



Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Trabajo Final de Carrera

***“Prestación de pastillas e incidencia de coadyuvante
en la aplicación sobre cereales de invierno”***

Alumno: Bracco, Maximiliano

Legajo: 26787/8

Correo electrónico: bracomaximiliano@hotmail.com

Director: Ing. Agr. Matilde Mur

Co-director: Ing. Agr. Mariano J. Ponce

Fecha de presentación: 28/12/2021

Tabla de contenido

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	4
HIPOTESIS	15
Hipótesis básica.....	15
Hipótesis de trabajo	15
OBJETIVOS	16
Objetivos generales	16
Objetivos específicos	16
MATERIALES Y METODOS	16
Lugar del ensayo	16
Equipo utilizado.....	17
Características del caldo	19
Metodologías de evaluación	20
Variables experimentales.....	21
Diseño experimental	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
Condiciones ambientales	23
Comportamiento de las variables experimentales	25
Metodologías de análisis – Determinación de la Eficiencia.....	31
Uniformidad de distribución	33
CONCLUSIONES.....	35
BIBLIOGRAFIA.....	36

RESUMEN

Las enfermedades fúngicas en los cereales de invierno ocasionan pérdidas importantes en rendimiento y calidad de los granos. El éxito en las aplicaciones depende de varios factores tales como la elección del fungicida, el momento de aplicación, la correcta selección del pico pulverizador y las condiciones climáticas al momento de la aplicación. En este sentido, los coadyuvantes deben considerarse como herramientas de manejo que mejoran el nivel de desempeño de los fitosanitarios. En función de ello, se realizaron pruebas para evaluar el desempeño de diferentes diseños de boquillas y la adición de un coadyuvante al caldo de aplicación, sobre un cultivo de trigo en etapa de anthesis temprana (estado Z61). Se ensayaron tres diseños de pastillas, abanico plano convencional (AP), cono hueco convencional (CH) y doble abanico asimétrico con inducción de aire (DA). Cada una de ellas fue evaluada con agua y con la mezcla de agua y un coadyuvante multifuncional, sobre la espiga y la hoja bandera. Se utilizaron tarjetas hidrosensibles y el programa CIR 1.5® para la determinación de densidad de impactos (imp cm^{-2}), diámetro volumétrico mediano (μm), cobertura (%) y eficiencia (%). Esta última fue contrastada con la determinación de la tasa de recuperación mediante la metodología colorimétrica con el trazador Azul Brillante. De los resultados se desprende que las pastillas con proyección del líquido con un ángulo respecto a la normal de la superficie del cultivo mejoran la uniformidad de distribución entre la espiga y la hoja bandera. El agregado del coadyuvante multifuncional modifica el espectro de gotas, al disminuir el tamaño de su población por una reducción de la tensión superficial del caldo. La metodología de evaluación a través del método del trazador realiza una valoración más precisa del volumen de líquido recuperado sobre las espigas que la evaluación con tarjetas hidrosensibles.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

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

La pulverización es la forma más difundida de fitoterápicos, pero su uso es complejo, no solo desde el punto de vista agronómico, sino también por todo aspecto que involucra la preservación del medio ambiente y la salud humana (Onorato & Tesouro, 2004). En este sentido, la práctica de pulverización debería ser realizada con el concepto de aplicación de plaguicidas, definida como el empleo de todos los conocimientos científicos necesarios para que un determinado fitoterápico llegue al blanco, en cantidad suficiente para cumplir su cometido sin provocar contaminación ni deriva. Esto requiere trabajar con un enfoque sistémico, integrador, que contemple el análisis y la interacción de múltiples variables, tal como fuera definido por diferentes autores (Bertalanffy, 1968).

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

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

De acuerdo a Leiva (2010), 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. La pulverización es una tecnología de procesos que tiene un costo intelectual y

requiere habilidad para manejarla. Para identificar con mayor claridad dónde se encuentra el factor limitante, se la puede dividir en cuatro etapas: aspersión, aplicación, absorción y degradación. El producto primeramente es asperjado, entendiéndose por tal todo lo que sale por los picos aspersores; luego es aplicado, siendo esto lo que llega al lugar donde se encuentra el objeto del tratamiento (insecto, maleza o inicio de una enfermedad). Aquello que se interpone en el proceso se llama barrera de la aplicación. La cuantificación de la aspersión se mide en volumen, y consecuentemente en dosis por hectárea; la aplicación se verifica por el número de gotas por centímetro cuadrado (por medio de tarjetas hidrosensibles) y/o la recuperación del fitosanitario (por cromatografía). Posteriormente, el fitosanitario se debe absorber (un herbicida en la hoja de la maleza, un fungicida en la hoja del cultivo, y un insecticida en la hoja o cutícula del insecto, según modo de acción prevalente). Para ello, además debe llegar y permanecer soluble mientras dure el proceso, no es suficiente registrar las gotas. Se requiere verificar el grosor de la cutícula y la presencia o no de ceras (debido a una condición natural del vegetal o un engrosamiento debido a condiciones de stress hídrico). En esta etapa la barrera a vencer se denomina de absorción. El fitosanitario es disuelto en agua y allí se inicia su degradación (por hidrólisis y/o mezcla con otros productos). Esta depende de 4 factores claves: la sensibilidad del producto, el pH del agua, la presencia de ciertos cationes, y el tiempo transcurrido entre la aspersión y la llegada del fitosanitario al sitio donde ejerce su acción. En este caso la barrera a vencer es la degradación, la que amenaza la integridad física del fitosanitario. Finalmente, una determinada cantidad del principio activo llega al sitio de acción y la plaga es controlada. Todo este proceso es lo que denominamos calidad de aplicación; y por lo tanto no debemos conformarnos con calibrar correctamente un equipo de aspersión (pulverizador terrestre o avión). No se trata de un proceso exclusivamente mecánico, consta de una importante "cuota de conocimiento agronómico" aplicado al monitoreo para la toma de decisiones según circunstancias dadas.

Por otro lado, y como se definió anteriormente, la calidad de aplicación está en función de la cantidad de principio activo que se haya depositado sobre el blanco con una determinada cobertura dada por el número de gotas por cm^2 y

el tamaño de las mismas que resulte acorde al tipo de producto empleado. Es condición, además, la persistencia del producto en una forma absorbible sobre la superficie objetivo. En este sentido, los insecticidas y fungicidas de contacto requieren una cobertura mínima de 50 gotas cm^{-2} (Balardin et al., 2001; McCracken, 2004; Bonini, 2004; Gandolfo et al., 2004). Esto resulta aún más importante en la aplicación de fungicidas donde su acción es básicamente preventiva de una infección en toda la extensión de la canopia (Larragueta, 1985). Los productos sistémicos en cambio, se traslocan dentro del organismo resultando suficiente que sólo una parte del mismo reciba el plaguicida, por lo que admiten un menor número de IC y por consiguiente un menor porcentaje de cobertura (COB, %). Al respecto, Márquez Delgado (2008) afirma que, como norma general, se recomiendan para herbicidas de preemergencia realizar aplicaciones con un mínimo de 20 a 30 gotas cm^{-2} con un Diámetro Volumétrico Mediano (DVM) de 400–600 μm , mientras que para herbicidas de postemergencia (contacto) el número de IC asciende a 30 - 40 gotas cm^{-2} con un DVM de 200–400 μm .

La pulverización hidráulica es la forma más utilizada en cultivos extensivos para la aplicación de fitosanitarios. El proceso de formación de gotas en este tipo de máquinas se da por el paso del líquido a cierta presión a través de un orificio calibrado en las pastillas, realizando a partir de la energía cinética del líquido el transporte de los diferentes productos al objeto de aplicación. La cantidad y el tamaño de gotas obtenidas es conocido como espectro de distribución (Magdalena et al., 2000). Este resulta ideal cuando permite controlar la plaga en cuestión con la mínima cantidad de producto, preservando la seguridad de las personas y el ambiente (Smith et al., 2000). Un mismo volumen puede dispersarse en gotas grandes o pequeñas. Las gotas grandes tienen la ventaja de descender rápidamente y estar menos expuestas a la deriva por viento y por evaporación. Su principal desventaja es la reducción de deposición y adherencia sobre la superficie vegetal, pudiendo rebotar contra las hojas y caer al suelo en forma directa, o deslizarse y juntarse con otras gotas formando gotas aún más grandes acumulándose en las puntas de las láminas o cayendo finalmente de ellas. Este tamaño de gota tiene un solo sentido de movimiento, hacia abajo. Junto con la gota cae parte del plaguicida dosificado, factor que

agrava la situación porque las gotas grandes transportan más plaguicida que las gotas pequeñas. A igualdad de volumen, es menor el número de IC que se puede lograr con gotas grandes (Etiennot, 1993). Por lo contrario, las gotas pequeñas mejoran la retención por parte de las hojas, la cobertura, ofreciendo también una mejor penetración en el cultivo, y la posibilidad de alcanzar la cara inferior de las hojas, tallos, etc. Su principal desventaja es que por su menor peso están más propensas a ser transportadas por el viento (deriva) y por su elevada superficie expuesta en relación al volumen, a sufrir una intensa evaporación antes de depositarse. La práctica indica que, trabajando con agua como vehículo, gotas menores de 150 μm están muy expuestas a la evaporación y deriva, y aquellas mayores de 350 μm no proveen una adecuada cobertura y caen generalmente al suelo arrastrando con ella al agroquímico. Se considera que un adecuado balance se obtiene utilizando gotas entre 200-250 μm de diámetro (Leiva, 1995).

Por todo lo expuesto, se desprende que aquellos tratamientos que requieran un efecto de contacto y de penetración en la canopia deban hacerse con un menor tamaño de gotas y mayor número de ellas que aquellos realizados con productos traslocables, que sólo requieren alcanzar una parte de la superficie a tratar (Larragueta, 1985). Sin embargo, las condiciones existentes bajo siembra directa de cultivos pueden modificar las recomendaciones de carácter general. A veces, la masa de residuos constituye una barrera para que los productos alcancen el objeto de aplicación. En dichas circunstancias, puede ser necesario recurrir a aplicaciones con gotas pequeñas, aunque se apliquen productos sistémicos.

