

Desafíos, avances y mejora de la pulverización de biopesticidas fúngicos

Los hongos entomopatógenos como alternativa sostenible a los fitosanitarios químicos

Las plagas son uno de los principales factores que limitan los rendimientos de los cultivos. Durante décadas, los productos fitosanitarios de síntesis química han sido la herramienta más utilizada para su control. Sin embargo, su uso supone un riesgo para las personas y el medio ambiente. De ahí que se hayan impulsado cambios en las políticas agrícolas, como la estrategia “De la Granja a la Mesa” (Farm to Fork) del Pacto Verde Europeo (European Commission, 2020), que plantea reducir en un 50% el uso de pesticidas químicos para el año 2030.

En este contexto, los biopesticidas se presentan como alternativas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Entre ellos, los hongos entomopatógenos (HE) tienen un potencial prometedor como agentes de control biológico de plagas (Vega *et al.*, 2009).

A diferencia de otros agentes de biocontrol basados en microorganismos que necesitan ser ingeridos por el insecto para causar la infección, los HE tienen la capacidad de actuar por contacto, de manera que penetran en el huésped a través de la cutícula y producen su colonización interna, causándoles la muerte. Además, tienen una alta capacidad reproductiva, cortos tiempos de generación y habilidad para permanecer latentes hasta encontrar un huésped. Entre los géneros más cono-

Roberto Beltrán-Martí, Cruz Garcerá y Patricia Chueca.

Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Moncada, Valencia.

En este artículo se presentan los resultados obtenidos por el Centro de Agroingeniería del IVIA, en el marco del proyecto Fungitech, relativos a la mejora de la aplicación de productos a base de hongos entomopatógenos mediante pulverización hidráulica y se ofrecen recomendaciones prácticas. Todo ello, con el fin de orientar a los usuarios en la mejora de sus técnicas de aplicación, aumentar su eficacia y favorecer una adopción más amplia y rentable.



Foto 1. Cadáver de mosca de la fruta con crecimiento fúngico externo debido a la infección de *B. bassiana*.



cidos se encuentran *Metarhizium*, *Beauveria*, *Isaria* y *Akanthomyces*.

La mayoría de las formulaciones comerciales actuales de estos hongos pueden aplicarse mediante pulverización, lo que facilita su adopción por parte de los agricultores, ya que disponen de maquinaria para ello. No obstante, a diferencia de los productos químicos de síntesis, los HE contienen esporas vivas (conidios) que deben mantenerse viables desde la preparación de la mezcla hasta su llegada al insecto objetivo. Además, presentan formulaciones con propiedades fisicoquímicas y solubilidades muy distintas a las de los productos químicos convencionales (Bateman & Alves, 2001), lo que también influye en su comportamiento durante la aplicación, afectando a la distribución del producto y su eficacia biológica. Y es precisamente ahí donde se presenta el desafío,

ya que el usuario se enfrenta a productos biológicos a base de microorganismos con escasa información práctica sobre su manejo adecuado. Esta situación explica la alta variabilidad observada de su eficacia en campo, ya que su éxito como agentes de control biológico depende de dos factores clave en el momento de la aplicación: las condiciones abióticas y la tecnología de pulverización.

El efecto de los factores abióticos, como la temperatura, la humedad o la radiación ultravioleta, sobre la viabilidad de los hongos entomopatógenos (HE) ha sido ampliamente estudiado, lo que ha permitido seleccionar cepas más resistentes y con mayor competencia medioambiental, es decir, mejor adaptadas a las condiciones ambientales del lugar donde se aplican (Quesada-Moraga *et al.*, 2024), así como desarrollar formulaciones pro-

ductoras capaces de aumentar la supervivencia de los conidios (Jaronski, 2023). Sin embargo, la influencia del proceso de pulverización no ha recibido mucha atención, a pesar de que durante la aplicación pueden producirse estreses y daños mecánicos que afecten a la viabilidad de los microorganismos y, en consecuencia, pueden reducir la eficacia del tratamiento.

En los últimos años, el Centro de Agroingeniería del Ivia, ha trabajado en el marco del proyecto Fungitech (PID2019-106336RR-I00), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España y la Agencia Estatal de Investigación y cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (Feder). El objetivo principal de este proyecto ha sido optimizar las tecnologías de aplicación para el uso efectivo de hongos entomopatógenos (HE) como agentes de control biológico. En el proyec-



BIOSOLUCIONA LA AGRICULTURA
by RovensaNext

Spinosad 48%

Insecticida de amplio espectro de origen natural y baja toxicidad



Aceite de naranja 6% p/p

Insecticida y fungicida de amplio espectro con efecto de choque instantáneo



Bacillus subtilis F1

Bioestimulante regenerador del suelo y activador de raíces

Aminoácidos procedentes de la fermentación de un sustrato con el microorganismo *Corynebacterium glutamicum*



CUADRO I

FORMULADOS FÚNGICOS
AUTORIZADOS EN ESPAÑA SEGÚN EL
REGISTRO DEL MAPA A OCTUBRE 2025.

