

PULVERIZACIÓN Y PULVERIZADORES NEUMÁTICOS



La mayoría de las aplicaciones de productos fitosanitarios se realizan a partir de materias activas diluidas en líquido. Este líquido se rompe en gotas para alcanzar el objetivo con una cobertura suficiente, entendida como tal la que permite controlar el parásito, de acuerdo con las reglas que se establecen para la denominada 'lucha integrada'.

LUIS MÁRQUEZ

Para pulverizar un líquido en gotas de tamaño apropiado se pueden utilizar diferentes técnicas: someter el líquido a presión, haciéndolo salir por un orificio calibrado o boquilla, lo que se conoce como pulverización hidráulica; situando el líquido en una corriente de aire de alta velocidad, lo que se denomina pulverización neumática; o bien, vertiendo el líquido en un dispositivo de sección circular que gira a gran

velocidad, para que la fuerza centrífuga generada en el movimiento se encargue de la pulverización.

También se pueden utilizar otras técnicas, como una combinación de aire con calor, la pulverización termoneumática, especialmente adaptada a la desinfección de almacenes cerrados y en algunos invernaderos, así como el movimiento del producto por un tubo capilar impulsado por un campo electromagnético, dando lugar a la pulverización electrodinámica, que

no ha pasado en su desarrollo de un nivel casi experimental.

La pulverización hidráulica es la más frecuentemente utilizada en la agricultura, pero, en determinadas circunstancias, la pulverización neumática y la centrífuga ofrecen ventajas interesantes. La primera de ellas en las aplicaciones sobre la viña, mientras que la centrífuga en equipos de manejo manual para aplicar herbicidas en bajo volumen, o en tratamientos con medios aéreos para cobertura de grandes superficies (control de plagas forestales).

Seguidamente se analizan los diferentes aspectos de la pulverización y los pulverizadores neumáticos con las ventajas que ofrecen y las limitaciones que hay que tener en cuenta para utilizarlos eficientemente.

La pulverización hidráulica

Sometiendo un líquido a presión, para hacerlo atravesar un orificio, o boquilla, que lo pone en contacto con la atmósfera, se produce una pulverización con gotas cuyo tamaño depende de la presión utilizada y del diámetro del orificio de salida. Cambiando el diámetro y la forma de este orificio y la presión

del líquido se pueden conseguir gotas de diferentes dimensiones y dar salida al líquido con caudales variables en un amplio rango.

Con este sistema de pulverización, las gotas reciben una cantidad de energía cinética que les permite alcanzar por sí solas al vegetal. Esta energía procede de la necesaria para la pulverización, suministrada en forma de presión en el líquido.

La energía para la pulverización depende de la presión de trabajo y matemáticamente se puede calcular como producto de la presión por el volumen del líquido (en m^3), de manera que, expresando la presión en bar, la energía para pulverizar un litro de líquido será de cien veces la presión considerada.

Las gotas alcanzan una velocidad que les puede permitir llegar al cultivo manteniendo una energía residual suficiente para penetrar en el interior del follaje. A mayor presión, mayor velocidad de salida y superior energía cinética en el líquido, pero cada gota se desplaza individualmente y su trayectoria está regida por las leyes que explican el comportamiento de un proyectil en la atmósfera.

Cuando las gotas son muy finas, aunque salgan lanzadas a gran velocidad, la deceleración

que les produce el aire puede ser considerable. Experimentalmente se demuestra que la deceleración decrece más rápidamente que el cuadrado de la velocidad y que la inversa del diámetro de las gotas.

Las consecuencias de orden práctico y que limitan esta forma de pulverización son:

- El alcance de las gotas y la fuerza de penetración no varían sensiblemente cuando la presión de la boquilla sobrepasa los 30 bar.
- Las gotas pequeñas son rápidamente frenadas, incluso si salen lanzadas a gran velocidad.

Por ello, las boquillas tienen que actuar próximas a la zona de tratamiento, sin que sea aconsejable, con este sistema de pulverización, producir gotas demasiado finas o buscar directamente gran penetración.

