LUIS MÁRQUEZ
Dr. Ing. Agrónomo

ADAPTACIÓN DE LOS PULVERIZADORES HIDRONEUMÁTICOS A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTACIÓN



En este artículo se analiza la forma de poner a punto un pulverizador hidroneumático, tanto en lo que respecta al volumen de aire producido como a la pulverización del caldo formado por la mezcla de agua con cualquier producto fitosanitario.

Es frecuente que en el momento de adquirir una máquina no se tengan en cuenta las particularidades de la explotación en la que tiene que trabajar. Se parte de la base que ya se regulará para conseguir eficacia en la labor que realiza. A veces es el propio vendedor el que deja a punto la máquina para el trabajo, manteniéndose esta regulación inicial aunque cambien las condiciones del cultivo a lo largo del ciclo productivo, como suele ser el caso de los pulverizadores hidroneumáticos o atomizadores que se utilizan para la protección de cultivos en las plantaciones arbóreas de clima templado, que todos los años renuevan su aparato foliar.

En las líneas que siguen a continuación exponemos el mecanismo para poner a punto un pulverizador hidroneumático, en lo que respecta al volumen de aire producido y en la pulverización del caldo formado por la mezcla de agua con cualquier producto fitosanitario. Estas mismas reglas se pueden aplicar para seleccionar las características de un equipo en función de la plantación y los tratamientos que ésta necesita.

CAUDAL DE AIRE NECESARIO

El aire impulsado por el ventilador y cargado con las gotas de caldo pulverizadas debe de entrar en la vegetación desplazando al aire que se encuentra en ella. Para ello se necesita disponer de un volumen de aire suficiente, a una velocidad tal que le permita superar las distintas capas foliares sin sobrepasar la parte opuesta a la que se realiza el tratamiento, suponiendo que la aplicación se realiza por todas las filas.

El caudal de aire necesario se puede calcular según la expresión:

$$Q_{Ar} = a \times h \times v \times 1\,000 / C_e$$

siendo:

Q_{Ar} = caudal teórico de aire impulsado por el ventilador en m^3/h
a = espaciamiento entre fila (o filas) en m
h = altura del cultivo en m
v = velocidad de avance en km/h
C_e = coeficiente de expansión.

El coeficiente de expansión permite introducir una corrección que tiene en cuenta la compresión del aire atmosférico que produce el ventilador. Este coeficiente se estima que debe de tomar un valor igual a 2.5 / 3, en caso de pulverizadores con ventiladores axiales, que son los que generalmente utilizan los atomizadores.

La medida de la velocidad de avance debe de calcularse utilizando un cronómetro, para medir el tiempo que tar-









Alternativas para adaptar la salida de aire a las características del cultivo.

da en recorrer el equipo una distancia determinada, en unas condiciones similares a las de la aplicación; no puede hacerse utilizando el velocímetro que incorpora el tractor, ya que no suele proporcionar precisión suficiente, a no ser que disponga de un equipo especial basado en el radar de baja frecuencia, que sólo se incorpora como estándar en los grandes tractores.

Para un equipo determinado, en el que ya está fijado el caudal de aire disponible (Q_{Ar}), la **velocidad real de avance** posible se calcula con la expresión:

$$v\ (km/h) = 3 \times Q_{Ar}\ [m^3/h] / (a\ [m] \times h\ [m] \times 1\,000)$$

Esta velocidad de avance, calculada en función de la capacidad del ventilador, debe utilizarse para ajustar el volumen de pulverización.

Así, si se dispone de un equipo con un caudal de aire de 30 000 m^3/h para tratar una plantación de 4 metros de altura, con líneas separadas 5 m, la velocidad de trabajo recomendada será, sustituyendo los valores en la expresión anterior, de 4.5 km/h.

VELOCIDAD DEL AIRE QUE LLEGA A LA PLANTACIÓN

Se estima que la velocidad del aire en la entrada de la masa vegetal debe estar entre 10 y 15 m/s. Con velocidades superiores las hojas tienden a aplastarse unas sobre otras, bloqueando la entrada del aire, y se llega a producir, a altas velocidades, incluso el arranque de hojas. Con velocidades inferiores las hojas exteriores no se agitan lo suficiente para dar paso a la corriente de aire, actuando como barrera. En general resulta preferible producir una corriente de aire con ciertas turbulencias (variaciones de la velocidad).