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

Dentro de los factores que inciden sobre la deriva, podemos agruparlos en aquellos que corresponden a las características de la aspersion, al equipo y

técnicas de aplicación, a las condiciones de tiempo atmosférico y a los equipos y accesorios específicos (Leiva, 1995). Nuyttens (2007) destaca que las características de la aspersión afectan la deriva a través del tamaño de gotas; a menor tamaño la velocidad de caída es menor, mayor la evaporación por mayor superficie expuesta en relación al volumen transportado que reduce progresivamente el tamaño de la gota durante su caída. Por lo tanto, a mayor tiempo de permanencia en suspensión en el ambiente, las probabilidades de las gotas de ser transportada por el viento se incrementan. A iguales condiciones de humedad relativa ambiente y temperatura, 50% de HR y 30°C, una gota de 200 μm demora 42 segundos en reducirse a la mitad, mientras que una de 100 μm tarda sólo 14 segundos en evaporarse completamente (Walla, 1980). La combinación de gotas pequeñas, viento, baja humedad relativa y temperatura ambiente elevada, puede provocar graves pérdidas de producto. En relación a los efectos negativos de los procesos de exoderiva por viento, Etiennot (1990), menciona la existencia de reglamentaciones que prohíben la aplicación de plaguicidas con vientos superiores a los 15 Km h^{-1} , condición que debe respetarse escrupulosamente cuando en el sentido del viento se encuentren cultivos sensibles a herbicidas. Costa et al., (1979) también indican como límite una velocidad de viento de 15 km h^{-1} en general, sin considerar cuestiones agronómicas específicas. Sin embargo, los cambios acontecidos en la tecnología de aplicación de productos agroquímicos han producido modificaciones en estos aspectos. Etiennot & Piazza (2010) estiman que dicho valor podría considerarse como límite máximo en zonas próximas a urbanizaciones, cuerpos o fuentes de agua y cultivos sensibles, debiendo ser, además, el sentido del viento, contrario a estas zonas sensibles. Las normativas vigentes a nivel de la República Argentina varían actualmente a nivel provincial y municipal. Por lo general, no especifican mayores restricciones en relación a la velocidad del viento para las aplicaciones alejadas de los centros urbanos, sino que las mismas son limitadas a que no se realicen aplicaciones en condiciones ventosas. En algunas ocasiones, se indica que deben respetarse las condiciones indicadas por el fabricante del producto fitosanitario. Sin embargo, en las etiquetas de los productos vuelven a quedar sin mayores precisiones aquellos aspectos relacionados a las condiciones

atmosféricas al momento de aplicación. Por ejemplo, la etiqueta del glifosato indica como medida precautoria general, entre otros aspectos “mezclar el producto al aire libre. No pulverizar en días ventosos”. En otras ocasiones, el nivel de detalle es mayor. Por ejemplo, en el caso del Programa Provincial de Uso Racional de Agroquímicos, Ley 4073 de biocidas y agroquímicos de Chubut, se recomiendan como medidas de seguridad que no se apliquen pesticidas cuando el viento es mayor a 10 Km h^{-1} .

Según Márquez Delgado (2008), la velocidad del viento atmosférico puede dificultar que el tratamiento sea correcto, perdiéndose por deriva una buena parte del producto. Para evitarlo recomienda utilizar boquillas adecuadas que consigan una pulverización fina para el caso de viento en calma o brisa muy ligera, o pulverización gruesa cuando se superen los 5 a 6 m s^{-1} (18 a $21,6 \text{ km h}^{-1}$) de velocidad del viento. Si el viento supera los 7 m s^{-1} ($25,2 \text{ km h}^{-1}$) se debe evitar la aplicación. A mayor humedad ambiente se reducen los efectos por evaporación provocados por las altas temperaturas. Como límite de seguridad puede establecerse el no efectuar tratamientos con plaguicidas líquidos a más de 25°C de temperatura y humedad relativa inferior al 60% (Walla, 1980; Etiennot, 1990).

La formulación del plaguicida, a través de la volatilidad de los disolventes, afecta la evaporación potencial de las gotas. A su vez, el agua como medio dispersante, favorece la evaporación en comparación a diluyentes oleosos. Si a esto le agregamos que, la superficie vegetal presenta como dificultad para la adherencia, una capa de cera más o menos gruesa que favorece el escurrimiento y la coalescencia de las gotas por resbalamiento, y a veces pelos más o menos largos y densos que dificultan el contacto con la epidermis (Etiennot, 1993). Estos fenómenos originan, cuando el dispersante es agua, efectos de alta tensión superficial que hacen que las gotas adopten la forma esférica, con poca superficie de contacto, y tiendan a rodar.

Si se considera la cantidad de producto pulverizado en comparación con aquel que realmente alcanzó al objetivo a controlar, también llamado depósito, el proceso de aplicación puede ser considerado como poco eficiente (Courshee, 1960; Grahambryce, 1977). Sin embargo, aún deben considerarse otros aspectos que pueden afectar directamente la acción del producto, aunque este

se halle depositado en el objetivo. Entre ellos se puede mencionar la calidad del agua que se utiliza como vehículo del agroquímico. Su pH, la presencia de cationes y coloides repercuten sobre la capacidad biocida pudiendo afectar seriamente el tratamiento (Leiva, 2010; Papa & Massaro, 1999).

En este contexto, el uso de coadyuvantes en la aplicación de productos agroquímicos adquiere día a día mayor relevancia. Estas son sustancias que, agregadas en el tanque al caldo de pulverización, en forma separada a la formulación del pesticida, ayudan a mejorar la calidad en la aplicación (Hartzler, 2001; Hock 2011), maximizar la eficiencia de los plaguicidas, a través de la modificación de las propiedades fisicoquímicas y la reducción al mínimo de problemas potenciales, tales como incompatibilidad, cristalización y lavado, aumentando así la absorción de pesticidas (Sherrick et al., 1986). Además, el uso de adyuvantes en la pulverización puede mejorar en muchos casos el resultado de las aplicaciones ya que pueden aumentar la acción y la absorción del ingrediente activo sobre la superficie foliar (Ramsdale & Messersmith, 2001; Ryckaert et al., 2007), así como reducir la tensión superficial de las gotas (van Zyl et al., 2010), lo cual aumenta las posibilidades de retención de las mismas y el porcentaje de superficie cubierta del vegetal por el producto aplicado.

Vargas y Roman (2006) clasifican los adyuvantes en dos grandes grupos: los modificadores de las propiedades de la superficie del líquido denominados genéricamente como tensioactivos, esparcidores, humectantes, detergentes, dispersantes y adherentes entre otros y los aditivos, aceite mineral o vegetal, sulfato de amonio y urea, por ejemplo, que afectan la absorción debido a su acción directa en la cutícula y el metabolismo de la planta.

Por otra parte, Leiva (2013) cita que existen comercialmente 10 tipos de coadyuvantes: tensioactivo (también conocido como humectante o surfactante), emulsionante, adherente, penetrante, antievaporante, antideriva, antiespumante, secuestrante, acidificante y limpiador desincrustante. El mismo autor clasifica a los coadyuvantes según la carga que posean o por la estructura físico-química que estos tienen. Los hay aniónicos (carga negativa), catiónicos (carga positiva) y anfóteros (a veces con carga positiva y otras negativas, según condición de pH). La clasificación por estructura físico-

química permite separar tres grandes grupos: alcoholes etoxilados, nonil fenol (la mayoría de los coadyuvantes) y órgano siliconado.

Los tensioactivos, humectantes o surfactantes reducen la tensión superficial de la gota permitiendo aumentar la superficie de contacto y de esta manera se aumenta la absorción del principio activo. La intensidad de reducción de la tensión superficial varía con el tipo de coadyuvante; es máximo con órgano siliconados (22 dinas cm^{-1}) y menor con nonil fenol (32 dinas cm^{-1}).

En relación a los tensioactivos, cabe una aclaración con respecto a ciertos coadyuvantes denominados comercialmente como “polifuncionales”. Un ejemplo de esto puede ser el coadyuvante Rino® que se define como adherente, dispersante, emulsionante y humectante. Todas estas propiedades giran en torno a la capacidad del tensioactivo de reducir la tensión superficial de la gota y así permitir una mayor superficie de contacto entre la misma y el objetivo. También influyen sobre la formación de una emulsión estable y dispersa por el hecho de ser moléculas largas con una parte hidrofílica polar y otra hidrofóbica no polar, contribuyendo a “disolver” los aceites y grasas en agua.

Los adherentes están compuestos de resinas, látex o ligninas que promueven que la gota se haga más pegajosa. Los penetrantes disuelven la capa de cutina que recubre a las hojas, favoreciendo la penetración del caldo. Otro tipo de coadyuvante son los antievaporantes. Estos pueden ser alcoholes de cadena larga (polar o no polar) o aceites, los cuales producen el efecto de recubrimiento exterior de la gota con un anillo protector.

Los antiderivantes son poliacrilamidas que provocan una gota más viscosa y grande. Con solamente aumentar un 25% el diámetro, se duplica el peso de la gota. No obstante, cabe señalar que la consecuencia es una reducción de la cobertura y, por lo tanto, si esta ya es escasa, el antiderivante la reduce aún más. Existen también antiespumantes como fluorocarbonados, polixiloxanos, siliconas, aceites minerales o ácidos grasos, que evitan que el caldo retenga aire. Ciertas formulaciones o mezclas producen espuma (por ejemplo, algunas formulaciones de glifosato como Sulfosato) que con el agregado del antiespumante al agua se soluciona el problema. Las consecuencias de la espuma son básicamente tres: contamina el ambiente porque la espuma

rebalsa el tanque durante el llenado, no permite completar la carga y, dado que el aire es compresible, produce un flujo pulsante a nivel de pastillas.

Un último grupo lo constituyen los acidificantes y secuestrantes. Dentro de este grupo de coadyuvantes se encuentran el ácido fosfórico y los derivados del ácido EDTA (etilen diamina tetracético) que tienen la propiedad de corregir el agua (efecto buffer), regulando los valores de pH de la solución. Cabe recordar que las aguas en la Región Pampeana de Argentina tienden a valores neutros a levemente alcalinos (7 a 8.2), y que los plaguicidas tienen su mayor vida media a pH ácido (aproximadamente pH 5); por lo tanto, resulta conveniente acidificar previamente el agua para prolongar la residualidad de los tratamientos fitosanitarios. Para aguas duras (altas concentraciones de iones alcalino térreos, como calcio y magnesio), resulta necesario secuestrarlos o transformarlos en quelatos (anularles la carga eléctrica) de manera tal que no puedan reaccionar químicamente con los plaguicidas (Leiva, 2010).

Son varios los antecedentes que muestran el efecto que tienen los coadyuvantes en la interacción con los fitosanitarios y, consecuentemente, en la eficiencia de aplicación. La mayor parte de las investigaciones están orientadas a la evaluación de la eficiencia de aplicación, definida como la relación porcentual existente entre la cantidad de caldo realmente aplicado (depositado en el objeto) y la cantidad de caldo pulverizado por el equipo (Herrera et al., 2007) y los resultados han sido muy variables.