Hongo	Cepa	Formulado
<i>B. bassiana</i>	147	MG
	ATCC 74040	PM
	GHA	DA
	GHA	PM
	NPP111B005	MG
	PPRI 5339 8	PM
<i>I. fumosorosea</i>	Apopka 97	GD
<i>M. brunneum</i>	Ma 43 10	DA

Los códigos del tipo de formulado son: MG (microgranulado), PM (polvo mojable), GD (gránulo dispersable en agua) y DA (dispersión en aceite).

to se ha abordado la evaluación integral de todo el proceso de pulverización hidráulica, desde la preparación de la mezcla en el tanque hasta la deposición de propágulos fúngicos en la vegetación o el suelo, dependiendo del objetivo a controlar. Este análisis ha permitido identificar los componentes del pulverizador y los parámetros operativos clave que deben considerarse para configurar el equipo de manera que se garantice la máxima eficacia biológica.

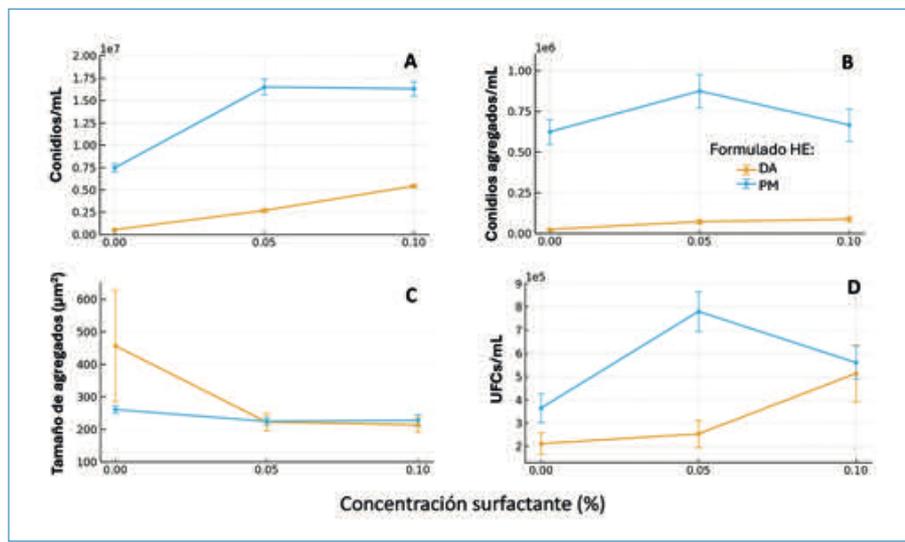
En este artículo se presentan los resultados más relevantes obtenidos en el marco del proyecto, que ofrecen recomendaciones prácticas para la aplicación mediante pulverización hidráulica de productos a base de HE. El fin es orientar a los usuarios en la mejora de sus técnicas de aplicación, aumentar la eficacia de estos biopesticidas y favorecer su adopción más amplia y rentable para una agricultura sostenible. Para ello, a continuación, se responden a unas cuestiones prácticas basadas en evidencias científicas.

Uso de surfactantes en el caldo de pulverización

En España existen actualmente ocho productos comerciales autorizados basados en HE, todos ellos formulados para su dilución en agua y aplicación mediante pulverización (cuadro I) (MAPA, 2025). Tanto los formulados sólidos (gránulos y

FIG. 1

Media \pm SE de: A: conidios libres (conidios ml^{-1}); B: agregados (conidios agregados ml^{-1}); C: tamaño de agregados (μm); y D: viabilidad (UFCs ml^{-1}), en función de la concentración de surfactante en el caldo para dos formulados basados en *B. bassiana* (DA y PM).



polvos) como los líquidos (suspensiones u oleosos) presentan una baja solubilidad, por lo que se recomienda el uso de agentes que faciliten su dispersión y permitan obtener una mezcla homogénea. En condiciones de mezclas inadecuadas, los conidios pueden dar lugar a la formación de agregados, lo que puede contribuir a problemas de obturación en ciertos componentes del pulverizador y a una aplicación irregular de la pulverización sobre la vegetación o el suelo y, en última instancia, comprometer la eficacia biológica del tratamiento (Bukhari *et al.*, 2011).

Diversos estudios han analizado la compatibilidad de distintos surfactantes y sus efectos en aislados fúngicos con el objetivo de mejorar las formulaciones de productos a base de HE. Los resultados muestran que los surfactantes no iónicos suelen ser altamente compatibles y no interfieren con la germinación de los conidios, mientras que surfactantes como los aniónicos o los organosilicados provocan un efecto negativo en la germinación incluso a bajas concentraciones (Mishra *et al.*, 2013; Mascarin *et al.*, 2013; Mwamburi *et al.*, 2015).

Sin embargo, comprender cómo pueden influir estos compuestos en la distribución de los conidios dentro de las mezclas acuosas de los tanques de los pulverizadores, considerando los diferentes tipos de formulaciones actuales, está menos estudiado y resulta fundamental, al igual que definir la concentración adecuada a utilizar para maximizar su efectividad.

