

# **Pulverización de insecticidas en el aire para la lucha contra los vectores y las plagas de la salud pública**

## **Guía práctica**



**ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD  
Ginebra**

**Control, Prevención y Erradicación de las Enfermedades Transmisibles  
Plan de evaluación de plaguicidas de la OMS (WHOPES)**

**© Organización Mundial de la Salud 2003**

Se reservan todos los derechos.

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización Mundial de la Salud, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto del trazado de sus fronteras o límites. Las líneas discontinuas en los mapas representan de manera aproximada fronteras respecto de las cuales puede que no haya pleno acuerdo.

La mención de determinadas sociedades mercantiles o de nombres comerciales de ciertos productos no implica que la Organización Mundial de la Salud los apruebe o recomiende con preferencia a otros análogos. Salvo error u omisión, las denominaciones de productos patentados llevan letra inicial mayúscula.

La Organización Mundial de la Salud no garantiza que la información contenida en la presente publicación sea completa y exacta. La Organización no podrá ser considerada responsable de ningún daño causado por la utilización de los datos.

	Page
<b>Nota de agradecimiento</b>	<b>5</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
<b>2. Tratamientos de pulverización en el aire</b>	<b>8</b>
2.1 Termonebulización	8
2.2 Nebulización en frío	9
<b>3. Equipo de pulverización en el aire</b>	<b>10</b>
3.1 Equipo para la termonebulización	10
3.1.1 Termonebulizadores manuales	10
3.1.2 Termonebulizadores montados en vehículos	12
3.1.3 Termonebulización aérea	12
3.2 Equipo para la nebulización en frío	12
3.2.1 Nebulizadores en frío manuales	12
3.2.2 Nebulizadores en frío montados en vehículos	13
3.2.3 Nebulización aérea en frío	15
<b>4. Insecticidas para la pulverización en el aire</b>	<b>16</b>
<b>5. Pulverizaciones en el aire:</b>	
<b>Aspectos generales</b>	<b>17</b>
5.1 Tamaño óptimo de las gotitas	17
5.2 Parámetros del tamaño de las gotitas	19
5.3 Caudal	19
5.4 Concentración de la pulverización	21
5.5 Velocidad del viento	21
5.6 Dirección del viento	22
5.7 Efectos de la temperatura	22
5.8 Horario de tratamiento	23

<b>6. Directrices operacionales</b>	<b>25</b>
6.1 Actividades previas a la pulverización	25
6.1.1 Planificación y evaluación de las necesidades	25
6.1.2 Calibración del equipo	27
6.1.3 Tamaño de las gotitas	29
6.2 Procedimientos de aplicación	34
6.2.1 Protección del operador	34
6.2.2 Nebulización en espacios cerrados	34
6.2.3 Nebulización en la superficie de espacios abiertos	35
6.2.4 Nebulizaciones aéreas	37
6.3 Vigilancia de las operaciones de pulverización	38
6.4 Evaluación	38
6.5 Mantenimiento del equipo	39
6.6 Almacenamiento y eliminación de los plaguicidas	39
<b>7. Algunas lecturas</b>	<b>40</b>
<b>Anexo 1. Informe diario de aplicación</b> (equipo portátil y montado en un vehículo)	<b>41</b>
<b>Anexo 2. Registro de mantenimiento</b>	<b>42</b>
<b>Anexo 3. Control normal del funcionamiento de la máquina</b>	<b>43</b>

## **Nota de agradecimiento**

El Departamento de Control, Prevención y Erradicación de las Enfermedades Transmisibles (CPE) desea dar las gracias a las siguientes personas por su examen crítico de esta publicación y por sus valiosas observaciones y sugerencias:

- Dr. J. R. Brown, Ecología y Control de los Vectores de Enfermedades de la Armada, Jacksonville, Florida, EE.UU.
- Dr. M. S. Chang, Organización Mundial de la Salud, Phnom Penh, Camboya
- Dr. D. Dame, Gainesville, Florida, EE.UU.
- Dr. C. Frederickson, Organización Panamericana de la Salud, Brasilia, Brasil
- Dr. J. Invest, Aylesbury, Buckinghamshire, Inglaterra
- Dr. G. Matthews, Centro Internacional de Investigación sobre la Aplicación de Plaguicidas, Imperial College, Berkshire, Inglaterra
- Dr. M. Nathan, Control, Prevención y Erradicación de las Enfermedades Transmisibles, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- Dr. H. H. Yap, Universiti Sains Malaysia, Penang, Malasia
- Dr. P. Wege, Syngenta, Blacknell, Berkshire, Inglaterra
- Dr. M. Zaim, Control, Prevención y Erradicación de las Enfermedades Transmisibles, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza

El CPE también desea dar las gracias al Sr. Trevor Metcalfe, Hampshire, Inglaterra, por la preparación de las ilustraciones.

La preparación del presente documento ha contado con financiación de Colaboración Mundial para el Mejoramiento de Plaguicidas Destinados a la Salud Pública (GDCPP).



# 1. Introducción

---

La presente guía contiene información sobre la manera de combatir las plagas de insectos voladores y los vectores de enfermedades mediante la aplicación de insecticidas en forma de tratamiento en el aire. El tratamiento en el aire se suele aplicar para conseguir una destrucción y mortalidad rápidas con efectos residuales escasos o nulos. Dichos tratamientos se deben plantear conjuntamente con otros métodos de lucha como parte de un programa de gestión integrada de los vectores. La pulverización en el aire es un método rápido de lucha en situaciones de emergencia y epidémicas y se puede utilizar para la lucha estacional contra las plagas de insectos voladores o los vectores. Sin embargo, puede no ser el método ideal para todos los vectores o en todas las situaciones y como tal puede no constituir un método económico de lucha.

La finalidad de los tratamientos en el aire es reducir rápidamente la población de insectos voladores que forman plagas o son vectores. Un objetivo adicional puede ser reducir o interrumpir el ciclo de propagación de enfermedades transmitidas por los insectos. Entre los vectores de enfermedades que afectan a la salud pública, los más importantes y difundidos son los mosquitos, las moscas domésticas, los flebótomos y otros insectos picadores; algunos de éstos pueden ser un objetivo del tratamiento en el aire.

Para la muerte inmediata de los insectos que están volando se requiere que encuentren durante el vuelo una nube de gotitas de insecticida. Si se quiere que sea rentable y obtener una eficacia biológica satisfactoria, para la pulverización en el aire se necesita:

- conocimiento del comportamiento y la biología de la especie destinataria, con el fin de saber dónde y cuándo serán eficaces los tratamientos en el aire;
- conocimiento de los insecticidas y las formulaciones más idóneas para la pulverización en el aire;
- conocimiento de la tecnología de la aplicación de plaguicidas, a fin de saber qué equipo es necesario y la manera de utilizarlo;
- supervisión y vigilancia del problema de las especies destinatarias y las enfermedades transmitidas por los vectores para evaluar la eficacia del programa.

## 2. Tratamientos de pulverización en el aire

---

La pulverización en el aire -técnicamente nebulización (a veces denominada aerosol)- es la aplicación de un insecticida líquido que se dispersa en el aire en forma de cientos de millones de gotitas diminutas de menos de 50  $\mu\text{m}$  de diámetro. Solamente es eficaz mientras las gotitas se mantengan suspendidas en el aire. La pulverización en el aire se aplica principalmente en forma de termonebulización y de nebulización en frío.

### 2.1 Termonebulización

El insecticida utilizado en la termonebulización se diluye en un excipiente líquido, normalmente oleoso. Se utiliza gas caliente para calentar el plaguicida, de manera que se reduce la viscosidad del excipiente oleoso y se vaporiza. Al salir de la boquilla, el vapor choca con el aire más frío y se condensa para formar una nube densa blanca de niebla. La mayor parte de las gotitas son de menos de 20  $\mu\text{m}$ . El tamaño de las gotitas depende de la interacción entre la formulación, el caudal y la temperatura en la boquilla (normalmente  $> 500^{\circ}\text{C}$ ). El volumen de la mezcla de la pulverización aplicada en la lucha antivectorial suele ser de 5-10 litros por hectárea, con un valor máximo absoluto de 50 litros por hectárea. El gas caliente de la emisión se obtiene de los gases de escape del motor, de los gases de escape de la placa de fricción/motor o de un motor de chorro pulsante.

#### *Ventajas*

- Niebla fácilmente visible, de manera que se puede observar y supervisar fácilmente la dispersión y la penetración;
- buenas relaciones públicas en algunas circunstancias, puesto que la población puede ver que se está haciendo algo para solucionar el problema; y
- baja concentración de ingrediente activo en la mezcla pulverizada y exposición reducida del operador.

