












ARTÍCULO ORIGINAL

Estudio comparativo de programas informáticos para el análisis de calidad de aplicación de productos fitosanitarios

Comparison of software tools for assessing the quality of pesticide spray application

Estudo comparativo de programas de computador para a análise de qualidade de aplicação de produtos fitossanitários

*Larrieu, Luciano*¹ ; *Giambelluca, Ana Laura*² ; *Mur, Matilde*¹ ; *Merani, Victor*¹ ; *Vazquez, Juan Manuel*¹ ; *Guilino, Facundo*¹ ; *Ferro, Daniel*¹ ; *Pereira, Esteban Iván*¹ ; *Donadelli, Maria Clara*¹ ; *Cinquetti, Tatiana*³ ; *Millán, Guillermo Jose*⁴ 

1 Mecanización Agraria, Fac. Cs. Agrarias y Forestales, UNLP

2 Becaria Pre doctoral, Universidad pública de Navarra

3 Mecanización Forestal, Fac. Cs. Agrarias y Forestales, UNLP

4 Mecanización Manejo y Conservación de Suelos, Fac. Cs. Agrarias y Forestales, UNLP

larrieuluciano@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.35305/agro43.e039>

Recibido: Noviembre 2023 Aceptado: Mayo 2024

Resumen

El tamaño de gota es el factor más importante para garantizar la llegada de un producto fitosanitario al objetivo de aplicación. En dicho contexto, la selección de una pastilla pulverizadora debe ser adecuada en función de la población de gota que se busca generar. La evaluación de la calidad de aplicación de productos fitosanitarios se realiza mayoritariamente mediante la utilización de tarjetas hidrosensibles. La densidad de impactos por centímetro cuadrado (DI), el Diámetro volumétrico mediano (DV0,5) y la Eficiencia (EF) son las variables principales para caracterizar la calidad de la aplicación. Existen numerosos programas para el procesamiento de dichas tarjetas y los resultados dependen de la resolución con la cual se escanean las tarjetas. Por lo tanto, se destaca la importancia de estudiar como los diferentes programas pueden condicionar el diagnóstico de la calidad de aplicación. El objetivo de este trabajo fue evaluar y comparar el desempeño de tres programas en la medición de DI, DV0,5 y EF en 5 pastillas productoras de diferentes tamaños de gotas. Los programas presentaron mayores correlaciones en la DI y EF en las pastillas que generan gotas finas y muy finas. No se encontraron buenas correlaciones entre los programas para el DV0,5 en todas las pastillas evaluadas. Concluyendo que la evaluación de la calidad de aplicación depende del programa utilizado.

Palabras clave: Tarjetas hidrosensibles; Resolución; Diagnostico de aplicación

Abstract

Droplet size is the most important factor determining the deposition of a pesticide on its intended target. In this context, the selection of an adequate spray nozzle must be based on the characteristics of the droplet population to be achieved. Pesticide application quality is mainly assessed using hydrosensitive cards. The main variables used to characterize application quality are: density of impacts per square centimeter (DI), volume median diameter (DV0.5), and efficiency (EF). There are numerous software tools for processing hydrosensitive cards, and the results depend on the resolution with which the cards are scanned. Therefore, exploring how the use of different programs can affect the outcome of an application quality assessment is of the utmost importance. The objective of this work was to evaluate the performance of three software tools in measuring DI, DV0.5 and EF for 5 nozzles producing different droplet sizes. The programs presented higher correlations for DI and EF in nozzles generating fine and very fine droplets. No good correlations were found between the programs for DV0.5 in all the nozzles evaluated. Based on our results, it is concluded that results of application quality assessments may present variations depending on the tool used.

Key words: Hydrosensitive cards; Resolution; Application diagnosis

Resumo

O tamanho da gota é o fator mais importante para garantir a chegada de um produto fitossanitário ao destino de aplicação. Neste contexto, a seleção de uma pastilha para pulverização deve ser adequada de acordo com a população de gotas que se pretende gerar. A avaliação da qualidade de aplicação dos produtos fitossanitários é realizada principalmente através da utilização de cartões hidrossensíveis. A densidade de impactos por centímetro quadrado (DI), o Diâmetro mediano volumétrico (DV_{0,5}) e a Eficiência (EF) são as principais variáveis para caracterizar a qualidade da aplicação. Existem inúmeros programas para processar estes cartões e os resultados dependem da resolução com que os cartões são digitalizados. Destaca-se, portanto, a importância de estudar como os diferentes programas podem condicionar o diagnóstico da qualidade da aplicação. O objetivo deste trabalho foi avaliar e comparar o desempenho de três programas na medição de DI, DV_{0,5} e EF em 5 pastilhas que produzem diferentes tamanhos de gotas. Os programas apresentaram maiores correlações em DI e EF nas pastilhas que geram gotas finas e muito finas. Não foram encontradas boas correlações entre os programas para DV_{0,5} em todas as pastilhas avaliadas. Concluindo que a avaliação da qualidade de aplicação depende do programa utilizado.

Palavras chave: Cartões hidrossensíveis; Resolução; Diagnóstico de aplicação

Introducción

La producción vegetal está continuamente amenazada por la aparición de gran variedad de plagas y enfermedades ([Chueca et al., 2023](#)). Es por ello que se recurre a la aplicación de productos fitosanitarios como metodología predominante para la protección y cuidado de los cultivos ([Merani et al., 2023](#)). Para llevar a cabo la aplicación de estos productos se utilizan pulverizaciones hidráulicas como principal tecnología, no obstante, la misma es compleja ya que no solo debe asegurarse cumplir con el objetivo de dicha aplicación, sino que también se debe evitar la contaminación del medio ambiente y de la población circundante ([Simonello et al., 2010](#); [Bernardos y Zaccagnini, 2011](#)).

Son numerosos los factores que influyen en la calidad de aplicación ([Domper et al., 2014](#); [Merani et al., 2021](#)), entre los que se pueden mencionar: condiciones ambientales, modo de acción del producto a aplicar, objetivo de aplicación, riesgo de deriva y cantidad de caldo a aplicar entre otros ([Massaro et al., 2011](#)). Un factor preponderante a considerar para la aplicación de productos fitosanitarios es la correcta selección de la pastilla pulverizadora. Su adecuada selección debe permitir generar un tamaño de gota acorde al objetivo de trabajo ([Mur et al., 2018](#); [Merani, 2021](#)). En dicho contexto, las características de la pastilla, diseño y caudal, junto con la presión de trabajo son las variables directas que definen el tamaño de gota y, por consiguiente, la calidad de la aplicación ([Privitera et al., 2023](#)).

Al respecto, Derksen et al. ([2012](#)) encontraron mayor cobertura en la espiga de trigo utilizando gotas finas. Wolf y Caldwell ([2013](#)) indicaron que el tipo de pastilla afecta significativamente la deposición tanto en el plano frontal, como en el posterior del objetivo de aplicación. Por su parte, Domper et al. ([2015](#)) reportaron mayor uniformidad de aplicación sobre objetivos verticales con boquillas de doble abanico plano, determinando una mayor eficiencia que las de abanico plano convencional. Por su parte, Mur et al. ([2020](#)) encontraron una densidad de impactos significativamente mayor utilizando pastillas como hueco 8002 frente a abanico plano 11002 en objetivos de aplicación horizontales.

En ese contexto, el tamaño de gota es el factor más importante para optimizar el desempeño y evitar resultados indeseables ([Vazquez et al., 2019](#) y [Privitera et al., 2023](#)). Es por ello que, la caracterización de la población de gotas generadas durante la aplicación es imprescindible para determinar la mayor calidad y eficiencia de aplicación ([Merani et al., 2019](#)). Según la norma ISO (25358:2018), las gotas de aspersión se clasifican en ocho categorías de calidad en orden creciente de la siguiente manera: extremadamente fina (XF), muy fina (VF), fina (F), media (M), grueso (C), muy grueso (VC), extremadamente grueso (XC) y ultra grueso (UC).

La herramienta más utilizada para medir o analizar la calidad de aplicación son las tarjetas hidrosensibles, las mismas modificarán su color al contacto con agua o aceite, permitiendo evaluar *in situ* la calidad y eficiencia de la labor ([Connor Ferguson et al., 2016](#); [Zhu et al., 2011](#); [Cunha et al., 2013](#)). Privitera et al. (2023) indicaron que las tarjetas hidrosensibles son una herramienta importante en la evaluación de los parámetros de aspersión agrícola. El cambio de color producto del impacto de la gota genera manchas o improntas que permite registrar y medir los siguientes parámetros de pulverización: Densidad de impactos (DI), Diámetro Volumétrico Mediano (DVM o DV0,5), Cobertura (CO), Diámetro Numérico Mediano (DNM), Amplitud Relativa (AR), Factor de Dispersión (FD), Diámetro Volumétrico 0,1 (DV0,1), Diámetro Volumétrico 0,9 (DV0,9) y Eficiencia (EF) ([Cunha et al., 2013](#)).

