



Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES**  
**CARRERA DE MAGISTER SCIENTIAE EN MECANIZACIÓN AGRÍCOLA**

***Aplicaciones sobre un cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.).  
Incidencia del tipo de boquilla y la adición de coadyuvante***

**Tesis para acceder al grado de Magíster Scientiae**

**Maestrando: Ing. Agr. Matilde Mur**  
**Director: Ing. Agr. Roberto H. Balbuena**  
**Fecha de presentación: Octubre 2020**

## ÍNDICE GENERAL

RESÚMEN .....	8
ABSTRACT .....	10
INTRODUCCIÓN .....	12
ANTECEDENTES .....	19
HIPÓTESIS .....	34
Hipótesis básica .....	34
Hipótesis de trabajo .....	34
OBJETIVOS .....	35
Objetivos Generales .....	35
Objetivos Específicos .....	35
MATERIALES Y MÉTODOS .....	36
Características del sitio .....	36
Maquinaria utilizada .....	37
Condiciones meteorológicas .....	39
Características del caldo .....	40
Diseños de boquillas y lugar de medición .....	41
Metodología de evaluación y variables experimentales .....	44
<i>Trazador colorimétrico</i> .....	44
<i>Tarjetas hidrosensibles</i> .....	46
Diseño experimental .....	50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	51
Densidad de impactos .....	51
Diámetro Volumétrico Mediano (DVM) .....	61
Cobertura .....	70
Amplitud Relativa (AR) .....	79
Deposición (%) .....	86
CONCLUSIONES .....	111
BIBLIOGRAFÍA .....	113

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Ciclo de la Fusariosis de la Espiga de Trigo ocasionada por <i>Fusarium graminearum</i> .....	14
Imagen 2. Vista de sección transversal de la boquilla AI3070.....	59
Imagen 3. Efecto del agregado de tensioactivo sobre la gota.....	67
Imagen 4. Tarjetas hidrosensibles sobre la hoja bandera para AP11002, AI3070 y TXA8002. ....	78
Imagen 5. Vista de sección transversal de la boquilla AI3030.....	102

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Cultivo de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> ) en etapa de antesis temprana.....	36
Foto 2. Espigas de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> ) de dimensiones acorde a la etapa de desarrollo del cultivo.....	37
Foto 3. Equipo pulverizador hidráulico montado .....	38
Foto 4. Portapico múltiple de tres boquillas.....	38
Foto 5. Distanciamiento entre boquillas.....	39
Foto 6. Incorporación al tanque de pulverización del trazador de tipo alimenticio, Azul Brillante (FD&C Azul No. 1).....	41
Foto 7. Boquillas utilizadas en el ensayo .....	42
Foto 8. Vista lateral de la boquilla TXA8002 .....	43
Foto 9. Vista lateral de la boquilla AI3030 .....	43
Foto 10. Vista lateral de la boquilla AI3070 .....	43
Foto 11. Control de caudal de las boquillas mediante jarra graduada.....	44
Foto 12. Control de caudal de las boquillas mediante caudalímetro electrónico.....	44
Foto 13. Tubos falcon de 50 ml con la solución de lavado de las espigas.....	45
Foto 14. Espectrofotómetro de eje simple de UV-visible.....	46
Foto 15. Tubo cilíndrico cubriendo la espiga con tarjetas hidrosensibles adosadas al mismo, previo al avance de la máquina pulverizadora. ....	47
Foto 16. Tubo cilíndrico cubriendo la espiga con tarjetas hidrosensibles adosadas al mismo, luego de realizadas la aplicación. ....	47
Foto 17. Ventanas de 1 cm <sup>2</sup> de superficie ubicadas de manera aleatoria sobre la imagen de una tarjeta hidrosensible digitalizada.....	47
Foto 18. Soporte de hierro colocado a la altura de la hoja bandera sosteniendo una tarjeta hidrosensible, previo al avance de la máquina pulverizadora.....	48
Foto 19. Soporte de hierro colocado a la altura de la hoja bandera, sosteniendo una tarjeta hidrosensible luego de realizada la aplicación. ....	48
Foto 20. Programa de análisis de tarjetas hidrosensibles CIR 1.5. ....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Condiciones meteorológicas durante el ensayo. ....	40
Figura 2. Densidad de impactos promedio sobre la espiga y la hoja bandera .....	52
Figura 3. Uniformidad de distribución de gotas entre la espiga y la hoja bandera.....	54
Figura 4. Densidad de impactos sobre la espiga, efecto del coadyuvante.....	56
Figura 5. Densidad de impactos sobre la hoja bandera, efecto del coadyuvante.....	56
Figura 6. Densidad de impactos sobre las caras de la espiga. ....	59
Figura 7. Diámetro Volumétrico Mediano ( $\mu\text{m}$ ) sobre la espiga y la hoja bandera.. ....	62
Figura 8. Diámetro Volumétrico Mediano ( $\mu\text{m}$ ) sobre la espiga, efecto del coadyuvante. ....	65
Figura 9. Diámetro Volumétrico Mediano ( $\mu\text{m}$ ) sobre la hoja bandera, efecto del coadyuvante. ...	65
Figura 10. Diámetro Volumétrico Mediano sobre las caras de la espiga. ....	68
Figura 11. Porcentaje de cobertura sobre la espiga y la hoja bandera. ....	70
Figura 12. Porcentaje de cobertura sobre las caras de la espiga .....	75
Figura 13. Porcentaje de cobertura sobre la espiga, efecto del coadyuvante. ....	76
Figura 14. Porcentaje de cobertura sobre la hoja bandera, efecto del coadyuvante.....	76
Figura 15. Amplitud Relativa (AR) sobre la espiga y la hoja bandera. ....	79
Figura 16. Amplitud Relativa (AR) sobre las caras de la espiga. ....	82
Figura 17. Amplitud Relativa (AR) en la espiga, efecto del coadyuvante. ....	84
Figura 18. Amplitud Relativa (AR) en la hoja bandera, efecto el coadyuvante.....	84
Figura 19. Porcentaje de depósito de caldo recogido sobre la espiga según metodología de valoración.....	87
Figura 20. Depósito de caldo recogido sobre la espiga según metodología de valoración con valores rectificad.....	93
Figura 21. Depósito de caldo sobre la espiga según metodología de valoración del área de la misma.....	97
Figura 22. Depósito de caldo sobre la hoja bandera. ....	99
Figura 23. Depósito de caldo sobre la hoja bandera con los valores corregidos por los factores de ajuste.....	100
Figura 24. Depósito de caldo acumulado sobre la espiga y la hoja bandera.....	104
Figura 25. Volumen de caldo recuperado ( $\mu\text{l cm}^{-2}$ ) sobre la espiga y hoja bandera. ....	105
Figura 26. Depósito de caldo corregido por los factores de ajuste sobre las caras de la espiga. ....	107

Figura 27. Depósito de caldo sobre la espiga según metodología colorimétrica, efecto del  
coadyuvante.....109

Figura 28. Depósito de caldo sobre la hoja bandera con los valores corregidos, efecto del  
coadyuvante.....109

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Boquillas utilizadas y condiciones operativas de trabajo.....	42
Tabla 2. Factor de ajuste para cada boquilla. ....	96

## RESUMEN

Una de las principales problemáticas asociadas al cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) es el manejo sanitario que ocasiona pérdidas importantes en el rendimiento y calidad de los granos. La Fusariosis de la espiga (*Fusarium graminearum*) es considerada una de las enfermedades más devastadoras y la que mayores desafíos presenta para su control. La aplicación de fungicidas debe ser en forma preventiva, debiéndose prestar mucha atención a las condiciones ambientales previas a la floración, que son determinantes para que el patógeno, si está presente, infecte al cultivo. Los fungicidas disponibles en el mercado presentan a campo una moderada a baja eficacia dada principalmente por la estructura de la espiga, las técnicas de aplicación y las condiciones ambientales al momento de la aplicación. En función de ello, se realizaron pruebas para evaluar el desempeño de diferentes diseños de boquillas y la adición de un coadyuvante al caldo de aplicación, sobre un cultivo de trigo en etapa de antesis temprana (estado Z61). Se ensayaron cuatro diseños de boquillas, abanico plano convencional (XR11002), cono hueco convencional (TXA8002), doble abanico simétrico con inducción de aire (GAT11002) y doble abanico asimétrico con inducción de aire (AI3070-02). Cada una de ellas fue evaluada con agua y con la mezcla de agua y un coadyuvante multifuncional, sobre la espiga (objetivo vertical) y la hoja bandera (objetivo horizontal). Se utilizaron tarjetas hidrosensibles y el programa CIR 1.5<sup>®</sup> para la determinación de densidad de impactos ( $\text{imp cm}^{-2}$ ), diámetro volumétrico mediano ( $\mu\text{m}$ ), cobertura (%), amplitud relativa y deposición (%). Esta última fue contrastada con la determinación de la tasa de recuperación mediante la metodología colorimétrica con el trazador Azul Brillante. De los resultados se desprende que las boquillas con proyección del líquido con un ángulo respecto a la normal de la superficie del cultivo, GAT11002 y AI3070-02, mejoran la uniformidad de distribución entre la espiga y la hoja bandera. La inclinación en 70° hacia atrás, mejora en un 47 % la cantidad de depósito sobre la espiga respecto a ángulos menores, pero la inclinación de 30° hacia adelante no mejora la penetración respecto a la posición vertical. La utilización de gotas finas y direcciones múltiples aumentan la cobertura y la deposición



en objetivos verticales, pero no mejoran la uniformidad de distribución entre las caras de la espiga. El agregado de coadyuvantes multifuncionales no modifica el espectro de gotas, aunque existe una tendencia hacia una disminución en el tamaño de la población de gotas. Las metodologías de valoración resultan complementarias al momento de realizar un análisis completo de los parámetros de caracterización de la aplicación.

**Palabras clave:** boquillas doble abanico, boquillas anguladas, deposición, trazador, tensioactivo

## ABSTRACT

One of the main problems associated with the wheat crops (*Triticum aestivum* L.) is the health management that causes large reductions in yield and grain quality. Fusarium head blight (*Fusarium graminearum*) is considered one of the most devastating diseases and the most challenging to control. The fungicides application should be preventive, paying attention to weather conditions prior to flowering, which are decisive for the pathogen, if present, to infect the crop. The fungicides available on the market have a moderate to low efficiency in the field, mainly due to the head structure, the method of application and the weather conditions at the time of application. Considering the aforementioned, tests were conducted to evaluate the performance of different nozzle designs and the addition of an adjuvant to the application mixture, on a wheat crop in early anthesis (stage Z61). Four spray nozzle were tested, flat-fan (XR11002), hollow cone (TXA8002), air induction symmetrical dual flat-fan (GAT11002) and air induction asymmetrical dual flat-fan (AI3070-02). Each of them was evaluated with water and the mixture of water and a multifunctional adjuvant, on head (vertical target) and flag leaf (horizontal target). Water-sensitive cards and CIR 1.5<sup>®</sup> software were used to determine droplet density (droplets cm<sup>-2</sup>), volumen median diameter (µm) coverage (%), relative amplitude and deposition (%). The latter was contrasted using Brilliant Blue tracer. The results show that the nozzles with liquid projection at an angle to the normal crop surface, GAT11002 and AI3070-02, improve the distribution uniformity between the head and the flag leaf. Angling 70° back improves the amount of deposit on the head by 47% compared to smaller angles. However, 30° forward angles do not improve penetration compared to the vertical position. The use of fine droplets and multiple directions increases coverage and deposition on the vertical target, but do not improve distribution uniformity between head faces. The addition of multifunctional adjuvants does not modify the droplet spectrum, although there is a trend towards

a decrease in the size of the droplet population. The valuation methodologies are complementary when performing a complete analysis of the application characterization parameters.

**Keywords:** twin nozzles, angled nozzles, deposition, tracer, surfactant

## INTRODUCCIÓN

Los cereales han sido tradicionalmente cultivos altamente relevantes en la alimentación humana. Cultivos como trigo y arroz constituyen el sustento de la dieta de la mayoría de la población mundial. De acuerdo a datos publicados por la FAO (2020), el trigo (*Triticum aestivum*) aporta un 27,29 % de la producción mundial de cereales. En Argentina, es el cereal de invierno de mayor importancia por área y volumen de producción (Bainotti et al., 2016). A partir de mediados de la década del '80, en combinación con la soja de segunda, permitió una alternativa de mayor intensificación en el uso del suelo a la vez que mejoraba la eficiencia económica y financiera. A partir de esta época, y hasta el año 2000, la superficie cosechada de este cultivo se mantuvo en alrededor de 6 millones de hectáreas. Sin embargo, a partir de la campaña 2001 la misma se redujo a razón de 270.000 ha año<sup>-1</sup> hasta alcanzar valores de aproximadamente 4 millones de hectáreas en el 2010. A pesar de la reducción en el área cosechada, la producción de trigo en la última década se mantuvo relativamente estable con un promedio anual de 14 millones de toneladas, con excepción de los años 2008 y 2009 en los que el cultivo sufrió una intervención del estado en su comercialización, reduciéndose aún más la superficie sembrada, y una fuerte sequía que afectó su rendimiento (Abeledo & Miralles, 2012). A partir de fines del 2015, la política de disminución de las retenciones tendió a la recuperación del sector. En este contexto, durante la campaña 2019/2020 se lograron sembrar 6,6 millones de hectáreas de trigo en Argentina, un 23,3 % por encima de la superficie promedio de los últimos 5 años y un 6,5 % más que la campaña anterior, consolidando una tendencia de crecimiento que se inició en el ciclo 2016/2017, y que permitió que el cultivo se expanda a lo largo del territorio nacional (Bolsa de Cereales, 2020). El volumen finalmente recolectado se ubicó en 18,8 millones de toneladas, marcando una disminución del 1,1 % en comparación a la campaña 2018/2019 pero un 18 % por encima de los últimos 5 años.

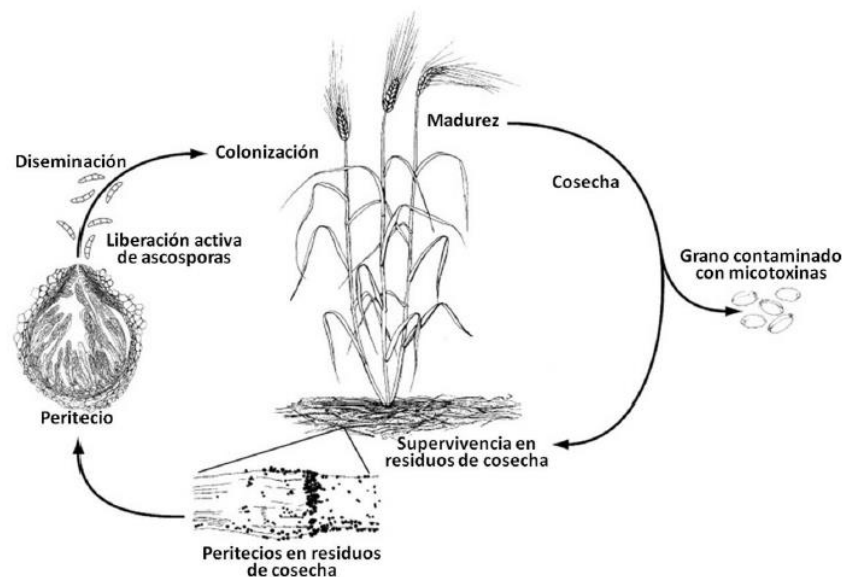
Una de las principales problemáticas asociadas al cultivo de trigo, es el manejo sanitario. Debido a un fuerte proceso de intensificación productiva que ha experimentado la agricultura en la

última década, junto a la adopción generalizada de la siembra directa, se han favorecido las condiciones para una mayor incidencia de enfermedades (Pérez et al., 2011)

Según Alberione (2011), la presencia de enfermedades foliares y de la espiga en cada campaña de trigo da motivo a consultas por parte de productores y técnicos asesores. Dentro de las enfermedades foliares de mayor preocupación se encuentran la roya de la hoja o roya anaranjada (*Puccinia triticina*), y mancha amarilla o mancha parda (*Drechslera tritici repentis*). En cuanto a las enfermedades de la espiga, hay que destacar la gran incidencia que tienen los carbones y la Fusariosis de la espiga (*Fusarium graminearum*). Esta última es considerada una de las más devastadoras a nivel mundial y es la que más desafíos presenta para su control ya que no solo preocupa por la reducción de los rendimientos y la calidad física e industrial del grano, sino también por los riesgos en la seguridad alimentaria a causa de la contaminación con toxinas producidas por el hongo que la causa (Pereyra & Acosta, 2014). Estas micotoxinas tienen la capacidad de permanecer estables en la harina de trigo e incluso en los productos terminados, afectando así a la salud humana y animal (Champeil et al., 2004; Xu, 2003). Las pérdidas de rendimiento producidas por esta enfermedad pueden llegar al 50 % en condiciones de epidemias severas y variedades muy susceptibles, mientras que con epidemias moderadas pueden esperarse pérdidas entre el 10 % y 20 % (Villar de Galich, 2004). Scholz (2011) informa una pérdida anual de aproximadamente 20 % por efecto de las enfermedades, debido a la reducción en el rendimiento y en la calidad de los granos.

Diversas razones hacen que *F. graminearum* sea tenido en cuenta como un patógeno de difícil control. La fusariosis de la espiga es considerada una enfermedad de inoculo no limitante, ya que generalmente está presente en cantidad suficiente para causar epifitias si se dan condiciones ambientales predisponentes para la enfermedad (Champeil et al., 2004; Mazzilli et al., 2007; Schaafsma et al., 2005). Esta característica junto con la ausencia de cultivares con resistencia genética efectiva, hacen que la ocurrencia de epifitias dependa casi exclusivamente de la ocurrencia

de precipitaciones y alta humedad relativa al momento de mayor susceptibilidad del cultivo, floración e inicios de llenado del grano (Birzele et al., 2002; Moschini et al., 2002). En este sentido, Pereyra & Acosta (2014) señalan que las infecciones son favorecidas por períodos extensos (48 a 72 h) de espigas mojadas y temperaturas óptimas de 22°C a 28°C. Sin embargo, el rango de temperatura en que se puede producir infección siempre que haya agua libre sobre las espigas es de 10°C a 30°C. La infección ocurre mayormente en espigas en floración a través de las anteras. Las ascosporas y conidios germinan principalmente en las anteras y a partir de ahí colonizan el ovario, otras estructuras florales y el resto de las espigas. Los trabajos son coincidentes en que el trigo es principalmente susceptible desde antesis hasta grano pastoso suave (Formento & de Souza, 2004; Moschini et al., 2003). El proceso de antesis puede prolongarse hasta por 4 días en una espiga, 12 días en una planta y 30 días en el cultivo, lo cual aumenta las posibilidades de que ocurra infección en un cultivo (Reis, 1989). El proceso de infección es similar tanto en variedades resistentes como en susceptibles (Imagen 1).



**Imagen 1.** Ciclo de la Fusariosis de la Espiga de Trigo ocasionada por *Fusarium graminearum* Schwabe (*Gibberella zae* Schw. & Petch). Adaptado de Trail (2009).

Scholz (2011) menciona como factor determinante de la ocurrencia de enfermedades en las plantas a la humedad, siendo la temperatura la que retarda o acelera el proceso de reproducción

del patógeno, repercutiendo en el número de generaciones. En consecuencia, para lograr disminuir el desarrollo de epidemias y minimizar el daño económico, se recomienda llevar adelante un manejo integrado de plagas y enfermedades. El mismo implica un conjunto de estrategias preventivas, físicas, químicas, culturales, genéticas y biológicas que se complementan para mantener las plagas a niveles inferiores de los que causan daño económico al cultivo. Se recomienda por lo tanto, seleccionar aquellos cultivares con mejor comportamiento a la Fusariosis de la Espiga y evitar la siembra de trigo sobre rastros infectados de trigo, cebada o maíz, ya que son los mayores contribuidores de inóculo de *F. graminearum*. Diversificar la fecha en que ocurre la floración en los distintos establecimientos de producción, a través de la diversificación de las fechas de siembra así como del ciclo de los cultivares que se siembren (Díaz de Ackermann et al., 2002). El uso de fungicidas es otra herramienta apropiada para el control de esta enfermedad. La aplicación deberá ser en forma preventiva, debiéndose prestar mucha atención a las condiciones ambientales previas a la floración, que son determinantes para que el patógeno, si está presente, infecte al cultivo (Sugliano, 2013). Se debe evitar la germinación de las ascosporas y penetración del hongo en la espiga, antes de la ocurrencia de los primeros síntomas, ya que una vez que el patógeno ha penetrado los tejidos de esta inflorescencia, la cantidad de fungicida dentro de la misma es incapaz de detener el crecimiento del hongo (Díaz de Ackermann & Kholi, 2013). Existen en el mercado moléculas que son muy efectivas contra esta enfermedad, pero no pueden traslocarse ni penetrar en la espiga, por lo que deben estar presente en la superficie vegetal previo a que el hongo penetre en los tejidos de la espiga (Pereyra, 2013). Paul et al., (2007; 2008) afirman que los fungicidas desarrollados para proporcionar protección contra esta enfermedad y sus toxinas asociadas son eficaces si se aplican en antesis temprana. Villar de Galich (2004) menciona que la máxima exposición de las anteras se produce aproximadamente una semana después del inicio de la floración, siendo este el momento óptimo para realizar el control pero generalmente las dificultades operativas para la aplicación condicionan un tratamiento tardío. Los fungicidas disponibles en el

mercado para control de fusariosis presentan a campo una moderada a baja eficacia de control, aunque evaluados en invernáculo la eficacia de los tratamientos pueden superar el 90 %. Este hecho pone de manifiesto que los resultados poco satisfactorios en el control químico a campo radican en la dificultad en alcanzar las anteras con la aspersion por la estructura de la espiga, en las técnicas de aplicación y en las condiciones ambientales al momento de la aplicación. En este sentido, Diaz de Ackermann et al. (2002), indican que en general la eficiencia de control es baja a intermedia, debido principalmente al corto período para la aplicación del fungicida en el momento adecuado, ya que las condiciones de lluvia que favorecen la enfermedad limitan la oportunidad de aplicación. Los autores citan que las mayores eficiencias de control se obtienen con aplicaciones de fungicidas triazoles o mezclas de triazoles con boquillas capaces de depositar el fungicida en ambos lados de la espiga. Respecto a la forma de aplicación las mayores eficiencias de control de la Fusariosis de la Espiga se logran con una buena cobertura en el cultivo, depositando el fungicida en ambos lados de la espiga ya que como se mencionó anteriormente, no hay translocación en la espiga (Pereyra & Stewart, 2002). El volumen de aplicación también es importante en la eficiencia de control ya que mayores volúmenes aseguran mejores cobertura de la espiga; aplicaciones terrestres con volúmenes de agua mayores a 100 l/ha son más eficiente que las aplicaciones aéreas (Pérez, 2004). Experiencias usando fungicidas demuestran un amplio rango de eficiencia de acuerdo a múltiples factores tales como la elección del fungicida, el momento y método de aplicación, considerando los tipos de picos pulverizadores y las condiciones climáticas presentes durante el momento de aplicación como determinantes del éxito de la aplicación (Díaz de Ackermann & Kholi, 2013). La primera aplicación debería ser realizada previamente a la ocurrencia de precipitaciones. Reis & Zoldan (2014) mencionan que en el caso de que luego de 15-20 días a la primera aplicación hubiera una previsión de lluvias, se puede proceder con una segunda aplicación y que las mismas, deberían realizarse con picos que dirijan la pulverización hacia los laterales de las espigas.



De acuerdo con López Rodríguez (2011), las condiciones meteorológicas en diferentes horas del día influyen en la eficiencia y eficacia de los tratamientos fitosanitarios. Los tres parámetros a tener en cuenta son: temperatura, humedad relativa ambiente y velocidad del viento; los dos primeros, en función de su relación directa con la evaporación, y el viento por la deriva que genera. En tanto que Leiva (2010), establece que el éxito o fracaso de un tratamiento fitosanitario depende de cuatro factores básicos: buena calidad del agua, correcta elección de producto y dosis, momento oportuno de control y calidad de la aplicación. Se entiende por calidad de aplicación a la cantidad de principio activo depositado sobre el blanco con una determinada cobertura y persistencia del producto en una forma absorbible sobre la superficie foliar. Al respecto, Olivet et al. (2013) mencionan que el éxito de una aplicación depende del tipo de objetivo, la forma de acción del producto, la técnica de aplicación, la vegetación presente y las condiciones ambientales en el momento de la aplicación.

Onorato & Tesouro (2006) citan tres variables, estrechamente relacionadas entre sí, que determinan las características fundamentales de la aplicación que se pretende realizar: tamaño de las gotas, cantidad de gotas depositadas por unidad de superficie (cobertura) y caudal de campo o dosis de aplicación, el cual expresa la cantidad de caldo (mezcla de productos fitosanitarios más agua) a colocar por hectárea. La elección respecto a cuáles de ellas deben ser priorizadas depende, entre otros factores, del tipo de fitosanitario que va a ser utilizado, de las características de la plaga que se desea controlar y de las condiciones ambientales existentes al momento de la aplicación. Asimismo, estos autores determinan que una buena aplicación implica una correcta distribución del fitosanitario, con mínimas pérdidas. Todas aquellas gotas que no lleguen al blanco, o que aun habiéndolo alcanzado no permanezcan retenidas sobre él, constituyen una pérdida de producto que reduce la eficiencia de la aplicación y se conoce genéricamente como deriva. La intensidad de las pérdidas depende de las condiciones al momento de la aplicación, siendo el viento uno de los principales factores en determinarla, interaccionando con la tecnología utilizada y con las

características del agroquímico. La tecnología ha desarrollado dispositivos para disminuir las pérdidas por deriva, con la creación de nuevas boquillas, ya sean dotadas de pre-orificio o con inducción de aire, aumenta así el diámetro de gotas y disminuye la proporción de aquellas más propensas a la deriva. Sin embargo, existen opiniones encontradas en cuanto a la eficacia de las mismas. Al aumentar el tamaño de gota manteniendo constante el volumen de aplicación necesariamente se estará disminuyendo la cantidad de gotas formadas (Olivet et al., 2013).

Para que la aplicación de agroquímicos sea adecuada, es necesario seleccionar el tamaño de gotas conforme a las condiciones climáticas imperantes durante el momento de la aplicación (Texeira, 2010). En este sentido, Bauer & Raetano (2004) y Fernandes et al. (2007), mencionan que las gotas formadas por las boquillas de pulverización pueden tener su tamaño alterado por la presión de trabajo, formulación del producto utilizado, tipo y conformación de la boquilla. Estos últimos son los responsables de la calidad de la aplicación e interferirán sobre el caudal, cobertura del blanco y en la uniformidad de distribución del caldo. Leiva (1995) afirma que las gotas grandes tienen la ventaja de descender rápidamente y quedar menos expuestas a la deriva por viento y a la evaporación. Su principal desventaja es la falta de deposición y adherencia sobre la superficie vegetal. El mismo autor señala que las gotas finas mejoran la cobertura ofreciendo la ventaja de una mejor penetración en el cultivo, alcanzando la cara inferior de las hojas y tallos. La Associação Nacional de Defesa Vegetal (2010) indica que la mayor parte de los aplicadores no se preocupan por ajustar el espaciamiento entre boquillas, la altura de la barra ni por elegir correctamente el tipo de boquilla que deberá ser utilizada. De esta manera, se favorece el desperdicio del producto que será aplicado, y aumenta la deriva o escurrimiento del mismo en las plantas.

La eficiencia de una pulverizadora puede estar afectada por la mala elección de las boquillas o estado avanzado de desgaste, mala ubicación en el botalón, altura inadecuada o por la presión de trabajo no aconsejada. Las boquillas son elementos básicos para una correcta uniformidad de distribución del producto sobre el cultivo y/o el suelo. Se debe elegir el tipo y modelo de boquilla

de acuerdo al volumen que se va a pulverizar por hectárea, el producto, la plaga y el cultivo a tratar (Inostroza Fariña & Méndez, 2009).

## ANTECEDENTES

Diversas razones hacen que *F. graminearum* sea tenido en cuenta como un patógeno de difícil control. El mismo presenta tres limitantes: la estructura de la espiga, el método de aplicación y el momento de aplicación, siendo esta última la más importante. La orientación vertical de la espiga hace más difícil su tratamiento, a diferencia de enfermedades que ocurren en las partes orientadas horizontalmente de una planta, como las hojas (Xie et al., 1995). Asimismo, la estructura y fisiología de la espiga hacen que los productos fungicidas actúen principalmente como de contacto y no sistémicos, por lo cual deben ser aplicados inmediatamente antes de la ocurrencia de la infección (Mazzilli et al., 2007). Al respecto, Ozeki (2006) sugiere para aplicaciones de fungicidas sistémicos una cobertura mínima de 30 a 40 gotas  $\text{cm}^{-2}$ , mientras que Weber (1982) establece un mínimo de 20 a 30 impactos  $\text{cm}^{-2}$  como norma general para productos sistémicos. Syngenta Crop Protection (2004) recomienda una densidad de al menos 50 a 70 impactos  $\text{cm}^{-2}$  para proporcionar resultados satisfactorios en la aplicación de fungicidas. En tanto que Bonini (2003) y Gandolfo et al. (2007) acuerdan que 60 impactos  $\text{cm}^{-2}$  son necesarios cuando se realizan tratamientos fúngicos para alcanzar eficacia biológica, dejando de lado los efectos de cobertura, características de la población de gotas, tamaño de gotas, amplitud relativa, uniformidad de distribución y recuperación de la solución aplicada sobre el objeto de aplicación.

La amplitud relativa (AR) expresa la dispersión de los diámetros volumétricos extremos respecto del mediano ( $AR = \frac{DV_{0.9} - DV_{0.1}}{DVM}$ ). Da una referencia de la homogeneidad de la clase de gotas que llegan al objetivo, cuanto más chico sea el número, más homogéneo es el espectro de gotas (Sarubbi, 2010). Al respecto, Spraying Systems Co (s.f.-a), reporta para sus boquillas de cono hueco convencional 8002 a 3 bar de presión, valores de diámetro volumétrico mediano (DVM) de 193  $\mu\text{m}$ ,

DV<sub>0.9</sub> (diámetro de la gota por encima del cual se encuentra el 10 % del volumen total del líquido pulverizado) de 278  $\mu\text{m}$  y DV<sub>0.1</sub> (diámetro de la gota por debajo del cual se encuentra el 10 % del volumen total pulverizador) de 97  $\mu\text{m}$ , alcanzando un valor de AR de 0,93 aproximadamente. En tanto, sus boquillas de abanico plano convencional 1102 y a 3 bares de presión, poseen como valores de referencia 219  $\mu\text{m}$  de DVM, 359  $\mu\text{m}$  de DV<sub>0.9</sub> y 108  $\mu\text{m}$  de DV<sub>0.1</sub> (Spraying Systems Co, s.f.-b), obteniendo como valor de AR 1,15. 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. La medición del tamaño de gotas, para la combinación de disco 5 y núcleo 13, a una presión de 40 psi (2,7579 bar), arrojó un DV<sub>0.1</sub> de 90 $\mu\text{m}$ , un DV<sub>0.5</sub> de 154 $\mu\text{m}$  y un DV<sub>0.9</sub> de 247 $\mu\text{m}$ . En cuanto a la uniformidad de la población de gotas, la amplitud relativa alcanzó valores de 1,01 para la combinación AD5 AC13, debiendo tenerse en cuenta que a medida que se reduce la amplitud relativa, es mayor la uniformidad de la población. Una mención especial la tienen las boquillas de inducción de aire que funcionan por succión de aire a través de un orificio o ranura calibrada. El aire al ingresar al torrente de agua hace que las gotas antes de ser pulverizadas se carguen 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 micrones. Al respecto, Butler Ellis *et al.* (2002) evaluaron la densidad de las gotas por medio de un láser y relacionaron la distribución de tamaños de las mismas con la velocidad. El cambio de velocidad de las gotitas en la estela de pulverización se utilizó para inferir la densidad de las gotas a partir de las ecuaciones de movimiento. La cantidad de burbujas de aire en el interior se estimó a partir de las velocidades de las gotas. Establecieron, para gotas de más de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro, que la densidad permanecía relativamente constante en el rango de 700 a 800  $\text{kg m}^{-3}$ , independiente de las características principales de diseño de las pastillas.