### ***Inconvenientes***

- Se utiliza un volumen elevado de disolventes orgánicos como diluyentes, que pueden tener mal olor y manchar;
- costo elevado del diluyente y la pulverización;
- los dueños de las casas pueden poner objeciones e impedir la penetración de la niebla en ellas cerrando puertas y ventanas;
- riesgo de incendio de la maquinaria, que funciona a temperaturas muy elevadas con disolventes inflamables; y
- puede crear problemas de tráfico en las zonas urbanas.

## **2.2 Nebulización en frío**

En la nebulización en frío las gotitas se forman por la disgregación mecánica de la mezcla que se pulveriza, haciéndola pasar a través de boquillas de alta presión o mediante la circulación de una corriente lenta de la mezcla a través de un torbellino de aire de alta velocidad. Algún equipo tiene una o varias boquillas giratorias de alta velocidad. Las gotitas de la pulverización se generan sin la intervención de calor externo. Con la nebulización en frío el volumen de la pulverización se mantiene reducido al mínimo. Para estas aplicaciones se suelen utilizar formulaciones de insecticida de un volumen muy bajo.

### ***Ventajas***

- La cantidad de diluyente se mantiene reducida al mínimo, con un costo menor de la aplicación y una aceptabilidad mayor. Algunas formulaciones están listas para su uso, reduciendo así la exposición del operador;
- se pueden utilizar formulaciones de base acuosa o diluidas en agua, con un riesgo escaso de incendio y más inocuas para el medio ambiente;
- debido a que se aplica un volumen menor de líquido, la aplicación es más eficaz; y
- no crea problemas de tráfico, por ser casi invisible la nube pulverizada.

### ***Inconvenientes***

- La dispersión de la nube pulverizada es difícil de observar; y
- se requieren mayores conocimientos técnicos y una calibración periódica para el funcionamiento eficaz del equipo.

# 3. Equipo de pulverización en el aire

---

La selección de un equipo apropiado para la pulverización en el aire depende del tamaño y la facilidad de acceso de la zona destinataria, así como de los recursos humanos y la capacidad operacional del programa. A veces pueden necesitarse máquinas más pequeñas junto con equipo montado en un vehículo para tratar franjas estrechas y otras zonas inaccesibles a los vehículos o resguardadas de los movimientos predominantes del aire, por ejemplo la parte protegida por los edificios o el interior de las viviendas.

Se recomienda el equipo de nebulización en frío cuando la termonebulización pueda crear problemas de tráfico. La aplicación aérea de la pulverización puede estar justificada cuando resulte difícil el acceso con equipo de superficie y/o haya que tratar con mucha rapidez superficies extensas. Sin embargo, para esto se requieren conocimientos técnicos de pulverización aérea, no disponibles en la mayoría de los programas de lucha, de manera que es una tarea que normalmente hay que contratar.

Lo ideal es basar la selección del equipo en su conocimiento, idoneidad y rendimiento. A la hora de comprar el equipo hay que tener presentes los adelantos en su diseño.

A continuación se describen brevemente los principales tipos de equipo de pulverización en el aire. Se puede encontrar información más detallada, así como especificaciones de la OMS para el control de calidad del equipo de aplicación de plaguicidas, en el manual de la OMS sobre equipo para la lucha antivectorial.<sup>1</sup>

## 3.1 Equipo para la termonebulización

### 3.1.1 Termonebulizadores manuales

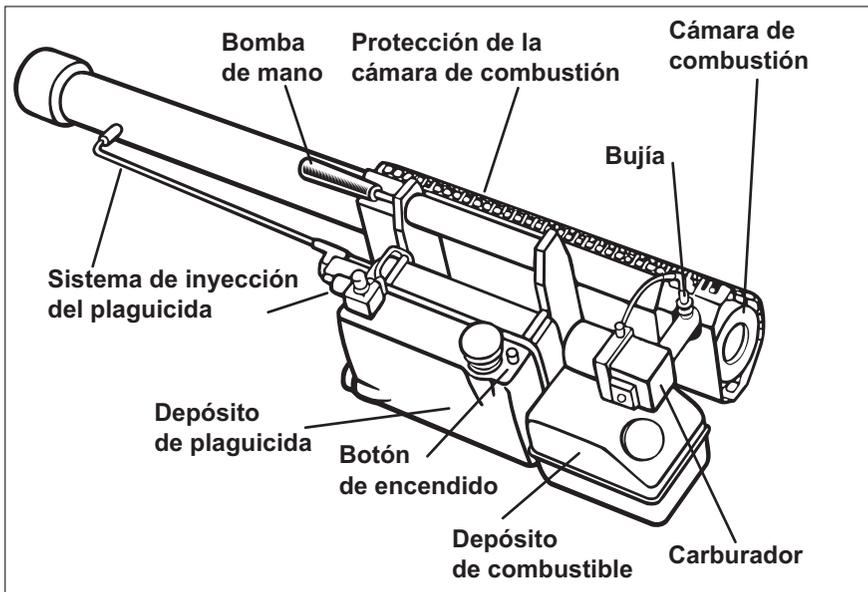
Se utilizan para el tratamiento de las viviendas y ciertos espacios abiertos de tamaño o posibilidad de accesos limitados, por ejemplo mercados, recintos de hoteles y parques (figura 1). Hay dos tipos de termonebulizadores manuales, de chorro pulsante y de placa de fricción.

---

<sup>1</sup> *Equipment for vector control*. Geneva, World Health Organization, 1990.

### ***Chorro pulsante***

Estos aparatos están equipados con una bomba (de pistón, de fuelle o eléctrica) y un juego de baterías conectadas a una bujía. Para encender el motor se acciona la bomba y se utiliza el conmutador para conectar la corriente de la batería a la bujía. Cuando la bujía inflama la gasolina en la cámara de combustión, las baterías dejan de utilizarse, puesto que los gases de escape calientes inflaman las cargas posteriores de combustible y aire. El motor de chorro pulsante sigue funcionando mientras llegue combustible a través del carburador. Los gases de escape calientes bajan por un tubo largo hasta la boquilla, en la que se inyecta el insecticida en el gas caliente. La máquina funciona con un ruido intermitente muy alto. En la mayoría de las máquinas se controla la velocidad del flujo mediante una válvula reductora. Se puede conseguir un caudal de hasta 25 litros por hora. Las máquinas deben tener una válvula de seguridad para detener el flujo de insecticida hacia la boquilla cuando deje de funcionar el motor.



**Figura 1.** *Termonebulizador manual*

### ***Placa de fricción***

Este tipo de máquina consiste en un motor de dos tiempos de 1-3 CV que mueve una "placa de fricción" dentro del depósito de insecticida, que a su vez precalienta el insecticida y la mezcla de combustible. Esta

placa también forma parte de la bomba que lleva el líquido hasta los gases de escape del motor. Los gases de escape calientes generan la nebulización y la distribuyen. Los mecanismos de placa de fricción funcionan a temperatura más baja que los motores de chorro pulsante.

### 3.1.2 Termonebulizadores montados en vehículos

En los generadores de nebulización térmica de mayor tamaño se utiliza un motor refrigerado por aire que mueve un ventilador, la bomba de combustible y la bomba de insecticida. El aire procedente del "ventilador de aire tipo Roots" pasa a la cámara de combustión. En ella se mezcla con el vapor de gasolina y se inflama, alcanzando temperaturas de 426-648°C. El insecticida líquido diluido se bombea por medio de una válvula sencilla de distribución de flujo y se inyecta en un receptáculo en la cabeza de nebulización o directamente en la boquilla. El insecticida líquido se vaporiza mediante el chorro de gases calientes. A pesar de esta elevada temperatura, los ensayos realizados con algunos insecticidas recuperados en el extremo del chorro demuestran que la degradación del ingrediente activo es muy escasa. Esto se debe a que el tiempo transcurrido a esa temperatura es sólo una fracción de segundo, insuficiente para provocar una degradación grave. Luego, los gases calientes salen de la máquina. Al descargar el vapor oleoso caliente a través de una boquilla relativamente grande en el aire exterior más frío, se condensa para formar gotitas muy pequeñas de una niebla blanca densa. Con las máquinas de mayor tamaño se puede conseguir una velocidad de dispersión de hasta 10 litros por minuto.

