

TRABAJO FINAL DE CARRERA



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Incidencia del viento en pulverizaciones agrícolas terrestres.

Alumno: Norberto, Martínez

Legajo: 27881/9

Correo electrónico: norbertomar181@gmail.com

Teléfono: 2352 41 6597

Director: Ing. Agr. Merani, Víctor

Co-Director: Ing. Agr. Larrieu, Luciano

Fecha de presentación: Septiembre 2021

Modalidad: Investigación sobre una temática específica.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	4
Importancia de la pulverización a nivel mundial y nacional:	4
Características de las aplicaciones agrícolas:	4
Características de las gotas de una pulverización agrícola:	6
Calidad de aplicación:	7
Métodos de evaluación de las pulverizaciones:	8
HIPÓTESIS	9
Hipótesis básica:	9
Hipótesis de trabajo:	9
OBJETIVOS	9
Objetivos generales:	9
Objetivos específicos:	9
MATERIALES Y METODOS	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
Cantidad de impactos:	12
Diámetro volumétrico mediano (DVM o DV0,5):	15
DV0,1 y DV0,9:	16
Cobertura (%):	17
Amplitud relativa:	19
CONCLUSIONES	22
BIBLIOGRAFIA	23

RESUMEN

En los últimos decenios el consumo de productos fitosanitarios para el control de enfermedades, plagas y malezas ha crecido enormemente impulsado por la ingeniería genética y el sistema de siembra directa. La pulverización es la forma más difundida de aplicación de fitoterápicos, pero su uso es complejo, no solo desde el punto de vista agronómico, sino también por sus implicancias en la preservación del medio ambiente, los riesgos de contaminación y para la salud humana. En base a esto, es de extrema importancia la consideración de un conjunto de factores para lograr una aplicación de calidad, entre los cuales las condiciones ambientales tienen gran relevancia. Se realizaron ensayos con la finalidad de generar información sobre la incidencia del viento en la calidad de aplicación, utilizando pastillas con angulación anteroposterior (Defy 3D(DD)). Las mismas se evaluaron a dos alturas de botalón, en presencia y ausencia de viento, circulando sobre bancos de madera en los cuales se colocaron objetivos de papel blanco fotográfico en posiciones horizontales y verticales. Con la intención de generar una impronta visible como resultado del impacto de las gotas, se adicionó un colorante alimenticio, azul brillante, en el tanque de la máquina pulverizadora en conjunto con el agua. Para el análisis de las tarjetas primero se realizó una digitalización de las mismas mediante un scanner, para luego ser procesadas con el programa CIR 1.5, obteniendo los siguientes parámetros que constituirán en parte, las variables de respuesta: cantidad de impactos (N° de improntas cm^{-2}); DV 0,5; eficiencia y porcentaje de cobertura. Los datos obtenidos se volcaron a una planilla de Excel y se analizaron estadísticamente con el programa Infostat. Se observó que, sobre objetivos horizontales el viento disminuye los impactos cm^{-1} , la eficiencia y el porcentaje de cobertura, pero la incidencia de este factor ambiental disminuye al acercar la barra pulverizadora al objetivo. Por otro lado, se observó que el viento no genera gotas de tamaño diferente ni poblaciones de gotas más homogéneas en los distintos objetivos.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Importancia de la pulverización a nivel mundial y nacional

En los últimos decenios el rendimiento de los cultivos ha crecido enormemente impulsado por la ingeniería genética y la incorporación al sistema productivo de insumos químicos. En África la producción de alimentos se incrementó en 140%, en América Latina 200% y en Asia 280%. Un caso especial es el de China que, en solo dos décadas (80', 90'), quintuplicó su producción agrícola. Por su parte, si bien en los países industrializados la producción comenzó a crecer a partir de una base superior, en Estados Unidos se duplicó en los últimos 40 años y en Europa creció un 68% (Pretty, 2008).

La utilización de productos fitosanitarios en el manejo de los cultivos permitió contrarrestar en gran medida los efectos negativos ocasionados por las plagas. Se define como plaga a cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales (FAO & OMS, 2014). En América del Sur el 31% de la cosecha de trigo se pierde a causa del ataque de diversas adversidades (hongos, insectos, malezas, etc.), mientras que en la soja los daños alcanzan el 32% y en el maíz el 44% (Huerga & San Juan, 2004).

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), estimó que la venta mundial en el 2017 fue de 68.500 10⁶ US\$ con una tasa de aumento del 5,5% en los próximos cinco años. A nivel nacional, el mercado de agroquímicos generó una actividad comercial de 2.500 millones US\$ en la campaña 2016/2017, mientras que para la campaña siguiente hubo un incremento del 18%, con lo cual estuvo en torno a los 3.000 millones de US\$ (Friedlander, 2017).

Características de las aplicaciones agrícolas

La pulverización se fundamenta en la distribución de plaguicidas en forma de líquido sometido a presión (presurizado), depositándose en el objetivo (plaga, follaje o el suelo) en forma de pequeñas gotas (Álvarez, 2011). El líquido sometido a presión es

obligado a pasar por un pequeño orificio calibrado hacia el exterior y la vena líquida perturbada por la expansión se rompe en gotas. A pesar de que no se conocen completamente los fundamentos teóricos de este fenómeno, se sabe que cuanto mayor sea la diferencia de presión entre el líquido y el medio donde se realiza la pulverización, se obtendrá más cantidad de gotas y de menor tamaño (Onorato & Tesouro, 2006).

El transporte de las gotas hasta el objeto de aplicación se realiza por la propia energía cinética del líquido. La cantidad y el tamaño de gotas obtenidas en este proceso son conocidos como espectro de distribución. Este espectro está compuesto por una gran cantidad de gotas de líquido de diferentes tamaños y velocidades, según las condiciones de operación. No obstante, siempre es deseable que la división del líquido se realice produciendo gotas de tamaño uniforme (Magdalena *et al.*, 2000).

Una aplicación eficiente requiere una perfecta cobertura y una distribución superficial homogénea de las gotas. En el caso de gotas muy grandes que debido a su peso no se adhieren a la superficie de las hojas y terminan en el suelo, no se logrará una cobertura superficial uniforme. A su vez, este tipo de gotas dan como resultado mayor heterogeneidad en el espectro de distribución, por lo que debe buscarse un equilibrio. Cuando las gotas son pequeñas, generalmente se logra una mejor cobertura superficial y mayor uniformidad de distribución, sin embargo, estas gotas pueden evaporarse en condiciones de baja humedad relativa y alta temperatura o transportarse por la corriente de aire causando el fenómeno de deriva (Teixeira, 1997). En concordancia con esto, Leiva (1995) menciona que las gotas pequeñas mejoran la retención por parte de las hojas, así como la cobertura, ofreciendo también una mejor penetración en el cultivo, y la posibilidad de alcanzar la cara inferior de las hojas y base de los tallos. También coincide que su principal desventaja es que por su menor peso están más expuestas a la deriva causada por el viento y por su elevada superficie en relación con el volumen, a evaporarse sin llegar al objetivo.