Para hacer que las gotas penetren en una masa vegetal hay que buscarles apoyo mediante el aire que aporta un ventilador. Este conjunto de sistema de pulverización y ventilador asociado da lugar a los equipos que se conocen como pulverizadores hidroneumáticos, o atomizadores, de uso generalizado en árboles con elevado desarrollo foliar.



La pulverización mediante aire a gran velocidad

La pulverización se produce por el choque de una corriente de aire a gran velocidad con el líquido colocado ante ésta, en forma de lámina o vena desplegada, que fluye desde una tubería por la que circula con muy poca presión.

El diámetro de las gotas producidas está relacionado con la velocidad de la corriente de aire y, entre ciertos intervalos, es posible regular este diámetro variando la velocidad.

El diámetro de las gotas obtenidas es, aproximadamente:

$$d_{v/s} \approx 5000 / v$$

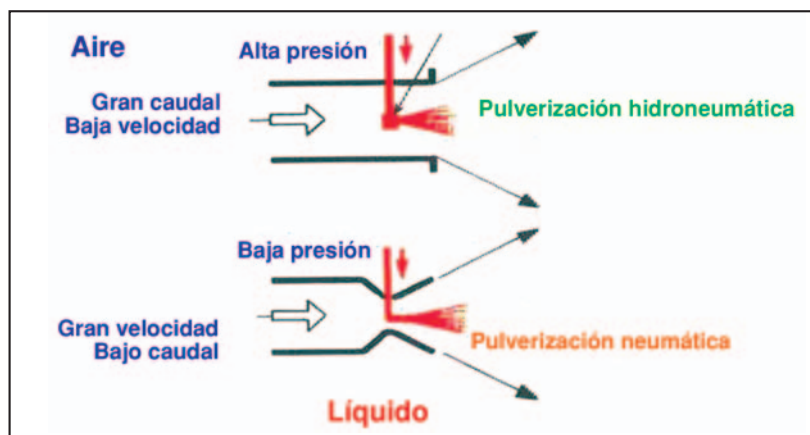
siendo:

$$d_{v/s} = \text{diámetro medio volumen} / \text{superficie } [\mu\text{m}]$$

$$v = \text{velocidad de salida del aire } [\text{m/s}]$$

Se entiende por diámetro medio volumen/superficie, o también $d_{3/2}$, el correspondiente a una gota cuya relación entre su volumen y el área de su círculo máximo (considerando la gota como esférica), es igual al total de líquido pulverizado dividido por el conjunto de la superficie cubierta con las gotas (suponiendo que no se expanden al depositarse sobre el objetivo). El $d_{v/s}$ es aproximadamente igual al

Figura 2.- Diferencias entre pulverizadores neumáticos e hidroneumáticos



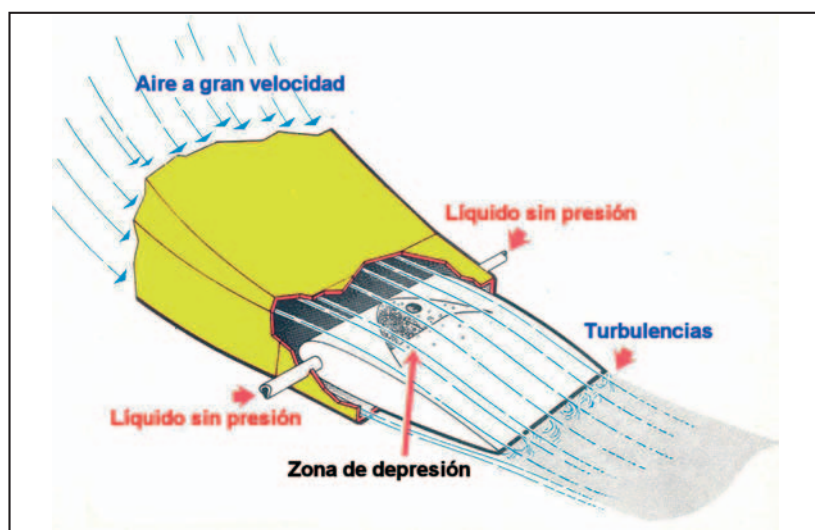
80% del conocido como VMD, o diámetro de la gota mediana en volumen, que se suele utilizar como referencia en la pulverización agrícola

Para que se produzca este tamaño de gotas, entre los caudales de aire (en peso) y los caudales de líquido se deben de mantener relaciones superiores a 2 000 (habitualmente esta relación está entre 6 000 y 10 000 para la pulverización agrícola realizada por este método).