> ***Se debe evitar que la corriente de aire producida por el ventilador llegue a zonas en las que no existe vegetación***

Como recomendación práctica para conocer si la corriente de aire es suficiente se puede verificar el comportamiento de las hojas del lado externo de la planta, opuesto a la zona por la que se realiza la aplicación. Si las hojas permanecen quietas, es señal de que el chorro de aire es insuficiente, si se colocan en 'bandera' el chorro es excesivo y se producirán pérdidas.

Por otra parte, se considera que el aire con velocidad de menos de 3 m/s pierde la capacidad de transporte de las gotas pulverizadas. Generalmente resulta mejor disponer de ventiladores de alto caudal de aire con baja velocidad de salida.

ORIENTACIÓN DE LAS SALIDAS DE AIRE

La tendencia actual es la de reducir el desarrollo de las plantaciones consiguiendo una vegetación homogénea y no excesivamente alta, que facilita las operaciones de cultivo y de recolección y, de una manera especial, favorece la penetración en las aplicaciones de fitosanitarios.

En las plantaciones en 'espaldera' es posible situar las entradas de aire en las proximidades del follaje, de manera que el chorro se introduzca perpendicular, o ligeramente inclinado, con respecto a la pared de la masa vegetal, evitando la dispersión del aire en zonas no ocupadas por la vegetación. En cualquier caso los deflectores o pantallas deben de ajustarse en función del tipo de plantación, de manera que solo se dirija el aire sobre la zona de tratamiento.

La dificultad para conseguir chorros de aire suficientes en caudal y velocidad sobre plantaciones de gran desarrollo, y con un elevado LAI (índice de área foliar, que relaciona la superficie de vegetación con la superficie

agrícola) como los agrios, hace que se ofrezcan en el mercado equipos con doble ventilador, uno de ellos situado en la posición convencional y el otro elevado de manera que produzca un chorro de aire que entre en la vegetación de arriba a abajo, así como deflectores lineales que producen chorros de aire paralelos al suelo a lo largo de toda la altura de las plantas.



Pulverizador neumático adaptado para tratamiento sobre la viña.

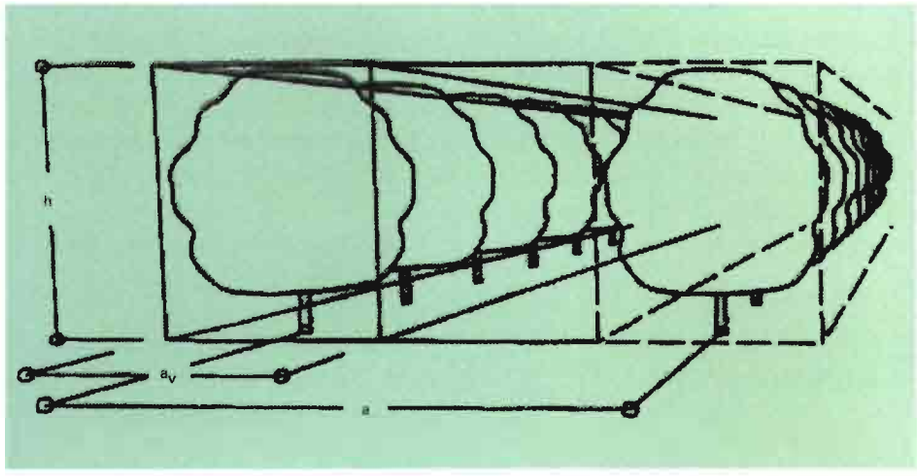
VOLUMEN DE APLICACIÓN

A medida que se reduce el tamaño de las gotas puede bajarse el volumen de caldo para conseguir el mismo grado de cobertura. Este volumen, además, viene condicionado:

- Por el tipo de formulado químico que debe mantenerse en unos niveles de concentración y depositarse con un grado de cobertura adecuado (gotas/cm^2).
- Por la superficie que se debe de proteger, que depende del material vegetal presente, el cual se define técnicamente mediante el LAI (índice de área foliar).
- Por el estado del equipo utilizado y por la precisión con que se calibre.

Para plantaciones frutales de clima templado parece que los mejores resultados se obtienen con volúmenes medios-bajos, ya que los altos volúmenes aumentan considerablemente las perdidas a tierra por escurrimiento, y los muy bajos incrementan las pérdidas por deriva, ya que obligan a utilizar pulverización con gota muy fina. Las experiencias europeas con volúmenes de 100 L/ha o menos, no han proporcionado buenos resultados.