Si bien algunas de estas variables pueden medirse de forma manual, generalmente se recurre al uso de programas informáticos que permiten eficientizar el tiempo en el procesamiento de tarjetas y en el diagnóstico de la calidad de la aplicación. Entre los programas más utilizados, se pueden mencionar: CIR1.5 (CIR), Gotas Celular (GC) y Gotas para computadora (PC), Spray Guru (SP), Deposit Scan (DS), Agrosan (AS), Agrosan (AS), e-Sprinkle (eS), StainMaster (SM) y Drop Leaf (DL), entre otros.

Leiva y Araujo (2007; 2009) observaron que CIR registró el mayor DI, lo cual podría atribuirse a la mayor capacidad para efectuar la separación de las marcas superpuestas, así como también, a los diferentes factores de corrección de expansión de las improntas que implementa, los cuales no están especificados. Cunha et al. (2013) reportaron que CIR además de registrar los mayores DI, obtuvieron menores valores de DV0,5 debido a la capacidad del programa de diferenciar gotas más pequeñas. Por otro lado, Marçal y Cunha (2008) mencionan en su trabajo que GC dependería de la calidad de la cámara, ya que sus resultados indicaron una evaluación más nítida DV0,5 y DI cuando se utiliza una alta resolución, particularmente en caso de contar con una gran cantidad de gotas pequeñas. En dicho contexto, Cerruto et al. (2022) y Manetto et al. (2022) mencionan que un aspecto importante en el procesamiento de tarjetas es la resolución de la imagen.

García et al. (2004) informaron que cada programa posee un modelo matemático integrado diferente para calcular el volumen de gota a partir de su impronta en el papel hidrosensible. A su vez, Zhu et al. (2011) mencionaron que los programas calculan el área de cada impronta de diferente misma manera, debido a que la marca en la tarjeta hidrosensible no es perfectamente circular. Es por ello que se utilizan diferentes fórmulas de cálculo para estimar el área de cada impronta.

Cunha et al., (2012) evaluaron los resultados obtenidos con siete programas de procesamiento de tarjetas. Estos autores reportaron una gran diferencia entre los resultados en términos de los parámetros de pulverización calculados. A su vez, Salyani et al. (2013) analizaron tres sistemas

diferentes de procesamiento de imágenes encontrando una baja correlación en la medición del DV0,5. A su vez, concluyeron que las tarjetas hidrosensibles no se pueden usar para cuantificar el caldo depositado sobre el objetivo en las aplicaciones a campo.

La EF relaciona el volumen de caldo que alcanzó el objetivo ($l\ ha^{-1}$) y la tasa aplicada ($l\ ha^{-1}$). Leiva y Araujo (2007) indicaron que las variaciones en su estimación podrían deberse a que los programas calculan el volumen aplicado como producto de DI y el DV0,5. Por lo tanto, las variaciones en la medición de ambos parámetros causarían variaciones en el valor de EF. Estos autores concluyeron que la eficiencia fue mejor estimada con los programas CIR y Agroskan; tanto el programa e-Sprinkle como StainMaster subestimaron (54% menos) dicha variable.

Complementariamente, la EF puede medirse a través de trazantes fluorimétricos o colorimétricos (Mur et al., 2020). La cuantificación de la concentración efectivamente depositada sobre el objeto de aplicación permite tener mayor exactitud en la medición de la EF (Cowell et al., 1988; Merani et al., 2021). Domper et al. (2014) realizaron una comparación entre el método colorimétrico y CIR sobre suelo desnudo utilizando pastillas cono hueco convencional 80015 y cono hueco con inducción de aire 80015. En el estudio se observó que CIR sobreestimó la eficiencia de aplicación, especialmente para pastillas con inducción de aire. Debido a la importancia del tamaño de gota como variable imprescindible para optimizar la llegada del producto fitosanitario, y a las diferencias en la medición y cálculo de los parámetros de calidad de aplicación. El objetivo de este trabajo fue valorar la prestación de tres programas de procesamiento de tarjetas hidrosensibles para la evaluación diferentes tamaños de gotas.

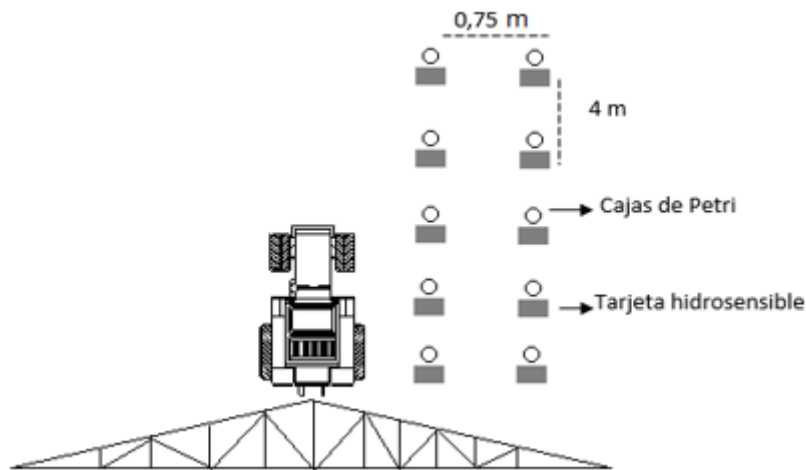
Materiales y métodos

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, coordenadas $34^{\circ}59'3,15''S$ $57^{\circ}59'45,94''O$. Se utilizó una pulverizadora montada con un botalón de 6 m de longitud y una altura respecto al suelo de 0,85 m.

La definición de los parámetros de aplicación (ecuación 1) para las 5 pastillas utilizadas fueron: tasa de aplicación = $87\ l\ ha^{-1}$ (Q); caudal unitario = $0,8\ l\ m^{-1}$ (q); separación entre picos = 0,52 m (a); velocidad de avance = $10,6\ km\ h^{-1}$ (v). Las condiciones ambientales promedio durante el ensayo fueron: viento $6\ km\ h^{-1}$; humedad relativa 85 % y temperatura de $15\ ^{\circ}C$.

$$Q\ (l\ ha^{-1}) = \frac{q\ (l\ min^{-1})\ 600\ (min\ km\ m\ h^{-1}\ ha^{-1})}{a\ (m)\ v\ (km\ h^{-1})} \quad (1)$$

El ensayo se llevó a cabo sobre suelo desnudo, en el cual se colocaron cajas de Petri junto con tarjetas hidrosensibles marca Syngenta® de 3 pulgadas de largo y 1 pulgada de ancho, sujetas mediante soportes de alambre al ras del suelo. Las mismas fueron dispuestas en cinco sitios, de a pares, distanciadas a 0,75 m entre ellas y a 4 m entre bloques.



Se utilizaron 5 pastillas diferentes a fin de cubrir un rango amplio en el espectro de tamaño de gotas: Abanico Plano Convencional XR 11002 (AP), Cono Hueco Convencional TXA 8002 (CC), Impacto 11002 (IMP), Doble Abanico asimétrico con aire inducido AI3070 11002 (DA 30/70) y Doble Abanico simétrico con aire inducido GuardianAir Twin 110 (DA 30/30). Se emplearon pastillas nuevas controladas con caudalímetro electrónico digital. Para las aplicaciones se utilizó agua y el trazador colorimétrico Azul Brillante (FD&C N°1) en una concentración de $1,5 \text{ g l}^{-1}$.

Tabla 1. Tamaño de gota para cada pastilla de acuerdo al fabricante para una presión de 3 bar. Muy fina (VF), fina (F), media (M), grueso (C), muy grueso (VC).

Pastilla	Tamaño de gota
CC	VF
AP	F
IMP	M
DA 30/30	C
DA 30/70	VC

El procesamiento de las tarjetas hidrosensibles se realizó a través de tres programas: CIR1.5 (CIR) con una resolución de 1200 dpi. Este programa fue seleccionado como referencia a partir de la bibliografía citada. Gotas PC (PC) y Gotas Celular (GC) con 600 dpi y 300 dpi de resolución, respectivamente, tomados como programas de fácil acceso y difundidos en el medio productivo. Las variables analizadas de cada uno de los programas fueron: DI (impactos cm^{-2}); DV0,5 (μm) y EF (%).

El volumen de líquido recogido en las cajas Petri se utilizó como testigo (T) para la evaluación de la EF. Se realizó la lectura de color mediante un espectrofotómetro de absorción molecular y a partir de curvas de calibración se determinó la cantidad de líquido recolectado en cada una.