Aplicando la expresión anterior para algunos valores numéricos se tiene:

Velocidad	Tamaño medio
[m/s]	$d_{v/s}$ [μm]
50	100
75	66
100	50

Figura 1.- Pulverización neumática



Sin embargo, en la práctica los resultados no son tan buenos, sobre todo en la pulverización agrícola, precisándose mayores velocidades del aire para conseguir gotas tan pequeñas, y la causa principal de estas diferencias está en que la fórmula experimental propuesta se estableció sobre condiciones ideales de laboratorio difíciles de conseguir en la práctica.

Además de la velocidad del aire, en el diámetro de las gotas formadas influyen la tensión superficial del líquido y el aumento de su caudal, que se regula mediante un paso calibrado; la primera de forma directa, y el segundo de forma inversamente proporcional.

Como los caudales de aire deben ser grandes para poder asegurar el transporte de las gotas, no todo el aire producido actúa directamente en el proceso de pulverización. En la práctica, la relación de masas suele estar en proporción que varía entre 1 y 3, es decir, un kilo de líquido precisa de 1 a 3 kg de aire (0.8 a 2.4 m^3) siendo normales incluso relaciones mucho mayores (más de 6 m^3 por litro de líquido).

La energía necesaria por litro de producto pulverizado neumáticamente será igual a la mitad del producto de la masa de aire impulsado por el cuadrado de la velocidad a la que sale. Si se compara la energía necesaria para pulverizar un litro de líquido, teniendo en cuenta que entre

los caudales de aire y los caudales de líquido se mantiene una relación de 1 000, con la necesaria para la pulverización hidráulica, se necesitarían presiones de unos 50 bar; si la relación de caudales pasa a 2 000, cosa relativamente frecuente en los pulverizadores agrícolas, la energía consumida en la pulverización neumática será equivalente a trabajar con una presión algo superior a los 100 bar.

Se puede decir que, al precisar volúmenes de aire con velocidades elevadas, la energía necesaria para este tipo de pulverización es considerablemente mayor que en la pulverización mecánica, y sólo serán competitivos estos equipos cuando las dosis por hectárea sean pequeñas (menores a las de otros sistemas de pulverización), lo que en el conjunto del tratamiento quedaría compensado por la disminución de la cantidad pulverizada, mejorando por otra parte la penetración, la finura y la uniformidad de la gota de la pulverización mecánica convencional.

Como inconveniente de esta técnica está la dificultad de mantener dosis constantes si se producen variaciones, incluso pequeñas, en el suministro del líquido, lo que hace necesario contar con una bomba que asegure caudal constante del líquido en la boquilla neumática. Esto, junto con el bajo rendimiento

energético, fija los límites de esta técnica de pulverización.

Boquillas para la pulverización neumática

Las boquillas neumáticas que se utilizan en los equipos agrícolas toman formas diferentes para adaptarse a las necesidades del cultivo sobre el que se realiza la aplicación. La terminología utilizada es la siguiente:

- El 'cañón' es una tobera (o venturi) con salida única que permite que la pulverización realizada tenga gran alcance.
- La 'mano' está formada por varias toberas, de igual o de diferente dimensión, colocadas radialmente en un sector circular, para realizar tratamientos en proximidad.
- Se llaman 'dedos' a cada una de las toberas que componen la mano. La sección de salida de cada dedo debe de estar en función de su situación en la mano y del tipo de distribución que se desea conseguir.