Por estas razones, llevamos a cabo un estudio con el objetivo de investigar cómo la concentración de un surfactante no iónico influye en la mezcla de productos a base de HE con diferentes tipos de formulación. Concretamente, se evaluaron los efectos sobre la concentración de conidios individuales y agregados de conidios, el tamaño de los agregados (μm^2), y la viabilidad (unidades formadoras de colonias, UFC/ml).

Con este propósito, se realizó un ensayo de laboratorio utilizando dos formulaciones comerciales a base de *Beauveria bassiana*, una de tipo oleoso (DA) (Botanigard OD de Certis Belchim BV) y otra en polvo mojable (PM) (Botanigard WP de Certis Belchim BV). Asimismo, se evaluaron dos concentraciones del surfac-



Register® WG

Nueva solución herbicida en frutales de hueso, pepita y cáscara.



Register® WG ya tiene registro para frutales de cáscara, pepita y hueso. Es un herbicida de gran eficacia y amplio espectro que ofrece un control de malas hierbas tanto de hoja ancha como estrecha incluidas especies difíciles.



Descubre todo sobre **Register® WG** en:



ASCENZA®

— FARMING YOUR FUTURE —



tante Tween 80 (Sigma-Aldrich), 0,05% y 0,1%, además de un tratamiento control sin surfactante.

Los resultados mostraron que el surfactante favorece la dispersión de los conidios en las formulaciones de HE, pero de manera diferente según el tipo de formulación (**figura 1**). En la formulación DA el aumento de la concentración tanto a 0,05% como a 0,1% provocó un incremento de número de conidios individuales y reducción del tamaño de los agregados, lo que indica un efecto de desagregación del surfactante, que podría implicar un aumento del recubrimiento y de la infectividad. En la formulación PM, el efecto del surfactante sólo fue notable a la menor concentración, ya que al aumento a 0,1% no mejoró los resultados. En ambos formulados el surfactante produjo un incremento de la viabilidad, especialmente en la formulación DA (**figura 2**).

Todo ello indica que la inclusión de un surfactante no iónico en el tanque de pulverización junto con el formulado de HE, especialmente en los oleosos, puede mejorar la desagregación de los conidios, aumentando la disponibilidad de conidios viables y reduciendo el riesgo de obstrucción en componentes del sistema de pulverización, como filtros y boquillas, contribuyendo así a una aplicación más uniforme y efectiva.

Influencia del pulverizador hidráulico en los HE

Como ya se ha indicado, la mayoría de los biopesticidas están formulados para disolverse en agua y en general, se aplican pulverizados con los equipos empleados para los fitosanitarios químicos convencionales, siendo los pulverizadores hidráulicos los más comunes, ya sean asistidos por aire para los cultivos de crecimiento vertical o de barra para los cultivos bajos.

Estos pulverizadores están equipados con diferentes componentes (depósito,

FIG. 2 Unidades formadoras de colonia (UFC) de *B. bassiana* cepa GHA en formulación DA, en placas de agar con diferentes concentraciones de surfactante: (A) sin surfactante, (B) con 0,05% y (C) con 0,1%.

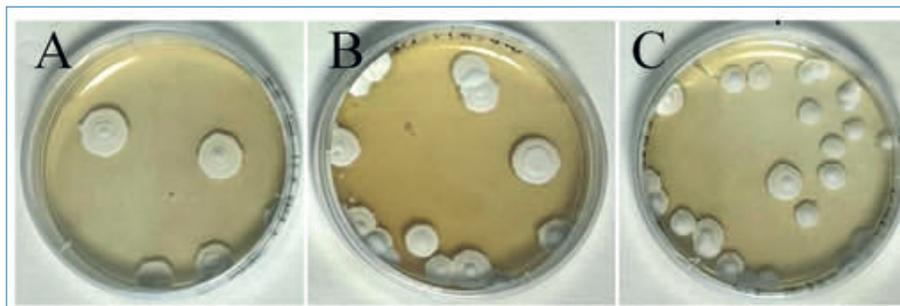
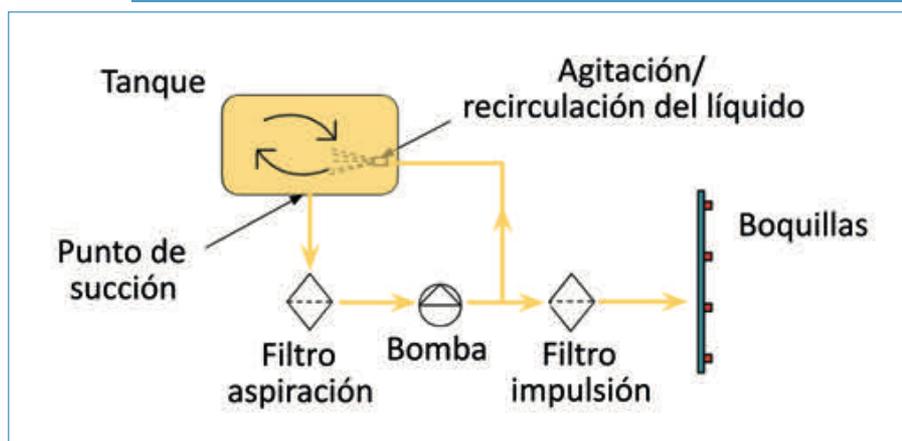


