



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

TRABAJO FINAL DE CARRERA

## PRESTACIÓN DE PASTILLAS EN EL CONTROL DE ENFERMEDADES DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.)

Alumno: Juan Santiago Gadea

Legajo: 27050/5

Correo electrónico: santi\_gadea@hotmail.com

Director: Ing. Agr. Matilde Mur

Co-Director: Ing. Agr. Mariano Julio Ponce

Fecha de presentación: 5 de junio de 2018

## Contenido

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
ANTECEDENTES.....	5
HIPÓTESIS.....	10
OBJETIVOS.....	10
Objetivos generales: .....	10
Objetivos específicos: .....	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
Condiciones ambientales.....	16
Tarjetas hidrosensibles.....	17
Cantidad de Impactos por cm <sup>2</sup> .....	17
Espiga.....	17
Hoja bandera.....	19
Diámetro Volumétrico Mediano (DV 0.5).....	20
Diámetro Volumétrico Mediano (DV 0.1).....	23
Diámetro Volumétrico Mediano (DV 0.9).....	25
Amplitud Relativa (AR).....	26
Cobertura (%).....	27
Espiga.....	28
Hoja bandera.....	29
Comparación de metodologías: Tarjetas hidrosensibles – Trazador fluorimétrico.....	30
Eficiencia (%) sobre la espiga con el empleo de tarjetas hidrosensibles.....	33
Eficiencia (%) sobre la espiga con el empleo de trazador fluorimétrico.....	34
Eficiencia (%) sobre hoja bandera utilizando tarjetas hidrosensibles.....	35
Uniformidad de distribución.....	36
CONCLUSIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	39

## RESUMEN

La Fusariosis de la espiga (*Fusarium graminearum*) es una de las principales enfermedades en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum*). La ocurrencia de la enfermedad es muy dependiente de las condiciones climáticas, y su tratamiento preventivo juega un rol preponderante en la eficacia para el control de la enfermedad. Se realizaron aplicaciones sobre un cultivo de trigo en antesis, estado Z 6.5, con el objeto de determinar la eficiencia de aplicación y sus metodologías de evaluación. Las pastillas utilizadas fueron abanico plano AP11002 y cono hueco CH8002 de gota fina, doble abanico asimétrica con inducción de aire AI3070 de gota gruesa, y doble abanico simétrico AI3030 de gota mediana. Mediante la utilización de tarjetas hidrosensibles, un escáner y el programa informático CIR 1.5 se determinó cantidad de impactos ( $\text{imp cm}^{-2}$ ), el DMV, eficiencia (%), cobertura (%) y amplitud relativa sobre las espigas de trigo y la hoja bandera. Por otro lado, se evaluó la cantidad de trazador depositado sobre las espigas mediante espectrofotometría, y se lo comparó con la eficiencia de aplicación obtenida con la metodología de tarjetas hidrosensibles, y el programa de procesamiento de imágenes, CIR 1,5. El tratamiento con pastillas de cono hueco 8003 se destacó por sobre los demás alcanzando, en promedio, mejor prestación en cantidad de impactos ( $147 \text{ impactos cm}^{-2}$  y  $278 \text{ impactos cm}^{-2}$ ), cobertura (23,34% y 15,7%), amplitud relativa (0,86 y 0,98), en espiga y hoja bandera respectivamente. En la evaluación metodológica, se observó que la metodología de procesamiento de imágenes sobreestima la eficiencia de aplicación, sobre todo para pastillas con inducción de aire, pero logra ser una herramienta práctica para evaluar la calidad de aplicación. Se obtuvo el mayor porcentaje de recupero para cono hueco (53,5%) sin diferencias significativas frente a AI3070.

## INTRODUCCIÓN

El trigo es el cereal de invierno más importante de la Argentina (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 ésta época, y hasta el año 2000, el área cosechada de este cultivo se mantuvo en alrededor de 6 millones de hectáreas. Sin embargo, a partir de la campaña 2001 la superficie cosechada 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). En contraste a lo sucedido en años anteriores, la Bolsa de Cereales de Buenos Aires (2016) comunica que la superficie sembrada con trigo para la campaña 2016/2017 asciende a 4,3 millones de hectáreas, estableciéndose un incremento del 19,4% con respecto a la campaña 2015/2016.

Según Alberione (2011), la presencia de enfermedades foliares 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*). Scholz (2011) establece 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. Además, hay que destacar la gran incidencia que tienen las enfermedades de la espiga como los carbones y la Fusariosis de la espiga (*Fusarium graminearum*). Esta última es la que más desafíos presenta para su control ya que no sólo preocupa por la reducción de los rendimientos y calidad, sino también por los riesgos en la seguridad alimentaria a causa de la contaminación con micotoxinas. 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, 2002).

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. En este sentido, Sugliano (2013) hace hincapié en la aplicación de fungicidas en el momento oportuno, permitiendo evitar que el patógeno se establezca en el cultivo, superando el nivel de daño económico. Para ello, los fungicidas deben aplicarse cuando el perjuicio provocado por una determinada enfermedad alcance el umbral de daño económico (UDE), en donde la pérdida de producción todavía es inferior al costo del tratamiento, y brinda el tiempo necesario para implementar una medida de control. La excepción a esta regla es la Fusariosis de la espiga, cuya 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. Asimismo, hay que tener en cuenta que los fungicidas desarrollados para proporcionar protección contra esta enfermedad y sus toxinas asociadas son eficaces si se aplican en antesis temprana (Paul et al., 2007; 2008).

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. 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.

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. Ramos et al. (2006) indican 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, 2009)

## **ANTECEDENTES**

El control químico de la Fusariosis de la espiga ha presentado básicamente tres limitantes: la estructura de la espiga, el método de aplicación y el momento de aplicación, siendo esta última considerada la principal limitante. 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 (Díaz et al., 2002). En este sentido, el tratamiento de los problemas de enfermedades que ocurren en las partes orientadas horizontalmente de una planta, como las hojas, es relativamente más fácil que los problemas que se producen en las partes orientadas verticalmente de una planta, como la espiga (Tu et al., 1986; Wirth et al., 1991, Xie et al., 1995).

Según Wolf (2005), el uso de fungicidas para el control de la Fusariosis de la espiga ha incrementado la necesidad de mejorar la pulverización hacia el objetivo, buscando aplicaciones correctamente

programadas y dirigidas para maximizar la eficacia de los productos disponibles. Asimismo, Andef (2004) indica que al momento de realizar una aplicación con productos fitosanitarios, es indispensable conocer las técnicas y tecnologías que existen a fin de realizarla de la mejor manera posible. De lo contrario, la aplicación podría no ser eficaz y generar la indeseada deriva. A fin de evitar que ocurra, es fundamental respetar las condiciones climáticas adecuadas al momento de realizar una aplicación: humedad relativa del aire menor del 55%, velocidad del viento de 3 a 10 km h<sup>-1</sup> y temperatura inferior a los 30°C (Andef, 2004). Al respecto, Miller et al., (2002) indican que, para maximizar la eficiencia de la pulverización de fungicidas en los cultivos de cereales, es necesario tener en cuenta las características del canopeo (densidad y altura) y los parámetros relacionados con el equipo de aplicación. En tanto Leavers (2001) menciona que la eficiencia de la aspersión está considerablemente influenciada por las condiciones meteorológicas locales a la altura del cultivo. Asimismo señala que la velocidad, la dirección del viento, la humedad relativa y la frecuencia de lluvia, pueden influir en el depósito de la aspersión. Por su parte, indica que una condición de viento ideal se ubica entre 3 a 7 km h<sup>-1</sup>, no recomendándose trabajos con velocidades de viento inferiores a 3 km h<sup>-1</sup>, ni superiores a los 15 km h<sup>-1</sup>. En este sentido, Etiennot & Piazza, (2010) señalan la importancia de la intensidad y la dirección del viento al efectuar la aplicación, estableciendo que la ausencia total de viento no es aconsejable. Leiva (2015) recomienda prestar especial atención tanto a los valores máximos del viento como a la dirección del viento, ya que un viento promedio de 11 km h<sup>-1</sup>, con máximos de 20 km h<sup>-1</sup>, resulta más peligroso que otro de 12 km h<sup>-1</sup>, con máximos de 15 km h<sup>-1</sup>. Por otro lado, el mismo autor indica que la variable temperatura se debe analizar en forma conjunta con la humedad relativa, ya que cuando esta última es alta, la gota no evapora, estableciendo 50% de humedad relativa como límite crítico cuando los trabajos se realizan con equipo terrestre, recomendándose el uso del antievaporantes en trabajos con menor porcentaje. Además, destaca que la influencia negativa de las altas temperaturas se produce con menos del 40 % de humedad. Al respecto, Balan et al., (2004), evaluando el comportamiento de distintas boquillas ante la variación de condiciones ambientales, observó que la deposición del cono hueco se redujo significativamente a medida que aumentó la temperatura y disminuyó la humedad relativa ambiente, llegando a variar hasta un 100%. Por el contrario, para abanico plano convencional y con aire inducido, no encontraron diferencias en la deposición.

De acuerdo a Spraying Systems Co (2014), cuando se trabaja con equipos de aspersión, el tamaño de las gotas es el factor que más influencia tiene en la deriva, ya que se genera una población de gotas de tamaño muy variable. En general, se considera que las gotas inferiores a 200 µm son las que más contribuyen a la deriva. En este sentido, Leiva (1995) afirma que las probabilidades de deriva son mayores con tamaños de gotas menores a 150 µm si se usa agua como diluyente, ya que favorece la evaporación en comparación con diluyentes oleosos. Del mismo modo, Cunha et al. (2007), evaluando el espectro de gotas de pastillas hidráulicas de abanico plano (estándar y antideriva) y cono hueco, a través de la difracción de rayo láser, encontraron que las mismas producen gotas de diferentes tamaños y en diferentes proporciones. Por otro lado, destacan que el uso de pastillas antideriva dotadas de un pre-orificio aumenta el diámetro de las gotas, constituyéndose, por lo tanto, en un factor auxiliar para la reducción de la deriva en las pulverizaciones. Asimismo, y de acuerdo al catálogo Teejet 50 A-E (Spraying Systems Co, 2014), un punto importante que se debe recordar al elegir una boquilla de aspersión es el tamaño de gota en concordancia con su presión de trabajo. Es decir, a una presión de 3 bares, el catálogo clasifica a la aspersión de la pastilla TXACH 8002 como de gota fina (F), y a la de TJ 11002 AI3070 como de gota gruesa (C). De igual modo, con la misma presión de trabajo, el manual Albus (2016), clasifica a la boquilla AP11002 como de gota fina (F). En forma semejante lo hace el manual Hypro (2015), clasificando a la pastilla 11002 AI3030 Hypro Guardian Twin como de gota media (M). Por su lado, ASAE (2009), conforme la norma S572-1, indica el diámetro volumétrico mediano (DVM) expresado en µm para cada clase de gotas. Así, la categoría de gotas finas (F) comprende diámetros entre 100-175µm, las gotas medias (M) entre 175-250µm, y las gruesas (C) entre 250 y 375 µm. Por otro lado, Etiennot (1993) menciona para las pastillas de abanico plano gotas de tamaños que varían entre los 100 y 500 µm y para el cono hueco entre 100 y

250  $\mu\text{m}$ . Tener en cuenta estos aspectos permitirá mejorar la calidad de una aplicación, y ubicar los productos en el blanco deseado disminuyendo el perjuicio ambiental. Por lo tanto, cada aplicación tendrá condiciones particulares que deberán ser tenidas en cuenta para maximizar la eficiencia y efectividad del trabajo realizado. Al respecto, Cunha et al. (2010) indican que a medida que se desea aumentar la calidad de la pulverización, se debe exigir más del desempeño de las pastillas y, especialmente, de la homogeneidad del espectro de gotas. El grado de homogeneidad en el tamaño de las gotas es medido con la amplitud relativa. La misma es la relación entre los diámetros volumétricos ( $DV_{0.9} - DV_{0.1}$ ) /  $DV_{0.5}$ . Cuanto mayor sea el valor de la amplitud relativa, más desuniformes serán las gotas, en tanto que un espectro de gotas homogéneas tiene un valor de amplitud relativa que tiende a cero. Por otra parte, mencionan que el diámetro volumétrico mediano (DMV) y la amplitud relativa deben ser analizados conjuntamente para la caracterización de la pulverización. Esto se debe a que el DMV proporciona un valor de referencia del tamaño de la gota, sin indicar la dispersión de los datos en torno a ese valor, y la amplitud relativa indica la homogeneidad del espectro de tamaño de las gotas. Por su parte, Western et al., (1985), evaluando la variación en el espectro de gota en los distintos estratos de una planta, encontró que las gotas grandes que golpean la parte superior del cultivo pueden en el impacto salpicar y redistribuirse en gotas de menor tamaño en estratos inferiores de la planta, alterándose el tamaño original de la gota.

En cuanto al concepto de eficiencia, la misma está en función de la cantidad de principio activo que se haya depositado sobre el blanco, con una cobertura dada por el número de gotas por  $\text{cm}^2$  y el tamaño de las mismas que resulte acorde al tipo de producto empleado. Según Marquez (2005), sin tener en cuenta los fenómenos de superficie, las gotas pequeñas en su conjunto tienen más probabilidades de depositarse que un mismo volumen representado por una sola gota más grande. Pulverizando con gotas de pequeño tamaño se puede conseguir mayor cobertura para la misma cantidad de caldo aplicada, aunque también aumenta el porcentaje de gotas que se evaporan sin alcanzar el objetivo. En acuerdo con este autor, Antuniassi & Boller (2011) mencionan que el tamaño de las gotas está relacionado a la capacidad de deposición de las mismas, siendo que gotas finas propician mayor cobertura pero presentan mayor riesgo de deriva. Al respecto, Charbonnier et al. (2011), evaluando el efecto del tipo de boquilla y tasa en las aplicaciones para el control de enfermedades en trigo, contabilizaron mayor número de impactos  $\text{cm}^{-2}$  con el uso de gotas finas (100-175  $\mu\text{m}$ ) en comparación al uso de gotas muy gruesas (375-450  $\mu\text{m}$ ). Del mismo modo, Halley et al., (2008), encontraron que la pulverización fina y media produjo mayores depósitos y mayor cobertura. De acuerdo a Larragueta (1985), los insecticidas y fungicidas de contacto requieren una cobertura mínima de 50 gotas  $\text{cm}^{-2}$ , mientras que los mismos productos con acción sistémica, y todos los herbicidas, requieren como mínimo de 30 gotas  $\text{cm}^{-2}$ . Los productos sistémicos se traslocan dentro del organismo resultando suficiente que solo una parte del mismo reciba el plaguicida; en cambio, cuando la acción principal es de contacto, se requiere una cobertura muy superior, especialmente con fungicidas donde su acción es preventiva de una infección en toda la extensión del canopeo. Ozeki (2006), por su parte, recomienda para aplicaciones de fungicidas sistémicos densidades de 30 a 40 gotas por  $\text{cm}^2$ . Sin embargo, además de la densidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$ , también es importante el diámetro de gotas para este tipo de productos. Al respecto, Antuniassi & Boller (2011), recomiendan un diámetro de gotas entre 200 y 300  $\mu\text{m}$  como ideales para fungicidas sistémicos. Según Larragueta (1985), en tratamientos terrestres, las pastillas de abanico plano debieran usarse sólo para aplicación de herbicidas donde es importante la uniformidad del tratamiento. En cambio, las pastillas de cono hueco debieran utilizarse en tratamientos para insecticidas y fungicidas, donde lo que importa es la gran cantidad de impactos y su penetración, mientras que la uniformidad es menos decisiva.

Ferguson et al., (2016) estudiaron los efectos de la presión de trabajo, tamaño de las gotas y configuración de boquilla sobre la cobertura y la densidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$ . Para ello utilizaron tres diseños de boquillas doble abanico simétrico; y un doble abanico asimétrico, con dos disposiciones diferentes sobre el botalón. Los autores encontraron un efecto significativo de la presión de trabajo sobre la cobertura y densidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$ . Las pastillas asimétricas tuvieron mayores DVM que las simétricas, siendo la diferencia significativa para un mismo caudal unitario. En las pastillas

asimétricas la alternancia de los ángulos permitió mantener los porcentajes de cobertura uniformes ante variaciones de la presión, y tuvo un efecto significativo sobre la cobertura respecto a la disposición original.

Respecto a las características de aplicación, la misma también debe vincularse con el tipo de pastilla que se utiliza. Al respecto, Cunha et al., (2008), evaluando boquillas doble abanico y cono hueco, convencionales y con inducción de aire, sobre un cultivo de soja encontraron mayor densidad de gotas con el cono hueco convencional, mientras que el cono hueco con inducción de aire tuvo la menor deposición y las boquillas de doble abanico un comportamiento intermedio. Sin embargo, el porcentaje de cobertura fue similar para todas las boquillas.