Además de la densidad de impactos y del diámetro de las gotas, también es importante en la aplicación de productos fúngicos el área del objetivo cubierta. Cunha *et al.* (2008) hacen hincapié

en el porcentaje de cobertura para el control de enfermedades y no en la densidad de impactos. Los mismos, trabajando en el manejo de la roya asiática de la soja, encontraron mayor cantidad de gotas con el cono hueco convencional, mientras que el porcentaje de cobertura fue semejante para todas las boquillas evaluadas, sin diferencias en el control de la enfermedad. Al respecto, Márquez Delgado (2005) menciona que las gotas de menor diámetro en su conjunto tienen más probabilidades de depositarse que un mismo volumen representado por una sola gota más grande. En acuerdo con este autor, Antuniassi & Boller (2011), recomiendan un diámetro de gotas (diámetro volumétrico mediano - DVM) entre 200  $\mu\text{m}$  y 300  $\mu\text{m}$  (gotas finas a medianas, según norma ASABE S572.1, 2009) como ideales para aplicaciones de fungicidas sistémicos, relacionando el tamaño de la gota con la capacidad de deposición de las mismas, siendo que gotas finas (entre 106  $\mu\text{m}$  y 235  $\mu\text{m}$ , según ASABE S572.1, 2009) propician mayor cobertura pero presentan mayor riesgo de deriva. En este sentido, Herrera Prat et al. (2008) encontraron menor diámetro de las gotas, mayor densidad y cobertura para las boquillas de cono hueco respecto a boquillas de abanico plano, bajo condiciones controladas. Sin embargo, estas últimas presentaron mayor uniformidad, atribuible, en principio, al perfil de distribución. Similares resultados presentaron Gálvez et al. (2010), sobre un cultivo de soja (*Glycine max* (L) Merr) en R5, asociando la mejor distribución en el canopeo de las boquillas de cono hueco con la mayor cantidad de impactos de menor DVM, tanto en el estrato superior como en el inferior; las boquillas de doble abanico, en cambio, con un espectro de gotas de finas a medianas (entre 106  $\mu\text{m}$  y 340  $\mu\text{m}$ , según norma ASABE S572.1, 2009), no tuvieron mayor penetración después de los 0,20 m. Al respecto, Mur et al. (2018), evaluaron la eficiencia de boquillas de abanico plano, cono hueco y abanico plano con aire inducido y 2 volúmenes de aplicación sobre un cultivo de soja en R4. Encontraron que un incremento en el volumen de aplicación determinó una mayor densidad de impactos sin modificar la eficiencia de penetración a los estratos medios e inferiores. Sin embargo, todas las pastillas tuvieron una baja eficiencia, evaluada a través del número de impactos, área de cobertura y deposición, para alcanzar el envés

de las hojas en estos estratos, lo que limita el control de enfermedades en dicha ubicación. Por su parte, Derksen et al. (2012) obtuvieron mejores porcentajes de cobertura, tanto en la espiga como en la hoja bandera de un cultivo de trigo, cuando pulverizaron con gotas finas (entre 106  $\mu\text{m}$  y 235  $\mu\text{m}$ , según norma ASABE S572.1, 2009).

Conforme a lo mencionado hasta aquí, la aplicación eficiente requiere una cobertura adecuada de la superficie objetivo con gotas de tamaño apropiado. Al respecto, Meijer (1988) señala que a medida que disminuye el tamaño de un objeto, la película de aire superficial que lo rodea decrece, por lo cual las gotas más finas pueden penetrar con relativa facilidad y ser capturadas por el objeto, en tanto, los objetos de mayor tamaño son malos colectores de gotas finas. El tamaño de gota recomendable es muy difícil de definir, ya que depende de una serie de interacciones en la cual interviene el tipo de producto fitosanitario, su modo de acción, su formulación, la ubicación de la plaga, el tamaño de la plaga, las características de la superficie de la plaga y las condiciones ambientales (Sarubbi, 2010). En el caso de que se produzcan gotas muy gruesas, no ocurre buena cobertura de la superficie como tampoco buena uniformidad de distribución, las mismas, por su propio peso, normalmente no se adhieren a la superficie de la hoja y terminan en el suelo (endoderiva), sin ser el suelo blanco del tratamiento. De manera opuesta, las gotas muy finas generan buena cobertura superficial y uniformidad de distribución del líquido, pero pueden evaporarse en condiciones de baja humedad relativa y alta temperatura ambiente (termoderiva) o ser arrastradas por el viento (exoderiva) (Texeira, 1997). En este sentido, considerando que para aplicar fungicidas se recomiendan gotas finas y medias, se presenta una situación crítica ya que la diferencia de velocidad entre la barra pulverizadora en desplazamiento y el viento atmosférico sobre el cultivo ejercen un efecto de freno, que se opone a la velocidad de caída de las gotas finas de las boquillas de pulverización. Este proceso facilita la evaporación y la deriva de las gotas más finas y dificulta su llegada al interior del follaje de los cultivos tratados. Una segunda consecuencia ocurre sobre las gotas de tamaño medio que consiguen mantener la velocidad de caída, a pesar del

efecto contrario generado por la velocidad de avance del pulverizador (Boller & Schlosser, 2010). Al respecto, Klein & Johnson (2002) mencionan que las gotas más pequeñas (menores a 200  $\mu\text{m}$ ), por su menor peso, pierden el impulso más rápido que las de mayor tamaño y disminuyen su velocidad hasta alcanzar la velocidad límite o final, dada por un equilibrio entre la aceleración de la gravedad y el roce entre las gotas y el fluido por el que se mueve. Por lo tanto, estas gotas se encuentran mayor tiempo en el aire, expuestas a otras fuerzas tales como el viento, pudiendo desplazarse a otro lugar fuera del objetivo. En consecuencia, la elección del patrón de gotas presenta interferencia directa en la eficiencia del producto aplicado y en las pérdidas por deriva.

Además de estar afectado por el diseño de la punta de pulverización, el patrón de gotas producido también sufre influencia de la presión de trabajo y de las características físicas del caldo que varían de acuerdo con la formulación del producto y el tipo de adyuvante que se utiliza. Debido a que la utilización de estos aditivos se ha incrementado notablemente en los últimos tiempos, es importante evaluar las características físicas que estas sustancias le confieren al caldo de pulverización y las posibles variaciones que pueden presentarse en el espectro de distribución. De hecho, el rendimiento de las boquillas pulverizadoras puede ser sustancialmente modificado a causa de los coadyuvantes (Miller et al., 1997), afectando tanto el proceso de formación de las gotas como el comportamiento de estas en contacto con el blanco, alterando el riesgo potencial de deriva de la aplicación (Miller & Butler Ellis, 2000). Los coadyuvantes son sustancias sin efecto fitosanitario que, agregadas en el tanque al caldo de pulverización, ayudan a mejorar la calidad en la aplicación, maximizar la eficiencia de los plaguicidas, a través de la modificación de las propiedades fisicoquímicas y la reducción al mínimo de problemas potenciales, tales como incompatibilidad, cristalización y lavado, aumentando así la absorción de pesticidas (Sherrick et al., 1986; Hartzler, 2001; Hock, 2015). Además, su uso puede mejorar el resultado de las aplicaciones, ya que puede aumentar la acción y absorción del ingrediente activo sobre la superficie foliar (Ramsdale & Messersmith, 2001; Ryckaert et al., 2007), así como reducir la tensión superficial de las gotas (van

Zyl et al., 2010) lo cual aumenta las posibilidades de retención de las mismas y el porcentaje de superficie cubierta por el producto aplicado.

Existen distintas clasificaciones de coadyuvantes; Leiva (2013) los diferencia en 10 tipos: tensioactivos (también conocidos como humectantes o surfactantes), emulsionantes, adherentes, penetrantes, antievaporantes, antiderivantes, antiespumantes, secuestrantes, acidificantes y limpiadores desincrustantes. Los tensioactivos reducen la tensión superficial de la gota permitiendo aumentar la superficie de contacto y de esta manera aumentar la absorción del principio activo. Los adherentes están compuestos de resinas, látex o ligninas y promueven que la gota se haga más pegajosa. Los penetrantes disuelven la capa de cutina que recubre a las hojas, favoreciendo la penetración del caldo. Los antievaporantes, alcoholes de cadena larga o aceites, producen el efecto de recubrimiento exterior de la gota con un anillo protector. Los antiderivantes favorecen la formación de gotas más viscosas y grandes, pudiendo afectar el porcentaje de cobertura de la superficie objetivo. Los antiespumantes, fluorocarbonados, polixiloxanos, siliconas, aceites minerales o ácidos grasos, evitan que el caldo retenga aire y se forme espuma. Por último, los acidificantes y secuestrantes, tienen la propiedad de corregir el agua (efecto buffer), regulando los valores de pH de la solución. Un simple adyuvante puede no desempeñar todas estas funciones, pero diferentes adyuvantes compatibles a menudo se combinan para desempeñar múltiples funciones simultáneamente (Stock & Briggs, 2000). En este sentido, existen ciertos coadyuvantes denominados comercialmente como “multifuncionales” que ya vienen formulados para que cumplan con más de una función. Un ejemplo de estos puede ser el coadyuvante Rino<sup>®</sup> que se define como adherente, dispersante, emulsionante y humectante. Todas estas propiedades giran en torno a la capacidad del tensioactivo de reducir la tensión superficial de la gota y así permitir una mayor superficie de contacto entre la misma y el objetivo. Asimismo, al estar compuestos por moléculas largas con una parte hidrofílica polar y otra hidrofóbica no polar, logran una emulsión estable y homogénea, permitiendo “disolver” los aceites y grasas en agua.



Los coadyuvantes deben considerarse como herramientas de manejo que mejoran el nivel de desempeño de los fitosanitarios y la consistencia de los resultados. En relación con esto, son varios los antecedentes que muestran el efecto que tienen estos aditivos en la interacción con los fitosanitarios y, consecuentemente, en la eficiencia de aplicación. Stoletniy et al. (2014) evaluaron el efecto del tamaño de gota, volumen de aplicación y uso de adyuvante en la eficiencia de un fungicida para el control de mancha amarilla en trigo. Los resultados indicaron que el mayor volumen de aplicación y la presencia de adyuvante determinaron mayor deposición de trazador. En todos los casos el uso de adyuvantes generó una tendencia a aumentar la densidad de impactos, determinada mediante conteo bajo lupa con iluminación de luz negra (UVA). Esto se debe a que los adyuvantes con tensioactivos se usan con la finalidad de disminuir la tensión superficial e incrementar la adherencia por una mayor superficie de contacto, aumentando también la deposición. En este sentido, Cid et al. (2009) encontraron una disminución de la capacidad antiderivante al evaluar la interacción de dos coadyuvantes comerciales, un tensioactivo y un antiderivante, utilizados conjuntamente durante el proceso de aplicación de agroquímicos. La utilización del antiderivante, aún en su mezcla con el tensioactivo, disminuyó siempre el porcentaje de deriva en relación con el agua, en tanto que, el uso de tensioactivo puro incrementó significativamente la cantidad de líquido derivado. Massaro et al. (2017) trabajaron con dos tipos de coadyuvante, aceite agrícola metilado y ésteres metílicos de ácidos grasos de aceites vegetales, para la aplicación de herbicidas en el control de malezas de hoja ancha. Encontraron que el uso de ésteres generó mayor cantidad de gotas finas y muy finas perdiéndose en el campo por exoderiva, aunque las condiciones ambientales no fueron críticas. Probablemente, este coadyuvante generó una mayor reducción de la tensión superficial del agua, con la consecuente pérdida de gotas en el ambiente de trabajo, observándose también un “corrimiento” del DVM. Los mismos autores citan, con respecto al tamaño de las gotas (DVM), una diferencia entre la lectura que realiza el software StainMaster y la clasificación de la tabla que aporta la marca de boquillas utilizadas, en los

tratamientos con gotas finas. Chapple et al. (1993) compararon el efecto de siete adyuvantes agrícolas y dos polímeros retardantes de la deriva utilizando una boquilla XR8004VS a 40psi (2,7579 bar) de presión. Excepto por dos coadyuvantes, el patrón de distribución de la boquilla fue significativamente alterado cuando se lo comparó con el agua como testigo. Sin embargo, la utilización de un surfactante tradicional no se diferenció del agua en ningún parámetro. García et al. (2016) estudiaron la combinación de adyuvantes y fungicidas sobre las características fisicoquímicas del caldo de pulverización y el control de enfermedades foliares en los cultivos de trigo y soja. Los mismos concluyeron que la adición de coadyuvantes al caldo de pulverización redujo significativamente la tensión superficial de la mezcla respecto al fungicida sin aditivos, atribuyendo a esta característica la menor severidad e incidencia de enfermedades. Por su parte, Dan et al. (2010) evaluaron la influencia de diferentes adyuvantes multifuncionales asociados a cuatro formulaciones de glifosato en el control de *Digitaria insularis* L. La maleza mostró una alta sensibilidad a las diferentes formulaciones de glifosato, aunque la adición de los adyuvantes al caldo de pulverización, independientemente del tipo de sal, no tuvo beneficios significativos en el control de la misma, sin un aumento en la velocidad de acción del herbicida. Rodrigues de Souza et al. (2014) evaluaron el efecto de la adición de coadyuvantes (surfactantes) a los fungicidas en el control de enfermedades foliares y de la espiga en trigo. Para esto establecieron 5 tratamientos: testigo (sin aplicación de fungicidas); solo fungicidas; fungicidas + adyuvante a base de aceite esencial de naranja; fungicidas + adyuvante a base de lecitina y ácido propiónico; fungicidas + adyuvantes a base de aceite esencial de naranja + adyuvante a base de lecitina y ácido propiónico. Los resultados demostraron que la adición de adyuvantes al caldo de pulverización interfirió positivamente en el desempeño de los fungicidas y afectó significativamente la severidad de enfermedades, el número de granos por espigas, la productividad y el retorno económico.

Una gran parte de las investigaciones de estos aditivos están orientadas a la evaluación de la eficiencia de aplicación, definida como la relación porcentual existente entre la cantidad de caldo

realmente aplicado (depositado en el objeto) y la cantidad de caldo pulverizado (Herrera et al., 2007). En virtud de ello, Bueno et al. (2013) estudiaron la deposición y el control de malezas mediante la aplicación de diferentes volúmenes de glifosato y la adición del coadyuvante nonil fenol etoxilado (tensioactivo no iónico). Para ello, utilizaron boquillas TT11001 y TT11002, volúmenes de aplicación de 30, 60 y 150 l ha<sup>-1</sup>, con y sin coadyuvante. El agregado de tensioactivo provocó cambios de pequeña magnitud en las propiedades físico-químicas de la solución, como así también un aumento no significativo de la acción del herbicida en los primeros días posteriores a la aplicación. Los menores volúmenes proporcionaron mayores deposiciones en los objetivos y menores pérdidas en el suelo. Sin embargo, independientemente del uso o no de coadyuvante y de los volúmenes de aplicación, el glifosato siempre alcanzó buenos niveles de control. Similares resultados fueron expresados por Metzler et al. (2015) quienes encontraron que los menores volúmenes de aplicación de la mezcla glifosato y saflufenacil fueron más eficaces, independientemente del coadyuvante empleado, adjudicando estos resultados a la mayor concentración de principio activo por gota. Madureira et al. (2015) evaluaron la interacción de dos boquillas, abanico plano inclinado y abanico plano con inducción de aire, con diferentes adyuvantes de uso agrícola en la estimación del riesgo potencial de deriva. Los resultados determinaron que la boquilla con aire inducido obtuvo el mayor DVM, menor porcentaje de gotas ≤ 100 μm, menor riesgo potencial de deriva y espectro de gotas más uniforme en comparación a la de abanico plano inclinado. La adición de adyuvantes, independientemente de sus propiedades, minimizó los riesgos potenciales de deriva en la boquilla de abanico plano inclinado en tanto que, en la de aire inducido, únicamente el polímero vegetal tuvo este efecto, siendo el más eficiente. Martini et al. (2015) estudiaron la influencia de diferentes aditivos y boquillas en la deriva de glifosato. Para esto trabajaron con tres diseños de boquilla (XR110015, AIXR 110015 y TTI 110015) y siete coadyuvantes diferentes (Break Thru®, Grap 'Oil®, Grap Super Gun®, Iharol®, NP-10®, Dash HC® y Emultec R®) que se añadieron al caldo de aplicación junto con el herbicida. Además de estos tratamientos, se establecieron dos testigos: uno sin

aplicación y otro con glifosato sin adyuvante. Los autores concluyeron que la reducción de la deriva de glifosato está relacionada con la selección correcta de la boquilla de pulverización. Las boquillas con aire inducido proporcionaron menor deriva que la boquilla de abanico plano convencional, así como menor densidad de impactos y mayor DVM en el objeto de aplicación. El comportamiento de los adyuvantes fue dispar, NP-10<sup>®</sup> y Emultec R<sup>®</sup> aumentaron la deriva mientras que Grap 'Oil<sup>®</sup>, Grap Super Gun<sup>®</sup>, Iharol<sup>®</sup> y Dash HC<sup>®</sup> disminuyeron la densidad de gotas derivadas cuando se utilizaron con la boquilla XR, en comparación con el testigo sin coadyuvantes. Tesouro et al. (2003) evaluaron la incidencia de dos tensioactivos sobre el grado de cobertura, tanto en tarjetas hidrosensibles como en hojas de cultivo de soja, mediante el empleo de una boquilla de abanico plano 80015 a 300 kPa de presión. El agregado de tensioactivos al caldo de pulverización incrementó el grado de cobertura, dado principalmente por un aumento en el DVM de los impactos que alcanzaron los objetivos. El nivel de cobertura logrado estuvo afectado por las características superficiales del blanco.

Villalba et al. (2009), mencionan que el éxito de la aplicación y el resultado del control están directamente relacionados con la adecuada selección de boquillas de pulverización y el ajuste del volumen de aplicación, junto a las condiciones operacionales y climáticas. Geyer et al. (2016) luego de evaluar la eficiencia de seis boquillas de doble abanico con tres herbicidas de contacto y cinco especies diferentes de plantas, concluyen que son necesarias mayores investigaciones para entender la complejidad en la selección de las boquillas con diferentes mezclas químicas. Las puntas de pulverización representan uno de los principales componentes de la aplicación, garantizando la calidad y la seguridad de ésta. Ellas presentan como funciones básicas fragmentar el líquido en pequeñas gotas, distribuir las gotas y controlar la salida del líquido por unidad de área (Sidahmed, 1998). Así, la selección de las puntas es de suma importancia, porque es el factor determinante de la cantidad aplicada por área, de la uniformidad de aplicación, de la cobertura obtenida y del riesgo potencial de deriva. Al respecto, Wolf & Caldwell (2004) demostraron que las gotas gruesas (entre 341  $\mu\text{m}$  y 403  $\mu\text{m}$ , según norma ASABE S572.1, 2009) generadas por boquillas con aire inducido y la

disposición de dos boquillas (una hacia adelante y otra hacia atrás), aumentan la deposición en objetivos verticales y horizontales de un cultivo de cereal. Los mismos aseguran que al aumentar el ángulo entre las dos boquillas, también aumentan los depósitos en dichos objetivos. Boller & Schlosser (2010), analizando la trayectoria de las gotas medias sobre cereales de invierno, demuestran que estas gotas se depositan en su gran mayoría en una cara de las plantas, manteniendo el sector opuesto (lado de la sombra) con menor cantidad de gotas. Los mismos autores indican que los abanicos dobles presentan un pequeño aumento de la cantidad de gotas depositadas en la cara denominada "lado de la sombra". La situación más equilibrada la obtuvieron cuando fueron utilizadas boquillas con abanico planos dobles con ángulos diferenciados en relación a la vertical, logrando una deposición más uniforme de las gotas en ambos lados de las plantas. También Parkin et al. (2006) sugieren, para un control eficiente de las enfermedades en espiga, utilizar boquillas anguladas hacia atrás y una población de gotas medianas (entre 236  $\mu\text{m}$  y 340  $\mu\text{m}$ , según norma ASABE S572.1, 2009) o con aire inducido. Además, encontraron una tendencia hacia una mayor deposición sobre la cara trasera de las espigas respecto a la delantera, para todas las boquillas utilizadas. Sin embargo, el abanico con aire inducido y con una inclinación de 10° hacia atrás respecto al plano vertical, presentó la mayor deposición en ambas caras, mientras que el abanico convencional la menor. Por su parte, Halley et al. (2010) recomiendan trabajar con boquillas de abanico plano orientadas en la dirección de avance, con una inclinación respecto a la horizontal de 30° hacia abajo y asistidas con una corriente de aire, asegurando una mayor deposición y cobertura sobre las caras de la espiga. En este sentido, Elliott & Mann (1997) demostraron que los depósitos sobre espigas de trigo aumentaron de 2,6  $\mu\text{l}$  a 4,6  $\mu\text{l}$  a medida que la inclinación de la boquilla de abanico plano variaba de 10° a 40°. Wolf & Peng (2011) aseguran que la angulación de las boquillas en 60° mejora significativamente la deposición sobre objetivos verticales, pero no así en horizontales. Por su parte, Derksen et al. (2012) encontraron que la deposición sobre la espiga se incrementó cuando la inclinación del botalón fue de 30° hacia adelante, respecto a la posición

vertical, aunque se vio reducida la deposición en la hoja bandera. Wolf & Caldwell (2013) mencionan que el tipo de boquilla afecta significativamente la deposición tanto en la cara frontal, como en la trasera y en todo el objetivo. Esta afirmación la hicieron luego de encontrar similar tasa de recuperación en la cara frontal para las boquillas AIXR y AI3070, significativamente mayor a AITTJ60. Sin embargo, AI3070 tuvo una mayor deposición en la cara posterior respecto a las demás boquillas, resultando en una deposición total de la misma significativamente mayor. La uniformidad, indicada por los autores como la relación entre la deposición en la cara delantera y la deposición en la posterior, fue mayor para AI3070 (1,5) con similar comportamiento a AITTJ60 (2,0) y significativamente mejor que AIXR (3,4). Nicholson et al. (2003) encontraron que las boquillas de doble abanico plano presentaron una mayor uniformidad de distribución sobre las espigas que las boquillas de abanico plano convencional, determinando una mayor cobertura y control de la enfermedad. Resultados similares fueron informados por Ozkan et al. (2012) en el control de enfermedades foliares y de la espiga de un cultivo de trigo. Sin embargo, la mayor cobertura de la espiga con las boquillas doble abanico, no se correspondió con similares resultados en la hoja bandera, donde las boquillas de abanico plano produjeron mayor cobertura sin ser las diferencias significativas. Ferguson et al. (2016), evaluando el comportamiento de boquillas doble abanico simétricas y asimétricas, determinaron una mayor densidad de impactos y cobertura con boquillas anguladas en 30° hacia adelante y hacia atrás. Además, indicaron que la alternancia de los ángulos en las boquillas asimétricas permitió mantener los porcentajes de cobertura uniformes ante variaciones de presión respecto a la disposición original. Olivet et al. (2013) lograron la mayor deposición sobre la espiga con boquillas de abanico doble, siendo la diferencia con las boquillas de abanico plano convencional y con inducción de aire del 73 %. Los autores atribuyeron este comportamiento al doble perfil de pulverización del doble abanico plano. Además, la deposición lograda con el abanico plano convencional fue la menor, sin diferenciarse con el abanico plano de aire inducido.

En razón de lo expuesto, la pulverización es la forma de aplicación más común y difundida de fitoterápicos, pero sus resultados son variables y complejos, lo que hace importante su evaluación. En este sentido, el uso de tarjetas hidrosensibles es una metodología de evaluación accesible y simple que permite la valoración de distintos parámetros que inciden sobre la deposición de control. En los últimos años se han desarrollado diferentes formas de procesamiento digital de tarjetas, que permiten cuantificar además del número de impactos, la cobertura, características de la población de gotas y la cantidad de producto depositado, que se expresa como deposición en relación al líquido asperjado por unidad de superficie. Al respecto, Domper et al. (2015) comparando boquillas de cono hueco 80015 convencionales y de aire inducido, encontraron que la metodología de procesamiento de imágenes sobreestima el porcentaje de deposición de boquillas con inducción de aire principalmente, pero logra ser una herramienta adecuada a nivel de campo para la toma de decisiones dada su sencillez y rapidez. Cunha et al. (2013) evaluaron y compararon los resultados obtenidos de cuatro programas de análisis de gotas (CIR, e-Sprinkle, DepositScan y Conta-Gotas) sobre papel hidrosensible y con cuatro patrones de gotas diferentes. El programa CIR proporcionó valores más bajos que los de la lectura manual para las variables DVM y NMD. Sin embargo, siempre proporcionó la mayor densidad de gotas, asociado esto a la mayor sensibilidad de este programa para individualizar las gotas superpuestas. Merani et al. (2018) compararon tres programas de análisis de imágenes (CIR 1,5®, Gotas PC® y Gotas celular®) con diferentes diseños de boquillas. Determinaron que la densidad de impactos y la cobertura fueron significativamente diferentes entre programas. En tanto, la tasa de recuperación se correlacionó fuertemente con los valores de cobertura, pero los valores difirieron significativamente de la valoración colorimétrica, por lo que concluyeron que ningún programa puede usarse como parámetro de valoración. Zhu et al. (2011), utilizando el software DepositScan, encontraron que el diámetro de las gotas difería de la lectura realizada con un microscopio estereoscópico. De acuerdo a los autores, esta inexactitud se hace más chica cuanto más grande es el tamaño de la gota y recomiendan utilizar escáneres de mayor

resolución para disminuir el error. Además, indicaron que algunas gotas grandes visualizadas en el papel podrían ser el resultado del solapamiento de varias gotas, por lo que el diámetro de las gotas tomado por el programa sería la combinación del diámetro de varias gotas pequeñas y no de una grande. Sin embargo, también se han encontrado inconvenientes con las gotas de menor tamaño. En este sentido, Stefanelo et al. (2014), evaluando el comportamiento de boquillas de abanico plano y cono hueco sobre un cultivo de trigo, hallaron discrepancia en el tamaño de las gotas con lo señalado por los fabricantes de estas boquillas, pudiendo estar relacionado con las limitaciones del papel hidrosensible en detectar gotas de tamaño reducido. Resultados similares fueron observados por Bayer et al. (2012) en aplicaciones aéreas, donde el papel hidrosensible no fue capaz de detectar gotas muy finas ( $< 60 \mu\text{m}$ , según norma ASABE S572.1, 2009) generadas por puntas electroestáticas y atomizadores rotativos.

Otra forma de valoración de los sistemas de pulverización, es a través del uso de sustancias químicas como los trazadores que permiten la determinación de la cantidad de producto efectivamente depositado sobre el objeto de aplicación (Cowell et al., 1988). Su uso es complejo y no son aplicables a nivel productivo pero brindan mayor exactitud (Domper et al., 2015) y resultan de gran utilidad cuando los riesgos de que el papel hidrosensible se contamine accidentalmente por rozamiento con superficies húmedas, huellas de los dedos y/o humedad ambiental son altos (Pierce y Ayers, 2001). Por otra parte, el uso de trazadores para las evaluaciones de tecnologías de aplicación es beneficioso ya que son técnicas confiables y económicas que permiten realizar estudios de deposición en blancos naturales y de interés (Barber & Parkin, 2003; Palladini et al., 2005). En este sentido, Porras (2006) y Dobson & King (2002), recomiendan usar superficies naturales, propias de las plantas para evaluar la cantidad de producto fitosanitario depositado, pues la cantidad de retención en las hojas u otras superficies de la planta suele ser diferente a las superficies artificiales como los colectores de papel hidrosensible.



Teniendo en cuenta lo antes mencionado, resulta importante generar información respecto a la calidad y uniformidad de aplicación de diferentes diseños de boquillas sobre un cultivo de trigo, como así también, sobre el efecto del uso de un coadyuvante multifuncional sobre los parámetros de caracterización de la población de gotas. En función de los antecedentes recuperados, se establecen las siguientes hipótesis y objetivos de trabajo.

## **HIPÓTESIS**

### ***Hipótesis básica***

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

### ***Hipótesis de trabajo***

- La metodología de análisis por medio de tarjetas hidrosensibles sobreestima la deposición sobre el objetivo de aplicación, independientemente del tipo de boquilla utilizada.
- El uso de coadyuvantes mejora la cobertura del objeto de aplicación.
- El agregado de coadyuvante modifica el espectro de gotas, independientemente del tipo de boquilla utilizada.
- La boquilla doble abanico asimétrica (AI3070) presenta mayor uniformidad de distribución entre la hoja bandera y la espiga.
- El tamaño de las gotas tiene una relación inversa con la cobertura tanto en la espiga como en la hoja bandera, independientemente de la boquilla utilizada.
- Las boquillas con proyección del líquido con un ángulo respecto a la normal de la superficie del cultivo mejoran la uniformidad de distribución entre la espiga y la hoja bandera.
- La boquilla cono hueco presenta mayor uniformidad de distribución entre las caras de la espiga.

## **OBJETIVOS**

### ***Objetivos Generales***

- Evaluar el desempeño de diferentes diseños de boquillas sobre la espiga y hoja bandera de un cultivo de trigo.
- Contribuir con información relevante para el logro de aplicaciones eficientes de fungicidas bajo condiciones reales de campo.

### ***Objetivos Específicos***

- Evaluar la eficiencia de deposición de las boquillas a través de las metodologías de digitalización de imágenes y la determinación por colorimetría mediante un espectrofotómetro.
- Valorar la uniformidad de distribución de diferentes boquillas en las caras de la espiga de trigo, bajo condiciones reales de aplicación.
- Evaluar la uniformidad de aplicación de diferentes boquillas entre la espiga y la hoja bandera del cultivo de trigo, bajo condiciones reales de aplicación.
- Evaluar el efecto del coadyuvante en la prestación de distintas boquillas sobre el cultivo de trigo, bajo condiciones reales de aplicación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Características del sitio*

Los ensayos tuvieron lugar en la Estación Experimental Julio Hirschhorn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (34° 59' S, 57° 59' W), situada en la localidad de Los Hornos de la ciudad de La Plata, Argentina. Se trabajó sobre un lote sembrado con trigo (*Triticum aestivum*) en una densidad de 120 kg ha<sup>-1</sup> (Foto 1). Sobre dicho cultivo se realizaron aplicaciones cuando el mismo estuvo en la etapa de antesis temprana, estado Z61 según escala de Zadocks et al. (1974), correspondiente al período de cultivo de mayor susceptibilidad a la infección por *Fusarium graminearum*. Al momento de la realización de las pruebas, las espigas medían aproximadamente 11,5 cm de largo y 1 cm de diámetro (Foto 2), dimensiones acordes al estado de desarrollo del cultivo (Schalamuk, 2019<sup>1</sup>).



**Foto 1.** Cultivo de trigo (*Triticum aestivum*) en etapa de antesis temprana, estado Z61 según escala de Zadocks et al. (1974).

---

<sup>1</sup> Schalamuk, S. 2019. Guía visual trigo. Curso de cerealicultura. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Comunicación personal.



**Foto 2.** Espigas de trigo (*Triticum aestivum*) de dimensiones acorde a la etapa de desarrollo del cultivo.

### ***Maquinaria utilizada***

Para realizar las aplicaciones, se utilizó un equipo pulverizador hidráulico montado con un tanque de 400 l de capacidad, agitación hidráulica, bomba de pistones accionada por la toma posterior de potencia y un manómetro en baño de aceite (Foto 3). El ancho del botalón es de 8,4 m con portapicos múltiples de 3 boquillas distanciados a 0,525 m (Fotos 4 y 5). La altura de trabajo, tomada como la distancia entre el botalón y la parte superior de la espiga, fue de aproximadamente 0,35 m.



**Foto 3.** Equipo pulverizador hidráulico montado con un tanque de 400 l de capacidad, agitación hidráulica, bomba de pistón membrana accionada por la toma posterior de potencia.



**Foto 4.** Portapico múltiple de tres boquillas.

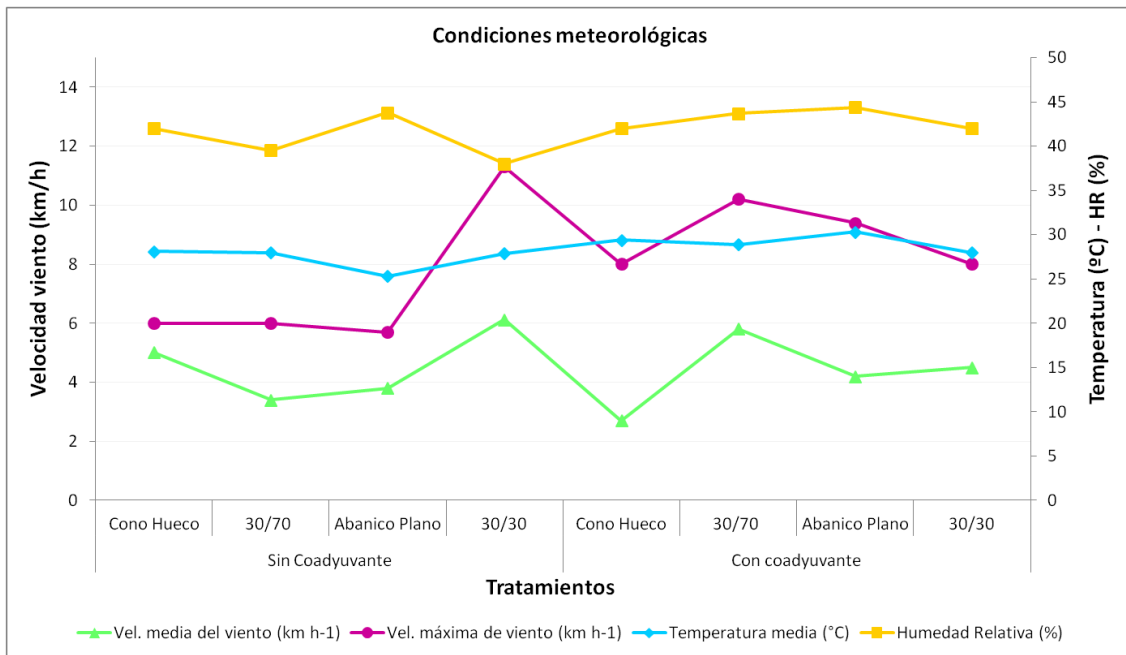


**Foto 5.** Distanciamiento entre boquillas de 0,525 m.

### ***Condiciones meteorológicas***

Las condiciones meteorológicas promedio durante el ensayo fueron de cielo descubierto, temperatura media de 28 °C, humedad relativa del 42 % y velocidad del viento de 4,5 km h<sup>-1</sup> con ráfagas de hasta 11,3 km h<sup>-1</sup> (Figura 1). Las mismas no fueron favorables para la infección y desarrollo de la fusariosis de la espiga, que de acuerdo a Díaz de Ackermann et al. (2002) se necesitan espigas mojadas durante 2 a 3 días y temperaturas entre 10 °C y 30 °C, con óptimo en el entorno de los 25 °C, previo a la floración.