Butler Ellis et al., (1997) determinaron que la presencia de un tensioactivo en el agua provoca una disminución en el DVM respecto a la aplicación con agua pura. Similares resultados obtuvieron Miller & Butler Ellis (2000) quienes estudiaron el efecto de la presencia de un tensioactivo en el agua sobre la formación de gotas de una pastilla abanico plano.

Cid et al. (2009) evaluaron posibles interacciones entre dos coadyuvantes comerciales, un tensioactivo y un antiderivante, en las dosis mínimas y máximas recomendadas para cada uno. Los tratamientos fueron realizados en presencia y ausencia de viento, utilizando para la aplicación una pastilla de abanico plano convencional 8002 y agua como testigo. Los resultados mostraron interacción entre ambos productos, disminuyendo la mezcla la capacidad antiderivante. El uso de antiderivantes, inclusive en los casos que

era mezclado con tensioactivo, disminuyó siempre el porcentaje de deriva en relación con el agua, en tanto que, el uso de tensioactivo, tanto en la dosis mínima como en la máxima, incrementó significativamente la cantidad de líquido sujeto a la deriva. Sin embargo, la adición del tensioactivo a bajas dosis sobre el agua, disminuyó la deriva en forma contraria a lo esperado.

Por su parte, Dan et al., (2010) evaluaron la acción de diferentes adyuvantes polifuncionales sobre la eficiencia de control de *Digitaria insularis* con cuatro formulaciones diferentes de glifosato, siendo contrastadas con un testigo sin coadyuvante. Para ello se utilizó una mochila presurizada con CO₂ y 4 pastillas TT11002 ubicadas sobre una barra a 0,5 m entre sí. La adición de coadyuvantes multifuncionales al caldo de pulverización, independientemente del tipo de sal, no mostró beneficios significativos en el control de la maleza. La eficiencia de control al final del proceso fue superior al 97% para todos los tratamientos, sin un aumento en la velocidad de acción del herbicida con el agregado de coadyuvantes. Con respecto a esto, Bueno et al., (2013) estudiaron la deposición y el control de malezas mediante la aplicación de glifosato en diferentes volúmenes y la adición del coadyuvante nonil fenol etoxilado. Para la aplicación se utilizaron pastillas TT11001 y TT11002, y los volúmenes de aplicación fueron de 30, 60 y 150 l ha⁻¹, con y sin coadyuvante. En función de los resultados alcanzados, el uso del adyuvante causó cambios de pequeña magnitud sobre las propiedades físico-químicas de la solución, como así también un aumento no significativo de la acción del herbicida en los primeros días posteriores a la aplicación. Los menores volúmenes de aplicación (30 y 60 l ha⁻¹) proporcionaron mayores deposiciones en las malezas y menores pérdidas en el suelo. Sin embargo, independientemente de la utilización de coadyuvantes y de los volúmenes de aplicación, el glifosato siempre alcanzó buenos niveles de control.

Metzler et al. (2015) evaluaron la eficacia de la mezcla glifosato y saflufenacil con diferentes coadyuvantes y volúmenes de aplicación. Los menores volúmenes de aplicación fueron más eficaces independientemente de los coadyuvantes empleados, adjudicando estos resultados a la mayor concentración del principio activo por gota. Con respecto al control, el aceite

vegetal fue el de menor eficacia, independientemente de los volúmenes de aplicación utilizados.

de Souza et al. (2014) estudiaron los efectos de la adición de coadyuvantes al caldo de fungicidas para el control químico de las enfermedades foliares y de espiga de trigo. Las variables analizadas fueron, incidencia, severidad, productividad (granos/espiga) y retorno económico. Los coadyuvantes utilizados fueron un surfactante a base de oleo esencial de naranja y otro surfactante a base de lecitina y ácido propionico, solos y en combinación, contrastados con un testigo sin aplicar y otro tratamiento sin el agregado de coadyuvantes. Los resultados indicaron una disminución de la severidad y un aumento en la productividad, mientras que el retorno económico también se vio afectado positivamente por la incorporación de coadyuvantes.

García et al., (2016) evaluaron el efecto de la adición de dos coadyuvantes, metil éster de aceite de soja y éter laurílico a base de sulfato de sodio, sobre las características físico-químicas del caldo de aplicación y la severidad e incidencia de un fungicida sobre cultivos de trigo y soja. Los resultados obtenidos mostraron un efecto positivo de los coadyuvantes sobre la estabilidad y el pH del caldo, una disminución significativa de la tensión superficial y la ausencia de espuma. El éter laurílico redujo la incidencia en soja y la severidad en trigo.

Es evidente que al aumentar la eficiencia de las aplicaciones de biocidas en el ámbito rural se disminuye las pérdidas de producto, obteniéndose un mayor control del objetivo a tratar. Esto incide sobre el aspecto económico, con el real aprovechamiento de las dosis aplicadas y también sobre el marco ambiental, evitando la presencia de fitoterápicos en suelos y aguas (Mahler et al, 2002). Para las evaluaciones de la calidad de aplicación, se determinan variables como el número de impactos (IC), porcentaje de cobertura y eficiencia de recolección. Para la evaluación de la eficiencia de deposición y aplicación se utilizan diferentes metodologías entre las que se destaca por su frecuencia de uso, comodidad, disponibilidad y costo, las tarjetas hidrosensibles (Miguens, 1981). En los últimos años se han desarrollado diferentes formas de procesamiento digital de las tarjetas para su análisis. Entre ellas, el Cir 1.5® (Software para Análisis de Espectro de Pulverización) realiza una modelización

y predicción de la cantidad de producto depositado. Casal (2012) indica que la metodología presenta algunos inconvenientes en la evaluación de la eficiencia de recolección, principalmente con las pastillas de inducción de aire. El mismo, establece que la inconsistencia de los resultados es debida al aumento de superficie de la gota, con aire inducido, que produce una impronta mayor al volumen real de agua que la misma contiene.

Por otra parte, a nivel experimental, se utilizan trazantes fluorimétricos que permiten por medio de análisis químicos de laboratorio la determinación de la cantidad de producto efectivamente depositado sobre el objeto de aplicación (Cowell et al., 1988). Este método brinda una mayor exactitud de los resultados obtenidos.

HIPOTESIS

Hipótesis básica

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

Hipótesis de trabajo

- ✓ El uso de coadyuvante mejora significativamente la cobertura del objeto de aplicación.
- ✓ El agregado de coadyuvante modifica el espectro de gotas, independientemente del tipo de pastilla utilizada.
- ✓ La metodología de análisis a través del método del trazador fluorimétrico es más preciso en la determinación de la eficiencia de recuperación de líquido que la evaluación por medio de tarjetas hidrosensibles.
- ✓ Independientemente del uso de coadyuvante, la pastilla doble abanico 3070 logra una mayor uniformidad de distribución entre espiga y hoja bandera que la pastilla cono hueco, independientemente del uso de coadyuvante.

OBJETIVOS

Objetivos generales

- ✓ Aportar conocimientos tendientes al logro de una aplicación eficiente que permita reducir costos, como así también mitigar el impacto ambiental que generan las “malas aplicaciones”.

Objetivos específicos

- ✓ Evaluar la eficiencia de aplicación de las pastillas de cono hueco convencionales en comparación con las pastillas de doble abanico plano con inducción de aire.
- ✓ Evaluar el efecto del coadyuvante sobre la deposición del producto aplicado sobre el blanco.
- ✓ Evaluar la correlación que existe entre el método de las tarjetas hidrosensibles y el fluorimétrico, tendientes a la determinación de cantidad de caldo que llega al blanco.

MATERIALES Y METODOS

Lugar del ensayo

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Julio Hirschhorn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP), sobre un lote de trigo (*Triticum aestivum*) en estado de antesis temprana (Figura 1), estado Z6.1 de la escala de Zadocks (Zadocks et al., 1974). Sobre dicho cultivo se realizaron aplicaciones con la adición al caldo de un coadyuvante multifuncional marca comercial Rino®, el cual posee las siguientes características: adherente, dispersante, emulsionante, humectante y tensioactivo.



Figura 1. Cultivo de trigo en anthesis temprana estado Z6.1 de la escala de Zadocks et al., (1974). Se visualizan los estigmas de la espiga.

Equipo utilizado

El equipo utilizado para la aplicación fue un pulverizador hidráulico montado marca Hatsuta (Figura 2), con un tanque de 400 litros de capacidad, una bomba de pistones accionada por la toma posterior de potencia del tractor y un botalón de 3,15 metros de ancho de labor con portapicos múltiples de tres pastillas distanciados de 0,525 m. La altura de trabajo del botalón respecto a la espiga fue de 0,38 m, en función del distanciamiento entre pastillas y las condiciones climáticas durante el ensayo.



Figura 2. Equipo pulverizador hidráulico Hatsuta.

Se evaluaron cuatro diseños de boquillas, abanico plano 1102 (AP11002), cono hueco 8002 (CH8002) y doble abanico asimétrico con aire inducido 11002 (AI3070) que definieron los tratamientos y cada uno de ellas fue evaluada con agua y con la mezcla de agua y coadyuvante, estableciéndose así dos subtratamientos para cada una. Se establecieron dos objetivos de medición: uno vertical, la espiga, y otro horizontal, la hoja bandera (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos, subtratamientos y objetivos de medición con sus respectivas siglas de referencia.

Tipo de pastilla (Tratamiento)	Subtratamiento	Objetivo	Sigla
Abanico Plano convencional (AP11002)	Sin coadyuvante	Hoja bandera	APAHB
Abanico Plano convencional (AP11002)	Con coadyuvante	Hoja bandera	APCHB
Abanico Plano convencional (AP11002)	Sin coadyuvante	Espiga	APAE
Abanico Plano convencional (AP11002)	Con coadyuvante	Espiga	APCE
Cono Hueco convencional (CH8002)	Sin coadyuvante	Hoja bandera	CHAHB

Cono Hueco convencional (CH8002)	Con coadyuvante	Hoja bandera	CHCHB
Cono hueco convencional (CH8002)	Sin coadyuvante	Espiga	CHAE
Cono hueco convencional (CH8002)	Con coadyuvante	Espiga	CHCE
Doble Abanico con Aire Inducido (AI 3070)	Sin coadyuvante	Hoja bandera	DAAHB
Doble Abanico con Aire Inducido (AI 3070)	Con coadyuvante	Hoja bandera	DACHB
Doble Abanico con Aire Inducido (AI 3070)	Sin coadyuvante	Espiga	DAAE
Doble Abanico con Aire Inducido (AI 3070)	Con coadyuvante	Espiga	DACE

Para llevar adelante las pruebas se utilizaron boquillas nuevas, y previo a la realización de las aplicaciones, se procedió a los controles pertinentes de caudal para cada una. Para esto se utilizaron jarras graduadas de 1,5 l y un caudalímetro electrónico marca SpotOn Sprayer Calibrator®, modelo SC-1 con capacidad de medición de 0 a 3,8 l min⁻¹. La presión de trabajo del sistema se evaluó por medio de manómetro de precisión ajustándose a un valor de 300 kPa que se corresponde con un caudal de erogación de las boquillas de 0,8 l min⁻¹.