FIG. 3 Esquema del circuito de pulverización hidráulica que muestra los principales elementos.



bomba, válvulas, filtros, tuberías y boquillas). La bomba aspira el líquido del tanque y lo impulsa a la presión de trabajo establecida al resto del circuito (3-4 bar para aplicaciones al suelo con pulverizadores de barra y 8-12 bar para aplicaciones arbóreas con pulverizadores hidráulicos asistidos por aire). Parte de la mezcla aspirada lo dirige a través de las tuberías hasta las boquillas, donde el líquido al salir por el pequeño orificio de las mismas se fragmenta generando las gotas de pulverización.

La mayoría de los equipos actuales presentan agitación hidráulica, por lo que el resto de la mezcla aspirada por la bomba se recircula y retorna al tanque hasta que éste se vacía o finaliza la aplicación. De este modo, la mezcla puede pasar varias

veces por parte del circuito a la presión establecida (**figura 3**). La presión ejercida, junto con la fricción sobre la mezcla a su paso por el sistema hidráulico, genera fuerzas de cizalla que pueden producir estrés mecánico sobre los conidios. Además, esto también puede incrementar la temperatura del caldo, haciendo que se sobrepase la temperatura máxima de tolerancia para los HE, que depende de cada cepa. Todo ello, puede potencialmente reducir la viabilidad o comprometer la funcionalidad de los HE como agentes de control (Beltrán-Martí *et al.*, 2024).

A continuación, se describen brevemente los ensayos que realizamos para evaluar el efecto de los distintos componentes y parámetros del sistema hidráulico.



co. En todos ellos se utilizó como caso de estudio un producto comercial basado en *B. bassiana* cepa GHA, formulado como polvo mojable, a la concentración recomendada por el fabricante (1,25 g/l). A la mezcla se añadió el surfactante comercial no iónico Tween 80 al 0,05%.

Las bombas hidráulicas afectan a los hongos entomopatógenos

En los pulverizadores hidráulicos actualmente predominan dos tipos de bombas hidráulicas: de pistones y de membrana, por lo que se decidió evaluar el efecto de ambas. En el estudio también se incluyó el factor número de veces que la mezcla pasa por la bomba debido a la agitación hidráulica, evaluándose el efecto de 0, 1, 10 y 30 pases. La presión de trabajo se estableció en 10 bar. Se evaluó la viabilidad de los conidios, expresado con el porcentaje de germinación en placa de agar, y su infectividad sobre adultos de la mosca mediterránea de la fruta, *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera:Tephritidae), midiendo el porcentaje de mortalidad a los 8 días de la aplicación y el porcentaje de micosis externo en los individuos muertos (crecimiento fúngico externo) (**foto 1**). Así mismo, se monitorizó la temperatura de la mezcla.

Los resultados mostraron que el pase de los conidios a través de las bombas reducía significativamente la viabilidad de los conidios, un 3,9% con la bomba de pistones y un 4,4% con la de membrana después de 30 pases. Sin embargo, la cantidad de conidios viables seguía siendo del orden del 90% por lo que este efecto no se vio reflejado en la infectividad ni en la micosis sobre los adultos de *C. capitata*. Respecto a la temperatura de la mezcla al recircular, se observó un aumento de la misma, tanto con la bomba de pistones como con la de membrana, con incrementos medios de 5,3°C y 8,0°C, respectivamente, aunque sin superar los 30°C en ningún caso, que es la tempera-

CUADRO II

EFFECTO DEL NÚMERO DE PASES A TRAVÉS DE LA BOMBA DE PISTONES SOBRE EL PORCENTAJE DE GERMINACIÓN CONIDIAL DE *B. BASSIANA*, DE MORTALIDAD Y DE MICOSIS DE *C. CAPITATA*, ASÍ COMO LA TEMPERATURA DEL CALDO DE APLICACIÓN EN °C (MEDIA ± ES), INCLUYENDO LOS RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA PARA CADA VARIABLE (IC: 95%).

Bomba de pistones				
Numero de pases a través de la bomba	% Germinación conidial*	% Mortalidad (media ± SE)	% Micosis	Temperatura °C
0	92.48 ± 0.97	61.6 ± 9.78	56.73 ± 11.66	22.65 ± 0.84
1	90.52 ± 1.13	62.73 ± 7.34	62.06 ± 10.25	22.80 ± 0.85
10	91.81 ± 0.90	66.07 ± 8.63	55.67 ± 9.25	24.35 ± 0.97
30	88.52 ± 1.48	68.17 ± 8.68	62.78 ± 9.19	27.42 ± 1.25
Regresión logística	p<0.001	p= 0.0957	p= 0.7763	-
χ²	15.08	2.78	0.08	-

CUADRO III

EFFECTO DEL NÚMERO DE PASES A TRAVÉS DE LA BOMBA DE MEMBRANA SOBRE EL PORCENTAJE DE GERMINACIÓN CONIDIAL DE *B. BASSIANA*, DE MORTALIDAD Y DE MICOSIS DE *C. CAPITATA*, ASÍ COMO LA TEMPERATURA DEL CALDO DE APLICACIÓN EN °C (MEDIA ± ES), INCLUYENDO LOS RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA PARA CADA VARIABLE (IC: 95%).