Asimismo, Stefanelo et al., (2014), estudiando la aptitud de atomizadores rotativos de disco y boquillas de abanico plano mediante tarjetas hidrosensibles ubicadas sobre un cultivo de trigo, hallaron mayor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  y de menor DVM con las pastillas de cono hueco en comparación con las de abanico plano, aunque estas últimas presentaron una gran heterogeneidad en su espectro de pulverización. Estos autores encontraron discrepancia en el tamaño de las gotas con lo señalado por los fabricantes de estas pastillas, pudiendo estar relacionado con las limitaciones del papel hidrosensible en detectar gotas de tamaño reducido. Este mismo comportamiento fue relatado por Bayer et al., (2012), en aplicaciones aéreas utilizando pastillas hidráulicas, electroestáticas y atomizadores rotativos de disco sobre un cultivo de arroz. Los mismos observaron también que el papel hidrosensible no fue capaz de detectar gotas muy finas generadas por las puntas electroestáticas y por los atomizadores rotativos de disco.

Por otro lado, Ozkan et al., (2012) realizaron pruebas para evaluar el efecto de diferentes tipos de boquillas en el control de enfermedades foliares y de la espiga de un cultivo de trigo. Trabajaron con tarjetas hidrosensibles colocadas en tres niveles del canopeo: altura de la espiga, hoja bandera y 30 cm por debajo de la hoja bandera. Encontraron que las pastillas de doble abanico tuvieron mayor cobertura en la espiga respecto a las pastillas abanico plano, independiente de la calidad de pulverización (fina, media y gruesa). Sin embargo, estas últimas produjeron mayor cobertura en la hoja bandera que las pastillas doble abanico sin encontrar diferencias significativas. Los autores recomiendan ángulos de pulverización mayores para mejorar significativamente la deposición y cobertura, pero se podría reducir la penetración en el cultivo.

En lo que respecta a la deposición de producto y su relación con las distintas pastillas, Souza et al., (2007), utilizando la metodología fluorimétrica, evaluaron la deposición y eficiencia del caldo de pulverización sobre plantas de algodón con diferentes patrones de gotas, utilizando pastillas cono hueco 03, doble abanico plano con inducción de aire 11003 y abanico plano 11003 y 11004, bajo condiciones adversas de temperatura y humedad. Encontraron mayores volúmenes de depósitos en las hojas con el abanico plano inducido 11003, logrando eficiencias del 47,6%. En tanto que, las boquillas de abanico plano 11004, doble abanico con aire inducido y cono hueco 03, presentaron eficiencias decrecientes, cercanas al 39%, 35% y 27% respectivamente. Por otro lado, Villalba et al., (2011), en condiciones similares al ensayo, evaluaron la deposición de tres pastillas diferentes: abanico plano, abanico plano con aire inducido y doble abanico en el control de fusariosis en un cultivo de trigo en antesis (estado Z 6.5 según escala Zadocks et al. (1974)). La mayor deposición sobre la espiga estuvo dada por la pastilla doble abanico plano, diferenciándose significativamente de los abanicos que tuvieron igual comportamiento. Similares resultados sobre espiga de trigo fueron citados por Nicholson et al., (2003), quienes encontraron mayor cobertura con las pastillas doble abanico plano en relación a la pastilla abanico plano convencional, atribuyendo tal diferencia a la mayor uniformidad de distribución provistas por la pastilla de doble perfil de pulverización. Asimismo, Olivet et al., (2013), indican un mayor depósito para la pastilla doble abanico plano frente al abanico plano convencional, superando a éste último en un 73%. Mientras que, la deposición ocasionada por la pastilla de abanico plano convencional fue la menor, sin diferencias estadísticas con la de aire inducido.

La estructura y fisiología propia de la espiga hacen importante considerar la angulación de las pastillas al momento de decidir la aplicación. Al respecto, 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 o inducidas con aire. Estos autores 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 presentó la mayor deposición en ambas caras, mientras que el abanico convencional la menor. Por su parte, Halley et al., (2010), recomiendan trabajar con pastillas 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 a 4,6 µl a medida que la inclinación de la pastilla de abanico plano variaba de 10° a 40°. Mientras que Wolf & Peng (2011) aseguran que la angulación de las pastillas en 60° mejora significativamente la deposición sobre objetivos verticales, pero no así en horizontales. Por otro lado, estos mismos autores señalan que la gota gruesa generada por la pastilla de aire inducido produce depósitos significativamente mayores que la gota más fina de la boquilla convencional. Contrariamente, Derksen et al., (2010) obtuvieron mejores porcentajes de cobertura y densidad de impactos cm<sup>-2</sup>, tanto en espiga como en hoja bandera, con gotas finas en comparación con gotas de tamaño medio, pudiendo afectarse la eficacia en el control de la Fusariosis de la espiga. Estos autores encontraron que la cobertura y la densidad de gotas en espiga y hoja bandera fueron significativamente mayores para el tratamiento con gotas finas en comparación con gotas de tamaño medio, pudiendo afectarse la eficacia en el control de dicha enfermedad. Por otro lado encontraron que la deposición sobre la espiga se incrementó con la inclinación de 30° hacia adelante del botalón, respecto a la posición vertical, aunque se vio reducida la deposición en la hoja bandera. Wolf & Caldwell (2013) indican que pueden ser necesarios ángulos de pulverización de 60° para mejorar significativamente los depósitos en la espiga, pero estos pueden reducir la penetración en el canopeo. Los mismos mencionan que el tipo de boquilla también afecta significativamente la deposición tanto en la cara frontal, como en la trasera y en todo el objetivo. Estas afirmaciones las hicieron luego de encontrar similar tasa de recuperación en la cara frontal para las pastillas AIXR y AI3070, significativamente mayor a AITTJ60. Sin embargo, AI3070 tuvo una mayor deposición en la cara posterior, resultando en una deposición total de la misma significativamente mayor a las demás. La uniformidad, indicada por los autores como la relación entre la cara delantera y la posterior, fue mayor para AI3070 (1,5) con similar comportamiento a AITTJ60 (2,0) y significativamente mejor que AIXR (3,4). Por su parte, Wolf & Caldwell (2004) aseguran que al aumentar el ángulo entre las boquillas doble abanico con aire inducido, también aumentan los depósitos sobre objetivos verticales y horizontales.

La determinación de la eficiencia considerada en los términos precedentes puede ser efectuada por distintas metodologías de evaluación. Al respecto, Domper et al., (2015), evaluaron la eficiencia de aplicación sobre un cultivo de soja a través de tarjetas hidrosensibles procesadas con el programa CIR 1.5 y el uso de trazador fluorimétrico. Trabajaron con pastillas cono hueco 80015 convencionales y de aire inducido. Encontraron que la metodología de tarjetas hidrosensibles y procesamiento de imágenes sobreestima en forma diferencial la eficiencia para pastillas convencionales y con inducción de aire, siendo la sobreestimación de 1,67 y 3,38 respectivamente, pero logra ser una herramienta adecuada a nivel de campo para la toma de decisiones dada su sencillez y rapidez. Corrigiendo los valores de eficiencia, no encontraron diferencias significativas entre pastillas. Los mismos autores, evaluando la cobertura sobre diferentes estratos de canopeo, obtuvieron mayor cobertura para todos los tratamientos en los niveles superiores y medio en relación al inferior. Asimismo, Capozucca et al., (2015), utilizando la misma metodología, evaluaron la eficiencia de aplicación sobre un cultivo de soja. Para el mismo utilizaron tres pastillas: abanico plano rango extendido XR110015, cono hueco 30HCX6, y un abanico plano con inducción de aire 110015, resultando ser más eficiente esta pastilla frente a las restantes. Por otra parte, los mismos autores hallaron que el tratamiento con la pastilla cono hueco tuvo significativamente menor eficiencia que el abanico, atribuyendo esta diferencia principalmente a la mayor cantidad de impactos del abanico respecto del cono.

Por otro lado, Zhu et al., (2011), evaluando la calidad de aplicación mediante tarjetas hidrosensibles, un escáner y un programa informático denominado 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 la gota, y se podría mejorar al utilizar escáneres de mayores resoluciones. Además, indican 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. De esto concluyen que el programa informático es una herramienta práctica, pero con errores, para evaluar la calidad de aplicación, y sería de una opción viable para aquellos que no cuentan con la técnica del trazador fluorimétrico, metodología de mayor exactitud para evaluar la eficiencia de aplicación.

## **HIPÓTESIS**

- La utilización de tarjetas hidrosensibles sobreestima la tasa de recuperación.
- La pastilla cono hueco presenta mayor deposición de producto en la espiga que las demás pastillas.
- La pastilla AI 3070 presenta mayor uniformidad de distribución entre la hoja bandera y la espiga.
- Las pastillas aire inducido presentan una mayor deposición que las demás pastillas.

## **OBJETIVOS**

### ***Objetivos Generales***

- Evaluar la calidad de aplicación de diferentes tipos de pastillas sobre un cultivo de trigo.
- Aportar información sobre la prestación de diferentes pastillas.

### ***Objetivos Específicos***

- Evaluar la eficiencia de aplicación mediante la metodología de tarjetas hidrosensibles, y la metodología del trazador fluorimétrico.
- Valorar la uniformidad de distribución de diferentes pastillas en la espiga de trigo.
- Evaluar la uniformidad de aplicación de diferentes pastillas entre los diferentes órganos de la planta.
- Determinar la tasa de recuperación de diferentes pastillas de pulverización

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar del ensayo.

El ensayo tuvo lugar en la Estación Experimental Julio Hirschhorn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata, ubicada en la localidad de Los Hornos. Las aplicaciones se hicieron sobre un cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en antesis, correspondiente a la etapa 6.5 según escala Zadocks (Zadocks et al., 1974), que corresponde a la etapa de crecimiento en la que el cultivo es más susceptible a la infección por *Fusarium graminearum*.



**Figura 1.** Cultivo de trigo al momento de realizar el ensayo en Estación Experimental Julio Hirschhorn.

### Maquinaria utilizada.

Para las aplicaciones se utilizó un tractor New Holland TT55 de 55,1 HP y un equipo pulverizador hidráulico montado marca Hatsuta. Este último posee un tanque de 100 litros de capacidad con agitación hidráulica, una bomba de pistones accionada por la toma posterior de potencia y un manómetro en baño de aceite. Se fabricó un botalón de 3,15m de ancho con portapicos múltiples de seis pastillas distanciados a 0,525 m.



**Figura 2.** Equipo pulverizador hidráulico montado Hatsuta sobre trigo.

### Diseño de pastillas.

Se evaluaron cuatro diseños de pastillas que definieron los tratamientos del ensayo (Tabla 1). Se utilizaron los datos de calidad de pulverización reportados por el fabricante para seleccionar boquillas que proporcionaron diferentes calidades de pulverización.

**Tabla 1.** Descripción de los tratamientos.

Tratamiento pastillas/Número	Tratamiento	Tasa de aplicación (l ha <sup>-1</sup> )	q (l min <sup>-1</sup> )	Presión (bar)	Altura respecto a espiga (cm)	Velocidad (km h <sup>-1</sup> )	Tamaño de gota (µm)*
(1)Albuz de abanico plano	AP 11002	103	0,8	3	38	8,85	100-175 (F)
(2)Teejet Cono hueco convencional	CH 8002	103	0,8	3	38	8,85	100-175 (F)
(3)Teejet doble abanico con inducción de aire,	11002 AI3070	103	0,8	3	38	8,85	250-375 (C)
(4)Hypro Guardian Air Twin	11002 AI3030	103	0,8	3	38	8,85	175-250 (M)

\*Tamaño de gotas acorde a la norma de clasificación ASABE S327.2. F: gota fina. M: gota media. C: gota gruesa. (ASABE, 2004).

### Calibración de la pulverizadora.

A todas las pastillas se les realizó, previo a los ensayos, los controles pertinentes de caudal mediante la utilización de jarras graduadas. Se procedió al cambio de aquellas que difirieron en más del 10%

del caudal erogado por una nueva, a la presión de trabajo normalizada (3 bares), y en algunos casos, ante la reducción del caudal de la pastilla en más de un 10%, se realizó la limpieza de las mismas.



**Figura 3.** Estación Experimental Julio Hirschhorn. Calibración de la pulverizadora. a) Calibración de presión con pastilla AI3070 (angulación de 30° hacia adelante para hoja bandera, y 70° hacia atrás para espiga). b) Comprobación de caudal con trazador fluorimétrico.

#### **Condiciones ambientales.**

Las condiciones climáticas al momento del ensayo fueron de: temperatura ambiental de 25°C a 28°C; humedad relativa del 38% al 44%; y velocidad del viento de 3,4 a 6 km/h.

#### **Evaluación de la calidad de aplicación.**

Todos los tratamientos se realizaron con agua y un trazante fluorimétrico en una concentración de 1307.3 ppm, que equivalen a 1,3073 gr/l. Para el mismo fue necesario diluir 150 gramos de trazador en un volumen de 100 litros (tanque de pulverizadora). Para la evaluación de la calidad de la aplicación se utilizaron dos metodologías:

1) La utilización del trazador Azul Brillante, el cual permite evaluar la cantidad de sustancia depositada en la espiga mediante espectrofotometría de absorción. Para ello, luego de realizada la aplicación se procedió a coleccionar las espigas y guardarlas en recipientes herméticos. Posteriormente

en el laboratorio se lavaron con agua destilada, y se les retiró el residuo de lavado para proceder a la lectura de fluorescencia en un espectrofotómetro. Con la medida de fluorescencia y a partir de las curvas de calibración realizadas con concentraciones conocidas del trazador se determinó la cantidad de líquido recolectado por espiga. Una vez contabilizado el residuo de trazador en la espiga, se procedió a multiplicarlo por la cantidad de espigas en una hectárea (3.000.000 espigas/ha) para obtener los gramos de trazador en una hectárea. Por último, dividiendo el mismo respecto a la concentración del trazador utilizada (1,3073gr/l) obtenemos el % de residuo o eficiencia.

2) La utilización de tarjetas hidrosensibles Syngenta de 3" x 1". Se colocó un tubo cilíndrico sobre las espigas, sobre el cual se colocaron 4 tarjetas hidrosensibles cubriendo las 4 caras: anterior, posterior, derecha e izquierda. Asimismo, se colocó 1 tarjeta sobre un soporte de hierro simulando la hoja bandera. Inmediatamente de que las tarjetas se secan, luego de realizar la aplicación de cada tratamiento, se recogieron y se protegieron en el interior de un libro.



**Figura 4.** Tubo plástico cubriendo la espiga de trigo con 4 tarjetas hidrosensibles envolviendo 4 caras: anterior, posterior, derecha e izquierda. También se observa un soporte de hierro con una tarjeta hidrosensible simulando la hoja bandera.

Para la determinación de las tarjetas hidrosensibles se utilizó un scanner de mesa con una resolución de 1200 dpi y el programa CIR 1.5. Este programa fue especialmente desarrollado, en convenio con Gustavo Casal SRL – INTA IIR Castelar, para la evaluación de tarjetas de papel sensible al agua que se tiñen de color azul.

Durante el proceso de análisis de las imágenes guardadas con el programa CIR 1.5, se realizó el conteo y cálculo de las variables respuesta sobre el promedio de cinco ventanas de medición ubicadas aleatoriamente sobre la tarjeta por el propio programa. Por otra parte, se efectuaron 2 lecturas complementarias de 5 ventanas cada una, las cuales constituirán repeticiones de la lectura de cada tarjeta.

A partir de los datos relevados y calculados se efectuó un análisis de la varianza y la significancia de las diferencias se cuantificó a partir del Test de LSD ( $P= 0,05$ ).