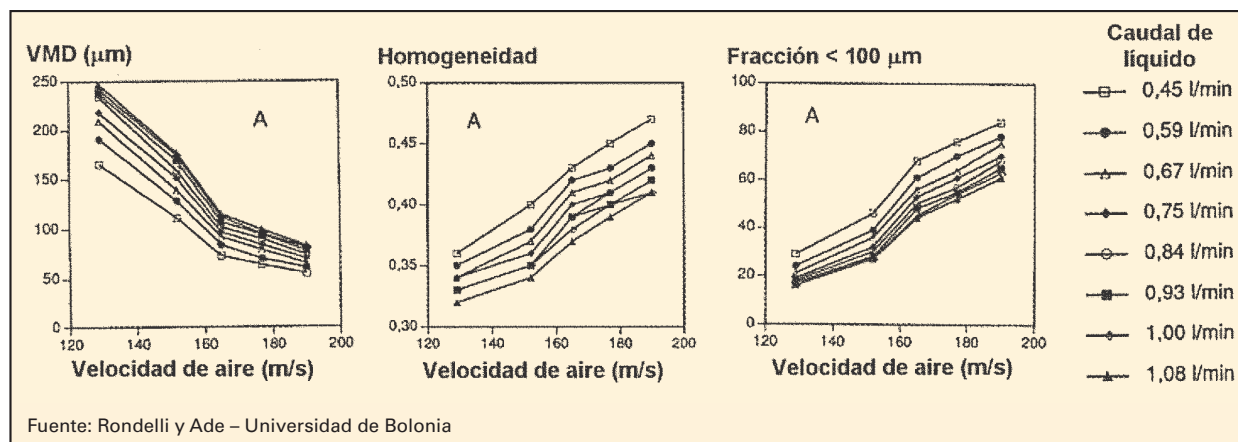
Con diámetros más grandes se consigue un alcance mayor. Es frecuente encontrar en el mercado boquillas neumáticas construidas por el propio fabricante del equipo, en las que se introducen elementos con formas y dimensiones que tienden

EN UN GRAN NÚMERO DE CASOS LAS VELOCIDADES DEL AIRE EN LA TOBERA NO ALCANZAN LOS NIVELES QUE ESTA TÉCNICA DE PULVERIZACIÓN EXIGE

a favorecer el contacto de la vena líquida con la corriente de aire. No todos los diseños que se encuentran en el mercado consiguen una pulverización aceptable, ya que en un gran número de casos las velocidades del aire en la tobera no alcanzan los niveles que esta técnica de pulverización exige. En bastantes casos los propios dispositivos diseñados para el aporte del caldo se convierten en obstrucciones generadoras de turbulencias. Otros fabricantes de pulverizadores neumáticos utilizan toberas fabricadas en serie con un origen común, al igual que se hace con los pulverizadores hidráulicos.

Hay poca información bibliográfica publicada sobre ensayos realizados con boquillas neumáticas, frente a lo que se encuentra con las boquillas hidráulicas. En la Figura 3 se presenta uno de

Figura 3.- Pulverización neumática: variación de las características de la población de gotas en función de la velocidad del aire y del caudal de líquido aportado





CONVIENE UTILIZAR EQUIPOS NEUMÁTICOS CUANDO SE BUSCA MAYOR PENETRACIÓN CONCENTRADA EN ZONAS DIFÍCILES Y APLICACIONES EN BAJO VOLUMEN

estos ensayos realizados sobre boquillas Cima, con agua pura, mediante un analizador tipo Marvern 2600. El análisis de los resultados obtenidos permite comprender las ventajas e inconvenientes que ofrece la utilización de esta técnica.

En primer lugar, se aprecia cómo se produce una reducción del tamaño de las gotas pulverizadas a medida que aumenta la velocidad del aire en la boquilla, y el consiguiente aumento de las gotas pequeñas (gotas de menos de

100 μm) que son más susceptibles de perderse por deriva. También, cómo se reduce el grado de homogeneidad a medida que aumenta la velocidad del aire.

Pulverizadores neumáticos frente a los atomizadores

Considerando las ventajas de los equipos de 'aire' para las aplicaciones realizadas sobre plantaciones con cierto volumen de hojas, hay que elegir, entre las alternativas que ofrece el mercado, la que mejor se adapte a una determinada aplicación o forma de conducción de la plantación

En general, se recomienda utilizar pulverizadores hidroneumáticos (atomizadores) cuando interesa:

- Una distribución extensiva y uniforme del fitosanitario en toda la masa vegetal, con volúmenes de aplicación superiores a 150 L/ha.
- Cubrir una gran superficie en cada pasada, con grandes caudales de aire y baja velocidad de salida, para que el cultivo no sufra daños.
- Utilizar el equipo para pulverizar directamente, una vez desconectado el ventilador, mediante un sistema de barras portaboquillas apropiado, o pistolas y lanzas de accionamiento manual conectadas a salidas controlables.