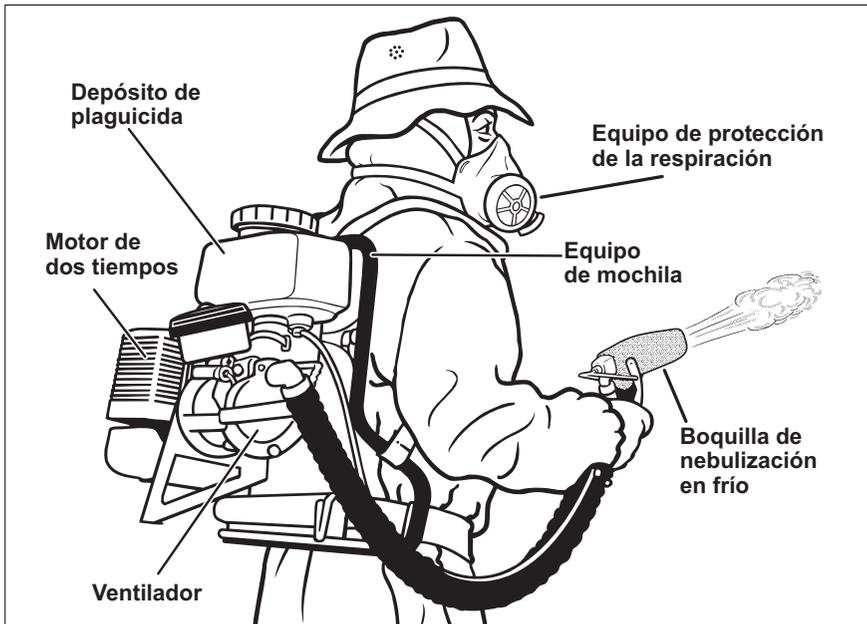
### 3.1.3 Termonebulización aérea

Para la termonebulización con avionetas se introduce la formulación diluida de insecticida en los gases de escape de la avioneta. Éstos se ajustan con las paletas para formar un remolino con las gotitas de niebla a medida que se forman. La termonebulización con avionetas ha sido muy limitada.

## 3.2 Equipo para la nebulización en frío

### 3.2.1 Nebulizadores en frío manuales

La mayoría de estas máquinas tienen un motor de gasolina de dos tiempos de 1-3 CV, que mueve un ventilador que arroja aire a través de la boquilla. El aire también puede presurizar ligeramente el depósito



**Figura 2.** Nebulizador en frío de mochila

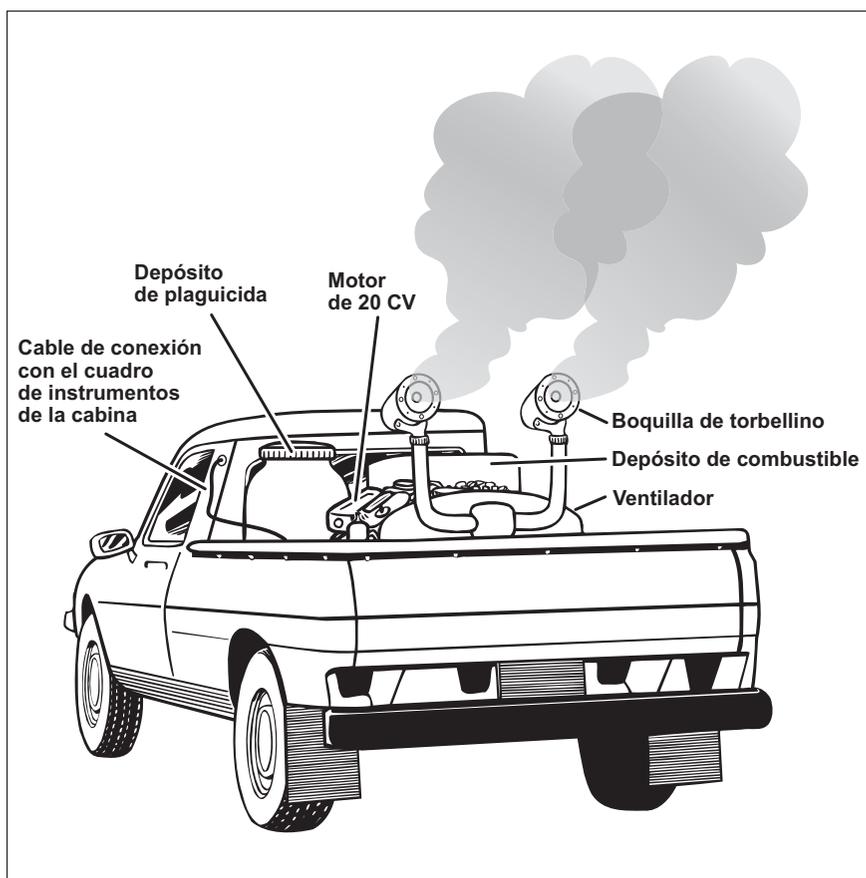
de insecticida, de manera que el líquido llega a la boquilla a través de una válvula reductora. Sin embargo, la presión negativa generada por la corriente de aire que pasa a través de la boquilla permite el flujo de líquido desde el depósito.

Estas máquinas son pequeñas, con peso de 6-11 kg. Además del equipo manual, también hay nebulizadores en frío de mochila (figura 2), así como varios modelos impulsados por un motor eléctrico.

El caudal es de 1-4 litros por hora. Se controla mediante una válvula dosificadora, o preferiblemente por medio de un orificio fijo o variable. Estas máquinas son ideales para el tratamiento de espacios cerrados y para pequeñas zonas exteriores con un acceso limitado de vehículos.

### 3.2.2 Nebulizadores en frío montados en vehículos

Se utiliza un motor de gasolina de cuatro tiempos de 5-20 CV para mover un ventilador de aire de volumen elevado, haciéndolo pasar a una velocidad aproximada de 6 m<sup>3</sup> por minuto a baja presión (50 kPa) por una o varias boquillas (figura 3). El ángulo de proyección de la nebulización en frío de estas boquillas es ajustable. El depósito de pla-



**Figura 3.** *Nebulizador en frío montado en un vehículo*

guicida se puede presurizar para empujar el producto hacia la boquilla o bien se pueden utilizar bombas volumétricas.

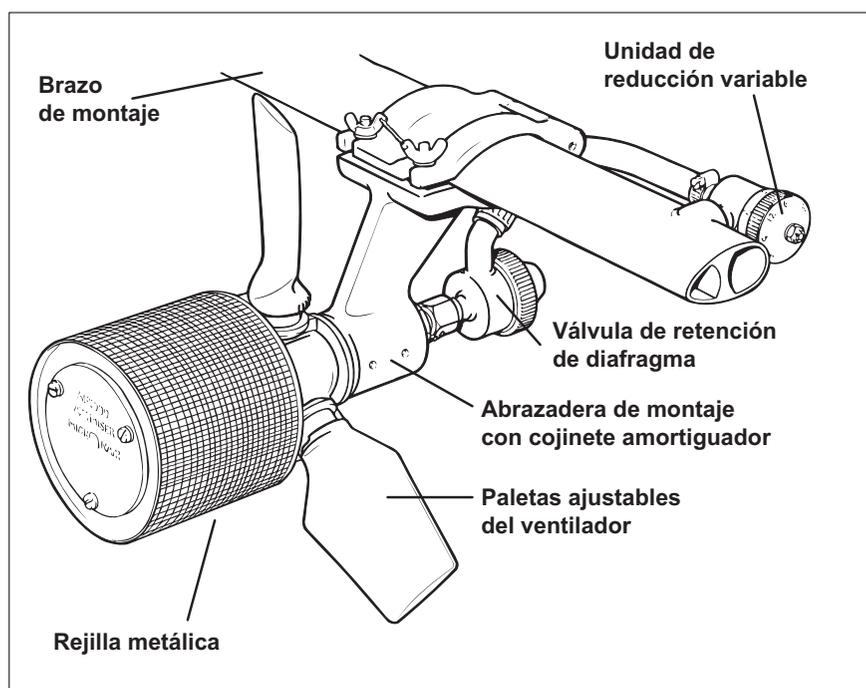
Cuando se utilizan bombas volumétricas, se pueden conectar eléctricamente al vehículo a fin de variar el volumen de salida en función de la velocidad del vehículo. En particular, cuando el vehículo se detiene se interrumpe la pulverización.

Como alternativa se utiliza una fuente de aire de bajo volumen a presión elevada con un compresor, en lugar del ventilador. Estas máquinas pueden contar con boquillas que van desde las "boquillas de pistola para pintar" normales de la industria hasta boquillas especiales que pueden llegar a atomizar a una velocidad de 0,5 litros por minuto. En otro diseño se utiliza una boquilla giratoria con motor eléctrico que funciona a velocidad muy elevada.

### 3.2.3 Nebulización aérea en frío

Para la nebulización en frío se han utilizado tanto avionetas como helicópteros. Se han usado boquillas normales de bajo volumen (por ejemplo de ventilación constante) en avionetas para producir una pulverización fina, con una presión moderada o alta. Sin embargo, el espectro de gotitas suele ser deficiente, por lo que se prefiere el uso de atomizadores giratorios o sistemas de presión muy elevada.

El atomizador giratorio (figura 4) tiene una rejilla metálica cilíndrica que gira a alta velocidad por acción del motor eléctrico o de las paletas del ventilador movidas por la velocidad de avance de la avioneta. La inclinación de las paletas es ajustable, de manera que se puede fijar la velocidad de rotación del atomizador en relación con la velocidad de la avioneta. Además de la fuerza centrífuga que produce gotitas, el deslizamiento del aire disgrega el líquido en gotitas más pequeñas.