Según CASAFE (2016), los tamaños de gotas útiles para aplicaciones agrícolas se encuentran entre 150 y 400 μm . Frola (2013), explica que gotas de 200 μm de diámetro son adecuadas cuando se trata de cultivos difíciles de acceder como lo son cultivos cerrados, gotas de 300 μm son adecuadas para trabajar con herbicidas en barbechos y gotas de 400 μm en el caso de tratamientos antideriva.

Características de las gotas de una pulverización agrícola

El estudio de las características de la población de gotas resulta imprescindible para determinar la calidad y eficiencia de aplicación de los productos fitosanitarios, ya que son el medio que permiten transportarlos hasta el objetivo, sin embargo, su estudio es complejo dado que existe variabilidad de tamaños entre ellas.

Conforme a Sarubbi (2010), los parámetros estadísticos que influyen en la calidad de aplicación se pueden definir como:

- Diámetro Volumétrico Mediano (DV_{0,5}): es el diámetro de gota que divide al volumen pulverizado en dos partes iguales. Expresa que mitad del volumen pulverizado está conformado por gotas de diámetro menor al DV_{0,5} y la otra mitad del volumen está conformado por gotas de un diámetro mayor al DV_{0,5}.
- Diámetro Numérico Medio (DNM): es el diámetro de gota que divide a la población total de gotas en dos mitades iguales. Expresa que la mitad del total de gotas formadas tienen un diámetro menor al DNM y la otra mitad de gotas formadas tiene un diámetro mayor al DNM.
- Gotas por centímetro cuadrado (gotas cm^{-2}): cantidad de gotas que impactan el blanco por unidad de superficie.
- Cobertura: expresa en qué porcentaje la superficie evaluada se encuentra cubierta de gotas.

Para obtener información sobre el espectro del tamaño de gotas, también se determinan otros parámetros como DV_{0.1}, DV_{0.9}, la amplitud relativa (AR) y la eficiencia de aplicación (EA).

Un aspecto importante a tener en cuenta en la aplicación es el tamaño de las gotas. Al respecto, Gooden (2011) menciona que hasta el momento no se cuenta con un único estándar internacional para clasificar la distribución de los tamaños de gota producidas por las boquillas. Sin embargo, comúnmente se utilizan dos modelos, ellos son:

El “British Crop Protection Council (BCPC)”, que, según Nuyttens et al. (2007), es un modelo de clasificación que permite determinar la calidad de pulverización de una boquilla, comparando la distribución de tamaños de gota de la boquilla en estudio, con la distribución de tamaños de una boquilla de abanico plano de referencia. Este modelo de clasificación divide la calidad de aplicación en 5 categorías: Muy fina (VF), Fina (F), Media (M), Gruesa (C) y muy gruesa (VC). Es el modelo de referencia en Europa.

Por otro lado, la norma ASABE S572.1 (2009) presenta otro modelo de clasificación de la distribución de tamaños de gota, que utiliza el modelo BCPC como referencia (Teske et al., 2004). Esta norma emplea 6 categorías de clasificación para evaluar la calidad de aplicación de las boquillas: Muy fina (VF), Fina (F), Media (M), Gruesa (C), Muy gruesa (VC), Extremadamente gruesa (XC). Donde, los límites de cada una de las categorías están definidos por la distribución de tamaños de gota de una combinación de unas boquillas de referencia (todas de abanico plano), con presiones y tasas de aplicación de referencia.

Estos modelos son herramientas que permiten a los agricultores, técnicos, investigadores y demás interesados, hacer recomendaciones sobre la calidad de pulverización y correspondientes regulaciones sobre los equipos pulverizadores.

Calidad de aplicación

Para lograr una aplicación efectiva o de calidad, es de extrema importancia la consideración de factores tales como la calibración del equipo pulverizador y las condiciones ambientales. Estas últimas, si bien no se pueden modificar a la hora de realizar la aplicación, se puede actuar para disminuir su impacto. Como ya se

mencionó, la temperatura y humedad son los principales responsables del fenómeno de evaporación, mientras que el fenómeno de deriva tiene como principal agente causal, el viento. Este último, es el factor de mayor incidencia sobre la calidad y eficiencia de aplicación. Según Tepper (2012; 2014), la velocidad ideal del viento se encuentra en el rango de 5-15 km h⁻¹. Con valores menores, se favorece el fenómeno de inversión térmica, mientras que, con valores mayores, aumenta el riesgo de deriva. Para disminuir la incidencia de una alta velocidad del viento, se destacan factores tales como tamaño de gota, altura de botallón, velocidad y dirección de avance.

Métodos de evaluación de las pulverizaciones

Para determinar las características de una pulverización es necesario el uso de sistemas de cuantificación que permitan diferenciar de la forma más confiable y precisa los parámetros de evaluación.

Existen diferentes alternativas para evaluar la labor de pulverización a campo. Los colectores artificiales son elementos como tiras de papel absorbente, películas de Mylar o plástico, recipientes de vidrio, papel sensible al agua o el aceite, entre otros. Dentro de este grupo, las tarjetas de papel hidrosensible o "Water Sensitive Paper" (WSP), constituyen la técnica más popular para determinar el espectro de gotas generado por una pulverización, ya que es una técnica relativamente simple de implementar en campo y suministra información confiable sobre el espectro de gotas generado. Dado que, lo que se observa sobre la tarjeta sensible o papel absorbente no son gotas sino manchas, es necesario realizar un ajuste considerando el factor de expansión que sufre la gota al chocar con la superficie de la tarjeta.

En razón de lo expuesto, y haciendo uso de la tecnología disponible en análisis de imágenes y cálculo computarizado, existen programas diseñados especialmente para contar y caracterizar una aspersion y obtener los parámetros de calidad (Lauric et al., 2016). Entre ellos podemos mencionar: CIR 1.5 y StainMaster 1.0.8, ambos

desarrollados en Argentina; AgroScan, Gotas y e-Sprinkle, desarrollados en Brasil; DropletScan y StainAnalysis desarrollados en USA y Canadá, respectivamente.