Las variables experimentales respuesta bajo estudio son:

1) Cantidad de impactos (impactos  $\text{cm}^{-2}$ )

- 2) Diámetro Volumétrico Mediano – DV-0.5 o DVM. El mismo hace referencia al diámetro de la gota que divide al volumen de aplicación en dos partes iguales de manera que la mitad del volumen lo forman gotas de menor tamaño que el DV0,5 y la otra mitad gotas de mayor tamaño.
- 3) Eficiencia (%) referida a la relación entre el volumen estimado efectivamente recogido en el objetivo y el volumen aplicado.
- 4) Cobertura (%) – Porcentaje del área de la tarjeta de papel sensible cubierta por manchas.
- 5) Amplitud relativa. Es la relación entre los diámetros volumétricos (DV0.9 - DV0.1) / DV0.5. El mismo es un indicador del grado de homogeneidad en el tamaño de las gotas en una pulverización dada. Cuanto menor sea la amplitud relativa ello implica que el tamaño de las gotas es más uniforme. En la práctica, valores de 0,80 a 1,20 de A.R. son sumamente aceptables

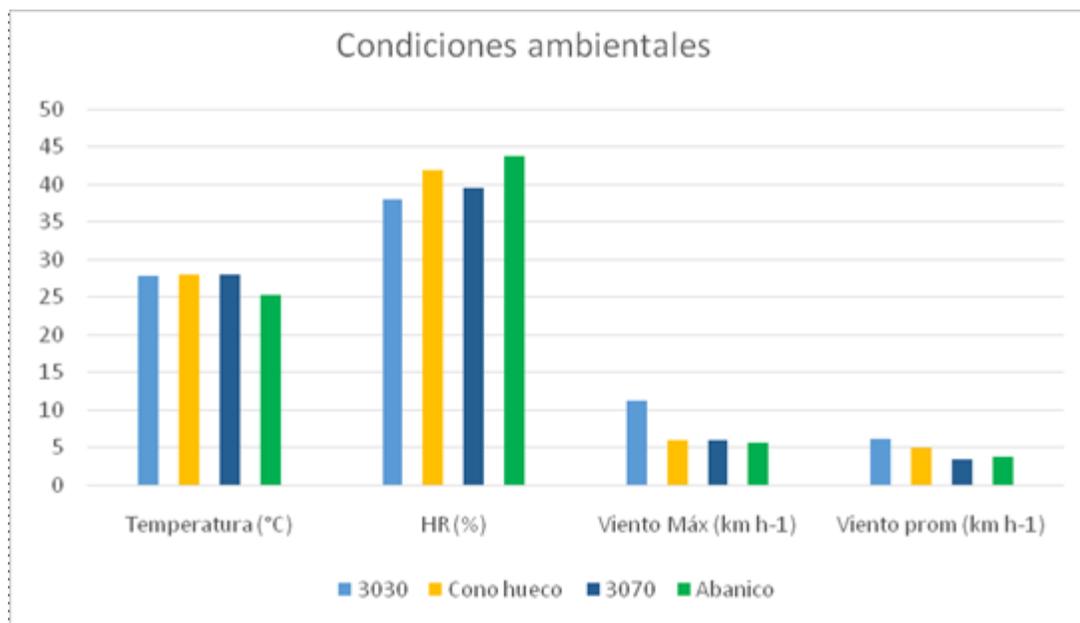
#### **Diseño experimental.**

El diseño experimental utilizado fue factorial completamente aleatorizado con 10 repeticiones de 4x2x2, es decir cuatro diseños de pastillas, dos metodologías de evaluación de la calidad de aplicación, y dos lugares de medición (espiga y hoja bandera). La forma de trabajo fue de forma continua (en redondo) para evitar que la deriva contamine las tarjetas de los diferentes tratamientos. Los resultados se procesaron estadísticamente mediante análisis de varianza factorial. El nivel de significación establecido fue de 0,05. En los casos en que el ANOVA alcanzó significación estadística, se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significación del 5%. En los casos en que el análisis presentó interacciones se procedió a particionar el mismo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Condiciones ambientales

Las condiciones atmosféricas al momento de realizar el ensayo se visualizan en la figura 5. Las mismas muestran pequeñas variaciones en los diferentes momentos de evaluación de las boquillas. Sin embargo, dichas variaciones no afectaron los resultados.



**Figura 5.** Condiciones ambientales al momento de realizar el ensayo. Temperatura (°C); HR (%): humedad relativa; Viento Máx (km h<sup>-1</sup>): velocidad del viento máxima; Viento prom (km h<sup>-1</sup>): velocidad del viento promedio. 3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002; 3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002; Cono hueco: cono hueco TXA 8002; Abanico: abanico plano 11002.

Respecto a la variable temperatura, se debe analizar en forma conjunta con la humedad relativa, ya que cuando la humedad relativa es alta, la gota no evapora. Leiva (2015), establece como límite crítico de humedad un 50% cuando los trabajos se realizan con equipo terrestre, recomendando el uso del antievaporante en trabajos con menor humedad. El mismo autor, destaca que la influencia negativa de las altas temperaturas se produce con menos del 40%. En relación a esto, se concluye que en todos los tratamientos hubo procesos de evaporación ya que las humedades relativas fueron inferiores al 45%. Estas condiciones ambientales afectarán en particular a las gotas de menor tamaño, siendo la pastilla de cono hueco la más afectada, presentando mayores riesgos de termoderiva. En acuerdo con ello, Balan et al., (2004) encuentra que la deposición de boquillas de cono hueco disminuyó significativamente a medida que aumentó la temperatura y disminuyó la humedad relativa ambiente.

En cuanto a la velocidad del viento registrada, la misma se encuentra dentro de los límites establecidos por Leavers (2001) de 3 a 15 km h<sup>-1</sup>, aceptables para aplicaciones. Por otro lado, Etiennot y Piazza, (2010), indican que la ausencia total de viento no es aconsejable al realizar una aplicación pero, por el contrario, tampoco vientos excesivos son apropiados ya que pueden llevar el pulverizado a zonas no apropiadas.

Por otro lado, debemos mencionar que no se registraron condiciones favorables para el desarrollo de la Fusariosis de la espiga. Cabe agregar que la infección del mismo está fuertemente influenciada por parámetros ambientales, y ocurre principalmente cuando se dan las condiciones favorables de humedad y temperatura durante la antesis o floración del trigo.

En función de lo analizado, las condiciones ambientales resultaron dentro de los parámetros aceptables, ya que se registraron valores de temperatura de 25°C y velocidades de viento de entre 4 y 11 km h<sup>-1</sup>, pero no así para el caso de la humedad relativa, donde se registraron valores inferiores al 45%, inferior al límite establecido. Estos resultados concuerdan parcialmente con lo citado por Andef (2004), quien indica que las condiciones límites para una pulverización son, humedad relativa del aire mínima del 55%, velocidad del viento de 3 a 10 km/h, y una temperatura inferior a los 30°C.

Dada la complejidad y variabilidad de los resultados se ha realizado el análisis estadístico de cada una de las variables dependientes por separado, tomando posición espiga y hoja bandera como variables de clasificación en cada uno de los casos. En aquellos resultados que haya dado interacción entre las mismas, se decidió particionarlas y evaluarlas por separado.

### ***Tarjetas hidrosensibles***

#### *Cantidad de impactos por cm<sup>2</sup>*

El análisis de los resultados arrojó interacción significativa entre la espiga y hoja bandera, es por ello que se decidió particionar el análisis en función de cada posición.

No obstante la interacción, todas las boquillas presentaron mayor cantidad de impactos cm<sup>-2</sup> en la hoja bandera respecto a la espiga, esto puede deberse a que la mayor superficie expuesta de la hoja bandera se encuentra en el plano horizontal obteniendo mayores probabilidades de interceptar las trayectorias de las gotas. En este sentido, coincide por lo citado por Tu et al., (1986) Wirth et al., (1991) y Xie et al., (1995), quienes mencionan que el tratamiento en las partes orientadas horizontalmente de una planta, como las hojas, es relativamente más fácil que en los órganos con mayor superficie expuesta en el plano vertical de una planta, como la espiga de trigo (*Triticum aestivum* L.).

#### *Espiga*

Respecto a la posición espiga, se realizó el análisis estadístico para las diferentes caras de la espiga y cada pastilla (Figura 6).

En un análisis general de las boquillas sobre las espigas, la mayor cantidad de impactos cm<sup>-2</sup> se encontró con la pastilla de cono hueco. En segundo lugar, con un 39% menos de impactos cm<sup>-2</sup>, se encuentra el abanico, quien presenta una mayor uniformidad en la distribución de sus gotas para las diferentes caras respecto al cono hueco (Figura 6). Estos resultados coinciden con lo citado por Stefanelo et al., (2014), quienes encontraron la mayor densidad de gotas con la pastilla del tipo cono hueco en comparación con la boquilla del tipo abanico. Este comportamiento podría ser atribuido al menor tamaño de las gotas del cono hueco, con mayor probabilidad de depositarse que un mismo volumen representado por una sola gota más grande. Asimismo, Derksen et al., (2010), encontraron que la densidad de gotas en espiga fue significativamente mayor cuando trabajaron con gotas finas en comparación con gotas de tamaño medio, pudiendo afectarse la eficacia en el control de enfermedades de la espiga. Los tratamientos 3070 y 3030, al tratarse de pastillas con aire inducido, mostraron las menores cantidades de impactos cm<sup>-2</sup>, pero con un resultado similar y muy uniforme para las diferentes caras de la espiga. La menor cantidad de impactos cm<sup>-2</sup> de estas boquillas puede deberse al diseño de las mismas, que al ingresar aire al torrente de agua hace que las gotas antes de ser pulverizadas se carguen con burbujas de aire aumentando su tamaño y a igual volumen de aplicación, disminuye el número de impactos cm<sup>-2</sup>.

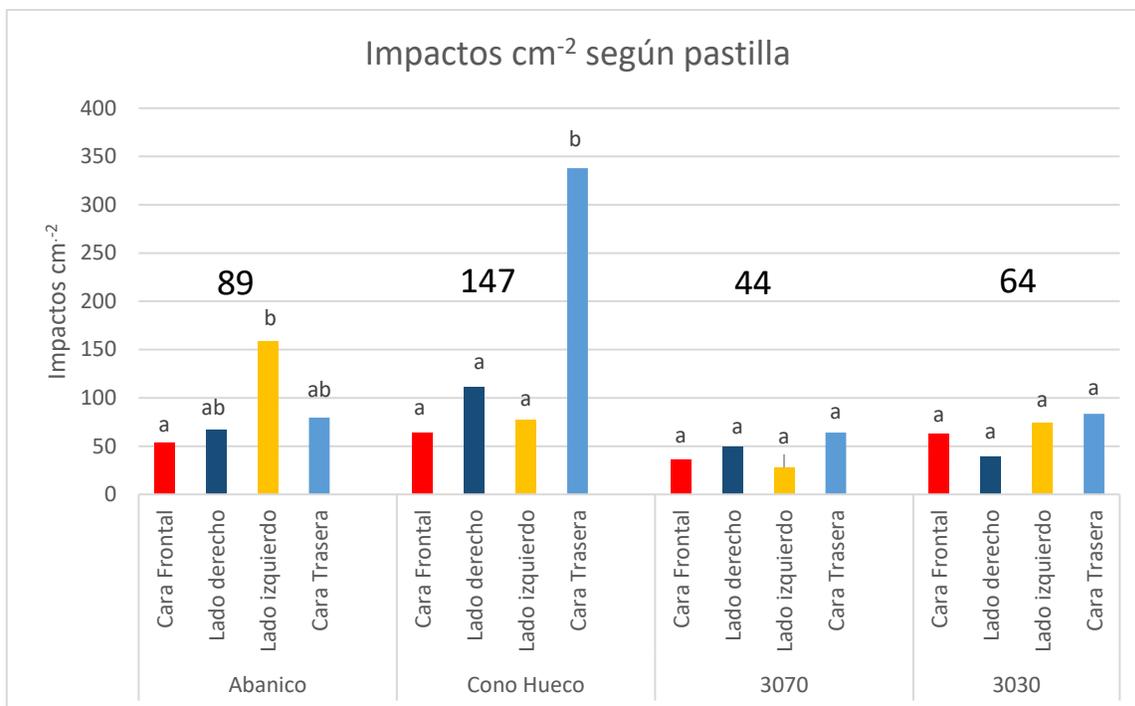
Si analizamos el desempeño particular de la pastilla 3070, introducida al mercado para abordar la problemática de la Fusariosis de la espiga, la misma presentó la menor cantidad de impactos cm<sup>-2</sup> sobre la espiga; sin embargo, fue la de mayor uniformidad de distribución entre las caras. Estos resultados podrían poner en riesgo el control de la enfermedad, ya que el tratamiento es netamente

preventivo y debe realizarse a partir de comienzo de anthesis, es decir desde que las primeras anteras están expuestas. El asperjado del producto debe tener como objetivo al centro de la espiga, ya que es el filamento de la antera donde germinan las ascosporas de *Fusarium graminearum* para iniciar la infección del cultivo.

Asimismo, la estructura y fisiología de la espiga hacen que los productos fungicidas actúen principalmente como de contacto y no sistémicos, requiriendo para su control una cobertura mínima de 50 gotas  $\text{cm}^{-2}$ , recomendado por Larragueta (1985). En este sentido, la alternativa 3070 no logra la cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  necesarios, mientras que 3030 apenas lo alcanza y las boquillas convencionales lo superan ampliamente. No obstante esto, todas las boquillas alcanzaron el número de 30 a 40 gotas  $\text{cm}^{-2}$  recomendados por Ozeki (2006) para alcanzar eficacia biológica en tratamientos fúngicos con productos sistémicos.

En el análisis de la distribución de los impactos  $\text{cm}^{-2}$  en las diferentes caras de la espiga, todas las boquillas, a excepción del abanico, lograron la mayor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  sobre la cara posterior de la espiga, aunque solo cono hueco se diferenció significativamente (Figura 6). Estos resultados podrían explicarse por la dirección que toman las gotas cuando salen de las boquillas, es decir, en las alternativas 3030 y 3070, la angulación hacia atrás de las mismas permitiría que el chorro asperjado sea dirigido hacia la parte posterior de la espiga principalmente. Del mismo modo, el posible efecto de rotación del flujo en  $360^\circ$  y gotas de tamaño reducido del cono hueco determinarían que las mismas se muevan en múltiples direcciones, con posibilidades de alcanzar a la espiga en toda su superficie. El abanico presentó la mayor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  en el lado izquierdo de la espiga diferenciándose únicamente de la cara frontal, pudiendo deberse a la posición de la boquilla respecto al botalón, sin angulación y con mayor incidencia en los laterales de la espiga. No obstante estas observaciones, todas las boquillas presentaron mayor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  en la cara posterior respecto a la anterior, en acuerdo con Parkin et al., (2006).

Por otro lado, las pastillas con un solo perfil de pulverización, abanico y cono hueco, lograron la menor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  sobre la cara frontal de la espiga, mientras que las boquillas doble abanico aire inducido, 3070 y 3030, en los laterales izquierdo y derecho respectivamente. Ésta menor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  proporcionada por abanico y cono hueco en la cara frontal podría explicarse por el único perfil de distribución direccionado principalmente a su cara trasera, en donde los dobles abanicos lograrían una mejor distribución de las gotas provistas por su doble perfil de pulverización.



**Figura 6.** Cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  sobre las diferentes caras de la espiga para cada pastilla. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre caras de la espiga para cada tratamiento según el test de Tukey. Abanico: abanico plano 11002; Cono hueco: cono hueco TXA 8002; 3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002; 3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002.

Por otra parte, se realizó el análisis estadístico para las diferentes pastillas y cada una de las caras. En referencia a ello, la cara trasera fue la que presentó la mayor cantidad de impactos para todas las pastillas ensayadas, a excepción de abanico que obtuvo la mayor cantidad de impactos sobre el lado izquierdo. Al analizar éste lado, abanico fue la que presentó la mayor cantidad de impactos variando en forma significativa respecto a 3070, pero no así de cono hueco y 3030. Respecto al lado derecho, la pastilla cono hueco fue la de mayor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$ , diferenciándose de forma significativa con 3030, y comportándose de forma similar con abanico y 3070. Por último, la cara frontal fue la posición con menor cantidad de impactos, siendo la única cara que tuvo el mismo comportamiento para todas las pastillas, sin encontrarse diferencias significativas.

#### Hoja bandera

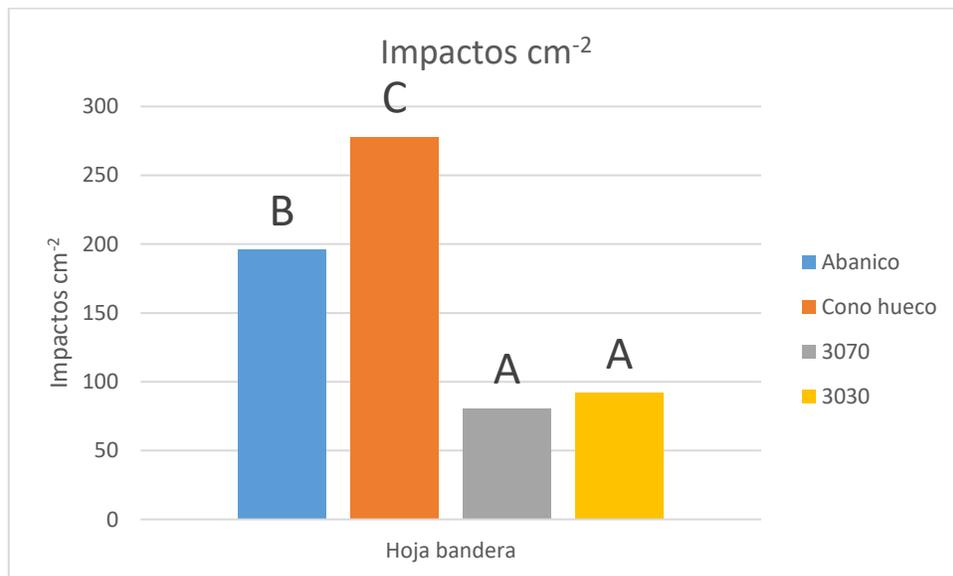
Respecto a la posición hoja bandera, se realizó el análisis estadístico respecto a cada pastilla (Figura 7).

En referencia a la cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  sobre hoja bandera (Figura 7), la pastilla cono hueco fue la que tuvo la mayor densidad, diferenciándose significativamente de las restantes pastillas. Estos resultados concuerdan en parte con los de Cunha et al., (2008), quienes encontraron que la pastilla de cono hueco proporcionó la mayor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$ .

Por otra parte, las pastillas 3030 y 3070 con inducción de aire tuvieron la menor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$ , significativamente diferente a cono hueco y abanico, pero con similar comportamiento entre ellas; en tanto que, el abanico tuvo un comportamiento intermedio. Estos resultados son similares a los demostrados por Charbonnier et al. (2011), con mayor densidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  en pulverizaciones de gotas finas (100-175  $\mu\text{m}$ ) en comparación al uso de gotas muy gruesas (375-450

µm). Esto puede deberse a que las gotas pequeñas tienen más probabilidad de depositarse que un mismo volumen representado por gotas más grandes.