Las condiciones ambientales se mantuvieron estables a lo largo del ensayo, y se tuvo la precaución de no tomar datos durante la ocurrencia de ráfagas. Los valores de temperatura y velocidad promedio del viento estuvieron dentro de los límites recomendados por ANDEF (2004), inferior a 30°C y velocidad del viento de 3 a 10 km h<sup>-1</sup>. Sin embargo, el porcentaje de humedad relativa estuvo por debajo del 55% recomendado por el autor. Leiva (2015) establece como límite crítico de humedad un 50% y aconseja el uso de antieaporante en trabajos con menores porcentajes. Leaver (2001) cita velocidad del viento entre 3 y 15 km h<sup>-1</sup> como aceptables para aplicaciones.



**Figura 1.** Condiciones meteorológicas durante el ensayo: velocidad media del viento (km h<sup>-1</sup>), velocidad máxima de viento (km h<sup>-1</sup>), temperatura media (°C), humedad relativa (%).

### **Características del caldo**

Se estableció una tasa de aplicación de 103 l ha<sup>-1</sup>, en correlación con los volúmenes que se utilizan para tratamientos de fungicidas (Olivet et al., 2013). La velocidad de desplazamiento del conjunto fue de 2,45 m s<sup>-1</sup>, el distanciamiento entre boquillas fue de 0,525 m y la presión de trabajo de 300 kPa. Para las aplicaciones se utilizó agua y se agregó un trazador de tipo alimenticio, Azul Brillante (FD&C Azul No. 1) en una dilución de 13,073 g l<sup>-1</sup> (Foto 6). Con el objetivo de evaluar el efecto de la adición de un aditivo a la mezcla, se incorporó un coadyuvante polifuncional marca Rino® en una dosis de 30 ml hl<sup>-1</sup>. El mismo es un nonilfenol polietilenglicol éter que tiene las propiedades de ser adherente, dispersante, emulsionante, humectante y tensioactivo.





**Foto 6.** Incorporación al tanque de pulverización del trazador de tipo alimenticio, Azul Brillante (FD&C Azul No. 1).

### ***Diseños de boquillas y lugar de medición***

Se evaluaron cuatro diseños de boquillas, abanico plano 11002 (AP11002), cono hueco 8002 (TXA8002), doble abanico simétrico con inducción de aire 11002 (AI3030) y doble abanico asimétrico con inducción de aire 11002 (AI3070) que definieron los tratamientos (Fotos 7, 8, 9 y 10). Cada uno de ellos fue evaluado con agua y con la mezcla de agua y coadyuvante, estableciéndose así dos subtratamientos para cada uno (Tabla 1).

Se establecieron dos objetivos de medición: uno vertical, la espiga, y otro horizontal, la hoja bandera.

**Tabla 1.** Boquillas utilizadas y condiciones operativas del conjunto tractor pulverizadora. P: presión de trabajo; q: caudal erogado por la pastilla; Va: velocidad de desplazamiento del conjunto; VA: volumen de aplicación; T: tratamiento; AP11002: boquilla de abanico plano 11002; TXA8002: boquilla de cono hueco; AI3030: boquilla doble abanico simétrico con inducción de aire; AI3070: boquilla doble abanico asimétrico con inducción de aire; St: Subtratamientos; Sc: sin el agregado de coadyuvante; Cc: con el agregado de coadyuvante

Boquillas	Presión (KPa)	q (l min <sup>-1</sup> )	Va (m s <sup>-1</sup> )	VA (l ha <sup>-1</sup> )	Ángulo de pulverización	Clases de gotas (µm)*	T	St
Albuz AP11002®	300	0,8	2,45	103	110°	Fina	AP11002	Sc Cc
Teejet TXA 8002®	300	0,8	2,45	103	80°	Fina	TXA8002	Sc Cc
Hypro GAT 11002®	300	0,8	2,45	103	110° con inclinación en 30° hacia adelante y 30° hacia atrás <sup>1</sup>	Media	AI3030	Sc Cc
Teejet AI3070 11002®	300	0,8	2,45	103	110° con inclinación en 30° hacia adelante y 70° hacia atrás <sup>1</sup>	Media	AI3070	Sc Cc

\*clases de gotas de las boquillas de acuerdo a ASABE S572.1 (ASABE, 2009)

<sup>1</sup>Inclinaciones con respecto al plano vertical central de la boquilla



**Foto 7.** Boquillas utilizadas en el ensayo: A) abanico plano convencional 11002 (AP11002); B) cono hueco convencional 8002 (TXA8002); C) doble abanico simétrico con aire inducido 11002 (AI3030); D) doble abanico asimétrico con aire inducido 11002 (AI3070)



**Foto 8, 9 y 10.** Vista lateral de las boquillas utilizadas en el ensayo, colocadas en el portapico múltiple, de izquierda a derecha: TXA8002, AI3030 y AI3070

Para llevar adelante las pruebas se utilizaron boquillas nuevas, y previo a la realización de los ensayos, se procedió a los controles pertinentes de caudal para cada una. Para esto se utilizaron jarras graduadas de 1,5 l y un caudalímetro electrónico marca SpotOn Sprayer Calibrator®, modelo SC-1 con capacidad de medición de 0 a 3,8 l min<sup>-1</sup> (Fotos 11 y 12).



**Foto 11.** Control de caudal de las boquillas ( $\text{l min}^{-1}$ ) mediante jarra graduada.

**Foto 12.** Control de caudal de las boquillas mediante caudalímetro electrónico marca SpotOn Sprayer Calibrator®, modelo SC-1

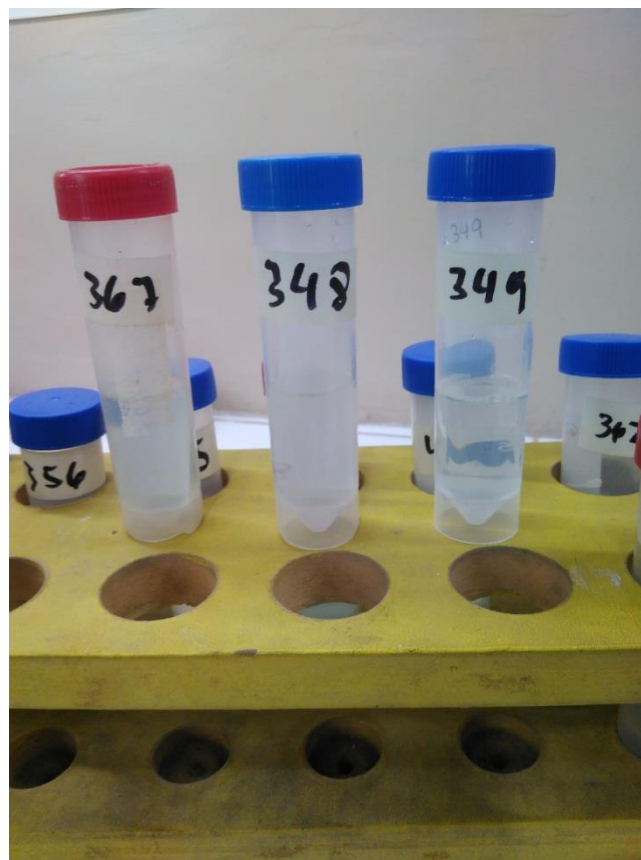
### ***Metodología de evaluación y variables experimentales***

Los objetivos verticales (espigas) fueron evaluados a través de dos metodologías: trazador colorimétrico y tarjetas hidrosensibles.

#### ***Trazador colorimétrico***

Se determinó la deposición del caldo por medio de la cuantificación del trazador adicionado al mismo (Azul Brillante, FD&C Azul No. 1), conforme a la metodología propuesta por Palladini (2000) y según modificaciones de la descripción realizada por Palladini et al. (2005). Para ello, luego de realizada la aplicación y del secado del pulverizado sobre el cultivo, se recolectaron diez espigas por

repetición y se colocaron en frascos individuales. Las muestras de material se trasladaron al lugar de análisis al resguardo de la luz, dentro de recipientes herméticos. Una vez en el laboratorio, se lavaron con 30 ml de agua destilada y se agitaron durante 30 segundos para retirar el trazador. La solución de ese lavado se colocó en tubos falcon de 50 ml (Foto 13) y por medio de espectrofotómetro de eje simple de UV-visible, marca METROLAB, modelo 320 (Foto 14), se realizó la lectura de absorbancia en una longitud de onda de 630 nm. Mediante una curva de calibración construida a partir de soluciones patrón, los datos de absorbancia se transformaron en concentración de solución ( $\text{mg l}^{-1}$ ). En función del volumen de dilución de las muestras y de la densidad de espigas por hectárea, se determinó la cantidad de trazador retenido en el blanco expresado en  $\text{g ha}^{-1}$ . Conocida la concentración inicial del caldo en el tanque ( $\text{mg l}^{-1}$ ) y la dosis de aplicación ( $\text{l ha}^{-1}$ ), se calculó el porcentaje de depósito en la espiga.



**Foto 13.** Tubos falcon de 50 ml con la solución de lavado de las espigas.



**Foto 14.** Espectrofotómetro de eje simple de UV-visible marca METROLAB, modelo 320.

### ***Tarjetas hidrosensibles***

Se utilizaron tarjetas hidrosensibles Syngenta® de 3" x 1" (76 mm x 25 mm) a fin de caracterizar la población de gotas que alcanzó el objetivo. Mediante un tubo cilíndrico (2,7 cm de diámetro y 11,5 cm de largo) se cubrió la espiga, metodología similar a la descrita por Wolf y Peng (2011) y Ozkan et al. (2012), y sobre el mismo se colocaron cuatro tarjetas hidrosensibles simulando las caras de la misma: anterior, posterior, derecha e izquierda en relación al sentido de avance de la máquina pulverizadora (Foto 15). Inmediatamente después de realizada la aplicación y de que las tarjetas se hayan secado, se las retiró y se las resguardó de posibles contaminaciones (Foto 16).

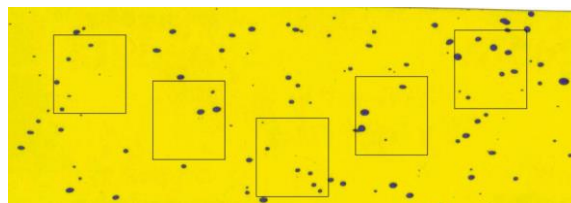


**Foto 15.** Tubo cilíndrico cubriendo la espiga con tarjetas hidrosensibles adosadas al mismo, previo al avance de la máquina pulverizadora. Las tarjetas fueron colocadas simulando las caras del objetivo vertical.



**Foto 16.** Tubo cilíndrico cubriendo la espiga con tarjetas hidrosensibles adosadas al mismo, luego de realizada la aplicación.

En el gabinete, los papeles hidrosensibles fueron digitalizados mediante un scanner de mesa con una resolución de 1200 dpi y luego procesados por el software de análisis de imágenes CIR1.5<sup>®</sup>. El programa realizó el conteo y cálculo de las variables respuesta en cada tarjeta, sobre el promedio de cinco ventanas de medición de 1 cm<sup>2</sup> de superficie cada una ubicadas aleatoriamente sobre la imagen digitalizada (Foto 17).



**Foto 17.** Ventanas de 1 cm<sup>2</sup> de superficie ubicadas de manera aleatoria sobre la imagen de una tarjeta hidrosensible digitalizada.

Los objetivos horizontales (hoja bandera) fueron evaluados únicamente a través de las tarjetas hidrosensibles y su posterior procesamiento mediante el software CIR1.5<sup>®</sup>. Los papeles sensibles fueron colocados sobre soportes de hierro a la altura de la hoja bandera, simulando la misma (Fotos 18 y 19). Al igual que en la espiga, el programa realizó el conteo y cálculo de las variables respuesta sobre el promedio de cinco ventanas de medición ubicadas aleatoriamente sobre la imagen digitalizada.



**Foto 18.** Soporte de hierro colocado a la altura de la hoja bandera sosteniendo una tarjeta hidrosensible, previo al avance de la máquina pulverizadora.

**Foto 19.** Soporte de hierro colocado a la altura de la hoja bandera, sosteniendo una tarjeta hidrosensible luego de realizada la aplicación.

A través de la metodología de tarjetas hidrosensibles (Foto 20), se analizaron las siguientes variables respuesta:



- Densidad de impactos (DI, impactos  $\text{cm}^{-2}$ ). Es el número de impactos por  $\text{cm}^2$  de tarjeta analizada.
- Diámetro Volumétrico Mediano (DVM o  $DV_{0.5}$ ,  $\mu\text{m}$ ). El mismo hace referencia al diámetro de la gota que separa la población de gotas ordenadas de menor a mayor en dos mitades de igual volumen de líquido (Texeira, 2010)
- Cobertura (%) referida al porcentaje del área de la tarjeta cubierta por manchas.
- Amplitud Relativa (AR). Es la relación entre los diámetros volumétricos ( $DV_{0.9} - DV_{0.1}$ )/ $DV_{0.5}$ . La misma es un indicador del grado de homogeneidad en el tamaño de la población de gotas.
- Deposición (%) referida a la relación entre el volumen estimado recogido en el objetivo y el aplicado por la máquina pulverizadora.

Resultados de la Muestra		Resultados Normalizados	
Diámetro Mínimo	31.42	Cantidad de Impactos por $\text{cm}^2$	134
Diámetro Máximo	732.14	Diámetro Mediano Volumétrico ( $\mu\text{m}$ )	373.02
Cantidad de Impactos	648	Impactos con Diámetro < 100 $\mu\text{m}$ por $\text{cm}^2$	58 => 0.71 % Vol
Cantidad de Clases	18	Impactos con Diámetro < 200 $\mu\text{m}$ por $\text{cm}^2$	103 => 14.58 % Vol
Relación de Clase	1.21	Volumen de Agua por $\text{cm}^2$ ( $\mu\text{m}^3$ )	710981278.24
Area Efectiva Muestreada	4.85 $\text{cm}^2$	Volumen de Agua por $\text{cm}^2$ (litros)	0.000000710981
DV(0.5) ( $\mu\text{m}$ )	373.02	Cantidad de Gotas por Litro pulverizado	188009524
DV(0.1) ( $\mu\text{m}$ )	183.06	Volumen de Campo Muestra (lts/Ha)	71.10
DV(0.9) ( $\mu\text{m}$ )	553.28	Tasa de Aplicación Teórica (lts/Ha)	64.76
DMN ( $\mu\text{m}$ )	125.15	Eficiencia (%)	109.79
Amplitud Relativa	0.99	Factor de Dispersión	2.98
		Area de Cobertura (%)	15.5

**Foto 20.** Programa de análisis de tarjetas hidrosensibles CIR 1.5, presentación de los resultados de las variables respuesta para una tarjeta hidrosensible analizada.

## ***Diseño experimental***

Se utilizó un diseño factorial de 4x2 con 10 repeticiones distribuidas completamente al azar. Los factores utilizados fueron cuatro diseños de boquillas: abanico plano convencional (AP11002), doble abanico asimétrico con aire inducido (AI3070 11002), doble abanico simétrico con aire inducido (GAT11002), cono hueco convencional (TXA8002); cada uno con dos niveles, con y sin coadyuvante multifuncional Rino®. Los resultados se procesaron estadísticamente con el programa InfoStat versión 2017 (Di Rienzo et al., 2017), se los sometió a la prueba de normalidad y cumplidos todos los supuestos, se les realizó un análisis de la varianza y la significancia de las diferencias se cuantificaron a partir de Test de LSD ( $p \leq 0,05$ ). Las variables que no tuvieron un comportamiento normal fueron analizadas mediante una varianza no paramétrica y la prueba de significancia de Kruskal-Wallis (Conover, 1999).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

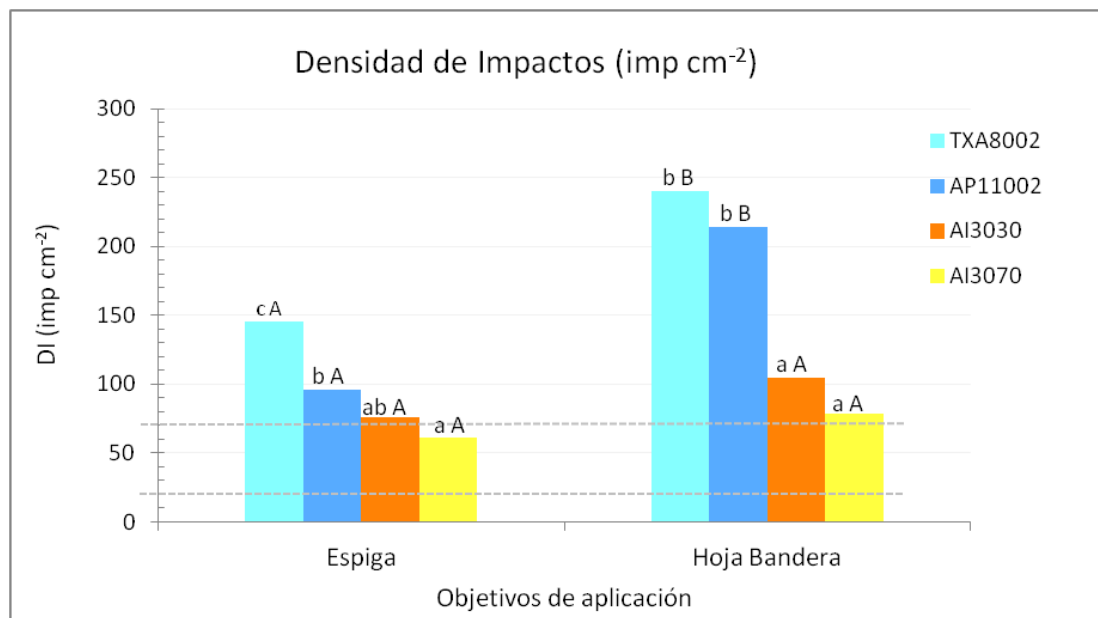
Es importante precisar que los resultados obtenidos en este trabajo están limitados a las condiciones ambientales bajo las cuales se trabajó.

El análisis de los datos para todas las variables respuesta, mostró interacción significativa con el objetivo de medición (espiga y hoja bandera), por lo cual se procedió a particionar el análisis para evaluar el efecto de las distintas boquillas y de la adición del coadyuvante sobre la espiga y la hoja bandera.

### ***Densidad de impactos***

En la Figura 2 se presenta el promedio de densidad de impactos en espiga y hoja bandera para cada tratamiento. La tendencia observada en los dos objetivos fue similar, la boquilla TXA8002 tiene los mayores valores en tanto que, AI3030 y AI3070 las menores densidades de impactos y AP11002 un comportamiento intermedio. En la espiga únicamente TXA8002 se diferencia significativamente de las demás boquillas, mientras que AP11002 se diferencia de AI3070. En la hoja bandera, TXA8002 y AP11002 no se diferencian significativamente, pero si lo hacen respecto a AI3030 y AI3070. La mayor densidad de impactos de la boquilla TXA8002 fue en parte informada por Herrera Prat et al. (2008) y Derksen et al. (2012), quienes atribuyeron estos resultados al espectro de gotas de menor tamaño de las boquillas de cono hueco respecto a las demás. Similares observaciones realizaron Gálvez et al. (2010) al explicar la mejor distribución en el canopeo por parte del cono hueco en comparación con boquillas de doble abanico. Relacionado a esto es que las gotas pequeñas tienen mayores probabilidades de depositarse que un mismo volumen representado por gotas más grandes, lo que explica el bajo rendimiento de AI3030 y AI3070. Estos resultados se corresponden con los de Martini et al. (2015) quienes encontraron menor porcentaje

de deriva y menor densidad de impactos con las boquillas con aire inducido respecto a la boquilla de abanico plano convencional.

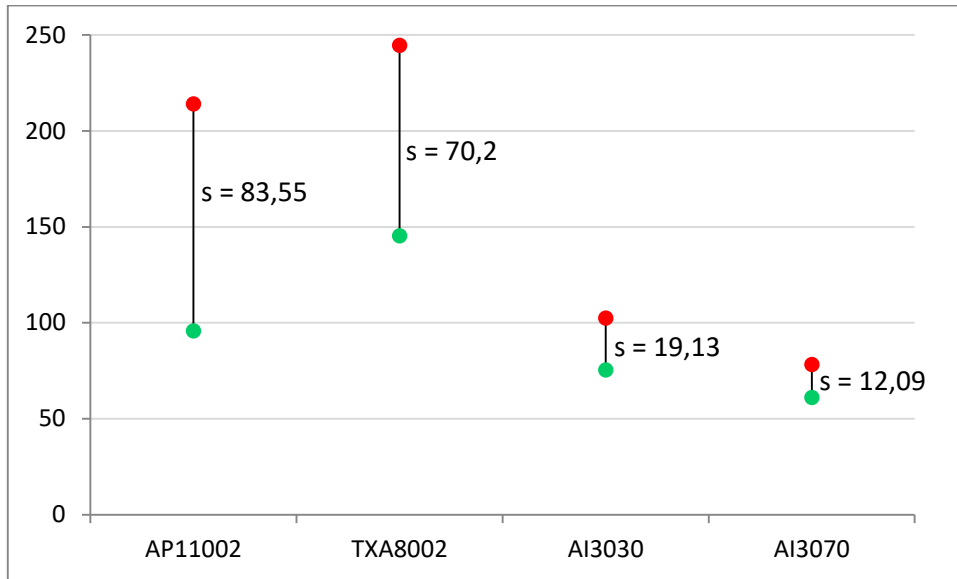


**Figura 2.** Densidad de impactos promedio sobre la espiga y la hoja bandera para cada tratamiento. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre tratamientos en cada objetivo de aplicación. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre objetivos de aplicación para cada tratamiento.

Todos los tratamientos presentaron mayor densidad de impactos sobre la hoja bandera respecto a la espiga, sin ser la diferencia significativa con los tratamientos AI3030 y AI3070. Los resultados corroboran además las dificultades de las gotas para alcanzar el objetivo vertical, vinculadas a la propia estructura de la espiga y su orientación, siendo relativamente más fácil que las mismas alcancen las partes orientadas horizontalmente, como la hoja bandera (Xie et al., 1995). El bajo desempeño de las boquillas AI3030 y AI3070 no condice con las recomendaciones de Parkin et al. (2006) respecto a la utilización de boquillas anguladas hacia atrás y una población de gotas medianas o inducidas con aire para un control eficiente de las enfermedades en espiga, aunque dichos autores no encontraron resultados significativos que respalden la recomendación.

No obstante esto, tanto en la espiga como en la hoja bandera, todas las boquillas alcanzaron el mínimo de 20 a 30 impactos  $\text{cm}^{-2}$  que establece Weber (1982) para productos sistémicos, como así también las 30 a 40 gotas  $\text{cm}^{-2}$  recomendadas por Ozeki (2006) para alcanzar eficiencia biológica en tratamientos fúngicos con productos sistémicos. Sin embargo, en este tipo de cultivo, la estructura y fisiología de la espiga hacen que los productos fungicidas actúen principalmente como de contacto y no sistémicos (Díaz de Ackermann et al., 2002), requiriendo para su control un mínimo de 60 impactos  $\text{cm}^{-2}$  recomendados por Bonini (2003) y Gandolfo et al. (2007) y hasta 70 impactos  $\text{cm}^{-2}$  de acuerdo a Syngenta Crop Protection (2004). La boquilla AI3070 es la que registra los menores valores sobre la espiga como así también sobre la hoja bandera, por lo que en este parámetro no alcanza una mayor aptitud con respecto a las demás. En este sentido, esta alternativa sería la más complicada en alcanzar el número de impactos requerido ya que la densidad de impactos promedio sobre la espiga fue de 61 gotas  $\text{cm}^{-2}$ , en tanto que las demás opciones (AI3030, AP11002 y TXA8002) lo superan, sin comprometer la aplicación. Sin embargo, AI3030 con 76 impactos  $\text{cm}^{-2}$  sobre la espiga y AI3070 con 79 impactos  $\text{cm}^{-2}$  en la hoja bandera, apenas logran los requerimientos anteriormente mencionados, siendo probable que se ponga en riesgo la eficacia de la aplicación si las condiciones ambientales empeoran.

A pesar del pobre desempeño del tratamiento AI3070, el mismo presenta la mayor homogeneidad de distribución entre el objetivo vertical y el horizontal, lo que se ve reflejado en el menor valor de desvío estándar ( $s$ ) que se muestra en la Figura 3. La angulación que caracteriza a este tipo de boquillas de doble abanico, independientemente del grado de angulación, produce que las gotas sean distribuidas entre los objetivos de manera más uniforme, a diferencia de las boquillas convencionales las cuales tienden a concentrar los impactos en uno de los objetivos. Estos resultados permiten, en cuanto a densidad de impactos, validar la cuarta hipótesis de trabajo respecto a una mayor uniformidad de distribución entre la hoja bandera y la espiga por parte de la boquilla doble abanico asimétrica.



**Figura 3.** Uniformidad de distribución de gotas entre la espiga y la hoja bandera para cada boquilla expresada como Desvío Estándar (s). ● Densidad de impactos promedio sobre la espiga para cada boquilla. ● Densidad de impactos promedio sobre la hoja bandera para cada boquilla. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02.

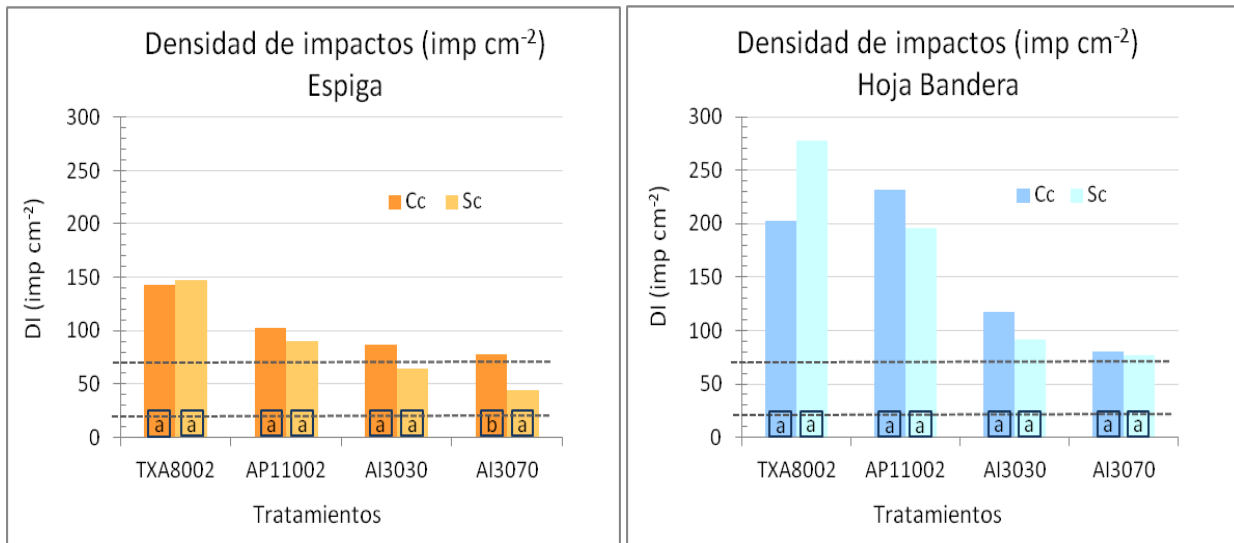
La reducción de la densidad de impactos de las boquillas con inducción de aire en relación a las convencionales AP11002 y TXA8002, se produjo tanto en la hoja bandera como en la espiga. De todas formas, ambas boquillas mejoraron su prestación sobre la espiga en relación al cono hueco y al abanico plano, AI3030 obtuvo aproximadamente el 80 % de la densidad de impactos de AP11002 y el 50 % de la de TXA8002. En cambio, sobre la hoja bandera AI3030 tuvo el 50 % de la densidad de impactos de AP11002 y el 40 % de TXA8002. Consideraciones similares pueden efectuarse para AI3070. En espiga, los porcentajes son algo inferiores llegando al 50 % del abanico plano convencional y al 30 % del cono hueco. Sobre hoja bandera la relación empeora, con valores respecto a TXA8002 del 31 % y del 35 % en relación con AP11002.

En las Figuras 4 y 5 se muestra el efecto de la adición del coadyuvante Rino® sobre la variable densidad de impactos en los objetivos vertical y horizontal respectivamente. En la hoja bandera no se observaron diferencias significativas entre subtratamientos para ninguna boquilla, mientras que en la espiga únicamente el tratamiento AI3070 presentó significativamente mayor número de

impactos con el agregado del aditivo al caldo de pulverización. No obstante, se manifiesta en los tratamientos una tendencia hacia una mayor densidad de impactos con la adición del coadyuvante salvo para la boquilla TXA8002. La mayor DI, por la incorporación del coadyuvante, puede deberse a la menor tensión superficial de las gotas lo que permite que las mismas se aplanen más y reboten menos y se adhieran más al objetivo, aumentando la densidad de impactos en el mismo. En coincidencia con esto, Stoletniy et al. (2014) encontraron una tendencia al aumento de la DI con el uso de adyuvantes. Los mismos mencionan que los adyuvantes con tensioactivos se usan con la finalidad de disminuir la tensión superficial e incrementar la adherencia por una mayor superficie de contacto, contrariamente a lo que ocurre cuando se utiliza agua como dispersante que produce efectos de alta tensión superficial lo que provoca que las gotas adopten la forma esférica, con poca superficie de contacto y con tendencia al escurrimiento. Del mismo modo, van Zyl et al. (2010) indican que la reducción de la tensión superficial de las gotas aumenta las posibilidades de retención de las mismas, mientras que Madureira et al. (2015) encontraron que la adición de adyuvantes minimizó los riesgos potenciales de deriva en boquillas de abanico plano inclinado y abanico plano con inducción de aire.

El menor número de impactos de la boquilla de cono hueco ante la incorporación del aditivo pudo deberse a la conjunción de gotas de tamaño fino y condiciones ambientales de 29,4 °C y 42 % de HR registradas al momento de la aplicación (Figura 1). Estas variables pudieron predisponer a una mayor termoderiva de las gotas y consecuentemente un menor número de impactos en los objetivos cuando se utilizó el coadyuvante. La disminución de la tensión superficial del líquido por el agregado del coadyuvante pudo ocasionar un rompimiento de la vena líquida en un mayor número de gotas de menor tamaño, resultando en un diámetro de gota menor al mencionado por el fabricante y susceptible de ser derivado. Estos factores podrían reducir la mejora producto del efecto de una mayor retención de las gotas en el objetivo por una menor tensión superficial. No obstante la explicación dada anteriormente, el comportamiento de XRA8002 coincide con lo

mencionado por Cid et al. (2009) quienes encontraron que el uso de tensioactivo puro incrementó significativamente la cantidad de líquido derivado.



**Figura 4.** Densidad de impactos sobre la espiga para cada tratamiento y subtratamiento. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02; Cc: con el agregado del coadyuvante; Sc: sin el agregado del coadyuvante. Letras minúsculas diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre subtratamientos para cada boquilla.

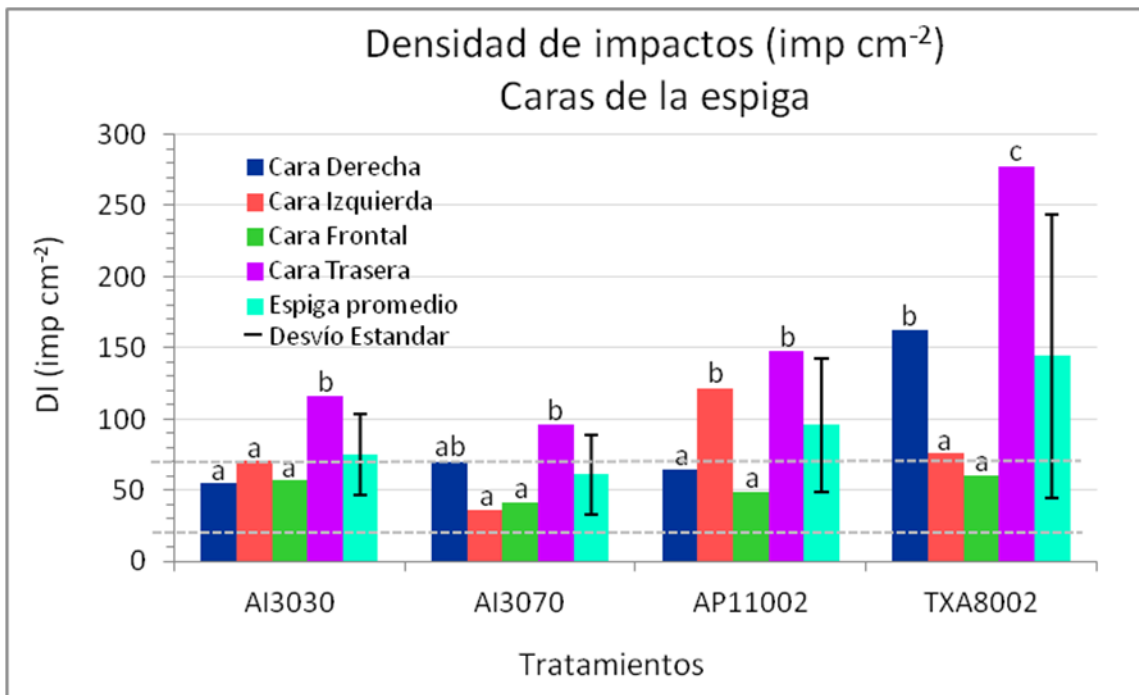
**Figura 5.** Densidad de impactos sobre la hoja bandera para cada tratamiento y subtratamiento. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02; Cc: con el agregado del coadyuvante; Sc: sin el agregado del coadyuvante. Letras minúsculas iguales en las columnas indican ausencia de diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre subtratamientos para cada boquilla.

