja.

	Cultivo	
	Trigo	Soja
Cultivo antecesor	soja	maíz
Variedad	BUCK Sy 300	Don Mario DM3810 RR
Grupo de madurez	7.8	3.8
Distancia entre líneas	21 cm	35 cm
Densidad de siembra	295 plantas m ⁻²	358.000 plantas m ⁻²
Fecha de siembra	5/7/2016	20/11/2016
Fecha de cosecha	2/1/2017	24/4/2017

Las pulverizaciones se realizaron mediante un botalón de 3 m de ancho de labor equipado con seis porta boquillas antigoteo a una distancia entre boquillas de 0,5 m con un equipo pulverizador (R&D sprayers) provisto de un tanque de CO₂. Durante las aplicaciones se mantuvo la presión constante a 72,5 lb pulg⁻² (equivalentes a 5,0 bar), y una velocidad de desplazamiento del equipo de 8,5 km h⁻¹. Las boquillas utilizadas fueron de cono hueco con un ángulo de 80 ° marca ALBUZ, ATR 80015 convencional (B. Conv) y TVI 80015 aire inducido (B. AI). El volumen de aplicación del caldo final sobre los cultivos fue de 105 L ha⁻¹.

Se utilizó un fungicida mezcla de fluxapyroxad 5 % + epoxyconazole 5 % + pyraclostrobin 8,1 % (Orquesta Ultra®; BASF) a una dosis de 1 L ha⁻¹ de formulado, según recomendaciones de marbete. El adyuvante consistió en un aceite vegetal metilado siliconado (AMS) (compuesto por esteres metílicos de ácidos grasos de aceites vegetales, 70 %; Rizospray Extremo®; Rizospray) a una dosis recomendada de 0,2 L ha⁻¹.

El diseño a campo fue completamente aleatorizado, con cuatro repeticiones y arreglo factorial por efecto de las boquillas (B. Conv y B. AI) y el adyuvante (AMS y sin adyuvante).

El fungicida en mezcla con AMS o solo, se

aplicó sobre el trigo el 15 de noviembre de 2016, cuando encontraba en inicios de floración (estado GS 61; Zadoks et al., 1974), con un promedio de tres macollos por planta y una altura de 90 ± 10 cm. Por su parte, las aplicaciones en soja se realizaron el 21 de febrero de 2017, cuando se encontraba en comienzo de floración (estado R1; Fehr et al., 1971) con promedios de tres ramas por planta y una altura de 90 ± 10 cm. Al momento de las aplicaciones, ambos cultivos difirieron en la cobertura foliar, siendo de 79,9 % para el trigo y 97,6 % para soja.

Para estudiar la dispersión de las gotas dentro del canopeo, se agregó como factor la altura dentro del cultivo, diferenciando cuatro estratos similares (alto, medio, bajo y a nivel del suelo). A tal efecto, en cada parcela se colocaron tres varillas portando, en cada una de las distintas alturas en el cultivo y en el suelo, una tarjeta hidrosensible (TH; 30 x 50 mm) y un portabjeto (PO; 30 x 49 mm) apareados y separados a 1 cm.

El espectro de gotas se determinó mediante la lectura de las TH digitalizadas con un escáner (1200 dpi) y analizadas con el software CIR 1.5. Sobre los PO de vidrio se extrajeron los depósitos de pulverización que contenían un trazador azul brillante (AB; LAQUI) al 3 % m/v que fue agregado previamente al caldo de aplicación. Este trazador, se utilizó para estimar la cantidad de depósitos de caldo en las gotas asperjadas en los distintos estratos de los cultivos. El trazador AB posee las ventajas de no degradarse rápidamente como otros productos y no interfiere con las propiedades de las formulaciones de los agroquímicos (Palladini et al., 2005). Luego de cada aplicación, los PO se recolectaron y guardaron en envases plásticos de 250 ml con tapa hermética para su posterior análisis en laboratorio mediante espectrofotometría. Las TH fueron recolectadas y guardadas en sobres de papel. Además, se guardó el caldo remanente del depósito del equipo para su posterior calibración en la curva de dilución del trazador en laboratorio.

Para todas las variables medidas, se ajustaron modelos lineales que consideraban la estructura del diseño completamente aleatorizado en parcelas subdivididas. En la parcela principal se ubicaron los niveles de la combinación tipo de boquilla de cono hueco (convencional o sin aire inducido y con aire inducido) y nivel de AMS (con y sin). La subparcela correspondió a la varilla (tres dentro de cada parcela principal) y la subparcela correspondió a la altura en la varilla donde se colocaba la TH y el PO (cuatro posiciones: alto, medio, bajo y suelo).

Se realizaron las pruebas de comparación de

medias pertinentes a través del test Tukey ($p \leq 0,05$). En el caso de haber necesitado transformar la variable, los resultados se muestran tanto en la escala transformada como en la escala original.

Los análisis se realizaron con el programa R (R Core Team, 2020); los modelos se ajustaron mediante la función lme del paquete nlme; las comparaciones múltiples se realizaron mediante los paquetes lsmeans (Russell, 2016) y multcomp (Hothorn et al., 2008); los gráficos se crearon con el paquete lattice (Sarkar, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura foliar semi-abierto (cultivo de trigo)

Respecto a la variable número de impactos, se detectó interacción entre los factores adyuvante y altura ($p=0,0054$) y entre el tipo de boquilla y la altura ($p < 0,0001$), pero no se detectó interacción entre los factores boquilla y adyuvante ($p=0,5407$), como así tampoco interacción triple ($p=0,6377$). En base a estos resultados se compararon: a) los impactos a distintos niveles de altura dentro de cada tipo de boquilla y luego los impactos logrados por cada tipo de boquilla dentro de cada altura, sin tener en cuenta la presencia o no de adyuvante, y b) los impactos colectados a distintos niveles de altura dentro de cada nivel de adyuvante y luego los de adyuvante dentro de cada altura, sin tener en cuenta el tipo de boquilla (Tabla 2).

Al comparar en valores absolutos, la distribución de las gotas fue descendente con mayor retención en el estrato superior. En particular, con las boquillas con inducción de aire no se encontraron diferencias entre los estratos medio-bajo y bajo-suelo. Además, se observó una progresiva disminución en el número de impactos hacia los estratos inferiores y mayores pérdidas a nivel del suelo en boquillas convencionales (Tabla 2). Tales

resultados, confirman que las hojas ubicadas en el tercio inferior de las plantas representan el objetivo más difícil de alcanzar en una pulverización (Souza et al., 2007).

A fin de tener una mejor interpretación respecto de la distribución de gotas dentro del dosel del cultivo, el número de gotas de cada estrato fue expresado como porcentaje del total logrado. En este sentido, la proporción en los estratos alto, medio y bajo resultó en un 39,1 %, 24,6 %, 20,4 % con B. AI y 47,9 %, 27,2 %, 15,4 % con B. Conv. Por su parte, a nivel del suelo las pérdidas por endoderivas fueron de un 16,0 % y 9,3 % con B. AI y B. Conv respectivamente (Figura 1).

De acuerdo con el análisis del porcentaje total de gotas que generó cada tipo de boquilla, se pudo determinar que las boquillas cono hueco convencionales generaron, en términos relativos, mayor número de impactos en el estrato alto del cultivo (8,9 %) respecto de las AI. Asimismo, redujeron las pérdidas en suelo (6,7 %), resultado opuesto cuando se analizaron como números absolutos (Tabla 2). Vucajnk et al. (2018), estudiaron el porcentaje de impactos y cobertura de un trazador obtenido con boquillas doble abanico plano de AI, en espigas, hojas y a nivel suelo en el cultivo de trigo, encontrando similares resultados en cada estrato del cultivo, incluso a nivel del suelo.