Conviene utilizar equipos neumáticos cuando se busca:

- Mayor penetración concentrada en zonas difíciles (como por ejemplo en el racimo de la vid).
- Aplicaciones en bajo volumen, entre 50 y 200 L/ha.

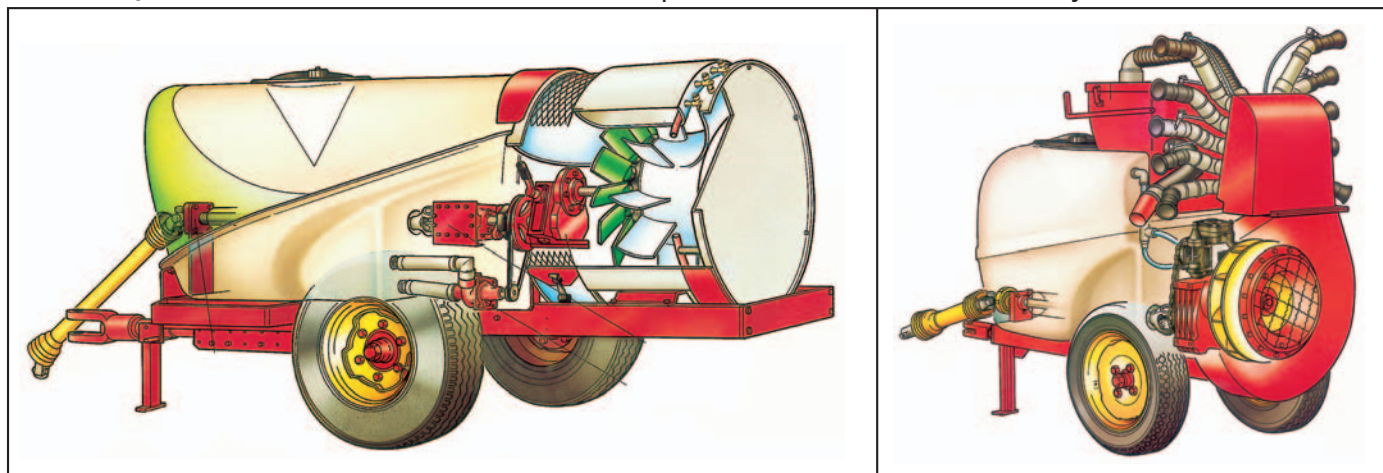
Según esto, la opción del pulverizador hidroneumático será la recomendable en la plantación frutal, mientras que los pulverizadores neumáticos se recomiendan específicamente para la explotación vitícola. El desarrollo tecnológico, consecuencia de la alta competencia entre los fabricantes de boquillas para la pulverización hidráulica, ha permitido desarrollar atomizadores que se aproximan a lo que ofrecen los pulverizadores neumáticos, también conocidos como nebulizadores, dando una apariencia externa similar. También se ofrecen equipos sobre los que pueden realizarse las dos formas de aplicación

La oferta comercial de pulverizadores neumáticos

Pulverizadores neumáticos para cultivos bajos

Las empresas que comercializan pulverizadores neumáticos son de características muy diversas. La mayoría son pequeñas, aunque otras pueden considerar-

Figura 4.- Diferencias constructivas entre los pulverizadores hidroneumáticos y los neumáticos



Fuente: NICOLÁS

se como referencia en el campo de la maquinaria agrícola.

Entre los equipos que llegan al mercado hay algunas marcas que presentan un producto, en apariencia innovador, para cultivos bajos (pulverización con poco caldo, con el objetivo de reducir la humedad en la aplicación de fungicidas), como Cima, pero con poca información técnica en la documentación comercial, aunque parece que se utilizan boquillas de Surpray.

Otros fabricantes, como Amica, ofrecen equipos similares con boquillas neumáticas basadas en una aleta que recibe el líquido y lo pone en contacto con la corriente de aire, bastante común en los equipos neumáticos de uso agrícola.

En general, se trata de equipos con una presencia en el mercado prácticamente testimonial.