En acuerdo con lo citado por Larragueta (1985) y Ozeki (2006), todos los tratamientos cubren la densidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  mínima requerida para productos de contacto y/o sistémicos en el objetivo hoja bandera.



**Figura 7.** Cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  sobre hoja bandera para cada pastilla. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos según el test de Tukey. Abanico: abanico plano 11002; Cono hueco: cono hueco TXA 8002; 3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002; 3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002.

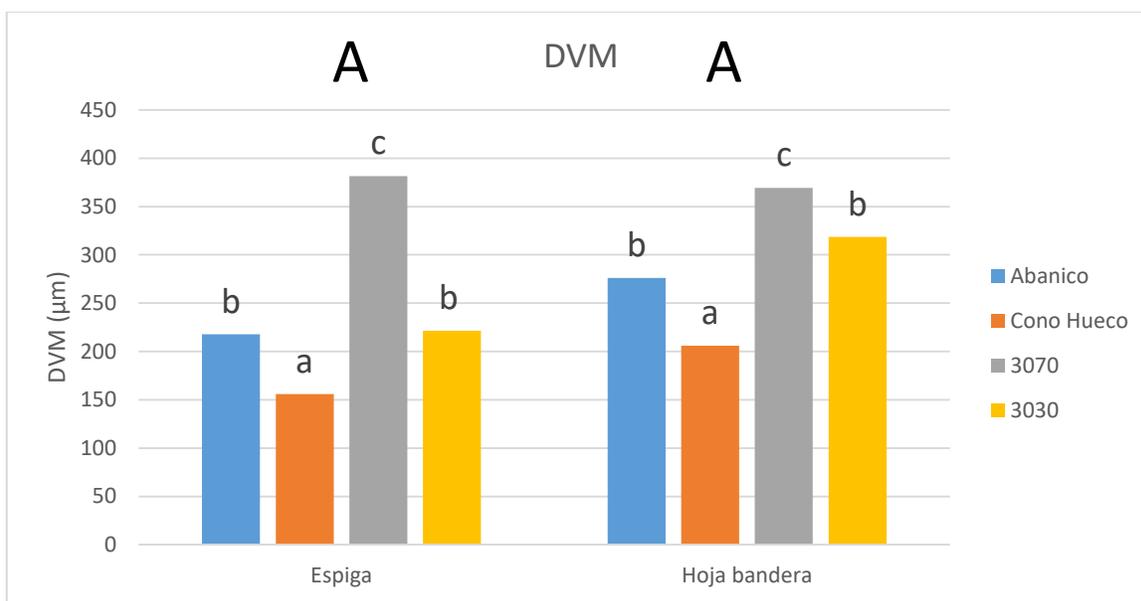
#### *Diámetro Volumétrico Mediano (DV 0.5)*

El análisis de los resultados correspondientes al tamaño de las gotas a partir del DVM no arrojó interacción entre la posición espiga y hoja bandera, por lo cual no fue necesario particionar el análisis (Figura 8).

En relación a los resultados y aunque no se haya encontrado interacción entre espiga y hoja bandera, todos los tratamientos, a excepción del 3070, presentaron un mayor DVM en hoja bandera respecto a la espiga (Figura 8). Esto podría deberse a que las pastillas de cono hueco, abanico y 3030 generan un tamaño de gota considerablemente menor que 3070, pudiendo las gotas más finas no ser detectadas por el papel hidrosensible, haciendo que el DVM en la hoja bandera se eleve, y el hecho de que el menor diámetro volumétrico de las gotas finas no fuera detectado en la hoja bandera por el papel hidrosensible, hace que el DVM se eleve. En este sentido, coincide con lo citado por Stefanelo et al., (2014) quienes mencionan las limitaciones del papel hidrosensible en detectar gotas de tamaño reducido. A su vez, ésta inexactitud en la determinación del DVM podría deberse a la capacidad de las gotas en alcanzar objetivos verticales (espiga) respecto a objetivos horizontales (hoja bandera), donde en los primeros llegaría una mayor cantidad de gotas, mientras que en los segundos, dada su particular estructura y posición, se lograría una menor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$ .

En la figura 8 se muestra el DVM de la población de gotas que alcanza la hoja bandera y la espiga para cada boquilla. En una primera observación, los resultados fueron los esperados: la boquilla doble abanico asimétrica aire inducido, AI 3070, presentó el mayor DVM, con diferencias significativas respecto a los demás tratamientos. Estos resultados concuerdan en parte con los obtenidos por

Ferguson et al., (2016), quienes obtuvieron con boquillas doble abanico asimétricas mayores DVM, con diferencias significativas respecto a boquillas simétricas. Por otro lado, también coincide con lo mencionado por Cunha et al., (2007), quienes destacan que el uso de pastillas antideriva aumenta el diámetro de las gotas, constituyéndose, por lo tanto, en un factor auxiliar para la reducción de la deriva en las pulverizaciones. Contrariamente, la pastilla cono hueco fue significativamente la de menor DVM y la de mayor homogeneidad entre las caras de la espiga, medida esta última respecto a la variable de dispersión desvío estándar (Tabla 2). Sin embargo, este menor DVM no se corresponde con los tamaños de gotas comprendidos entre 200 y 300  $\mu\text{m}$  citados por Antuniassi & Boller (2011), como ideales para pulverizaciones de fungicidas sistémicos. Por otro lado, los tratamientos 3030 y abanico convencional tuvieron valores intermedios, sin diferenciarse significativamente entre ellos.



**Figura 8.** Diámetro volumétrico mediano sobre espiga y hoja bandera para cada pastilla. Letras mayúsculas diferentes indican que no se encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos de espiga y hoja bandera según el test de Tukey. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre objetivos para cada pastilla según el test de Tukey. Abanico: abanico plano 11002; Cono hueco: cono hueco TXA 8002; 3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002; 3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002.

Los resultados fueron los esperados ya que las boquillas 3070 y 3030, con tamaño de gotas gruesa y media respectivamente, tuvieron los mayores DVM. Sin embargo, la utilización de tarjetas hidrosensibles y el programa CIR 1.5 de análisis de imágenes, pudieron haber sobreestimado los diámetros de las gotas. Dicho software contabiliza no sólo la huella de la gota que alcanza el objetivo, que en el caso de las boquillas con aire inducido produce una impronta mayor al volumen real del líquido que la misma contiene, sino también las gotas que resultan al impactar con el objetivo, provocando que el líquido calculado en el primer impacto vuelva a ser contabilizado por las nuevas improntas que produce. Además, y en coincidencia con Zhu et al., (2011), algunas gotas grandes visualizadas en el papel podrían ser el resultado del solapamiento de varias gotas, y entonces el diámetro de las gotas tomado por el programa sería la combinación del diámetro de varias gotas pequeñas y no de una grande.

Por otro lado, el menor DVM encontrado pertenece a la pastilla cono hueco, donde los DVM mínimos requeridos para aplicaciones con fungicidas sistémicos son cubiertos en la hoja bandera, pero no así en la espiga, recomendándose su uso sólo en casos de enfermedades de la hoja y no de la espiga. Esto último se relaciona con lo mencionado por Tu et al., (1986) Wirth et al., (1991) y Xie et al., (1995), quienes indican que los tratamientos de enfermedades localizadas en las partes orientadas horizontalmente de una planta, como las hojas, son relativamente más fáciles que los mismos problemas que se producen en las partes orientadas verticalmente de una planta, como la espiga. Al analizar los datos obtenidos con la boquilla de abanico plano, se puede establecer cierta similitud con lo mencionado por Etiennot (1993), quien encontró valores de DVM dentro del rango de 100 y 500  $\mu\text{m}$ , tanto en espiga como en hoja bandera. Este mismo autor señala para pastillas de cono hueco tamaños de gota entre 100 y 250  $\mu\text{m}$ , en acuerdo a lo que se visualiza en la figura 8.

Resulta interesante resaltar que al comparar los resultados del DVM en hoja bandera obtenidos en el ensayo con los del catálogo, se encontraron algunas discrepancias. La boquilla 3070 es la única pastilla que se encuentra dentro de los rangos mencionados por los fabricantes (en su límite superior) en cambio, las pastillas 3030, abanico plano y cono hueco se encuentran por encima de los rangos que establece el catálogo Teejet 50 A-E (Spraying Systems Co, 2014). Estos resultados podrían atribuirse en parte al canopeo que desvía el curso normal de la gota, como también a la propia sobreestimación del programa CIR 1.5. Dicha sobreestimación valida lo citado por Zhu et al., (2011), quienes encontraron que el software de procesamiento de imágenes presenta diferencias respecto a un microscopio estereoscópico cuando se determinaba el tamaño de la gota. También hallaron que ésta inexactitud se hace más chica cuando la gota es cada vez más grande. Del mismo modo, Stefanelo et al., (2014) y Bayer et al., (2012), atribuyeron las diferencias a las limitaciones del papel hidrosensible en detectar gotas de tamaño reducido.

No obstante estos resultados, al observar los valores de desvío estándar de las boquillas en la Tabla 2, presentaron relativa homogeneidad entre las diferentes caras de la espiga, siendo el cono hueco el más homogéneo, mientras que 3030 y 3070 las más desuniformes. Por otro lado, los valores de desvío superiores de 3030 y 3070 frente a abanico podrían ser fundamentados por ser las primeras de aire inducido.

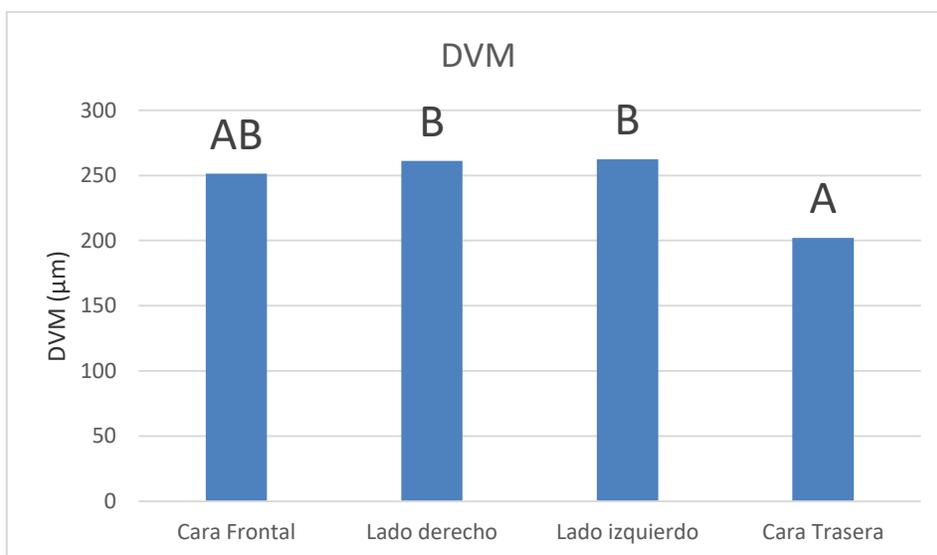
**Tabla 2.** Diámetro volumétrico mediano y desvío para cada pastilla sobre espiga.

Espiga		
Pastilla	DVM ( $\mu\text{m}$ )	Desvío
Abanico	216,6 (B)	6,56
Cono Hueco	156,9 (A)	7,58
3070	381,5 (C)	8,08
3030	221,6 (B)	5,14

Letras mayúsculas diferentes indican que se encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos de espiga y hoja bandera según el test de Tukey. Abanico: abanico plano 11002; Cono hueco: cono hueco TXA 8002; 3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002; 3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002

Respecto al comportamiento sobre cada cara de la espiga (Figura 9), el mayor DVM se encontró sobre los laterales de la misma, hallándose con similares resultados a la cara frontal pero con diferencias

significativas respecto a la cara trasera. Esta última cara, si bien es la que presenta el menor DVM, cumple con los requisitos citados por Antuniassi & Boller (2011). Por otro lado, este menor DVM podría ser fundamentado por la mayor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  de la pastilla cono hueco frente a las otras pastillas (Figura 7), donde la mayor cantidad de gotas tamaño reducido provistas por la misma redujeron el DVM promedio de dicha cara (Figura 9). Cabe aclarar, que ésta mayor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  del cono hueco frente a las restantes pastillas, podría ser explicado por una posible inclinación de la espiga, donde el efecto de rotación del flujo en  $360^\circ$  y gotas de tamaño reducido del cono hueco determinan que las mismas se muevan en múltiples direcciones alcanzando a la espiga en toda su superficie.



**Figura 9.** Diámetro volumétrico medio sobre las diferentes caras de la espiga (valores medios de las 4 pastillas ensayadas). Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos según el test de Tukey.

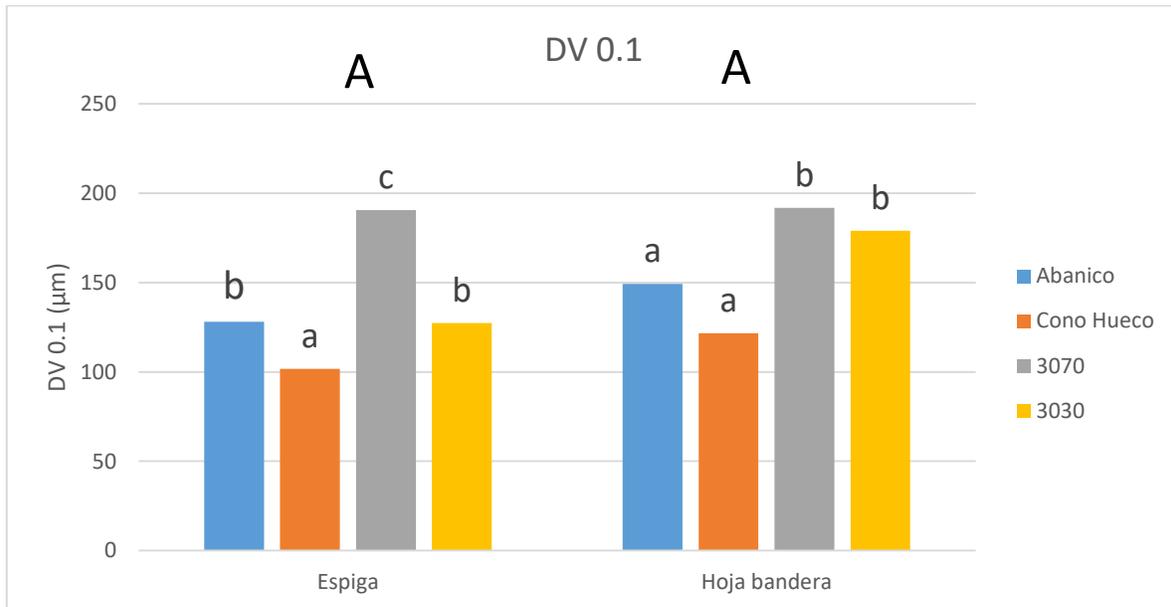
#### *Diámetro Volumétrico 0.1 (DV 0.1)*

En el análisis de la variable DV 0.1, no se encontró interacción significativa entre espiga y hoja bandera, por lo que no fue necesario particionar el análisis.

En relación a los resultados y aunque no se haya encontrado interacción entre espiga y hoja bandera, todos los tratamientos, a excepción del 3070, presentaron un mayor DV 0.1 en hoja bandera respecto a la espiga (Figura 10). Esto podría deberse a la angulación de las pastillas, y con ello la dirección que toman las gotas cuando salen de las boquillas, donde en la pastilla 3070, la angulación de  $70^\circ$  hacia atrás de las mismas permitiría que el chorro asperjado sea dirigido en forma directa a la espiga. En tanto, la angulación de  $30^\circ$  hacia atrás de la pastilla 3030 no resulta suficiente como para que las gotas de mayor tamaño, dado su mayor peso, alcancen la espiga, aunque sí la hoja bandera, determinando un mayor DV 0.1 en la misma. Por otro lado, las pastillas cono hueco y abanico plano, al disponer de un direccionamiento vertical permitirían la llegada de gotas de mayor tamaño en hoja bandera respecto a la espiga, elevando el DV 0.1.

De la figura 10 se desprende que la pastilla 3070 es la de mayor DV 0.1 con diferencias significativas respecto a los demás tratamientos. En tanto que, la boquilla cono hueco tuvo el menor DV 0.1 con diferencias significativas de 3030 y abanico que tuvieron un comportamiento similar. Los menores DV 0.1 del tratamiento cono hueco determinan los mayores riesgos de deriva de esta pastilla.

Estos resultados fueron los esperados y en acuerdo a la norma ASABE S327.2 (ASABE, 2004), que establece que las boquillas 3070 y cono hueco presentan tamaño de gota gruesa y fina respectivamente. La mayor probabilidad de deriva de las boquillas cono hueco se debe principalmente a la mayor cantidad de gotas cercanas a las 100  $\mu\text{m}$ , coincidiendo en parte con Leiva (1995), quien afirma que las probabilidades de deriva se incrementan con tamaños de gotas menores a 150  $\mu\text{m}$ . Asimismo, coincide en parte con lo citado por Leiva (1995), Spraying Systems Co (2014) y Antuniassi & Boller (2011), quienes consideran que las probabilidades de deriva son mayores con tamaños de gotas finas menores a 150 y 200  $\mu\text{m}$ , respectivamente.