El agregado de un adyuvante (AMS) a la mezcla de fungicidas, redujo el número de impactos totales en los estratos del cultivo por unidad de superficie (195 a 171 Imp cm^{-2} , no incluye los impactos en el suelo; Tabla 2). En los estratos superiores, zona donde las gotas impactan directamente sobre las hojas expuestas (Cezar, 2013), no hubo diferencias significativas de esta variable por la presencia de adyuvante (AMS). En cambio, disminuyó significativamente el número de impactos sólo en el estrato bajo del cultivo y a nivel del suelo (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de la media del número de impactos (N° Imp) cm^{-2} generados por el tipo de boquilla y el adyuvante en distintos estratos del cultivo de trigo. Letras minúsculas iguales no difieren significativamente entre alturas (Tukey $\alpha=0,05$). Letras mayúsculas iguales no difieren significativamente entre tipo de boquilla o el adyuvante dentro de una misma altura ($\alpha=0,05$).

Estrato	Tipo de boquilla						Adyuvante					
	Con aire inducido (B. AI)			Sin aire inducido (B. Conv.)			Con adyuvante		Sin adyuvante			
	N° Imp	Log (N° Imp)		N° Imp	Log (N° Imp)		N° Imp	Log (N° Imp)				
Alto	31,4	3,5	a B	266,5	5,6	a A	94,7	4,6	a A	88,4	4,5	a A
Medio	19,8	3,0	b B	148,6	5,0	b A	46,3	3,8	b A	63,5	4,2	b A
Bajo	16,1	2,8	bc B	82,5	4,4	c A	30,3	3,4	c B	43,8	3,8	c A
Suelo	12,5	2,5	c B	46,6	3,8	d A	19,6	3,0	d B	29,9	3,4	d A

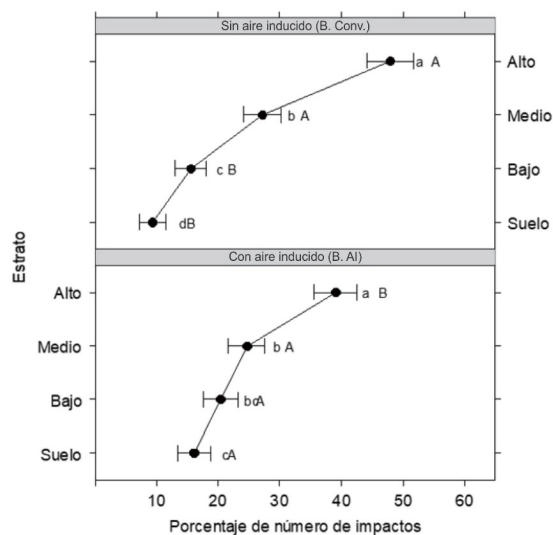


Figura 1. Porcentaje del número de impactos generados por el tipo de boquilla en distintos estratos del cultivo de trigo. Promedios acompañados con al menos una letra minúscula igual no difieren significativamente entre alturas dentro de un mismo tipo de boquilla (Tukey $\alpha=0,05$). Promedios acompañados con al menos una letra mayúscula igual no difieren significativamente entre tipos de boquilla dentro de una misma altura ($\alpha=0,05$). Las barras horizontales representan los intervalos del 95 % de confianza para las medias del tratamiento.

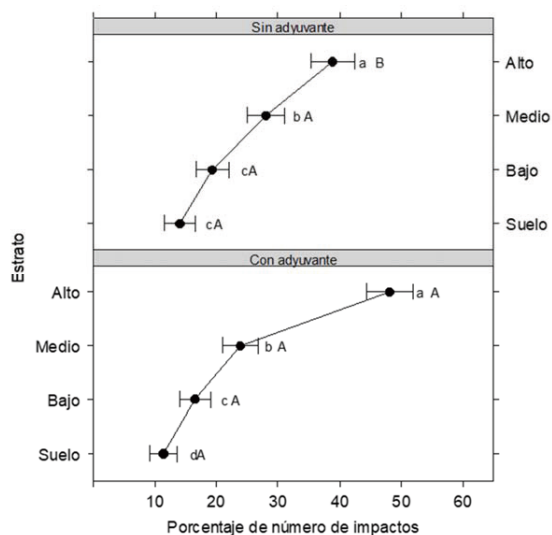


Figura 2. Porcentaje del número de impactos logrados por el uso de un adyuvante en distintos estratos del cultivo de trigo. Promedios acompañados con al menos una letra minúscula igual no difieren significativamente entre alturas dentro de un mismo nivel de adyuvante (Tukey $\alpha=0,05$). Promedios acompañados con al menos una letra mayúscula igual no difieren significativamente entre niveles de adyuvante dentro de una misma altura ($\alpha=0,05$). Las barras horizontales representan los intervalos del 95 % de confianza para las medias del tratamiento.

La proporción de gotas se distribuyó en un 48,2 %, 23,8 %, 16,5 % con AMS y 38,8 %, 28,0 %, 19,3 % sin AMS para los estratos alto, medio y bajo respectivamente. A nivel del suelo las pérdidas por endoderivas fueron de 11,4 % y 14,0 % con y sin AMS respectivamente (Figura 2).

A nivel de suelo, el número de impactos en las parcelas sin adyuvante fue mayor tanto en números absolutos (Tabla 2) como en porcentaje (Figura 2). Tal situación fue posiblemente debido a que las gotas producidas son más pesadas y presentan mayor velocidad de caída, así como menor efecto de adherencia en las hojas dado que no logran ser retenidas en los estratos superiores (Nuytens et al., 2009). En cambio, a igual volumen, aquellas gotas que contienen adyuvante, poseen una menor densidad y peso, permitiéndoles una mayor deposición a partir de su movimiento por distintos estratos del cultivo. Tal situación es relevante cuando se busca disminuir las pérdidas de productos fitosanitarios en aplicaciones sobre doseles abiertos.

En la práctica, el agregado de un adyuvante en las aplicaciones de fungicidas no suele ser recomendado por las empresas fabricantes dado que sus propias formulaciones ya lo contienen. Sin

embargo, estos resultados aportan información valiosa para determinar con qué tipo de boquilla se logra mayor eficiencia y si es conveniente agregar un adyuvante, dependiendo en qué estrato o altura del cultivo se encuentra el objetivo a proteger o controlar.

Según los resultados analizados como porcentaje total de gotas, el agregado del adyuvante (AMS) mejoró la retención en el estrato alto (9,3 %) sin encontrarse diferencias en los estratos inferiores (Figura 2). Estos resultados concuerdan con los presentados por Meng et al. (2018), quienes aplicaron un insecticida para el control de pulgón en trigo y evaluaron el efecto del agregado de adyuvantes (AMS) en la penetración de tres estratos del cultivo, y lograron mayor densidad de gotas y cobertura en el dosel superior. En otro experimento, Stoletniy Bergalli (2013) no encontraron diferencias significativas al agregar un adyuvante (nonilfenol etoxilado) en la aplicación de fungicida entre los estratos superior e inferior en trigo. Machado et al. (2019) utilizaron boquillas doble abanico plano con el agregado de un adyuvante (sulfato de éter de sodio) a la solución de fungicida y lograron reducir el volumen de aplicación de 150 a 75 L ha⁻¹ sin afectar la

deposición de gotas en el cultivo de trigo. Chen et al. (2020) mejoraron la deposición y la cobertura con la adición de adyuvante. En dicho trabajo, la cantidad de gotas en el estrato inferior del cultivo de arroz fue sólo del 30 % de la capa superior y la densidad de la cobertura de gotas fue del 50 % en la etapa de floración.