Características del caldo

Para el ensayo se fijó un volumen de 103 l/ha, en correlación con los volúmenes que se utilizan para tratamientos de fungicidas. La velocidad de trabajo fue de 2,46 m s⁻¹, la distancia entre pastillas de 0,525 m y el caudal de las pastillas de 0,8 l min⁻¹. Todas las aplicaciones se realizaron en iguales condiciones, efectuándose un total de 10 repeticiones, siendo aleatorizado el pasaje de la máquina pulverizadora en concordancia con los diferentes tratamientos y subtratamientos establecidos.

Para las aplicaciones se utilizó agua y se agregó un trazador de tipo alimenticio, Azul Brillante (FD&C Azul No.1). Con el objetivo de evaluar el

efecto de la adición de un aditivo a la mezcla, se incorporó un coadyuvante polifuncional marca Rino® en una dosis de 30 ml ml hl⁻¹, recomendada por el fabricante. El mismo es un concentrado soluble, compuesto por nonilfenol poli etilenglicol éter como principio activo que tiene las propiedades de actuar como surfactante, es decir, disminuir la tensión superficial del caldo y permitir que se adhiera y moje.

Metodologías de evaluación

Se utilizaron dos metodologías para la evaluación de los objetivos de aplicación, trazador colorimétrico y tarjetas hidrosensibles:

Metodología con el empleo de trazador

Para esta metodología se utilizó el trazador Azul Brillante (Brusselman et al., 2005) en una dosis de 150 gr HI⁻¹ de modo de evaluar la cantidad de sustancia depositada en la espiga mediante espectrofotómetro de absorción. Para ello, luego de realizada la aplicación, se procedió a recolectar las espigas, se lavaron con agua destilada, y se retiró el residuo de lavado para proceder a la lectura de absorbancia en una longitud de onda de 630 nm. Mediante una curva de calibración construida a partir de soluciones patrón, los datos de absorbancia se transformaron en concentración de solución (mg l⁻¹). En función del volumen de dilución de las muestras y de la densidad de espigas por hectárea, se determinó la cantidad de trazador retenido en el blanco expresado en g ha⁻¹. Conocida la concentración inicial del caldo en el tanque (mg l⁻¹) y la dosis de aplicación (l ha⁻¹), se calculó el porcentaje de depósito en la espiga.

Metodología con tarjetas hidrosensibles

Se cubrió la espiga con un tubo cilíndrico sobre el cual se colocaron 4 tarjetas hidrosensibles Syngenta® de 3" x 1" simulando las caras de la misma: anterior, posterior, derecha e izquierda en relación al sentido de avance de la máquina pulverizadora. Del mismo modo, se colocó 1 tarjeta sobre un soporte de hierro simulando la hoja bandera (Figura 3).



Figura 3. Disposición de las tarjetas hidrosensibles sobre el tubo cilindro y el soporte de hierro simulando la espiga y la hoja bandera, respectivamente.

Inmediatamente después de realizada la aplicación y de que las tarjetas se hayan secado, se las retiró y se las resguardó. En el gabinete, los papeles hidrosensibles fueron digitalizados mediante un scanner de mesa con una resolución de 1200 dpi y luego procesados por el software de análisis de imágenes CIR1.5[®]. El programa realizó el conteo y cálculo de las variables respuesta en cada tarjeta, sobre el promedio de cinco ventanas de medición de 1 cm² de superficie cada una ubicada aleatoriamente sobre la imagen digitalizada. Por otra parte, se efectuaron dos lecturas complementarias de cinco ventanas cada una, las cuales constituyeron las repeticiones de la lectura de cada tarjeta.

VARIABLES EXPERIMENTALES

Las variables respuesta bajo estudio fueron:

1. Cantidad de impactos (IC, impactos cm⁻²). Es el número de impactos por cm² de tarjeta analizada.
2. Diámetro Volumétrico Mediano (DV-0.5 o DVM, μm). El mismo hace referencia al diámetro de la gota que separa la población de gotas ordenadas de menor a mayor en dos mitades de igual volumen de líquido (Texeira, 2010)

3. Eficiencia (E, %) referida a la relación entre el volumen estimado efectivamente recogido en el objetivo y el volumen aplicado.
4. Cobertura (COB, %). Referida al porcentaje del área de la tarjeta cubierta por manchas
5. Amplitud relativa (AR). Es la relación entre los diámetros volumétricos ($DV_{0.9} - DV_{0.1}$)/ $DV_{0.5}$. La misma es un indicador del grado de homogeneidad en el tamaño de la población de gotas.

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue factorial de 3x2 con 10 repeticiones completamente aleatorizadas. Los factores utilizados fueron tres diseños de pastillas: abanico plano convencional (AP11002), doble abanico asimétrico con aire inducido (AI3070 11002) y cono hueco convencional (TXA8002); cada uno con dos niveles, con (C) y sin coadyuvante (A) multifuncional Rino®. Los resultados se procesaron estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) y la significancia de las diferencias se cuantificaron a partir del Test de LSD ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones ambientales

Las condiciones atmosféricas al momento de realizar el ensayo se visualizan en la figura 4. Las mismas muestran pequeñas variaciones en los diferentes momentos de realización del ensayo, pero sin condicionar de manera significativa la aplicación.

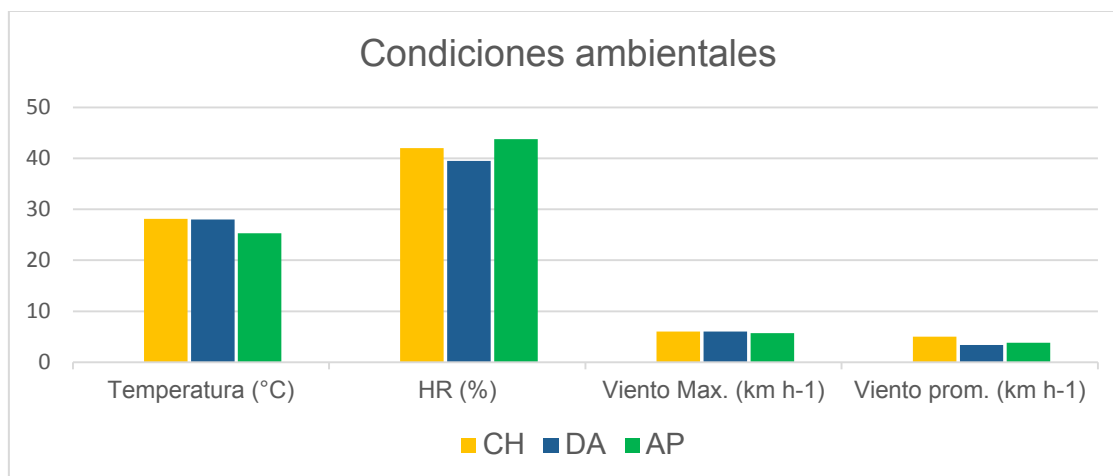


Figura 3. Condiciones atmosféricas al momento de realizar el ensayo. Temperatura (°C); HR (%): Humedad Relativa; Viento Max. (km h⁻¹): velocidad máxima del viento. Viento prom. (km h⁻¹): velocidad promedio del viento. CH: cono hueco 8002; DA: doble abanico plano con aire inducido 3070; AP: abanico plano convencional.

Las condiciones ambientales recomendables para aplicar de forma segura, varían mínimamente entre autores. Respecto a la variable temperatura, se la debe analizar en forma conjunta con la humedad relativa, ya que cuando la humedad relativa es alta, la gota sufre en menor medida el proceso de evaporación. Leiva (2015), establece como límite crítico de humedad un 50% cuando los trabajos se realizan con equipo terrestre y recomienda el uso de antieaporante en trabajos con menor humedad. El mismo autor menciona que la influencia negativa de las altas temperaturas se produce con menos del 40 % de humedad. Por otro lado, Andef (2004), establece como condiciones límites para una pulverización: humedad relativa del aire mínima del 55%, velocidad del viento de 3 a 10 km h⁻¹, y una temperatura inferior a los 30°C.

En relación a lo antedicho, se concluye que en todos los tratamientos hubo evaporación ya que los porcentajes de humedad relativa fueron inferiores al 45%. Hay que destacar que estas condiciones ambientales afectan

fundamentalmente a las gotas finas (entre 106 μm y 235 μm , según ASABE S572.1, 2009) o menores, que por su de menor tamaño y mayor superficie expuesta, son más propensas a evaporarse y no alcanzar el objetivo. En acuerdo con ello, Balan et al., (2004) encuentran 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 entre los valores establecidos por FAO (2002), entre 3 y 15 km h^{-1} . Por otro lado, Etiennot et al., (2010), indican que en ausencia total de viento no es aconsejable realizar una aplicación debido a la elevada probabilidad de condiciones de inversión térmica, pero, por el contrario, tampoco son apropiados vientos excesivos ya que pueden maximizar la exoderiva.

En función de lo mencionado anteriormente, las condiciones ambientales de temperatura y velocidad del viento del ensayo resultaron aceptables, ya que se registraron valores de 25°C y de 4 a 11 km h^{-1} . Sin embargo, no ocurrió lo mismo con la humedad relativa que se registraron valores inferiores al 45%, es decir menores al límite establecido.

Comportamiento de las variables experimentales

La variable respuesta IC presentó interacción significativa entre pastilla y objetivo, lo que implica un comportamiento diferente de las pastillas en la espiga y en la hoja bandera. Es por esto que fue necesario particionar el análisis para determinar qué es lo que sucede en la espiga y lo propio para la hoja bandera. Esta diferencia es meramente estadística y la tendencia que se observa en ambos objetivos es la misma.