**Figura 10.** DV 0.1 sobre la espiga y hoja bandera para cada pastilla. Letras mayúsculas diferentes indican que no se encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos de espiga y hoja bandera según el test de Tukey. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre objetivos para cada pastilla según el test de Tukey. Abanico: abanico plano 11002; Cono hueco: cono hueco TXA 8002; 3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002; 3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002.

En lo que se refiere a la hoja bandera, las pastillas de aire inducido 3030 y 3070 se comportaron de forma similar, y con diferencias significativas respecto a abanico plano y cono hueco, obteniendo un mayor DV 0.1 por ser pastillas antiderivas. Coincidiendo con Cunha et al. (2007), el uso de pastillas antideriva aumenta el diámetro de las gotas, constituyéndose, por lo tanto, en un factor auxiliar para la reducción de la deriva en las pulverizaciones. Por ello, cuanto mayor sea el valor DV 0.1, menor será la posibilidad de exoderiva y viceversa. En lo referido a la pastilla cono hueco, y como era de esperar, es la que presentó el menor DV 0.1, tanto en la posición espiga como hoja bandera. En la figura 10 se puede observar que incluso en la posición espiga el DV 0.1 es menor que en hoja bandera, atribuido posiblemente a que las gotas de menor tamaño quedan mayor tiempo en suspensión con mayores probabilidades de impactar en objetivos verticales como la espiga. Contrariamente, las gotas de mayor tamaño tendrían mayores posibilidades de impactar sobre objetivos horizontales como la hoja bandera.

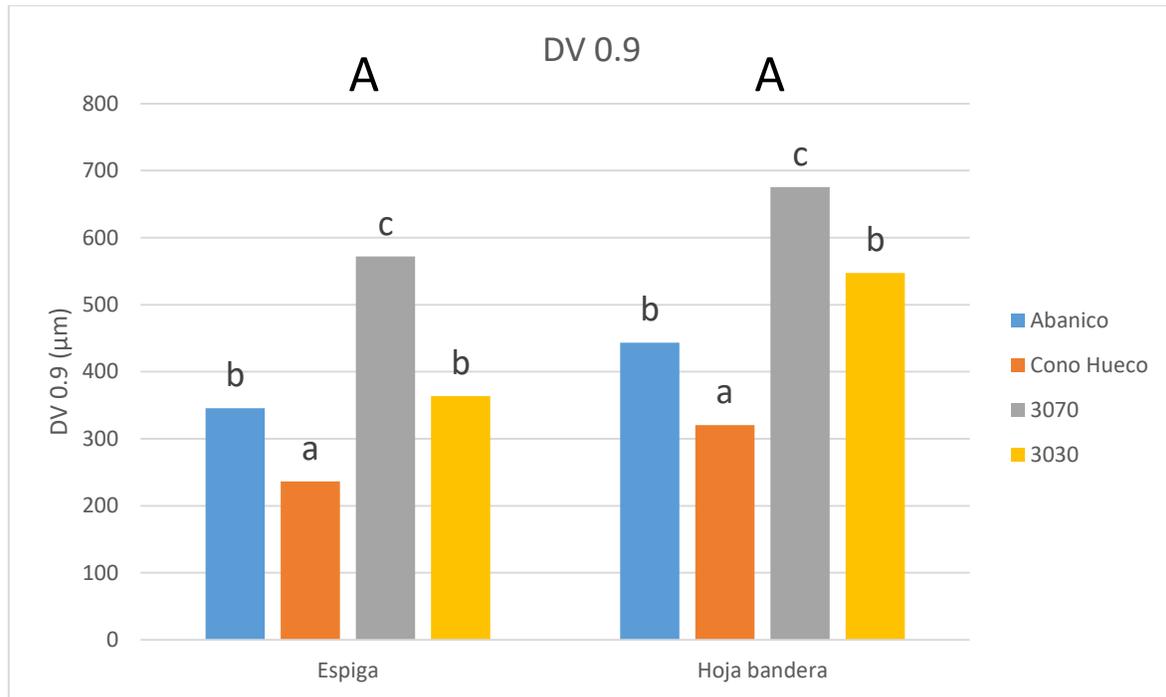
### Diámetro Volumétrico 0.9 (DV 0.9)

Analizando la variable DV 0.9, se puede establecer que esta variable no presentó interacción entre la posición espiga y hoja bandera, por lo que no fue necesario particionar el análisis.

En la figura 11 se muestran los DV 0.9 de las gotas generadas por las pastillas que alcanzan ambas posiciones, espiga y hoja bandera. Los resultados presentan similar comportamiento a los observados en DVM y DV 0.1, donde la pastilla 3070 con el mayor DV 0.9 se diferenció significativamente de las restantes boquillas, mientras que el cono hueco tuvo el menor valor y los tratamientos abanico y 3030 un comportamiento intermedio sin diferenciarse significativamente entre sí.

Los resultados fueron en parte los esperados, ya que las boquillas 3070 y cono hueco presentaron los mayores y menores DV 0.9 respectivamente, en acuerdo a la norma ASABE S327.2 (ASABE, 2004). Sin embargo, las boquillas abanico y 3030 tuvieron similar comportamiento, cuando hubiese sido esperable que se diferenciaron entre sí de acuerdo a lo indicado por los fabricantes. De los resultados observados hasta aquí, se desprende que la población de gotas generada por las boquillas de abanico plano y 3030 difieren de lo indicado por los fabricantes, siendo éstas mayores en el tratamiento de abanico y menores para 3030 en relación a lo que los mismos establecen.

Cabe señalar que el comportamiento de los diferentes tratamientos entre las pastillas presenta el mismo patrón que el mostrado en la variable DV 0.1, y cierta similitud con el DVM.



**Figura 11.** DV 0.9 sobre la espiga y hoja bandera para cada pastilla. Letras mayúsculas diferentes indican que no se encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos de espiga y hoja bandera según el test de Tukey. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre objetivos para cada pastilla según el test de Tukey. Abanico: abanico plano 11002; Cono hueco: cono hueco TXA 8002; 3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002; 3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002.

Sobre la hoja bandera (Figura 11), se encontró similar comportamiento a lo observado sobre la espiga, donde la pastilla 3070 presentó el mayor DV 0.9 diferenciándose de forma significativa de los demás tratamientos. Como era de esperar, la pastilla cono hueco exhibió el menor DV 0.9, mientras que

abanico y 3030 tuvieron un comportamiento intermedio. En lo que refiere a la pastilla 3070, su mayor DV 0.9 implicaría un tamaño de gota mayor con una menor pérdida por exoderiva, pero aumentando los riesgos de la endoderiva con la consecuente disminución de la eficiencia de aplicación.

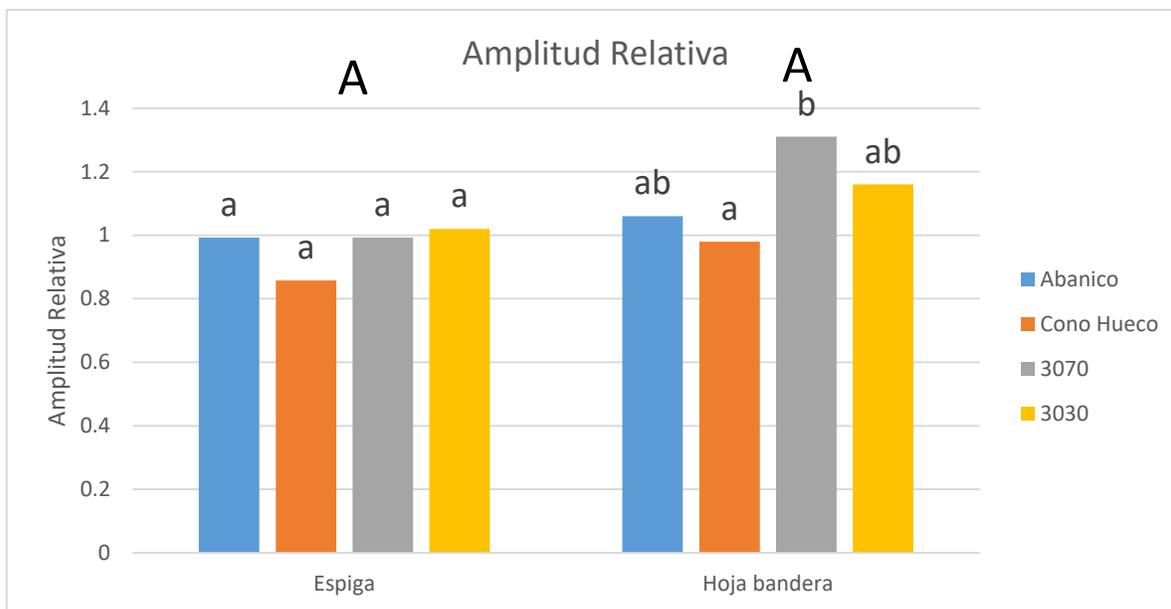
### *Amplitud Relativa (AR)*

La amplitud relativa da una referencia de la homogeneidad de clases de gotas que llegan al objetivo. Coincidiendo con Cunha et al., (2010), la evaluación de la amplitud relativa proporciona una idea de la homogeneidad de la clase de gotas que llega al blanco; cuanto más chico es el valor de AR, más homogéneo es el espectro de gotas.

El análisis estadístico de dicha variable no arrojó interacción entre la posición espiga y hoja bandera, por lo que no fue necesario particionar el análisis. En relación a los resultados, y aunque no se haya encontrado interacción entre espiga y hoja bandera, todos los tratamientos, presentaron una mayor amplitud relativa en hoja bandera respecto a la espiga (Figura 12). Esto podría atribuirse a que a la espiga sólo llegan las gotas que impactan directamente sobre ella; en cambio, en la hoja bandera no sólo llegan éstas, sino también aquellas que impactan sobre la espiga y luego salpican a la hoja bandera. En este sentido coincide con lo citado con Western et al., (1985), quienes encuentran que las gotas grandes que golpean la parte superior del cultivo (espiga), pueden en el impacto salpicar y redistribuirse en gotas de menor tamaño en estratos inferiores de la planta (hoja bandera). Esto implicaría que la uniformidad en el espectro de gotas sea mayor en hoja bandera en relación a la espiga para todas las pastillas evaluadas.

En la figura 12, analizando la amplitud relativa en la posición espiga, se observa la relativa homogeneidad entre las pastillas, sin encontrarse diferencias significativas. Sin embargo, los menores valores de amplitud relativa, y por ende mayor homogeneidad en el espectro de gotas, se observan con la boquilla de cono hueco, seguido por el abanico plano y doble abanico 3070, y por último el doble abanico 3030. Estos resultados concuerdan con los citados por Etiennot (1993), quien menciona para pastillas de cono hueco tamaños de gotas que varían entre 100 y 250  $\mu\text{m}$ , exhibiendo la población de gotas más uniforme. La menor amplitud relativa del cono hueco, podría explicarse por tener la menor brecha entre los DV 0,9 y DV 0,1 en comparación con las restantes pastillas.

La menor amplitud relativa del cono hueco podría asociarse con lo visto anteriormente, donde los valores de DV 0.1 y DV 0.9 para este tratamiento resultan relativamente próximos entre sí, demostrando una población de gotas altamente homogénea. Contrariamente, la boquilla doble abanico simétrico es la más heterogénea en su población de gotas.



**Figura 12.** Amplitud Relativa de cada pastilla sobre la espiga y hoja bandera. Letras mayúsculas diferentes indican que no se encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos de espiga y hoja bandera. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre objetivos para cada pastilla. Abanico: abanico plano 11002; Cono hueco: cono hueco TXA 8002; 3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002; 3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002.

Por otro lado, en el desempeño de las pastillas sobre la hoja bandera (Figura 12), la menor amplitud relativa estuvo dada por la pastilla cono hueco, con similar comportamiento al abanico plano y doble abanico 3030, pero diferenciándose estadísticamente del tratamiento 3070. La mayor amplitud relativa de esta última boquilla puede deberse a las características de diseño de la misma que produce gotas con aire en su interior que al impactar salpica en gotas de menor tamaño. Además, la angulación de  $70^\circ$  hacia atrás de la misma permitiría que el chorro asperjado sea dirigido en forma directa a la espiga, donde llegarían principalmente gotas de menor tamaño, en tanto que las gotas de mayor tamaño, dado su mayor peso, no alcanzarían la espiga aunque sí la hoja bandera. Estas características junto a la metodología empleada, que analiza no solo la impronta de la gota con aire inducido sino también las gotas que salpican luego de que la primera impacta en la tarjeta, podrían explicar los mayores valores de amplitud relativa y consecuentemente la mayor heterogeneidad de las gotas.

#### *Cobertura (%)*

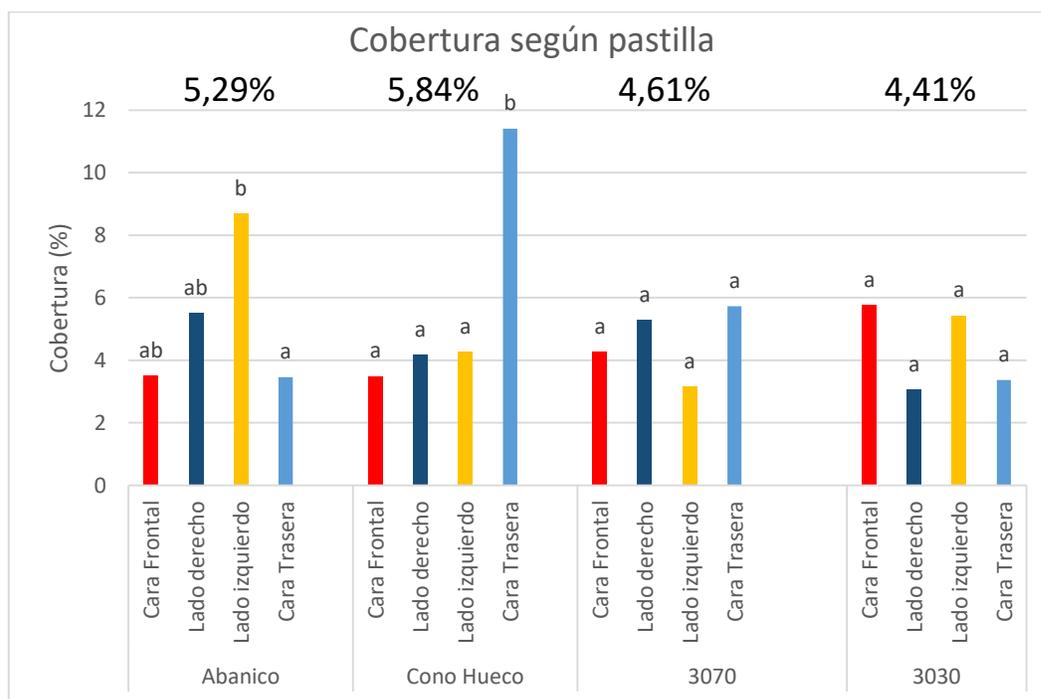
En el análisis del área de cobertura se encontró interacción entre la posición espiga y hoja bandera, y es por ello que se decide particionar el análisis.

No obstante la interacción, todas las boquillas presentaron mayor cobertura en la espiga respecto a la hoja bandera; esto puede deberse a la posición más alta de la espiga respecto de la hoja bandera, donde la gota podría sufrir intercepción por parte de los órganos superiores, y en consecuencia se reduciría la cobertura en la hoja bandera. Estos resultados coinciden con los de Domper et al., (2015), quienes encuentran mayor cobertura en los niveles superiores respecto a los inferiores.

### Espiga

Respecto a la posición espiga, se realizó el análisis estadístico para las diferentes caras de la espiga y cada pastilla.

En la figura 13 se observa el porcentaje de cobertura sobre las diferentes caras de la espiga para cada tratamiento. Únicamente se encontraron diferencias significativas entre caras para los tratamientos abanico plano y cono hueco, siendo en el abanico plano el lado izquierdo el que presentó la mayor área de cobertura con diferencias significativas respecto a la cara trasera pero con similar comportamiento a las caras frontal y derecha, en tanto que, en el cono hueco fue la trasera la de mayor porcentaje de cobertura, diferenciándose estadísticamente de las demás caras. Las pastillas doble abanico 3030 y 3070, tuvieron un comportamiento similar entre las caras, con cierta homogeneidad sin diferencias significativas entre las mismas.



**Figura 13** Porcentaje de cobertura (%) sobre las caras de la espiga para cada boquilla. Letras diferentes indican diferencias significativas según el test de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) entre caras de la espiga para cada tratamiento. Abanico: abanico plano 11002; Cono hueco: cono hueco TXA 8002; 3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002; 3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002.

Al analizar el área de cobertura generada por cada pastilla, la misma presenta un patrón de distribución similar al visualizado con la variable cantidad de impactos. Esto es esperable ya que el programa CIR 1.5 determina el porcentaje de cobertura a través de las variables cantidad de impactos y DVM. El relativo mayor porcentaje de cobertura de la boquilla cono hueco se debe principalmente a la mayor cantidad de impactos que llegan al objetivo, mientras que en las boquillas de aire inducido, los porcentajes de cobertura están asociados fundamentalmente al DVM. En estas últimas, los mayores DVM no alcanzan a compensar la menor cantidad de impactos, determinando porcentajes de cobertura menores a las boquillas convencionales. El mejor desempeño del cono hueco, se debe a la mayor probabilidad de las gotas finas de depositarse que un mismo volumen representado por una sola gota más grande, en coincidencia con Marquez (2005). Asimismo, estos resultados

concuerdan con los obtenidos por Antuniassi & Boller (2011) y Halley et al., (2008), quienes encontraron que tamaños de gota fino propician mayor cobertura.