El análisis de los resultados se llevó a cabo mediante ANOVA y test de Tukey. Se evaluó el comportamiento de los tres programas para cada parámetro de calidad de aplicación y posteriormente se realizaron correlaciones entre los programas para evaluar su comportamiento en cada parámetro y para cada pastilla.

Resultados y discusión

Densidad de Impactos (DI).

Los resultados obtenidos en el parámetro DI se presentan en la [Figura 1](#). Se puede observar que existen diferencias significativas entre programas. Respecto al número de impactos, GC registró la menor cantidad y CIR presentó el mayor número de impactos. PC se encontró con un registro intermedio, entre los dos programas mencionados.

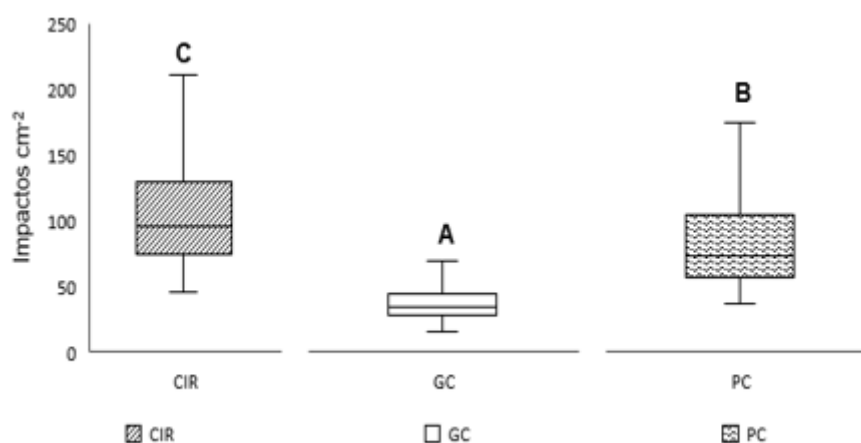


Figura 1: Impactos por cm² registrados por los tres programas independientemente de la pastilla: Gotas Celular (GC), CIR1.5 (CIR), y Gotas PC (PC). Letras diferentes indican diferencias significativas $p > 0,05$ por medio del Test de Tukey.

Los menores valores arrojados por GC pueden deberse a la baja resolución de las cámaras de los celulares normalmente utilizados que pueden rondar entre los 300 a 600 dpi por lo cual el programa estará limitado para separar gotas superpuestas ([Marçal y Cunha 2008](#)). A su vez, la baja resolución limita la capacidad de detectar gotas pequeñas, resultados similares fueron informados por Cunha et al. ([2012](#)) y Leiva y Araujo ([2009](#)).

CIR, por otro lado, fue capaz de diferenciar una mayor DI debido a que utiliza tarjetas escaneadas en alta resolución (1200 dpi) y es, por lo tanto, el programa con mayor capacidad de separación de gotas con improntas superpuestas ([Cunha et al. 2013](#)), y a su vez, puede identificar mayor número de gotas pequeñas que GC y PC.

En la [Figura 2](#) y [Tabla 2](#) se presentan los resultados de DI para cada programa y pastilla utilizada. En primer lugar, se observa el mismo comportamiento de los programas en todas las pastillas, sin embargo, las diferencias no siempre fueron significativas entre programas. A excepción de IMP que presentó diferencias significativas entre programas, las demás pastillas no mostraron diferencias entre PC y CIR, mientras que GC fue significativamente menor en todas. Independientemente del programa utilizado, DA30/30 presentó el menor valor de impactos, seguida por 30/70. En posición intermedia se hallaron IMP y AP y por último con mayor número de impactos CC. Esto concuerda con lo esperado según el diseño de cada pastilla.

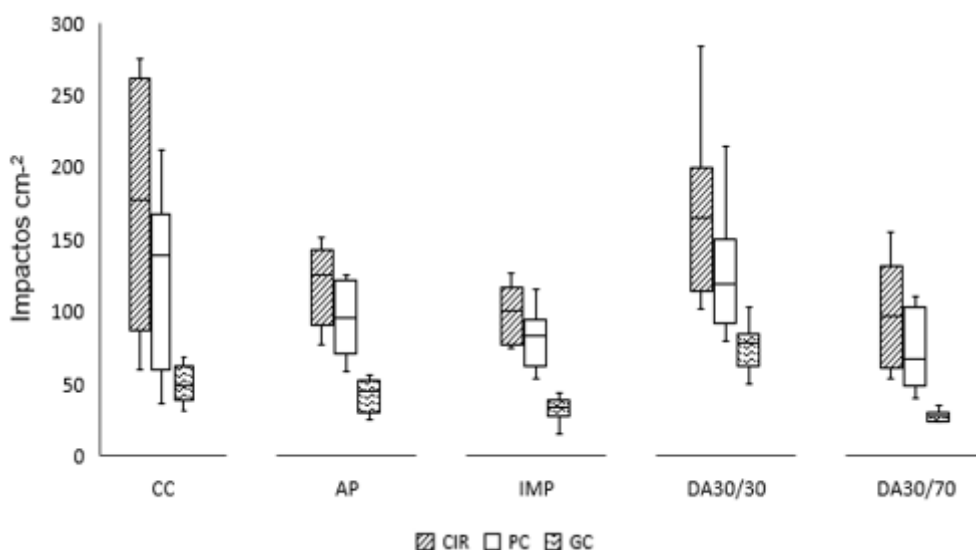


Figura 2: Impactos cm^{-2} ocasionados por diferentes pastillas: Doble abanico 30-30 (DA 30/30), doble abanico 30-70 (DA 30/70), impacto (IMP), abanico plano (AP) y cono (CC).

Tabla 2: Letras diferentes minúsculas indican diferencias significativas entre programas para una misma pastilla por medio del Test de Tukey ($p > 0,05$). Letras diferentes mayúsculas indican diferencias significativas $p > 0,05$ por medio del Test de Tukey entre pastillas para un mismo programa.

Programa	Pastilla	p-valor	Tukey	Pastilla	Programa	p-valor	Tukey
GC	CC	< 0,0009	C	CC	GC	< 0,0001	a
	AP	< 0,0009	BC		PC	< 0,0001	b
	IMP	< 0,0009	AB		CIR	< 0,0001	b
	DA30/30	< 0,0009	AB	AP	GC	< 0,0001	a
	DA30/70	< 0,0009	A		PC	< 0,0001	b
PC	CC	< 0,0001	C	IMP	CIR	< 0,0001	b
	AP	< 0,0001	BC		GC	< 0,0001	a
	IMP	< 0,0001	AB		PC	< 0,0001	b
	DA30/30	< 0,0001	A	DA30/30	CIR	< 0,0001	b
	DA30/70	< 0,0001	AB		GC	< 0,0001	a
CIR	CC	< 0,0006	B	DA30/70	PC	< 0,0001	b
	AP	< 0,0006	A		CIR	< 0,0001	b
	IMP	< 0,0006	A		GC	< 0,0001	a
	DA30/30	< 0,0006	A	DA30/70	PC	< 0,0001	b
	DA30/70	< 0,0006	A		CIR	< 0,0001	b

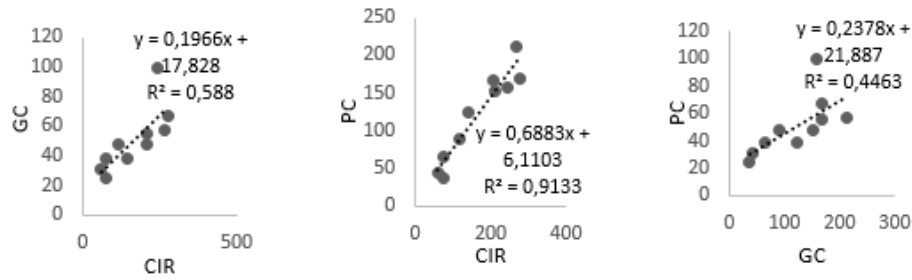
Estos resultados en la DI son consecuencia de las características propias de cada pastilla, sumado a la capacidad diferencial de los programas de detectar gotas pequeñas. IMP fue la única pastilla que presentó diferencias significativas en la DI en los tres programas evaluados. Adicionalmente, PC y GC registraron diferencias significativas entre AP y DA3030 y AP y DA3070 respectivamente. La falta de diferencia entre estas pastillas procesadas con CIR puede deberse a la mayor sensibilidad de este programa para detectar gotas pequeñas, mencionada por Leiva y Araujo (2007; 2009), lo que permitiría detectar las gotas satélites de menor diámetro

formadas luego del impacto de aquellas de gotas provenientes de pastillas con inducción de aire DA3030 y DA3070.