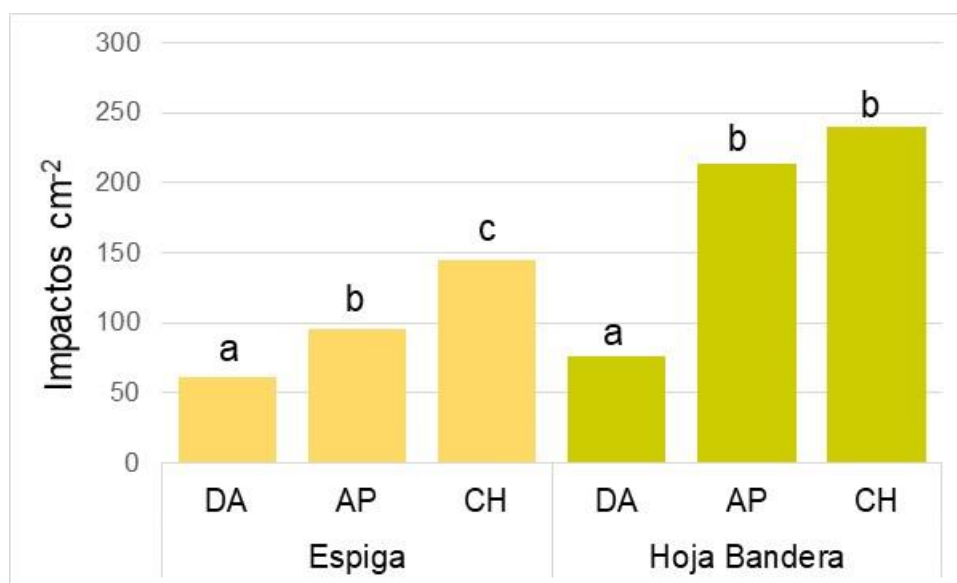


Figura 5. Cantidad de impactos cm⁻² (IC) según pastilla y objetivo de aplicación. CH: cono hueco 8002; DA: doble abanico plano con aire inducido 3070; AP: abanico plano convencional. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según el test de LSD Fisher entre pastillas para cada objetivo de aplicación.

En la figura 5 se observa el comportamiento de las pastillas sobre uno y otro objetivo de aplicación, de acuerdo a la variable cantidad de impactos (IC). En la espiga la pastilla CH fue la que presentó significativamente mayor IC con una media de 192 impactos cm⁻², seguida de AP con 154 impactos cm⁻² y DA con 68 impactos cm⁻². En tanto, en la hoja bandera CH y AP no se diferenciaron significativamente, pero sí respecto a DA que presentó la menor cantidad de impactos. A pesar de las diferencias, las tres pastillas logran alcanzar la IC necesaria para lograr la eficacia biológica (Weber, 1982).

De acuerdo a las características de la pastilla DA, el fabricante recomienda que la misma se trabaje a unos 0,3 m por encima del objetivo de manera que el ángulo inicial de proyección de las gotas no sea afectado por la gravedad y

desciendan verticalmente. La baja cantidad de impactos de esta pastilla respecto a los demás diseños, puede deberse al tamaño de gota gruesa (entre 341 μm y 403 μm , según norma ASABE S572.1, 2009) generado por la misma, ya que es una pastilla de impacto con tecnología de inducción de aire (TeeJet, 2014). Indudablemente, para un mismo volumen aplicado por unidad de superficie, cuanto mayor es el tamaño de gota generado por la pastilla, menor debe ser la cantidad de gotas formadas. De manera inversa ocurre con pastillas que a una determinada presión generan gotas finas (entre 106 μm y 235 μm , según ASABE S572.1, 2009) y, si logran llegar al objetivo, serán retenidas con mayor probabilidad (Leiva, 1995).

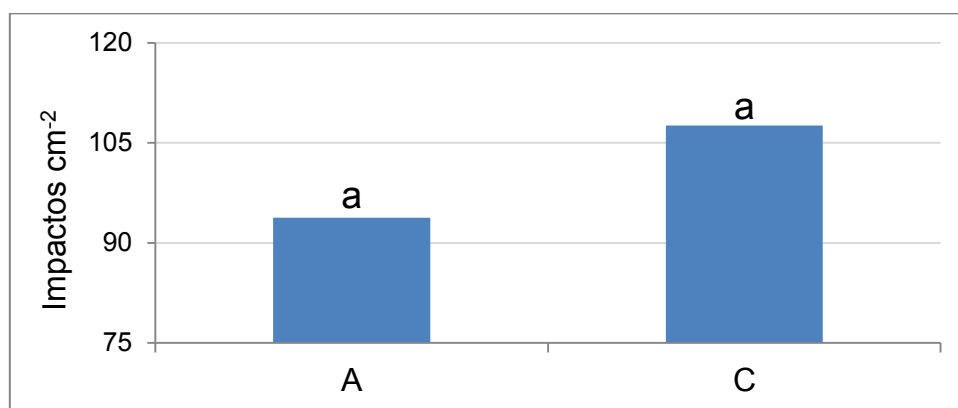


Figura 6. Número de impactos cm^{-2} según caldo de aplicación. A: agua únicamente; C: adición del coadyuvante multifuncional. Letras iguales en las columnas indican ausencia de diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según el test de LSD Fisher entre subtratamientos.

La figura 6 muestra el efecto de la adición del coadyuvante sobre la variable cantidad de impactos. De la misma se observa un incremento en la IC cuando se adicionó el coadyuvante al caldo de aplicación respecto al agua como testigo, sin ser la diferencia estadísticamente significativa. Estas diferencias también se reflejan en la variable DVM donde la incorporación del coadyuvante provocó una disminución del tamaño de la población de gotas (Figura 7), significativamente diferente al caldo testigo (A). Estos resultados se pueden explicar por una disminución de la tensión superficial del caldo de aplicación provocada por la incorporación del coadyuvante lo que generó que la vena líquida se rompa en mayor número de gotas de menor tamaño. Estos resultados coinciden con los demostrados por Miller & Butler Ellis (2000),

quienes obtuvieron una disminución del DVM cuando utilizaron un surfactante como coadyuvante respecto al agua como testigo.

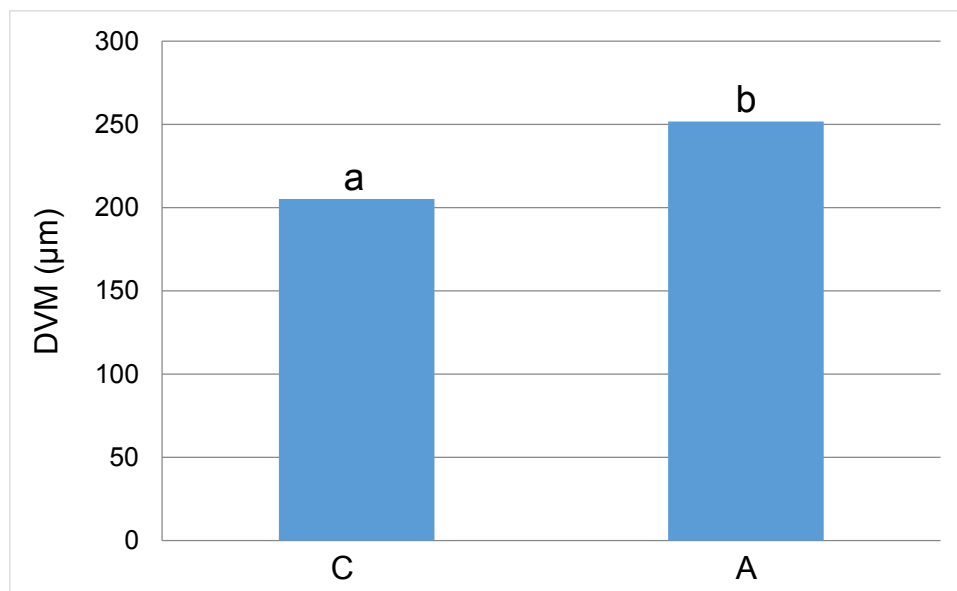


Figura 7. DVM (Diámetro Volumétrico Mediano) según caldo de aplicación. A: agua únicamente; C; adición del coadyuvante multifuncional. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según el test de LSD Fisher entre subtratamientos.

La reducción de la tensión superficial del caldo por la presencia del tensioactivo, genera en la vena líquida una menor resistencia a deformarse. Asimismo, cuando la gota llega al objetivo, puede generar un salpicado; es decir, al impactar en el objetivo, una gota grande se rompe con mayor facilidad generando varias gotas de menor tamaño. Resultados similares fueron informados por Butler Ellis et al., (1997).

En función de lo analizado, los resultados permiten validar la segunda hipótesis de trabajo respecto a una modificación del espectro de gotas por la adición del coadyuvante al caldo de aplicación.

Respecto al comportamiento de las pastillas en la espiga y hoja bandera, no se encontró interacción significativa para la variable DVM. Los resultados indican un comportamiento similar de cada pastilla en los respectivos objetivos de aplicación, y los mismos son consecuentes con el tamaño de gota que caracteriza a cada una de ellas (Figura 8). La pastilla CH presentó los menores DVM, seguido por AP con un comportamiento intermedio y DA que alcanzó los mayores valores, siendo las diferencias entre ellas significativas. De acuerdo a

los valores recomendados por Márquez Delgado (2008), AP y DA lograron DVM dentro de lo esperado para aplicaciones de contacto, mientras que CH presentó valores por debajo en los dos objetivos. Asimismo, esta última pastilla posee una gran proporción de gotas menores a 150 μm , propensas de ser evaporadas y derivadas, según Leiva (1995). Este mismo autor considera que un adecuado balance se obtiene utilizando gotas entre 200 y 250 μm , siendo AP con un DVM promedio de 206 μm , la única pastilla que se adecúa a ese rango.

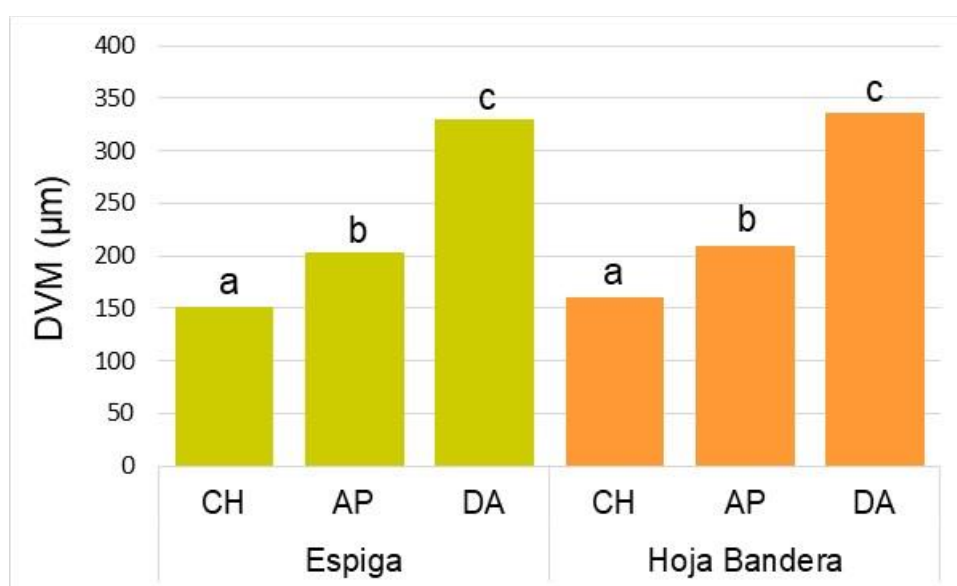


Figura 8. DVM (Diámetro Volumétrico Mediano) según pastillas y objetivo de aplicación. CH: cono hueco 8002; AP: abanico plano convencional; DA: doble abanico plano con aire inducido 3070. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según el test de LSD Fisher entre pastillas para cada objetivo de aplicación.