En el análisis de la distribución de los impactos en las diferentes caras de la espiga (Figura 6), todas las boquillas lograron la mayor densidad de impactos sobre la cara posterior de la misma. Independientemente de las particularidades de cada boquilla, estos resultados pueden ser en parte explicados por el viento aparente, el cual se produce como consecuencia de la velocidad de avance de la máquina pulverizadora y la velocidad del viento al momento de la aplicación. Velocidades de viento superiores y en sentido contrario a la velocidad de desplazamiento de la máquina, provocaron un direccionamiento de las gotas hacia la cara posterior de las espigas. En este sentido, Boller & Schlosser (2010) establecen que la diferencia de velocidad entre la barra pulverizadora en

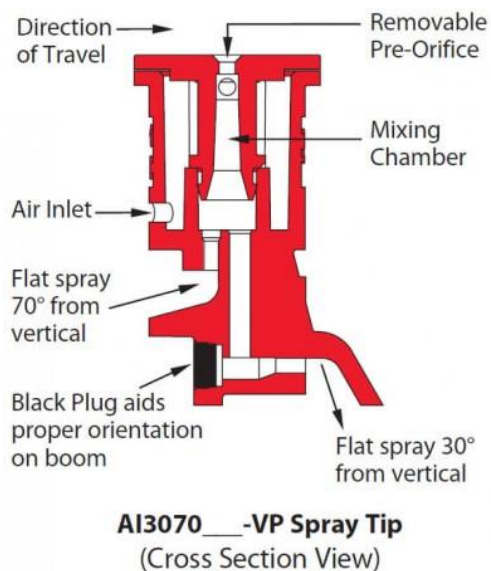


desplazamiento y el viento atmosférico sobre el cultivo ejerce un efecto de freno, que se opone a la velocidad de caída cuando las gotas son finas. Cuando las gotas son de mayor tamaño, las mismas consiguen mantener la velocidad de caída, a pesar del efecto contrario generado por la velocidad de avance del pulverizador. Estas gotas se depositan en su gran mayoría en una cara de las plantas, manteniendo el sector opuesto (lado de la sombra) con menor cantidad de gotas. Esta explicación es acorde cuando se trabaja con boquillas sin angulación y con un tamaño de gota mediano. Las boquillas TXA8002 y AP11002 poseen gotas de tamaño fino, de acuerdo a la norma ASABE S572.1 (ASABE, 2009), clasificadas así por su diámetro volumétrico mediano que entra dentro del rango de 106 a 235  $\mu\text{m}$ . Sin embargo, la población de gotas de las boquillas difieren mucho una de otra, TXA8002 presenta un DV0.9 (diámetro de gota por encima del cual se encuentra el 10 % del volumen total del líquido pulverizado) de 278  $\mu\text{m}$  (Spraying Systems Co., s.f.-a) mientras que AP11002 tiene un DV0.9 de 359  $\mu\text{m}$  (Spraying Systems Co., s.f.-b). De esto se deduce que si bien las dos boquillas tienen una población de gotas en su mayoría de tamaño fino, también poseen gotas dentro del rango de medianas (de 236 a 340  $\mu\text{m}$ , según norma ASABE S572.1, 2009), siendo la cantidad de estas gotas mucho mayor en el abanico plano que en la boquilla de cono hueco convencional. En función de estas características y de lo mencionado por Boller & Schlosser (2010), hubiese sido esperable encontrar en la cara frontal una mayor densidad de impactos con AP11002 respecto a TXA8002; sin embargo, los resultados muestran lo contrario, con 49 impactos  $\text{cm}^{-2}$  para AP11002 y 61 impactos  $\text{cm}^{-2}$  para TXA8002. La mayor densidad de impactos de la cara posterior con la utilización de AP11002 y TXA8002 pudo estar influenciada, como se mencionó anteriormente y según informan Boller y Schlosser (2010), por los efectos del viento sobre las gotas finas, siendo que estas boquillas tuvieron la mayor densidad de impactos sobre esta cara respecto a AI3030 y AI3070. El viento aparente tiene un efecto de freno sobre la trayectoria de las gotas y las de menor tamaño quedan suspendidas en el aire, luego el viento con sentido contrario al de avance de la máquina las direcciona hacia la cara posterior de la espiga.

La distribución de las gotas sobre las diferentes caras, también estuvo influenciada por las características de diseño de cada boquilla. El efecto de rotación del flujo en 360° de TXA8002 determina que las gotas se muevan en múltiples direcciones alcanzando la espiga en toda su superficie. En el tratamiento AP11002, la cara posterior no se diferenciò estadísticamente de la izquierda pudiendo explicarse, además de la dirección del viento, por la posición del abanico de pulverización respecto del botalón, sin angulación, definiendo una cortina de pulverizado con mayor incidencia sobre los laterales de la espiga. Con respecto a las boquillas doble abanico, la angulación hacia atrás en 70° para AI3070, permite que el chorro asperjado sea dirigido hacia la parte posterior de la espiga principalmente. De acuerdo a la angulación de las boquillas, hubiese sido esperable encontrar una mayor densidad de gotas en la cara posterior con la boquilla AI3070 respecto a AI3030; sin embargo, los resultados fueron contrarios y esto podría deberse a diferencias en el tamaño de los orificios de salida del caudal en la alternativa AI3070 (Imagen 2). El caudal erogado con la angulación de 70° tiene un diámetro de orificio menor al caudal que se eroga con la inclinación de 30°. A partir de estas diferencias en el diámetro del orificio, podría inferirse que el caudal erogado también difiere, siendo menor en el orificio de mayor angulación y consecuentemente la densidad de impactos pudo estar afectada, tal como se observa en la Figura 6.



**Figura 6.** Densidad de impactos sobre las caras de la espiga para los diferentes tratamientos. AP11002: boquilla de abanico plano 110-02; TXA8002: boquilla de cono hueco 80-02; AI3030: boquilla doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: boquilla doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre caras de la espiga en cada tratamiento.



**Imagen 2.** Vista de sección transversal de la boquilla AI3070 (Fuente: Teejet Technologies, 2014). El orificio de salida del abanico a 30° tiene mayor diámetro que el orificio del abanico a 70°.

No obstante estas observaciones, y en acuerdo con Parkin et al. (2006), todas las boquillas presentaron significativamente mayor cantidad de impactos en la cara posterior respecto a la anterior. Estos resultados corroboran en parte lo mencionado anteriormente respecto a los efectos del viento aparente sobre el direccionamiento de las gotas luego de que las mismas salen de la boquilla.

Para la valoración de la uniformidad de distribución sobre la espiga, se utilizó el desvío estándar. De acuerdo con esto, las boquillas de doble abanico presentaron mayor uniformidad entre las caras de la espiga respecto a AP11002 y TXA8002. Estos resultados concuerdan con los de Nicholson et al. (2003) quienes encontraron una mayor uniformidad de distribución sobre la espiga con las boquillas doble abanico respecto al abanico convencional. El tratamiento TXA8002 fue el que mayor desuniformidad presentó, mientras que AP11002 tuvo un comportamiento intermedio atribuible, en principio, al perfil de distribución triangular, simétrico, sin grandes depresiones en la zona central de acuerdo a lo informado por Herrera Prat et al. (2008) quienes bajo condiciones controladas obtuvieron similares resultados. Como se mencionó anteriormente, la conjunción de gotas finas y el efecto de rotación del flujo en 360° del cono hueco determinan que las mismas se muevan en diferentes direcciones alcanzando a la espiga en toda su superficie. Sin embargo, estas características no logran que la distribución entre las caras del objetivo vertical sea homogénea, no pudiendo validarse la última hipótesis de trabajo que hace alusión a la mayor uniformidad de distribución entre las caras de la espiga por parte del cono hueco.

Si se considera como criterio de uniformidad de distribución la relación entre las caras posterior y delantera, propuesta por Wolf & Caldwell (2013), la boquilla doble abanico simétrica (2,1) tuvo la mayor uniformidad, seguida por AI3070 (2,3), AP11002 (3,1) y TXA8002 (4,6). Si bien los valores difieren de lo mencionado por los autores, la tendencia es similar, siendo los tratamientos de doble abanico los más uniformes.

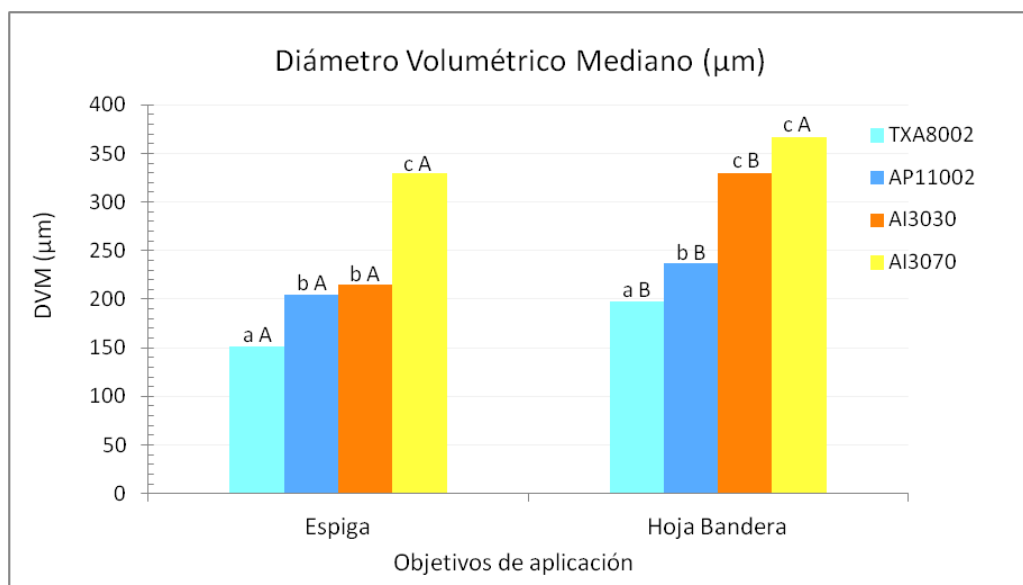
## ***Diámetro Volumétrico Mediano (DVM)***

El Diámetro Volumétrico Mediano (DVM o  $DV_{0.5}$ ) es el diámetro de la gota que separa la población de gotas ordenadas de menor a mayor en dos mitades de igual volumen de líquido (Texeira, 2010). En la Figura 7 se grafican los valores promedio de esta variable tanto en la espiga como en la hoja bandera para cada tratamiento. Los mayores DVM se observan sobre el objetivo horizontal con diferencias significativas para todas las boquillas, a excepción de AI3070. Estos resultados pueden explicarse por la relación entre el peso relativo de las gotas y su velocidad de caída. Las gotas más pequeñas, por su menor peso, pierden el impulso más rápido que las de mayor tamaño y disminuyen su velocidad hasta alcanzar la velocidad límite o final, dada por un equilibrio entre la aceleración de la gravedad y el roce entre las gotas y el fluido por el que se mueve (Klein & Johnson, 2002). Por lo tanto, estas características aumentan las probabilidades de las gotas más pequeñas de depositarse sobre objetivos verticales como la espiga; en tanto que, las gotas más gruesas, por su mayor peso y velocidad de caída, tienden en su mayoría a quedar retenidas en objetivos horizontales, como ocurre en la hoja bandera.

Lo señalado anteriormente determina que, independientemente del tipo de boquilla, el DVM de las gotas que alcanzaron la espiga fue menor al de la hoja bandera. Relacionado a esto, y en acuerdo con lo mencionado por Meijer (1988), la estructura compleja de la espiga, formada por numerosas espiguillas dispuestas de manera alterna sobre un raquis, determina que la película de aire superficial que la rodea sea menor a la de la hoja bandera, por lo cual las gotas más finas pueden penetrar con relativa facilidad y ser capturadas por el objetivo. En resumen, el autor afirma que los objetos de mayor tamaño son malos colectores de gotas finas, mientras que los objetos pequeños son buenos colectores de gotas finas.

Asimismo, los resultados corroboran lo informado por Xie et al. (1995), en cuanto a las dificultades de las gotas para alcanzar el objetivo vertical, vinculadas a la propia estructura de la

espiga y su orientación, siendo relativamente más fácil que las mismas alcancen las partes orientadas horizontalmente.



**Figura 7.** Diámetro Volumétrico Mediano (µm) sobre la espiga y la hoja bandera para cada tratamiento. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre tratamientos en cada objetivo de aplicación. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre objetivos de aplicación para cada tratamiento.

En el análisis estadístico de los diferentes tratamientos sobre cada objetivo de aplicación, las boquillas se comportaron de igual manera tanto en la espiga como en la hoja bandera. TXA8002 presentó significativamente los menores DVM, mientras que AI3070 tuvo los mayores diámetros y AP11002 y AI3030 un comportamiento intermedio sin diferenciarse en la espiga, pero si en la hoja bandera, con mayor DVM para el doble abanico simétrico respecto al abanico plano convencional. En el objetivo vertical, el doble abanico asimétrico se diferenció estadísticamente de las demás boquillas mientras que, en el objetivo horizontal, AI3070 se diferenció significativamente de TXA8002 y AP1102, pero no lo hizo de AI3030. Los resultados, tanto en la espiga como en la hoja bandera, fueron consecuentes con los tamaños de gotas que caracterizan a las boquillas, TXA8002 y AP11002 tuvieron los menores diámetros, mientras que AI3030 y AI3070 los mayores valores. Sin

embargo, los DVM de las poblaciones de gotas que alcanzaron los objetivos difieren de lo informado por los fabricantes para cada boquilla, de acuerdo a la presión de trabajo y caudal de las mismas. En este sentido, TXA8002, AP11002 y AI3030 presentan como DVM de referencia valores de 193  $\mu\text{m}$ , 219  $\mu\text{m}$  (Spraying Systems s.f.-a; s.f.-b) y 333  $\mu\text{m}$  (Dowling, 2017<sup>2</sup>) respectivamente, mientras que las poblaciones de gotas que alcanzaron los objetivos presentaron valores de DVM menores a los citados en la espiga y mayores en la hoja bandera con las boquillas convencionales y similar con AI3030. Estos resultados reafirman que las gotas de menor tamaño, independientemente del DVM de la boquilla, alcanzan una menor velocidad final de caída y quedan suspendidas por más tiempo en el aire lo que las deja expuestas a que el viento las arrastre y se depositen en la espiga. En cambio, las gotas de mayor tamaño por su peso y velocidad de caída, tienden a quedar retenidas en la hoja bandera, tal como se observa.

Al analizar los DV0.1 de referencia (diámetro de gota por debajo del cual se encuentra el 10 % del volumen total del líquido pulverizado), los mismos tienen una tendencia similar a la que se observó para los DVM, la boquilla TXA8002 con 97  $\mu\text{m}$  es la de menor DV0.1, seguido por AP11002 con 108  $\mu\text{m}$  (Spraying Systems s.f.-a; s.f.-b) y AI3030 con 166  $\mu\text{m}$  (Dowling, 2017<sup>2</sup>). Si bien las diferencias entre diseños de boquillas son chicas, principalmente entre las convencionales, los valores demuestran la gran proporción de gotas finas que se generan cuando se trabaja con pulverizaciones hidráulicas, independientemente del diseño de boquilla utilizado.

De acuerdo a la ficha de datos de AI3070 (Spraying Systems, 2011), la misma posee un DV0.5 de 270  $\mu\text{m}$ , valor menor al que se encontró en la espiga y en la hoja bandera. Esto estaría indicando que la población de gotas que alcanzó los objetivos es más gruesa que la población de gotas que salió de la boquilla, lo que puede deberse a las condiciones atmosféricas de temperatura y humedad relativa, que pudieron disminuir por evaporación el tamaño de las gotas, afectando en mayor

---

<sup>2</sup> Dowling, L. 2017. Pesticide Application Technology Laboratory de la Universidad de Nebraska para Pentair. Comunicación Personal

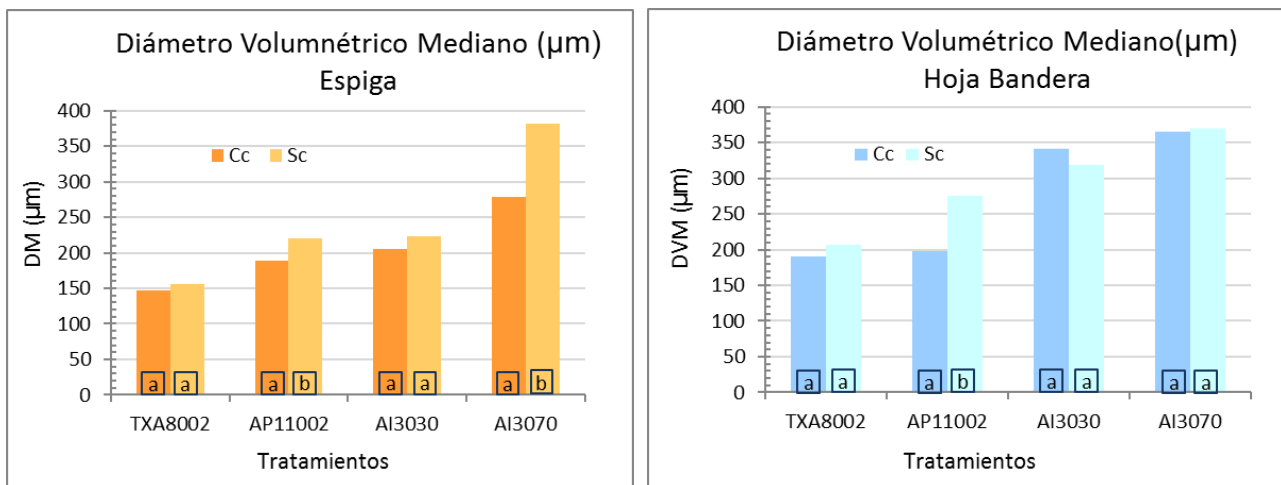
medida a las más chicas. Además, se puede adjudicar estos mayores DVO.5 a una inexactitud de la metodología mencionada por Zhu et al. (2011), quienes indicaron que algunas gotas visualizadas en el papel podrían ser el resultado del solapamiento de varias gotas, por lo que el diámetro de las gotas tomado por el programa sería la combinación del diámetro de varias gotas pequeñas y no de una grande.

Estos resultados concuerdan con lo señalado por Stefanelo et al. (2014) quienes en la evaluación de diferentes boquillas hallaron discrepancia en el tamaño de las gotas con lo señalado por los fabricantes de las mismas. Massaro et al. (2017) también mencionan diferencias en el tamaño de las gotas (DVM) entre la lectura del software y la clasificación de la tabla que aporta la marca de las boquillas utilizadas.

En un análisis general de la Figura 7, las boquillas con aire inducido presentaron mayores DVM que las convencionales, siendo esta diferencia más notoria sobre la hoja bandera ya que, y de acuerdo a lo analizado anteriormente, a la espiga llegan principalmente las gotas de menor tamaño. Estas diferencias fueron en parte informadas por Madureira et al. (2015) y Martini et al. (2015) quienes además hicieron hincapié en los menores riesgos potenciales de deriva de las boquillas con aire inducido respecto a las convencionales. Los menores DVM de la boquilla de cono hueco respecto al abanico plano convencional, coinciden con lo informado por Herrera Prat et al. (2008) y Gálvez et al. (2010) al evaluar similares boquillas bajo condiciones controladas y sobre un cultivo de soja respectivamente. Sin embargo, los menores diámetros de TXA8002, 150  $\mu\text{m}$  en la espiga y 200  $\mu\text{m}$  aproximadamente en la hoja bandera, no entran dentro de las recomendaciones de Antuniassi & Boller (2011) para aplicaciones de fungicidas sistémicos, ya que las mismas propician mayor riesgo de deriva. Los mismos autores sugieren gotas entre 200  $\mu\text{m}$  y 300  $\mu\text{m}$  como ideales para este tipo de aplicaciones, siendo el abanico plano convencional el que mejor se ajusta a estos diámetros, con un DVM de 205  $\mu\text{m}$  en la espiga y 240  $\mu\text{m}$  en la hoja bandera. Las boquillas de doble abanico alcanzaron diámetros volumétricos medianos de 214  $\mu\text{m}$  y 330  $\mu\text{m}$  para AI3030 y de 330  $\mu\text{m}$  y 367



$\mu\text{m}$  para AI3070, lo que supone que las gotas difícilmente puedan atravesar el canopeo para alcanzar los estratos inferiores y por lo tanto queden mayormente retenidas en la parte superior de la planta. Similares resultados fueron obtenidos por Gálvez et al. (2010) sobre un cultivo de soja en R5 donde las boquillas de doble abanico con un espectro de gotas de finas a medianas no tuvieron mayor penetración de los 0,20 m. Los mayores valores del doble abanico asimétrico respecto al simétrico coinciden con lo obtenido por Ferguson et al. (2016) siendo las diferencias encontradas por estos autores significativas.



**Figura 8.** Diámetro Volumétrico Mediano ( $\mu\text{m}$ ) sobre la espiga para cada tratamiento y subtratamiento. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02; Cc: con el agregado del coadyuvante; Sc: sin el agregado del coadyuvante. Letras minúsculas diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre subtratamientos para cada boquilla.

**Figura 9.** Diámetro Volumétrico Mediano ( $\mu\text{m}$ ) sobre la hoja bandera para cada tratamiento y subtratamiento. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02; Cc: con el agregado del coadyuvante; Sc: sin el agregado del coadyuvante. Letras minúsculas diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre subtratamientos para cada boquilla.

El efecto de la adición del coadyuvante al caldo de aplicación sobre la variable Diámetro Volumétrico Mediano se muestra en las figuras 8 y 9. Sobre la espiga se halló interacción significativa entre subtratamientos y tratamientos ( $p$ -valor = 0,003) mientras que en la hoja bandera no la hubo

(p-valor = 0,0756). El efecto del coadyuvante sobre el diámetro de las gotas no fue el esperado. Todos los tratamientos, a excepción de la boquilla AI3030 sobre el objetivo horizontal, obtuvieron un DVM menor cuando se incorporó el aditivo a la mezcla, siendo las diferencias significativas en los tratamientos AP11002 sobre ambos objetivos de aplicación y AI3070 sobre la espiga. De acuerdo a las propiedades del aditivo utilizado (adherente, dispersante, emulsionante, humectante y tensioactivo) se hubiese esperado un aumento del DVM por una disminución de la tensión superficial de las gotas. En acuerdo con esto, Tesouro et al. (2003) obtuvieron un incremento del grado de cobertura, dado principalmente por un aumento en el DVM con el agregado de tensioactivo al caldo. La menor tensión superficial del caldo de aplicación provoca que las gotas cuando impactan en el objetivo de aplicación se expanden y disminuya el ángulo de contacto con la superficie, aumentando así su mojabilidad (Imagen 3). Estas características se traducen en una mayor impronta de las gotas sobre las tarjetas hidrosensibles y consecuentemente un mayor diámetro. A pesar de ello, únicamente el tratamiento AI3030 sobre el objetivo horizontal mostró un mayor DVM cuando se incorporó el aditivo al caldo, pero sin diferenciarse estadísticamente.

Contrariamente, las boquillas presentaron un menor diámetro volumétrico mediano con el coadyuvante, lo que implica una población de gotas de menor tamaño y consecuentemente mayores riesgos de deriva. Existen antecedentes que avalan una disminución en el DVM por la incorporación de un tensioactivo al caldo de aplicación. En este sentido, Miller & Butler Ellis (2000) obtuvieron una disminución del DVM cuando utilizaron un surfactante como coadyuvante respecto al agua como testigo. Estos resultados permiten acordar con la hipótesis *ad hoc* de Massaro et al. (2017) quienes adjudican al uso de ésteres metílicos de ácidos grasos de aceites vegetales la capacidad de una mayor reducción de la tensión superficial del agua, con la consecuente pérdida de gotas en el ambiente de trabajo por una mayor producción de gotas finas y muy finas, lo que traería aparejado un corrimiento del DVM. En este sentido, y en coincidencia con los resultados, Cid et al. (2009) encontraron un incremento significativo de líquido derivado cuando utilizaron tensioactivo

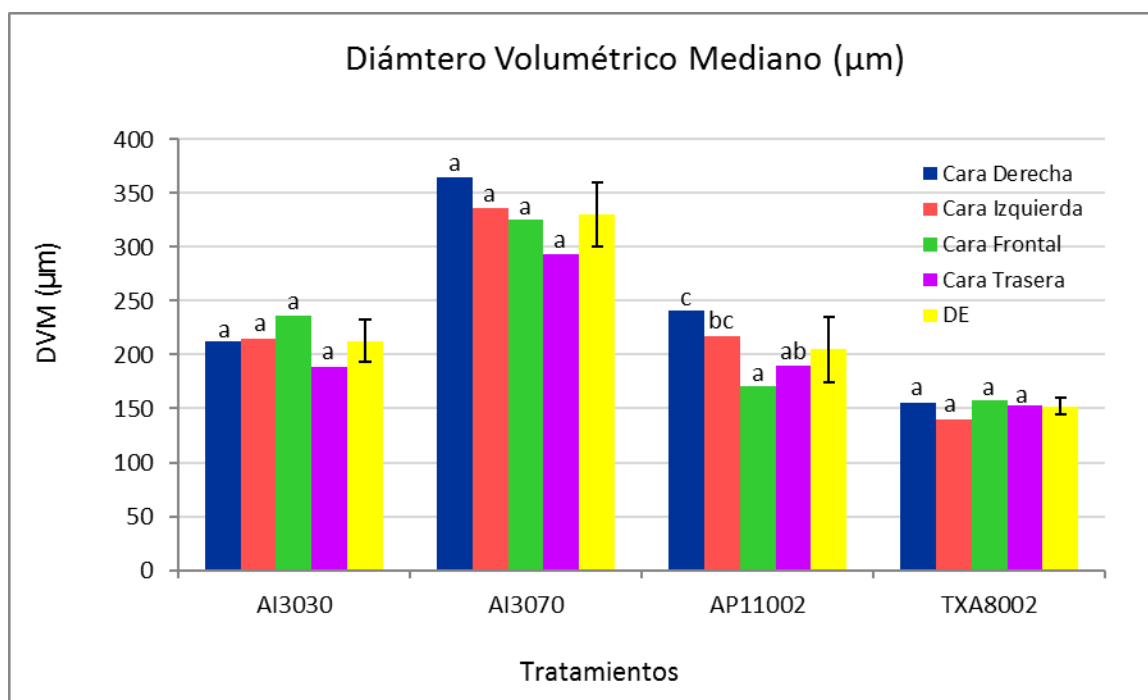
puro en relación con el agua. Del mismo modo, Sarubbi (2010) menciona que la disminución de la tensión superficial del caldo produce una disminución en el tamaño de las gotas y un aumento en el ángulo de aspersión. En discrepancia con estos, Madureira et al. (2015) minimizaron los riesgos potenciales de deriva con la adición de adyuvante al caldo, independientemente de sus propiedades.

De acuerdo a los resultados, los efectos del aditivo pueden ser contrapuestos. Por un lado, la utilización de este tipo de coadyuvante en la mezcla provocó que la vena líquida se rompiera en un mayor número de impactos de menor diámetro que si las condiciones ambientales son favorables, el DVM de la población de gotas que alcanza el objetivo disminuye. Si las condiciones ambientales favorecen a una evaporación y exoderiva, las gotas de menor tamaño no alcanzan el objetivo y consecuentemente el DVM de esa población aumenta. Asimismo, el comportamiento antagónico en la espiga y en la hoja bandera del tratamiento AI3030, puede explicarse por la mayor sensibilidad de este tipo de boquillas con aire inducido a cambios en las características físicas del caldo en relación a las boquillas de diseño convencional, informado por Miller & Butler Ellis (2000). Estos autores también aseguran que los cambios no necesariamente siguen un mismo patrón como si puede suceder con las boquillas convencionales.



**Imagen 3.** Efecto del agregado de tensioactivo sobre la gota

Conforme a lo analizado hasta aquí, los resultados no fueron lo suficientemente decisivos como para concluir respecto al efecto del coadyuvante. Esto podría deberse a la complejidad del proceso de aplicación donde confluyen distintos factores como tamaño de boquilla, presión de trabajo, velocidad de avance, altura de botalón, características del caldo, condiciones ambientales al momento de la aplicación y características de la superficie objetivo que interactúan de manera diferente según el diseño de la boquilla, afectando directa e indirectamente a la población de gotas. En este sentido, Sarubbi (2010) menciona que los coadyuvantes pueden generar interacciones entre la densidad, viscosidad y tensión superficial y pueden afectar de manera diferente a una boquilla de abanico plano que a una del tipo cono hueco. Asimismo, Geyer et al. (2016) mencionan que se necesitan mayores investigaciones para comprender la complejidad de la selección de boquillas para diferentes mezclas químicas.

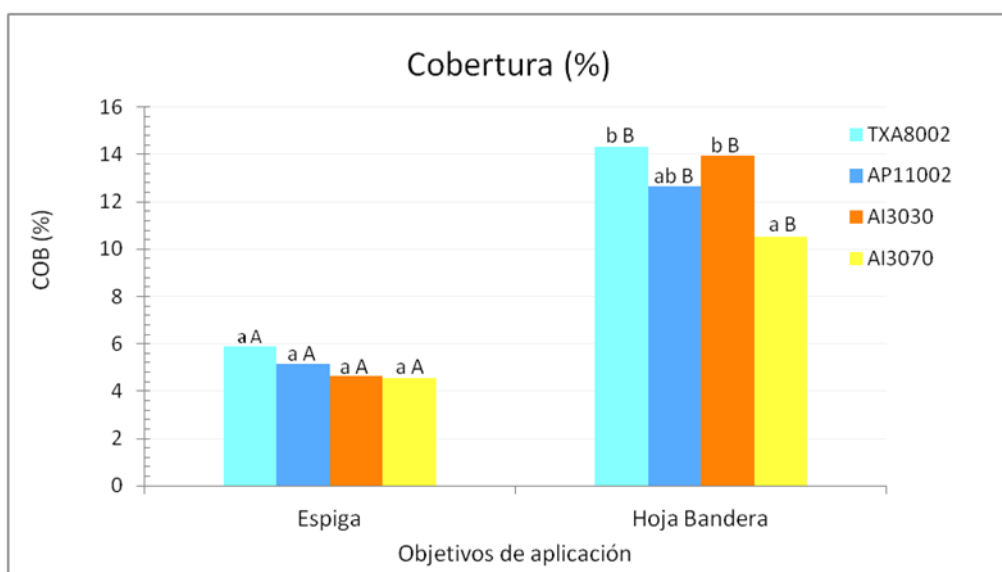


**Figura 10.** Diámetro Volumétrico Mediano ( $\mu\text{m}$ ) sobre las caras de la espiga para los diferentes tratamientos. AP11002: boquilla de abanico plano 110-02; TXA8002: boquilla de cono hueco 80-02; AI3030: boquilla doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: boquilla doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02; DE: desvío estándar. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre caras de la espiga en cada tratamiento.

En el análisis del DVM sobre las caras de la espiga (Figura 10), el tratamiento AP11002 fue el único que presentó diferencias significativas, siendo las caras frontal y derecha las de menor y mayor DVM respectivamente. No obstante el análisis estadístico, las boquillas de doble abanico tuvieron el menor DVM sobre la cara trasera respecto a las demás caras, coincidente con la mayor densidad de impactos, mientras que el cono hueco tuvo un comportamiento homogéneo entre sus caras. Esto último se ve expresado en el valor de desvío estándar, donde el tratamiento TXA8002 con un desvío de 7,74 fue el más uniforme, mientras que AP11002 con 30,64 el más desuniforme. De igual modo, este comportamiento se ve reflejado con la variable amplitud relativa (Figura 15), donde AP11002 presentó un valor de 1 y XR8002 de 0,9, dando idea de la mayor homogeneidad en la población de gotas de este último tratamiento. Al ser la pulverización de tipo hidráulica, las gotas se forman por la diferencia de presión entre el circuito y el ambiente, provocando el rompimiento de la vena líquida en gotas de distintos tamaños. La homogeneidad del espectro de pulverización dependerá de varios factores como, el diseño de la boquilla, el caudal de la misma y la presión de trabajo. Es así que, el cono hueco por sus características, producen una población de gotas finas de gran homogeneidad, mientras que las boquillas con aire inducido producen una población más heterogénea debido a que las gotas cuando llegan al objetivo “estallan”, produciendo varias gotas de menor tamaño (Cid & Masiá, 2011). El valor alto de desvío estándar de la boquilla de abanico plano convencional puede deberse a su perfil característico de tipo triangular, con las gotas más gruesas en los extremos, mencionado por Márquez Delgado (2016), que alcanzan principalmente a los laterales de la espiga, mientras que las de menor tamaño se depositan en las caras frontal y trasera. Estas características explican los mayores DVM de los laterales de la espiga y la mayor heterogeneidad entre las caras respecto a las demás boquillas, principalmente el cono hueco.

## Cobertura

En cuanto al porcentaje de cobertura de los objetivos de aplicación para los diferentes tratamientos (Figura 11), las tendencias resultaron semejantes a las observadas en la variable densidad de impactos, ya que la mayor cobertura se observó sobre la hoja bandera con diferencias significativas respecto a la espiga para todas las boquillas. En la espiga, los porcentajes de cobertura no superaron el 6 %, mientras que en la hoja bandera variaron entre el 10 % y el 14 % aproximadamente, manteniendo concordancia con lo informado por Tesouro et al. (2006), quienes determinan en su trabajo valores de cobertura que rondan el 12,5 %. Estas diferencias pueden ser explicadas en parte, como ya fue mencionado, por la facilidad de las gotas para alcanzar objetivos horizontales, como la hoja bandera, a diferencia de los verticales (Xie et al., 1995), independientemente del tamaño de las gotas. Los bajos porcentajes de cobertura sobre la espiga, ponen en riesgo el control de la Fusariosis, siendo que los productos utilizados actúan principalmente por contacto sobre el filamento de la antera a partir de comienzo de antesis e inmediatamente antes de la ocurrencia de la infección (Mazzilli et al., 2007).



**Figura 11.** Porcentaje de cobertura sobre la espiga y la hoja bandera para los diferentes tratamientos. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el

test de LSD Fisher entre tratamientos en cada objetivo de aplicación. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre objetivos de aplicación para cada tratamiento.