En lo referente a la variable DV0.5, no se detectó interacción triple ($p=0,1898$) entre el tipo de boquilla con hueco, adyuvante (AMS) y la altura del cultivo. Para el factor tipo de boquilla, se observó una interacción con la altura y, por consiguiente, no se pudo concluir sobre su efecto principal ($p=0,0105$). El diámetro de las gotas disminuyó en función de los estratos del cultivo para ambos tipos de boquillas con hueco, pero manifestando patrones diferentes (Figura 3).

En el caso de las B. Conv las gotas mayores fueron retenidas en el estrato superior (286,8 μm) mientras que en los siguientes estratos (medio = 192,5 μm y bajo = 179,9 μm) fueron significativamente inferiores al estrato alto, pero no difirieron entre sí. El diámetro de las gotas a nivel suelo fue de 177,3 μm .

El diámetro de las gotas generadas por las B. Al fue, en promedio, 3,5 veces mayor respecto de

las B. Conv. Su diámetro decreció a medida que penetraron en el dosel del cultivo, sin detectarse diferencias significativas entre los estratos alto (872,0 μm) y medio (770,3 μm) y entre este último y el bajo (656,9 μm). A nivel del suelo, el diámetro fue de 548,1 μm , sin diferir del estrato bajo del cultivo.

Según Chechetto y Antuniassi (2012), las boquillas Al generan un espectro de gotas más heterogéneo en comparación con las boquillas convencionales, lo que fue similar a los resultados obtenidos en este estudio. La amplitud en los intervalos de confianza determinados muestra una mayor variación del tamaño en las gotas generadas con aire inducido, siendo el diámetro más uniforme para las boquillas convencionales y proporcional a la magnitud de la media que está estimando (Figura 3). En función a la energía de impacto de las gotas sobre el objetivo, una parte de estas se pegan en el punto de impacto mientras el resto sale de la superficie. Como función de la energía de impacto, una gota puede rebotar, en lo que se conoce como rebote parcial, o varias caídas de satélite se rompen, en lo que se conoce como fragmentación de fijación (Massinon y Lebeau, 2012).

Los tamaños de gotas colectados con boquillas Al no difirieron entre estratos contiguos sino entre estratos alternados. Este resultado podría explicarse por la propia arquitectura de la planta, es decir, la disposición de las hojas y su forma angosta, casi erectas, permitiría la distribución a estratos inferiores. Además, cuando el cultivo se encuentra en floración, ocurre una elongación de los entrenudos del tallo que separa a las hojas entre sí y eleva todo el follaje generando abundantes espacios. Esta estructura final del cultivo facilita el acceso a las gotas de una pulverización tradicional desde arriba hacia abajo, particularmente a partir del estado de hoja bandera en adelante (Massaro, 2008).

Sobre el estrato suelo, el diámetro de las gotas que representan las pérdidas por endoderiva fue significativamente superior en las generadas por boquillas Al. Stoletniy Bergalli (2013), evaluó la aplicación de fungicida en trigo y concluyó que la cantidad de caldo depositado y su distribución en los estratos del cultivo, no fueron significativamente diferentes para los tamaños de gotas evaluados. Charbonnier et al. (2011), tampoco detectaron deposiciones diferenciales según estratos de trigo, por efecto del tamaño de gota cuando aplicaron gotas muy gruesas (375-450 micras) y finas (100-175 micras).

En lo referente al adyuvante (AMS), no se observó efecto de interacción con ninguno de

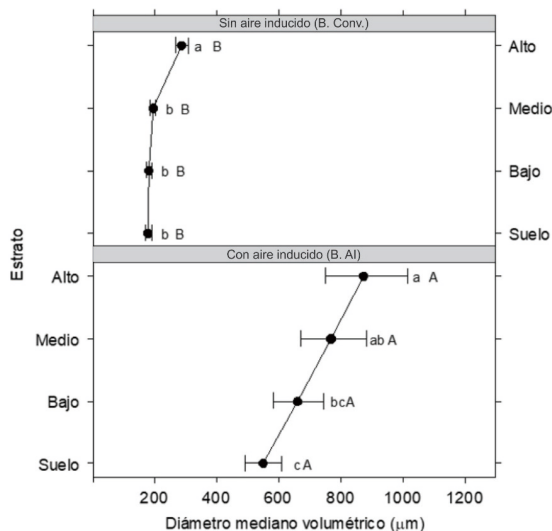


Figura 3. Diámetro Mediano Volumétrico (DV0.5) logrado por el tipo de boquilla en distintos estratos del cultivo de trigo. Promedios acompañados con al menos una letra minúscula igual no difieren significativamente entre alturas dentro de un mismo tipo de boquilla (Tukey $\alpha=0,05$). Promedios acompañados con al menos una letra mayúscula igual no difieren significativamente entre tipos de boquilla dentro de una misma altura ($\alpha=0,05$). Las barras horizontales representan los intervalos del 95 % de confianza para las medias del tratamiento.

los otros factores estudiados, pero presentó un efecto principal significativo sobre el DV0.5 ($p=0,0030$). Dichos resultados coinciden con Martini et al. (2015), quienes evaluaron siete adyuvantes distintos y no encontraron diferencias entre dos tipos de boquillas abanico plano con y sin inducción de aire.

A partir del análisis de los depósitos de AB, se observó que no existió interacción triple significativa ($p=0,2382$). Además, el adyuvante no interactuó con la altura ni el tipo de boquilla ($p=0,8304$ y $p=0,9542$, respectivamente), y tampoco se observó un efecto significativo sobre los $\mu\text{g cm}^{-2}$ ($p=0,0984$). En este caso, se analizaron los efectos de la interacción entre el tipo de boquilla y la altura ($p<0,0001$). En este sentido, se observó que las B. Conv lograron una mayor retención de depósitos en los estratos superiores y menores pérdidas a nivel del suelo (Tabla 3).

Estos resultados coinciden con el número de impactos por cm^2 cuando se analizaron los tipos de boquillas como hueco convencional con TH. En cambio, las boquillas como hueco AI mostraron mayor penetración del caldo en el canopeo del cultivo en los estratos medios e inferiores (64,8 %) comparadas con las boquillas convencionales, así como mayores pérdidas a nivel del suelo (86,1 % de endoderiva) comparado con las boquillas convencionales (Tabla 3). Los resultados contradictorios entre las lecturas de las TH y los PO a nivel suelo, podrían deberse a que las TH sólo cuantifican impactos por unidad de superficie, mientras que la concentración del trazador estuvo en función del tamaño de los impactos que llegaron a nivel del suelo.

Por otra parte, Vajs et al. (2008) al comparar boquillas abanico plano convencionales y de AI, no encontraron diferencias significativas en los depósitos de gotas logrados en estratos superiores y medio del cultivo de trigo, mientras que en el tercio inferior lograron mayores depósitos con boquillas de AI. Sus resultados, al igual que los obtenidos en este trabajo, confirmaron mayor

número de depósitos a nivel de suelo con este tipo de boquillas, generando mayores pérdidas por endoderiva.

Los datos obtenidos con los PO se transformaron a porcentaje para su análisis de la misma manera que se analizó con la variable impactos en las TH. El porcentaje de distribución de la concentración de AB dentro del follaje del cultivo, fue similar al obtenido con el análisis de las TH. Es decir que, con boquillas de aire inducido, las capturas en porcentajes son menores que las boquillas sin aire en los estratos altos e inferiores que en los estratos a nivel de suelo (Figura 4).