Pulverizadores neumáticos para árboles y arbustos

A este respecto, Berthoud se considera como empresa de referencia para la aplicación de fitosanitarios en la viña. Utiliza siempre boquillas neumáticas adaptadas a las salidas; unas de tipo cañón y otras de tipo aplastado, situadas en los extremos de conducciones. Su objetivo es producir gotas entre 75 y 150 μm (100 μm como diámetro de referencia).

Asimismo, utiliza un restrictor de paso del líquido para ajustar el caudal de las boquillas neu-

Pulverizador neumático para cultivos bajos



Fuente: CIMA

máticas, que se sitúa en el extremo de las conducciones de aire de tipo muy diferente. Este mismo sistema es seguido por otros fabricantes franceses.

Los pulverizadores neumáticos producidos por Berthoud son de estructura modular para adaptarse a todos los marcos de plantación posibles en la viña. Algunos ejemplos de las alternativas disponibles se presentan en las figuras adjuntas. Aunque ofrece salidas que permiten hacer aplicaciones extensivas utilizando la pulverización neumática, este fabricante diferencia su producción, recomendando para las plantaciones arbóreas de mayor desarrollo foliar los pulverizadores hidroneumáticos (atomizadores), mientras que los neumáticos los dirige específicamente a la viña.

Por el contrario, kwh-Martignani ofrece equipos neumáticos para todo tipo de plantaciones arbóreas. Utiliza su propia boquilla basada en una placa romboidal

alargada colocada perpendicularmente a la corriente de aire, que se alimenta de líquido por una conducción que finaliza en el centro, según aparece en el esquema adjunto. Indica velocidades de aire de 80 m/s y regulación del caudal del conjunto de boquillas entre 50 y 3 200 L/hora, aunque por las características energéticas de la pulverización neumática, no parece lo más indicada para aplicar grandes volúmenes de líquido por hectárea. También ofrece la posibilidad de cargar eléctricamente gotas pulverizadas.

Otros fabricantes, como Hardi, ofrecen equipos modulares para la viña que pueden utilizar pulverización hidráulica o neumática cambiando el sistema de pulverización. En estos casos utilizan ventilador radial (turbina) y ofrecen el sistema neumático para obtener gotas finas. No se indica la velocidad del aire en la boquilla, pero utiliza una turbina doble de 540 mm de diámetro

Pulverizador neumático para cultivos bajos



Detalle de la boquilla



Fuente: AMICA

Pulverizador neumático y detalle de sus diferentes boquillas neumáticas



Fuente: BERTHOUD

con una demanda de potencia de 37 kW para impulsar 19 000 m³/h de aire. Los diferentes componentes se presentan en la figura adjunta.

Por último, hay que destacar la oferta de equipos neumáticos de mochila para manejar a mano, en los que se utiliza un motor térmico de pequeña potencia.

También se encuentran en el mercado equipos para invernaderos, que utilizan compresores para producir la corriente de aire que llega a la boquilla, con lo cual se consigue gota mucho más fina, que proporciona mayor cobertura, pero que solo puede utilizarse en recintos cerrados para evitar su pérdida por deriva.

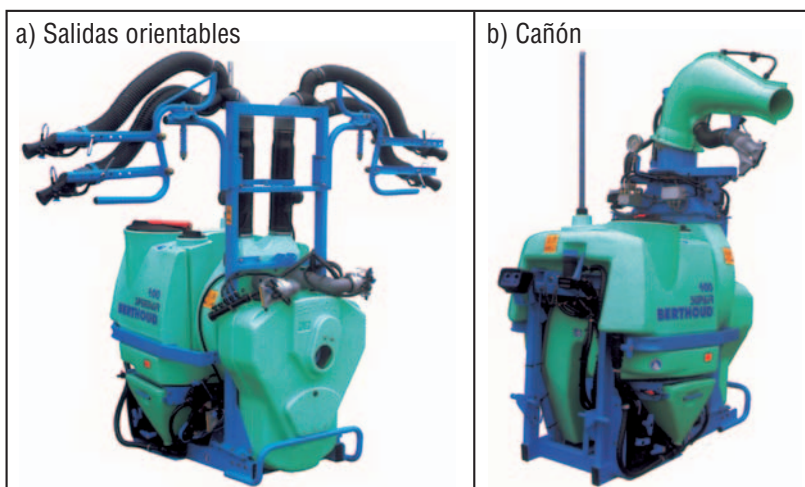
Los pulverizadores neumáticos para la viña