En la espiga los tratamientos tuvieron un comportamiento similar, sin diferencias estadísticas, mientras que en la hoja bandera, las boquillas TXA8002 y AI3030 se diferenciaron significativamente del doble abanico asimétrico. La mayor densidad de impactos de la boquilla TXA8002 sobre la espiga no se correspondió con igual comportamiento en el porcentaje de cobertura, corroborando lo informado por Cunha et al. (2008), quienes trabajando en el manejo de la roya asiática de la soja encontraron similar porcentaje de cobertura para todas las boquillas, cuando la densidad de impactos lograda por la boquilla de cono hueco fue la mayor. Si se tiene en consideración que la cobertura relaciona las variables densidad de impactos y DVM, el bajo porcentaje de cobertura del tratamiento TXA8002 se debe al menor DVM de la población de gotas que alcanzaron el objetivo vertical. El comportamiento sobre la hoja bandera fue diferente, la mayor densidad de impacto de la boquilla TXA8002 se condice con el mayor porcentaje de cobertura, diferenciándose significativamente de AI3070 que tuvo el menor porcentaje asociado a la menor densidad de impactos. En función de esto último y teniendo en cuenta la posición horizontal del objetivo, los resultados confirman lo mencionado por Antuniassi & Boller (2011) quienes recomiendan gotas finas para la aplicación de fungicidas siendo que las mismas propician mayor cobertura, no ocurriendo lo mismo cuando el objetivo es vertical.

Los tratamientos con boquillas convencionales, TXA8002 y AP11002, lograron sobre la espiga un porcentaje de cobertura apenas superior a las boquillas anguladas, sin que las diferencias sean significativas. Esta tendencia se contrapone con los mayores valores de cobertura de las boquillas de doble abanico respecto al abanico plano convencional referidos por Nicholson et al. (2003) y Ozkan et al. (2012). Sin embargo, Ozkan et al. (2012) obtuvieron resultados inversos sobre la hoja bandera, con mayores porcentajes de cobertura por parte de la boquilla de abanico plano

convencional, aunque sin diferencias significativas. Este comportamiento se observa parcialmente en la figura 11, ya que el tratamiento AP11002 presentó mayor porcentaje de cobertura sobre la hoja bandera que AI3070 sin diferenciarse estadísticamente, pero no ocurrió lo mismo con AI3030. Los menores porcentajes de las boquillas anguladas sobre las espigas difieren de lo informado por Halley et al. (2010) quienes aseguran una mayor cobertura sobre las caras de la espiga producto de la inclinación en 30° de las boquillas de abanico plano. Del mismo modo, la angulación en 70° hacia atrás de AI3070 tampoco garantizó una mayor cobertura sobre el objetivo vertical. Diferente fue el comportamiento de las boquillas anguladas sobre el objetivo horizontal, la inclinación en 30° de AI3070 no fue suficiente para generar una mayor cobertura, pero si ayudó en AI3030 a que llegaran mayor número de gotas. El comportamiento diferencial de AI3030 y AI3070 sobre la hoja bandera coincide con lo expuesto por Ferguson et al. (2016) quienes determinaron una mayor densidad de impactos y cobertura con boquillas anguladas en 30° hacia adelante y hacia atrás respecto a boquillas asimétricas. Si bien la diferencia en densidad de impactos entre las dos boquillas anguladas no fue significativa, el mayor número de gotas de AI3030 garantizó una mayor cobertura en la hoja bandera respecto a AI3070. El menor diámetro de las gotas en AI3030 respecto a AI3070 permitió que las mismas se muevan con mayor facilidad hacia el objetivo y consecuentemente lleguen en mayor número.

En función de los resultados, es posible acordar con lo afirmado por Derksen et al. (2012) en cuanto a que los mejores porcentajes de cobertura, tanto en espiga como en hoja bandera, se obtuvieron con gotas finas, representativas del cono hueco. Los mayores tamaños de gotas de las boquillas con aire inducido, no alcanzaron a compensar la menor cantidad de gotas producidas, teniendo en cuenta que la cobertura relaciona ambos parámetros. En otros términos, tanto en el objetivo vertical como en el horizontal, los menores DVM del tratamiento TXA8002 se tradujeron en mayores porcentajes de cobertura mientras que los mayores DVM de AI3070 resultaron en menores porcentajes de cobertura. Estos resultados se condicen con la quinta hipótesis que hace



referencia a la relación inversa entre el tamaño de las gotas y la cobertura tanto en la espiga como en la hoja bandera, independientemente de la boquilla utilizada. Sin embargo, las diferencias en la espiga para la variable cobertura no fueron significativas por lo que no permite validar la hipótesis, pero los resultados acercan a un comportamiento esperado.

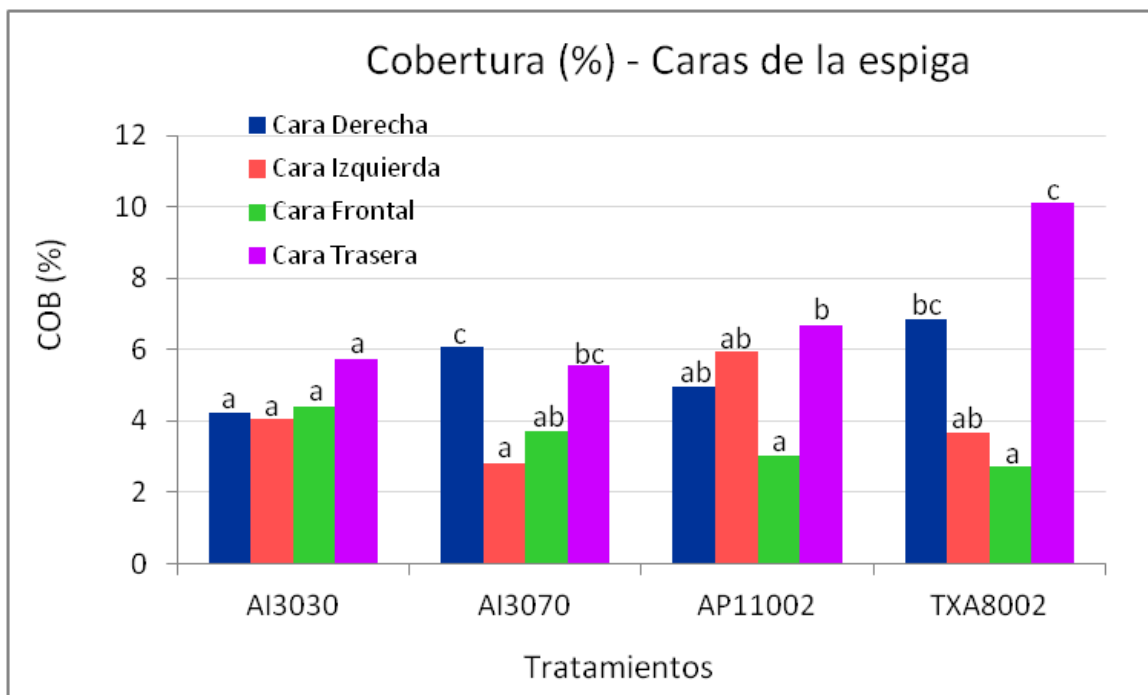
El análisis estadístico del comportamiento de las distintas boquillas sobre las caras de la espiga (Figura 12) mostró similar tendencia que para densidad de impactos. No obstante esto, los porcentajes de cobertura defirieron en parte de los valores de densidad de impactos pudiendo deberse estas discrepancias a la gran heterogeneidad en el espectro de gotas de las boquillas evaluadas, mencionado por Stefanelo et al. (2014). En un análisis general, los tratamientos TXA8002, AP11002 y AI3030 presentaron los mayores porcentajes sobre la cara posterior en correspondencia con el mayor número de impactos en dicho sector, pero en AI3070, fue la cara derecha la de mayor cobertura asociado esto a un mayor diámetro de gotas que alcanzaron esa superficie respecto a la trasera, en acuerdo con lo referido por Stefanelo et al. (2014). Tanto con TXA8002 como con AP11002, la cara frontal fue la de menor cobertura asociado al menor número de gotas y de menor DVM que alcanzan esta cara, como se mencionó anteriormente. Este comportamiento fue informado por Boller & Schlosser (2010) al describir el efecto de frenado que ejerce el viento aparente sobre la trayectoria de las gotas quedando las de menor tamaño suspendidas en el aire, facilitando que luego sean direccionadas hacia la cara posterior de la espiga por el viento con sentido contrario al avance.

El mayor porcentaje de cobertura de la cara trasera respecto a la delantera en las boquillas convencionales guarda similar relación en la densidad de impactos, siendo en el porcentaje de cobertura de 3,7:1 con TXA8002 y de 2,2:1 con AP11002, mientras que en DI la relación es de 4,6:1 con TXA8002 y de 3:1 con AP11002.

Las caras laterales tuvieron un comportamiento intermedio, sin diferenciarse entre sí. Las boquillas anguladas lograron la menor cobertura en la cara izquierda, sin diferencias estadísticas

con las demás caras en AI3030 y con la cara frontal en AI3070. En el de doble abanico simétrico, si bien no hubo diferencias significativas, la mayor cobertura de las caras anterior y posterior puede adjudicarse al ángulo de 30° hacia adelante y 30° hacia atrás que produce un asperjado direccionado hacia esas caras. Hacia los laterales, la cantidad de líquido pulverizado disminuye en acuerdo con el perfil característico del abanico y la mayor distancia hacia el objetivo que incide en la trayectoria de las gotas de los extremos del abanico que tienden a caer en sentido vertical a medida que se alejan, disminuyendo la superposición para una distancia entre boquillas de 0,525 m. Este comportamiento también podría explicar la menor cobertura sobre la cara izquierda con AI3070.

No obstante estas consideraciones, los tratamientos mantuvieron las dificultades que se observaron en la variable densidad de impactos. Las boquillas anguladas resultaron las más uniformes, con valores de desvío estándar (s) de 3,2 para AI3070 y 4,3 para AI3030, en tanto que, TXA8002 con un desvío de 6,2 fue la más desuniforme en la distribución entre las caras de la espiga y AP11002 tuvo un comportamiento intermedio (s=4,8). Teniendo en cuenta lo mencionado por Ferguson et al. (2016) respecto a las boquillas de doble abanico asimétricas, la cobertura y su uniformidad se verían mejoradas con la alternancia de los ángulos sobre el botalón.

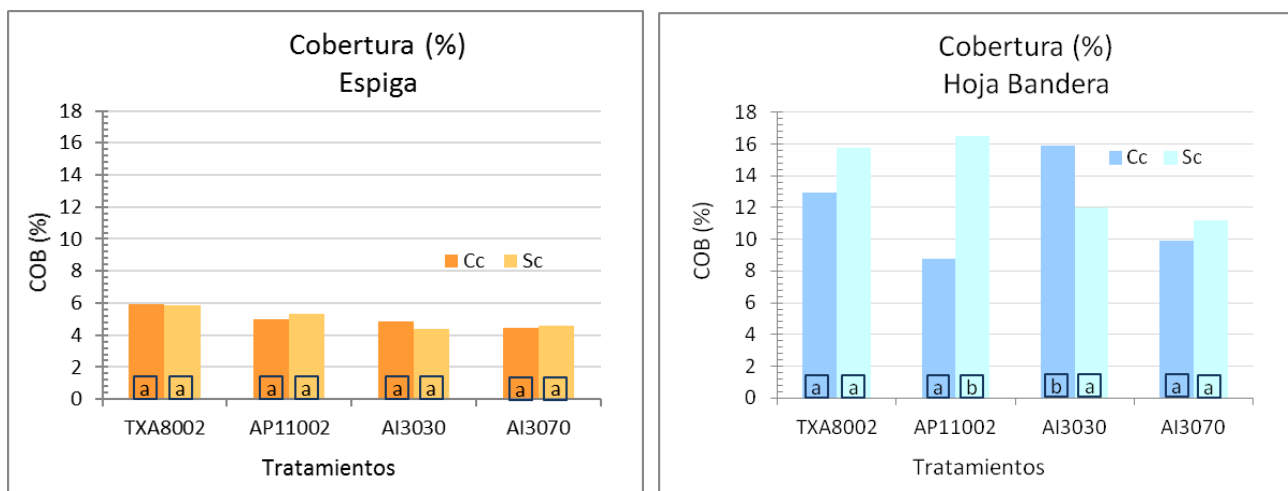


**Figura 12.** Porcentaje de cobertura sobre las caras de la espiga para las diferentes boquillas. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre caras de la espiga para cada boquilla

En el análisis del efecto de la adición del coadyuvante al caldo de pulverización (Figuras 13 y 14), no se encontró interacción significativa entre tratamientos y subtratamientos en la espiga, pero si la hubo en la hoja bandera ( $p$ -valor  $\leq 0,0012$ ) donde el efecto de la adición del coadyuvante no fue para todas las boquillas igual. Sobre la espiga no se observan diferencias significativas entre subtratamientos como así tampoco una clara tendencia del efecto del coadyuvante sobre esta variable. La adición del coadyuvante no logró mejorar el porcentaje de cobertura para ninguna boquilla evaluada, en coincidencia con Dan et al. (2010) quienes evaluaron diferentes adyuvantes multifuncionales sin encontrar beneficios significativos. Las diferencias mínimas encontradas pueden ser atribuidas a un doble efecto. Por un lado, el caldo sin aditivo produce una población de gotas más grandes que no se expanden sobre el objeto de aplicación; y de manera opuesta, el agregado del coadyuvante produjo gotas más pequeñas, pero que al llegar al objetivo se expandieron en mayor medida mejorando la cobertura. Asimismo, y como consecuencia de esto

último, la disminución del tamaño de la gota podría haber aumentado el potencial de exoderiva de las mismas.

De acuerdo a lo analizado hasta aquí, no aparecen resultados que justifiquen la adición del coadyuvante. En cuanto a las boquillas utilizadas, tampoco se visualizan resultados que indiquen claramente una mejora en el porcentaje de cobertura para la incorporación de diseños más costosos para el control de enfermedades sobre la espiga. Las dificultades de las gotas para alcanzar objetivos verticales (Xie et al., 1995) y las características de las mismas, no permitirían que las mejoras alcanzadas por algunas boquillas en cuanto a densidad de impactos se reflejen en el porcentaje de cobertura. Los bajos valores como así también sus escasas diferencias, aún efectuadas las transformaciones pertinentes para alcanzar criterios de homogeneidad, hacen a este parámetro menos sensible para la evaluación de la prestación de las boquillas. Solamente el análisis de uniformidad establece diferencias de prestación entre los distintos tratamientos con una mejora de distribución sobre las caras de la espiga para la boquilla AI3030 (figura 12).

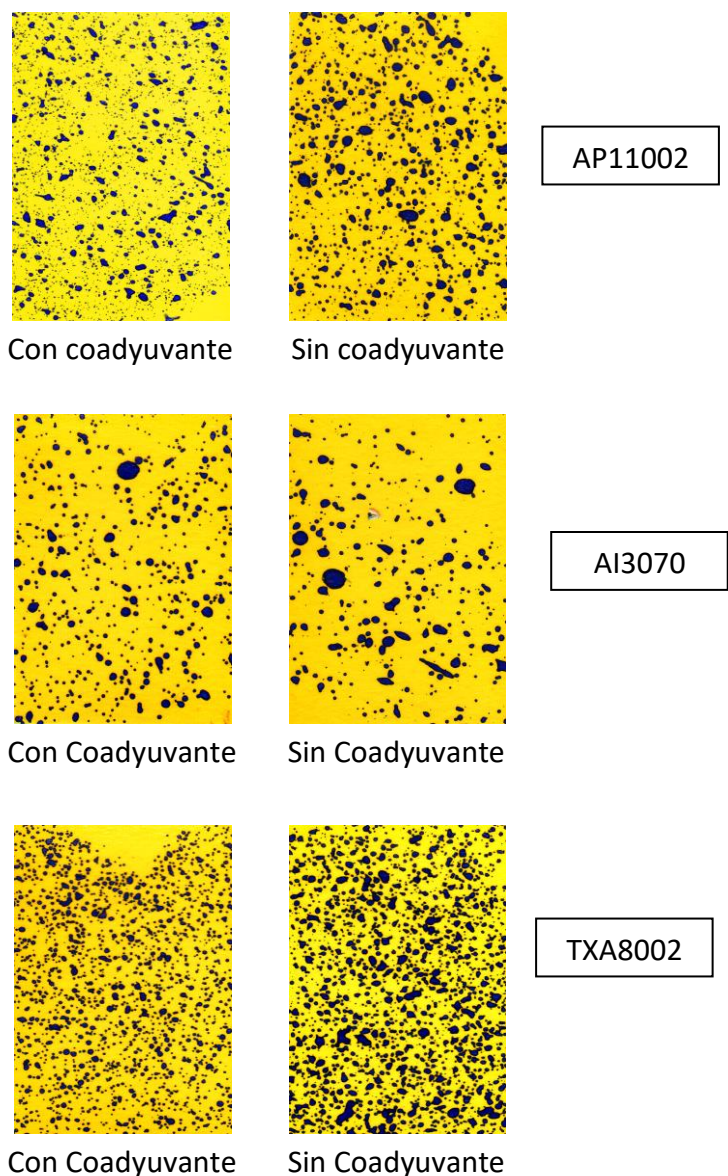


**Figura 13.** Porcentaje de cobertura sobre la espiga para cada tratamiento y subtratamiento. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02; Cc: con el agregado del coadyuvante; Sc: sin el agregado del coadyuvante. Letras minúsculas iguales en las columnas indican ausencia de diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre subtratamientos para cada boquilla.

**Figura 14.** Porcentaje de cobertura sobre la hoja bandera para cada tratamiento y subtratamiento. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02; Cc: con el

agregado del coadyuvante; Sc: sin el agregado del coadyuvante. Letras minúsculas diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre subtratamientos para cada boquilla.

Sobre la hoja bandera, los tratamientos TXA8002, AP11002 y AI3070 tuvieron menor porcentaje de cobertura cuando se incorporó el coadyuvante, con diferencias significativas únicamente en AP11002 (Imagen 4). El comportamiento de las boquillas de abanico plano y doble abanico asimétrico fue similar al que se observó en el objetivo vertical, la mayor densidad de impactos no se tradujo en un mayor porcentaje de cobertura pudiendo verse afectado el tamaño de las gotas que llegaron al objetivo, como mencionan Miller & Butler Ellis (2000).



**Imagen 4.** Tarjetas hidrosensibles sobre la hoja bandera para los tratamientos AP11002, AI3070 y TXA8002 con coadyuvante y sin adyuvante.

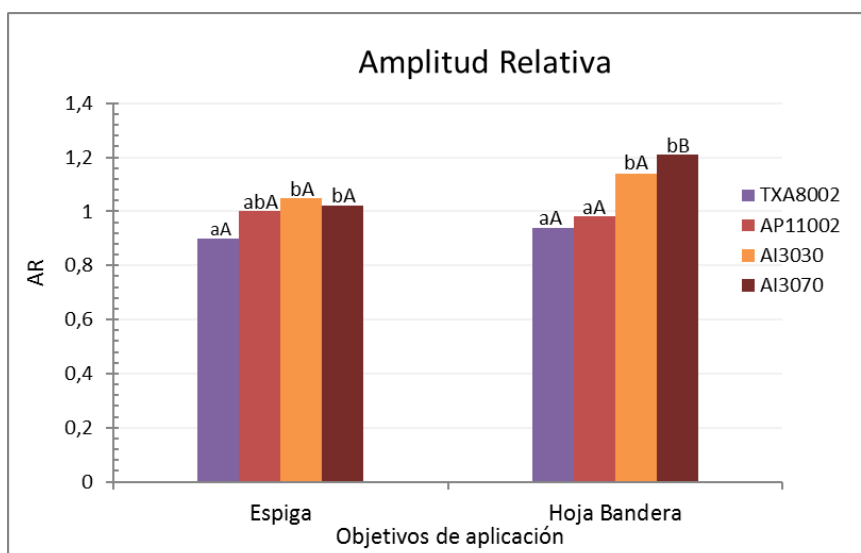
Estos resultados no concuerdan con lo mencionado por Tesouro et al. (2003) quienes aseguran que el agregado de tensioactivo al caldo de pulverización incrementa el grado de cobertura, dado principalmente por un aumento en el diámetro volumétrico mediano de los impactos. Estos autores trabajaron a  $1,25 \text{ m s}^{-1}$ , lo que representa aproximadamente la mitad de la velocidad de desplazamiento que se utilizó en este ensayo (tabla 1), pudiendo esta menor velocidad interferir de manera positiva en la trayectoria de las gotas hacia los objetivos. Con el cono hueco se puede inferir que el agregado de aditivos al caldo cuando se utiliza este tipo de boquilla no produce mejoras en cuanto al área cubierta y el número de impactos, en coincidencia con Dan et al. (2010) quienes evaluaron diferentes adyuvantes multifuncionales sin encontrar beneficios significativos. La boquilla AI3030 fue la única que respondió positivamente a la incorporación del aditivo, en coincidencia con van Zyl et al. (2010) quienes adjudican al coadyuvante la capacidad de reducir la tensión superficial de las gotas, lo cual aumenta las posibilidades de retención de las mismas y el porcentaje de superficie cubierta, en conjunto con un incremento no significativo de la densidad de impactos. Esto último se puede corroborar a través del incremento del DVM de las gotas ante la adición del coadyuvante, que fue del 7,1 % para esta boquilla respecto a su testigo sin aditivo. Asimismo, si bien el incremento en el diámetro no fue relevante, el significativo aumento del porcentaje de cobertura también estuvo acompañado por un incremento en la densidad de impactos de aproximadamente el 28 %, sin ser la diferencia con su testigo significativa.

A pesar del mayor porcentaje de cobertura del tratamiento AI3030 con la incorporación del aditivo al caldo, los resultados no permiten validar la segunda hipótesis de trabajo respecto a la mejora en la cobertura del objeto de aplicación por el uso de coadyuvantes, en forma independiente del diseño de boquilla y las características del objeto de aplicación, tanto en su ubicación como en

su disposición. De lo analizado, tanto en la espiga como en la hoja bandera, los porcentajes de cobertura no mostraron una tendencia marcada de los efectos del coadyuvante sobre esta variable.

### **Amplitud Relativa (AR)**

En la figura 15 se observan los valores de AR para los diferentes tratamientos según el objetivo de aplicación. Las boquillas TXA8002, AI3030 y AI3070 presentaron mayor AR sobre la hoja bandera respecto a la espiga, aunque, el doble abanico asimétrico fue el único que se diferenció significativamente.



**Figura 15.** Amplitud Relativa (AR) sobre la espiga y la hoja bandera para los diferentes tratamientos. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre tratamientos en cada objetivo de aplicación. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre objetivos de aplicación para cada tratamiento.

Estos resultados denotan que la población de gotas que se deposita sobre la espiga es más homogénea que la que llega a la hoja bandera, lo que confirma que el objetivo vertical actúa como depósito de las gotas de menor tamaño, mientras que las de mayor tamaño presentan mayores

dificultades para su captación sobre el mismo y tienen más probabilidades de colocarse sobre el objetivo horizontal. Estos resultados fueron corroborados cuando se analizó el DVM de la población de gotas, siendo el de la espiga significativamente menor al de la hoja bandera. Asimismo, relacionado a esto y en acuerdo con Meijer (1988), la estructura compleja de la espiga determina que la película de aire superficial que la rodea sea menor a la de la hoja bandera, por lo cual las gotas más finas llegan con mayor facilidad. El abanico plano convencional fue el único que presentó mayor homogeneidad sobre la hoja bandera respecto a la espiga, asociado esto a la gran heterogeneidad en la población de gotas de las caras de la espiga, tal como se observó oportunamente en la variable DVM. La ubicación de la boquilla sobre el botalón sin ningún tipo de inclinación y el perfil de distribución característico de tipo triangular, ocasionaron que las gotas más gruesas de los extremos alcancen principalmente a los laterales, mientras que las de menor tamaño se depositaron en las caras frontal y trasera. Esto queda demostrado cuando se observan los DV0.1 y DV0.9 de la población de gotas que alcanza el objetivo vertical. En los laterales se encontraron los mayores DV0.9, significativamente diferentes a los de las caras trasera y frontal, mientras que los DV0.1 del lado izquierdo y derecho, no se diferenciaron estadísticamente de las caras frontal y trasera. La mayor heterogeneidad en el tamaño de las gotas de los laterales respecto a las caras anterior y posterior, se traduce en mayores valores de AR.

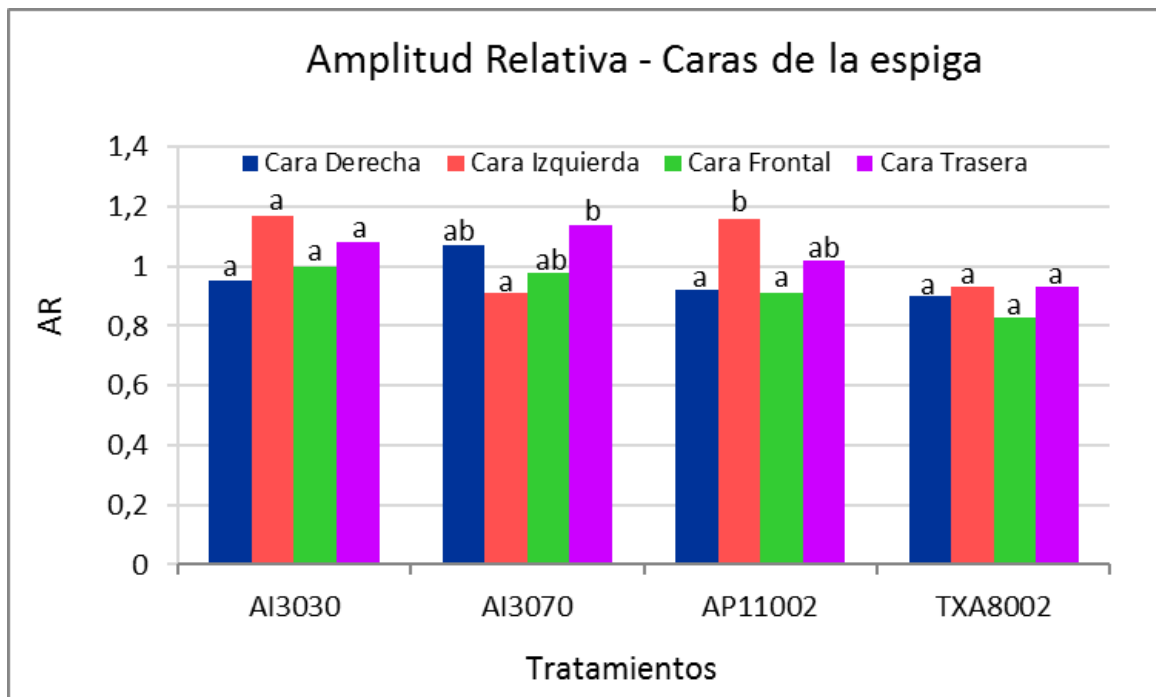
En el análisis comparativo de los distintos tratamientos en cada objetivo, TXA8002 presentó los menores valores mientras que las boquillas de doble abanico se destacaron por tener la mayor amplitud relativa tanto en la espiga como en la hoja bandera. La mayor uniformidad de la boquilla TXA8002 representada por valores de amplitud relativa de 0,9 en la espiga y 0,94 en la hoja bandera, se corresponde con valores de amplitud relativa de 1,01 y 0,89 mencionados por Casal (2012) en estudios de caracterización de las boquillas de cono hueco con disco y núcleo para las combinaciones D513 y D523 respectivamente. En función de estos resultados, la boquilla de cono hueco no solo tuvo los mayores porcentajes de cobertura sino también una población de gotas muy homogénea.



Esto adquiere importancia cuando se trabaja con productos cuya acción es por contacto y se requiere que las gotas lleguen a objetivos de difícil alcance, siempre y cuando las condiciones climáticas sean las adecuadas y no se corran riesgos de exoderiva o termoderiva. Análogamente, Texeira (1997) menciona que las gotas muy finas generan buena cobertura superficial y uniformidad de distribución del líquido, pero pueden evaporarse en condiciones de baja humedad relativa y alta temperatura ambiente (termoderiva) o ser arrastradas por el viento (exoderiva).

Los mayores valores de amplitud relativa para AI3030 y AI3070 fueron los esperados y se deben a las características de las gotas con aire inducido que al impactar en la superficie, las mismas se rompen y generan nuevas gotas de menor diámetro. La impronta de las manchas que no representan los volúmenes reales de las gotas en conjunto con las dificultades de la metodología para distinguir el diámetro de una gota grande y no la suma de varias gotas chicas (Zhu et al., 2011), resultan en una gran heterogeneidad de impactos que como consecuencia definen valores de amplitud relativa mayores.

Continuando con el estudio de esta variable, la figura 16 muestra los valores de amplitud relativa para las diferentes caras de la espiga en función de cada tratamiento. Como primera lectura, y con la misma tendencia a lo observado anteriormente, la boquilla TXA8002 fue la más homogénea entre las caras de la espiga, seguido por las boquillas anguladas y por último AP11002 que fue la más desigual.



**Figura 16.** Amplitud Relativa (AR) sobre las caras de la espiga para las diferentes boquillas. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre caras de la espiga para cada boquilla.

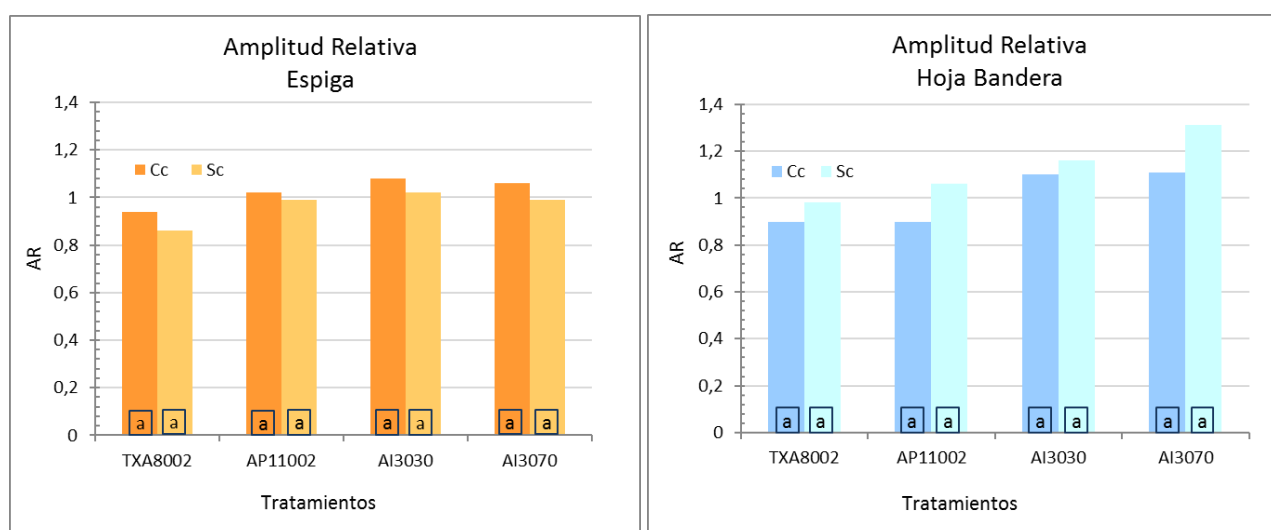
La buena prestación de la boquilla de cono hueco respecto a las demás, no acuerda con lo mencionado por Herrera Prat et al. (2008) quienes les adjudican a las boquillas de abanico plano mayor uniformidad que las de cono hueco, atribuible, en principio, al perfil de distribución. El tratamiento AI3030 no presentó diferencias significativas, pudiendo deberse la ausencia de significancia a la gran variabilidad de los resultados. Por el contrario, AI3070 presentó el menor valor de AR sobre el lateral izquierdo significativamente diferente a la cara trasera con la mayor amplitud relativa. El tratamiento AP11002 tuvo una tendencia similar a AI3030 pero con diferencias significativas entre sus lados, las caras derecha y frontal presentaron los menores valores mientras que la izquierda tuvo la mayor AR, estadísticamente diferente a las anteriores.

El comportamiento diferencial de las boquillas, siendo TXA8002 la más homogénea entre sus caras para esta variable y AP11002 la más heterogénea mientras que las boquillas anguladas tuvieron un comportamiento intermedio, da una idea de la mayor o menor uniformidad de la

población de gotas que alcanza a cada cara de la espiga. Estos resultados pueden estar asociados a un similar comportamiento observado en la variable DVM, donde TXA8002 tuvo, no solo los menores valores de este parámetro, sino también la mayor homogeneidad entre sus caras, en tanto que AP11002 fue muy heterogénea entre los lados del objetivo vertical, quedando expresada esta desuniformidad por el mayor desvío estándar (Figura 10).

Independientemente de las diferencias entre las caras de las boquillas de abanico, es claro que el comportamiento de las mismas responde al tipo de perfil de distribución, a la altura de la boquilla respecto al objetivo, la distancia entre picos, la velocidad de desplazamiento de la máquina pulverizadora y a las condiciones ambientales al momento de la aplicación. Estos factores determinan que la distribución de las gotas entre las caras de la espiga sea más o menos homogénea.

En el estudio del efecto del agregado del coadyuvante sobre la variable AR, el análisis estadístico arrojó interacción significativa entre objetivos y coadyuvante ( $p$ -valor = 0,0289), es decir que las poblaciones de gotas recolectadas sobre la espiga y la hoja bandera producto de las diferentes boquillas de pulverización, no tuvieron similares características ante la incorporación del coadyuvante (Figuras 17 y 18).