Si bien el porcentaje de depósitos generados por boquillas como hueco convencionales es

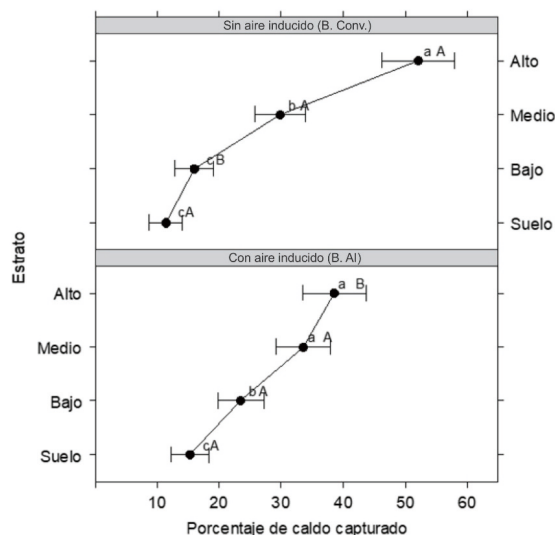


Figura 4. Porcentaje de caldo depositado en los portaobjetos (PO) de acuerdo con el tipo de boquilla en distintos estratos del cultivo de trigo. Promedios acompañados con al menos una letra minúscula igual no difieren significativamente entre alturas dentro de un mismo tipo de boquilla (Tukey $\alpha=0,05$). Promedios acompañados con al menos una letra mayúscula igual no difieren significativamente entre tipos de boquilla dentro de una misma altura ($\alpha=0,05$). Las barras horizontales representan los intervalos del 95 % de confianza para las medias del tratamiento.

Tabla 3. Concentración de azul brillante en distintos estratos del cultivo de trigo. Letras minúsculas iguales no difieren significativamente entre alturas (Tukey $\alpha=0,05$). Letras mayúsculas iguales no difieren significativamente entre tipo de boquilla dentro de una misma altura ($\alpha=0,05$).

Estrato	Tipo de boquilla							
	Con aire inducido (B. AI)				Sin aire inducido (B. Conv.)			
	$\mu\text{g cm}^{-2}$	$\text{Log}(\mu\text{g cm}^{-2})$			$\mu\text{g cm}^{-2}$	$\text{Log}(\mu\text{g cm}^{-2})$		
Alto	379,4	5,9	a	A	435,4	6,1	a	A
Medio	309,1	5,7	a	A	210,2	5,4	b	B
Bajo	212,3	5,4	b	A	106,2	4,7	c	B
Suelo	137,7	4,9	c	A	74,0	4,3	d	B

significativamente mayor en el estrato alto, los resultados logrados en los estratos siguientes (medio y bajo) con el uso de boquillas de AI incrementan su retención en un 24,9 %.

Estructura foliar semi-cerrado (cultivo de soja)

El número de impactos no presentó interacción significativa ($p=0,1700$), ni tampoco diferencias en el número de impactos debidas al uso del adyuvante ($p=0,1760$). Sin embargo, los resultados arrojaron diferencias en el número de impactos entre las distintas alturas (Figura 5) y entre los tipos de boquillas empleadas (Figura 6). En tal sentido, el número de impactos difirió entre los distintos estratos y su distribución decreció significativamente hacia los estratos inferiores, independientemente del tipo de boquilla y del adyuvante, con una amplitud mayor en los intervalos de confianza en el estrato superior y marcadamente inferior a nivel del suelo (Figura 5). Asimismo, se determinó que, a pesar de que los caudales erogados por ambas boquillas fueron similares, la boquilla de tipo convencional generó significativamente mayor cantidad de impactos, así como mayor variabilidad en su distribución que la de AI (Figura 6), lo que está relacionado con las características intrínsecas de esta última.

Si se tiene en cuenta que las recomendaciones mínimas de densidades de gotas para alcanzar una buena eficacia de control en cultivos bajos son de 30-40 para fungicidas sistémicos y 50-70 para fungicidas de contacto (Texeira, 2010), en este experimento, las gotas generadas por las boquillas de aire inducido no habrían generado los impactos mínimos necesarios.

El cultivo de soja posee una arquitectura foliar distinta al cultivo de trigo, por consiguiente, es de esperar que la distribución en el número de impactos por cm^2 en los distintos estratos, pueda variar con respecto a su distribución. En un canopeo de hojas más planófilas, como es el del cultivo de soja, la distribución de gotas está influenciada por el estadio fenológico en que se encuentre y la cercanía de los entresurcos junto a la intersección que ocurra entre plantas, ramas y hojas. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Álvarez (2016), quien comparó distintos tipos de boquillas a diferentes tasas de aplicación, y por Cunha y Peres (2010), quienes estudiaron el agregado de AMS y surfactante (dodecil benceno 100 ml de producto en 100 L de agua).

Para una mejor interpretación de la distribución de los impactos en el canopeo del cultivo de soja, se calcularon los porcentajes de distribución en los

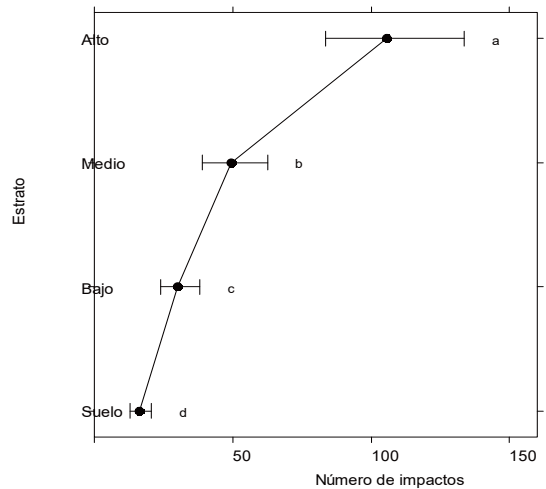


Figura 5. Número de impactos (Imp cm^{-2}) en distintos estratos del cultivo de soja. Promedios acompañados con al menos una letra minúscula igual no difieren significativamente entre alturas (Tukey $\alpha=0,05$). Las barras horizontales representan los intervalos del 95 % de confianza para las medias del tratamiento.

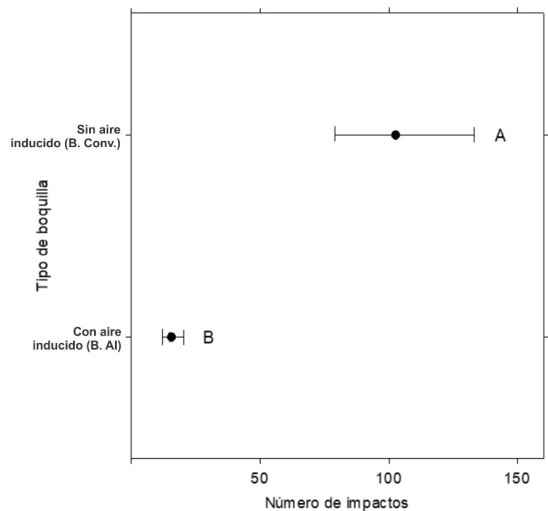


Figura 6. Número de impactos (Imp cm^{-2}) generados por el tipo de boquilla en el cultivo de soja. Promedios acompañados con al menos una letra mayúscula igual no difieren significativamente entre tipo de boquilla ($\alpha=0,05$). Las barras horizontales representan los intervalos del 95 % de confianza para las medias del tratamiento.

distintos estratos. Los resultados indicaron que un 50,3 % de los impactos se recibieron en el estrato superior seguido por 24,2 % y 16,0 % en los estratos medio e inferior respectivamente, mientras que a nivel suelo las pérdidas por endoderivas fueron de un 9,5 %. Barbosa et al. (2009) evaluaron distintas tasas de aplicación a distintas velocidades, y concluyeron que aún en aplicaciones con tasas

de pulverización más altas y velocidades de tractor más bajas, no se lograron aumentar las deposiciones en el estrato inferior (65 %, 27 % y 8 %: alto, medio y bajo, respectivamente).