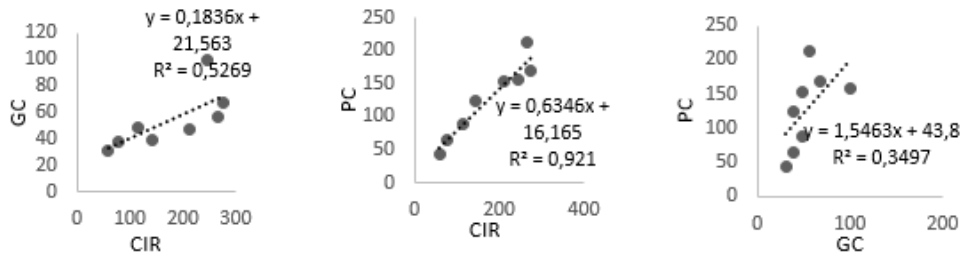
En la [figura 3](#) se pueden observar las correlaciones en la DI entre los programas para las 5 pastillas utilizadas.

I

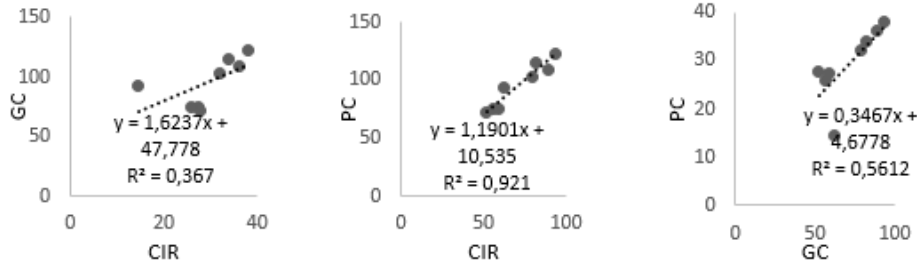
CC



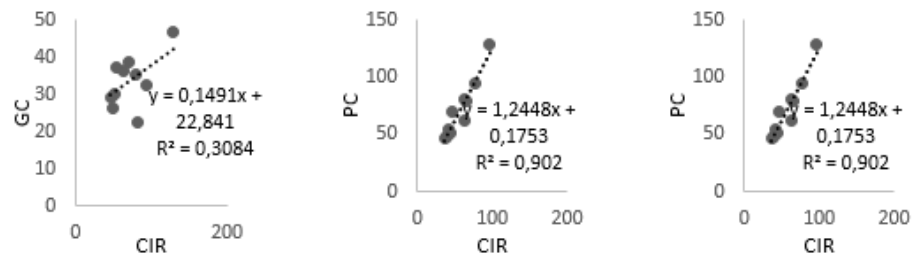
AP



IMP



DA3030



DA3070

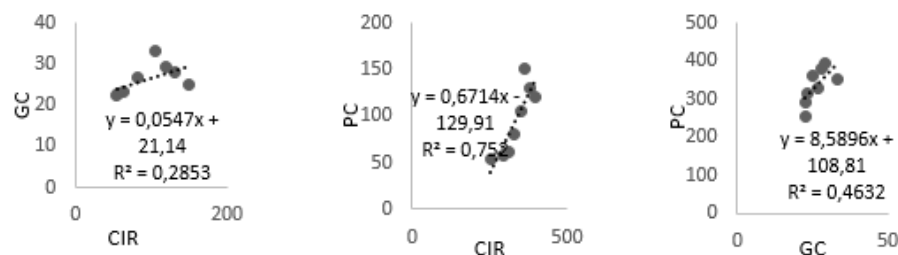


Figura 3: Análisis de correlación para Impactos cm^{-2} entre programas informáticos evaluados. CIR1.5 (CIR), Gotas PC (PC), Gotas Celular (GC).

En la figura anterior se puede observar que los programas CIR y PC tuvieron los valores más altos de R^2 en todas las pastillas. Esto posiblemente se debe a la mayor resolución en el procesamiento de imágenes de estos programas. Cerruto et al. (2022) y Manetto et al. (2022) mencionan que un aspecto importante en el procesamiento de tarjetas es la resolución de la imagen. A su vez, se puede apreciar que los programas tuvieron una mejor correlación hacia la rama de gotas finas.

DV 0,5.

Los resultados de DV0,5 se muestran en la Figura 4. Existen diferencias significativas entre programas, siendo PC el programa que manifestó los mayores valores, seguido por GC y por último CIR.

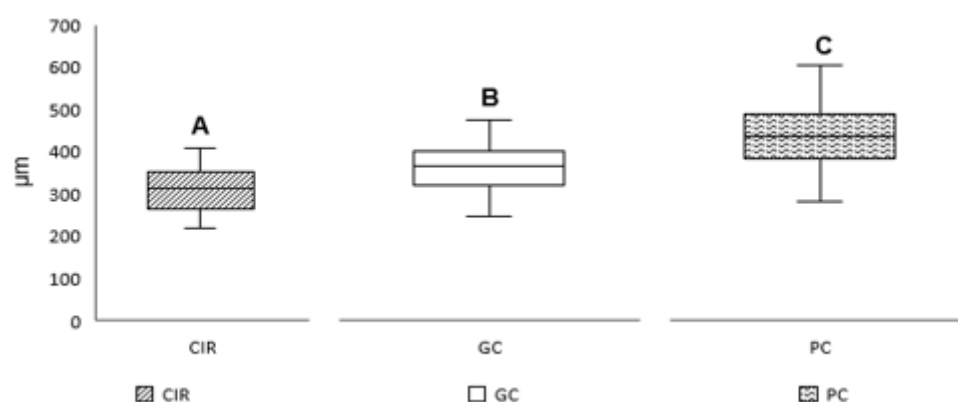


Figura 4: DV0,5 registrado por los diferentes programas: CIR 1.5 (CIR), Gotas Celular (GC) y Gotas PC (PC). Diferentes letras indican diferencias significativas $p > 0,05$ por medio del Test de Tukey.

En la [figura 4](#) se observa que CIR registro un DV0,5 significativamente más bajo que los otros programas analizados. Resultados similares fueron informados por Cunha et al (2013), quienes mencionaron que CIR al registrar mayor DI, debido a su alta resolución, reconoce gotas más pequeñas y, por lo tanto, el DV0,5 fue el más bajo.

Estos resultados pueden explicarse, tal como menciona Zhu et al. (2011), a que los programas no calculan el área de cada impronta de la misma forma, ya que la misma no es perfectamente circular debido al ángulo con el que impacta y a la deformación que surge por el impacto de la gota. A su vez, Garcia et al. (2004) indicaron que cada programa posee un modelo matemático diferente para calcular el volumen de gota a partir de su impronta. Adicionalmente, como mencionan Leiva y Araujo (2009) tanto PC como GC poseen dificultades para diferenciar las superposiciones entre improntas y, por lo tanto, estiman un DV0,5 significativamente mayor.

En la [Figura 5](#) y [Tabla 3](#) se muestran los resultados de cada pastilla evaluada con los tres programas estudiados y los resultados de los tres programas para una misma pastilla.

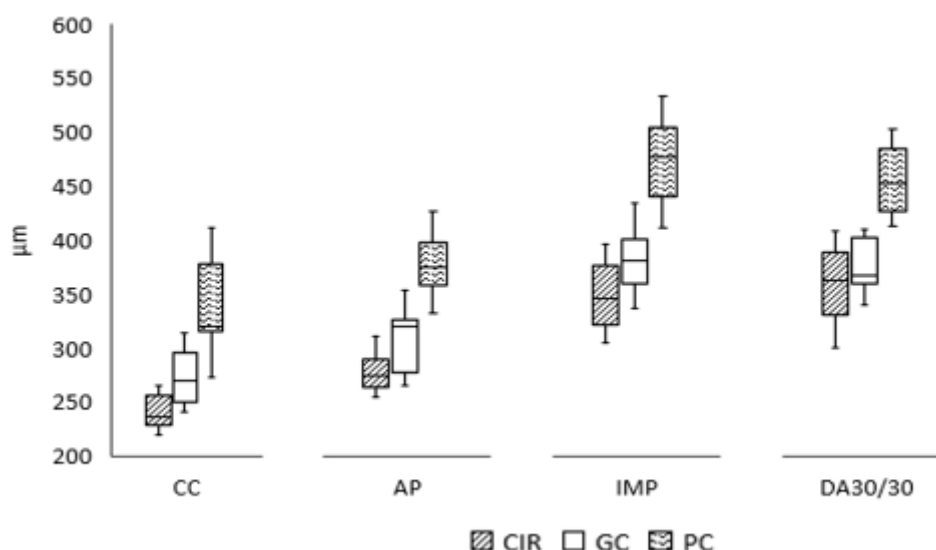


Figura 5: DV0,5 ocasionados por diferentes pastillas: Doble abanico 30-30 (DA 30/30), doble abanico 30-70 (DA 30/70), impacto (IMP), abanico plano (AP) y cono (CC).