HIPÓTESIS

Hipótesis básica:

La incidencia del viento es determinante en el resultado de las aplicaciones de productos fitosanitarios mediante pulverizaciones hidráulicas.

Hipótesis de trabajo:

- El efecto del viento disminuye la cantidad de gotas que logran alcanzar los objetivos horizontales mientras que facilita la llegada de las gotas a las caras verticales del objetivo.
- El viento incide en el tamaño de la población de gotas que llega al objetivo.
- El viento determina la homogeneidad de aplicación en objetivos verticales y horizontales.
- La incidencia del viento sobre el porcentaje de cobertura y la eficiencia de aplicación sobre objetivos verticales y horizontales es menor al disminuir la altura de la barra pulverizadora.

OBJETIVOS

Objetivos generales:

- Realizar aportes a la plataforma cognitiva actual sobre técnicas de aplicación de fitosanitarios que contemplen una reducción en el uso de agua y principio activo, aumentando la eficiencia y calidad de aplicación.

Objetivos específicos:

- Determinar cómo la incidencia del viento disminuye los impactos cm^{-2} sobre objetivos horizontales y los incrementa en objetivos verticales.
- Comprobar la incidencia del viento en el tamaño de la población de gotas que llega al objetivo.

- Evaluar la incidencia del viento en la homogeneidad de aplicación en objetivos verticales y horizontales al variar la altura del botalón.
- Determinar cómo afecta la incidencia del viento sobre el porcentaje de cobertura y la eficiencia al disminuir la altura de la barra pulverizadora.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se llevó a cabo en la estación experimental Julio Hirschhorn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina 34°35 S, 57°57 W. El mismo se realizó bajo dos condiciones de trabajo. Una primera parte del ensayo bajo condiciones semicontroladas dentro de un galpón, con suelo asfaltado, sin viento y sin desuniformidades de terreno. La segunda parte se llevó a cabo a cielo abierto bajo condiciones naturales de trabajo.

Se utilizó una máquina pulverizadora montada, Hatsuta HS400, con bomba de pistones, transmisión de potencia por barra cardánica a TPP a $56,55 \text{ rad s}^{-1}$ (540 rpm) y capacidad de 400 litros. Además, cuenta con un botalón con portapicos que poseen un sistema de revolver para tres pastillas, separados 0,52 m entre sí. Dicha pulverizadora se vinculó a un tractor New Holland T3.50. Las pastillas de pulverización utilizadas fueron de tipo abanico plano angulado, las cuales trabajaron a una misma presión y velocidad de avance, tanto adentro del galpón como a campo, a fin de obtener idénticas tasas de aplicación (l ha^{-1}). Las características de la pastilla se describen en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1: Características de la pastilla.

Pastilla	Angulo de apertura	Caudal (l min^{-1})	Tipo	Marca	Altura de botalón (m)
Defy3D (DD)	100°	0,79	Abanico plano Angulado	Hypro	0,50 0,70

La pastilla se evaluó trabajando a 3 bares de presión, a una velocidad de 16-18 km h⁻¹. El botalón se desplazó sobre los objetivos de pulverización, primero a una altura de 0,5 m y luego a 0,7 m.

Se realizaron mediciones de las condiciones ambientales (T°, HR°, Velocidad del viento máxima y promedio) a lo largo del ensayo que pueden observarse en la tabla N°2. El objetivo de pulverización se colocó sobre bancos de madera de 0,5 m de largo y 0,15 m de ancho, con 2 prismas rectangulares de diferentes dimensiones que funcionaron de soporte de los colectores.

Se colocaron 3 series de 2 bancos de prueba, distanciadas entre sí a 2 m en la dirección de avance y separadas en forma transversal a la dirección de avance a 0,75 m. Esto permitió obtener objetivos que sean coincidentes con el pico de pulverización y objetivos que se hallen entre los picos, provocando que, ante la existencia de desuniformidad a lo largo del botalón, estas sean absorbidas por las repeticiones.

Los objetivos de pulverización utilizados fueron tarjetas de papel blanco fotográfico tipo glossy de 130 gr m⁻² (0,026 m x 0,076 m), colocadas en todas las caras de los prismas rectangulares y por delante y detrás de los mismos en posición horizontal.

Con la intención de generar una impronta visible como resultado del impacto de las gotas, se adicionó un colorante alimenticio, azul brillante, en el tanque de la máquina pulverizadora en conjunto con el agua.

Luego del pasaje de la máquina sobre los bancos de prueba, se retiraron las tarjetas y se colocaron en un ambiente libre de humedad hasta su procesamiento. Para evaluarlas, primero se realizó una digitalización de las mismas por medio de un scanner cannon LIDE90, para luego ser procesadas con el programa CIR 1.5, obteniendo los siguientes parámetros que constituirán en parte, las variables de respuesta: cantidad de impactos (N° de improntas cm⁻²); DV 0,5; eficiencia y porcentaje de cobertura. Por otra parte, los datos obtenidos se volcaron a una planilla

de Excel y se analizaron estadísticamente con el programa Infostat. En cuanto al tamaño de gotas, se evaluó mediante el modelo de clasificación de la norma ASAE S572.1 (2009).

Tabla N° 2: Condiciones ambientales durante la aplicación.

Horario	T (°C)	HR (%)	Presión (hPa)	Viento Max (km h ⁻¹)	Viento Promedio (km h ⁻¹)	Delta T
14:10	25	44,2	1014,3	13,2	10	8
14:28	22,7	50	1014,2	15,2	13	6,7

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cantidad de impactos

En el gráfico 1 puede visualizarse el análisis estadístico sobre la variable cantidad de impactos cm⁻² para los tratamientos horizontal y vertical, a distintas alturas de botalón en los lugares galpón (sin incidencia de viento) y afuera (con incidencia de viento).