En la misma línea de trabajo que la nuestra, Olivet et al. (2013, utilizando boquillas que generan gotas medias y muy gruesas, informaron diferencias significativas entre el número de impactos obtenido en el estrato superior y el estrato medio, así como los obtenidos entre el haz o el envés para ambos estratos. Boschini et al. (2008) encontraron disminuciones significativas en la cantidad de producto depositado desde el estrato superior hasta el inferior, independientemente del volumen y la boquilla utilizada. Además, estos autores citan a Antuniassi et al. (2004) quienes, en otro experimento, también concluyen que la cobertura de las hojas de soja influye significativamente en la deposición de las gotas, con valores decrecientes en las partes inferiores de la planta, siendo las gotas más finas las que logran penetrar las partes medias e inferiores de las plantas.

En cuanto al DV0.5, los resultados del análisis de la varianza mostraron que no hubo interacción triple ($p=0,3242$), mientras que los efectos del tipo de boquilla y el adyuvante, dependieron de la altura considerada ($p=0,0086$ y $p=0,0134$, respectivamente). Por tal motivo, se compararon los valores de DV0.5 en las distintas alturas dentro de cada tipo de boquilla, y viceversa, así como dentro de cada nivel de uso de adyuvante y viceversa.

Los resultados indicaron que, al igual que lo observado en trigo, el promedio del diámetro mediano disminuye en la medida que el caldo asperjado ingresa en el canopeo del cultivo. Asimismo, el tamaño de las gotas generadas con las boquillas de AI fue significativamente superior en todos los estratos, así como también los intervalos de confianza fueron claramente más amplios que las boquillas sin aire (Figura 7). En general, un espectro de gotas muy gruesas proporciona una mejor cobertura y deposición de la pulverización que un espectro de gotas medias (Bretthauer et al., 2008). De todas formas, Debortoli (2011) encontraron en cuatro cultivares de soja que un espectro de gotas finas (DVM, 119 a 216 μm) proporciona buenos resultados en términos de deposición de gotas, control de la enfermedad y rendimiento. Por su parte, Álvarez (2016) evaluó distintos tipos de boquillas que generan diversos diámetros medios en la aplicación de un fungicida en soja. De dicho trabajo, se concluyó que utilizando boquillas sin aire existe un notable acortamiento de la brecha entre tamaños mínimos y máximos de impactos, que van desde 260 μm

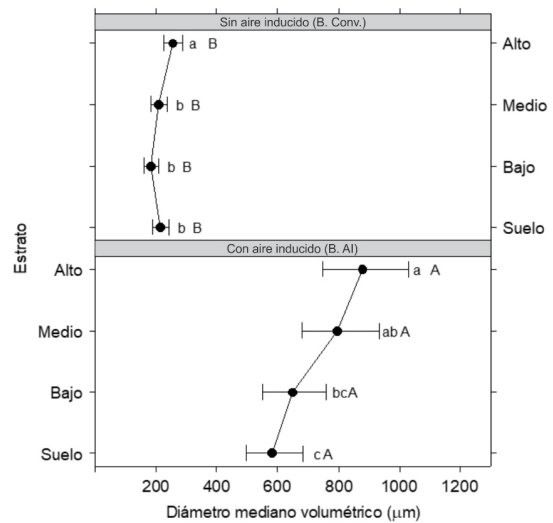


Figura 7. Diámetro Mediano Volumétrico (DV0.5) generado por el tipo de boquilla en distintos estratos del cultivo de soja. Promedios acompañados con al menos una letra minúscula igual no difieren significativamente entre estratos dentro de un mismo tipo de boquilla (Tukey $\alpha=0,05$). Promedios acompañados con al menos una letra mayúscula igual no difieren significativamente entre tipos de boquilla dentro de una misma altura ($\alpha=0,05$). Las barras horizontales representan los intervalos del 95 % de confianza para las medias del tratamiento.

sobre el estrato superior hasta 150 μm en el estrato inferior.

En lo referente a las diferencias observadas entre estratos, en las boquillas cono hueco convencionales solo se registraron diferencias entre el estrato alto y los inferiores, mientras que en las de AI, los mayores tamaños se alcanzaron en los estratos alto y medio. Por su parte, al analizar las boquillas convencionales a nivel del suelo, el diámetro de las gotas que estarían vinculadas con la generación de una endoderiva, fue significativamente inferior al generado por boquillas de AI.

Respecto del aporte del adyuvante (AMS) en la interacción con los estratos, pudo observarse un comportamiento similar en la distribución de los diámetros analizados en las distintas boquillas cono hueco. En este sentido, el estrato superior continuó desempeñando el rol de retener o interceptar la entrada de un amplio rango de gotas gruesas, permitiendo sólo el pasaje de aquellas con un acotado margen de tamaños hacia el interior hasta las hojas basales de la planta. Estos resultados son coincidentes con los reportados por Álvarez (2016), quien comparó distintos tipos de boquillas (cono hueco integral, abanico plano y cono hueco con disco y núcleo) con y sin el agregado de adyuvante (AMS), y encontró diferencias en los

diámetros de las gotas en los estratos medios e inferiores en la aplicación de un fungicida en soja. En el presente trabajo, las gotas más pequeñas sin adyuvante (AMS) fueron retenidas en el estrato inferior, probablemente por su mayor tiempo de caída y posibilidad de ser interceptadas por las hojas contiguas (Figura 8). Igualmente, no se observaron diferencias entre los diámetros de los estratos bajo y suelo ni tampoco en cada nivel de adyuvante (AMS), como así, tampoco se encontraron diferencias significativas en cada estrato debidas al agregado del adyuvante (AMS).

Teske et al. (2005), en ensayos con atomizadores rotativos, encontraron que la variación en el caudal de aplicación por sí misma, no tuvo un gran efecto en la formación de gotas, pero si dependía del agregado de un adyuvante antideriva (poliacrilamida) por efectos de cambios en la tensión superficial, lo que produce mejores asperjados.

En lo referente a la concentración de azul brillante, el análisis de la varianza indicó la existencia de interacción triple ($p=0,0181$). Por este motivo, se decidió estudiar las combinaciones de tipo de boquilla y uso de adyuvante como cuatro tratamientos distintos, es decir, ignorando la estructura factorial de estos y, bajo este enfoque, el resultado del análisis de la varianza fue dentro

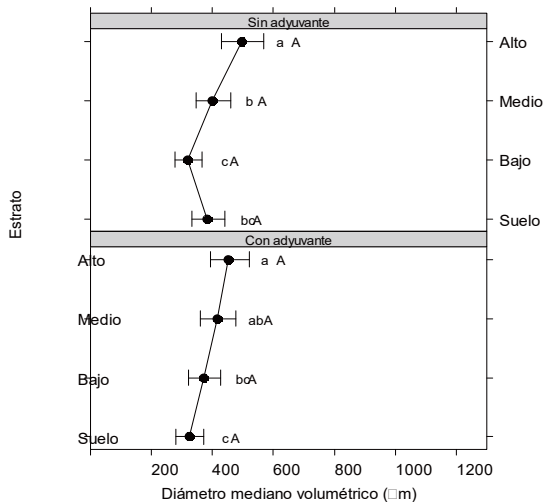


Figura 8. Diámetro Mediano Volumétrico (DV0.5) generado por el efecto del adyuvante en distintos estratos del cultivo de soja. Promedios acompañados con al menos una letra minúscula igual no difieren significativamente entre alturas dentro de un mismo nivel de adyuvante (Tukey $\alpha=0,05$). Promedios acompañados con al menos una letra mayúscula igual no difieren significativamente entre niveles de adyuvante dentro de una misma altura ($\alpha=0,05$). Las barras horizontales representan los intervalos del 95 % de confianza para las medias del tratamiento.