Para fijar el volumen es esencial determinar la cantidad de vegetación presente. Además, hay que tener en cuenta que las recomendaciones para zonas con bajas temperaturas no son extrapolables a los climas más cálidos y a zonas más ventosas, así como cuando aumenta el volumen de vegetación. Tampoco es correcto vincular el volumen de aplicación a las características del equipo disponible.



Cálculo del caudal de aire y de volumen de caldo.

AJUSTE DEL VOLUMEN DE CALDO

El volumen de caldo debe de adaptarse al **volumen de vegetación**. El cálculo del volumen de vegetación se realiza con la siguiente expresión:

$$V_v = h \times a_v \times 10\,000 / a$$

siendo:

V_v = volumen de vegetación en m^3/ha
h = altura del cultivo en m
a_v = anchura de vegetación en m
a = espaciamiento entre filas en m

Así, para árboles de 5 metros, en filas separadas a 5 metros, con anchura de vegetación en la fila de 1.5 m, el volumen de vegetación será:

$$V_v = 5 \times 1.5 \times 10\,000 / 5 = 15\,000 \text{ m}^3\text{/ha}$$

Multiplicando el volumen de vegetación por un **'índice de volumen'** (L/m^3 de vegetación), se obtendrá el volumen teórico de caldo, o sea:

$$V_t = i \times V_v / 1\,000$$

Al índice de volumen se le pueden dar valores según se indica en la tabla





Boquillas de pulverización neumática.

adjunta, teniendo en cuenta las condiciones del tratamiento.

Índice de volumen	i
muy alto	120
alto	100
medio	70
bajo	50
muy bajo	30
ultra bajo	10

Considerando un índice de volumen de 70 L/m^3, con los 15 000 m^3/ha de vegetación, anteriormente calculados, se necesita aplicar:

70 x 15 000 / 1 000 = 1 050 L/ha

También puede realizarse el cálculo del volumen de caldo necesario utilizando el LAI de la plantación y el porcentaje de cobertura de esta superficie, considerando en estos caso el tamaño de la gota aplicada.

En el caso de la viña, con un LAI de entre 1.1 y 1.5, cantidades entre 100 y 300 L/ha serían suficientes, dependiendo del tipo de equipo utilizado. Por el contrario, el algunos agrios, las aplicaciones de aceites minerales necesitan volúmenes de caldo próximos a los 2 000 L/ha.

La experiencia han puesto de manifiesto que con muchos fitosanitarios es conveniente asegurar una buena concentración de la materia activa para mejorar la eficacia en el control de la plaga; si se trabaja con altos volúmenes, se puede inducir resistencia genética del parásito que recibe el producto con una concentración que no resulta letal. Esto no es aplicable para productos químicos que deben de ser absorbidos por la hoja, como los insecticidas y fungicidas sistémicos, ya que la traslocación puede ser impedida por efectos fitotóxicos o por el cierre de los estomas.

> ***"Es conveniente comprobar que los caudales que suministran las boquillas se corresponden con los valores calculados"***

CAUDAL DE LAS BOQUILLAS

Al igual que en los pulverizadores hidráulicos, el caudal de líquido pulverizado (L/min) para el conjunto de las boquillas se calcula mediante la expresión:

$$Q_{Li}\ [L/min] = V\ [L/ha] \times v\ [km/h] \times a_t\ [m] / 600$$

siendo:
V = volumen de caldo
v = velocidad real de avance
a_t = anchura de tratamiento

La anchura de tratamiento, en el caso de pasar por todas las filas, es igual a la distancia entre árboles.

Este caudal (Q_{Li}) se divide por el número total de boquillas para obtener el caudal de cada una de ellas. Generalmente las boquillas de la parte baja se eligen con menor caudal que las altas, contando con la caída por escurrimiento de parte del caldo que llega a las hojas superiores de la plantación.

Como regla práctica aplicable en plantaciones de frutales de clima templado se suele recomendar una distribución del tipo 2/3 - 1/3, o sea, dos terceras partes del caldo aplicadas a la mitad superior de las plantas y una tercera parte a la mitad inferior.