En el análisis del porcentaje de cobertura, la figura 9 muestra los resultados comparativos entre el caldo con y sin coadyuvante, independientemente de la pastilla, en los dos objetivos. Las diferencias encontradas no fueron significativas, sin embargo, la tendencia es que el mayor porcentaje de área cubierta se logró en la hoja bandera y sin la adición del coadyuvante.

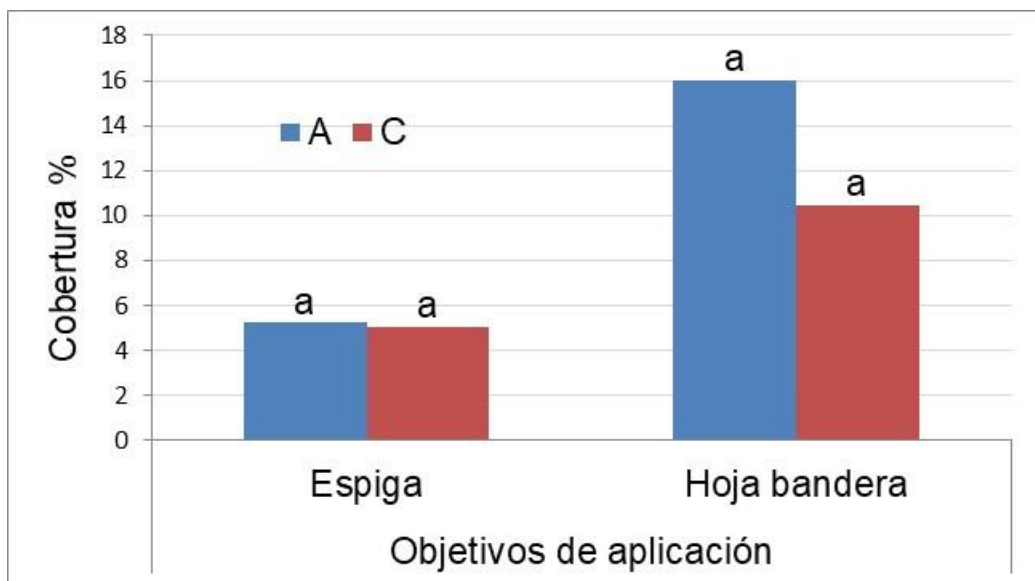


Figura 9. Cobertura (%) según caldo de aplicación para cada objetivo. A: agua únicamente; C; adición del coadyuvante multifuncional. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según el test de LSD Fisher entre subtratamientos para cada objetivo de aplicación.

Dado que el porcentaje de cobertura es el resultado de la combinación del número de impactos y el DVM, los mayores porcentajes sobre la hoja bandera se deben principalmente al mayor diámetro de las gotas que alcanzan ese objetivo. Esto se explica a su mayor superficie expuesta en el plano horizontal, perpendicular a la trayectoria principal de las gotas, siendo más fácilmente alcanzable. Contrariamente, la espiga tiene una orientación vertical lo que dificulta la llegada de las gotas más grandes y únicamente las de menor tamaño tienen mayores probabilidades de lograrlo.

Por otra parte, la incorporación del coadyuvante al caldo de aplicación no afectó significativamente la cobertura sobre las espigas. Aunque, en la figura 10 se observa que, a excepción de CH, la tendencia es a una disminución del porcentaje de cobertura cuando se incorpora el aditivo. Si bien la cantidad de impactos lograda es mayor, la misma no alcanza a compensar la reducción en el DVM de las gotas producto del efecto del coadyuvante multifuncional.

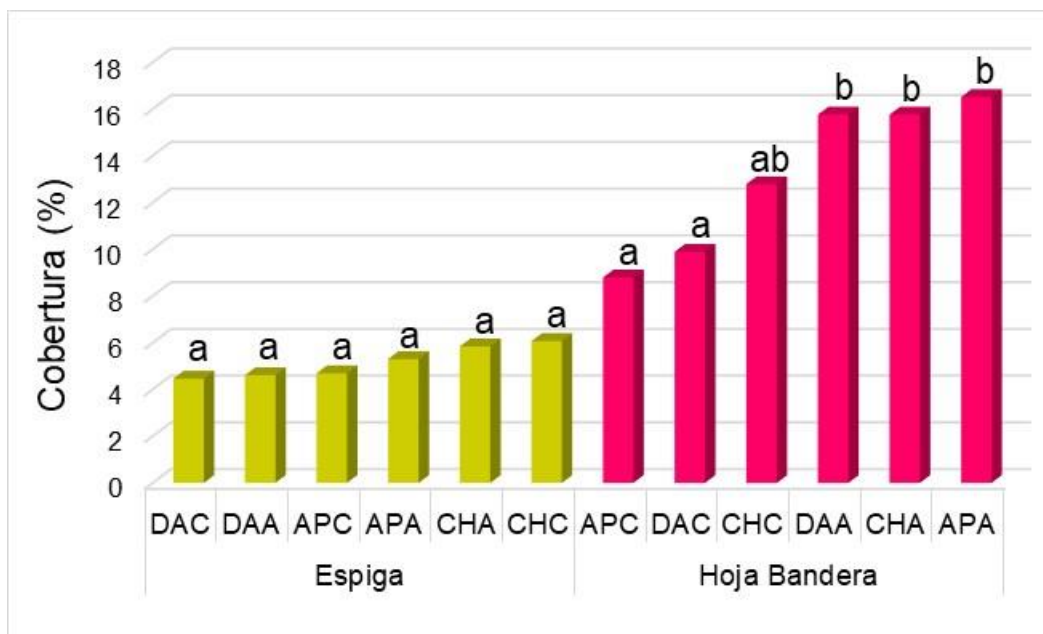


Figura 10. Cobertura (%) según pastillas y caldo, para cada objetivo de aplicación. CH: cono hueco 8002; AP: abanico plano convencional; DA: doble abanico plano con aire inducido 3070; A: agua únicamente; C; adición del coadyuvante multifuncional. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según el test de LSD Fisher entre tratamientos y subtratamientos para cada objetivo de aplicación.

En hoja bandera el comportamiento fue diferente, las pastillas AP y DA presentaron diferencias significativas entre subtratamientos, con un mayor COB% cuando se aplicó únicamente agua. No ocurrió lo mismo con CH que, si bien la tendencia es similar a las demás pastillas, las diferencias no fueron significativas.

De acuerdo a lo observado, no es posible afirmar la primera hipótesis planteada que refiere a una mejora significativa de la cobertura del objeto de aplicación con el uso del coadyuvante. Si bien las diferencias no fueron siempre significativas, los resultados indican una disminución del COB% con la utilización de este tipo de aditivo.

En función de lo analizado, es posible confirmar que el porcentaje de cobertura es afectado en mayor medida por el tamaño de gota, lo cual puede ser negativo en algunas situaciones. Esto debería tenerse en cuenta al momento de aplicar un insecticida o fungicida de contacto, donde conseguir alta COB% con pocos IC de gran DVM puede no ser suficiente para lograr eficacia biológica. Es decir, a la hora de tratar de lograr gran COB%, no es lo mismo concebirlo con el DVM o con IC para determinado objetivo.

Metodologías de análisis – Determinación de la Eficiencia

En acuerdo con Domper et al. (2014), la metodología con tarjetas hidrosensibles es una herramienta extraordinariamente expeditiva que otorga al usuario de forma rápida información visual de la pulverización a nivel de campo para tomar decisiones adecuadas en base a ellas. Las tarjetas, además, pueden ser escaneadas mediante diferentes software capaces de definir las variables antes discutidas.

Una de las variables determinadas, en este caso a través del software CIR 1.5, es la eficiencia, expresada como la relación entre el volumen por hectárea recuperado sobre el volumen por hectárea aplicado. En este plano, el software parece generar valores erróneos de eficiencia (Domper et al., 2014; Gadea 2018; Barone 2019), en general, por exceso, comparado con metodologías que emplean trazadores, cuando las superficies de evaluación son planas, de disposición horizontal y perpendicular a la proyección de las gotas.

El resultado estadístico para la variable eficiencia, arrojó interacción significativa entre los diseños de pastillas utilizados, la metodología de evaluación y la presencia o ausencia del coadyuvante, lo que indica que no existen tendencias similares para las diferentes variables estudiadas.

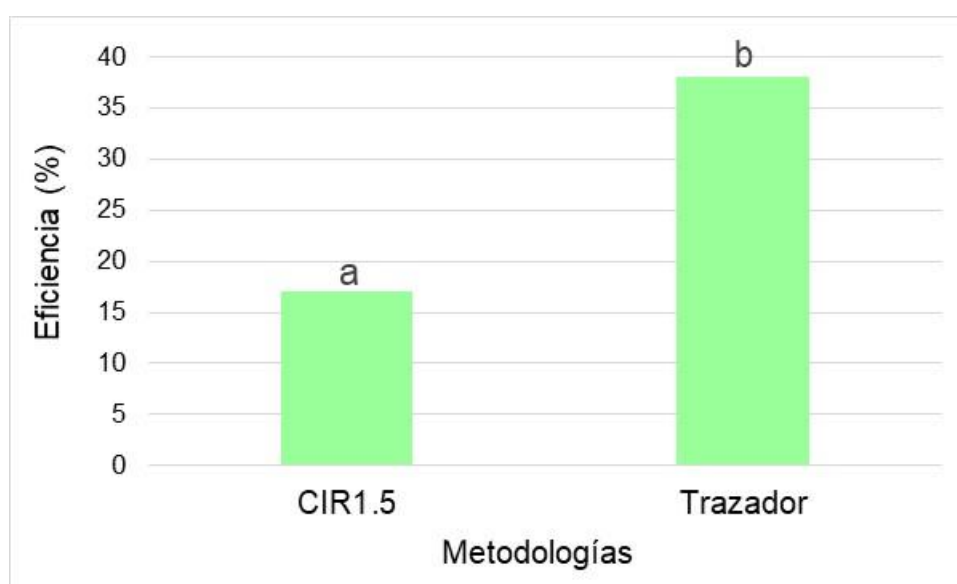


Figura 11. Eficiencia (%) según metodologías de evaluación. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según el test de LSD Fisher entre metodologías.