**Figura 17.** Amplitud Relativa (AR) en la espiga para cada tratamiento y subtratamiento. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02; Cc: con el agregado del coadyuvante; Sc: sin el agregado del coadyuvante. Letras minúsculas iguales en las columnas indican ausencia de diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre subtratamientos para cada boquilla.

**Figura 18.** Amplitud Relativa (AR) en la hoja bandera para cada tratamiento y subtratamiento. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02; Cc: con el agregado del coadyuvante; Sc: sin el agregado del coadyuvante. Letras minúsculas diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre subtratamientos para cada boquilla.

Si bien las diferencias no fueron estadísticamente significativas, en la espiga la adición del coadyuvante al caldo provocó un aumento en los valores de amplitud relativa mientras que en la hoja bandera ocurrió lo inverso, observándose este comportamiento en todas las boquillas. De esta manera, los resultados no permiten concluir respecto a las consecuencias del coadyuvante sobre el espectro de gotas, ya que, por un lado, la incorporación del aditivo provocó una población de gotas más heterogénea en tanto que en el objetivo horizontal la población de gotas se volvió más homogénea.

Independientemente de los resultados, las menores variaciones de AR por la incorporación del coadyuvante, se observaron sobre la espiga y fue el tratamiento AI3030 el que presentó las diferencias más bajas, teniendo en cuenta ambos objetivos. Tanto AP11002 como AI3070 presentaron pequeñas variaciones en el espectro de gotas sobre la espiga, pero sobre la hoja bandera las diferencias estuvieron cercanas al 18 %, a favor de la incorporación del aditivo por una mayor homogeneidad. La boquilla de cono hueco tuvo variaciones semejantes en los dos objetivos, cercanos al 9 %.

Visto que la amplitud relativa es la relación entre los diámetros volumétricos ( $DV0.9 - DV0.1$ )/ $DV0.5$ , el aumento de sus valores puede deberse a una mayor diferencia entre  $DV0.9$  y  $DV0.1$  o a un achicamiento del  $DV0.5$ . El  $DV0.1$  indica que hay un 10 % del volumen del asperjado contenido

en gotas de tamaño menor a ese valor, mientras que el DV0.9 señala que hay un 90 % del volumen comprendido en gotas de tamaño menor a ese valor o, dicho de otra manera, hay un 10 % del volumen contenido en gotas mayores a ese tamaño. El DV0.5 es igual al diámetro volumétrico medio (DVM) lo que implica que la mitad del volumen aplicado está en gotas menores a ese diámetro y que la otra mitad del volumen está dispersado en gotas con tamaño por encima de ese valor. Si bien en el objetivo vertical el efecto del coadyuvante fue muy exiguo, los mayores valores de AR de las boquillas convencionales y de AI3030 se corresponden principalmente a una disminución del DV0.1 y en menor medida una disminución del diámetro volumétrico mediano, en tanto que, en la boquilla de doble abanico asimétrico, las disminuciones significativas del DV0.5 y DV0.1 causaron la mayor AR. No obstante, en todos los tratamientos se observó una disminución del DV0.9 que no logró contrarrestar las disminuciones de los otros diámetros volumétricos. Estos resultados indicarían que el aditivo multifuncional provocó una disminución del tamaño de la población de gotas.

Contrariamente, la disminución de la AR sobre la hoja bandera, puede deberse a una reducción de la diferencia entre DV0.9 y DV0.1 o a un incremento del DV0.5. Las mayores diferencias observadas en las boquillas AP11002 y AI3070 entre el caldo con coadyuvante y sin él, obedecen principalmente a una disminución del DV0.9 que, en el caso del abanico plano, la diferencia fue significativa. En la boquilla de cono hueco, el menor valor de DV0.9 se compensó con un menor DV0.5 y consecuentemente la diferencia en AR entre caldos fue muy baja. Del mismo modo, en AI3030 la compensación de mayores DV0.9 principalmente y mayores DV0.5, se tradujo en pequeños cambios de amplitud relativa. Nuevamente se observa, a excepción de AI3030, que la incorporación del coadyuvante provocó una disminución del espectro de gotas, resultando en una población más “fina” y homogénea.

En función de lo observado, existe una tendencia hacia una disminución en el tamaño de la población de gotas por la incorporación del aditivo al caldo, sin embargo, los resultados no fueron lo suficientemente contundentes como para validar la tercera hipótesis de trabajo que refiere a una

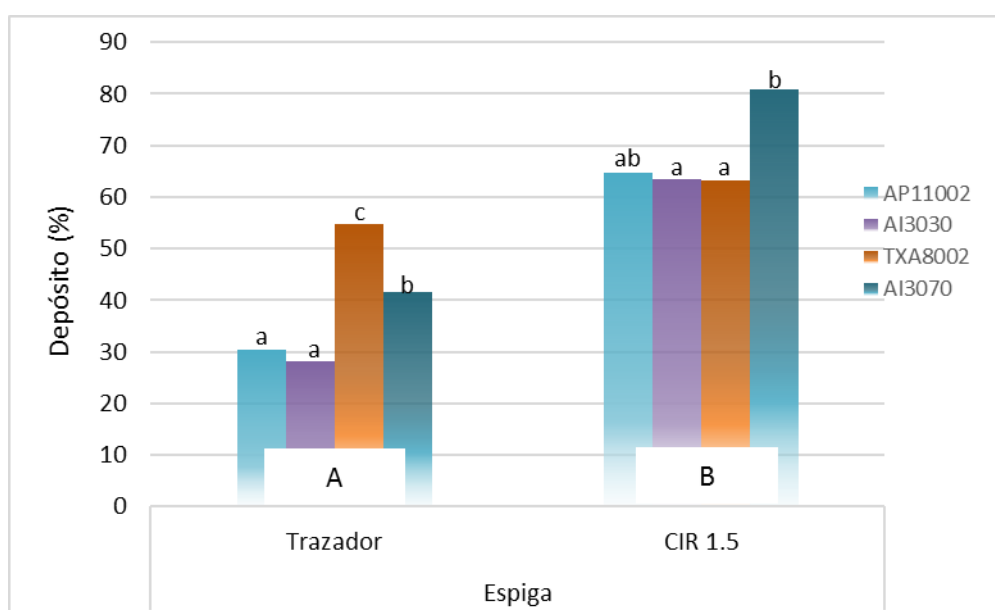
modificación del espectro de gotas por el agregado del coadyuvante, independientemente del tipo de boquilla utilizada. Estos resultados coinciden en parte con las observaciones realizadas por Madureira et al. (2015) quienes encontraron un comportamiento poco claro de los aditivos en función del diseño de la boquilla. Al respecto, los autores reportan que la adición de adyuvantes, independientemente de sus propiedades, minimizó los riesgos potenciales de deriva en boquillas de abanico plano inclinado en tanto que, en las de aire inducido, únicamente el polímero vegetal tuvo este efecto. Del mismo modo, Martini et al. (2015) informaron una actuación dispar de los adyuvantes al evaluar la derivada de glifosato con diferentes formulaciones de aditivos y una boquilla XR. Igualmente, Chapple et al. (1993) encontraron, con la mayoría de los coadyuvantes utilizados, que el patrón de distribución de la boquilla fue significativamente alterado en comparación con el agua como testigo. Sin embargo, cuando utilizaron un surfactante tradicional, no encontraron diferencias en ningún parámetro respecto al agua, lo que implica una gran variabilidad de respuesta de los aditivos.

### ***Deposición (%)***

En lo referente a la recuperación del producto sobre la espiga, se encontró interacción significativa entre tratamientos y metodología (p-valor = 0,0037). Esto se puede visualizar en la figura 19 donde las boquillas se comportaron de manera diferente según la metodología de trabajo. El software CIR 1.5 arrojó mayores valores para todas las boquillas, siendo la diferencia respecto al trazador significativa, independientemente de la incorporación o no del coadyuvante al caldo. Estos resultados permiten aseverar que el programa, indistintamente del espectro de gotas, sobreestima para las pastillas evaluadas la deposición de aplicación en acuerdo con Domper et al., (2015).

Pese a ello, el ensayo no permite ahondar en las razones técnicas de dicha sobreestimación. El software no indica la metodología de cálculo para la estimación del volumen recolectado sobre

las tarjetas hidrosensibles, aunque es lógico pensar que se basa en el cálculo del volumen de líquido a partir de la impronta de las gotas sobre el papel. En función de ello, resulta crítico para esta metodología la relación entre la impronta de cada gota, afectada por el coeficiente de expansión del líquido sobre el papel, y el volumen de la misma, siendo este aspecto una de las posibles fuentes de error. Por otro lado, el coadyuvante utilizado puede ser otra posible fuente de variación.



**Figura 19.** Porcentaje de depósito de caldo recogido sobre la espiga según metodología de valoración para cada boquilla. Trazador: metodología del trazador colorimétrico; CIR 1.5: software de análisis de tarjetas hidrosensibles; AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre boquillas para cada metodología. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre metodologías.

Los valores, obtenidos por el método de análisis de imágenes, parecieran adecuados a los fines de la cantidad de producto depositado sobre la espiga en relación a lo distribuido por unidad de superficie, con valores máximos del orden del 80 % para la AI3070 y mínimos superiores al 60 % en AI3030 y TXA8002. Las diferencias estadísticas fueron significativas, menos para AP11002 que con un porcentaje de deposición cercano al 65 % no logró diferenciarse de ningún tratamiento. Los valores del trazador tuvieron similar tendencia menos para la pastilla de cono hueco que registró

los mayores valores, cercanos al 55 %, diferenciándose significativamente de AI3030 que presentó los menores porcentajes, inferiores al 30%. En tanto, AI3070 con un porcentaje de depósito de 41,5% tuvo un comportamiento intermedio, significativamente diferente a las demás boquillas, mientras que AP11002 tuvo similar comportamiento a AI3030. Estos resultados ponen en discusión las dificultades para las recomendaciones de la dosis de producto, dadas las diferencias de eficiencia que se alcanzan. Al analizar las sobreestimaciones del software, no existe una tendencia clara y los resultados no permiten asociarlos con una única variable que pueda explicar los diferentes comportamientos. El tratamiento AI3030 presenta la mayor sobrevaloración siendo los valores 2,24 veces respecto al trazador, mientras que TXA8002 pareciera ser la que mejor se ajusta a la metodología de análisis de imágenes con apenas 1,16 veces mayor al registro por el método colorimétrico. Las boquillas AI3070 y AP11002 tuvieron una actuación intermedia, siendo los valores de 1,95 y 2,13 veces mayor al medido por el trazador respectivamente.

Las sobreestimaciones coinciden en parte con lo informado por Domper et al. (2015) al hallar menores sobrevaloraciones con la boquilla de cono hueco convencional respecto a la asistida con aire. Sin embargo, la magnitud de las mismas no se asemeja con las conseguidas en este ensayo, ya que tanto para la boquilla convencional como para la asistida con aire los autores obtuvieron valores de 1,7 y 3,4 veces respectivamente. Estas discrepancias podrían deberse a diferencias en los DVM logrados de acuerdo al tipo de objetivo, dado que la espiga al tener una orientación vertical capta las gotas de menor tamaño, en comparación con un objetivo horizontal como pueden ser las hojas del cultivo de soja. Independientemente de las causas de sobreestimación del software de imágenes, también es posible destacar las diferencias en la valoración de cada boquilla con uno y otro método. La boquilla TXA8002 alcanzó los mayores valores de caldo depositado con la medición colorimétrica, a diferencia de AI3070 que retrocedió respecto al cono hueco convencional, pero manteniéndose por encima de AP11002 y AI3030. Esto implicaría que el tamaño de gota de TXA8002 favoreció en mayor medida la retención del caldo sobre la estructura de la espiga. La proyección



angulada de AI3070 mejoró significativamente la deposición sobre la espiga respecto a los demás abanicos planos, pero fue significativamente inferior a TXA8002. Estos resultados parecen indicar que a pesar de la intrincada e irregular superficie de la espiga, no se alcanza una adecuada captación y retención de la solución asperjada cuando aumenta el DVM de la población de gotas.

Ensayos realizados por Barone et al. (2017)<sup>3</sup> a campo sobre suelo desnudo con el objetivo de cotejar distintos programas de análisis de imágenes con la metodología colorimétrica, arrojaron coeficientes de sobrestimación del CIR 1.5 diferentes a los mencionados. Al igual que lo observado en la figura 19, el autor encontró que la boquilla de cono hueco convencional fue la que mejor se ajustó, sin diferencias en los volúmenes recogidos con las dos metodologías. En cambio, con la boquilla de doble abanico simétrico (GAT 11002) el CIR 1.5 sobrestimó en 1.25 el porcentaje de eficiencia respecto a la metodología de trazador, en tanto que, con el abanico plano convencional y el doble abanico asimétrico con aire inducido (AI3070) el software subestimó en 0,66 y 0,76 el porcentaje de eficiencia, respectivamente. Estos resultados se obtuvieron sobre suelo desnudo, sin entorpecimientos en el transporte de las gotas a los objetivos artificiales, y a una mayor altura de las boquillas respecto al blanco.

La mayor sobrestimación de AI3030 respecto a TXA8002 no puede ser adjudicada únicamente al mayor volumen de la gota como consecuencia del aire inducido si se tiene en cuenta los resultados informados por Butler Ellis et al. (2002), ya que el aire en el interior sería para gotas de más de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro relativamente constante, con una densidad en el rango de 700 a 800  $\text{kg m}^{-3}$  e independientemente de las características principales de diseño de las boquillas. Las diferencias también podrían deberse al efecto de arrastre de la gota inducida con aire al impactar sobre la tarjeta como mencionan Domper et al. (2015) quienes presuponen en virtud de la magnitud de la marca sobre la tarjeta que procede de una gota de mayor diámetro y, por lo tanto, mayor

---

<sup>3</sup> Barone, G., V.H. Merani, M.J. Ponce, F.D. Guilino, M. Mur & R.H. Balbuena. 2017. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Comunicación personal.

volumen lo que pudo incidir en el aumento del porcentaje de deposición. Sin embargo, este razonamiento no justifica la mayor sobreestimación del tratamiento AI3030 respecto a AI3070, ya que esta última posee el mayor DVM (Figura 7) con diferencias significativas, producto de una mayor impronta sobre la tarjeta, pero el mismo no se ve reflejado en una mayor sobreestimación por parte del programa de análisis de imágenes.

Sin embargo, si se examina el procedimiento que el programa informático utiliza para determinar los porcentajes de deposición, se evidencia que los mismos se obtienen a partir del volumen de líquido que se recoge en cada tarjeta expresado como  $\mu\text{m}^3 \text{cm}^{-2}$  que, como se mencionó anteriormente, se basa en la impronta de la gota y en un factor de expansión. Este valor se transforma en  $\text{l cm}^{-2}$  y luego es llevado a la hectárea quedando expresado el volumen recogido en  $\text{l ha}^{-1}$ . Conocida la dosis de aplicación, el programa calcula qué proporción de lo aplicado llegó al objetivo y lo expresa en porcentaje, quedando así determinada la deposición (%). Esta forma de proceder sería viable si las tarjetas (objetivos) estuviesen ubicadas una a continuación de la otra cubriendo toda la hectárea, pero no parece correcto realizar dicha suposición en relación a un objetivo cuyas características de forma y disposición distan de constituir una superficie plana, uniforme, sobre la cual se pretende distribuir el líquido pulverizado, con un espaciamiento entre líneas de cultivo y entre plantas en la misma línea lo que determina una densidad de espigas por hectárea. En acuerdo con esto, la densidad de siembra del ensayo fue de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  lo que definió una densidad de espigas logradas de  $3000000 \text{ espigas ha}^{-1}$ . Si se tiene en cuenta que cada espiga fue cubierta por un tubo cilíndrico semejante a su morfología y sobre este se colocaron 4 tarjetas que simulaban las caras de la misma, lejos se está de lograr que el valor arrojado por el programa pueda ser considerado adecuado y representativo de la eficiencia de deposición. A partir de esto, y teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se ajustaron los porcentajes de depósito que entrega el programa a la superficie objetivo (espiga) con el fin de valorar de la mejor manera la recuperación del producto y poder hacerlo comparativo con la metodología del trazador. En el caso

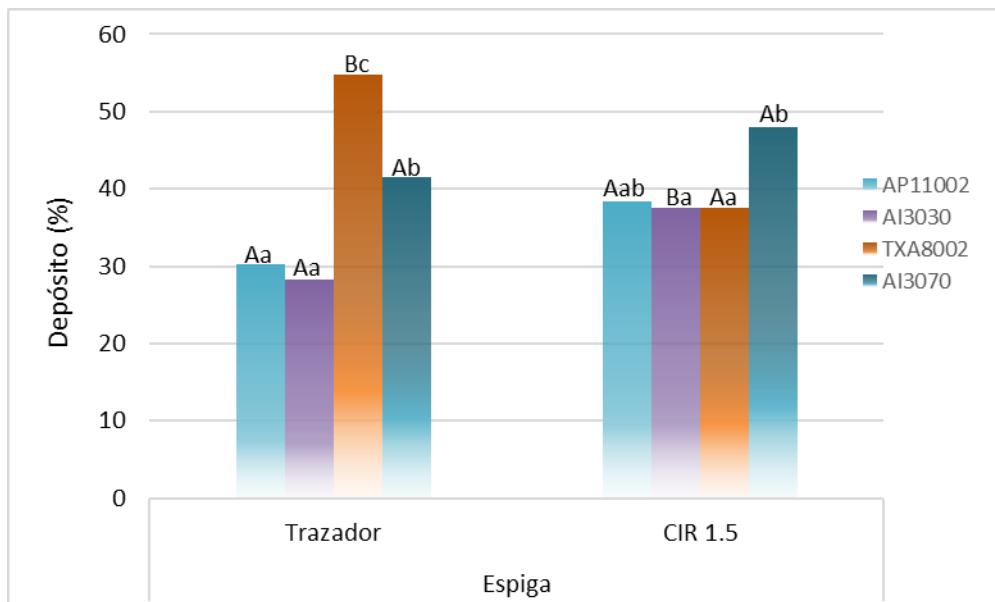
de la espiga, se consideró a cada cara de la misma como la superficie de una tarjeta hidrosensible de 19,76 cm<sup>2</sup>. De esta manera, los l cm<sup>-2</sup> que entrega el software se convirtieron en litros por área de tarjeta, que sumadas las cuatro caras representan el volumen de caldo que recibe la espiga. Conocida la densidad de espigas por hectárea, se transformaron los l espiga<sup>-1</sup> en l ha<sup>-1</sup> y luego se calculó la proporción de caldo que llega al objetivo vertical en función de la dosis de aplicación, quedando así expresada la deposición en porcentaje. Para el objetivo horizontal, se dejaron los valores de deposición tal como los presenta el software ya que el área de la tarjeta dista mucho de ser la superficie real de la hoja bandera del cultivo de trigo. Las mayores dificultades se encuentran en las características de la hoja bandera en cuanto a su disposición y dirección. Por ello, los resultados valoran en mayor medida la capacidad de penetración del caldo de pulverización para alcanzar la ubicación, estrato del cultivo en que se encuentra la hoja bandera más que una cuantificación del producto depositado sobre la misma. Es por todo esto que no se considera correcto proceder de la misma manera que se hizo para el objetivo vertical.

Aunque son numerosos los antecedentes que demuestran que el programa de análisis de tarjetas arroja valores inexactos de los parámetros de caracterización de la población de gotas (Casal, 2011<sup>4</sup>; Cunha et al., 2013; Domper et al., 2015), el modo que tiene de proceder el software no sería el indicado para este tipo de ensayo donde los objetivos están distanciados entre líneas y en la misma línea y no ocupan el total de la superficie cultivada. Realizada la corrección tal como se mencionó anteriormente, los porcentajes de depósito se redujeron un 41 % en relación a los que entrega el programa por sí mismo, pero el comportamiento de las boquillas no se vio alterado. Dicho de una manera diferente, los valores de deposición que entrega el CIR1.5, sin tener en cuenta la distribución y disposición del objetivo en la superficie de estudio, son un 69 % mayor a lo que deberían ser.

---

<sup>4</sup> Casal, G.A. 2011. Comunicación personal

Al analizar los valores corregidos de recuperación del producto sobre la espiga (figura 20), se encontraron diferencias significativas entre metodologías para las boquillas de doble abanico simétrico y cono hueco, mientras que en las dos restantes las diferencias no fueron estadísticamente diferentes. No obstante, si se considera a la metodología colorimétrica como la de menor error en la determinación del volumen recogido, el software CIR1.5 arrojó mayores valores respecto al trazador con las boquillas AP11002, AI3030 y AI3070, mientras que con TXA8002 se dio la situación inversa. Independientemente de los resultados, las diferencias entre metodologías no fueron iguales para todas las boquillas; la sobrevaloración del software fue del 16 % para AI3070, 27 % para AP11002 y 33 % para AI3030, mientras que con TXA8002 la subvaloración fue del orden del 31 %. En acuerdo con los valores obtenidos, y disintiendo con lo mencionado en un inicio, el programa de análisis de tarjetas hidrosensibles no siempre sobrestima los porcentajes de deposición respecto al trazador, sino que también puede subestimar, quedando esto expuesto con el comportamiento de la boquilla de cono hueco. En parte, estas diferencias pueden ser atribuidas a la naturaleza de las superficies donde se recolecta el líquido pulverizado, mencionado por Porras (2006) y Dobson & King (2002) quienes recomiendan usar superficies naturales, propias de las plantas, siendo que la cantidad de líquido retenido puede ser diferente al de las superficies artificiales como el papel hidrosensible.



**Figura 20.** Depósito de caldo recogido sobre la espiga según metodología de valoración para cada boquilla. Trazador: metodología del trazador colorimétrico; CIR 1.5: software de análisis de tarjetas hidrosensibles con valores corregidos; AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02. Letras mayúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre metodologías para cada boquilla. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre boquillas para cada metodología.

Por otra parte, en la metodología de procesamiento de imágenes el tratamiento AI3070 presentó el mayor porcentaje de deposición, diferenciándose significativamente de AI3030 y TXA8002 con los menores porcentajes. Estas diferencias en los volúmenes recuperados estuvieron cercanas al 28 %, mientras que la diferencia con la boquilla AP11002 fue del 25 % pero sin diferenciarse significativamente, lo que se puede explicar por la gran variabilidad de los resultados. Por el contrario, con la utilización del trazador, la boquilla TXA8002 presentó la mayor deposición, significativamente diferente a los demás tratamientos, en tanto que AP11002 y AI3030 tuvieron los menores porcentajes, pero sin diferenciarse entre sí. Mediante esta última metodología no solo se observó un comportamiento distinto de las boquillas sino también una mayor diferencia entre ellas. En este sentido, utilizando la misma comparación que con el software, AI3070 tuvo aproximadamente un 37 % y un 47 % más de deposición que AP11002 y AI3030 respectivamente; sin embargo, con la boquilla TXA8002, que fue la de mayor porcentaje de depósito, se recogió un

94 % más de líquido que con AI3030 y la diferencia respecto a AI3070 fue del 32 %. Los resultados obtenidos con el trazador tienen similar tendencia a los de cobertura, donde la boquilla de cono hueco y doble abanico simétrico tuvieron los mayores y menores porcentajes, en coincidencia con Antuniassi & Boller (2011) quienes asocian la deposición con el tamaño de gotas, siendo que gotas finas resultan en mejor cobertura y penetración. Sin embargo, difieren de Wolf & Caldwell (2004) quienes demostraron que las gotas gruesas aumentan la deposición en objetivos verticales y horizontales, observándose esto mismo en los valores obtenidos con las tarjetas hidrosensibles y corroborándose también con el mayor DVM de AI3070 (Figura 7). Estos últimos autores también aseguran que, al aumentar el ángulo entre las boquillas dobles, aumentan los depósitos en los objetivos, lo que fue ratificado en este trabajo por los mayores porcentajes de deposición de AI3070 respecto a AI3030 en las dos metodologías ensayadas. Esto mismo fue informado por Halley et al. (2010), adjudicando a la angulación de 60° hacia adelante (inclinación respecto a la horizontal de 30° hacia abajo) una mayor deposición y cobertura sobre las caras de la espiga. Del mismo modo, Wolf & Caldwell (2013) mejoraron significativamente la deposición total sobre objetivos verticales cuando utilizaron la boquilla AI3070 11003 respecto a AIXR 11003 y AITTJ60 11003, adjudicando principalmente este comportamiento a un incremento del depósito en la cara posterior del objetivo.

En el análisis comparativo de las boquillas doble abanico respecto al abanico convencional se mantuvo la misma tendencia en ambas metodologías, pero con menos disparidad cuando se utilizaron tarjetas hidrosensibles. Con el empleo del trazador, AI3070 alcanzó un 37 % más de deposición respecto a AP11002 en tanto que AI3030 produjo un 7 % menos de deposición; mientras que con el software, AI3070 tuvo un 25 % más de volumen recolectado y AI3030 un 2 % menos. En parte estos valores acuerdan con Elliot & Mann (1997) respecto a un incremento en la deposición a medida que la inclinación de la boquilla aumenta de 10° a 40°. Sin embargo, y de acuerdo a los resultados del ensayo, la inclinación en 30° de la alternativa AI3030 no fue suficiente para mejorar los depósitos, siendo necesaria una mayor angulación para incrementar los mismos. Del mismo

modo, Olivet et al. (2013) encontraron un 73 % más de deposición sobre la espiga cuando trabajaron con boquillas doble abanico TJ608002 en comparación con un abanico plano, atribuyendo esta mejoría al doble perfil de pulverizado.

De los resultados obtenidos se desprende que el diseño de la boquilla afecta significativamente los volúmenes recogidos en el objetivo, en coincidencia con Wolf & Caldwell (2013). La combinación de una pulverización dirigida hacia el objetivo junto con un tamaño de gota reducido, pareciera ser la mejor alternativa para lograr una mayor tasa de recuperación sobre objetivos verticales, en condiciones atmosféricas compatibles con dicho tamaño, escasa velocidad de viento, temperaturas no demasiado altas y alta humedad relativa.

Como se mencionó previamente, la utilización de tarjetas hidrosensibles y su posterior análisis con el software CIR1.5 arrojó resultados inexactos del porcentaje de líquido recuperado sobre los objetivos. En este sentido, la tabla 2 muestra los coeficientes de sobreestimación o subestimación de acuerdo a cada boquilla, obtenidos a partir del cociente de los valores de deposición de las dos metodologías evaluadas. Como se aprecia, la sobrevaloración de los abanicos no fue igual para todos los diseños, la boquilla doble abanico simétrico presentó la mayor sobrevaloración, siendo el coeficiente de 1,33 mientras que los de AP11002 y AI3070 fueron de 1,26 y 1,16 respectivamente, en tanto que, con la boquilla TXA8002 la relación entre metodologías fue de 0,69. Los resultados acuerdan parcialmente con lo informado por Domper et al. (2015) quienes encontraron una mayor sobreestimación para las boquillas con inducción de aire respecto a las convencionales, independientemente del diseño. Sin embargo los valores relativos citados por estos autores para las boquillas con aire inducido se alejan de los que se observan en la tabla 2 pudiendo atribuirse estas diferencias al diseño de las mismas, puesto que la boquillas citadas poseen un solo orificio, mientras que AI3070 y AI3030 presentan doble orificio lo que reduce las diferencias entre los DVM y por lo tanto la predicción de tamaños.

Asociando los resultados obtenidos con los DVM, la menor sobrevaloración del tratamiento doble abanico asimétrico se correspondió con los mayores diámetros de gota, en coincidencia con lo informado por Zhu et al. (2011), quienes aseguran que la inexactitud se hace más chica cuanto más grande es la gota. Contrariamente, la gran subestimación por parte del software CIR1.5 con la boquilla TXA8002 se puede asociar con el menor DVM de su población de gotas y las limitaciones del papel hidrosensible en detectar impactos de tamaño reducido, mencionado por Stefanelo et al. (2014) y Bayer et al. (2012).

**Tabla 2.** Factor de ajuste para cada boquilla, obtenidos a partir del cociente entre los valores del CIR1.5 y T. CIR 1.5: programa de procesamiento de imágenes; T: trazador colorimétrico. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02.

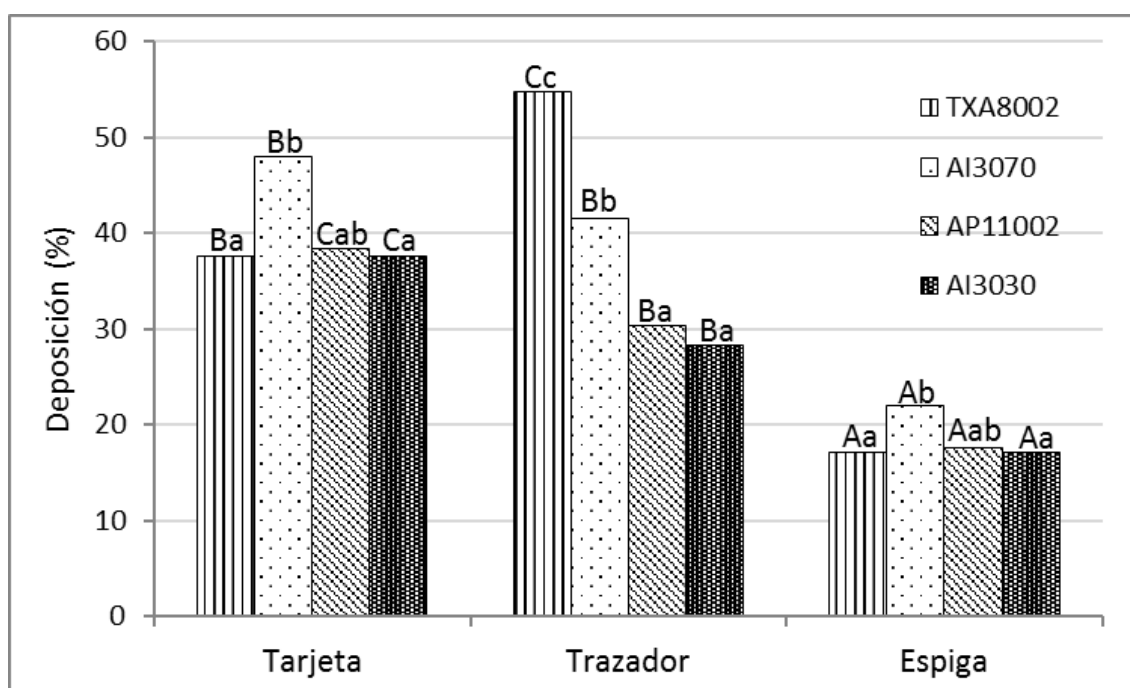
Boquillas	CIR 1.5	Trazador	Factor de ajuste (Relación CIR 1.5/T)
	TXA8002	37,49	54,71
AI3030	37,54	28,21	1,330733782
AI3070	47,96	41,47	1,156498674
AP11002	38,33	30,3	1,265016502

En función de lo analizado hasta aquí, y teniendo en cuenta los valores de deposición que el software CIR 1.5 entrega luego de analizar la tarjeta y sin ningún tipo de corrección (Figura 19), los resultados permiten validar la primera hipótesis planteada donde se hace alusión a la sobreestimación de la metodología, independientemente del tipo de boquilla. Aunque la sobreestimación no fue igual para todos los tratamientos, las diferencias encontradas entre metodologías fueron concluyentes. Ahora bien, si se ajustan esos porcentajes de deposición de acuerdo a la densidad de espigas y al área relativa de las mismas (Figura 20), los resultados cambian y la hipótesis validada en un primer momento ya no puede ser ratificada. Hay una tendencia a la sobrevaloración de esta metodología para las boquillas de abanico plano, en sus distintos diseños, pero no ocurre lo mismo con el cono hueco donde los valores mostraron una subvaloración por



parte del software. Es claro que la metodología es errónea en el cálculo de la variable deposición y esta inexactitud depende, entre otras variables, de la población de gotas de la boquilla evaluada principalmente y del tipo de objetivo.

Si se ajustan los valores que entrega el software a las dimensiones que presentaba el objetivo vertical al momento de realizar la aplicación, etapa de anéstris temprana, estado Z61 según escala de Zadocks et al. (1974), los porcentajes de deposición vuelven a cambiar (Figura 21). Las dimensiones de la espiga al momento de las pruebas fueron de 11,5 cm de largo y 1 cm de diámetro, lo que definió una superficie de 36,13 cm<sup>2</sup>, un 54 % menor a la superficie definida con las tarjetas hidrosensibles adosadas al tubo cilíndrico.



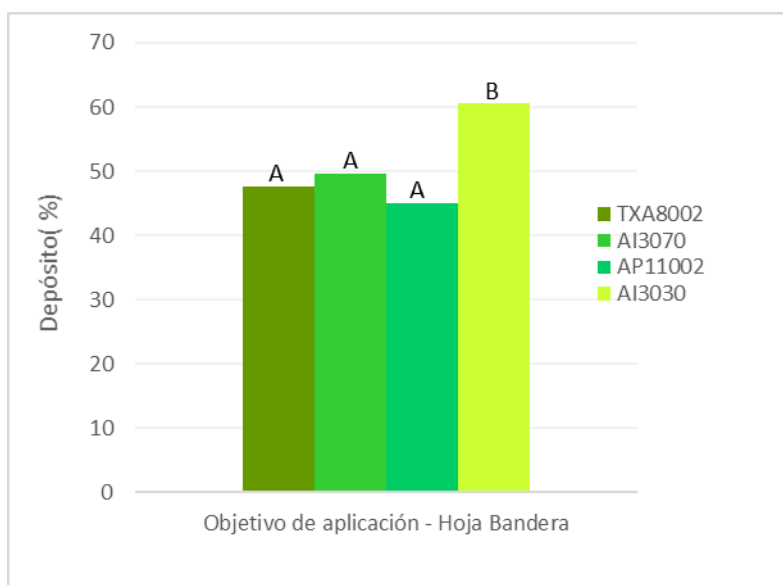
**Figura 21.** Depósito de caldo sobre la espiga según metodología de valoración del área de la misma. Tarjeta: superficie de la espiga determinada por tarjetas hidrosensibles adosadas al tubo y análisis mediante el software CIR 1.5; Trazador: metodología del trazador colorimétrico; Espiga: superficie de la espiga determinada por su altura y diámetro y análisis mediante el software CIR 1.5. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02. Letras mayúsculas diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre metodologías para cada boquilla. Letras minúsculas diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre boquillas para cada metodología.