En las experiencias realizadas en distintas zonas vitícolas, dirigidas a comparar las prestaciones de diferentes tipos de pulverizado-

res en las aplicaciones que se realizan con el viñedo, los equipos neumáticos siempre demuestran la máxima eficacia. Sólo se le acercan los hidroneumáticos con salidas de aire orientables asociadas a una o varias boquillas, similares físicamente a los pulverizadores neumáticos, pero siempre aplicando mayor volumen de caldo por hectárea.

Así, con un pulverizador neumático se puede conseguir la máxima eficacia con sólo 100 L/ha de volumen de aplicación, mientras que con el hidroneumático adaptado a la viña no debe bajarse de 200 L/ha. La posible orientación de las salidas de aire minimiza las pérdidas de producto, a la vez que aumenta la penetración en las zonas más

Alternativas a las salidas de un pulverizador neumático



Fuente: BERTHOUD

Equipo mixto hidroneumático/neumático para aplicaciones en la viña

Sistema hidroneumático		Sistema neumático		Pulverizador Hardi Mercury/Arrow B40 para la viña	
	Mano de cinco boquillas		Cañón		
	Mano de tres boquillas		Mano de tres salidas		
	Sistema SPV de una boquilla				

Fuente: Ilemo-Hardi

Pulverizador neumático y detalle de la boquilla



Fuente: kwh-Martignani

sensibles, como son las que rodean al racimo.

La razón por la que los pulverizadores neumáticos permiten trabajar con bajos volúmenes es una consecuencia de la finura de la pulverización neumática, pero también va unida a la circunstancia de que la gota se mueve en una corriente de aire de elevada humedad relativa, lo que permite que muchas gotas pequeñas, de menos de 100 μm , alcancen el objetivo sin evaporarse. Las gotas de menos de 50 μm , que llegan a ser el 30% en número de las formadas, en volumen de líquido sólo representan el 5% del producto pulverizado.

De esta manera, se puede pulverizar con una población de gotas de 75 y 150 μm , muy homogénea en tamaño, como corresponde a la pulverización neumática, para conseguir una cobertura de 100 gotas/cm², que proporciona la

máxima eficacia en cualquier tipo de tratamiento, incluso cuando el índice de área foliar de la plantación llega a ser 10 veces el de la superficie ocupada por la viña. La gran homogeneidad de la pulverización neumática evita las gotas de más de 300 μm que terminan por escurrimiento en el suelo, y que, aunque son sólo un 5% en número, contienen el 30% del líquido pulverizado.

En consecuencia, con una pulverización neumática de gotas de 100 μm de tamaño medio, se puede trabajar sobre la viña

con volúmenes de caldo entre 50 y 250 L/ha, aprovechando todas las ventajas que la pulverización neumática ofrece; su mayor inconveniente: el alto consumo de energía cuando se pretende pulverizar elevados volúmenes de caldo por hectárea.

Pero, para que todo vaya bien, el equipo debe de estar adaptado a la plantación. Las salidas de aire a gran velocidad son frenadas por la atmósfera de manera más intensa que las corrientes de gran caudal y baja velocidad de los atomizadores, por lo que, salvo en los cañones neumáticos diseñados para tratamientos extensivos a distancia con productos insecticidas, aprovechando las corrientes de aire de la atmósfera, las salidas deben de estar próximas a las zonas a las que se dirige el tratamiento.

La velocidad de avance debe de ser la adecuada para desalojar el aire que se encuentra en el interior de la plantación, cambiándolo por el que llega del pulverizador cargado de gotas.

El punto más débil del equipo: una perforación o una doblez en las mangueras que conducen el aire hasta las boquillas hace que baje su velocidad de salida, por lo que los equipos neumáticos mal diseñados, o mal conservados por los usuarios, pueden dar lugar a tratamientos ineficaces. ■



Adaptación de las salidas en el pulverizador neumático en función del tipo de tratamiento realizado sobre la viña



Fuente: BERTHOUD