En un análisis general del comportamiento de la variable eficiencia sobre la espiga según metodologías de evaluación utilizadas (Figura 11), se observan resultados opuestos a los encontrados por los autores citados. En este caso, los valores de eficiencia fueron significativamente mayores con el empleo del trazador respecto al software CIR1.5. Es probable que estos resultados se deban a que la tarjeta es un buen imitador de otros órganos vegetales, como las hojas, pero no de la espiga de trigo. Esta última posee gran superficie expuesta de forma irregular e intrincada, capaz de lograr almacenar mayor cantidad de impactos y por ende de caldo.

Las diferencias existentes son estadísticamente significativas, logrando el trazador una diferencia mayor al 100% de la eficiencia obtenida por el software. Estos resultados difieren a los encontrados por Domper et al. (2015) donde el software CIR 1.5 obtuvo 3,34 veces más de recupero que el trazador, para una pastilla con inducción de aire y 1,8 para una pastilla convencional, siendo significativas las diferencias entre ellas. Barone (2019) también encontró diferencias significativas entre el software CIR 1.5 y el trazador fluorimétrico, siendo las variaciones para las cinco pastillas evaluadas entre 1,32 y 2,02 respecto al trazador. Concluyó en su trabajo que el software siempre sobreestimó la eficiencia %.

A partir de los resultados y teniendo en cuenta las características del objetivo, la metodología del trazador pareciera ser más precisa que la utilización de tarjetas hidrosensibles en la determinación de la eficiencia de recuperación. Esto permite validar la tercera hipótesis de trabajo referente a la precisión de las metodologías utilizadas.

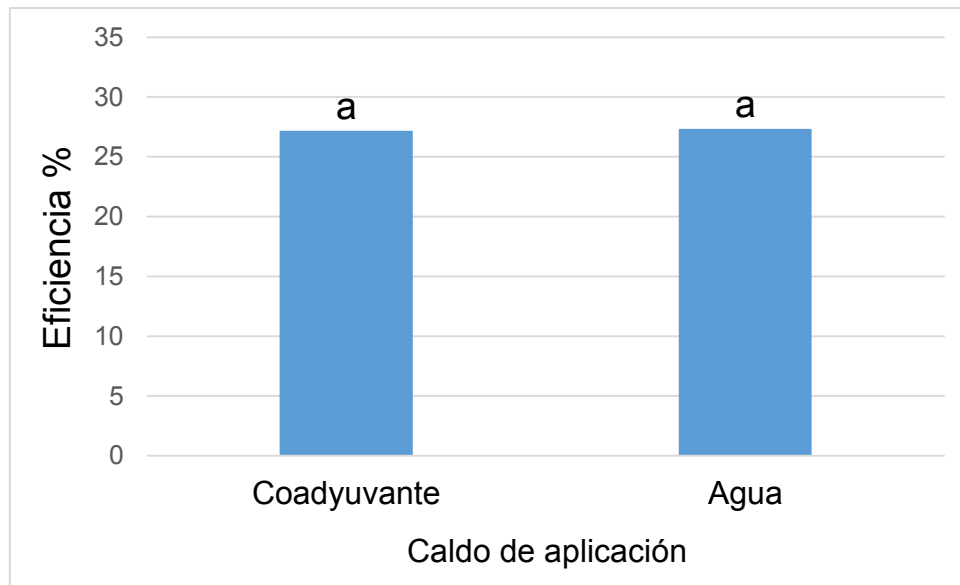


Figura 12. Eficiencia (%) según caldo de aplicación. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según el test de LSD Fisher entre subtratamientos.

Como se observa en la figura 12, el porcentaje de eficiencia no fue afectado por la incorporación del coadyuvante al caldo. Estos resultados demuestran que la cantidad de caldo que llega al objetivo depende en mayor medida de la técnica de aplicación y las variables operativas que, del coadyuvante posible de incorporar en el caldo, a diferencia de lo que plantean Hartzler (2001) y Hock (2011). De todas maneras, es importante aclarar en este plano que la presencia del coadyuvante maximiza la eficacia de la parte del caldo que llega al objetivo (Ramsdale & Messersmith, 2001; Ryckaert et al., 2007).

Uniformidad de distribución

La uniformidad de distribución, entendida como la cantidad de impactos cm^{-2} que llegan a los distintos objetivos, en este caso la espiga y hoja bandera del cultivo de trigo. Dado que en las regiones trigueras de Argentina suelen coincidir temporalmente enfermedades que afectan a la espiga, como la Fusariosis de la espiga causada por *Fusarium graminearum* (Schwabe, 1839), y a las hojas, como la roya anaranjada del trigo causada por *Puccinia triticina* (Erikss, 1899), es importante poder lograr en una misma aplicación el control de las mismas, disminuyendo el riesgo ambiental y los costos productivos. Pero para ello hay que llegar a dos objetivos completamente diferentes en cuanto a su morfología y ubicación.

En la figura 13 se grafica la distribución de impactos entre la espiga y la hoja bandera, expresada en porcentaje del total de impactos que alcanzaron los objetivos.

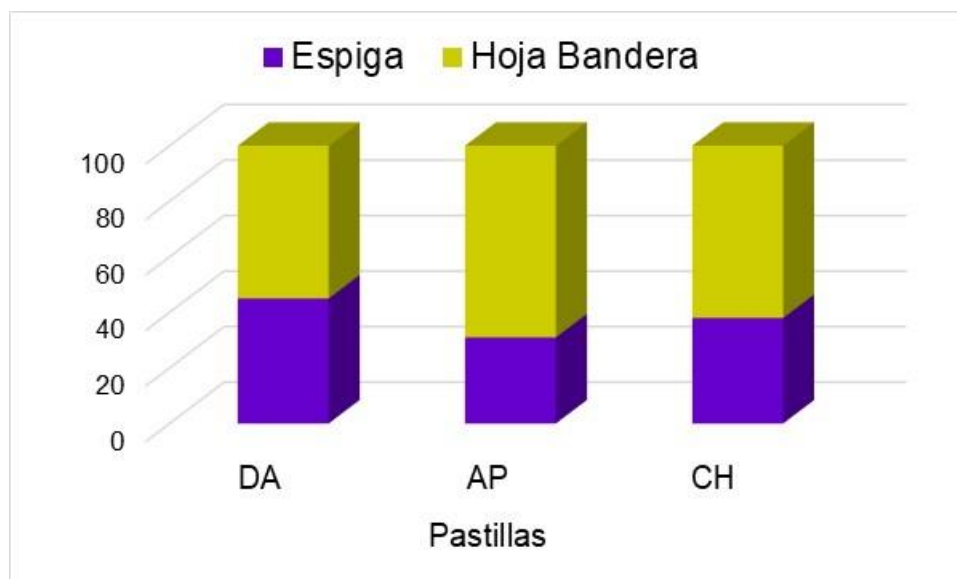


Figura 13. Uniformidad de distribución de impactos entre la espiga y hoja bandera, expresada en porcentaje del total. CH: cono hueco 8002; AP: abanico plano convencional; DA: doble abanico plano con aire inducido 3070.

Como se analizó en un primer momento y por su ubicación horizontal, la hoja bandera recibe la mayor cantidad de impactos, alcanzando el 69% con la pastilla AP. En tanto, la espiga, en el mejor de los casos, alcanzó el 45% de los impactos con la pastilla DA. No obstante el bajo desempeño de la pastilla DA, la misma es la más uniforme en la distribución de impactos entre objetivos. La inclinación en 30° hacia adelante y 70° hacia atrás permite que el asperjado pueda ser distribuido de manera más homogénea entre sus objetivos.

Los resultados permiten validar la última hipótesis de trabajo respecto a una mayor uniformidad de distribución entre la espiga y hoja bandera de la pastilla DA respecto a CH, independientemente del uso de coadyuvante.

CONCLUSIONES

En virtud de las condiciones bajo las cuales se realizó el trabajo, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

La utilización del coadyuvante no mejora por si solo la cobertura del objeto de aplicación

El agregado de coadyuvante modifica el espectro de gotas, independientemente del tipo de pastilla utilizada, al disminuir el tamaño de su población por una disminución de la tensión superficial del caldo.

La metodología de evaluación a través del método del trazador realiza una valoración más precisa del volumen de líquido recuperado sobre las espigas que la evaluación por medio de tarjetas hidrosensibles.

La pastilla doble abanico asimétrico (DA) presenta, en cuanto a cantidad de impactos, mayor uniformidad de distribución entre la espiga y la hoja bandera, independientemente del uso de coadyuvante.

BIBLIOGRAFIA

- ASAE S572.1.** 2009. Spray Nozzle Classification by Droplet Spec-tra
- Balardin R.S., Bonini J.V., Bici A.F., Boligon E. & Maffini A.A.** 2001. Influencia do volume de calda e pontas de pulverização sobre o controle das doenças de final de ciclo em duas cultivares de soja. XXIX Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul. Atas e Resumos.
- Bertalanffy, L.** 1968. Teoría General de los Sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones. Ed. Fondo de Cultura Económica, México DF. pp. 167 – 169.
- Bonini J.V.** 2004. Tecnologia de aplicação de fungicidas na cultura da soja. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil. 62 pp. Inédito.
- Brusselman, E., D. Nuyttens, K. Baetens, D. Gabriels, W.M., Cornelis, K., Van Driessen & W. Steurbaut.** 2005. Wind tunnel tests with different tracers and collection techniques for the measurement of spray drift. *Annual Review of Agricultural Engineering*, 4(1), 303-311.
- Bueno, M.R., G.S. Alves, A.D.M. Paula & J.P.A.R. Cunha.** 2013. Volumes de calda e adjuvante no controle de plantas daninhas com Glyphosate. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v. 31, n. 3, pp. 705-713.
- Butler Ellis, M., C.R. Tuck & P.C.H. Miller.** 1997. The effect of some adjuvants on sprays produced by agricultural flat fan nozzles. *Crop protection*, 16(1), 41-50.
- Casal, G.A.** 2012. Aspectos de tecnología de aplicación de agroquímicos. Simposio Internacional CIDETER. Las Parejas, provincia Santa Fe, Argentina. Agosto 2012.
- Cid, R., S. Duro, G. Masiá & L. Venturelli.** 2009. Uso de tensioactivos y antiderivantes en forma simultánea: evaluación de interacciones. Instituto de Ingeniería Rural – C.N.I.A. – INTA – Castelar. Disponible en: <http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2011/10/USO-DE-TENSIOACTIVOS-Y-ANTIDERIVANTES-EN-FORMA-SIMULTANEA-EVALUACION-DE-INTERACCIONES.pdf>. Último acceso: Enero, 2017.