Bomba de membrana				
Numero de pases a través de la bomba	% Germinación conidial*	% Mortalidad (media ± SE)	% Micosis	Temperatura °C
0	92.73 ± 1.08	66.78 ± 8.85	75.92 ± 3.17	21.38 ± 0.98
1	91.17 ± 1.12	69.5 ± 8.99	67.23 ± 1.75	21.52 ± 0.97
10	90.11 ± 0.89	75.5 ± 6.08	74.04 ± 3.23	24.37 ± 0.92
30	88.33 ± 1.74	73.11 ± 5.33	66.63 ± 3.54	29.42 ± 0.92
Regresión logística	p<0.001	p= 0.1981	p= 0.1999	-
χ²	16.64	1.66	1.64	-

tura límite de tolerancia para *B. bassiana* (**cuadros II y III**).

Por lo tanto, se ha demostrado que las bombas hidráulicas de pistones y membranas son un elemento adecuado en los pulverizadores hidráulicos para la aplicación de productos a base de *B. bassiana* ya que a pesar de que generan daño físico a parte de los conidios reduciendo su germinación, la cantidad de conidios viables es tan alta que no reduce la infectividad del caldo pulverizado. No obstante, el incremento de la temperatura de la mezcla producido por las bombas es algo que hay que controlar, ya que, en aplicaciones en condiciones de campo con el tanque expuesto a la radiación solar y la temperatura ambiental, la temperatura seguramente alcanzará valores superiores a

los máximos. Por ello, sería recomendable incorporar en los equipos de aplicación sistemas de monitorización de la temperatura del caldo, y de refrigeración o aislamiento, que mantengan la temperatura del caldo del tanque dentro de los rangos admisibles.

Adecuado tamaño de malla de los filtros

Por lo general el sistema de pulverización hidráulica tiene dos filtros, el de aspiración, que filtra la mezcla antes de entrar en la bomba para protegerla, y el de impulsión, que la filtra a su salida para proteger el resto de los elementos (**foto 2**). El tamaño de los orificios, o luz de paso de la malla de los filtros se mide con lo que se conoce como número de mesh.



Foto 2: Obturación observada en el filtro de aspiración de 80 mesh al pasar la mezcla con *B. bassiana* 30 veces.

Este indica el número de aberturas por pulgada lineal de la malla y, determina el tamaño máximo de partícula que puede pasar a través del filtro. A mayor número de mesh, menor es el tamaño de las aberturas y mayor la retención de partículas más finas.

Con el fin de encontrar el tamaño de la malla adecuado en el caso de utilizar productos a base de HE para evitar obturaciones, se llevaron a cabo dos ensayos en laboratorio, uno por tipo de filtro. En ambos casos se evaluaron tres tamaños de filtro: 32, 50 y 80 mesh. Al igual que en el ensayo de las bombas, también se estudió el factor número de pases recirculando a 0, 10 y 30 pases. La variable respuesta que se evaluó fue el porcentaje de obstrucción del filtro medido como el porcentaje de superficie filtrante obstruida respecto a la superficie filtrante. Los resultados se muestran en el **cuadro IV** donde se observa que tanto para el filtro de aspiración como el de impulsión la malla de 80 mesh es la que produjo una obturación importante, siendo mayor el valor en el de impulsión con un 56% que en el de aspiración con un

CUADRO IV

PORCENTAJES DE OBTURACIÓN DE LA MALLA DE LOS FILTROS DE ASPIRACIÓN E IMPULSIÓN DESPUÉS DE PASAR 0, 10 Y 30 VECES LA MEZCLA CON CONIDIOS DE *B. BASSIANA* A TRAVÉS DE LOS MISMOS.

Número de pases de la mezcla a través de los filtros	% Obturación					
	32 mesh	Aspiración 50 mesh		32 mesh	Impulsión 50 mesh	
		80 mesh		80 mesh		
0	0	0	0	0	0	0
10	0	0,41	16,2 ± 0,76	0	0,41	41,25 ± 5,05
30	0	0,41	18,4 ± 0,92	0	0,41	56,25 ± 3,61

18,4%. La malla de 50 mesh produjo un nivel muy ligero de obturación en ambos filtros y la malla de 32 mesh no produjo obturación, siendo la mejor opción para configurar los equipos.

Es importante también señalar que la obturación de los filtros además de producir una obstrucción del flujo puede conllevar una reducción en la concentración de conidios en la mezcla. Ambas cosas son perjudiciales para el rendimiento de la pulverización de los HE y evitarlo es fundamental.