de cada nivel de tratamiento y los niveles de tratamiento dentro de cada altura. Los resultados indicaron falta de interacción entre los tratamientos y las alturas ($p=0,0870$), así como tampoco efecto principal de los tratamientos ($p=0,6333$). Sin embargo, se encontró efecto significativo de la altura, y la prueba de comparaciones múltiples indicó una disminución significativa en cada estrato del cultivo. Los resultados fueron calculados y presentados en porcentaje para ser comparados con el número de impactos (Figura 9).

Los distintos estratos del canopeo del cultivo de soja fueron el factor que determinó la dinámica de distribución de las gotas que ingresaron desde el asperjado de la aplicación. En este sentido, el mayor porcentaje de gotas fue retenido en el estrato superior (48,5 %) y disminuyó significativamente hacia los estratos medios y bajo (27,7 % y 19,6 %, respectivamente). El porcentaje de gotas que pueden perderse por endoderivas fue de 14,4 % con un rango o intervalo de confianza de 11,6 % a 17,2 %. Esta amplitud se podría atribuir a la diferencia del DVM que genera cada tipo de boquilla.

Estos resultados son similares y mantienen las mismas proporciones en cada estrato que las lecturas obtenidas respecto del número de impactos por unidad de superficie. El menor número de gotas obtenidas dentro del canopeo

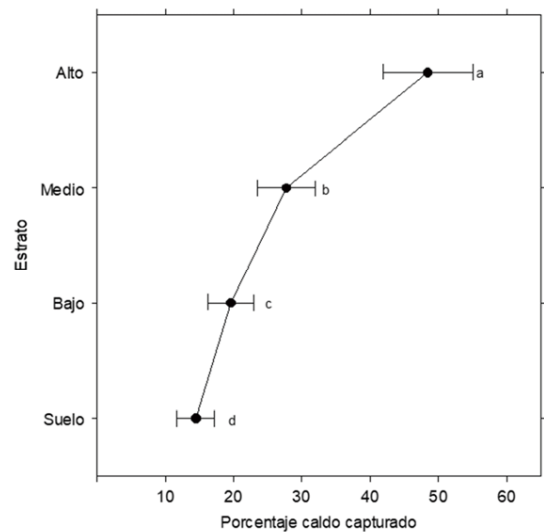


Figura 9. Porcentaje del depósito de caldo capturado en portaobjetos (PO) independientemente del tipo de boquilla y el uso de adyuvante logrado en cada estrato del cultivo de soja. Promedios acompañados con al menos una letra minúscula igual no difieren significativamente entre estratos (Tukey $\alpha=0,05$). Las barras horizontales representan los intervalos del 95 % de confianza para las medias del tratamiento.

(tercios inferior y medio), en comparación con el tercio superior, está relacionado con una reducción significativa en el DMV de las gotas que llegaron al interior del cultivo (Debortoli, 2011). La variabilidad de los depósitos, expresados en porcentaje, disminuyó desde el ápice hasta la base del cultivo, lo que es coincidente con los resultados obtenidos por Souza et al. (2007).

En este experimento se pudo observar que, independientemente del tipo de boquilla y del uso de un adyuvante, la penetración de las gotas en el canopeo del cultivo de soja presentó una distribución descendente a partir del estrato superior del cultivo. Las diferencias encontradas entre los estratos son similares a lo determinado por Cunha et al. (2006), quienes reportaron diferencias de un 49,6 % entre la concentración del trazador en el estrato superior e inferior, evaluando distintos tipos de boquillas con y sin aire inducido en el control de roya asiática de la soja. Por tal motivo, en general las aplicaciones fracasan cuando el objetivo a controlar se encuentra en los estratos inferiores, lo que se agrava debido a una deficiente regulación del equipo dado que puede saturar la parte superior de la planta (Zhu et al., 2006). Álvarez (2016), usando un trazador (fluoresceína sódica en hojas expresados en $\mu\text{g cm}^{-2}$) para determinar los depósitos de las gotas en distintos estratos del cultivo de soja, observó que los valores medios decrecen desde el ápice hasta la base del cultivo, y concluyó que lo mismo puede ocurrir con los depósitos de los principios activos de los fitosanitarios.

Según lo expresado, cuantificar las deposiciones en las hojas apicales carecería de importancia, por tener exposición directa sin obstáculos al barral de la pulverizadora. Por este motivo, esas hojas pasan a ser consideradas una barrera física a la transposición de los productos aplicados hacia las hojas internas y basales de la planta. Tal situación, también fue observada por Cunha et al. (2006), quienes después de evaluar deposiciones de diferentes tipos de boquillas sobre soja, concluyeron que gran parte de la cobertura de las partes internas de difícil acceso ocurrió cuando se utilizaron boquillas de pulverización que promovían gotas más pequeñas.

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que el AMS no uniformizó la distribución de las gotas generadas por las boquillas de aire inducido en el canopeo del cultivo de trigo, dado que esta dependió de la altura a la cual se evaluó. Asimismo, si bien el

AMS redujo la generación de endoderiva, esta fue independiente del tipo de boquilla utilizado. Por su parte, la distribución de las gotas en el cultivo de soja dependió de la altura a la cual fue determinada y no del tipo de boquilla utilizada ni del agregado de un adyuvante; mientras que el AMS y su combinación con el tipo de boquilla no redujeron la endoderiva.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, I. J. M. (2016). *Manejo y uso eficiente del tamaño, uniformidad y distribución de la gota de pulverización en cultivo de soja (Glycine max L. Merrill)*. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias, Corrientes, Argentina.
- Alves, G. S. y Cunha J. P. A. R. (2014). Field data and prediction models of pesticide spray drift on coffee crop. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(8), 622-629 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000800006>
- Andrade, F. H. (2020). Los desafíos de la agricultura global. Ediciones INTA. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/9137>
- Antuniassi, U. R., Camargo, T. V., Bonelli, M. A. P. O. y Romagnole, E. W. C. (20-22 de octubre, 2004). *Avaliação da cobertura de folhas de soja em aplicações terrestres com diferentes tipos de pontas*. En: *III Simpósio Internacional sobre Técnicas de Aplicação de Agrotóxicos*. Botucatu, Brasil. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais.
- Appah, S., Jia, W., Ou, M., Wang, P. y Asante, E. A. (2020). Analysis of potential impaction and phytotoxicity of surfactant-plant surface interaction in pesticide application. *Crop protection*, 127, 104961. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104961>
- Barbosa, R. N., Griffin, J. L., y Hollier, C. A. (2009). Effect of spray rate and method of application in spray deposition. *Applied engineering in agriculture*, 25(2), 181-184. <https://doi.org/10.13031/2013.26327>
- Boschini, L., Contiero, R. L., Macedo Júnior, E. K. y Guimarães, V. F. (2008). Avaliação da deposição da calda de pulverização em função da vazão e do tipo de bico hidráulico na cultura da soja. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 30(2), 171-175. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i2.1789>
- Brethauer, S. M., Mueller, T. A., Derksen, R. C., Zhu, H. y Bode, L. E. (2008). The effects of spray application rate and droplet size on applications to control soybean rust. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 084219. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.25050>
- Brun, M., Platz, P., Pagnuco, I. A., Pastore, J. I. y Ballarin, V.