La menor área de la espiga dio consecuentemente menores porcentajes de volumen de caldo recogido, significativamente diferentes a los determinados mediante las otras dos metodologías. El comportamiento de las diferentes boquillas fue similar al observado con la utilización de tarjetas hidrosensibles, con un 54 % menos de volumen recogido. En desacuerdo con el trazador, TXA8002 tuvo el menor porcentaje de deposición, significativamente diferente a AI3070 que presentó el mayor valor. Es claro que la simulación de las caras de la espiga mediante las tarjetas hidrosensibles sobreestima la superficie de la misma y los valores de deposición no reflejan la situación real. Así también, la determinación del área de la espiga mediante su altura y diámetro tampoco pareciera ser la forma correcta de proceder para este tipo de objetivos dada la forma intrincada que presenta lo que define una superficie real mayor y consiguientemente mayores valores de deposición, próximos a los determinados mediante la metodología con trazador.

Las metodologías de evaluación utilizadas presentan ventajas y desventajas que resultan complementarias al momento de realizar un análisis completo de los parámetros de caracterización de la aplicación. Todas las alternativas propuestas permiten una distinta evaluación de la cantidad de caldo y producto activo sobre el objeto de aplicación en relación a la cantidad de caldo valorado por colorimetría. No debe perderse de vista que estas alternativas solamente se establecen para tratar de reducir las diferencias que surgen, por exceso, cuando se trata de valorar la eficiencia de deposición sobre objetivo verticales complejos.

En lo que respecta a la hoja bandera, en la figura 22 se representa la cantidad de líquido recuperado según cada boquilla conforme a los valores que entrega el software ya que, como se mencionó anteriormente, no se considera adecuado corregirlos y proceder de la misma manera que se hizo para el objetivo vertical. El análisis estadístico arrojó diferencias significativas entre el tratamiento AI3030 y las demás boquillas, siendo el doble abanico simétrico el de mayor porcentaje de depósito y el cono hueco, sin diferenciarse significativamente de AI3070 y AP11002, el de menor volumen recuperado. Estos resultados coinciden en parte con lo que se ha discutido hasta aquí, el

mejor comportamiento de AI3030 se corresponde con mayores porcentajes de cobertura dados principalmente por diámetros de gotas más grandes. En tanto, el menor porcentaje del tratamiento TXA8002 se asocia a una población de gotas de menor tamaño y a las limitaciones del papel hidrosensible en detectar impactos de tamaño reducido indicado por Stefanelo et al. (2014) y Bayer et al. (2012), tal como fue discutido oportunamente.

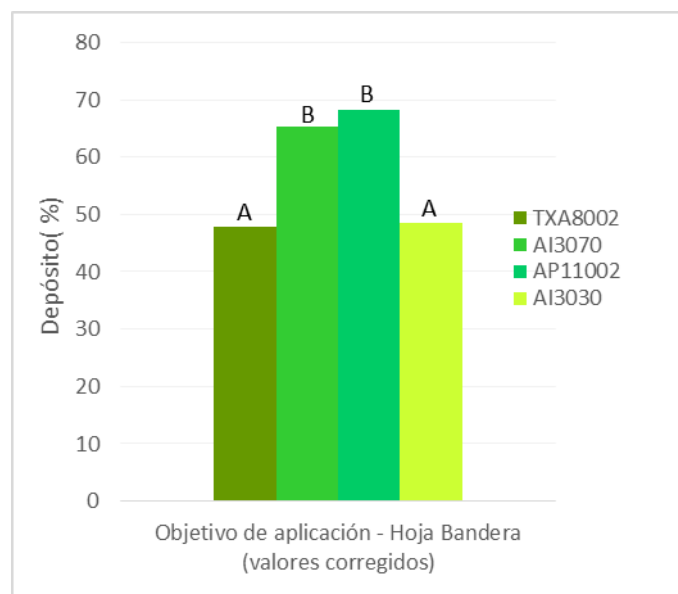


**Figura 22.** Depósito de caldo sobre la hoja bandera para cada boquilla. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02. Letras mayúsculas diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre boquillas.

De acuerdo a lo analizado hasta aquí, los porcentajes valoran en mayor medida la capacidad de penetración del caldo de pulverización para alcanzar la ubicación, estrato del cultivo en que se encuentra la hoja bandera, más que una cuantificación del producto depositado sobre la misma. En este sentido, la angulación en 30° y un DVM de la población de gotas de aproximadamente 330  $\mu\text{m}$ , clasificadas como gotas medianas de acuerdo a la norma ASABE S572.1 (2009), le permitió al tratamiento AI3030 adentrarse y lograr el mayor porcentaje de deposición en el objetivo horizontal.

Dadas las particularidades de la espiga como objetivo de captación de las gotas, no parece adecuado emplear los factores de ajuste de la tabla 2 para corregir los porcentajes de deposición

de la hoja bandera. En cambio, resulta apropiado utilizar los coeficientes informados por Barone et al. (2017)<sup>3</sup> que fueron obtenidos a partir de tarjetas colocados sobre suelo desnudo, sin ningún tipo de interferencia en el transporte de las gotas y evitando la subjetividad del tipo de objetivo. Los nuevos valores de deposición sobre la hoja bandera se visualizan en la figura 23 y para ello se aplicaron los siguientes coeficientes: 0,66 para AP11002, 0,99 para TXA8002, 1,25 para AI3030 y 0,76 para AI3070. Es decir, para cada diseño de boquilla se realizó el cociente entre el valor de deposición obtenido con el CIR 1.5 y el coeficiente citado por los autores.



**Figura 23.** Depósito de caldo sobre la hoja bandera con los valores corregidos por los factores de ajuste. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02. Letras mayúsculas diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre boquillas.

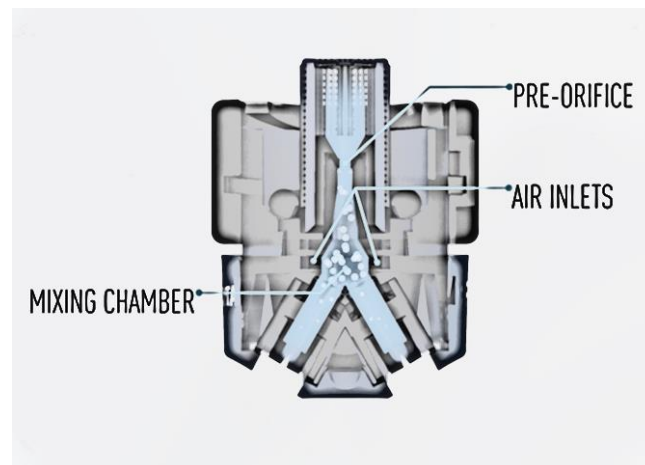
No obstante el comportamiento de los distintos diseños de boquillas y haciendo un análisis general de los resultados, los porcentajes de deposición encontrados fueron relativamente bajos. Sobre la espiga, teniendo en cuenta los valores obtenidos mediante la metodología del trazador (Figura 19), los porcentajes no superaron el 55 %. En cambio, sobre la hoja bandera (Figura 23) unicamente los tratamientos TXA8002 y AI3030 se ubicaron por debajo del 50 %, mientras que

AP11002 y AI3070 estuvieron por encima de dicho valor, con el 68 % y 65 % respectivamente. Estas diferencias demuestran nuevamente la facilidad de las gotas más finas de quedar retenidas en objetivos verticales y las de mayor tamaño depositarse sobre objetivos de posición horizontal.

El análisis estadístico de los nuevos valores mostró una mayor deposición para AP11002 y AI3070, significativamente diferentes a TXA8002 y AI3030 que tuvieron los menores porcentaje y con similar comportamiento entre si. Los resultados difieren de los obtenidos sobre la espiga con la metodología del trazador (Figura 19), donde el cono hueco convencional tuvo la mayor tasa de recuperación, significativamente diferente a los demás tratamientos, mientras que AP11002 y AI3030 tuvieron los menores valores. Estas diferencias pueden estar asociadas a distintos factores, por un lado, el mayor DVM de AP11002 respecto a TXA8002 en el objetivo horizontal, siendo que gotas de mayor tamaño aumentan la deposición y asimismo son lo suficientemente grandes como para depositarse y ser retenidas por el objetivo pero no tanto como para correr el riesgo de perderse por endoderiva como podría suceder con las gotas de mayor tamaño de las boquillas con aire inducido. Por otro lado, si bien la densidad de impactos logradas por CH8002 fue mayor, las diferencias respecto al abanico plano convencional no fueron significativas, atribuyendo al mayor DVM la consecuente mayor deposición en este objetivo respecto al cono hueco convencional.

En cuanto al desempeño de los abanicos con aire inducido, la población de gotas gruesas (DVM de 367  $\mu\text{m}$ ) y la inclinación en 30° hacia adelante y 70° hacia atrás de AI3070 garantizaron la mejor deposición sobre la hoja bandera, indicado por Wolf & Caldwell (2004). Estos mismos autores aseguran que al aumentar el ángulo entre las boquillas también aumentan los depósitos, lo que se pudo corroborar oportunamente en la espiga y también con la hoja bandera. Sin embargo, se puede afirmar que las angulaciones en las boquillas de doble abanico no mejoraron la deposición sobre la hoja bandera respecto al abanico plano convencional, en coincidencia a lo informado por Wolf & Peng (2011) quienes aseguran que se mejora significativamente la deposición en objetivos verticales, pero no así en los horizontales.

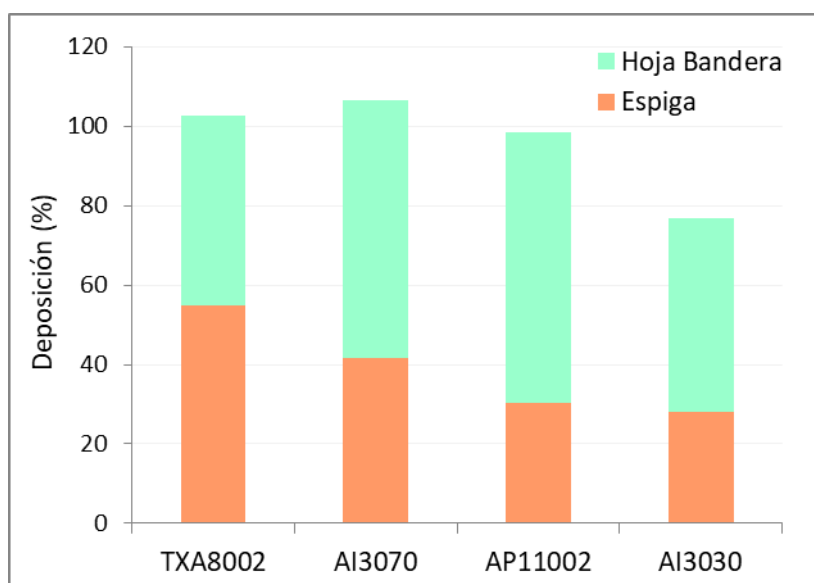
El bajo desempeño de AI3030, tanto en la espiga como en la hoja bandera, pudo estar asociado a las características de diseño de esta boquilla. La misma está constituida por dos estructuras de boquillas, anguladas en 30° respecto a la vertical, una hacia adelante y la otra hacia atrás (Imagen 5). Esta particularidad provoca que erogare un caudal total, para una boquilla 11002, equivalente a 0,8 l/min a 3 bar de presión pero al poseer dos boquillas, el caudal que arroja cada una debería ser de 0,4 l/min y el tamaño de cada orificio equivalente a una boquilla 11001, lo que explicaría la menor densidad de impactos y de menor tamaño de gotas que alcanzan los objetivos.



**Imagen 5.** Vista de sección transversal de la boquilla AI3030 (doble abanico simétrico con aire inducido 110-02) (Fuente: Pentair, 2020).

El análisis mejoraría en la medida que se consideren en forma conjunta los objetivos verticales y horizontales (Figura 24). En este sentido, todos los tratamientos tuvieron muy buen comportamiento. La boquilla de cono hueco, con un espectro de gotas clasificadas como finas (entre 106  $\mu\text{m}$  y 235  $\mu\text{m}$ , según norma ASABE S572.1, 2009) y bajo condiciones climáticas favorables, tuvo una muy buena performance, corroborando las afirmaciones de Márquez Delgado (2005) y Antuniassi & Boller (2011). Sin embargo, AI3070 con una población de gotas de medianas a gruesas (entre 236  $\mu\text{m}$  y 403  $\mu\text{m}$ , según norma ASABE S572.1, 2009), logró la mayor deposición, sin diferenciarse prácticamente de TXA8002. Estas consideraciones son importantes cuando se realizan

aplicaciones bajo condiciones ambientales adversas, siendo necesario tomar las medidas correspondientes para realizar la aplicación de manera eficiente y segura, disminuyendo los riesgos de deriva. El tratamiento AP1102 también tuvo un excelente comportamiento, con valores similares a los obtenidos con AI3070. En tanto, AI3030 con un porcentaje apenas por encima del 76 % tuvo el peor desempeño. La inclinación en 30° de la boquilla AI3030 no fue suficiente para alcanzar la espiga, según la altura de trabajo establecida en el ensayo, difiriendo de lo informado por Halley et al. (2010) quienes recomiendan trabajar con boquillas inclinadas en 30° hacia abajo respecto a la horizontal, asegurando así una mayor deposición sobre las caras de la espiga. Del mismo modo, los resultados se contraponen a lo mencionado por Derksen et al. (2012) en cuanto a un incremento en la deposición sobre la espiga con la inclinación en 30° hacia adelante del botalón, respecto a la posición vertical. Asimismo, la angulación tampoco favoreció en gran medida la llegada de las gotas a la hoja bandera, que apenas superó el 48 % de deposición sobre este objetivo. Estas boquillas no solo tuvieron un bajo desempeño, sino también una gran desuniformidad de distribución entre la espiga y la hoja bandera mientras que, TXA8002 fue la más uniformes entre los objetivos además de lograr los mayores depósitos como se mencionó en el inicio.

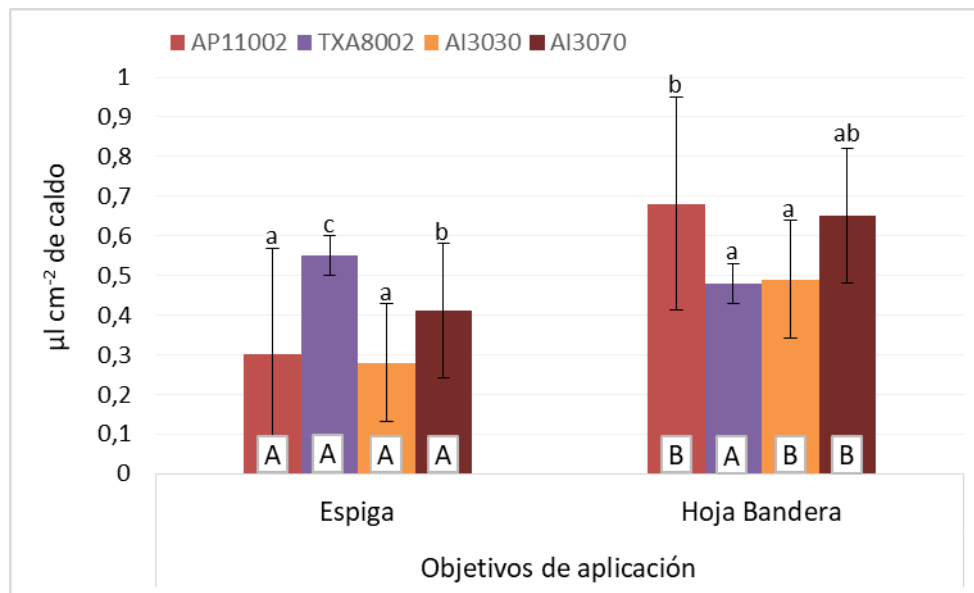


**Figura 24.** Depósito de caldo acumulado sobre la espiga y la hoja bandera. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02.

A pesar del análisis realizado anteriormente, los porcentajes de depósito expresados de esta manera no deberían ser comparables entre objetivos de aplicación, ya que en la hoja bandera se consideró como única superficie de recuperación de líquido al haz de la hoja, mientras que en el objetivo vertical todas las caras de la espiga recolectaron producto. No obstante esto, y en acuerdo con Mur et al. (2018) quienes obtuvieron sobre el envés de las hojas una baja eficiencia por parte de todas las boquillas ensayadas, se podría considerar despreciable su tasa de recuperación.

Por otro lado, si se consideran para la hoja bandera los valores de deposición expresados en  $\mu\text{l cm}^{-2}$  que entrega el programa y se los corrige con los coeficientes informados por Barone et al. (2017)<sup>3</sup> de acuerdo al diseño de la boquilla y, en el caso de la espiga se toman los valores conseguidos con el trazador que son los de mayor fiabilidad, se obtienen nuevos valores que difieren de los analizados hasta acá (Figura 25). Estos valores representan el volumen promedio de caldo por  $\text{cm}^2$  que se recoge en los objetivos luego de cada aplicación.





**Figura 25.** Volumen de caldo recuperado ( $\mu\text{l cm}^{-2}$ ) sobre la espiga y hoja bandera para cada tratamiento. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre objetivos de aplicación para cada boquilla. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre boquillas para cada objetivo.

Como era de esperar, los diferentes diseños de abanico lograron mayor volumen de caldo sobre la hoja bandera respecto a la espiga, siendo las diferencias significativas en todos los tratamientos; en tanto que, el cono hueco convencional obtuvo el mayor volumen sobre la espiga pero sin diferenciarse estadísticamente del objetivo horizontal. Este comportamiento fue suficientemente analizado y se debe principalmente a la facilidad de las gotas por alcanzar objetivos horizontales, principalmente de las gotas de mayor tamaño que son generalmente las que transportan mayor volumen de líquido. En tanto que, las gotas más finas quedan más tiempo suspendidas en el aire y tienen más probabilidades de alcanzar la espiga o ser arrastradas a otras áreas. En acuerdo con esto, Xie et al. (1995) mencionan que la orientación vertical de las espigas hace más difícil su tratamiento, a diferencia de enfermedades que ocurren en las partes orientadas horizontalmente de una planta, como las hojas. En cuanto a la uniformidad de distribución entre

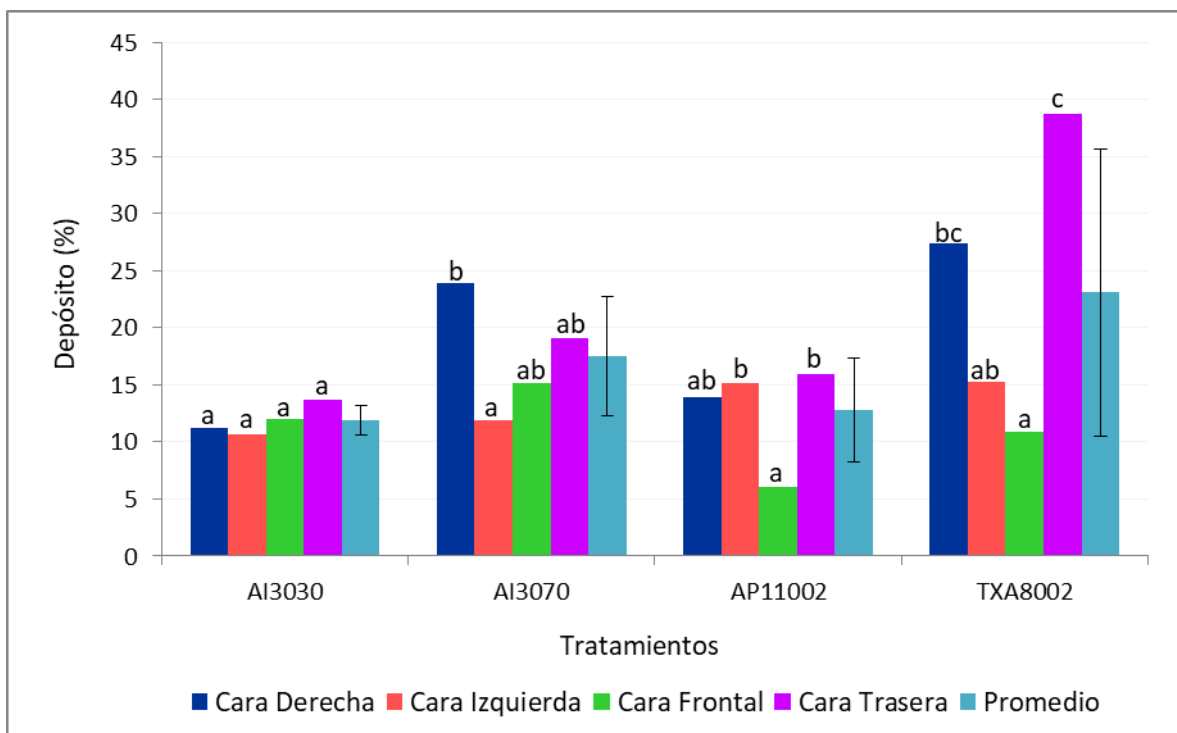
objetivos, la boquilla TXA8002 fue la más uniforme y el abanico plano convencional el más desigual, mientras que las boquillas de doble abanico tuvieron un comportamiento intermedio, siendo la distribución más heterogénea de lo que se hubiese esperado. En la valoración de la uniformidad de distribución de la boquilla de doble abanico asimétrico, la misma no se comportó de acuerdo a lo esperado, en correlación a lo que se visualizó en la variable de densidad de impactos (Figura 3). Si bien, en cuando a cantidad de impactos se refiere fue la más uniforme, en la distribución del caldo entre objetivos fue muy heterogénea, mayor al doble abanico simétrico. Este comportamiento permite, en relación a volumen de caldo recuperado, rechazar la cuarta hipótesis planteada que refiere a una mayor uniformidad de distribución entre la hoja bandera y la espiga por parte de la boquilla doble abanico asimétrica.

No obstante lo anterior, los resultados permiten validar la sexta hipótesis que hace referencia a la mejora en la uniformidad de distribución entre la espiga y la hoja bandera por parte de las boquillas con proyección del líquido con un ángulo respecto a la normal de la superficie del cultivo. Si bien los tratamientos angulados tuvieron mejor distribución del líquido entre los objetivos que la boquilla sin angulación (AP11002), las mismas se alejan del buen comportamiento que presentó el cono hueco convencional. Es claro que las boquillas anguladas son una mejora en general con respecto a las boquillas convencionales en la uniformidad de distribución más que en la cantidad de depósito sobre el objetivo.

Independientemente de los porcentajes de deposición, la distribución del asperjado sobre la espiga, presentó diferente comportamiento de acuerdo a la boquilla (Figura 26). La gran uniformidad de distribución entre los objetivos horizontal y vertical que presentó TXA8002 no se vio reflejada entre las caras de la espiga. Contrariamente, AI3030 fue la más homogénea entre las caras de la espiga pero no así entre la hoja bandera y la espiga, que si bien fue más desuniforme en su distribución que el cono hueco, tuvo mejor comportamiento que los demás abanicos. AI3070 y AP11002 con similar comportamiento, fueron muy desuniformes tanto entre los objetivos

horizontal y vertical como en la distribución del asperjado entre los lados de la espiga. Estos resultados coinciden en parte con lo visualizado por Nicholson et al. (2003), en cuanto a que las boquillas doble abanico presentan una mayor uniformidad de distribución sobre la espiga que las boquillas de abanico plano convencional. Si bien AI3030 fue el tratamiento más uniforme, representado por un valor desvío estándar (DE) de 1,3, no ocurrió lo mismo con AI3070 (DE=5,2) que fue más heterogéneo en la distribución del asperjado que el abanico plano convencional (DE=4,5).

En función de lo mencionado anteriormente, la boquilla de cono hueco convencional con un valor de desvío estándar de 12,57 fue la más heterogénea en la distribución de caldo entre las caras de la espiga. Esta apreciación, y en concordancia con lo visualizado en la figura 6, permiten rechazar nuevamente la última hipótesis de trabajo que refiere a una mayor uniformidad de distribución entre las caras de la espiga por parte de esta boquilla.



**Figura 26.** Depósito de caldo corregido por los factores de ajuste sobre las caras de la espiga para cada tratamiento. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble

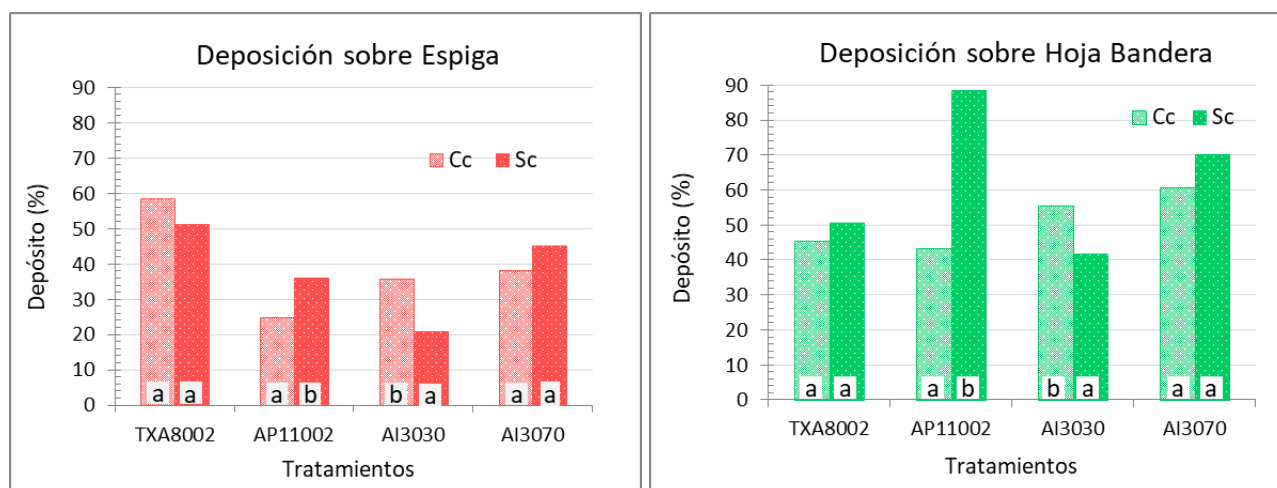
abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre caras de la espiga para cada boquilla.

Todos los tratamientos, recibieron mayor cantidad de caldo sobre la cara posterior respecto a la frontal, concordando con Parkin et al. (2006) quienes encontraron una tendencia hacia una mayor deposición sobre la cara trasera. Contrariamente, Wolf y Caldwell (2013) obtuvieron mayor deposición sobre la cara frontal respecto a la trasera con diferentes diseños de boquillas de abanico plano (AI3070, AITTJ60 y AIXR). Estos autores encontraron una mayor deposición de AI3070 respecto a AITTJ60 y AIXR, en coincidencia con lo que se analizó oportunamente en la figura 25. Sin embargo, y a diferencia de lo indicado por los autores, la mayor tasa de recuperación de AI3070 no se debe únicamente a la mayor cantidad de líquido recogido sobre la cara posterior sino también a la mayor deposición sobre la cara derecha. Sin tener en cuenta estas consideraciones y tomando el criterio de uniformidad de estos autores, indicada como la relación entre la cara delantera y la trasera, los tratamientos de doble abanico fueron los más homogéneos, con valores de 0,79 y 0,87 para AI3070 y AI3030 respectivamente. AP11002 y TXA8002 lejos estuvieron de la performance de las boquillas de doble abanico, con valores de 0,38 y 0,28 respectivamente. Estos resultados coinciden en parte con los de los autores (Wolf y Caldwell, 2013) ya que la tendencia es similar pero los valores difieren de los citados. En este sentido, los resultados demuestran que la inclinación hacia adelante y hacia atrás de las boquillas doble abanico, independientemente de la angulación, permite una mayor homogeneidad entre las caras delantera y trasera únicamente.

De los resultados, se desprende la importancia de la selección de las boquillas acorde al objetivo de aplicación y a las condiciones climáticas al momento de la misma. La inclinación en 70° hacia atrás, mejora la cantidad de depósito sobre la espiga respecto a ángulos menores. Sin embargo, inclinaciones de 30° hacia adelante no mejoran la penetración respecto a la posición vertical. La utilización de gotas finas y direcciones múltiples como las de la boquilla de cono hueco

aumentan la deposición en el objetivo vertical pero no así en el horizontal donde el gran número de gotas que logran depositarse no compensan el bajo DVM de las mismas, disminuyendo consecuentemente la cantidad de líquido recogido respecto a las demás alternativas.

En lo que respecta al efecto del coadyuvante sobre la variable deposición (Figuras 27 y 28), únicamente se observaron diferencias significativas, tanto en la espiga como en la hoja bandera, con las boquillas AP11002 y AI3030, aunque el resultado no fue el mismo para los dos tratamientos. Con la boquilla AI3030 se logró significativamente mayor deposición cuando se agregó el coadyuvante al caldo, mientras que con AP11002 se observó lo opuesto en los dos objetivos de aplicación.



**Figura 27.** Depósito de caldo sobre la espiga según metodología colorimétrica para cada tratamiento y subtratamiento. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02; Cc: con el agregado del coadyuvante; Sc: sin el agregado del coadyuvante. Letras minúsculas iguales en las columnas indican ausencia de diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre subtratamientos para cada boquilla.

**Figura 28.** Depósito de caldo sobre la hoja bandera con los valores corregidos para cada tratamiento y subtratamiento. AP11002: abanico plano 110-02; TXA8002: cono hueco 80-02; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 110-02; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 110-02; Cc: con el agregado del coadyuvante; Sc: sin el agregado del coadyuvante. Letras minúsculas diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de LSD Fisher entre subtratamientos para cada boquilla.

El comportamiento de los diferentes tratamientos tanto en espiga como en hoja bandera, tuvieron similar tendencia a lo observado en la variable cobertura, en coincidencia con Merani et al. (2018) quienes encontraron una fuerte correlación de la tasa de recuperación con los valores de cobertura. No se observa una tendencia clara del efecto del coadyuvante sobre la variable deposición en los diferentes diseños de boquillas. Por un lado, los tratamientos AP11002 y AI3070 tuvieron una respuesta negativa a la incorporación del aditivo al caldo y, por otro lado, AI3030 que se mostró favorecido por el agregado del coadyuvante. En tanto, TXA8002 tuvo un comportamiento ambiguo, con una respuesta positiva en la espiga pero no así en la hoja bandera, sin ser las diferencias significativas. En función de los resultados, el efecto del coadyuvante sobre las boquillas no es concluyente y coincide con lo observado por Dan et al., (2010) quienes no encontraron beneficios significativos en el uso de aditivos, luego de evaluar diferentes coadyuvantes multifuncionales. Contrario a estos resultados, Stoletniy et al. (2014) y Rodrigues de Souza et al. (2014) demostraron que la adición de adyuvantes al caldo de pulverización interfirió positivamente en el desempeño de los fungicidas. Del mismo modo, García et al. (2016) concluyeron que la adición de coadyuvantes al caldo redujo significativamente la tensión superficial de la mezcla, atribuyendo a esta característica la menor severidad e incidencia de enfermedades. Si bien en el ensayo no se evaluó la acción de un fungicida y su interacción con el coadyuvante, lo observado hasta aquí indicaría que no hubo modificaciones contundentes en la aplicación que permitan adjudicarle al aditivo un efecto positivo sobre las características del caldo.

## CONCLUSIONES

En virtud de los resultados obtenidos y de las condiciones bajo las cuales se realizó este trabajo, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

La metodología de evaluación con tarjetas hidrosensibles realiza una valoración poco precisa del volumen de líquido que alcanza al objetivo, dependiendo esta inexactitud de la población de gotas de la boquilla evaluada principalmente y del tipo de objetivo.

Las metodologías de valoración por medio del análisis digital de tarjetas hidrosensibles y trazantes colorimétricos resultan complementarias al momento de realizar un análisis completo de los parámetros de caracterización de la aplicación. Las tarjetas permiten caracterizar el espectro de gotas y su uniformidad de distribución y el trazador colorimétrico proporciona precisión en la cantidad de líquido recogido.

La utilización de coadyuvantes multifuncionales no mejora por si solo la cobertura del objeto de aplicación.

El agregado de coadyuvantes multifuncionales al caldo de aplicación no modifica el espectro de gotas, aunque existe una tendencia hacia una disminución en el tamaño de la población de gotas, independientemente del diseño de la boquilla.

La boquilla doble abanico asimétrico (AI3070) presenta, en cuanto a densidad de impactos, mayor uniformidad de distribución entre la hoja bandera y la espiga, pero no así con la variable deposición que se comportó de manera muy heterogénea entre los objetivos.

El tamaño de las gotas no presenta una relación inversa con la cobertura de los objetivos de aplicación, aunque existe una propensión a que los menores DVM resulten en mayores porcentajes de cobertura y los mayores DVM en menores porcentajes de cobertura.

Las boquillas con proyección del líquido con un ángulo respecto a la normal de la superficie del cultivo, AI3030 y AI3070, mejoran la uniformidad de distribución entre la espiga y la hoja bandera. Las boquillas anguladas son una mejora en general con respecto a las boquillas

convencionales en la uniformidad de distribución más que en la cantidad de depósito sobre el objetivo. La inclinación en 70° hacia atrás, mejora la cobertura y la cantidad de depósitos sobre la espiga respecto a ángulos menores, pero la inclinación de 30° hacia adelante no mejora la penetración respecto a la posición vertical.