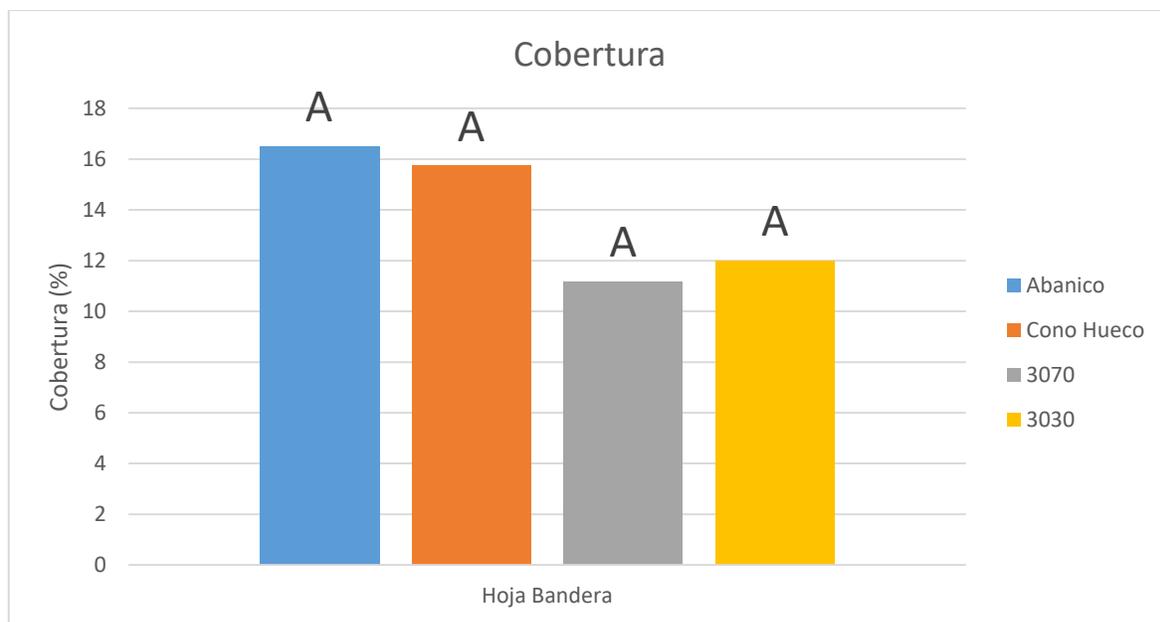
Por último, hay que tener en cuenta que el porcentaje de cobertura resulta de suma importancia para aplicaciones de fungicidas de contacto, pero no para aplicaciones de fungicidas sistémicos.

Sin embargo, y de acuerdo a lo mencionado anteriormente debido a las características inherentes al patógeno de la fusariosis de la espiga, no es posible el control después de la aparición de los síntomas. Por eso, se deben hacer aplicaciones de tipo preventiva logrando la mayor cobertura posible, aun cuando se utilicen fungicidas de acción sistémica, como el tebuconazole, metconazole o bencimidazoles (carbendazim, metiltiofanato). Por otro lado, y en acuerdo con Díaz et al., (2002), se debe tener en cuenta la baja translocación del órgano objeto de tratamiento, como son las flores y sus órganos (anteras), donde aplicaciones con productos sistémicos actúan principalmente como de contacto, por ende no son translocados, y la acción principal de los mismos queda limitada solamente a la protección superficial, actuando principalmente, en la germinación y penetración del patógeno.

### Hoja bandera

En referencia a la cobertura sobre hoja bandera (Figura 14), todas las pastillas presentaron similar porcentaje de cobertura, sin diferencias significativas. Estos resultados concuerdan con lo citado por Cunha et al., (2008), quienes encontraron que el cono hueco, a pesar de haber proporcionado la mayor cantidad de gotas, presentó similar porcentaje de cobertura que las demás pastillas debido principalmente al tamaño reducido de sus gotas.

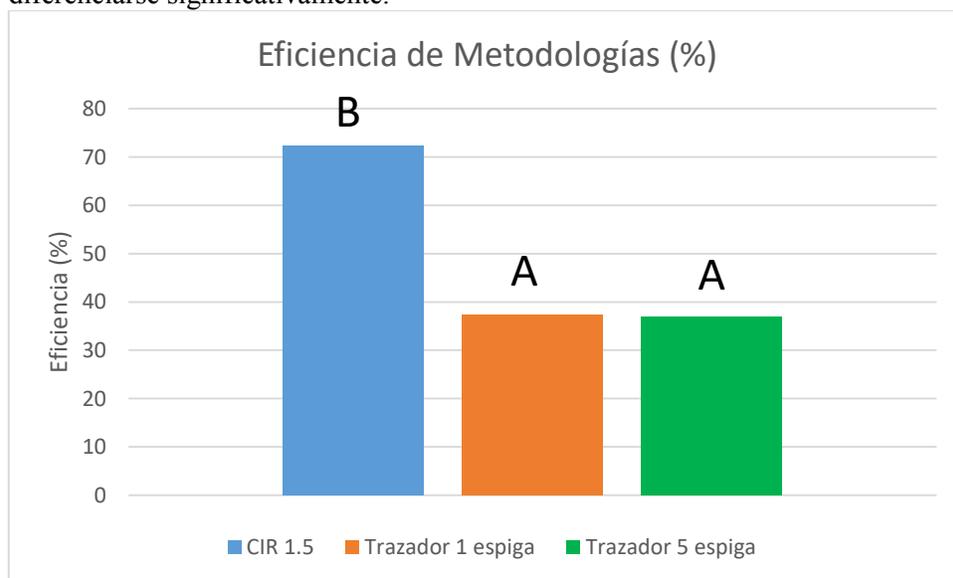
No obstante la ausencia de diferencias significativas entre boquillas, el abanico plano presenta el mayor porcentaje de cobertura (16,5 %), seguido por el cono hueco con 15,7% y más alejado se encuentran las pastillas doble abanico aire inducido, con 12% y 11,2% para 3030 y 3070 respectivamente. El menor porcentaje de cobertura de estas últimas, podría explicarse por la menor cantidad de impactos, de tamaño grueso, características que dificultaron la llegada de las gotas a la hoja bandera. Este resultado concuerda con los de Ozkan et al., (2012), quienes hallaron que las pastillas de abanico plano produjeron mayor cobertura en los objetivos horizontales (hoja bandera) que las pastillas doble abanico.



**Figura 14.** Cobertura (%) de cada pastilla sobre hoja bandera. Letras mayúsculas diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre pastillas para hoja bandera según el test de Tukey. Abanico: abanico plano 11002; Cono hueco: cono hueco TXA 8002; 3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002; 3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002.

**Comparación de metodologías: Tarjetas hidrosensibles – Trazador fluorimétrico**

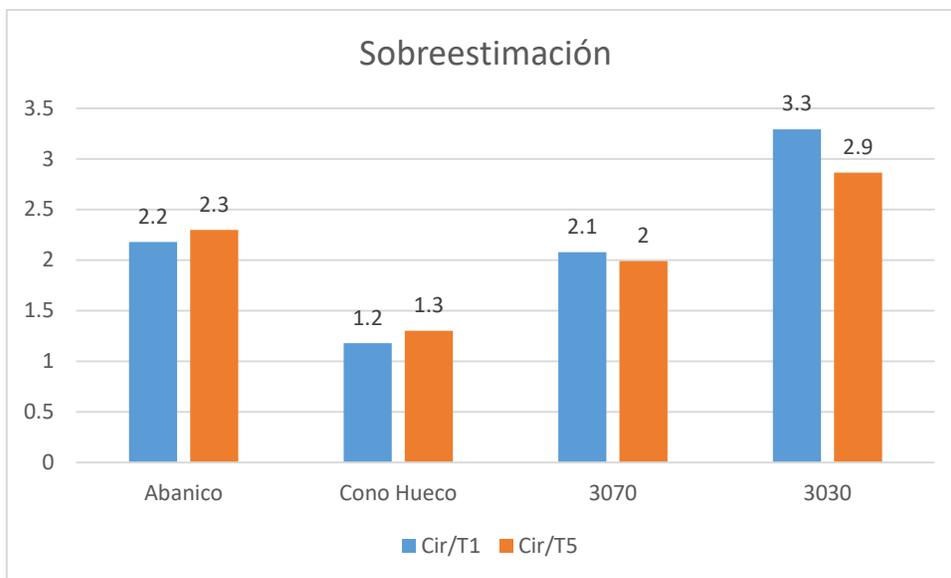
En lo referente a la recuperación del producto sobre la espiga, el análisis estadístico no encontró interacción significativa entre metodologías y pastillas. Cabe aclarar que la comparación metodológica se realizó únicamente sobre la espiga. En la Figura 15 se visualizan los porcentajes de eficiencia para las tres técnicas, CIR 1.5, trazador utilizando 1 espiga y trazador con 5 espigas. Como se observa en el mismo, el software CIR 1.5 arrojó mayores valores, siendo las diferencias respecto a las metodologías con trazador significativas, mientras que estas últimas resultaron semejantes, sin diferenciarse significativamente.



**Figura 15.** Comparación metodológica sobre la espiga para la variable eficiencia: Software CIR 1.5, trazador fluorimétrico utilizando 1 espiga y trazador fluorimétrico utilizando 5 espigas. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas según el test de Tukey ( $p < 0.05$ ) entre metodología de evaluación.

Estos resultados permiten aseverar que el programa, independientemente del espectro de gotas, sobreestima la eficiencia de aplicación en acuerdo con Domper et al., (2015). Sin embargo, estas sobrevaloraciones variaron en función del tipo de boquilla, siendo del orden del 210% para 3030, de 125 % para el abanico plano, 105 % para 3070 y, en mucha menor medida, del 25 % para el cono hueco (Figura 16). Si bien el cono hueco presenta la menor sobreestimación, el resultado obtenido no concuerda con lo encontrado por Domper et al., (2015) quienes obtuvieron porcentajes de sobrevaloración para dicho diseño de pastilla del 67%, atribuyendo esta diferencia a que en el ensayo mencionado se utilizó una pastilla cono hueco de diferente tamaño y a mayor presión de trabajo. En tanto que, la pastilla 3030 es la de mayor sobreestimación, y por ende la de menor confiabilidad a la hora de utilizar para su evaluación la metodología de tarjetas hidrosensibles.

En función de lo expuesto, y demostrado gráficamente en el siguiente esquema, es posible validar la primer hipótesis del trabajo, afirmando que la metodología de análisis digital de las tarjetas hidrosensibles sobreestima la tasa de recuperación para todas las pastillas.

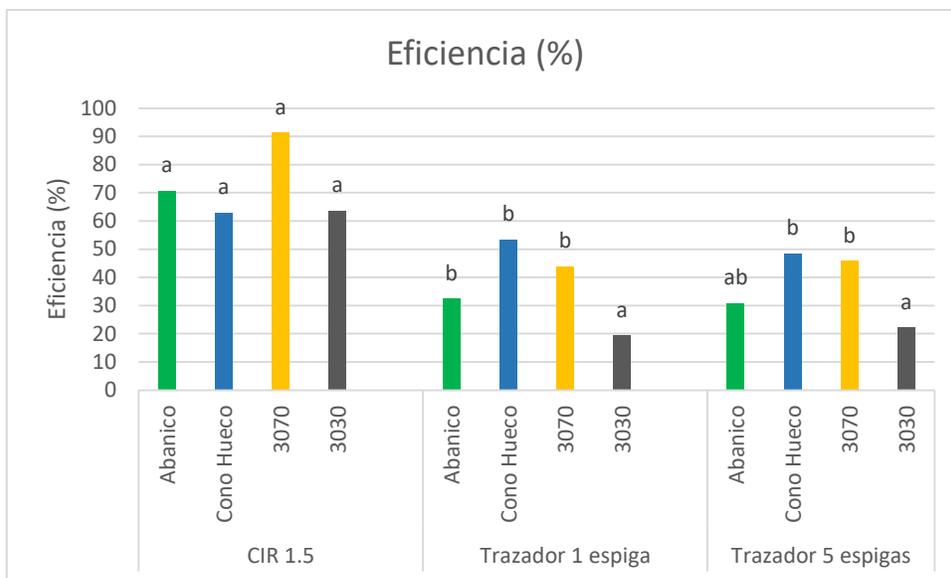


**Figura 16.** Comparación del programa CIR 1.5 y método fluorimétrico utilizando 1 y 5 espigas, para cada una de las pastillas. Valores mayores a 1 indican sobreestimación de eficiencia causados por el programa CIR 1.5 para cada una de las pastillas. Abanico: abanico plano 11002; Cono hueco: cono hueco TXA 8002; 3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002; 3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002.

A modo de resumen, se proponen factores de corrección de 0,81 para cono hueco, 0,492 para 3070, 0,447 para Abanico, y finalmente 0,327 para 3030, valores que se debieran utilizar para cada pastilla cuando se emplea el programa CIR 1.5.

Por otro lado, al realizar un análisis más detallado sobre el comportamiento de las pastillas en cada metodología (Figura 17), la utilización del programa CIR 1.5 no arrojó diferencias significativas entre tratamientos mientras que en las evaluaciones con trazador no ocurrió lo mismo. En la metodología con una espiga, la boquilla 3030 tuvo significativamente la menor eficiencia mientras que las demás pastillas se comportaron de manera similar; en tanto que, en la técnica con 5 espigas, el tratamiento 3030 tuvo la menor eficiencia pero únicamente se diferenció del cono hueco y la 3070. No obstante estas diferencias, y tomando como referencia los resultados obtenidos con la técnica del trazador, el cono hueco presentó mayores porcentajes de eficiencia que las pastillas 3030 y 3070 de aire inducido, en coincidencia con Cunha et al., (2008), quienes encuentran una mayor deposición de gotas para las pastillas cono hueco en relación a las aire inducido.

En función de lo mencionado anteriormente, no estamos en condiciones de validar la segunda hipótesis respecto a una mayor deposición del producto en la espiga por parte del cono hueco respecto a las demás alternativas. Si bien, en la metodología con trazador cono hueco presentó el mayor porcentaje, las diferencias no fueron significativas, mientras que con el empleo del CIR 1.5, fue el tratamiento 3070 el de mayor depósito pero sin diferenciarse significativamente con los demás. De los resultados analizados hasta aquí, y coincidiendo con Zhu et al., (2011) y Domper et al., (2015), la evaluación de la aplicación por medio de tarjetas hidrosensibles es una herramienta práctica, aceptable a nivel de campo dada su sencillez y rapidez, pero con errores para evaluar la calidad de aplicación. Sería una opción viable para aquellos que no cuentan con la técnica del trazador fluorimétrico, metodología de mayor exactitud para evaluar la eficiencia de aplicación.



**Figura 17.** Comportamiento de las diferentes pastillas sobre la espiga para la variable eficiencia según metodología de evaluación. Los valores de eficiencia (%) para la metodología CIR 1.5 surgen a partir de la suma de los valores en las diferentes caras. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas según el test de Tukey ( $p < 0.05$ ) entre pastillas para cada metodología de evaluación CIR 1.5: software CIR 1.5, Trazador 1 espiga: trazador fluorimétrico utilizando 1 espiga, Trazador 5 espigas: trazador fluorimétrico utilizando 5 espigas. Abanico: abanico plano 11002; Cono hueco: cono hueco TXA 8002; 3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002; 3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002.

Por otra parte, al analizar el comportamiento de cada pastilla según la metodología, los mayores porcentajes de eficiencia que se obtuvieron con el software respecto al trazador, pueden deberse a diferentes causas. En las pastillas con aire inducido, la impronta de la gota responde al volumen de líquido y de aire incluido en la misma, pero se entiende que el programa efectúa los cálculos en función de una gota llena. Asimismo, las gotas al impactar en el objeto de aplicación rompen en gotas de menor diámetro generando un efecto aditivo para el cálculo del volumen recuperado ya que este sumaría la impronta de una gota sobredimensionada más las producidas luego del golpe primario. En tanto que con las gotas de menor tamaño, la sobreestimación del programa estaría relacionada con las limitaciones del papel hidrosensible en detectar impactos de tamaño reducido, mencionado por Stefanelo et al., (2014) y Bayer et al., (2012).