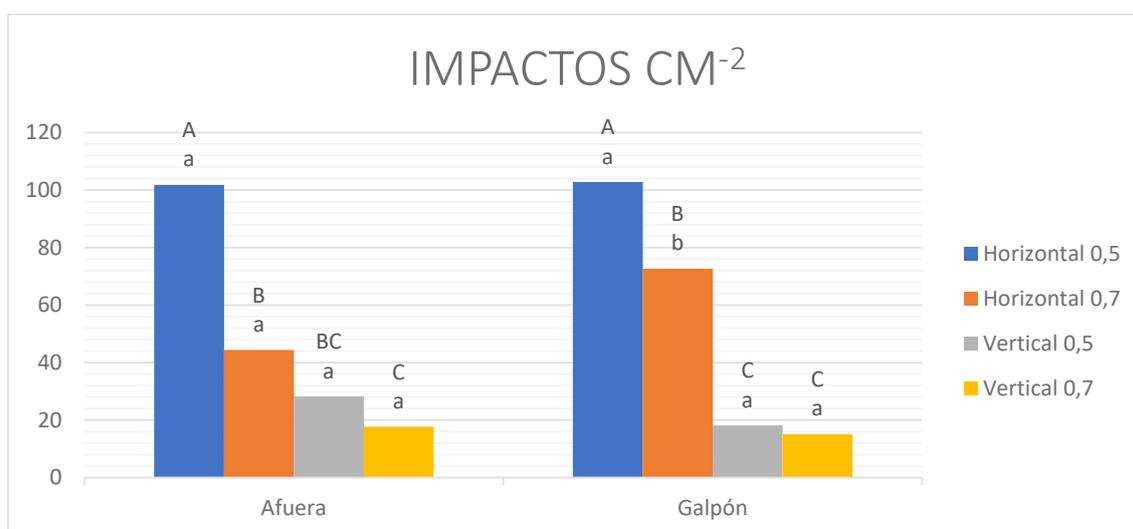


Gráfico 1. Número de impactos cm⁻² sobre objetivos horizontales y verticales a distintas alturas de botalón en los lugares galpón y afuera. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para cada lugar, ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey. Letras minúsculas diferentes indican

diferencias estadísticamente significativas entre lugares para cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

Al analizar los tratamientos horizontales entre lugares, solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre afuera y galpón cuando el botalón se posicionó a 0,7 m de altura, registrándose 44 impactos cm^{-2} afuera y 73 impactos cm^{-2} en el galpón, es decir, la incidencia del viento redujo los impactos por unidad de superficie en un 66%. En el tratamiento a 0,5 m de altura no se encontraron diferencias significativas, contabilizándose cerca de 100 impactos cm^{-2} sobre los objetivos.

En el caso de los tratamientos verticales, no se encontraron diferencias significativas entre lugares, pero se pudo visualizar un aumento en la cantidad de impactos bajo la incidencia del viento. Con el botalón a 0,5 m de altura, se registraron 28 impactos cm^{-2} afuera, mientras que en el galpón se contabilizaron 10 impactos cm^{-2} , es decir, bajo la incidencia del viento, se obtuvo un 55% más de impactos cm^{-2} . En el caso del tratamiento a 0,7 m de altura, se registraron 18 impactos cm^{-2} afuera y 15 en el galpón, siendo el incremento de 20%.

Dentro de un mismo lugar, solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los tratamientos horizontales. Afuera, con el botalón ubicado a 0,5 m de altura, el valor de los impactos cm^{-2} registrados fue superior en un 129 % respecto a cuando se posicionó a 0,7 m; mientras que, en el galpón, a menor altura se registró un 42 % más de impactos cm^{-2} .

En base al análisis de los resultados y a pesar de que no siempre se registraron diferencias estadísticamente significativas, se pudieron observar dos fenómenos que mantuvieron la misma naturaleza durante los tratamientos y fue más acentuado bajo la acción del viento. En primera instancia, al disminuir la altura del botalón, independientemente de la posición del objetivo, se obtiene un mayor número de impactos cm^{-2} . Por otro lado, la acción del viento facilita la llegada de las gotas a las

caras verticales del objetivo, mientras que disminuye los impactos en las caras horizontales.

La menor cantidad de impactos cm^{-2} a mayor altura de botalón bajo la incidencia del viento, puede deberse, a que a medida que la distancia entre la boquilla y el objetivo aumenta, mayor es el efecto que la velocidad del viento puede tener en la deriva (Holterman et al., 1997; Miller, 1989; Zhu et al., 1994). La influencia del viento puede aumentar la proporción de gotas más pequeñas desviadas del objetivo y consideradas derivas. Villalba & Hetz (2010) afirman que la velocidad del viento es el factor meteorológico que más afecta a la deriva. Ensayos realizados en condiciones de laboratorio muestran que a $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ las gotas de $100\text{ }\mu\text{m}$ sometidas a una corriente de aire de $5,18\text{ km h}^{-1}$ son trasladadas 10 m , mientras que a una corriente de $25,8\text{ km h}^{-1}$ son trasladadas 35 m . En objetivos verticales a pesar de que el viento permitió lograr una mayor cantidad de impactos respecto a la ausencia de dicho factor ambiental, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre lugares. Esto puede deberse a las características propias de la pastilla utilizada, la cual, a diferencia de las pastillas con orientación verticales respecto al suelo, proyecta un abanico hacia adelante y otro hacia atrás permitiendo lograr, bajo distintas condiciones, similar cantidad de impactos sobre las caras verticales. En concordancia con esto, Wolf & Caldwell (2013) han demostrado que el uso de boquillas dobles que proyectan dos abanicos, uno hacia adelante y el otro hacia atrás, aumentan la deposición de pulverización sobre objetivos verticales. Por otra parte, pudo visualizarse que los objetivos verticales recibieron menor cantidad de impactos respecto a los horizontales, cuestión que se evidencia en la práctica, donde las estructuras vegetativas orientadas verticalmente, tales como hojas erectas, tallos o pecíolos, típicamente reciben dosis mucho más bajas en comparación con los objetivos orientados horizontalmente. En los trabajos de Wolf & Peng (2011), Ozkan et al., (2012), Wolf & Cadwell (2013), Merani (2021) y Mur (2021) quedó demostrado que alcanzar objetivos

verticales es una dificultad importante para todas las alternativas tecnológicas evaluadas.

Diámetro Volumétrico Mediano (DVM o DV0,5)

Esta característica de la población de gotas se puede visualizar en el gráfico 2. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos horizontales y verticales a distinta altura de botalón en un mismo lugar, como así tampoco se encontraron diferencias significativas para dichos tratamientos entre lugares, evidenciando que el tamaño de la población de gotas es homogéneo bajo las distintas condiciones de tratamiento. Esto puede deberse a que, durante el desarrollo del ensayo, las condiciones ambientales fueron adecuadas y no se observaron variabilidad de las mismas.