Boquillas adecuadas para pulverizar productos a base de HE

Las boquillas tienen un papel clave en la pulverización, ya que son las encargadas de generar las gotas que se reparten sobre la vegetación o el suelo. El diseño de la boquilla determina la forma y distribución del chorro, influyendo directamente en la distribución de tamaños de las gotas.

Los orificios que atraviesa la mezcla impulsada por la presión son muy pequeños, lo que conlleva que en estos elementos también haya riesgo de producirse obturaciones. Por ello, en primer lugar y con el fin de determinar el diámetro adecuado de los orificios de las boquillas para evitar su obturación, se evaluaron cuatro tipos de boquillas: cono hueco convencional (modelo ATR80 de Albuz), cono hueco anti deriva (modelo TVI80 de Albuz), abanico convencional (modelo XR110 de Teejet) y abanico anti deriva (modelo AI110 de Teejet). De

cada uno de estos tipos, se evaluaron seis diámetros, desde el más pequeño al más grande (identificados con un código de colores estandarizado), y cada uno de ellos a dos presiones, 3 y 10 bar. El ensayo consistió en medir el caudal de cada boquilla (combinación de tipo de boquilla y diámetro) a cada presión cada 30 minutos, durante 2 horas de pulverización continua. Posteriormente se calculó la obturación mediante el porcentaje de reducción del caudal respecto al caudal nominal de cada boquilla a la presión correspondiente.

Los resultados mostraron que las boquillas de cono (ATR80 y TVI80) y la de abanico antideriva (AI110) mantuvieron un flujo igual al nominal en todas las condiciones independientemente del diámetro y el tiempo. Sin embargo, las boquillas de abanico convencionales XR110 presentaron obturaciones en los diámetros más pequeños (naranja y verde), alcanzando reducciones de caudal de hasta 80% a 3 bar de presión y hasta 67% a 10 bar a los pocos minutos de pulverización (**foto 3**).

Una vez seleccionados los diámetros adecuados de cada tipo de boquilla, se realizó un ensayo para evaluar el posible daño mecánico causado por las boquillas a los conidios. En el ensayo se evaluaron cinco boquillas, resultado de la combinación de tres tipos de boquillas (ATR80, TVI80 y XR110) y dos tamaños de diámetro, con caudales comparables entre los distintos tipos de boquillas excepto en las boquillas de abanico donde solo



La decisión más sabia frente a Botritis

Una sola materia activa (Isofetamid 40%)

Alta eficacia con efecto translaminar

Plazo de seguridad de 1 día

Cómo integramos Kenja®
junto al resto del portfolio antibotritis de Certis Belchim



Septiembre

ARMiCARB®



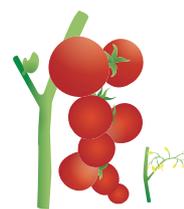
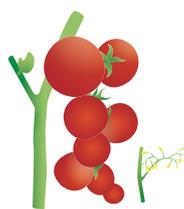
Octubre

PROBLAD®



Noviembre

KENJA® AMYLO-X® WG PROBLAD®



Enero

AMYLO-X® WG PROBLAD®



Febrero



certisbelchim.es



Certis Belchim
GROWING TOGETHER

se evaluó el diámetro que proporciona el caudal más alto dado que el diámetro que proporciona caudal menor se obstruía. Las boquillas evaluadas fueron: ATR80 marrón, ATR80 naranja, TVI80 naranja, TVI80 amarilla y XR110 amarilla. Además, también se estudió el efecto de la presión, que se ensayó a tres niveles: 10, 15 y 20 bar. Para evaluar el posible daño mecánico, por un lado, se midió el porcentaje de germinación de los conidios antes (control) y después de pasar a través de las boquillas, y se calculó la reducción de la germinación.

Por otro lado, se midió la infectividad sobre *C. capitata* de los caldos antes (control) y después del paso por las boquillas, y se calculó la eficacia respecto al control.

Los resultados mostraron que los conidios que habían pasado a través de las boquillas perdieron entre un 2 y un 8% de germinación respecto a los que no habían pasado, que presentaron un porcentaje de germinación medio de 95,68%. Además, en general se observó una relación directa entre el incremento de la presión y la reducción del porcentaje de germinación. Las boquillas no se diferenciaron significativamente respecto a la reducción de germinación de los conidios, pero como media la boquilla XR110 amarilla presentó la mayor pérdida de germinación, alcanzando valores próximos al 8% a 20 bar (figura 4).

En cuanto a la infectividad de los conidios sobre *C. capitata*, las boquillas de abanico, a pesar de reducir en mayor medida la germinación de los conidios, alcanzaron valores de eficacia significativamente más altos, con una ligera disminución a medida que aumentó la presión. Todas las boquillas de cono hueco mostraron valores de eficacia comparables, aunque las convencionales tendieron a valores medios superiores, especialmente las de menor caudal a altas presiones (figura 5).