**Figura 4.** Atomizador giratorio para nebulización aérea en frío

## 4. Insecticidas para la pulverización en el aire

Las formulaciones para la pulverización en el aire han sido tradicionalmente oleosas. El excipiente oleoso inhibe la evaporación de las pequeñas gotitas de la niebla. En la termonebulización solamente se deben utilizar insecticidas con una temperatura de inflamabilidad elevada.

En la termonebulización se utiliza gasóleo como excipiente, pero crea una nube densa y depósitos grasos, y esto puede provocar el rechazo del público. Por motivos ambientales, en los últimos años han aparecido formulaciones acuosas. Éstas pueden contener también sustancias que impiden la evaporación rápida. En el cuadro 1 se enumeran algunos insecticidas apropiados para la pulverización en el aire contra los mosquitos. Estos insecticidas también se pueden utilizar contra otras plagas de insectos y vectores, pero tal vez se necesiten dosificaciones diferentes.

**Cuadro 1.** *Algunos insecticidas apropiados para la nebulización en frío o caliente en la lucha contra los mosquitos*

<i>Producto</i>	<i>Dosis de ingrediente activo (g/ha)</i>
<b>Organofosfatos</b>	
fenitrotión	250–300
malatión	112–600
metil pirimifos	250
<b>Piretroides</b>	
ciflutrín	1–6
deltametrín	0.5–1.0
lambda-cihalotrín	1.0
permetrín	5–10
resmetrín	2–4

Las formulaciones para la pulverización en el aire son las siguientes:

*Concentrado de termonebulización.* Formulación idónea para la aplicación con equipo de termonebulización, directamente o una vez diluido.

*Líquido de volumen ultrabajo.* Líquido homogéneo listo para su uso mediante equipo apropiado, formulado especialmente para conseguir una volatilidad baja.

*Emulsión de aceite en agua.* Formulación de líquido heterogéneo, consistente en una solución de insecticida en un líquido orgánico que se dispersa en forma de glóbulos finos en una fase acuosa continua.

*Concentrado emulsionable.* Formulación de líquido homogéneo que se aplica en forma de emulsión tras su dilución en agua o aceite.

Hay formulaciones, como los polvos humectables, los concentrados en suspensión y los gránulos dispersables en agua, que no son apropiadas para la pulverización en el aire. Hay que elegir una formulación apropiada y seguir cuidadosamente las instrucciones de la etiqueta para todas las aplicaciones. Las especificaciones de la OMS para los plaguicidas, el control de calidad y el comercio internacional se pueden encontrar en: [www.who.int/ctd/whopes](http://www.who.int/ctd/whopes).

## **5. Pulverizaciones en el aire: Aspectos generales**

---

### **5.1 Tamaño óptimo de las gotitas**

Los tratamientos en el aire solamente son eficaces mientras las gotitas se mantienen suspendidas en el aire. Las gotitas pueden caer por acción de la gravedad y algunas se depositan en superficies horizontales, mientras que la mayoría se pierden en la atmósfera, sobre todo durante la pulverización en espacios abiertos.

La velocidad de caída de las gotitas depende de su masa; por ejemplo, una gotita de 20  $\mu\text{m}$  de diámetro cae a 0,012 metros por segundo, de manera que tarda 14 minutos en descender 10 metros en el aire quieto, mientras que las gotitas de 100  $\mu\text{m}$  descienden a 0,279 metros por segundo y tardarán sólo 36 segundos en recorrer la misma distancia (cuadro 2).

Las gotitas de más de 30  $\mu\text{m}$  de diámetro son menos eficaces, porque no permanecen suspendidas en el aire suficiente tiempo. Las de menos de 5  $\mu\text{m}$  de diámetro no entran fácilmente en contacto con los insectos que vuelan, ya que el movimiento de las gotitas más pequeñas se ve afectado por la turbulencia del aire que crea el vuelo del insecto. Se suele admitir que el tamaño de las gotitas que se forman debe ser de 10-30  $\mu\text{m}$ , de manera que incluso con alguna evaporación y después de cierto tiempo se mantengan en la gama correcta para la suspensión óptima en el aire y el choque con los insectos.

**Cuadro 2.** *Densidad y caída de las gotitas de niebla aplicadas a razón de un litro por hectárea (modelo teórico)*

<i>Tamaño de las gotitas (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	<i>Tiempo de caída 10 m</i>	<i>Densidad de gotitas (no./<math>\text{cm}^3</math>)</i>
1	93.7 horas	19 120.0
5	3.7 horas	152.0
10	56 minutos	19.2
20	14 minutos	2.38
50	135 segundos	0.150
100	36 segundos	0.0192

En climas secos, especialmente si el plaguicida está diluido en un excipiente volátil (por ejemplo agua), la evaporación del diluyente puede provocar una reducción del tamaño de las gotitas; por consiguiente, es conveniente que las gotitas tengan un tamaño algo mayor.

Para un volumen determinado de mezcla de pulverización, cuanto menor sea el tamaño de las gotitas mayor será su número. Si se dispersa 1 ml de mezcla de pulverización en forma de gotitas de 20  $\mu\text{m}$  (cada una de 4,2 picolitros), se formarán 239 millones de gotitas, mientras que si se dispersa el mismo volumen como gotitas de 100  $\mu\text{m}$  (534 picolitros) habrá 1,91 millones de gotitas. El número elevado de gotitas aumenta enormemente las posibilidades de contacto con un insecto que vuela, puesto que la densidad por unidad de volumen de aire será muy superior (véase el cuadro 2).

El tamaño óptimo de las gotitas para la pulverización en el aire contra los mosquitos es de 10-20  $\mu\text{m}$ , y para las moscas más grandes, como las moscas tsetsé, el tamaño óptimo es de 30  $\mu\text{m}$ .

## 5.2 Parámetros del tamaño de las gotitas

Para caracterizar el tamaño de las gotitas se utilizan varios parámetros (figura 5) y en dicho tamaño influyen a su vez el diseño de la boquilla y los criterios de funcionamiento, especialmente el caudal.

### *Diámetro volumétrico mediano (DVM)*

El diámetro volumétrico mediano (DVM), expresado en  $\mu\text{m}$ , es el número que se obtiene de dividir la pulverización en dos partes iguales en función del volumen, una mitad con las gotitas de un diámetro menor y la otra con las de mayor diámetro. Un pequeño número de gotitas de tamaño grande puede modificar significativamente el DVM. El valor del DVM no indica la gama de tamaños de las gotitas.

### *Diámetro numérico mediano (DNM)*

El diámetro numérico mediano (DNM) es el valor que se obtiene de dividir la pulverización en dos partes iguales en función del número de gotitas, de manera que la mitad de las gotitas son más pequeñas y la otra mitad más grandes. El DNM es más difícil medir y los resultados pueden variar con distintas técnicas de medición de muestras.

### *Intervalo*

El intervalo se obtiene a partir del diámetro del valor porcentual 90 ( $V_{90}$ ) en función del volumen menos el valor porcentual 10 ( $V_{10}$ ) en función del volumen dividido por el DVM. La fórmula es:

$$\text{Intervalo} = \frac{V_{90} - V_{10}}{\text{DVM}}$$

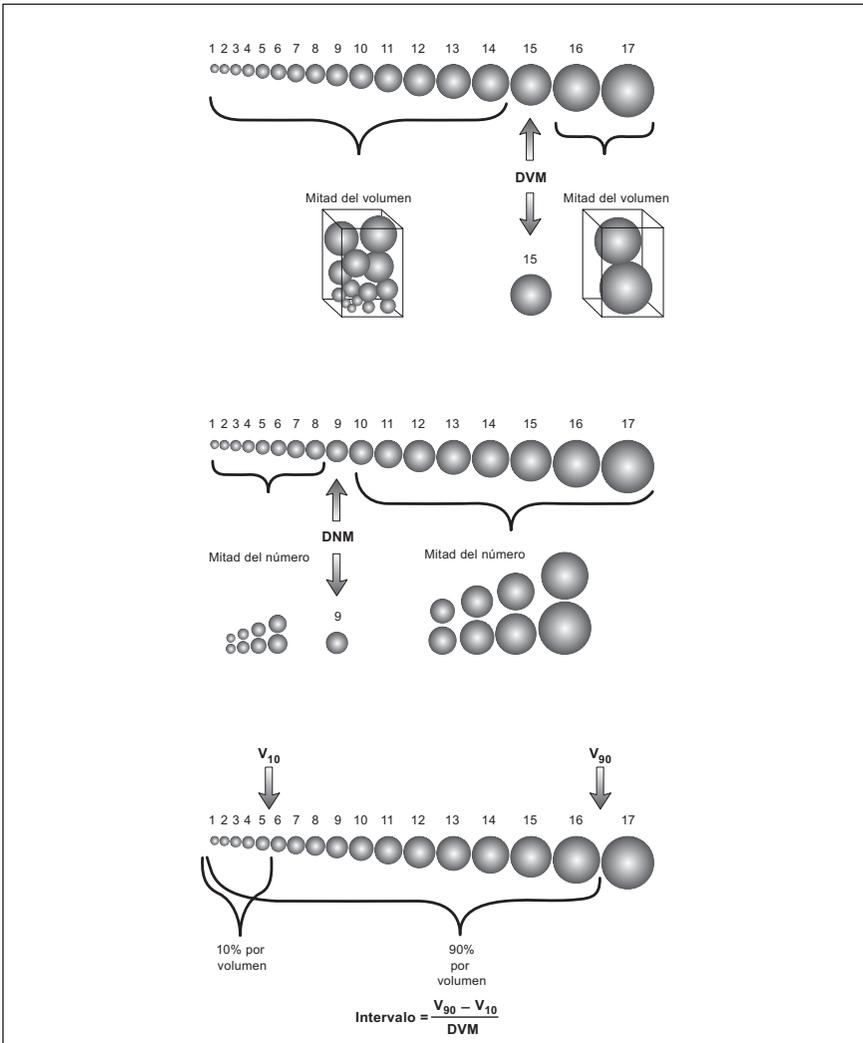
El valor del intervalo da una indicación de la gama de tamaños de las gotitas y lo ideal es que sea menor de 2.