- (20-22 de septiembre, 2017). *Detection and validation of drops generated by agrochemicals application*. En XVII Workshop on Information Processing and Control (pp. 1-6). IEEE. <http://doi.org/10.23919/RPIC.2017.8214347>
- Butler-Ellis, M. C., Swan, T., Miller, P. C. H., Waddelow, S., Bradley, A. y Tuck, C. R. (2002). PM—Power and Machinery: Design factors affecting spray characteristics and drift performance of air induction nozzles. *Biosystems Engineering*, 82(3), 289-296. <https://doi.org/10.1006/bioe.2002.0069>
- Cezar, H. S. (2013). *Qualidade da aplicação em trigo conforme reduções da taxa aplicada em associação com diferentes pontas de pulverização*. Disertación de Maestría. Universidad Federal de Santa María, Santa María, Brasil.
- Cunha, J. P. A. R., Dos Reis, E. F. y de Oliveira Santos, R. (2006). Controle químico da ferrugem asiática da soja em função de ponta de pulverização e de volume de calda. *Ciência Rural*, 36(5), 1360-1366. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000500003>
- Cunha, J. P. A. R. D. y Peres, T. C. M. (2010). Influência de pontas de pulverização e adyuvante no controle químico da ferrugem asiática da soja. *Acta Scientiarum Agronomy*, 32(4), 597-602. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i4.2502>
- Cunha, J. P. A. R. D., Teixeira, M. M., Coury, J. R. y Ferreira, L. R. (2003). Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. *Planta daninha*, 2(2), 325-332. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582003000200019>
- Charbonnier, G., Nadal, N. y Lafluf, P. (2011). *Efecto del tipo de boquilla y el volumen en las aplicaciones para el control de enfermedades en trigo* [Tesis de grado]. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay.
- Chechetto, R. G., Gandolfo, M. A., Scacalossi, D., Voltan, D. S., Stefani, V. A. y Domingues, D. B. (2010). Influência da temperatura superficial e umidade do solo em depósitos nas aplicações de agrotóxicos. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, 17(2), 40-46. http://www.faeef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/eM3uiBU6NA8fRw7_2013-5-10-16-30-39.pdf
- Chechetto, R. G. y Antuniassi, U. (2012). Espectro de gotas gerado por diferentes adyuvantes e pontas de pulverização. *Energia na Agricultura*, 27(3), 130-142. <http://hdl.handle.net/11449/137396>
- Chen, P., Lan, Y., Huang, X., Qi, H., Wang, G., Wang, J., Wang, L. y Xiao, H. (2020). Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle. *Agronomy*, 10(2), 303. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020303>
- Debortoli, M. P. (2011). *Efeito dos espectros de gota associados a diferentes arquiteturas de cultivares de soja no controle da ferrugem* [Tesis de Doctorado]. Universidad Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.
- Da Silva Camolese, H. y Baio, F. H. R. (2016). Deposição de agrotóxicos pela pulverização noturna em volume de aplicação reduzido na cultura do algodoeiro. *Agrarian*, 9(34), 365-373. <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/4423>
- Dorr, G. J., Hewitt, A. J., Adkins, S. W., Hanan, J., Zhang, H. y Noller, B. (2013). A comparison of initial spray characteristics produced by agricultural nozzles. *Crop Protection*, 53, 109e117. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.06.017>
- Durão, C. F., y Boller, W. (2017). Spray nozzles performance in fungicides applications for Asian soybean rust control. *Engenharia Agrícola*, 37(4), 709-716. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n4p709-716/2017>
- Ellis, M. C. B., Lane, A. G., y O'Sullivan, C. M. (2011). Distribution of spray applied to a cereal crop and the effect of application parameters on penetration. *Aspects of Applied Biology*, 347-354. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:130033432>
- Enz, J. W., Hofman, V. L. y Thostenson, A. (2017). *Air temperature inversions: causes, characteristics and potential effects on pesticide spray drift*. Universidad Estatal de Dakota del Norte, Fargo, Estados Unidos. <https://www.ndsu.edu/agriculture/sites/default/files/2023-12/AE-1705-%20Air%20Temp%20Inversions2019.pdf>
- Etiennot, A. y Piazza, A. (2010). Buenas prácticas de aplicación en cultivos planos extensivos. Distancias a zonas urbanas. Criterios y soluciones. *Acta Toxicológica Argentina*, 18(2) 40-53.
- Felsot, A. S., Unsworth, J. B., Linders, J. B. H. J., Roberts, G., Rautman, D., Harris, C. y Carazo, E. (2010). Agrochemical spray drift; assessment and mitigation - A review, *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 46(1), 1-23 <https://doi.org/10.1080/03601234.2010.515161>
- Fehr, W. R., Caviness, C. E., Burmood, D. T. y Pennington, J. S. (1971). Stage of development descriptions for soybeans, Glycine Max (L.) Merrill. *Crop Science*, 11(6), 929-931. <https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100060051x>
- Gaona, L., Bedmar, F., Gianelli, V., Faberi, A. J. y Angelini, H. (2019). Estimating the risk of groundwater contamination and environmental impact of pesticides in an agricultural basin in Argentina. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 6657-6670. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02267-w>