- Costa, J.J., A.E. Margheritis & O. Mársico.** 1979. Introducción a la Terapéutica Vegetal. Ed. Hemisferio Sur. Primera reimpresión. Argentina. 533 pp
- Courshee, R. J.** 1960. Some aspects of the application of insecticides. Annual Review of Entomology, Palo Alto, vol. 5. pp. 327 – 352
- Cowel C., Lavers A. & Taylor W.** 1988. A preliminary evaluation of a surface deposit fluorimeter for assessing spray deposition in the field. Annals international symposium on pesticide application. Paris, ANNP. Sesion 1: 19-29.
- Dan, H.A., A.L. Lemos Barroso, L. Gomes Moraes Dan, T. Rezende Finotte & C.A. Feldkircher.** 2010. Adjuvantes multifuncionais associados ao herbicida Glyphosate no controle de *Digitaria insularis*. Global Science and Technology, v. 03, n. 02, pp. 30 – 38.
- Etiennot, A.E. & A. Piazza.** 2010. Buenas prácticas de aplicación en cultivos planos extensivos. Distancias a zonas urbanas. Criterios y soluciones. Acta toxicol. Argent. 18 (2): 40 – 53.
- Etiennot, A.E.** 1990. Cuarto Curso de Actualización para Pilotos Aeroaplicadores. Instituto Nacional de Aviación Civil (INAC), Buenos Aires. 119 pp.
- Etiennot, A.E.** 1993. Pulverizaciones terrestres. Segundo Congreso Nacional de Siembra Directa. Huerta Grande, Córdoba. Argentina. pp. 163 - 173.
- Gandolfo M.A., Bueno J., Torres Pereira J., Sánchez W., Zanni B. & Velan R.** 2004. Avaliação da qualidade de pulverização com diferentes pontas e volumes de aplicação na soja. Universidade Estadual do Paraná Fundação Faculdades Luiz Meneghel Bandeirantes. Paraná.
- Garcia, L.C., C.R. Machado Júnior, G.P. Bochnia, P.H. Weirich Neto & C.G. Raetano.** 2016. Adjuvants in fungicide spraying in wheat and soybean crops. Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering-ISSN: 1809-4430.
- Graham-Bryce, I.J.** 1977. Crop protection: a consideration of the effectiveness and disadvantages of current methods and of the scope for improvement. Philosophical Transactions of the Royal Society, London B, 281. pp. 163-179.

- Hartzler, B.** 2001. Role of Spray Adjuvants with Postemergence Herbicides. Iowa State University. Disponible en: <http://www.weeds.iastate.edu/mgmt/2001/additives.htm>. Último acceso: marzo 2017.
- Herrera, M., M. Anglada, C. Pereyra, C. Toledo & O. Pozzolo.** 2007. Eficiencia y eficacia en el uso de fitosanitarios. Informe Técnico N° 1. Proyecto de Extensión Uso Eficiente de Fitosanitarios. Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_combate_de_plagas_y_malezas/96-fitosanitarios.pdf. Último acceso: Julio 2017
- Hock, W.K.** 2011. Spray Adjuvants. Pesticide Safety Fact Sheet. The Pennsylvania State University. Disponible en: <http://pubs.cas.psu.edu/freepubs/pdfs/uo221.pdf>. Último acceso: marzo 2017.
- Larragueta, O.** 1985. Picos pulverizadores. Boletín de Pulverizaciones, Agrícolas, Publicación N° 2. Departamento de Ingeniería Rural, INTA Castelar - Barbuy S.A., Buenos Aires. 3 pp.
- Leiva, P.D.** 1995. Manejo de la deriva en la aplicación de agroquímicos. Carp. Produc. Vegetal. INTA, EEA Pergamino, SERIE: Generalidades, Tomo XIV (Información N° 139, Septiembre, Ed: Puig R.) 6 pp.
- Leiva, P.D.** 1996. Calidad de aplicación de plaguicidas. En: Primera Jornada de Control Químico de Enfermedades del trigo en sistemas de manejo para alta productividad. Bolsa de Cereales de Buenos Aires. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino, INTA, 12 pp.
- Leiva, P.D.** 2010. Consideraciones generales sobre calidad de agua para pulverización agrícola. Grupo Protección Vegetal. INTA, EEA Pergamino. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/2010/Calidad_Aguas_para_pulverizacion.pdf. Último acceso: Febrero, 2017.
- Leiva, P.D.** 2013. Ámbito de recomendación de aditivos o coadyuvantes en pulverizaciones agrícolas. INTA Pergamino. 10 pp. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_pergamino_mbito_de_recomendacin_de_aditivos_o_co.pdf Último acceso: Junio 2017.

- Leiva, P.D.** 2015. "Recaudos por deriva en pulverizaciones agrícolas. Siete aspectos importantes para su manejo". Grupo Protección Vegetal - INTA, Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tpinta_pergamino_recaudos_por_deriva_en_pulverizaciones.pdf. Último acceso: Febrero, 2017.
- Magdalena, J. C., R. H. Balbuena, A. P. Di Prinzio & J. A. Capurro.** 2000. Equipos para aplicación de agroquímicos. Propuestas de unificación de denominación y clasificación. En: Avances en Ingeniería Agrícola 1998/2000. Ed. Facultad de Agronomía, Buenos Aires. pp. 150-156.
- Mahler, R.L., H.W. Homan & G.P. Carpenter.** 2002. Pesticides and their movement in soil and water. Quality wáter for Idaho current information series No. 865. University of Idaho College of Agriculture Cooperative extensión system Agricultural Experiment station. Moscow, Idaho.
- Márquez Delgado, L.** 2008. Buenas Prácticas Agrícolas en la Aplicación de los Fitosanitarios. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Secretaría General Técnica. Madrid, España. Disponible en: <http://www2.fepex.es/archivos/publico/Fitosanitarios/Fitosantarios-%20Texto.pdf>. Último acceso: enero, 2018.
- Massaro, R.A.** 2004. Tecnología para la aplicación de fungicidas foliares en soja con equipos terrestres. Revista Para Mejorar la Producción n. 27, Soja campaña 2003/2004. pp. 112-119
- McCracken A.** 2004. Aplicaciones de agroquímicos. En nombre de la Roya. En <http://www.e-campo.com/sections/news/index.php/catUuid.91D0DC54-E269-11D3-A5140006292E2740/>.
- Metzler, M., M. Kahj & M. Ahumada.** 2015. Interacción de la mezcla de glifosato + saflufenacil con diferentes coadyuvantes y volúmenes de aplicación. INTA EEA Paraná y EEA Crespo. Serie Extensión Digital – Actualización Técnica Soja. Disponible en: <https://www.aapresid.org.ar/rem/wp-content/uploads/sites/3/2015/12/Metzler-et-al-Interaccion-Glifo-Saflufenacil-con-volumenes-y-coadyuvantes.pdf>. Último acceso: Agosto, 2017

- Miguens, M.M.** 1981. Aplicación de plaguicidas. Cuaderno de actualización Técnica n. 29. Ed: AACREA, Departamento de Estudios, Departamento de Prensa y Difusión Cuaderno de Actualización Técnica, Buenos Aires. 43 pp.
- Miller, P.H.C. & M.C. Butler Ellis.** 2000. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. *Crop Protection.*, 19 (2000), pp. 609-615
- Nuyttens, D.** 2007. Drift from field crop sprayers: The influence of spray application technology determined using indirect and direct drift assessment means. PhD tesis. Facultad de Ingeniería en Biociencias. Universidad Católica de Lovaina. 267 pp.
- Onorato, A.A. & M.O. Tesouro.** 2004. "Desempeño antideriva de una boquilla de pulverización agrícola de cono hueco inducida por aire". *Revista de Investigaciones Agropecuarias.* INTA, Argentina. 33 (3): 3-13.
- Papa, J.C. & R.A. Massaro.** 1999. Evaluación de la fitotoxicidad sobre maíz de nicosulfurón aplicado solo y en mezcla con clorpirifos. Maíz: para mejorar la producción N° 10. E.E.A. Oliveros INTA. pp. 63-66.
- Ramsdale, B.K. & C.G. Messersmith.** 2001. Nozzle, spray volume, and adjuvant effects on carfentrazone and imazamox efficacy. *Weed Technol.*, v. 15, n. 3, pp. 485-491.
- Rodrigues de Souza, B.J., P.H. Perez, F.C. Bauer, C.G. Raetano, P.H. Weirich, N.L.C. Garcia.** 2014. Adjuvantes em pulverizações de fungicidas na cultura do trigo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.44, n.8, p.1398-1403, ago, 2014. ISSN 0103-8478.
- Ryckaert, B., P. Spanoghe, G. Haesaert, B. Heremans, S. Isebaert & W. Steurbaut.** 2007. Quantitative determination of the influence of adjuvants on foliar fungicide residues. *Crop Protection*, v. 26, n. 10, pp. 1589-1594.
- Sarubbi, C.A.** 2010. Tecnología de aplicación de productos fitosanitarios en equipos pulverizadores terrestres. Buenos Aires, 290 pp..
- Sherrick, S.T., H.A. Holt & F.D. Hess.** 1986. Effects of adjuvants and environment during plant development on glyphosate absorption and translocation in field bindweed (*Convolvus arvensis*). *Weed Science.* 34: 811-816.

- Smith, D.B., S.D. Askew, W.H. Morris, D.R. Shaw & M. Boyette.** 2000. Droplet size leaf morphology effects on pesticide spray deposition. Transactions of the ASAE 43(2): 255-259.
- Teejet 2014. Teejet Technologies. Catálogo 51A-ES.** 2014. Spraying Systems Company, Wheaton, Illinois 60187-7900, U.S.A. 196 pp.
- van Zyl, S.A., J. Brink, F.J. Calitz, S. Coertze & P.H. Fourie.** 2010. The use of adjuvants to improve spray deposition and *Botrytis cinerea* control on chardonnay grapevine leaves. Crop Protection, v. 29, n. 1, pp. 58-67.
- Vargas, L. & Roman, E.S.** 2006. Conceitos e aplicações dos adjuvantes. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 10 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 56)
- Zadoks, J.C., T.T. Chang & C.F. Konzac.** 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Wees Research, 14: 415 - 421.
- Walla, W. J.** 1980. Aerial Pesticide Application. Texas A&M University. Texas, USA. 26 pp.