Aunque el DVM, el DNM y el intervalo indican la calidad de una niebla, el factor decisivo es la formación de un número máximo de gotitas en la gama óptima de tamaños.

## 5.3 Caudal

Casi todo el equipo utilizado para la pulverización en el aire produce una gama de tamaños de gotitas. El DVM aumenta en general al aumentar el caudal. Sin embargo, en algunas máquinas se puede compensar el aumento del caudal elevando la presión del aire. Por consiguiente, es

esencial verificar el espectro de gotitas con distintos caudales. El cuadro 2 ilustra la necesidad de garantizar el espectro correcto de gotitas, puesto que si son demasiado grandes quedará suspendido en el aire un número demasiado pequeño. Si se duplica el tamaño de las gotitas, su número se reduce ocho veces. Esto puede hacer que disminuya seriamente la eficacia, porque habrá un número demasiado pequeño de gotitas suspendidas en el aire y durante un tiempo insuficiente. Para mantener la eficacia hay que llegar a una solución intermedia entre el tamaño de las gotitas y su número (dependientes del caudal).



**Figura 5.** *Parámetros del tamaño de las gotitas; diámetro volumétrico mediano (DVM), diámetro numérico mediano (DNM) e intervalo (el diagrama final del DVM y el DNM es de Hans Dobson, Universidad de Greenwich)*

## **5.4 Concentración de la pulverización**

Las recomendaciones del fabricante en cuanto a la cantidad de ingrediente activo que se ha de utilizar por unidad de superficie se deben mantener dentro de la gama especificada. Sin embargo, se puede ajustar la concentración de la pulverización y la velocidad de aplicación. Cualquier dilución de la formulación se debe compensar con un aumento del volumen pulverizado por unidad de superficie (esto se puede conseguir aumentando el caudal de la máquina, reduciendo su velocidad de desplazamiento sobre el terreno o en el aire o reduciendo la anchura del frente de pulverización).

Para matar un insecto que está volando, debe llegar a él una dosis letal de insecticida en las gotitas que chocan contra él. Cuanto menor sea la concentración del ingrediente activo, mayor número de gotitas de un tamaño determinado se necesitará para alcanzar la dosis letal.

La pulverización de volumen ultrabajo tiene por objeto, fundamentalmente por motivos prácticos, reducir al mínimo el volumen total de insecticida diluido que se aplica (normalmente < 2 litros por hectárea).

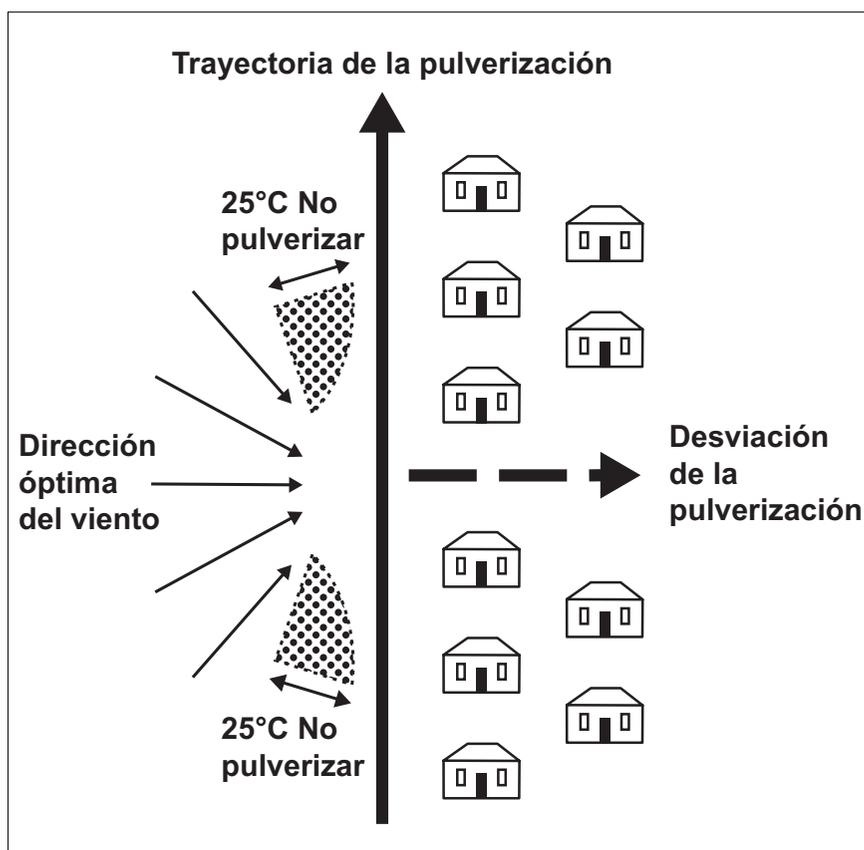
## **5.5 Velocidad del viento**

La velocidad del viento tiene una influencia enorme en la distribución de las gotitas y su choque con los insectos. En la mayoría de las situaciones se necesita una velocidad del viento de 1-4 metros por segundo (alrededor de 3,6-15 km/h) para arrastrar las gotitas desde la línea de desplazamiento. No se debe pulverizar cuando su velocidad sea superior a 15 km/h. La velocidad del viento se puede medir utilizando un anemómetro manual.

El tipo de terreno y de vegetación influye en los movimientos del aire, y en consecuencia en la distribución de las gotitas. En un terreno despejado con vegetación relativamente escasa se puede obtener un frente de pulverización efectivo mayor que en las zonas urbanas, donde la obstrucción de los edificios altera las corrientes de aire. La penetración de las gotitas en las viviendas depende del diseño de la casa y de que haya ventanas, puertas y conductos abiertos. En los medios urbanos la trayectoria depende del trazado de las calles; sin embargo, puede no corresponderse con la anchura efectiva del frente de pulverización. Puede ser necesario aumentar el volumen de aplicación para compensar la menor penetración de las gotitas en las zonas con vegetación. Por motivos prácticos, la mayoría de los fabricantes consideran un frente de pulverización de 50 metros como base para calcular las tasas de aplicación recomendadas.

## 5.6 Dirección del viento

Al establecer la trayectoria de la pulverización con el equipo montado en un vehículo y desde avionetas se ha de tener en cuenta la dirección del viento para aprovechar al máximo su distribución en toda la zona sometida a tratamiento. La figura 6 muestra la trayectoria de la pulverización en relación con la dirección del viento.

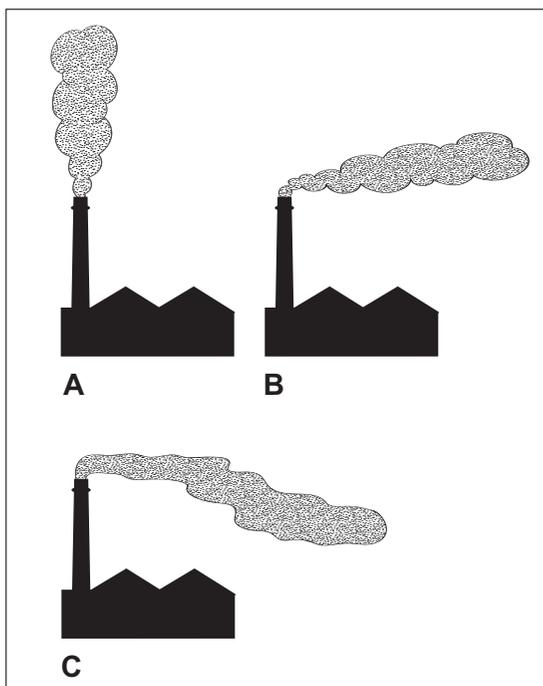


**Figura 6.** Trayectoria de la pulverización en relación con la dirección del viento

## 5.7 Efectos de la temperatura

El suelo se calienta por la acción directa de la luz solar y debido a ello el aire asciende. La pulverización en espacios abiertos a mediodía se desaprovechará en su mayor parte, porque las gotitas tenderán a ir hacia arriba en lugar de desplazarse horizontalmente. En condiciones ideales se necesita una inversión, es decir, que haya aire más frío más

cerca del suelo. Esto suele suceder por la mañana, una vez que la temperatura del suelo ha disminuido durante la noche, pero también es posible por la tarde, cuando se pone el sol y comienza a descender la temperatura del suelo. Con la inversión, las gotitas pulverizadas se desplazan hacia el suelo. Las características ideales para la pulverización en el suelo y desde avionetas se pueden observar en el humo que sale de las chimeneas o de los incendios, o se pueden controlar mediante generadores de humo (figura 7).