La utilización de gotas finas y direcciones múltiples como las de las boquillas de cono hueco convencional, aumentan la cobertura y la deposición en objetivos verticales, pero no mejoran la uniformidad de distribución, en cuanto a densidad de impactos y volumen de caldo, entre las caras de la espiga.



## BIBLIOGRAFÍA

- Abeledo, G.L. & D.J. Miralles.** 2012. ¿Qué cambios presentaron en los últimos años los sistemas de producción de trigo y cebada en Argentina? En: Sistemas de Producción de Trigo y Cebada: decisiones de manejo en base a conceptos ecofisiológicos para optimizar el rendimiento, la calidad y el uso de los recursos. Programa Iberoamericano CYTED. pp: 39-54. Disponible en: <http://www.metrice.udl.cat/es/> Último acceso: Enero 2020.
- Alberione, E.J.** 2011. Principales enfermedades foliares en trigo. Informe. INTA EEA Marcos Juárez. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/principales-enfermedades-foliares-en-trigo> Último acceso: Enero 2020.
- ANDEF.** 2004. Manual de tecnología de aplicação de productos fitosanitarios. Associação Nacional de Defesa Vegetal. Campinas. São Paulo. Disponible en: <http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/Leitura%20-%20Manual%20Tecnologia%20de%20Aplicacao.pdf> Último acceso: Febrero 2021.
- Antuniassi, U.R. & W. Boller.** 2011. Tecnologia de aplicação de fungicidas. En: Antuniassi, U. R. y Boller, W. (Eds.).Tecnologia de aplicação para culturas anuais. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF. pp. 221-229
- ASABE S572.1.** 2009. Spray nozzle classification by droplet spectra. Am. Soc. Agric. Eng., St Joseph, Michigan, 4 pp.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL.** 2010. MANUAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS. ANDEF - COGAP. São Paulo. 52 pp. Disponible en: <http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/Leitura%20-%20Manual%20Tecnologia%20de%20Aplicacao.pdf> Último acceso: Octubre 2019.
- Bainotti, C., J. Frascina, J. Salines, G. Donaire, D. Gómez, E. Alberione, N. Salines, M.B. Conde, M. Cuniberti, L. Mir, F. Reartes, H. Paolini & L. Arce.** 2016. Evaluación de cultivares de trigo en la EEA Marcos Juárez Actualización campaña 2016. Informe de Actualización Técnica en línea N° 4. INTA EEA Marcos Juárez. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_mj\\_trigo2016\\_1.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_mj_trigo2016_1.pdf). Último acceso: Enero 2020.
- Barber, J.A.S. & C.S. Parkin.** 2003. Fluorescent tracer technique for measuring the quantity of pesticide deposited to soil following spray applications. Crop Protection, 22: 15-21.
- Bauer, F.C. & C.G. Raetano.** 2004. Distribuição volumétrica de calda produzidas pelas pontaspulverização XR, TP e TJ sob diferentes condições operacionais. Planta Daninha, v. 22, n. 2, p. 275-284.
- Bayer, T., A. Arrué, I.F.D. Costa, G. Lenz, C. Coradini, B.G. Sari & M.P. Pes.** 2012. Aplicação aérea de fungicidas na cultura do arroz irrigado com diferentes bicos de pulverização. Ciência Rural, Santa Maria, 42 (12): 2185-2191.
- Birzele, B., A. Meier, H. Hindorf, J. Kramer, J. & H.W. Dehne.** 2002. Epidemiology of Fusarium infection and deoxynivalenol content in winter wheat in the Rhineland, Germany. European Journal of Plant Pathology, 108: 667–673.
- Boller, W. & J.F. Schlosser.** 2010. Consideraciones operativas de las boquillas pulverizadoras. En: Tecnología de aplicación de agroquímicos. Magdalena, J.C. (coordinador), B. Castillo Herrán, A. Di Prinzio, I. Homer Bannister & J. Villalba. CYTED Red "PULSO" (107RT0319). Ed: Área de Comunicaciones del INTA Alto Valle. pp. 89-95
- Bolsa de Cereales.** 2020. Informe Cierre de Campaña N° 6 – Trigo 2019/20. Departamento de Estimaciones Agrícolas Bolsa de Cereales - 23 de enero de 2020. Panorama Agrícola Semanal.

Disponible en: <https://www.bolsadecereales.com/estimaciones-informes> Último Acceso: Septiembre 2020

**Bonini, J.V.** 2003. Tecnologia de aplicação de fungicidas na cultura da soja. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil. 82 pp.

**Bueno, M.R., G.S. Alves, A.D.M. Paula & J.P.A.R. Cunha.** 2013. Volumes de calda e adjuvante no controle de plantas daninhas com Glyphosate. Planta Daninha, Viçosa-MG, 31 (3): 705-713.

**Butler Ellis, M.C., T. Swan, P.C.H. Miller, S. Waddelow, A. Bradley & C.R. Tuck.** 2002. Design Factors affecting Spray Characteristics and Drift Performance or Air Induction Nozzles. Biosystems Engineering. 82 (3): 289-296.

**Casal, G.A.** 2012. Aspectos de tecnología de aplicación de agroquímicos. Simposio Internacional CIDETER. Las Parejas, provincia de Santa Fé, Argentina. Agosto 2012. 12 pp.

**Champeil A., T. Doré & J.F. Fourbet.** 2004. Fusariumhead blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by Fusarium in wheat grains. Plant Science 166: 1389–1415.

**Chapple A.C., R.A Downer & F.R. Hall.** 1993. Effects of spray adjuvants on swath patterns and droplet spectra for a flat-fan hydraulic nozzle. Crop Protection 12 (8): 579-590.

**Cid, R. & G. Masiá.** 2011. Manual para agroaplicadores. Uso responsable y eficiente de fitosanitarios. p.37. Disponible en: [https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-manual\\_aplicadores.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-manual_aplicadores.pdf) Último acceso: Febrero 2020.

**Cid, R., S. Duro, G. Masiá & L. Venturelli.** 2009. Uso de tensioactivos y antiderivantes en forma simultánea: evaluación de interacciones. Instituto de Ingeniería Rural – C.N.I.A. – INTA – Castelar. 5 pp. Disponible en: [https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-tensio\\_antideriva.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-tensio_antideriva.pdf) Último acceso: Enero, 2019.

**Conover, W.J.** 1999. Practical Nonparametric Statistics. 3rd ed. Texas Tech University. 578 pp.

**Cowell, C., A. Lavers & W. Taylor.** 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.

**Cunha, J.P.A.R., E.A. Moura, J.L. Silva, F.A. Zago & F.C. Juliatti.** 2008. Efeito de pontas de pulverização no controle químico da ferrugem da soja. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.28, n.2, p. 283-291. Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162008000200009](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162008000200009) Último acceso: Enero, 2019.

**Cunha, J.P.A.R., A.C. Farnese & J.J. Olivet.** 2013. Computer programs for analysis of droplets sprays on water sensitive papers. Planta Daninha, Viçosa-MG, v. 31, n. 3, pp. 715-720.

**Dan, H.A., A.L. Lemos Barroso, L. Gomes Moraes Dan, T. Rezende Finotte & C.A. Feldkircher.** 2010. Adjuvantes multifuncionais associados ao herbicida Glyphosate no controle de Digitaria insularis. Global Science and Technology, 3 (2): 30 – 38.

**Derksen, R.C., P.A. Paul, H.E. Ozkan & H. Zhu.** 2012. Field evaluations of application techniques for fungicide spray deposition on wheat and artificial targets. Applied Engineering in Agriculture. 28(2):325-331.

**Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada & C.W. Robledo.** 2017. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar> Último acceso: Enero, 2019.

**Díaz de Ackermann, M., S. Pereyra, S. Stewart & J. Mieres.** 2002. Fusariosis de la espiga en trigo y cebada. Hoja de divulgación N°79. INIA. 6 pp. Disponible en: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807153241.pdf> Último acceso: Enero, 2019.

- Díaz de Ackermann, M. & M.M. Kholi.** 2013. Chemical control of Fusarium head blight of wheat. En: Alconada, T.M. y Chulze, S.N. (eds.). Fusarium head bight in Latin American (pp. 175-189).
- Dobson, H. & W. King.** 2002. Pesticide Application: Mastering and Monitoring. En I.F.G. and C.C.D. Tingle, ed. Ecological Monitoring Methods for the Assesment of Pesticide Impact in the tropics. Chatham, UK: Natural Resources Institute, pp. 1-20.
- Domper, G.N., R.H. Balbuena & M. Mur.** 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. Disponible en: <http://www.agro.unlp.edu.ar/revista/index.php/revagro/article/view/280/171>. Último acceso: Enero, 2019.
- Elliott, R.H. & L.W. Mann.** 1997. Control of wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) at lower chemical rates with small-capacity sprayer nozzles. Crop protection 16: 235-242.
- FAO.** 2020. Nota informativa de la FAO sobre la oferta y demanda de cereales [Online]. Disponible en: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20mundial%20de%20trigo,fue%20superior%20a%20la%20media>. Último acceso: Agosto 2020.
- Ferguson, J.C., A.J. Hewitt & C.C. O'Donell.** 2016. Pressure, droplet size classification, and nozzle arrangement effects on coverage and droplet number density using air-inclusion dual fan nozzles for pesticide applications. Crop Protection 89: 231-238.
- Fernandes, A.P., S.P. Parreira, M.C. Ferreira & G.N. Romani.** 2007. Caracterização do perfil de deposição e do diâmetro de gotas e otimização do espaçamento entre bicos na barra de pulverização. Engenharia Agrícola, v. 27, n. 3, p. 728-733.
- Formento, A.N. & J. de Souza.** 2004. La antesis en trigo: ventana de vulnerabilidad a la infección de la fusariosis de la espiga (*Fusarium graminearum* y *Fusarium* spp.). En: Actualización Técnica Trigo. Serie Extensión Nº 26, INTA EEA Paraná. pp. 40-43.
- Gálvez, R.M., F.M. Vinciguerra, W. Rodríguez, S. Sabaté, E.A. Soldini, M.R. Devani, I.L. Olea & D. Ploper.** 2010. Evaluación de la penetración del asperjado producido por diferentes boquillas en aplicaciones terrestres orientadas al control de la roya de la soja. Disponible en: <http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2010/01/1-dow-agro-evaluacion-de-la-penetracion-del-asperjado-producido-por-diferentes-boquillas-en-aplicacion-terrest.pdf>. Último acceso: Enero, 2019.
- Gandolfo, M.A., J Bueno, J. Torres Pereira, W. Sánchez, B.F. Zanni & R.B. Belani.** 2007. Avaliação da qualidade da aplicação com diferentes pontas de pulverização e diferentes volumes de aplicação na soja. Anais I Simpósio em Engenharia Rural. Universidade Estadual do Paraná Bandeirantes, Brasil. pp. 43-47
- García, L.C., C.R. Machado Júnior, G.P. Bochnia, P.H. Weirich Neto & C.G. Raetano.** 2016. Adjuvants in fungicide spraying in wheat and soybean crops. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 36, n. 6, pp. 1110-1117. Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162016000601110](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162016000601110) Último acceso: Enero, 2019
- Geyer, A., R. Navarrete, J. Espinoza, S. Samuelson, J. Golus & G. Kruger.** 2016. Efficacy of Aim, Liberty and Cobra through twin fan nozzles. University of Nebraska. Pesticide Application Technology Laboratory. Lincoln, North Platte, NE. Disponible en: <https://pat.unl.edu/2016%20NCWSS%20Poster%20Annah.pdf> Último acceso: Diciembre, 2019.
- Halley, S., E.G. Van, V. Hofman & K. Misek.** 2010. Best methods for applying fungicides to grain heads using air-assist sprayers. North Dakota State University (NDSU) and Michigan State University. 4 pp. Disponible en:

[https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/10438/ae1480\\_2010.pdf?sequence=1](https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/10438/ae1480_2010.pdf?sequence=1) Último acceso: Enero, 2019.

**Hartzler, B.** 2001. Role of Spray Adjuvants with Postemergence Herbicides. Iowa State University. 4pp. Disponible en: <https://crops.extension.iastate.edu/role-spray-adjuvants-postemergence-herbicides> Último acceso: marzo 2019.

**Herrera Prat, M.I., G.J. Rodrigues & M.M. Teixeira.** 2008. Características operacionales de las boquillas de pulverización hidráulica de chorro plano y cónico hueco. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 17, núm. 3, pp 61 - 67. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215941013> Último acceso: Enero, 2019.

**Herrera, M., M. Anglada, C. Pereyra, C. Toledo & O. Pozzolo.** 2007. Eficiencia y eficacia en el uso de fitosanitarios. Informe Técnico N° 1. Proyecto de Extensión Uso Eficiente de Fitosanitarios. Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. 2 pp. Disponible en: [http://centrales.bolsacer.org.ar/informes/otros/FCA-UNER-Uso\\_Eficiente\\_Fitosanitarios/Informe01.pdf](http://centrales.bolsacer.org.ar/informes/otros/FCA-UNER-Uso_Eficiente_Fitosanitarios/Informe01.pdf) Último acceso: Julio 2018

**Hock, W.K.** 2015. Spray Adjuvants. Pesticide Safety Fact Sheet. The Pennsylvania State University Extension. 4 pp. Disponible en: [https://extension.psu.edu/downloadable/download/sample/sample\\_id/671/](https://extension.psu.edu/downloadable/download/sample/sample_id/671/) Último acceso: marzo 2019.

**Inostroza Fariña, J. & P. Méndez.** 2009. Pulverización aplicación de pesticidas. En J. Inostroza Fariña, Manual de Papa para la Araucaria: Manejo de Plantación. BOLETIN INIA N° 193 (pp. 85-101). Temuco, Chile Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36470.pdf> Último acceso: Noviembre 2019.

**Klein, R.N. & Johnson, A.K.** 2002. Nozzle tip selection and its effects on drift and efficacy. In: International Advances in Pesticide Application (2002, Guildford, Surrey). Scientific papers. Wellesbourne, UK, Association of Applied Biologists. pp. 217-230 (Aspect of Applied Biology no. 66).

**Leiva, P.D.** 1995. Manejo de la deriva en la aplicación de agroquímicos. INTA, EEA Pergamino, Información N° 139, Generalidades, Tomo XIV. Disponible en: [https://www.agroconsultasonline.com.ar/ticket.html/Microsoft%20Word%20-%20Deriva%20en%20Aplicacion%20de%20Agroquimicos.pdf?op=d&ticket\\_id=267&evento\\_id=542](https://www.agroconsultasonline.com.ar/ticket.html/Microsoft%20Word%20-%20Deriva%20en%20Aplicacion%20de%20Agroquimicos.pdf?op=d&ticket_id=267&evento_id=542) Último acceso: Noviembre 2019.

**Leiva, P.D.** 2010. Concepto de Calidad de Aplicación en pulverización agrícola. INTA, EEA Pergamino. Disponible en: [http://www.fertilizar.org.ar/subida/evento/JonadaFertilizacionFoliar/FFConceptoCalidadAplicacion\\_DLeiva.pdf](http://www.fertilizar.org.ar/subida/evento/JonadaFertilizacionFoliar/FFConceptoCalidadAplicacion_DLeiva.pdf). Último acceso: Noviembre 2019

**Leiva, P.D.** 2013. Ámbito de recomendación de aditivos o coadyuvantes en pulverizaciones agrícolas. INTA Pergamino. 10 pp. Disponible en: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_pergamino\\_mbito\\_de\\_recomendacin\\_de\\_aditivos\\_o\\_co.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_pergamino_mbito_de_recomendacin_de_aditivos_o_co.pdf) Último acceso: Junio 2018.

**Leiva, P.D.** 2015. Recaudos por deriva en pulverizaciones agrícolas. EEA Pergamino. Disponible en: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_pergamino\\_recaudos\\_por\\_deriva\\_en\\_pulverizaciones.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_pergamino_recaudos_por_deriva_en_pulverizaciones.pdf). Último acceso: Febrero 2021.

**López Rodríguez, F.R.** 2011. Efecto de las condiciones meteorológicas, el uso de adyuvantes y el tamaño de gota en la eficacia de fitosanitarios (Tesis de grado) Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/bitstream/123456789/1870/1/0093lop.pdf>. Último acceso: Noviembre 2019

- Madureira, R.P., C.G. Raetano & J.D. Cavalieri.** 2015. Interação pontas-adjuvantes na estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19 (2): 180–185.
- Márquez Delgado, L.** 2005. El control de la deriva en la aplicación de fitosanitarios: las boquillas de baja deriva. *Agrotecnia*, año VIII, (4): 38-43.
- Márquez Delgado, L.** 2016. Lo que hay que saber para tener a punto pulverizadores hidráulicos y boquillas. *Revista Campo*. Disponible en: <https://www.campocyl.es/category/sector/lo-que-hay-que-saber-para-tener-a-punto-pulverizadores-hidraulicos-y-boquillas/> Último acceso: Diciembre, 2019.
- Martini, A.T., L.A. Avila, E.R. Camargo, D.S. Moura, M.G. Marchezan & A.P. Pivetta.** 2015. Influência de adjuvantes e pontas de pulverização na deriva de aplicação do Glyphosate. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, 33 (2): 375-386.
- Massaro, R.A., A. García & M. Kahl.** 2017. Efecto de dos coadyuvantes en el control de malezas en barbecho químico con dos técnicas de pulverización terrestre. *Para Mejorar la Producción/56*. Estación Experimental Agropecuaria Oliveros Centro Regional Santa fe. pp. 115-122
- Mazzilli, S., C. Pérez & O. Ernst.** 2007. Fusariosis de la espiga en trigo: características de la enfermedad y posibilidades de uso de modelos de predicción para optimizar el control químico. *Agrociencia*. Vol XI N°1. pp: 11-21.
- Meijer, R.J.M.** 1988. Crop protection. Conferencia en International Course on Plant Protection. Mimeografiado. Wageningen, The Netherlands.
- Merani, V.H., M. Mur, M.J. Ponce, F.D. Guilino & R.H. Balbuena.** 2018. Factores asociados a calidad de pulverización. Evaluación de programas de análisis de imágenes. *Revista de Agronomía del Noroeste Argentino*, 38 (1). pp. 125
- Metzler, M., M. Kahj & M. Ahumada.** 2015. Interacción de la mezcla de glifosato + saflufenacil con diferentes coadyuvantes y volúmenes de aplicación. INTA EEA Paraná y EEA Crespo. Serie Extensión Digital – Actualización Técnica Soja. 21 pp. Disponible en: <https://www.aapresid.org.ar/rem/wp-content/uploads/sites/3/2015/12/Metzler-et-al-Interaccion-Glifo-Saflufenacil-con-volumenes-y-coadyuvantes.pdf> Último acceso: Agosto, 2018
- Miller, P.C.H. & M.C. Butler Ellis.** 1997. A review of spray generation, delivery to the target and how adjuvants influence the process. *Plant Protection quarterly*. 12 (1) 33-38.
- Miller, P.C.H. & M.C. Butler Ellis.** 2000. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. *Crop Protection*, 19 (2000): 609-615.
- Moschini, R.C., M. Carranza & M. Carmona.** 2002. Meteorological-based predictions of wheat head blight epidemic in the southern Argentinean Pampas Region. *Cereal Research Communications*, 32(1): 45-52.
- Moschini, R.C., M.T.V. Galich, J.G. Annone & O. Polidoro.** 2003. Enfoque fundamental-empírico para estimar la evolución del índice de Fusarium en trigo. *RIA* 31(3):39-53.
- Mur, M., M.J. Ponce, J.M. Vázquez, F.D. Guilino, V.H. Merani, T.C. Palancar & R.H. Balbuena.** 2018. Aplicación de agroquímicos en cultivos de soja (*Glycine max* L Merr). Evaluación del efecto de diferentes técnicas sobre la eficiencia de distribución. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 117(1), 77-88. Disponible en: <https://revistas.unlp.edu.ar/revagro/article/view/7320> Último acceso: Febrero, 2020.
- Nicholson, P., J. Turner, P. Jenkinson, P. Jennings, J. Stonehouse, M. Nuttall, D. Dring, G. Weston & M. Thomsett.** 2003. Maximising control with fungicides of Fusarium ear blight (FEB) in order to reduce toxin contamination of wheat. Home-Grown Cereals Authority (HGCA), PROJECT REPORT No.

297. 85 pp. Disponible en: <https://cereals.ahdb.org.uk/media/273720/pr297.pdf> Último acceso: Enero, 2019.
- Olivet, J.J., J. Villalba & D. Schenzer.** 2013. Tecnología de aplicación de agroquímicos en cultivos extensivos. Proyecto FPTA- 260- Optimización de la tecnología de aplicación terrestre en cultivos extensivos. Serie: FPTA N° 53. INIA Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1375/1/18429170314125051.pdf>. Último acceso: Enero, 2019.
- Onorato, A. & M.O. Tesouro.** 2006. Pulverizaciones agrícolas terrestres. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, vol 1, 168 pp.
- Ozeki Y.** 2006. Manual de aplicação aérea. São Paulo: Centro Avançado Syngenta. Editora do Autor. 101 pp.
- Ozkan, H.E., P. Paul, R.C. Derksen & H. Zhu.** 2012. Influence of application equipment on deposition of spray droplets in wheat canopy. *Aspects of Applied Biology* 114: 317 – 324.
- Palladini, L.A.** 2000. Metodología para avaliação da deposição em pulverizações. Tesis de Doctorado. FCA/UNESP, Botucatu, Brasil. 111 pp.
- Palladini, L.A., C.G. Raetano & E.D Velini.** 2005. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. *Scientia Agricola (Piracicaba, Braz)*, v.62, n.5, pp. 440-445. Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162005000500005&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162005000500005&script=sci_arttext&tlng=es) Último acceso: Diciembre, 2018.
- Parkin, C.S., P.C.H. Millar, N. Magan, D. Aldred, J. Gill & J. H. Orson.** 2006. The deposition of fungicides on ears to control *Fusarium* ear blight and the mycotoxin contamination of grain. *Aspects of Applied Biology*, 77(2): 445 - 452.
- Paul, P.A., P.E. Lipps, D.E. Hershman, M.P. McMullen, M.A. Draper & L.V. Madden.** 2007. A quantitative review of tebuconazole effect on *Fusarium* head blight and deoxynivalenol content in wheat. *Phytopathology* 97:211–220.
- Paul, P.A., P.E. Lipps, D.E. Hershman, M.P. McMullen, M.A. Draper & L.V. Madden.** 2008. Efficacy of triazole-based fungicides for *Fusarium* head blight and deoxynivalenol control in wheat. A multivariate meta-analysis. *Phytopathology* 98:999–1011
- Pentair.** 2020. Especificaciones técnicas boquilla Hypro GuardianAIR Twin Spray Nozzles – GAT. Disponible en: <https://www.pentair.com/en/products/spray-nozzles/agricultural-spray-nozzles/gat.html> Último acceso: Marzo 2020
- Pereyra, S.** 2013. Herramientas disponibles para el manejo de dos enfermedades relevantes de la pasada zafra; fusariosis de la espiga en trigo y ramularia en cebada. En: Jornada Cultivos de Invierno. INIA, La Estanzuela. Serie Actividades de Difusión N° 720. Disponible en: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/112761220413093940.pdf> Último acceso: Noviembre 2019
- Pereyra, S. & S. Stewart.** 2002. Fusariosis de la espiga en cebada. En: Jornada Cultivos de Invierno. INIA, La Estanzuela. Serie Actividades de Difusión N° 282, pp. 11-16.
- Pereyra, S. & Y. Acosta.** 2014. Guía para el manejo de la fusariosis de la espiga en trigo. INIA, Uruguay. Disponible en: [http://www.inia.uy/Documentos/INIA%20La%20Estanzuela/INIA\\_guia%20manejo%20FE%20trigo%202014\\_web%20\(1\).pdf](http://www.inia.uy/Documentos/INIA%20La%20Estanzuela/INIA_guia%20manejo%20FE%20trigo%202014_web%20(1).pdf) Último acceso: Diciembre 2019
- Pérez, C.A.** 2004. Manejo sanitario de cereales de invierno. Algunas consideraciones epidemiológicas frente a la próxima zafra. *Cangüé*. N° 25: 34-38.

- Pérez C.A., E. Hoffman, L. Viega, H.A. Villar & O. Ernst.** 2011. Manejo de enfermedades en sistemas agrícolas: Mitos y realidades. En: II Simposio Nacional de Agricultura. Paysandú, Uruguay. pp: 119-31.
- Pierce, A. & P.D. Ayers.** 2001. Evaluation of deposition and application accuracy of a pulse width modulation variable rate field sprayer. ASAE Annual International meeting. ASAE Paper N° 01-1077. 33 pp.
- Porras Soriano, A.** 2006. Mejora de la tecnología de la pulverización de productos fitosanitarios sobre plantaciones de vid en espaldera. Tesis de doctorado. Universidad de Córdoba, España. Disponible en: <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/438/14289106.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Último acceso: Enero, 2019.
- Ramsdale, B. K. & C.G. Messersmith.** 2001. Nozzle, spray volume, and adjuvant effects on carfentrazone and imazamox efficacy. *Weed Technol.*, 15 (3): 485-491.
- Reis, E.M.** 1989. Fusariosis: biología y epidemiología de *Gibberella zeae* en trigo. En: Kohli, M.M. (Ed.). Taller sobre la fusariosis de la espiga en América del Sur. CIMMYT. Encarnación, Paraguay. pp. 97-102.
- Reis, E.M. & S. Zoldan.** 2014. Enfermedades de importancia económica en el cultivo de trigo en Brasil y optimización de prácticas de manejo utilizando como caso de estudio, la fusariosis de la espiga de trigo. Libro de Resúmenes del 3º Congreso Argentino de Fitopatología, pp. 35-40.
- Rodrigues de Souza, B.J., P.H. Perez, F.C. Bauer, C.G. Raetano, P.H. Weirich & N.L.C. Garcia.** 2014. Adjuvantes em pulverizações de fungicidas na cultura do trigo. *Ciência Rural*, Santa Maria, 44 (8): 1398-1403.
- Ryckaert, B., P. Spanoghe, G. Haesaert, B. Heremans, S. Isebaert & W. Steurbaut.** 2007. Quantitative determination of the influence of adjuvants on foliar fungicide residues. *Crop Protection*, 26 (10): 1589-1594.
- Sarubbi, C.A.** 2010. Tecnología de aplicación de productos fitosanitarios en equipos pulverizadores terrestres. 1ª ed. – Buenos Aires: Universidad Nacional de Buenos Aires. 304 pp.
- Schaafsma, A., L. Tamburic-Ilincic & D. Hooker.** 2005. Effect of previous crop, tillage, field size, adjacent crop, and sampling direction on airborne propagules of *Gibberella zeae* / *Fusarium graminearum*, fusarium head blight severity, and deoxynivalenol accumulation in winter wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 27: 217-224.
- Scholz, R.** 2011. Principales enfermedades del trigo y su manejo (20 de abril de 2011). abc. Disponible en: <https://www.abc.com.py/articulos/principales-enfermedades-del-trigo-y-su-manejo-247675.html> Último acceso: Noviembre, 2019.
- Sherrick, S.T., H.A. Holt & F.D. Hess.** 1986. Effects of adjuvants and environment during plant development on glyphosate absorption and translocation in field bindweed (*Convolvus arvensis*). *Weed Science*. 34: 811-816.
- Sidahmed, M.M.** 1998. Analytical comparison of force and energy balance methods for characterizing sprays from hydraulic nozzles. *Trans. ASAE*, 41 (3): 531-536.
- Spraying Systems Co.** s.f. –a. Spray Nozzles and Accessories. Data Sheets N° 37043-16M, TXA-VK & TXB-VK ceramic visiflo conejet hollow cone spray tips drop size data in micrometers versus pressure (metric) capacities 800050 thru 8004 spraying water at 21 °C. Disponible en: <https://www.teejet.com/es/literature/technical-documents.aspx> Último acceso: Noviembre 2019.
- Spraying Systems Co.** s.f.-b. Spray Nozzles and Accessories. Data Sheets, N° 37043-1M, XR Teejet® extended range flat spray tip drop size data in microns versus pressure capacities XR11001 thru XR11008 spraying water at 21 °C. Disponible en: <https://www.teejet.com/es/literature/technical-documents.aspx> Último acceso: Noviembre 2019.

- Spraying Systems Co.** 2011. Spray Nozzles and Accessories. Data Sheets DS37043-28M, Air induction 3070 Teejet® dual pattern flat spray tips droptime (micrometers) vs pressure, Capacities AI3070-015 thru AI3070-05 spraying water at 21 °C. Disponible en: <https://www.teejet.com/es/literature/technical-documents.aspx> Último acceso: Noviembre 2019.
- Stefanelo, M.S., B.G. Sari, G. Lenz, A. Arrué, M.P. Pes & I.F.D. Costa.** 2014. Caracterização da fungicida na cultura do trigo com pontas hidráulicas e atomizadores rotativos de discos. Eng. Agríc., Jaboticabal, 34 (5): 1012-1018.
- Stock, D. & G. Briggs.** 2000. Physicochemical Properties of Adjuvants: Values and Applications. Weed Technology, 14 (4): 798-806.
- Stoletniy, I., J. Olivet & J. Villalba.** 2014. Tamaño de gota, volumen de aplicación y uso de adyuvante en la deposición y control de mancha amarilla (*Pyrenophora tritici – repentis*) en trigo. Agrociencia Uruguay – Volumen 18- 1: 97-104.
- Sugliano, G.** 2013. Manejo de enfermedades del trigo. Recuperado a partir de: <http://www.agritotal.com/nota/manejo-de-enfermedades-del-trigo/> Último acceso: Enero, 2019.
- Syngenta Crop Protection.** 2004. Watersensitive paper for monitoring spray distribution. Bul. Ag CH-4002. Syngenta Crop Protection, Basel, Switzerland.
- Teejet Technologies.** 2014. Catálogo 51 A-ES. Boquillas de Doble Abanico y Aire Inducido AI3070. pp. 18. Disponible en: [https://www.teejet.com/CMSImages/TEEJET\\_ES/documents/catalogs/cat51a-es.pdf](https://www.teejet.com/CMSImages/TEEJET_ES/documents/catalogs/cat51a-es.pdf) Último acceso: Marzo 2020.
- Texeira, M.M.** 1997. Influencia del volumen de caldo y de la uniformidad de distribución transversal sobre la eficacia de la pulverización hidráulica. Tese (Doutorado em Engenharia Rural) - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. 310 pp.
- Texeira, M.M.** 2010. Estudio de la población de gotas de pulverización. En: Red "PULSO". Tecnología de aplicación de agroquímicos. CYTED. INTA Alto Valle. 1ª Edición. p. 67-76.
- Tesouro, M.O., A.M. Fuica, G. Masiá, L. Venturelli & J. Smith.** 2003. El uso de tensioactivos y su relación con el porcentaje de cobertura. RIA, 32 (1): 89-98.
- Tesouro, M.O., G. Masiá, L. Venturelli & A.M. Fuica.** 2006. Ensayo de tecnologías de aplicación de fungicidas para roya de la soja. Centro de investigación en agroindustrias Centro nacional de investigaciones agropecuarias. 35 pp.
- Trail, F.** 2009. For blighted waves of grain: *Fusarium graminearum* in the postgenomics Era. Plant Physiology, 149: 103–110.
- van Zyl, S.A., J. Brink, F.J. Calitz, S. Coertze & P.H. Fourie.** 2010. The use of adjuvants to improve spray deposition and *Botrytis cinerea* control on chardonnay grapevine leaves. Crop Protection, 29 (1): 58-67.
- Villalba, J., D. Martins, A. Rodrigues & L. Alves Cardoso.** 2009. Depósito del caldo de aspersión de distintos tipos de boquillas en dos cultivares de soja en el estadio V3. Agrociencia 43 (5): 465-473. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v43n5/v43n5a2.pdf> Último acceso: Enero, 2019.
- Villar de Galich, M.T.** 2004. Fusariosis de la espiga. Desarrollo de Cultivares Resistentes. Revista Idia XXI: N°6 pp: 50-57. INTA EEA Marcos Juárez. Disponible en: <http://anterior.inta.gov.ar/ediciones/idia/cereales/trigo09.pdf> Último acceso: Enero 2020.
- 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
- Wolf, T.M. & B.C. Caldwell.** 2004. Evaluation of double nozzle spray deposits on vertical targets. Aspects of Applied Biology 71(1):99-106.



- Wolf, T.M. & B.C. Caldwell.** 2013. Spray Deposition of TeeJet AI3070VS on Vertical Targets. Agriculture & Agri-Food Canada. pp. 78
- Wolf, T.M. & G. Peng.** 2011. Improving Spray Deposition on Vertical Structures: The Role of Nozzle Angle, Boom Height, Travel Speed, and Spray Quality. Pest Technology 5 (Special Issue 1), pp. 67-72 Global Science Books. Disponible en: [http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/2011/PT\\_5\(SI1\)/PT\\_5\(SI1\)67-72o.pdf](http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/2011/PT_5(SI1)/PT_5(SI1)67-72o.pdf). Último acceso: Enero, 2019.
- Xie, H.S., B.C. Caldwell, W.A. Hsiao, W.A. Quick & J.F. Chao.** 1995. Spray deposition of fenoxapropo and imazemethabenz on wild oat (*Avena fatua*) as influenced by environmental factors. Weed Science 43: 179–183.
- Xu, X.** 2003. Effects of environmental conditions on the development of Fusarium ear blight. European Journal of Plant Pathology, 109: 683-689. Disponible en: [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-94-017-1452-5\\_3.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-94-017-1452-5_3.pdf) Último acceso: Diciembre 2019
- Zadocks, J.C., T.T. Chang & C.F. Konzac.** 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Wees Research, 14: 415 - 421.
- Zhu, H., M. Salyani & R.D. Fox.** 2011. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. Computers and Electronics in Agriculture 76: 38-43.