Tabla 3: Letras diferentes minúsculas indican diferencias significativas $p > 0,05$ por medio del Test de Tukey entre programas para una misma pastilla. Letras diferentes mayúsculas indican diferencias significativas $p > 0,05$ por medio del Test de Tukey entre pastillas para un mismo programa.

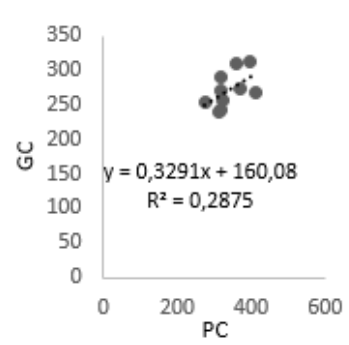
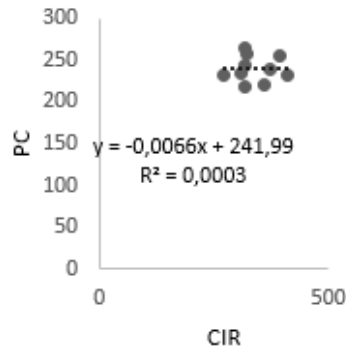
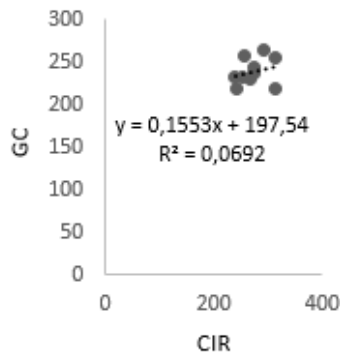
Programa	Pastilla	p-valor	Tukey	Pastilla	Programa	p-valor	Tukey
GC	CC	< 0,0009	A	CC	GC	< 0,0001	a
	AP	< 0,0009	A		PC	< 0,0001	a
	IMP	< 0,0009	B		CIR	< 0,0001	b
	DA30/30	< 0,0009	B		GC	< 0,0001	a
	DA30/70	< 0,0009	B		AP	PC	< 0,0001
PC	CC	< 0,0001	A	IMP	CIR	< 0,0001	b
	AP	< 0,0001	A		GC	< 0,0001	a
	IMP	< 0,0001	B		PC	< 0,0001	a
	DA30/30	< 0,0001	B		CIR	< 0,0001	b
	DA30/70	< 0,0001	B		GC	< 0,0001	a
CIR	CC	< 0,0006	A	DA30/30	PC	< 0,0001	a
	AP	< 0,0006	A	CIR	< 0,0001	b	
	IMP	< 0,0006	B	GC	< 0,0001	a	
	DA30/30	< 0,0006	B	DA30/70	PC	< 0,0001	b
	DA30/70	< 0,0006	B	CIR	< 0,0001	c	

Se observa que para las pastillas AP, CC, IMP y DA 30/30 se obtuvieron los mismos resultados con los tres programas analizados. Estas pastillas no mostraron diferencias significativas en el DV0,5 analizadas con CIR y GC. Sin embargo, PC arrojó valores significativamente mayores en las pastillas mencionadas. Por el contrario, en DA 30/70 CIR fue significativamente menor a GC y este, significativamente menor a PC.

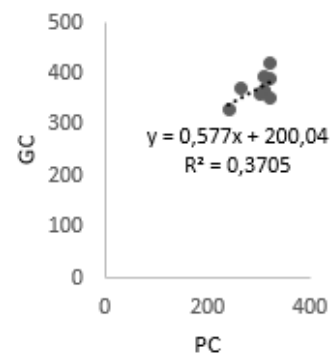
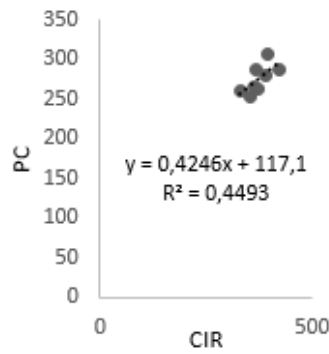
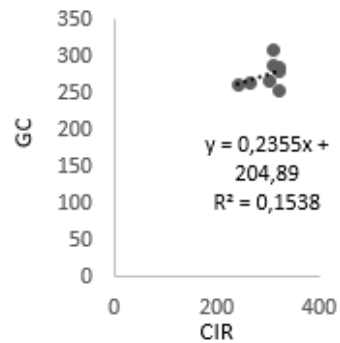
Resultados similares fueron encontrados por Cunha et al. (2013), quienes informaron que CIR presentó menores valores de DV0,5 debido a la capacidad del programa de diferenciar gotas más pequeñas.



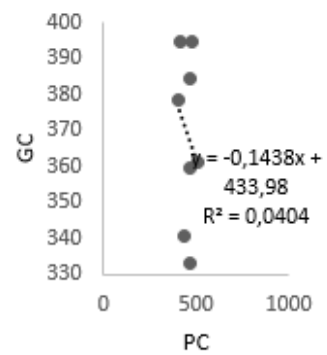
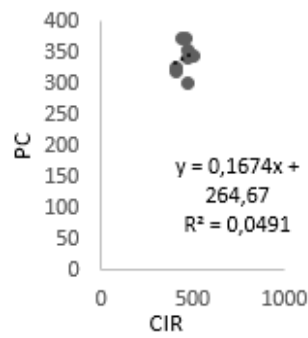
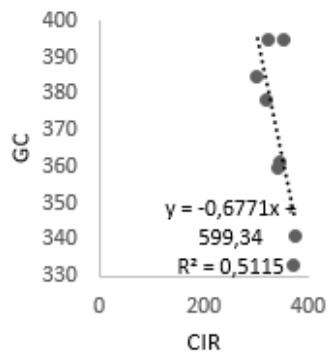
CC



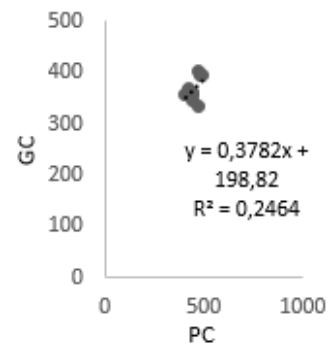
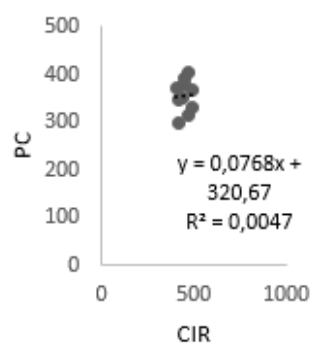
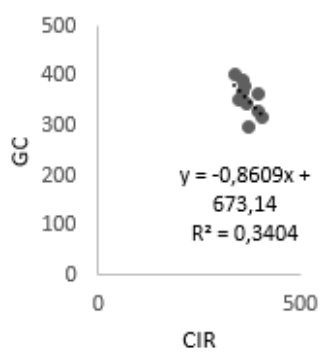
AP



IMP



DA3030



DA3070

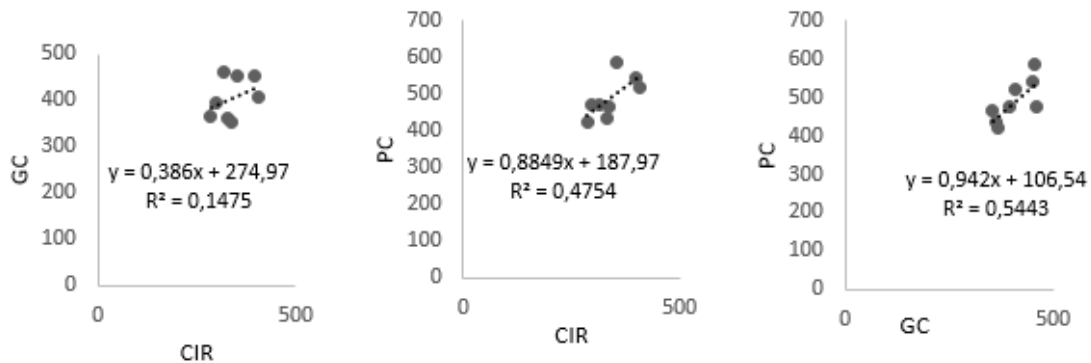


Figura 6: Análisis de correlación para DV0,5 entre programas informáticos evaluados. CIR1.5 (CIR), Gotas PC (PC), Gotas Celular (GC).