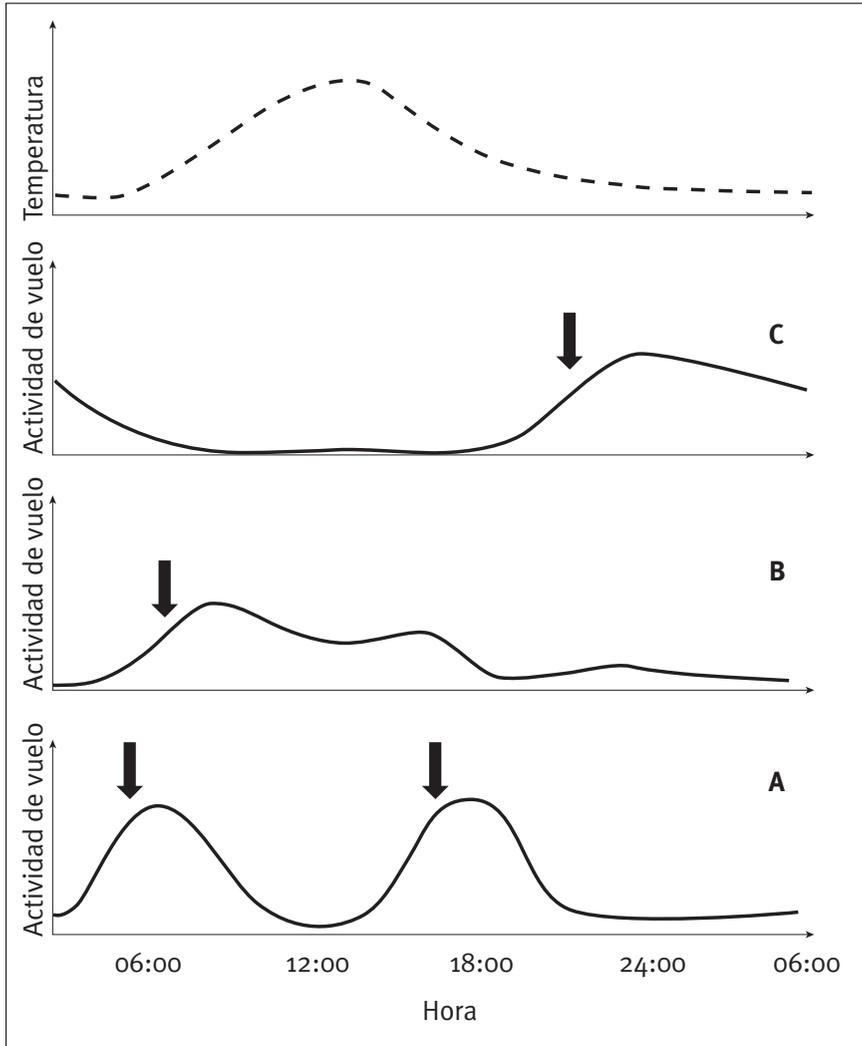


**Figura 7.**  
*Movimiento del aire  
indicado por  
el humo de las  
chimeneas:  
a) inmóvil;  
b) con viento;  
c) con inversión.*

## 5.8 Horario de tratamiento

Es fundamental el conocimiento local de las horas de actividad máxima de vuelo de las especies destinatarias para garantizar que los tratamientos en el aire se planifiquen, en la medida posible, en coincidencia con ellas (figura 8). Afortunadamente, la actividad máxima de vuelo de numerosos vectores se produce en torno al anochecer y/o el amanecer, cuando las condiciones climáticas son con frecuencia favorables para el tratamiento en el aire. Sin embargo, algunos insectos, en particular las moscas domésticas y otras especies semejantes, tienen mayor actividad durante el día y antes del ocaso. *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, mosquitos vectores del dengue, son activos durante el día, con una actividad

máxima de vuelo por la mañana y a primera hora de la tarde. Con estas especies se suele buscar un punto intermedio, pulverizando en el exterior a primera hora de la mañana o a última hora de la tarde. El horario es menos importante cuando se trata de la pulverización en espacios cerrados. Cuando hay otras moscas activas durante el día y las condiciones no son ideales para la pulverización debido a las altas temperaturas, se suele aplicar el tratamiento por la mañana, antes de que la temperatura sea demasiado alta.



**Figura 8.** Ejemplos ilustrativos de la hora óptima de pulverización en relación con la actividad de vuelo de las especies destinatarias (A, crepuscular; B, diurna; C, nocturna) y la temperatura.

# 6. Directrices operacionales

## 6.1 Actividades previas a la pulverización

Antes de comenzar cualquier tratamiento de pulverización en el aire es fundamental definir claramente el problema, la especie de plaga en cuestión y su comportamiento y caracterizar la zona objeto de tratamiento. Esto permitirá una planificación adecuada y garantizará la disponibilidad de todo el equipo y los recursos necesarios para que las operaciones sean oportunas y eficaces.

### 6.1.1 Planificación y evaluación de las necesidades

Para planificar una pulverización en el aire es necesario determinar el lugar y la magnitud del problema de la plaga o la enfermedad de transmisión vectorial y la situación epidemiológica. Debe identificarse asimismo la especie que constituye la plaga o el vector y sus lugares de cría. El conocimiento de este último aspecto permitirá definir la zona geográfica objeto de tratamiento mediante pulverización. Se debe comprobar el comportamiento en el vuelo y las horas de actividad máxima de vuelo para conseguir una eficacia óptima de la operación mediante la pulverización en el horario adecuado.

Se debe definir y caracterizar bien la zona de tratamiento en el aire, en particular la densidad de población humana, el tipo de viviendas/edificios, el trazado de las carreteras, la vegetación y la accesibilidad. Estos factores ayudarán a determinar los métodos más adecuados para la pulverización en el aire y en la elección del equipo. El equipo montado en un vehículo sólo es idóneo si hay una buena red de carreteras. El equipo portátil es más adaptable y se puede complementar con el equipo montado en un vehículo para zonas de pulverización que de otra manera serían inaccesibles y para el tratamiento del interior de los edificios, pero la cobertura es más lenta. Los tratamientos aéreos suelen limitarse a zonas amplias que requieren una cobertura rápida o grandes superficies con problemas de acceso.

Se necesitan mapas para facilitar una planificación preliminar de las trayectorias de la pulverización. Si no se dispone de mapas adecuados de la zona tal vez sea necesario prepararlos. Se debe calcular la zona total en hectáreas y luego establecer las opciones para las trayectorias de la pulverización. Se deben calcular también las distancias entre las trayectorias y las velocidades con el vehículo o a pie, a fin de aplicar la dosis correcta para el caudal de la máquina.

Al elegir un insecticida se debe prestar atención a la susceptibilidad del vector a dicho producto y a su idoneidad para el equipo de aplicación. Se deben utilizar los estuches y los procedimientos normalizados de análisis de la OMS para determinar la susceptibilidad (para más detalles, dirigirse al Departamento de Control, Prevención y Erradicación de las Enfermedades Transmisibles, 1211 Ginebra 27, Suiza) y hay que determinar las repercusiones de los resultados en la eficacia de la pulverización. Es digno de mención el hecho de que hay insecticidas para la pulverización en el aire que contienen sustancias sinérgicas para contrarrestar los efectos de ciertos mecanismos de resistencia a los insecticidas.

En el cuadro 1 figura una lista de algunos insecticidas para la pulverización en el aire. Se deben calcular y comparar también los costos finales de la aplicación por hectárea para la dosis recomendada antes de adoptar una decisión sobre el insecticida que se ha de comprar. En este cálculo se incluirá el costo de la manipulación y el transporte, así como el de cualquier diluyente/excipientes que se pueda necesitar. En cuanto al control de calidad, se deben utilizar las especificaciones de la OMS para los plaguicidas (<http://www.who.int/ctd/whopes>).

A la hora de elegir el equipo de aplicación y los insecticidas para la pulverización en el aire hay que tener en cuenta el servicio posventa del fabricante. Éste incluye capacitación y la eliminación de los recipientes de los insecticidas. El valor de estos servicios adicionales es cada vez más importante en relación con los costos generales del programa de pulverización.