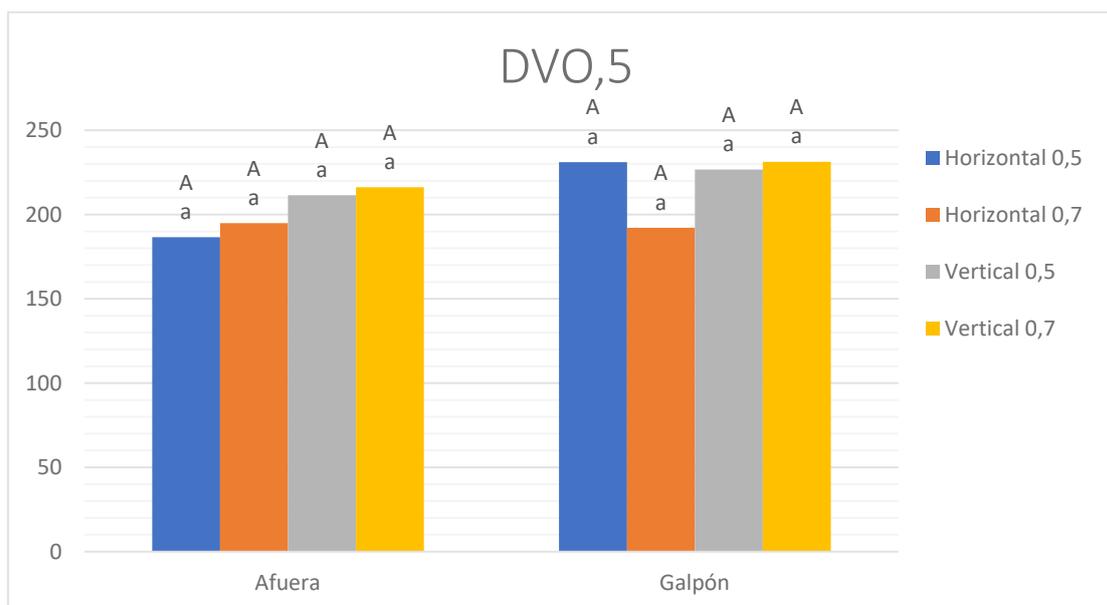


Gráfico 2. DV0,5 para los objetivos horizontales y verticales a distintas alturas de botalón en los lugares galpón y afuera. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para cada lugar ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey. Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre lugares para cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

A pesar de que no hubo diferencias estadísticamente significativas, se registraron gotas de mayor tamaño en los tratamientos sin incidencia de viento. Los valores obtenidos se encuentran dentro de la categoría de gotas medianas de acuerdo a la

clasificación establecida en la Norma ASAE S-572 (ASAE, 2009) y se encuentran dentro del rango recomendado por CASAFE (2016) de 150 a 400 μm . Valores menores corren riesgo de exoderiva mientras que valores mayores de endoderiva. Sarubbi (2010) menciona como indicadores del potencial de endoderiva y exoderiva a las variables DV0,9 y DV0,1 respectivamente, cuyos valores pueden visualizarse en la tabla N° 3.

DV0,1

No se encontraron para los tratamientos verticales y horizontales a las dos alturas de botalón, diferencias significativas entre los lugares afuera y galpón, en consecuencia, la diferencia de condiciones ambientales entre el galpón y afuera, no provocaron pérdida de gotas por deriva. Sin embargo, cabe resaltar que el valor obtenido en las posiciones horizontales fue menor a 150 μm y en las verticales menor a 100 μm , constituyendo un riesgo de deriva. Gotas con diámetros inferiores a 100 μm son susceptibles a derivarse por efecto del viento y la evaporación (Cunha et al, 2003). Esto se debe en parte a que las gotas más pequeñas (menores a 200 μm), pierden velocidad más rápido que las de mayor tamaño hasta alcanzar la velocidad límite, condición de equilibrio entre la aceleración y roce entre las gotas y el fluido por el que se mueve. Por lo tanto, gotas más chicas se encuentran mayor tiempo en el aire, expuestas a otras fuerzas tales como el viento, pudiendo desplazarse a otro lugar fuera del objetivo. Además, también disminuyen su tamaño por evaporación reduciendo aún más su velocidad de caída.

DV0,9

Solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre lugares para el tratamiento horizontal a 0,5 m de altura de botalón, donde con incidencia del viento se registró un tamaño de gota de 350 μm y sin la incidencia de dicho factor el tamaño fue de 450 μm , un 28 % más grande, es decir, es de esperar mayores riesgos de endoderiva sin la acción del viento. En coincidencia con esto, Klein & Johnson (2002)

mencionan que tamaños de gotas mayores a 400 μm significan un problema para la aplicación, ya que no se mantienen sobre la superficie de la planta, a la vez que proveen de una baja cobertura sobre el objetivo.

Tabla N°3: Valores de DV 0,1 y DV 0,9 para los objetivos horizontales y verticales a distintas alturas de botalón en los lugares galpón y afuera. Una letra mayúscula en común indica que no existen para cada lugar diferencias estadísticamente significativas entre distintas alturas de botalón ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey. Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre lugares para cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

Tratamiento	DV 0,1 (μm)		DV 0,9 (μm)	
	Galpón	Afuera	Galpón	Afuera
Horizontal 0,5 m	92,9 a C	92,7 a B	451,5 a A	350,5 b A
Horizontal 0,7 m	92,3 a C	93,8 a B	359,5 a AB	325,6 a A
Vertical 0,5 m	119,3 a B	111,3 a AB	351,9 a B	318,2 a A
Vertical 0,7 m	143,8 a A	125,5 a A	312,6 a B	284,5 a A

Cobertura (%)

El porcentaje de cobertura es un parámetro evaluado por el programa de análisis de tarjeta a partir de los pixeles azules coloreados contra los no coloreados. Es una variable fuertemente dependiente del tamaño de las improntas medidas y el número de impactos.

En el gráfico 3 puede observarse que, entre lugares, solamente el tratamiento horizontal a 0,7 m de altura presentó diferencias estadísticamente significativas, registrándose en el galpón una cobertura de 2,87 % mientras que afuera 1,85 %, es decir, sin la incidencia del viento el porcentaje de cobertura fue un 55 % mayor. Esto puede deberse a que en el galpón se obtuvo un 66 % más impactos cm^{-2} con similar tamaño de gotas. El hecho de que a 0,5 m de altura no existan marcadas diferencias entre lugares en el porcentaje de cobertura, puede deberse a que, al posicionarse más

bajo el botalón, se reduce la deriva, como se explicó anteriormente, no disminuyen significativamente los impactos cm^{-2} y por ende no disminuye el porcentaje de cobertura.

Otro factor que puede incidir en este aumento de cobertura al bajar el botalón, puede estar influenciado por la fuerza con que la gota impacta en el objetivo. Al encontrarse el botalón más bajo, las gotas todavía pueden mantener el impulso generado por la presión de trabajo de la pastilla y al impactar contra el objetivo generan una impronta mayor que aumenta la superficie cubierta.