En la [figura 6](#) se observa que los valores de R^2 difieren a los encontrados para la DI. A su vez, las correlaciones de la variable DV0,5 en ninguno de los casos presentan valores de R^2 elevados. Adicionalmente, no se encontró una tendencia en función del tamaño de gota generado por cada pastilla. Ello posiblemente se debe a que CIR presenta 5 factores diferentes para calcular el diámetro de la gota a partir de la impronta, mientras que GC y PC no presentan ningún factor de corrección.

Resultados similares fueron informados por Cunha et al. ([2012](#)). Estos autores reportaron una gran diferencia entre los resultados en términos de los parámetros de pulverización calculados. Por su parte, Salyani et al. ([2013](#)). analizaron con tres sistemas diferentes de procesamiento de imágenes. Estos autores encontraron una baja correlación entre los dos sistemas de procesamiento de imágenes en la estimación del DV0,5.

Eficiencia

Todos los programas presentaron diferencias significativas respecto del trazador (T) ([Figura 7](#) y [Tabla 4](#)). GC presentó valores inferiores evidenciando una subestimación de la eficiencia. Contrariamente, tanto CIR como PC registraron una eficiencia significativamente superior, siendo en PC mayor al 100 % lo que demuestra un error en el cálculo de volumen recolectado realizado por este programa.

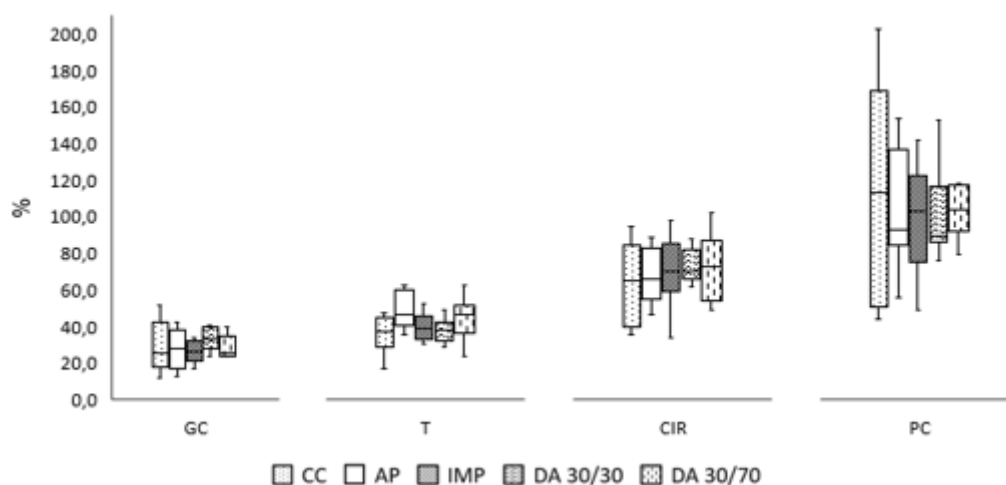


Figura 7: Eficiencia % registrada por los tres programas, Gotas Celular (GC), CIR1.5 (CIR), Gotas PC (PC) y el Trazador (T). Particionada por cada pastilla.

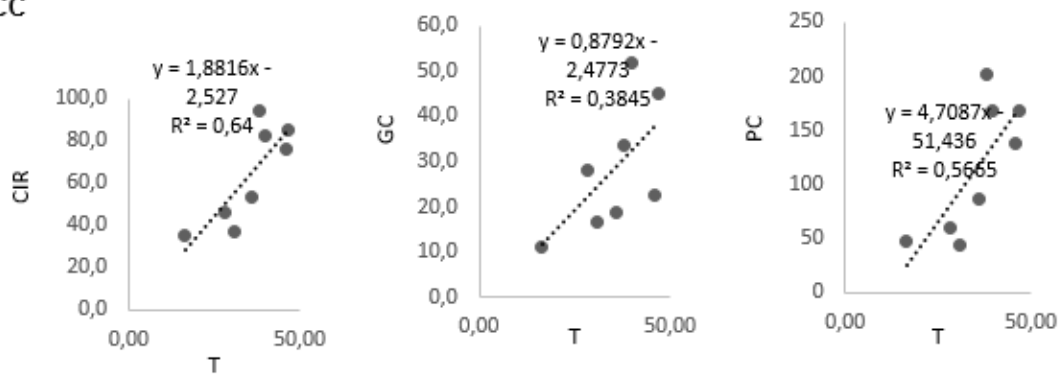
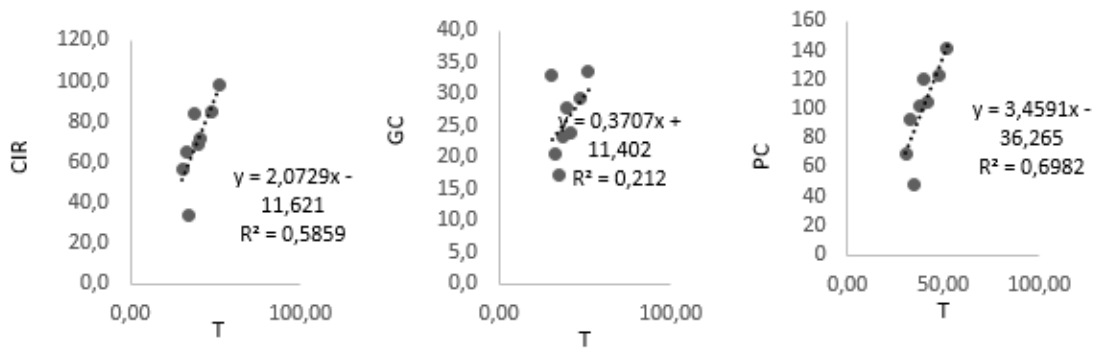
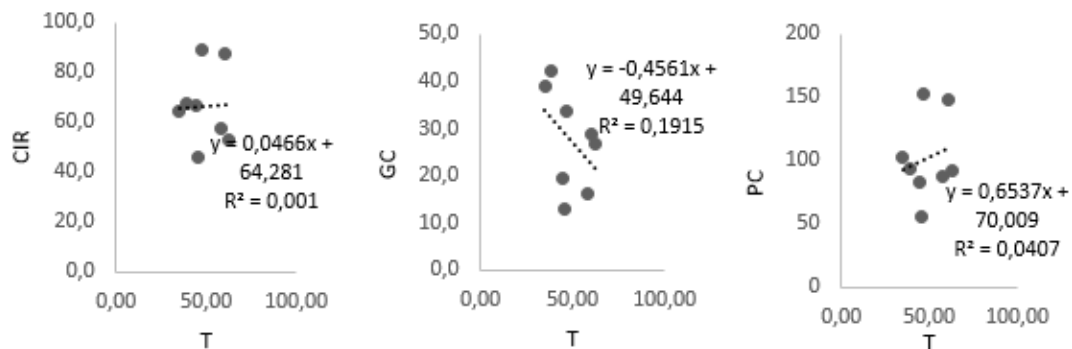
Tabla 4: Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas $p > 0,05$ por medio del Test de Tukey entre metodologías de evaluación para cada pastilla. Letras Minúsculas indican diferencias significativas $p > 0,05$ por medio del Test de Tukey entre metodologías de evaluación para el total de los datos.

Programa	Pastilla	p-valor	Tukey	
GC	CC	< 0,0001	A	a
	AP	< 0,0001	A	
	IMP	< 0,0001	A	
	DA30/30	< 0,0001	A	
	DA30/70	< 0,0001	A	
PC	CC	< 0,0001	C	b
	AP	< 0,0001	C	
	IMP	< 0,0001	C	
	DA30/30	< 0,0001	C	
	DA30/70	< 0,0001	C	
CIR	CC	< 0,0001	B	c
	AP	< 0,0001	B	
	IMP	< 0,0001	B	
	DA30/30	< 0,0001	B	
	DA30/70	< 0,0001	B	
T	CC	< 0,0001	AB	d
	AP	< 0,0001	A	
	IMP	< 0,0001	A	
	DA30/30	< 0,0001	A	
	DA30/70	< 0,0001	A	

Estos resultados concuerdan con lo expresado por García et al. (2004) quienes mencionan que entre los resultados obtenidos por métodos convencionales y los registrados por medio de programas informáticos existen grandes diferencias. En el caso del programa GC, Marçal y Cunha (2008) indican que su calidad de separación de gotas es dependiente de la resolución de la cámara implementada, eso podría explicar las menores eficiencias registradas. Para el caso

de CIR y PC la sobrestimación podría deberse a diferencias en la formulas del cálculo de volumen desde el área de la impronta en la tarjeta, como manifiesta Zhu et al. (2011), no todos los programas calculan igual el área de una gota. Si el programa no es capaz de diferenciar la superposición de gotas el volumen calculado será superior al real. CIR presenta mejores resultados que PC, este comportamiento podría deberse a que posee una mayor sensibilidad para separar gotas superpuestas (Leiva y Araujo, 2009, 2007). Resultados similares fueron informados por Domper et al. (2014). En el estudio se observó que CIR sobrestimó la eficiencia de aplicación respecto del trazador colorimétrico.