- Gitirana Neto, J. y Cunha, J. P. D. (2016). Spray deposition and chemical control of the coffee leaf-miner with different spray nozzles and auxiliary boom. *Engenharia Agrícola*, 36(4), 656-663. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n4p656-663/2016>
- Hothorn, T., Bretz, F. y Westfall, P. (2008). Simultaneous inference in general parametric models. *Biometrical Journal*, 50(3), 346-363. <https://doi.org/10.1002/bimj.200810425>
- Langenbach, T. y Caldas, L. Q. (2018). Strategies for reducing airborne pesticides under tropical conditions. *Ambio*, 47(5), 574-584. <https://doi.org/10.1007/s2Fs13280-017-0997-4>
- Machado, W. A., Silva, S. M., Carvalho, S. M. y Da Cunha, J. P. (2019). Effect of nozzles, application rates, and adjuvants on spray deposition in wheat crops. *Engenharia Agrícola*, 39, 83-88. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n1p83-88/2019>
- Martini, A. T., Avila, L. A., Camargo, E. R., Moura, D. S., Marchezan, M. G. y Pivetta, A. P. (2015). Influência de Adjuvantes e Pontas de Pulverização na Deriva de Aplicação do Glyphosate. *Planta Daninha*, 33(2), 375-386. <https://doi.org/10.1590/0100-83582015000200024>
- Massaro, R. (2008). Aplicación de fitosanitarios con pulverización terrestre en trigo: condiciones operativas y aportes del desarrollo de la maquinaria. *INTA EEA Oliveros- Para Mejorar la Producción*, 37, 70-75.
- Massinon, M. y Lebeau, F. (2012). Comparison of spray retention on synthetic superhydrophobic surface with retention on outdoor grown wheat leaves. *International Advances in Pesticide Application: Association of Applied Biologists*, 114, 261-268. <https://hdl.handle.net/2268/108367>
- Meng, Y., Lan, Y., Mei, G., Guo, Y., Song, J. y Wang, Z. (2018). Effect of aerial spray adjuvant applying on the efficiency of small unmanned aerial vehicle for wheat aphids control. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(5), 46-53. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181105.4298>
- Nascimento, M. M., da Rocha, G. O. y De Andrade, J. B. (2017). Pesticides in fine airborne particles: from a green analysis method to atmospheric characterization and risk assessment. *Scientific Reports*, 7, 2267. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02518-1>
- Nascimento, R. S., Ferreira, L. R., Zambolim, L., Parreira, D. F., Oliveira, P. L. D. S. y Moraes, R. G. (2022). Influence of spraying tips on the efficiency of chemical control of soybean rust. *Crop Protection*, 160, 106031. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.106031>
- Nuyttens, D. (2007). *Drift from field crop sprayers: The influence of spray application technology determined using indirect and direct drift assessment means*. Disertación Doctoral. Universidad Católica de Leuven, Facultad de Ingeniería Biocientífica, Leuven, Bélgica. <http://hdl.handle.net/1979/1047>
- Nuyttens, D., De Schampheleire, M., Verboven, P., Brusselman, E. y Dekeyser, D. (2009). Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays. *Transactions of the ASABE*, 52(5), 1471-1480. <https://doi.org/10.13031/2013.29127>
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of agricultural science*, 144(1), 31-43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- Olivet, J., Picos, C. D., Villalba, J. y Zerbino, S. (2013). Tecnología de aplicación terrestre para el control de insectos en el cultivo de soja. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(4), 450-455. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000400014>
- Palladini, L. A., Raetano, C. G. y Velini, E. D. (2005). Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. *Scientia Agrícola*, 62(5), 440-445. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000500005>
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Pergher, G., Gubiani, R. y Tonetto, G. (1997). Foliar deposition and pesticide losses from three air-assisted sprayers in a hedgerow vineyard. *Crop protection*, 16(1), 25-33. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(96\)00054-3](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(96)00054-3)
- Renaudo, C. A., Bertin, D. E. y Bucalá, V. (2022). A coupled atomization-spray drift model as online support tool for boom spray applications. *Precision Agriculture*, 23(6), 2345-2371. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09923-1>
- Román, R. A. A., Cortez, J. W., Ferreira, M. D. C. y Di Oliveira, J. R. G. (2009). Coverage of soybean crop by spraying liquid due nozzles and spraying volume. *Scientia Agraria*, 10(3), 223-232.
- Rosenbaum, R. K., Anton, A., Bengoa, X., Bjørn, A., Brain, R., Bulle, C., Cosme, N., Dijkman, T., Fantke, P., Felix, M., Geoghegan, T., Gottesbüren, B., Hammer, C., Humbert, S., Jolliet, O., Juraske, R., Lewis, F., Maxime, D., Nemecek, T., ... Wallman, M. (2015). The Glasgow consensus on the delineation between pesticide emission inventory and impact assessment for LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(6), 765-776. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0871-1>
- Russell, V. L., Bolker, B., Buerkner, P., Giné-Vázquez, I., Herve, M., Jung, M., Love, J., Miguez, F., Piaskowski, J., Riebl, H. y Singmann, H. (2016). Emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.5.5-1. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Sarkar, D. (2008). *Lattice: Multivariate Data Visualization*

- with R. Springer.
- Satorre, E. H. y Andrade, F. H. (2021). Cambios Productivos y tecnológicos de la agricultura extensiva argentina en los últimos quince años. *CienciaHoy*, 29(173), 19-27.
- Sinfort, C., Cotteux, E., Bonicelli, B., Ruelle, B., Douchin, M., Berenger, M., Lagrevol, J., Liet, O., y De Rudnicki, V. (13-15 de mayo 2009). *Influence des conditions et matériels de pulvérisation sur les pertes de pesticides au sol et dans l'air en viticulture Languedocienne*. En XXXIX Congreso del Grupo Francés para el Estudio y Aplicación de Plaguicidas (pp. 1-5).
- Souza, R. T. D., Castro, R. D. D. y Palladini, L. A. (2007). Depósito de pulverização com diferentes padrões de gotas em aplicações na cultura do algodoeiro. *Engenharia Agrícola*, 27, 75-82. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000200011>
- Souza, R. T. G., Teixeira, I. R., Jesus, F. F. y Reis, E. F. (2017). Spray droplet spectrum and spray deposition in different soybean sowing systems. *Australian Journal of Crop Science*, 11 (9), 1195-1202. <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.17.11.09.pne543>
- Socorro, J., Durand, A., Temime-Roussel, B., Gligorovski, S., Wortham, H. y Quivet, E. (2016). The persistence of pesticides in atmospheric particulate phase: An emerging air quality issue. *Scientific Reports*, 6(1), 1-7. <http://doi.org/10.1038/srep33456>
- Stoletniy Bergalli, I. V. (2013). Tamaño de gota, volumen de aplicación y uso de adyuvantes en la deposición del pulverizado y el control de mancha amarilla causada por *Pyrenophora tritici-repentis* en trigo. Tesis de Maestría. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay.
- Tepper, G. (2012). *Weather essentials for pesticide application*. Grains Research & Development Corporation.
- Teske, M. E., Thistle, H. W., Hewitt, A. J., Kirk, I. W., Dexter, R. W. y Ghent, J. H. (2005). Rotary atomizer drop size distribution database. *Transactions of the ASAE*. 48(3), 917-921. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.18496>
- Teixeira, M. M. (2010). Estudio de la población de gotas de pulverización. En: J. C. Magdalena, J.C., b. Castillo Herrán, A. Di Prinzi, I. Homer Bannister, J. Villalba (Eds.). *Tecnología de aplicación de agroquímicos* (pp. 67-76). INTA Alto Valle.
- Vajs, S., Leskošek, G., Simončič, A. y Lešnik, M. (2008). Comparison of the effectiveness of standard and drift-reducing nozzles for control of some winter wheat diseases. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 115(1), 23-31. <http://dx.doi.org/10.1007/BF03356235>
- Van Den Berg, F. K. R. B., Kubiak, R., Benjey, W. G., Majewski, M. S., Yates, S. R., Reeves, G. L., Smelt, J. H. y Van der Linden, A. M. A. (1999). Emission of pesticides into the air. *Water, Air & Soil Pollution*, 115, 195-218. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1005234329622>
- Vučajnk, F., Trdan, S., Leskošek, G., Košir, I. J., Sreš, A., Ačko, D. K. y Vidrih, M. (2018). Head and leaf fungicide deposit on winter wheat, deoxynivalenol content and yield parameters as affected by different nozzle types. *Cereal research communications*, 46(2), 321-332. <https://doi.org/10.1556/0806.46.2018.13>
- Wolf, R. E. (diciembre 6-9, 2004). The Affect of Application Volume and Deposition Aids on Droplet Spectrum and Deposition for Aerial Application. En 2004 ASAE NAAA/ASAE Technical Session. Reno, Estados Unidos. <https://bae.k-state.edu/faculty/wolf/Papers/NAAA-ASAE-AA04-006.pdf>
- Yates, S. R., Ashworth, D. J., Zheng, W., Zhang, Q., Knuteson, J. y Van Wessenbeeck, I. J. (2015). Emissions of 1,3-dichloropropene and chloropicrin after soil fumigation under field conditions. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(22), 5354-5363. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01309>
- Zadoks, J. C., Chang, T. T. y Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6), 415-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>
- Zhu, H., Derksen, R. C., Krause, Charles R., Ozkan, E. H., Brazee, R. D. y Fox, R. D. (2006). *Dynamic air velocity and spray deposition inside dense nursery crops with a multi-jet air-assist sprayer*. En ASABE Annual International Meeting. (Paper N.º: 061125). Portland, Oregon, Estados Unidos. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.20628>