Los valores de cobertura logrados en objetivos con disposición vertical con y sin viento, con la barra pulverizadora a distintas alturas fueron muy similares, esto puede deberse a que bajo la acción del viento el número de impactos es superior pero el tamaño de las gotas levemente inferior, motivo por el cual no se encontraron diferencias. Debe remarcarse que el diámetro de la gota influye al cuadrado en la superficie de cobertura, mientras que el número de impactos lo hace linealmente. El porcentaje de cobertura logrado en estos objetivos fue mucho más bajo que los posicionados horizontalmente, lo cual es lógico y coincide con el resto de los resultados evaluados hasta el momento.

Dentro de un mismo lugar, sólo los tratamientos horizontales presentaron diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de cobertura entre distintas alturas de botalón, tanto en el galpón como afuera. Bajo la incidencia del viento, a mayor altura de botalón se obtuvo un valor de cobertura de 1,85 % mientras que a la menor altura se registró 3,43 %, es decir, al disminuir la altura del botalón la cobertura se incrementó en un 85 %. En el galpón, ese incremento fue del 30 %. Esto puede deberse, al mayor número de impactos logrados por estar el botalón ubicado más cerca del objetivo, por lo explicado anteriormente.

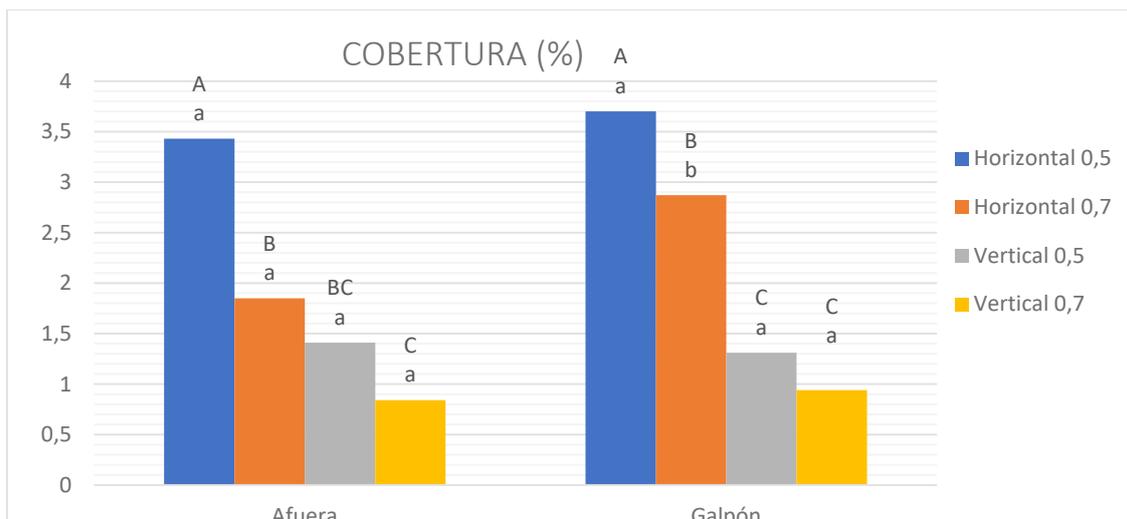


Gráfico 3. Porcentaje de cobertura en objetivos horizontales y verticales a distintas alturas de botalón en los lugares galpón y afuera. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para cada lugar ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey. Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre lugares para cada tratamiento ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey.

Amplitud relativa:

Esta característica de la población de gotas se puede apreciar en el gráfico 4, donde se visualiza que no existen diferencias significativas para los tratamientos verticales y horizontales al variar la altura de botalón en un mismo lugar, como así tampoco para dichos tratamientos entre los lugares galpón y afuera.

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 bajo sea el número, más homogéneo es el espectro de gotas.

En el caso de los tratamientos horizontales pudo observarse, por un lado, que los valores fueron superiores a la unidad, lo que indica que la población de gotas tiene una dispersión del diámetro volumétrico hacia tamaños más grandes, es decir que superan al DV0,5. A su vez se observó una población de gotas más homogéneas bajo la acción del viento, obteniendo un valor de AR 17 % menor en ambas alturas de botalón.

En el caso de los tratamientos verticales los valores fueron inferiores a la unidad, lo que indica que la población de gotas tiene una dispersión del diámetro volumétrico hacia tamaños más chicos, es decir inferiores al DV0,5.

En base a estos resultados, se puede rechazar la hipótesis de que el viento permite lograr una población de gotas más homogéneas. Si bien los resultados no fueron significativos, hay una tendencia a una población de gotas más homogéneas en condiciones de viento respecto a su ausencia.

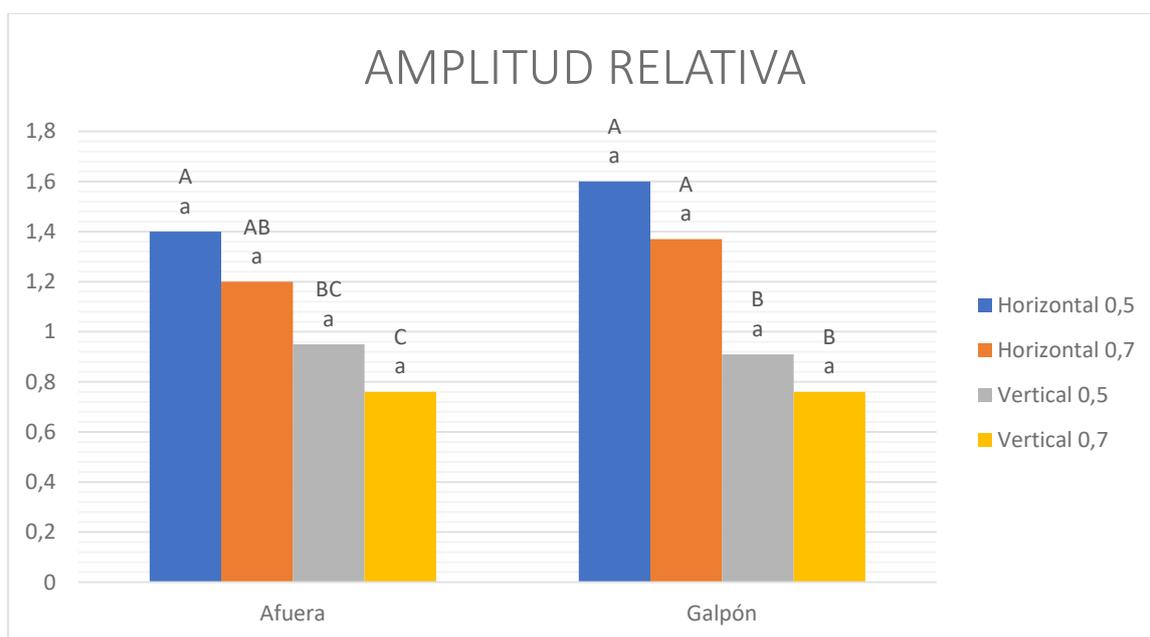


Gráfico 4. Amplitud relativa en objetivos horizontales y verticales a distintas alturas de botalón en los lugares galpón y afuera. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para cada lugar ($p \leq 0,05$) según test de Tukey. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre lugares para tratamiento ($p \leq 0,05$) según test de Tukey.