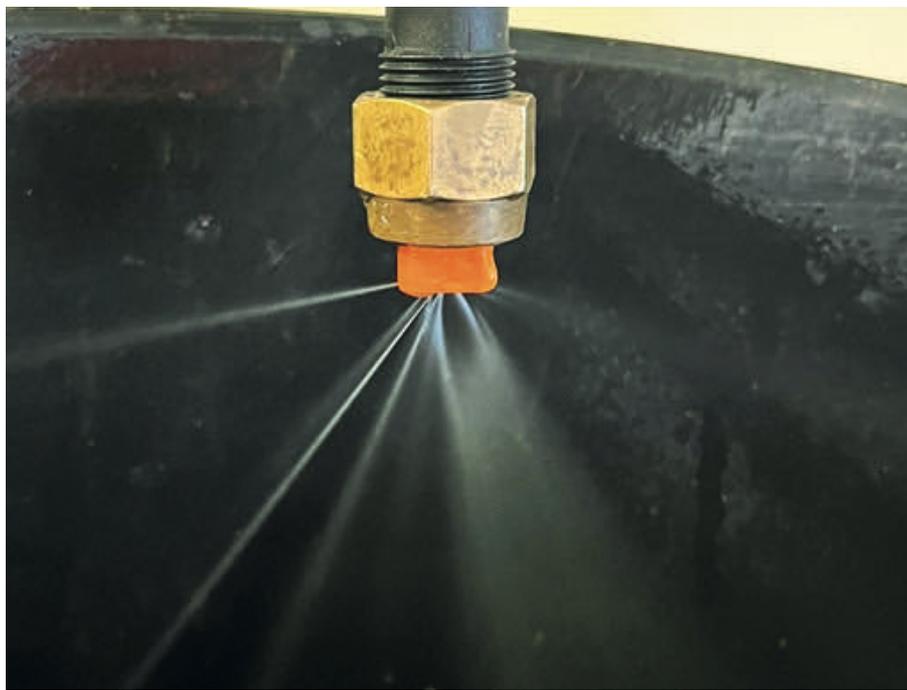


Foto 3: Boquilla XR110 naranja a los 30 minutos de pulverización continua de la mezcla con el formulado en polvo de *B. bassiana* a 10 bar de presión.

FIG. 4 Media ± ES del porcentaje de pérdida de la viabilidad de los conidios del formulado de *B. bassiana* que habían pasado por las diferentes boquillas a las presiones de 10, 15 y 20 bar.

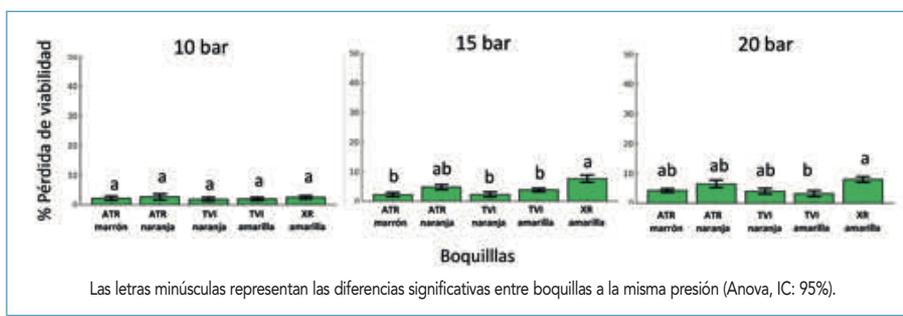
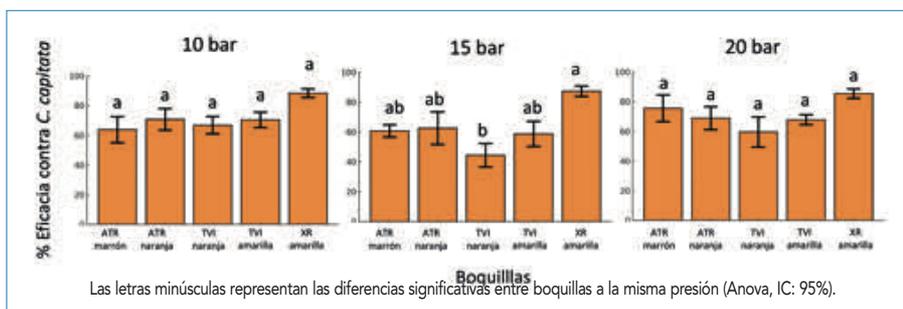


FIG. 5 Media ± ES del porcentaje de eficacia de la pulverización del formulado con *B. bassiana* con las diferentes boquillas a las presiones de 10, 15 y 20 bar, sobre *C. capitata*.



Por lo tanto, la selección adecuada del tipo y tamaño de boquilla resulta determinante para garantizar la estabilidad del caudal y preservar la viabilidad de los conidios durante la pulverización.

Conseguir mezclas homogéneas del caldo de pulverización

En el caso de los formulados basados en HE, la propia naturaleza del producto suele generar problemas de homogeneización dentro del caldo de aplicación. Por ello, el sistema de agitación del pulverizador resulta fundamental para garantizar que la mezcla se mantenga uniformemente suspendida en el tanque durante toda la aplicación.