Para poder decidir el número de tratamientos y el intervalo entre ellos hay que tener bien definido el objetivo de la operación, es decir, si se trata de la disminución de la especie molesta o de la supresión de una enfermedad de transmisión vectorial. En este último caso, el intervalo deberá ser inferior al período de incubación del patógeno en el vector.

El número y el tipo de máquinas (por ejemplo, portátiles o montadas en vehículos) y el número de sus operadores y del personal auxiliar se determinará en función del tamaño y las características de la zona que se va a tratar, del tiempo necesario para completar cada ciclo de aplicación y de su frecuencia. Consideremos el ejemplo siguiente: para pulverizar 1000 hectáreas diarias se debe utilizar equipo montado en un vehículo. Las condiciones climáticas y la actividad de vuelo de las especies destinatarias limitan la operación a dos o tres horas por la noche. Suponiendo que una máquina pueda cubrir 60 hectáreas por hora (180 hectáreas en tres horas de funcionamiento), se necesitarán seis máquinas para completar esta tarea en una tarde. Otra posibilidad es tratar la zona con tres máquinas en dos tardes.

Normalmente se necesitan dos personas para cada nebulizador montado en un vehículo, una para conducir y la otra para encargarse del equipo.

Los operadores deben estar bien entrenados en el uso y el mantenimiento seguros del equipo, así como en la seguridad de la manipulación y la aplicación de los insecticidas. Las operaciones se deben supervisar de manera adecuada. Debe haber un número suficiente de personas capacitadas, incluido el personal supervisor, para disponer de cobertura en el caso de ausencia debida a enfermedad u otras circunstancias imprevistas.

Todo el personal que interviene en los tratamientos de pulverización en el aire debe recibir equipo de protección, con inclusión de monos y equipo de protección de las vías respiratorias y auditivas.

Se ha de informar bien al público con antelación acerca del objetivo y el calendario de las operaciones, así como de su posible colaboración. Para tranquilizar a la población, se debe informar también acerca de la seguridad de los tratamientos, y se puede incluir asesoramiento específico, por ejemplo para los apicultores y los propietarios de animales domésticos. Se podría establecer un servicio telefónico directo, de manera que las personas interesadas puedan obtener ulterior información. En las zonas urbanas se debe comunicar el calendario de las operaciones a los departamentos de policía y de bomberos.

## 6.1.2 Calibración del equipo

Cada insecticida tiene unas propiedades físicas y químicas y una efectividad biológica determinadas. Los fabricantes de insecticidas recomiendan porcentajes de dosis diferentes para situaciones de control específicas y especies concretas. Por consiguiente, se debe calibrar cada máquina para garantizar que distribuya el volumen correcto de insecticida.

La tasa de aplicación de la máquina (volumen distribuido por unidad de tiempo) dependerá de la velocidad del vehículo (o la velocidad a pie o el tiempo por casa/vivienda con el equipo portátil), la anchura efectiva del frente de pulverización (metros) y el volumen de la preparación química según la recomendación del fabricante (litros por hectárea, incluidos los excipientes).

### ***Aplicaciones en espacios abiertos***

Para calcular la tasa de aplicación del equipo montado en el vehículo, hay que conocer la velocidad del vehículo y la anchura del espacio entre los recorridos<sup>2</sup>. Así, un espacio de 50 metros entre los recorridos y una velocidad del vehículo de 12 km/h, 50 x 12.000 m/h, permitirá el tratamiento de 600.000 m<sup>2</sup>/h, equivalente a 10.000 m<sup>2</sup> (una hectárea) por minuto. En este ejemplo, si la etiqueta del insecticida recomienda

---

<sup>2</sup> Como el movimiento de un vehículo depende del trazado de las carreteras, se suele determinar el espacio entre los recorridos en lugar de la anchura real del frente de pulverización.

una tasa de aplicación de 0,5 litros de la formulación de volumen ultrabajo por hectárea, el caudal se debe ajustar a una distribución de 0,5 litros por minuto.

*La mayoría de las máquinas de volumen ultrabajo se pueden ajustar fácilmente para lograr el caudal que se requiere, pero los nebulizadores térmicos pueden exigir un cambio de válvula reductora.*

Cuando se utiliza equipo portátil, a una velocidad a pie de 60 m/min. y con un espacio entre los recorridos de 10 metros se pueden pulverizar 600 m<sup>2</sup> en un minuto (0,06 hectáreas/min). Por consiguiente, para una tasa de aplicación de 0,5 litros por hectárea, el caudal debe ser de 30 ml/min (500 ml x 0,06).

### ***Aplicaciones en espacios cerrados***

La calibración del equipo para las aplicaciones en espacios cerrados se suele basar en la dosis por casa o habitación. Así pues, hay que calcular el tiempo necesario para pulverizar una casa o una habitación. Con un caudal de 20 ml/min. y siendo la superficie de la casa de 0,04 hectáreas (400 m<sup>2</sup>), la tasa de aplicación establecida de 0,5 litros por hectárea (500 x 0,04) se distribuye en un minuto. *Hay que hacer un cálculo semejante cuando se trata de otras situaciones, por ejemplo la lucha contra los insectos en zonas donde hay desperdicios.*

### ***Medición del caudal***

El método de medición del caudal del equipo de pulverización en el aire depende en cierta medida del diseño de la máquina. Cuando cuenta con un control del flujo variable, se fija inicialmente en el punto medio. De lo contrario, la válvula reductora se ajusta de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Se necesita un cronómetro y una probeta graduada, pero antes hay que poner en funcionamiento la máquina para que la velocidad del motor proporcione la presión correcta al depósito de insecticida. El producto se descarga durante el tiempo necesario para llenar los tubos entre el tanque y la boquilla. A ser posible, el tubo de descarga se desconecta de la cabeza del atomizador y se mantiene al mismo nivel. Se conecta el pulverizador y se deja fluir la mezcla durante un minuto. El líquido se recoge en la probeta graduada o en una jarra y luego se transfiere a la probeta graduada. El caudal se mide en ml/min.

El caudal de las formulaciones viscosas, por ejemplo el malatión de calidad técnica, varía de manera significativa en función de los cambios de temperatura. Hay que reajustar el caudal sólo para cualquier cambio de temperatura de 5°C o más. Si se calibra una máquina para una temperatura establecida del insecticida, la máquina se debe utilizar en operaciones que requieran condiciones idénticas o casi idénticas, o el caudal

podría diferir mucho del previamente calibrado. En condiciones con una variación grande de las temperaturas, por ejemplo de 20°C a 35°C, se debe trazar un gráfico del caudal a distintas temperaturas. Habida cuenta de que el sistema puede no ser exacto, no es prudente basarse totalmente en los parámetros o cuadros de mando del caudal suministrados con la máquina.

La calibración de la máquina se debe realizar de manera periódica, normalmente después de 25 horas de funcionamiento o en cualquier momento en que se realice un mantenimiento importante. Igualmente, si se cambia de insecticida hay que realizar una nueva calibración. En caso de cambio de insecticida o de una variación importante de las condiciones de funcionamiento se debe medir una muestra de gotitas para verificar si su tamaño es aceptable.

Cuando no es posible utilizar la técnica de calibración descrita más arriba o recoger el líquido emitido en la boquilla, una técnica alternativa consiste en medir el tiempo de descarga de un volumen conocido. Hay dos maneras de hacerlo. La primera consiste en marcar un nivel en el depósito, luego se pulveriza durante un minuto y se mide el volumen de líquido necesario para llenar de nuevo el depósito hasta la marca. En la segunda se introduce un volumen conocido del insecticida en un depósito vacío y se mide el tiempo necesario para pulverizar todo el líquido.

### 6.1.3 Tamaño de las gotitas

La recogida de gotitas sobre portaobjetos y su examen microscópico posterior se ha utilizado ampliamente para evaluar la calidad de los tratamientos en el aire (véase más abajo). Sin embargo, existen ya técnicas alternativas rápidas y más exactas, entre ellas los métodos basados en el láser y la anemometría de hilo electrocalentado.

#### *Técnicas basadas en el láser*

En varios dispositivos se utiliza una fuente de rayos láser para medir los espectros de las gotitas que producen distintas boquillas. Cabe mencionar las técnicas de difracción de la luz para medir las gotitas de la muestra dentro de una sección del rayo láser (muestreo espacial). Otra posibilidad es utilizar el tamaño de las gotitas que pasan por la intersección de dos rayos láser (muestreo temporal). En otros dispositivos se capta una imagen digital de las gotitas y se analiza para medir el espectro de la pulverización. Los fabricantes pueden proporcionar información detallada sobre el rendimiento de su equipo con distintos caudales y líquidos de pulverización. Dado que los instrumentos son caros y se basan esencialmente en el laboratorio, no se utilizan para controlar si el equipo mantiene sobre el terreno el rendimiento especificado.