Eficiencia

En el gráfico 5 podemos observar cómo en ambos lugares evaluados, tanto en tratamientos horizontales como verticales, la eficiencia aumenta al disminuir la altura del botalón, a pesar de que solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas afuera, en el tratamiento horizontal. Esto puede deberse a la menor

cantidad de impactos logrados al aumentar la distancia entre la barra pulverizadora y el objetivo.

Entre lugares, solo se presentaron diferencias estadísticamente significativas para el tratamiento horizontal a 0,7 m de altura de botalón. Se registraron valores de 11% y 18% para los tratamientos afuera y galpón respectivamente. El factor determinante de estos resultados fue la acción del viento, el cual incidió de manera marcada en la deriva de las gotas, disminuyendo su llegada a los objetivos. En el tratamiento horizontal con la barra pulverizadora a 0,5 m de altura, se contrarrestó la acción de este factor por la disminución de la carrera de las gotas entre la pastilla de pulverización y el objetivo, disminuyendo así la deriva.

Los objetivos verticales fueron los que presentaron los menores valores de este parámetro. Como resultado del análisis de los datos, no se encontraron diferencias estadísticas entre los lugares debido a que, bajo la incidencia de viento, la cantidad de impactos fue mayor pero el tamaño de las gotas fue menor respecto al tratamiento sin incidencia de viento. En los tratamientos, se obtuvieron aproximadamente los mismos valores tanto bajo la presencia de viento como en ausencia de dicho factor. A 0,7 m de altura de botalón se registró un 6 % de eficiencia mientras que a 0,5 m un 9 %.

En un análisis general, los valores resultan muy bajos, inferiores a los indicados por Martens (2012) quien cita para condiciones de barbecho valores de eficiencia del orden del 60 %, pero más cercanos a los citados por Courshee (1960) quien, sostiene que los valores de caldo que llegan al blanco rondan aproximadamente en el 20%. Se debe tener en cuenta que la metodología de evaluación con tarjetas fotográficas posee una subestimación en el parámetro de eficiencia arrojado por los programas informáticos tal como menciona Pi Puig (2019) quien encontró valores entre 15-25% para tarjetas fotográficas, 50-80% para tarjetas hidrosensibles y 50-60% para trazador colorimétrico

Los resultados, en su conjunto, reafirman las consideraciones de carácter general expuestas por Onorato & Tesouro (2004) en relación a la complejidad que involucra a la pulverización como técnica de aplicación de fitoterápicos, no solo desde el punto de vista agronómico, sino también por la preservación del medio ambiente, la salud humana y la necesidad de trabajar con un enfoque sistémico que contemple la interacción de múltiples variables (Bertalanffy, 1981; Leiva, 1996). La eficiencia será, entonces, el resultado de la interacción de múltiples factores tal como fuera aseverado por Leiva (1995) y Arvidsson et al. (2011) cuyo análisis conduce a una adecuada preparación de los pulverizadores para realizar una tarea exitosa (Massaro, 2004).

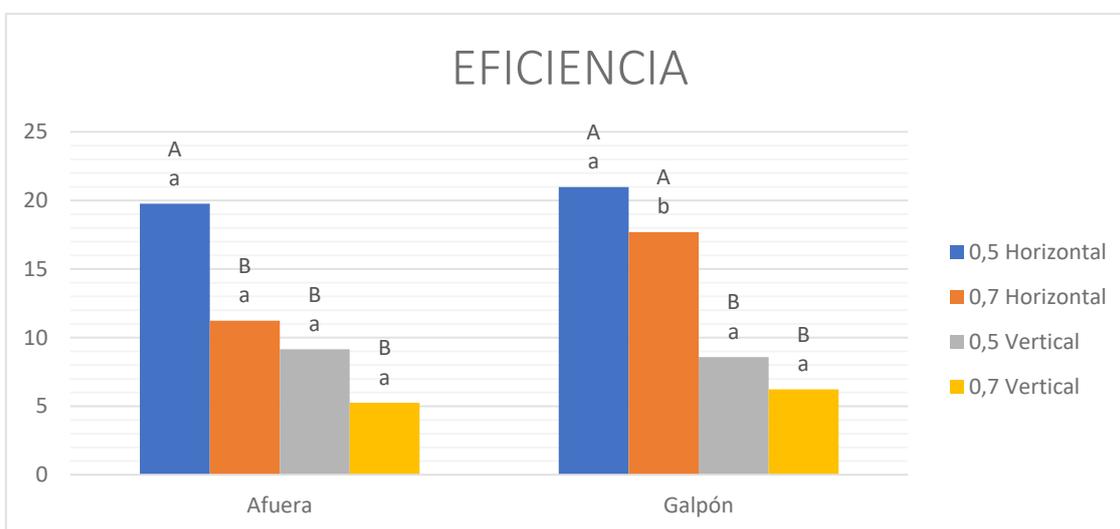


Gráfico 5 Eficiencia en objetivos horizontales y verticales a distintas alturas de botalón en los lugares adentro y afuera. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas dentro del lugar para diferentes tratamientos ($p \leq 0,05$) según test de Tukey. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas para tratamientos entre lugares ($p \leq 0,05$) según test de Tukey.

CONCLUSIONES

Sobre objetivos horizontales, la acción del viento disminuye los impactos cm^{-2} , la eficiencia y el porcentaje de cobertura, pero la incidencia de este factor ambiental disminuye al acercarse la barra pulverizadora al objetivo.

El efecto del viento no genera poblaciones de gotas de tamaño diferente.

El viento no genera una llegada de poblaciones de gotas más uniformes en las distintas posiciones de los objetivos.

BIBLIOGRAFIA

Álvarez R. 2011. Equipos y técnicas modernas para la aplicación de agroquímicos: su manejo correcto. Repositorio académico Universidad Del Zulia Facultad de Agronomía. Maracaibo, Venezuela.

Arvidsson, T., L. Bergström & J. Kreuger. 2011. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. *Pest. Manag. Sci.* 67, 586-598.