Se realizó un estudio para evaluar la evolución de la concentración de conidios (conidios/mililitro) dentro del tanque de un pulverizador hidráulico convencional a medida que se va vaciando. La capacidad del tanque del equipo evaluado era de 1.000 l, y se tomaron tres muestras, al inicio, a la mitad y al final del vaciado. Este proceso se repitió seis veces.

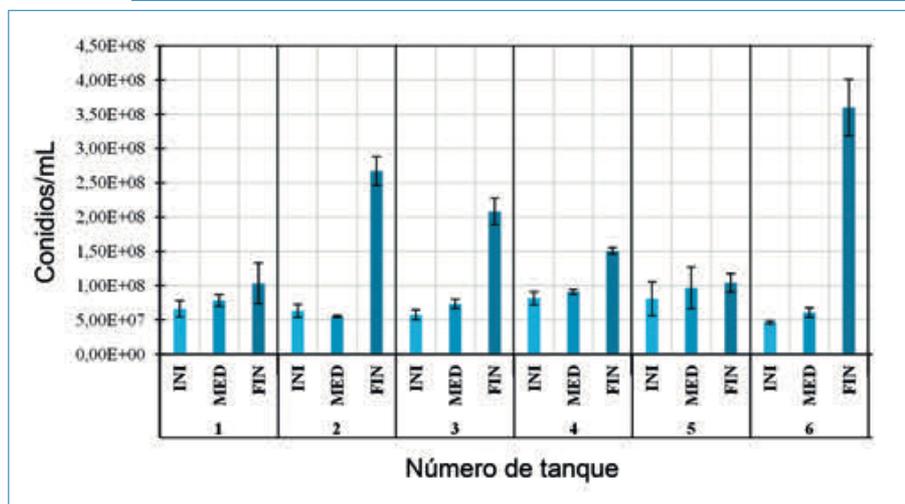
Los resultados mostraron una variabilidad apreciable a lo largo del proceso del vaciado de cada tanque, así como entre tanques, lo que corrobora la ineficiencia de este sistema de agitación para conseguir homogeneidad en la mezcla de estos productos, evidenciando la necesidad de buscar soluciones que mejoren este parámetro (figura 6).

Retos futuros de la pulverización de HE

El avance en la adopción de los HE como herramientas eficaces de control biológico depende, en gran medida, de lograr que su aplicación en condiciones de campo mediante pulverización no limite el gran potencial que muestran en laboratorio para el control de plagas.

En primer lugar, es imprescindible desarrollar guías de aplicación de HE

FIG. 6 Concentración media (\pm ES) de conidios ml^{-1} en el caldo de pulverización a lo largo del vaciado de seis tanques.



específicas, que trasladen al usuario la importancia de aspectos clave que este trabajo ha demostrado tener un efecto directo sobre la viabilidad y el rendimiento biológico de los conidios, como la preparación de la mezcla y la adición, en su caso, de la concentración apropiada de surfactantes, la selección de boquillas y filtros adecuados, el control de la presión y la importancia de la temperatura del caldo. De esta forma, los usuarios podrán hacer una correcta configuración y uso de los equipos para garantizar la eficacia de la pulverización de HE.

Además de estas guías, otra línea de actuación que impulsaría la adopción de estos productos es la optimización de los equipos de pulverización, implementando mejoras en el sistema de agitación para asegurar una homogeneización de la mezcla, así como incorporando sistemas de refrigeración o control de temperatura en los tanques que eviten sobrepasar la temperatura límite del HE que se esté aplicando, ampliando el tiempo efectivo de aplicación de los HE durante los meses más cálidos, e incluso propiciando su uso en regiones más áridas.

Por último, hay que destacar la necesidad de adecuar los requerimientos para otras especies y cepas fúngicas, incluso otros formulados o estructuras infectivas

(hifas, microesclerocios, etc), realizando estudios específicos, ya que las características físicas de las estructuras pulverizadas (como tamaño, hidrofobicidad o densidad) pueden influir significativamente en el comportamiento del formulado durante la pulverización y, por tanto, en la configuración óptima del equipo.

En conclusión, los avances logrados durante este trabajo indican que pulverizaciones estandarizadas y adaptadas a las particularidades de los HE es el paso necesario para consolidar su adopción a gran escala y avanzar hacia sistemas de control de plagas más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. ■

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España a través del Proyecto Fungitech (PID2019-106336RR-I00) y la Generalitat Valenciana - Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (GVA-IVIA) a través del proyecto 52204C y fondos del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Roberto Beltrán-Martí agradece al INIA la beca FPI-INIA (PRE2020-096256), parcialmente apoyada por fondos FSE de la Unión Europea. Cruz Garcerá, en el momento de este estudio era beneficiaria de un contrato postdoctoral DOC-INIA financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Agroalimentaria (ref. DR2015-0318). Los autores agradecen al Grupo Tragsa la colaboración en el suministro de moscas adultas y al grupo AGR163 "Entomología Agrícola" del Departamento de Agronomía (DAUCO) de la Universidad de Córdoba su apoyo.

BIBLIOGRAFÍA

Existe una amplia relación bibliográfica a disposición de los lectores en el correo electrónico redaccion@eumedia.es.