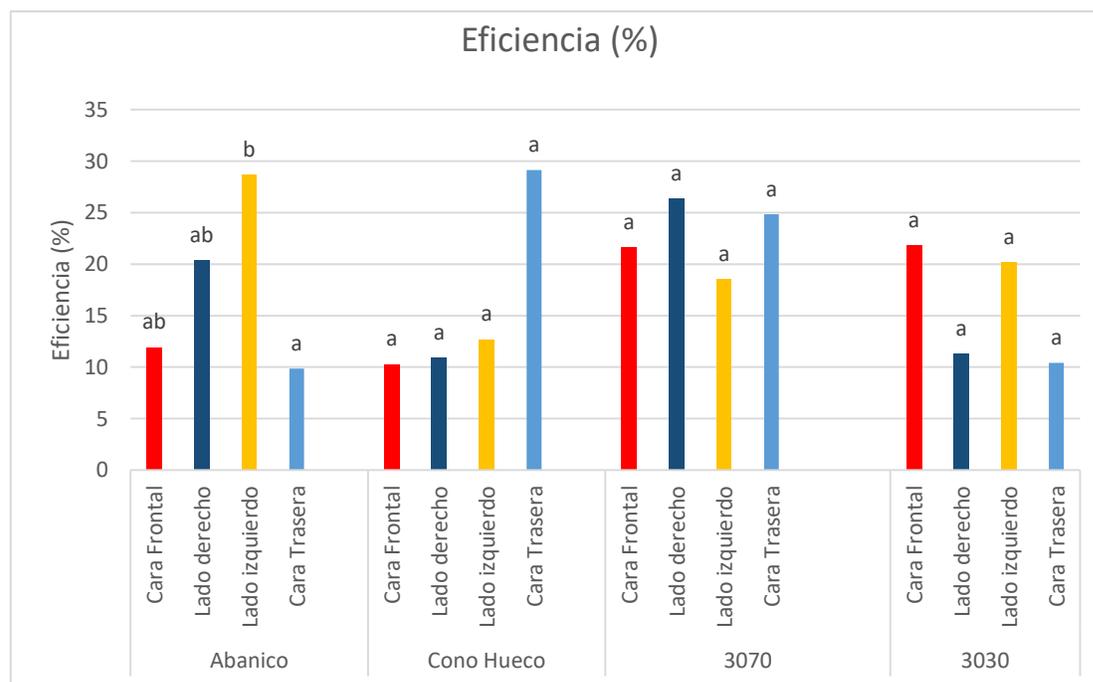
A partir de lo mencionado anteriormente respecto a la sobrestimación en la cantidad de líquido recuperado con la utilización de tarjetas hidrosensibles, se considera a la metodología con trazador de mayor confiabilidad al momento de analizar y discutir los resultados. En función de esto, el mayor porcentaje de eficiencia de cono hueco se puede deber a la mayor cantidad de impactos que llegan al objetivo, fundamentado por la mayor probabilidad que tienen las gotas finas en depositarse que un mismo volumen representado por una sola gota más grande. Por otro lado, el menor valor de 3030 es posiblemente por la menor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  depositados en el objetivo, atribuyéndose a factores de diseño de la misma como presentar una angulación de  $30^\circ$ , y ser una pastilla de aire inducido, donde las gotas antes de ser pulverizadas se carguen con burbujas de aire aumentando su tamaño y a igual volumen de aplicación, disminuye el número de impactos  $\text{cm}^{-2}$ . Por último, 3070 y abanico tuvieron un comportamiento intermedio, donde 3070 presenta una mayor eficiencia que 3030 por la angulación de  $70^\circ$  característica de dicha pastilla, donde mayores angulaciones generarían una mayor eficiencia en objetivos verticales como la espiga, y una menor eficiencia que cono hueco por

tratarse de una pastilla de aire inducido. Respecto al comportamiento intermedio de abanico, su mayor eficiencia frente a 3030, podríamos atribuirla a su mayor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$ , y su menor eficiencia respecto al cono hueco podría deberse a su nula angulación, donde las gotas pulverizadas del cono hueco presentarían un efecto de rotación del flujo en  $360^\circ$ , y por ende determinarían que las mismas se muevan en múltiples direcciones, con posibilidades de alcanzar a la espiga en toda su superficie.

*Eficiencia (%) sobre la espiga con el empleo de tarjetas hidrosensibles*

Al analizar la cantidad de líquido recuperado en las diferentes caras de la espiga (Figura 18), la misma presenta un patrón de distribución similar al visualizado con la variable cobertura (Figura 13), dónde la boquilla de abanico plano fue la única que presentó diferencias significativas, en tanto que cono hueco, 3030 y 3070 tuvieron similar comportamiento entre sus caras.

Respecto al comportamiento diferencial en las diferentes caras del abanico, podría explicarse que el abanico presentó la mayor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  en el lado izquierdo de la espiga diferenciándose únicamente de la cara trasera, pudiendo deberse a la posición de la boquilla respecto al botalón, sin angulación y con mayor incidencia en los laterales de la espiga. Por su parte, 3070 y 3030 son las pastillas que presentan la mayor uniformidad de aplicación en la espiga, exhibiendo un comportamiento relativamente uniforme en todas sus caras. Estos resultados concuerdan con lo citado por Nicholson et al., (2003), quienes encontraron que las boquillas de doble abanico plano presentaron una distribución más uniforme sobre las espigas en relación a las boquillas de abanico plano convencional, lo que mejoraría el control de enfermedades de la espiga.



**Figura 18.** Porcentaje de eficiencia (%) en las diferentes caras de la espiga para cada diseño de pastilla. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas según el test de Tukey ( $p < 0,05$ ) entre caras de la espiga para cada tratamiento.

Abanico: abanico plano 11002; Cono hueco: cono hueco TXA 8002; 3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002; 3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002.

Del análisis estadístico se puede resaltar que la eficiencia de aplicación difiere para cada pastilla, siendo el mayor porcentaje para 3070 con el 91,37 %, seguido de abanico plano (70,87%), 3030 (63,73%) y cono hueco (63,06%). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las mismas. Como se analizó y discutió previamente, estos valores se obtuvieron a partir de la metodología con tarjetas hidrosensibles por lo que resultan de baja fiabilidad al momento de su valoración. No obstante esto, la colocación de tarjetas en cada cara de la espiga y su posterior análisis con el software nos permite conocer la uniformidad de distribución entre las diferentes caras, independientemente de los valores.

#### *Eficiencia (%) sobre la espiga con el empleo de trazador fluorimétrico*

Al analizar la eficiencia mediante la metodología del trazador fluorimétrico para los tratamientos de 1 y 5 espigas, se puede distinguir que la pastilla cono hueco es la que tuvo la mayor eficiencia, seguido de 3070, abanico, y por último 3030. (Figura 17).

Respecto a la mayor eficiencia del cono frente a las restantes pastillas, podría atribuirse a la propia generación de gotas finas, y a su patrón de distribución circular, lo que generaría un mayor depósito global. Estos resultados no concuerdan con los de Souza et al., (2007), quienes trabajando con la misma metodología (trazador fluorimétrico), hallaron la menor deposición con la pastilla cono hueco 03, con eficiencias de 27,45%, y la mayor deposición para la pastilla abanico plano aire inducido caracterizada por la producción de gota gruesa, con eficiencias de 39,25%. Por otro lado, encuentran valores de eficiencia de 35,08% para la pastilla doble abanico aire inducido, valores disímiles a los encontrados en este ensayo. Una posible argumentación dada estas discrepancias sería el objetivo estudiado, donde este autor evalúa hoja bandera; en cambio en este ensayo la metodología del trazador sólo se realiza en espiga. Otra posible argumentación a tener en cuenta son las condiciones ambientales al momento de realizarse el ensayo, ya que las mismas fueron ideales para el correcto desempeño de la pastilla cono hueco.

En referencia a la pastilla AI3070, si bien presenta una eficiencia relativamente alta y comparable con cono hueco, no se observan diferencias significativas. Estos resultados no concuerdan con lo presentado por Wolf & Caldwell (2013), quienes trabajando con la misma metodología (trazador fluorimétrico), encontraron el mayor depósito para AI3070 diferenciándose significativamente de las restantes pastillas. Este comportamiento diferencial entre éste último ensayo y el de la tesina podría atribuirse a las condiciones diferenciales en que se realizaron los mismos, en donde Wolf & Caldwell (2013) trabajan en un banco de ensayo con condiciones ambientales controladas, diferentes a las condiciones de campo en las que se realizó este ensayo.

Por otro lado, debemos destacar el comportamiento diferencial que tuvieron las pastillas doble abanico aire inducido (3070 y 3030), ya que 3070 tuvo una mayor eficiencia respecto a 3030 diferenciándose significativamente, pero no frente al abanico plano, donde no se encontraron diferencias significativas. La mayor eficiencia de 3070 podríamos atribuirla a la angulación de 70° característica de dicha pastilla (sentido contrario al de avance), donde mayores angulaciones generarían una mayor eficiencia en objetivos verticales como la espiga. Respecto a la funcionalidad de AI3070, la misma resultaría recomendable para controlar enfermedades de la espiga, ya que el diseño concuerda con lo citado por Parkin et al. (2006), donde indican que la utilización de pastillas con el ángulo inclinado hacia atrás y gotas de tamaño medio o pastillas de aire inducido mejorarían la deposición de fungicidas en las espiguillas. Asimismo, Halley et al., (2010) y Derksen et al., (2010), estudiando angulaciones de 30° hacia adelante, y Wolf & Caldwell (2004) y Wolf & Peng (2011), trabajando con angulaciones de 60° hacia la dirección de marcha, encontraron mayores depósitos en la espiga, respecto a tratamientos sin angulaciones. Por otra parte, Elliott & Mann (1997), demostraron que los depósitos de pulverización en la espiga de trigo, utilizando la pastilla abanico plano 8002, aumentaron en la espiga a medida que la inclinación de la pastilla aumentó de 10° a 40°.

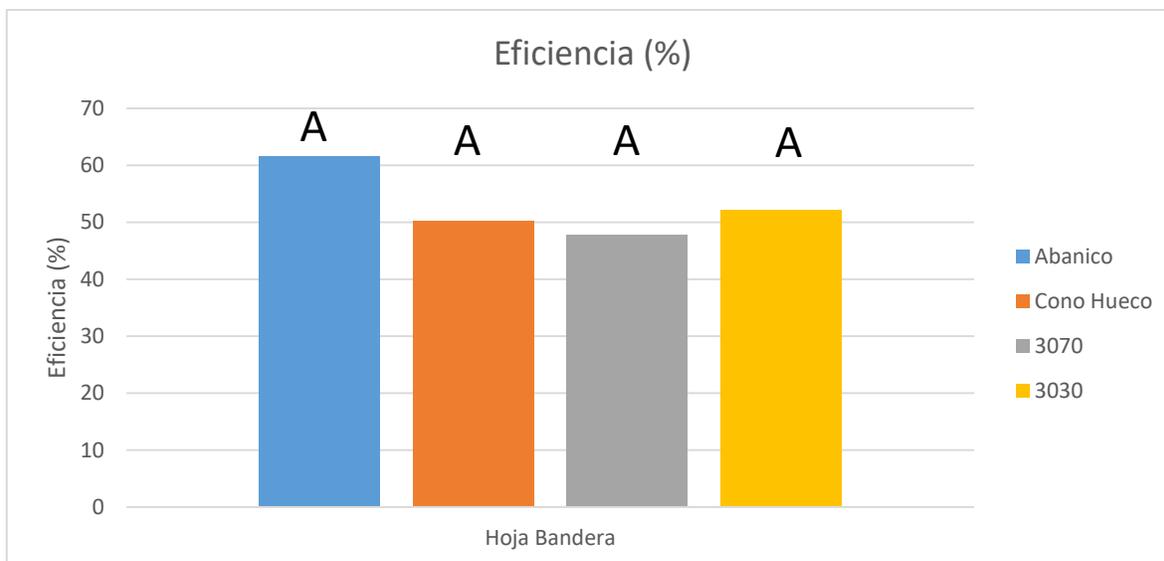
Retomando el análisis de las pastillas, y haciendo foco a las venas de distribución, podemos entender que las pastillas doble abanico, 3030 y 3070, no son las que presentaron los mayores valores de eficiencia. Este resultado concuerda sólo parcialmente con lo citado por Olivet et al., (2013) y Villalba et al., (2011), quienes trabajando en condiciones similares al ensayo de la tesina demostraron que la mayor deposición sobre la espiga fue con la pastilla doble abanico plano, diferenciándose en forma significativa de abanico plano con aire inducido y abanico plano. Por otra parte, Ozkan et al., (2012) encontraron el mismo resultado que Olivet et al., (2013) y Villalba et al., (2011), donde las pastillas de doble abanico tuvieron mayor deposición de producto en la espiga frente al abanico plano. Esto sugeriría que el comportamiento de las pastillas doble abanico generaría una mayor deposición en términos generales, pero como se observa en este ensayo, no ocurre con todas las pastillas, fundamentando tal discrepancia a la angulación particular que tenga la pastilla.

Por último, abanico plano y 3030 presentan una eficiencia relativamente baja, lo que pondría en riesgo un control efectivo en la espiga.

En resumen, la elección de la pastilla resulta ser un factor determinante a la hora de realizar un control de enfermedades de la espiga, donde se deben tener en cuenta muchos factores en simultáneo, desde características de diseño hasta las condiciones ambientales, ya que en este ensayo cono hueco es la pastilla que generó la mayor eficiencia. En referencia a ello, debemos destacar que las condiciones ambientales fueron relativamente favorables para cono hueco, ya que dicha pastilla al ser generadora de gota fina podría verse afectada mayormente con fuertes vientos. Cabe agregar que en este ensayo no se encontró relación alguna entre el tamaño de la gota y su eficiencia, ya que se esperaría una mayor deposición por parte de 3070 debido a su mayor DVM, y una menor eficiencia de cono hueco dado su menor DVM. Este resultado no concuerda con el citado por Souza et al., (2007), quienes encontraron que el aumento en el tamaño de gota, hasta cierto límite, mejora la eficiencia de la pulverización. Por otro lado, y haciendo referencia a las recomendaciones de las angulaciones a utilizar, deberemos tener en cuenta que sólo se realizarán para pastillas abanico con patrones de distribución triangular, siendo impracticables para la pastilla cono hueco dada sus características de diseño.

*Eficiencia (%) sobre hoja bandera utilizando tarjetas hidrosensibles.*

Con respecto al comportamiento en hoja bandera, se observa que el mayor valor de eficiencia es para la pastilla abanico plano, con 61,61%, seguido de 3030 con 52,05%, cono hueco con 50,2%, y 3070 con 47,8%, sin encontrarse diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. (Figura 19).



**Figura 19.** Eficiencia (%) de cada pastilla sobre hoja bandera. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos según el test de Tukey. Abanico: abanico plano 11002; Cono hueco: cono hueco TXA 8002; 3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002; 3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002.

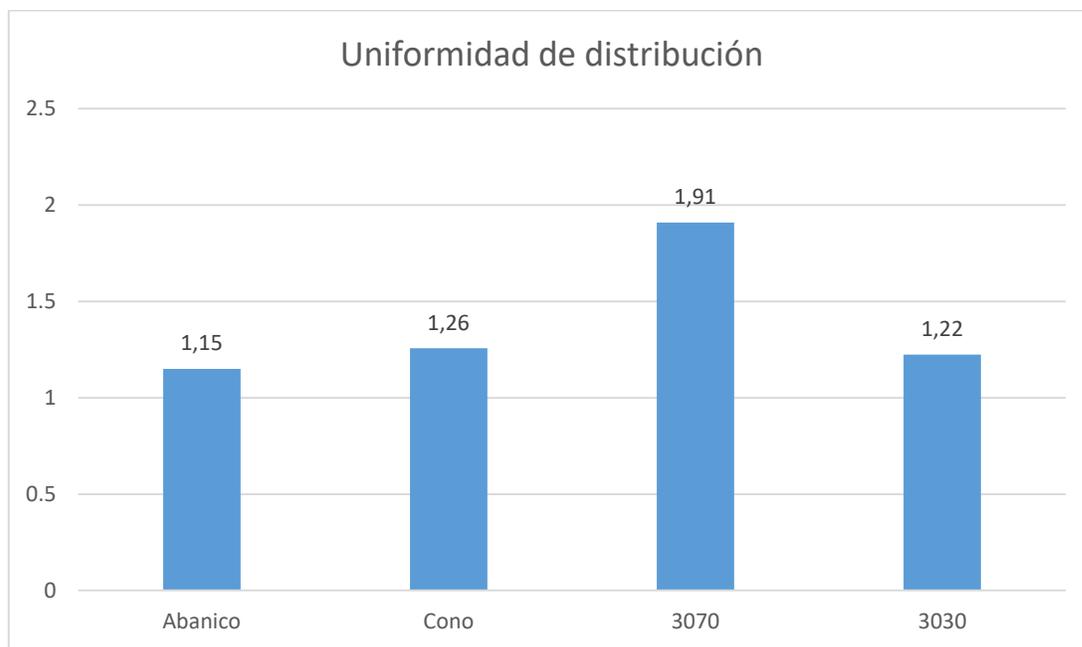
Por otro lado, al evaluar la eficiencia de aplicación para cada pastilla en hoja bandera, se observa que la pastilla abanico es la que obtiene la mayor eficiencia, con 61,61%, seguido de 3030, cono hueco y por último 3070. Respecto a la mayor eficiencia del abanico frente al cono, podríamos atribuirlo al mayor DVM del abanico frente al cono, en donde el mayor número de impactos  $\text{cm}^{-2}$  de la pastilla cono hueco no compensa el mayor DVM generado por el abanico. Estos resultados concuerdan con el de Capozucca (2015), quien encuentra que el tratamiento con la pastilla cono hueco tuvo significativamente menor eficiencia que el abanico, pero los mismos atribuyen esa diferencia principalmente a la mayor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  del abanico respecto del cono, lo cual no ocurre en éste ensayo. Por otro lado, los mismos autores encuentran que las pastillas con inducción de aire fueron significativamente más eficientes que el abanico y el cono, lo que no coincidiría con los resultados de esta tesina. Asimismo, Wolf & Peng (2011), encuentran mayores depósitos para pastillas de aire inducido que generan gota gruesa frente a las pastillas convencionales que generan gota fina. Tales diferencias podrían atribuirse al menor número de impactos  $\text{cm}^{-2}$  generado por la gota gruesa de las pastillas aire inducido, donde no se llegaría a compensar la relación diámetro-volumen.