Así, para aplicar un producto, a razón de 800 L/ha de volumen de caldo, a una velocidad de 3 km/h, con una separación entre árboles de separación entre árboles de 4 m (anchura de trabajo), el caudal de líquido pulverizado por las boquillas deberá de ser:

$$Q_{Li} = 800\ [L/ha] \times 3\ [km/h] \times 4\ [m] / 600 = 16\ L/min$$

Contando con 10 boquillas a cada lado en el pulverizador hidroneumático, el caudal de cada boquilla, si se elige que todas sean del mismo tamaño, deberá de ser:

$$q\ [L/min] = Q_{Li} / n = 16 / 20 = 0.80\ L/min$$

En el caso de una distribución 2/3 - 1/3, las cinco boquillas superiores de cada lado suministrarían un caudal de:

$$q_S\ [L/min] = Q_{Li} \times 2/3 / n/2 = 16 \times 2/3 / 10 = 1.06\ L/min$$

Mientras que el caudal de las inferiores será:

$$q_I\ [L/min] = Q_{Li} \times 1/3 / n/2 = 16 \times 1/3 / 10 = 0.53\ L/min$$

Es conveniente comprobar que los caudales que suministran las boquillas instaladas, en las condiciones de presión elegida, se corresponden con los valores calculados. Para ello, desconectando el ventilador, se colocan unos trozos de tubería flexible en las boquillas y se recoge el líquido pulverizado durante un minuto sobre un recipiente graduado. En el caso de que el caudal difiera ligeramente del valor calculado se puede ajustar modificando un poco la presión de trabajo.

TIPO DE PULVERIZACIÓN

Cuando se aplica un agroquímico a la masa vegetal del árbol, se busca un revestimiento del interior de los árboles con gotas que cubran alrededor del 20-30% de la superficie de las plantas, sin que interese la cobertura de toda la superficie y mucho menos su lavado. Conseguir esta cobertura en ambas caras de las hojas, de una manera homogénea, no resulta sencillo, dada la variabilidad de desarrollo foliar y el efecto pantalla de las hojas exteriores respecto a la zona interna de la planta.

Para conseguirlo se necesita que unas gotas de tamaño suficientemente pequeño se mantengan suspendidas en la corriente de aire para llegar al interior de la vegetación y se vayan depositando a medida que la corriente de aire pierde velocidad.

Una pulverización en gotas de tamaño pequeño va unida al 'bajo volumen' de aplicación, que proporcionará una cobertura persistente y homogénea.

Las gotas finas (de 100 a 200 mm) se adhieren bien a la hoja, incluso cuando su superficie está inclinada, mientras que las gotas muy gruesas (de más de 400 a 500 mm) tienden a escurrir produciendo el lavado de la hoja. Las gotas muy finas (de menos de 50 mm) tienden a alejarse de la zona de tratamiento en débiles corrientes de aire, incrementando notablemente las pérdidas por deriva. En cualquier caso, la superficie cubierta aumenta, para el mismo volumen aplicado, a medida que se pulveriza con gota mas fina, por lo que hay que buscar un equilibrio entre tamaño de gota, volumen aplicado y velocidad de la corriente de aire.



Ensayo en laboratorio de un pulverizador hidroneumático.



Por otra parte, las gotas, una vez que se incorporan a la corriente de aire, se evaporan progresivamente, dependiendo la velocidad de evaporación de la temperatura y del grado de humedad ambiental y del tiempo de permanencia antes de depositarse.

La mejor solución parece que es la de producir gotas de tamaño entre 100 y 500 mm, lo que puede conseguirse con boquillas de chorro cónico de buena calidad, trabajando con presiones entre 8 y 15 bar. Las boquillas de chorro cónico ofrecen la ventaja de mantener bastante estable el caudal frente a las variaciones de presión, que modifican el tamaño de las gotas.

Como comprobación de que la aplicación se realiza con cobertura suficiente en las zonas de la planta en las que se considera necesario el tratamiento, se recomienda utilizar papel hidrosensible colocado en la zona externa y en la interna de la planta a diferentes alturas. En el caso de que en la parte superior de los árboles se aprecie que la cobertura es insuficiente, hay que comprobar que el aire impulsado por el ventilador es el adecuado en caudal y velocidad; en algunos caso puede ser necesario trabajar a menor velocidad de avance, lo que obliga a ajustar de nuevo el caudal de las boquillas para esta velocidad real.

Una aplicación eficaz y respetuosa con el ambiente exige la correcta calibración del equipo utilizado.