Al separar los resultados entre las diferentes pastillas podemos observar que el comportamiento es similar al observado en el promedio de todos los datos, pero la diferencia que existían entre GC y Trazador no se observa en ninguna pastilla.

CC**IMP****AP**

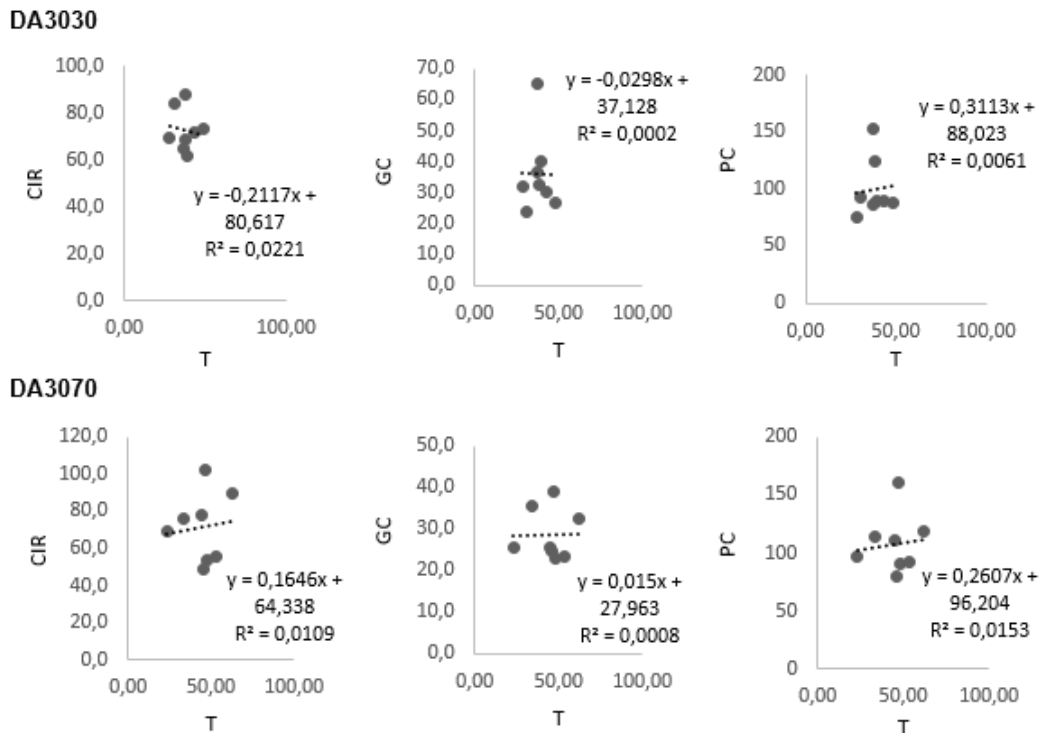


Figura 8: Análisis de correlación para EF entre programas informáticos evaluados. CIR1.5 (CIR), Gotas PC (PC), Gotas Celular (GC) y el trazador (T).

En la [figura 8](#) se observa que los valores de R^2 difieren a los encontrados para la DI y DV0,5. A su vez, se puede observar una tendencia similar a la encontrada en el gráfico 3 (DI) donde se encontraron los valores más altos de R^2 hacia la familia de gotas finas.

Conclusión

Los tres programas evaluados en este estudio presentaron diferencias significativas en la estimación del DV0,5; DI y EF. CIR es el que permitió diferenciar una mayor DI registrando, en consecuencia, el menor DV0,5 debido a su mayor resolución de procesamiento. Se registraron mejores correlaciones entre los programas en aquellas pastillas que generan los menores tamaños de gotas tanto para DI y EF. Sin embargo, para el DV0,5 no se encontraron buenas correlaciones entre los programas en ningún tamaño de gota evaluado.

A partir de los resultados del presente trabajo se sugiere profundizar en la temática de evaluación de la calidad de aplicación considerando nuevos programas, diferentes pastillas y nuevas técnicas de aplicación.

Declaración de autoría. CRediT

LL. Escritura - revisión y edición, Investigación, Metodología, Recursos, Redacción - borrador original, Curaduría de datos.

GAL. Escritura - revisión y edición, Investigación, Metodología, Recursos, Redacción - borrador original, Curaduría de datos.

MM. Adquisición de fondos, Análisis formal, Conceptualización, Curaduría de datos, Software, Supervisión, Validación, Visualización.



MV. Adquisición de fondos, Análisis formal, Conceptualización, Curaduría de datos, Software, Supervisión, Validación, Visualización.

VJM. Escritura - revisión y edición, Investigación, Metodología, Curaduría de datos.

GF. Escritura - revisión y edición, Investigación, Metodología, Curaduría de datos.

FD. Escritura - revisión y edición, Investigación, Metodología, Curaduría de datos.

PEI. Escritura - revisión y edición, Investigación, Metodología, Curaduría de datos.

DMC. Escritura - revisión y edición, Investigación, Metodología, Curaduría de datos.

CT. Escritura - revisión y edición, Investigación, Metodología, Curaduría de datos.

MGJ. Escritura - revisión y edición, Investigación, Metodología, Curaduría de datos.

Bibliografía

AAPRESID, 2019. Condiciones ambientales al momento de aplicar. Disponible en: <https://www.aapresid.org.ar/blog/condiciones-ambientales-al-momento-de-aplicar/>. Último acceso 21 de diciembre de 2020.

AAPRESID, s.f. Informe de evolución de Siembra Directa en Argentina 2018/19. Disponible en: <https://www.aapresid.org.ar/superficie/>. Último acceso 21 de diciembre 2020.

ÁLVAREZ, I. J. M. (2016). Manejo y uso eficiente del tamaño, uniformidad y distribución de la gota de pulverización en cultivo de soja (*Glycine max* L. Merrill).

ANTUNIASSI U.R.; CAMARGO, T.V.; BONELLI, M. y ROMAGNOLE, E.W.C.. 2004. Avaliação da cobertura de folhas de soja em aplicações terrestres com diferentes tipos de pontas. Simpósio internacional de tecnologia de aplicação de agrotóxicos 3, 48-51.

ARMELLINI, F.M. y SOSSA, J.E. 2011. Efectos de la tensión superficial del caldo de aplicación sobre las magnitudes de variables proporcionadas por los programas CIR y Sylcomp AG. 40 pp. En Expte. 404/10. F.A. UNLPam.

ASABE S572.1. 2009. Spray nozzle classification by droplet spectra. American Society Agricultural Engineers, St Joseph, MI, 4 pp.

ASABE. 2009. Droplet Size Classification S572.1.

BERNARDOS, J.; y M. E. ZACCAGNINI. 2011. El uso de insecticidas en cultivos agrícolas y su riesgo potencial para las aves en la Región Pampeana. *El Hornero* 26,1: 55-64.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0073-34072011000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

CERRUTO, E.; MANETTO, G.; PRIVITERA, S.; PAPA, R.; LONGO, D. Effect of Image Segmentation Thresholding on Droplet Size Measurement. *Agronomy* 2022, 12, 1677.

CHUECA, P., MOLTÓ, E., FONTE, A., BELTRÁN, R., & GARCERÁ, C. (2023). Optimización de la aplicación de fitosanitarios en cítricos (I). *Vida rural*.

CID, R. E .2013. Proceso de formación de gotas, la elección de las pastillas de pulverización. INTA- Instituto de Ingeniería Rural. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_correcta_eleccin_de_pastillas_-_hase_2013_ram.pdf. Último acceso 22 de enero de 2021.

CONNOR FERGUSON J.; CHECHETTO, R.G.; O'DONNELL, C.C.; FRITZ, B.K.; HOFFMANN, W.C.; COLEMAN, C.E.; CHAUHAN, B.S.; ADKINS, S.W.; KRUGER, G.R. y HEWITT, A.J. 2016. Assessing a novel smartphone application – SnapCard, compared to five imaging systems to quantify droplet deposition on artificial collectors. *Computers and Electronics in Agriculture*. Volume 128, pp 193-198.