ASAE S572.1. 2009. Spray nozzle classification by droplet spectra. *Am. Soc. Agric. Eng.*, St Joseph, Michigan, 4 pp.

Bertalanffy, L. 1981. Teoría General de los Sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones. Ed. Fondo de Cultura Económica, México DF. pp. 167 – 169.

CASAFE. 2016. Uso de tarjetas hidrosensibles. Disponible en <https://www.casafe.org/uso-de-tarjetas-hidrosensibles/> Último acceso: Mayo 2020. Disponible en: <https://www.casafe.org/pdf/2018/ESTADISTICAS/Informe-Mercado-Fitosanitarios-2018.pdf>. Último acceso: Marzo 2020.

Courshee, R.J. 1960. Some aspects of the application of insecticides. *Annual Review of Entomology*, Palo Alto, vol. 5. pp. 327 – 352.

Cunha, J.P.A.R., M.M.Teixeira, J.R. Coury & L.R. Ferreira 2003. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. *Planta Daninha*, 21(2), 325-332.

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.

FAO & OMS. 2014. Código Internacional de Conducta para la Gestión de plaguicidas de la FAO y la OMS, 2014. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3604s.pdf>. Último acceso: Julio 2020.

Friedlander. 2017. Proyectan una suba del 18% en el mercado de agroquímicos para la campaña 2017-2018. Disponible en: <https://www.infocampo.com.ar/proyectan-una-suba-del-18-en-el-mercado-de-agroquimicos-para-la-campana-201718/>. Último acceso: Julio 2020.

Frola, E. 2013. Claves para mejorar las pulverizaciones. Disponible en: <http://www.todoagro.com.ar/noticias/nota.asp?nid=24736>. Último acceso: Mayo de 2020.

Gooden, D. 2011. *Responsible Pesticide Application*. Australia: Nuffield Farming Scholars.

Holterman, H.J., J.C. Van De Zande, H.A.J. Porskamp & J.F.M. Huijsmans, 1997. Modelling spray drift from boom sprayers. *Computers and Electronics in Agriculture*. 19(1): 1–22.

Huerga, M. & S. San Juan. 2004. El Control de las Plagas en la Agricultura Argentina. Estudio Sectorial Agrícola Rural. Banco Mundial y Centro de Inversiones FAO. Buenos Aires. 100 pp.

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

Lauric, A., G. De Leo, C. Carbonell, M. Vigna & D. Leiva. 2016. Utilización de tarjetas hidrosensibles para evaluar el efecto de la presión sobre la calidad de aplicación. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-utilizacion_de_tarjetas_hidrosensibles_para_evaluar_efecto_de_presion_sobre_la_aplicacion.pdf Último acceso: Agosto 2020.

Leiva, P. D. 1995. Manejo de la deriva en aplicación de agroquímicos. Carp. Produc. Vegetal. INTA, EEA Pergamino, SERIE: Generalidades, Tomo XIV.

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.

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.

Martens, F. 2012. Guía para el uso adecuado de plaguicidas y la correcta disposición de sus envases. Boletín de divulgación N° 41. ISSN 0328-3380. 26 pp.

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

Merani, V.H. 2021. Distribución espacial de la pulverización generada por diferentes diseños de pastillas hidráulicas. M. Sc. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina.

Miller, P.C.H. & D.J. Hadfield. 1989. A simulation model of the spray drift from hydraulic nozzles. Journal of Agricultural Engineering Research. 42(2): 135-147 [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(89\)90046-2](https://doi.org/10.1016/0021-8634(89)90046-2)

Mur, M. 2021. Aplicaciones sobre un cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.). Incidencia del tipo de boquilla y la adición de coadyuvante. M. Sc. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina.

Nuyttens, D., M. De Schampheleire, K. Baetens & B. Sonck. 2007. The influence of operator controlled variables on spray drift from field crop sprayers. Trans. ASABE, v. 50, n. 4, p. 1129-1140.

Onorato A.A. & M.O. Tesouro 2004. Desempeño antideriva de una boquilla de pulverización agrícola de cono hueco inducida con aire, RIA 33 (3) 3-13

Onorato, A.A. & M.O. Tesouro. 2006. Pulverizaciones agrícolas y terrestres. Edición Buenos Aires. P 33-67.

Ozkan, H. E., P. Paul, R.C. Derksen & H. Zhu. 2012. Influence of application equipment on deposition of spray droplets in wheat canopy. Aspects of applied biology, 114, 317-324.

Pi Puig, L. 2019. Pulverizaciones agrícolas: Comparación de metodologías para su evaluación. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina.

- Pretty J.** 2008. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Phil. Trans. R. Soc. B* (2008) 363: 447-465. doi:10.1098/rstb.2007.2163.
- Sarubbi, C.** 2010. Tecnología de aplicación de productos fitosanitarios en equipos pulverizadores terrestres. Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires. 290 pp.
- Teske, M.E., A.J. Hewitt & D.L. Valcore.** 2004. Suggested Revisions to ASAE Standard S572 Aug99. *Transactions of the ASAE*, 0300(04), 1–9.
- Teixeira, M.M.** 1997. Influencia del volumen de caldo y de la uniformidad de distribución transversal sobre la eficacia de la pulverización hidráulica. 310 pp.
- Tepper, G.** 2012. Weather Essentials for Pesticide Application. Weather Essentials for Pesticide Application GRDC Project Code: TEP00001 – General meteorology for pesticide application booklet Published February 2012 ISBN: 978-1-921779-40-4
- Tepper, G.** 2014. Weather Essentials for Pesticide Application 2da revisión. Grains Research & Development Corporation.
- Tilman D., K.G. Cassman, P.A. Matson, R. Naylor & S. Polasky.** 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-676.
- Villalba J. & E. Hetz.** 2010. Tecnología de aplicación de agroquímicos. Cap. 3 Deriva de productos agroquímicos. Efecto de las condiciones ambientales. P 45-54.
- Wolf T. & G. Peng.** 2011. Improving Spray Deposition on Vertical Structures: The Role of Nozzle Angle, Boom Height, Travel Speed, and Spray Quality. Pest Technology Global Science Books.
- Wolf T. & B. Caldwell.** 2013. Spray Deposition of TeeJet AI3070VS on Vertical Targets. A Study Conducted for TeeJet Technologies.
- Zhu, H., D.L. Reichard, R.D. Fox, R.D. Brazee & H.E. Ozkan.** 1994. Simulation of drift of discrete sizes of water droplets from field sprayers. *Transactions - American Society of Agricultural Engineers*, 37(5): 1401–1407.