En función de lo expresado se rechaza la cuarta hipótesis, ya que tanto en hoja bandera como en espiga, las pastillas aire inducido no presentan mayor deposición o eficiencia que el resto de las pastillas. Es de resaltar que el comportamiento de las pastillas aire inducido (3070 y 3030) no es el mismo, donde 3070 supera en valores de eficiencia a 3030 para la posición espiga en ambas metodologías, atribuyéndose dicha diferencia a la angulación de  $70^\circ$  de la primera. En forma contraria, en la posición hoja bandera, 3030 presenta una mayor eficiencia (%) que 3070, sin encontrarse diferencias significativas.

#### *Uniformidad de distribución*

Como uniformidad de distribución o distribución homogénea del caldo se entiende a la relación entre la cantidad de producto que se deposita en la espiga respecto a la hoja bandera. Esta variable se basa en la capacidad que tiene cada pastilla para lograrlo. El objetivo del mismo es realizar un efectivo

control de enfermedades en ambas partes (espiga y hoja bandera). Se toma como referencia el valor de 1 como el ideal, donde el 50% del caldo aplicado se deposita en la hoja bandera, y el otro 50% en la espiga.



**Figura 20** – Comparación entre las uniformidades de distribución para las distintas pastillas. El valor 1 es el ideal. Abanico: abanico plano 11002; Cono hueco: cono hueco TXA 8002; 3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002; 3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002.

Al visualizar la figura 18, observamos la mayor homogeneidad para la pastilla abanico plano, dado por su valor de uniformidad de distribución más cercano a 1, seguido de 3030, cono hueco, y 3070. En forma contraria, la escasa homogeneidad de distribución de 3070 podría ser atribuida a su diseño de doble abanico con angulación asimétrica, donde la mayor parte del caldo es destinado para la espiga respecto a la hoja bandera. Asimismo, Parkin et al. (2006), recomiendan realizar las aplicaciones con boquillas en ángulo volcado hacia atrás y con gotas de tamaño medio o pastillas de aire inducido ya que mejorarían la deposición de fungicidas en las espiguillas. Por otro lado, Derksen et al., (2010) encontraron que la inclinación de la pulverización a 30° hacia adelante incrementó la deposición sobre la espiga, viéndose reducidos los depósitos en las hojas bandera, sin encontrarse diferencias significativas. En acuerdo con ello Halley et al., (2010), Wolf & Caldwell (2004) y Wolf & Peng (2011), encuentran mayores depósitos en la espiga con angulaciones de 30°, 60° y 60° hacia adelante respectivamente. Este diseño podría ser justificado para enfermedades donde el sitio de acción del agente causal sea la espiga, como ocurre con la Fusariosis de la espiga.

Respecto al resto de las pastillas, se observan valores semejantes y cercanos al óptimo de uniformidad de distribución.

En función de lo expresado rechazamos la tercera hipótesis, donde el menor valor de uniformidad de distribución (el más cercano al óptimo) es para la pastilla abanico plano.

## **CONCLUSIONES**

En la espiga se obtiene una menor cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$ , DVM, amplitud relativa, cobertura y depósito que en la hoja bandera.

La angulación de  $70^\circ$  hacia atrás de la pastilla AI 3070 logra mayor cantidad de depósito de caldo frente a angulaciones de  $30^\circ$  de la pastilla 3030 para el tratamiento preventivo de enfermedades fúngicas en la espiga.

La pastilla abanico plano fue la que presentó la mayor uniformidad de distribución entre la espiga y la hoja bandera.

La metodología de tarjetas hidrosensibles y procesamiento de imágenes sobreestima la eficiencia de aplicación, principalmente para las pastillas con inducción de aire.

La pastilla AI 3070 con inducción de aire no alcanza la cantidad de impactos  $\text{cm}^{-2}$  recomendadas en la espiga para aplicaciones con fungicida de contacto.

El uso de trazador Azul Brillante, resulta ser un método de mayor confiabilidad respecto a la utilización de tarjetas hidrosensibles y software de análisis de las mismas, al momento de evaluar la tasa de recuperación.

## BIBLIOGRAFÍA

**Alberione, E.J.** 2011. Principales enfermedades foliares en trigo. Disponible en: <http://inta.gov.ar/documentos/principales-enfermedades-foliares-en-trigo> INTA EEA Marcos Juárez. Último acceso: 27/09/2017.

**Antuniassi, U.R. & W. Boller.** 2011. Tecnologia de aplicação de fungicidas. *Tecnologia de aplicação para culturas anuais*. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF. p. 221-229.

**ASABE.** 2004. Spray nozzle classification by droplet spectra. ASABE Standards S572, 51st Edition. St Joseph, Michigan: ASAE.

**ASAE S 572-1.** 2009. Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. Published by the American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan.

**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. p. 39 - 54.

**Albuz.** 2016. Catálogo 2016. Disponible en: [http://albuz-spray.com/images/file/cat\\_SP\\_albuz\\_08\\_03\\_16\\_V2.pdf](http://albuz-spray.com/images/file/cat_SP_albuz_08_03_16_V2.pdf). Último acceso 22/8/2017.

**Andef.** 2004. Manual de tecnología de aplicação de productos fitossanitários. 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: 11/7/2017.

**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. EEA Marcos Juárez. INTA Marcos Juárez. Disponible en: [http://inta.gov.ar/sites/default/files/inta\\_mj\\_trigo2016\\_1](http://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_mj_trigo2016_1). Último acceso: agosto 2016.

**Balan, M.G., O. Abi Saab & C. Silva.** 2004. Deposição de tres pontas de pulverização em diferentes horarios. En: *Anales del III Sintag - Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos – Botucatu/SP- Brasil*. pp. 96-99.

**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, v.42, n.12, p. 2185-2191.

**Bauer, F.C. & C.G. Raetano.** 2004. Distribuição volumétrica de calda produzidas pelas pontas pulverização XR, TP e TJ sob diferentes condições operacionais. *Planta Daninha*, v. 22, n. 2, p. 275-284.

**Bolsa de Cereales de Buenos Aires.** 2016. Panorama Agrícola Semanal. Disponible en: [www.bolsadecereales.com/descargar-documento1-0/pass-descargar](http://www.bolsadecereales.com/descargar-documento1-0/pass-descargar). Último acceso: 30/8/2016.

**Capozucca R.C.** 2015. Evaluación de la penetración de las gotas y de la deriva con el uso de diferentes pastillas en aplicaciones terrestres. Trabajo final de carrera para obtener el título de Ingeniero Agrónomo.

**Charbonnier G, N. Nadal & P. Lafluf.** 2011. Efecto del tipo de boquilla y tasa en las aplicaciones para el control de enfermedades en trigo. Tesis de grado, Diploma en Agronomía. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/123456789/9681/1/3679cha0.pdf>. Último acceso: 27/02/2017.

**Cunha, J.P.A.R., E.A.C. Moura, J.L. Silva Júnior, F.A. Zago & F.C. Juliatti.** 2008. Efeito de pontas de pulverização no controle químico da ferrugem da soja. *Engenharia Agrícola*. vol.28 no.2.

Disponível em: [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 acesso: 1/6/2017.

**Cunha J.P.A.R., M.M. Teixeira & H.C. Fernandes.** 2007. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulica utilizando a técnica da difração do raio laser. Engenharia Agrícola, v. 27, p. 10-15. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237581513\\_Avaliacao\\_do\\_espectro\\_de\\_gotas\\_de\\_pontas\\_de\\_pulverizacao\\_hidraulicas\\_utilizando\\_a\\_tecnica\\_da\\_difracao\\_do\\_raio\\_laser](https://www.researchgate.net/publication/237581513_Avaliacao_do_espectro_de_gotas_de_pontas_de_pulverizacao_hidraulicas_utilizando_a_tecnica_da_difracao_do_raio_laser). Último acesso: 20/09/2017.

**Cunha J.P.A.R., M.R. Bueno & M.C. Ferreira.** 2010. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. Planta Daninha, 28:1153-1158.

**Derksen, R.C., P. Pierce, H.E. Ozkan & H. Zhu.** 2010. Field evaluations of application techniques for fungicide spray deposition on wheat and artificial targets. Written for presentation at the 2010 ASABE Annual International Meeting Sponsored by ASABE David Lawrence Convention Center Pittsburgh, Pennsylvania.

**Díaz, M., S. Pereyra, S. Stewart & J. Mieres.** 2002. Fusariosis de la espiga en trigo y cebada. INIA La Estanzuela. Hoja de Divulgación N° 79. Disponível em: [http://www.inia.uy/Documentos/INIA%20La%20Estanzuela/INIA\\_guia%20manejo%20FE%20trigo%202014\\_web%20%281%29.pdf](http://www.inia.uy/Documentos/INIA%20La%20Estanzuela/INIA_guia%20manejo%20FE%20trigo%202014_web%20%281%29.pdf). Último acesso: outubro 2017

**Domper G.N., R. Balbuena & M. Mur.** 2015. Eficiência de aplicação de pastilhas de pulverização com indução de ar em el cultivo de soja. Disponível em: <http://www.agro.unlp.edu.ar/revista/index.php/revagro/article/view/280/171>. Volume 113 (2): 202-210. Último acesso: 11/12/2017.

**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.

**Etiennot A.E.** 1993. Pulverizaciones terrestres. En: Jornada "Aplicación Terrestre" los días 12 y 13 de agosto de 1993. Secretaría de Extensión Universitaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Santa Fe. 20 pp.

**Etiennot A.E. & A. Piazza.** 2010. Buenas prácticas de aplicación en cultivos planos extensivos. Distancias a zonas urbanas. Criterios y soluciones. Acta toxicológica Argentina. 18 (2): 40 – 53. Disponível em: <http://www.scielo.org.ar/pdf/ata/v18n2/v18n2a02.pdf>. Último acesso: agosto 2017

**Leavers A.** 2001. Guías sobre Buenas Prácticas para la Aplicación Terrestre de Plaguicidas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma, 2001. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/006/Y2767S/Y2767S00.HTM>. Último acesso: diciembre 2017

**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 (2016), p. 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.

**Halley, S., E.G. Van, V. Hofman & K. Misk.** 2010. Best methods for applying fungicides to grain heads using air-assist sprayers. North Dakota State University Extension Service Circular AE1480. <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/ageng/machine/ae1480.pdf>. Último acesso: 20/09/2017.

**Halley, S., E.G. Van, V. Hofman, S. Panigrahi & H. Gu.** 2008. Fungicide deposition measurement by spray volume, drop size, and sprayer system in cereal grains. Applied Engineering in Agriculture 24(1):15–21. Disponível em: <http://libcatalog.cimmyt.org/Download/reprints/98500.pdf> Último acesso: 20/09/2017.

- Hypro.** 2015. Hypro Guardian Air Twin. Hypro LLC, 375 Fifth Avenue, New Brighton, MN 55112, USA. Disponible en: <https://hypro.pentair.com/~media/websites/fluid%20motion/downloads/misc/476%20%20spray%20nozzle%20guide%20accordion%20fold%20brochure0515.pdf>. Último acceso: 11/12/2017.
- Inostroza Fariña J.** 2009. Manual de Papa para la Araucaria: Manejo de Plantación. Instituto de Investigación Agropecuaria, Ministerio de Agricultura Centro Regional Carillanca. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36470>. Último acceso: 11/7/2017.
- Larragueta, O.** 1985. Picos pulverizadores. Boletín de Pulverizaciones Agrícolas, Publicación Número 2. Departamento de Ingeniería Rural, INTA Castelar - Barbuy S.A., Buenos Aires. 3 pp.
- Leiva, P. D.** 1995. Manejo de la deriva en la aplicación de agroquímicos. INTA, EEA Pergamino, Serie: Generalidades, Tomo XIV, 6 pp.
- Leiva, P.D.** 2010. Concepto de Calidad de Aplicación en pulverización agrícola. EEA Pergamino. INTA 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: septiembre 2016
- 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: 6/7/2017.
- 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, Diploma en Agronomía. Universidad de la República, Paysandú, Uruguay. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/bitstream/123456789/1870/1/00931op.pdf>. Último acceso: 26/11/2016
- Marquez, L.** 2005. El control de la deriva en la aplicación de fitosanitarios. Las boquillas de baja deriva. Blake and Helesy España S.L.. Dr. Mingo Alsina 4-258250 Torrelodones, Madrid, año VIII número 4.
- Miller, P.C.H., A.G. Lane & H.C. Wheeler.** 2002. Optimising fungicide application according to crop canopy characteristics in Wheat. HCGA Project Report No. 277, 32 pp.
- 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. London: HGCA. (Project Report; 297). Disponible en: <http://www.hgca.com>. Último acceso: octubre 2016
- 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. Página 19. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1375/1/18429170314125051.pdf>. Último acceso 26/11/2016.
- 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: Editora do Autor. 101 p.
- 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. International Advances in Pesticide Application.
- 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
- Ramos, H., J.M.F. Dos Santos, R.M. De Araújo & T.M. Bonachela.** 2006. Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. São Paulo: ANDEF. Campinas, SP, 2004. 52p
- Scholz, R.** 2011. Principales enfermedades del trigo y su manejo. Disponible en: <http://www.abc.com.py/articulos/principales-enfermedades-del-trigo-y-su-manejo-247675.html>. Último acceso: 30/8/2016.
- Souza, R., R. de Castro & L.A. Palladini.** 2007. Depósito de pulverização com diferentes padrões de gotas em aplicações na cultura do algodoeiro. Spray leaf deposition from different nozzles and drop patterns in late season applications on cotton plants. *Engenharia Agrícola*. vol.27 no.spe Jaboticabal Jan. Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162007000200011](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162007000200011). Último acceso: 23/5/2017.
- Spraying Systems Co.** 2017. Catálogos Teejet. (CAT 51A-ES.) Spraying Systems Company, Wheaton, Illinois. USA. [http://teejet.it/media/427750/cat51\\_spanish.pdf](http://teejet.it/media/427750/cat51_spanish.pdf). Último acceso 22/08/2017.
- Stefanelo, M.S., B.G. Sari, G. Lenz, A. Arrué, M.P. Pes & I.F.D. Costa.** 2014. Caracterização da pulverização de fungicida na cultura do trigo com pontas hidráulicas e atomizadores rotativos de discos. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.34, n.5, p. 1012-1018.
- Sugliano, G.** 2013. Manejo de enfermedades del trigo. Disponible en: [http://testing.profertel.com.ar/nutrientes/public\\_html/\\_produccion/novedades/articulo/manejo-de-enfermedades-del-trigo](http://testing.profertel.com.ar/nutrientes/public_html/_produccion/novedades/articulo/manejo-de-enfermedades-del-trigo). Último acceso: 30/08/2016.
- 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.
- Tu, Y.Q., Z.M. Lin & Y.J. Zhang.** 1986. The effect of leaf shape on the deposition of spray droplets in rice. *Crop Protection* 5:3–7.
- Villalba, J., J.J. Olivet, M.E. Cassanello, O. Bentancur & J.P. Cunha.** 2011. Evaluación de la deposición de boquillas de aplicación para el control de Fusariosis en trigo. *Agrociencia Uruguay - Volumen 15.* Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/agrociencia/index.php/directorio/articulo/view/87/45>. Último acceso: 27/4/2017.
- Villar de Galich, M.T.** 2002. Fusariosis de la espiga. INTA EEA Marcos Juárez. Disponible en: <http://www.redagraria.com/divulgaci%F3n%20t%E9cnica/articulos%20de%20dt/fusariosis.html>. Último acceso en: 30/08/2016.
- Western, N.M., E.C. Hislop, P.J. Herrington & S.A. Woodley.** 1985. Relationships of hydraulic nozzle and spinning disc spray characteristics to retention and distribution in cereals. In: *British Crop Protection Council Monograph No. 28. Symposium on Application and Biology* (Ed. by E. S. E. Southcombe) pp. 191-199, BCPC, Croydon, UK.
- Wirth, W., S. Storp & W. Jacobsen.** 1991. Mechanisms controlling leaf retention of agricultural spray solutions. *Pesticide Science* 33:411–420.
- Wolf, T.M.** 2005. Maximizing spray deposition on wheat heads: effects of nozzle angle, nozzle type, travel speed, and double nozzle. 12th Annual Conference of the Southern Alberta Conservation Association (SACA), Lethbridge, AB.

**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. 78 páginas.

**Wolf, T.M. & G. Peng.** 2011. Improving Spray Deposition on Vertical Structures: The Role of Nozzle Angle, Boom Height, Travel Speed, and Spray Quality (pp 67-72). 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: 21/09/2017.

**Xie, H.S., B.C. Caldwell, W.A. Hsiao, W.A. Quick & J.F. Chao.** 1995. Spray deposition of fenoxaprop and imazethabenz on wild oat (*Avena fatua*) as influenced by environmental factors. *Weed Science* 43:179–183.

**Zadocks, J.C., Chang T.T. & C.F. Konzac.** 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed 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.