COWELL C.; LAVERS, A. y TAYLOR, W. 1988. A preliminary evaluation of a surface deposit fluorimeter for assessing spray deposition in the field. *Annales International Symposium on pesticide application*.

CUNHA et al. 2004. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. p 1-9.

CUNHA, J.P.A.R.; FARNESE, A.C. y OLIVET, J. J. 2013. Computer programs for analysis of droplets sprayed on wáter sensitive papers. *Planta Daninha, Viçosa-MG*, v. 31, n. 3, p. 715-720.

CUNHA, M.; CARVALHO, C. y MARCAL, A.R.S. Assessing the ability of image processing software to analyse spray quality on water-sensitive papers used as artificial targets. *Biosyst. Eng.* 2012, 111, 11–23.

DERKSEN R. C.; PAUL, P. A.; OZKAN, H. E. y H. ZHU. (2012). Field evaluations of application techniques for fungicide spray deposition on wheat and artificial targets. *Applied Eneering in Agriculture*. 28(2): 325-331.

DOBLE, S.J.; MATTHEWS, G.A.; RUTHERFORD, I. y SOUTHCOTBE, E.S.E. 1985. A System for classifying hydraulic nozzles and other atomizers into categories of spray quality. p. 1125–1133. In: *Proc. Brighton Crop Prot. Conf. – Weeds*. Brighton, UK, 18–21 November 1985, 1300 pp.

DOMPER G. N.; BALBUENA, R. H. y MUR, M. (2015). Eficiencia de aplicación de pastillas de pulverización con inducción de aire en el cultivo de soja. Recuperado de: <http://www.agro.unlp.edu.ar/revista/index.php/revagro/article/view/280/171> .

ETIENNOT, A.E. 1990. Cuarto Curso de Actualización para Pilotos Aeroaplicadores (Pergamino BA, 01 al 07 de Setiembre de 1990) Instituto Nacional de Aviación Civil (INAC), Buenos Aires.

ETIENNOT, A.E. 1993. Pulverizaciones terrestres. Segundo Congreso Nacional de Siembra Directa. Septiembre 1993. Huerta Grande, Córdoba, Argentina. pp. 163 - 173.

GADEA, S. 2018. Prestación de pastillas en el control de enfermedades de trigo (*Triticum aestivum* L.). Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. p 16-37.

GARCIA, L.C., RAMOS, H.H. y JUSTINO, A. 2004. Avaliação de softwares para análise de parâmetros da pulverização realizada sobre papéis hidrossensíveis. *R. Bras. Agrocomp.*, v. 2, n. 1, p. 19-28, 2004.

HOCK, W.K. 2011. *Spray Adjuvants*. Pesticide Safety Fact Sheet. The Pennsylvania State University.

ISO 25358:2018; Crop Protection Equipment—Droplet-Size Spectra from Atomizers—Measurement and Classification. ISO (International Organization for Standardization): Geneva, Switzerland, 2018. Available online: <https://www.iso.org/standard/66412.html> [acceso 5 May 2022].

LAL R. (2020) The Future of No-Till Farming Systems for Sustainable Agriculture and Food Security. In: Dang Y., Dalal R., Menzies N. (eds) *No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46409-7_35

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. y ARAUJO, E. C. 2007. Comparación de programas de computación para recuento y tipificación de impactos de aspersión sobre tarjetas sensibles.

LEIVA, P. D. y ARAUJO, E. C. 2009. Comparación de programas de computación para recuento y tipificación de impactos de aspersión sobre tarjetas sensibles.

- 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
- MANETTO, G.; CERRUTO, E.; LONGO, D. y PAPA, R. Error on drop size measurement due to image analysis digitisation. *Lect. Notes Civ. Eng.* 2022, 252, 365–1374.
- MARÇAL, A.R.S y Cunha, M. 2008. Image processing of artificial targets for automatic evaluation of spray quality. *Transactions of the ASABE*. Vol. 51(3): 811-821.
- MASSARO R.A. 2004. Tecnología para la aplicación de fungicidas foliares en soja con equipos terrestres. INTA EEA Oliveros.
- MASSARO, A.; RUBÉN, A.; GARCÍA, A. y ANDREA, V. (2017). Evaluación de la deriva en pulverización aérea y terrestre con plaguicidas en situación de barbecho. *Boletín INTA Oliveros*.
- MASSARO, R. A. (2011). Pautas para la aplicación de fungicidas foliares en cultivos de trigo con pulverizaciones terrestres. *AAPRESID, Especial Enfermedades del trigo*. Pág, 101-107.
- MATTHEWS, G.A. 1985. Pesticide application methods. 3rd impression. Longman Group Limited. New York, United States of America. p. 13, 32, 34, 35.
- MERANI, V. H. (2021). Distribución espacial de la pulverización generada por diferentes diseños de pastillas hidráulicas (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- MERANI, V. H., GUILINO, F., PONCE, M., VÁZQUEZ, J. M., LARRIEU, L., GIAMBELLUCA, A. L. y MUR, M. (2021). Pulverizaciones agrícolas: Comparación de metodologías para su evaluación agrícola sprays: Comparison of evaluation methods. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 37(3), 325-337.
- MERANI, V. H.; GUILINO, F. D.; VAZQUEZ, J. M.; LARRIEU, L.; FERRO, D. A.; PLATZ, P. y MUR, M. (2023). Pulverizaciones agrícolas. Distribución y pérdidas de producto con diferentes boquillas. *Ciencias Agronómicas*, (41), e030-e030.
- MUR, M.; MERANI, V. H.; GUILINO, F. D.; PONCE, M. J.; VÁZQUEZ, J. M.; LARRIEU, L. y BALBUENA, R. H. (2020). Efecto del coadyuvante sobre la prestación de diferentes boquillas en espigas de trigo. In *Xth International Conference of Production Research-Americas (ICPR-Americas 2020) (Modalidad virtual, 9 al 11 de diciembre de 2020)*.
- OORATO A.A. & TESOURO, M.O. 2004. Desempeño antideriva de una pastilla de pulverización agrícola de cono hueco inducida por aire. *Revista de investigaciones agropecuarias*.
- PRIVITERA, S.; MANETTO, G.; PASCUZZI, S.; PESSINA, D. y CERRUTO, E. (2023). Drop Size Measurement Techniques for Agricultural Sprays: A State-of-The-Art Review. *Agronomy*, 13(3), 678.
- SALYANI, M. y FOX, R. D. (1994). Performance of image analysis for assessment of simulated spray droplet distribution. *Transactions of the ASAE*, 37(4), 1083-1089.
- SALYANI, M.; ZHU, H.; SWEEB, R.D. y PAI, N. Assessment of spray distribution with water-sensitive paper. *Agric. Eng. Int. CIGR J.* 2013, 15, 101–111
- SIMONIELLO, M. F.; KLEINSORGE, E. C. y CARBALLO, M. A. 2010. Biochemical evaluation on rural workers exposed to pesticides / Evaluación bioquímica de trabajadores rurales expuestos a pesticidas. *Medicina* 70: 489-498. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0025-76802010000600001&script=sci_arttext

TEIXEIRA, M.M. 1997. Influencia del volumen de caldo y de la uniformidad de distribución transversal sobre la eficacia de la pulverización hidráulica. Tesis de Doctorado en Agronomía. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

VÁZQUEZ, J. M.; PALANCAR, T. C.; GADEA, S.; PONCE, M. J.; MERANI, V. H.; GUILINO, F. D. y MUR, M. (2019). Prestación de pastillas en el control de enfermedades de trigo. *Tecnología en Marcha*, 32(8), 5-11.

WOLF T. M. y CALDWELL, B. C. (2013). Spray Deposition of TeeJet AI3070VS on Vertical Targets. *Agriculture & Agri-Food Canada*.

ZHU, H.; SALYANI, M. y FOX, R.D. 2011. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. *Comp. Electr. Agric.*, v. 76, n. 1, pp. 38-43.

LARRIEU, L., GIAMBELLUCA, A. L., MUR, M., MERANI, V., VAZQUEZ, J.M., GUILINO, F., FERRO, D., PEREIRA, E.I., DONADELLI, M.C., CINQUETTI, T., MILLÁN, G.J. (2024). Estudio comparativo de programas informáticos para el análisis de calidad de aplicación de productos fitosanitarios. *Ciencias Agronómicas*, (43), e039. <https://doi.org/10.35305/agro43.e039>

Copyright (c) 2024 L. Larrieu, A.L. Giambelluca, M. Mur, V. Merani, J.M. Vazquez, F. Guilino, D. Ferro, E.I. Pereira, M.C. Donadelli, T. Cinquetti y G.J. Millán



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).