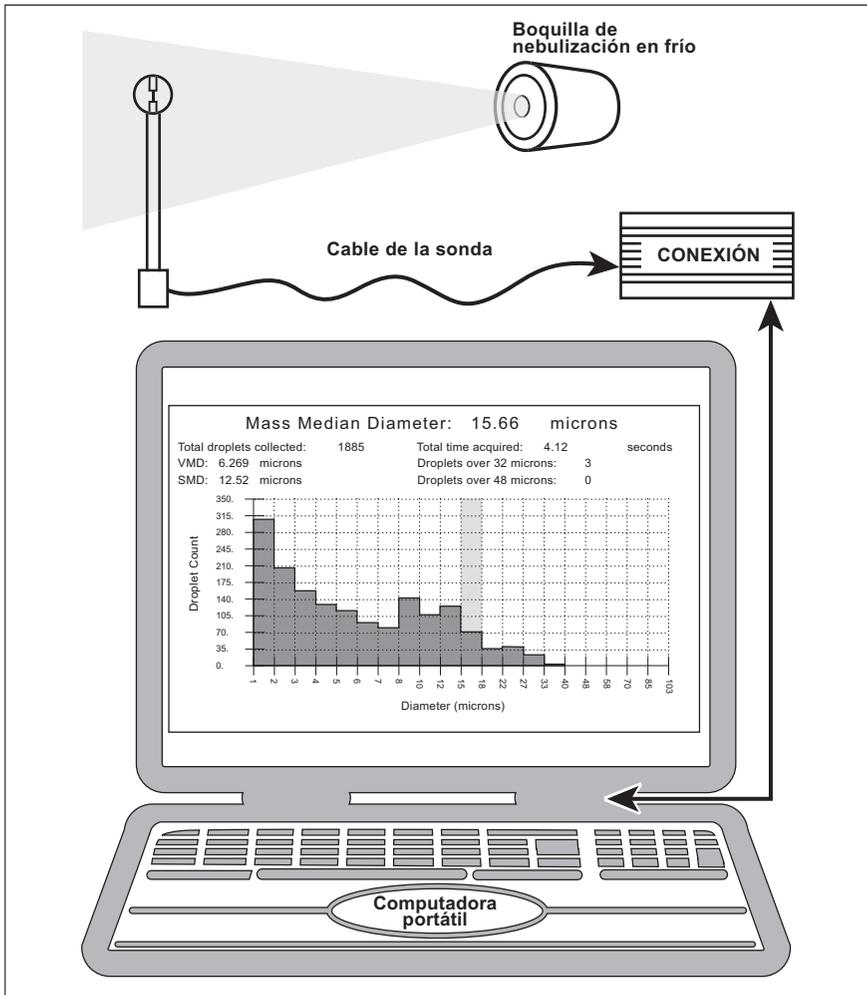
### ***Anemometría de hilo electrocalentado***

Se trata de un método electrónico que es rápido y práctico a la vez (figura 9). Con este tipo de dispositivo se miden las gotitas mediante el choque de un alambre muy fino electrocalentado sobre una sonda insertada en el chorro de la nebulización. Puesto que la superficie de la muestra es extraordinariamente pequeña es adecuado sobre todo para utilizarlo relativamente cerca de una boquilla de aerosol, que emite un número muy grande de gotitas que se desplazan a 5-10 m/s. El instrumento está conectado a un ordenador portátil y es transportable, por lo que se puede utilizar para controlar el espectro de las gotitas que producen los nebulizadores en frío. Entre una lectura y otra hay que lavar la sonda cuidadosamente con un disolvente, por ejemplo acetona. *La anemometría de hilo electrocalentado no es adecuada para los nebulizadores térmicos.* Normalmente hay que medir el tamaño de las gotitas cada 50-100 horas de funcionamiento de la máquina o tras un largo período sin utilizar. Antes de tomar la muestra hay que hacer funcionar el pulverizador durante algún tiempo, a fin de eliminar todas las partículas sólidas presentes en el sistema e impedir que puedan dañar el muestreador de hilo electrocalentado.

### ***Técnica del movimiento ondulatorio del portaobjetos***

Si no se dispone de equipo moderno, se puede realizar una evaluación sencilla con la técnica del movimiento ondulatorio del portaobjetos, utilizando para ello portaobjetos de cristal de microscopio revestidos. Hay tres tipos de revestimiento, de óxido de magnesio, de silicona o de teflón®. El óxido de magnesio es adecuado para todas las formulaciones, incluidas las de base acuosa. Los otros revestimientos se han utilizado ampliamente para formulaciones de insecticidas no volátiles/de base oleosa. Luego se examinan en el microscopio los cráteres en el óxido de magnesio o las gotitas no volátiles en los portaobjetos revestidos y se calculan los parámetros de DVM y DNM, teniendo en cuenta todos los factores de dispersión.

Los portaobjetos revestidos de óxido de magnesio se preparan mediante la combustión de dos tiras de magnesio de 10 cm de longitud cada una debajo de un portaobjetos de cristal, para garantizar un revestimiento uniforme de la zona central. Esto se hace con el portaobjetos en contacto con una superficie metálica para impedir un calentamiento desigual y la rotura del cristal. Al chocar una gotita de insecticida (20-200  $\mu\text{m}$ ) con el óxido de magnesio se forma un cráter que es 1,15 veces más grande que el propio tamaño de la gotita (la gotita se extiende ligeramente al chocar con el óxido de magnesio). Para convertir las mediciones de los cráteres (o las manchas) en el tamaño verdadero se utiliza el valor recíproco del factor de dispersión. El factor de dispersión del óxido de magnesio es 0,86. Sin embargo, con gotitas de insecticida más pequeñas el factor de dispersión



**Figura 9. Anemómetro de hilo electrocalentado**

se reduce a 0,8 y 0,75 para los tamaños correspondientes a 15-20  $\mu\text{m}$  y 10-15  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Los portaobjetos revestidos con óxido de magnesio dan resultados menos satisfactorios para las gotitas de tamaño inferior a 10  $\mu\text{m}$ , de ahí la necesidad de mover el portaobjetos a través de la pulverización para aumentar la velocidad de choque. La adición de un colorante facilita la observación de las gotitas sobre la superficie blanca.

Los portaobjetos revestidos de teflón® se pueden reutilizar, pero hay que lavarlos con disolvente, por ejemplo acetona, para eliminar cualquier vestigio de la muestra anterior.

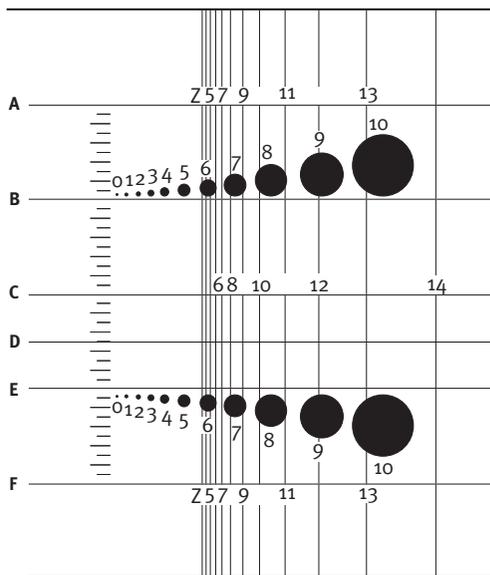
El portaobjetos se une a una varilla de un metro de longitud mediante una pinza, a fin de permitir que la persona pueda permanecer a un lado mientras la agita a través de la niebla a una distancia de 1-2 metros de la boquilla.

La técnica del movimiento ondulatorio del portaobjetos no es eficaz para muestrear gotitas pequeñas. Los portaobjetos se pueden ajustar a un dispositivo giratorio para aumentar la velocidad de muestreo de la pulverización con el portaobjetos, a fin de mejorar la eficiencia del proceso.

Normalmente se toman cinco muestras separadas y se miden por lo menos 200 gotitas en el microscopio. Se coloca un retículo adecuado en el ocular y se calibra con un micrómetro en función de la ampliación utilizada. Se miden los diámetros de los cráteres que producen las gotitas en el portaobjetos comparándolos con las marcas del retículo (figura 10).

El cuadro 3 contiene los cálculos necesarios para determinar el DVM y el DNM de un pulverizador, utilizando un portaobjetos revestido de óxido de magnesio, con un factor de dispersión de 1,15. Se representan el  $\sum Ndm^3$  y el  $\sum N$ , expresados como porcentajes, frente a los tamaños verdaderos de las gotitas, en papel cuadrado de probabilidad logarítmica, para obtener esos parámetros (donde  $\sum$  representa la suma, N es el número en la clase de tamaño, dm es el diámetro de las gotitas). En este ejemplo específico, el DVM y el DNM son de unas 19 y 22  $\mu\text{m}$ , respectivamente (figura 11).

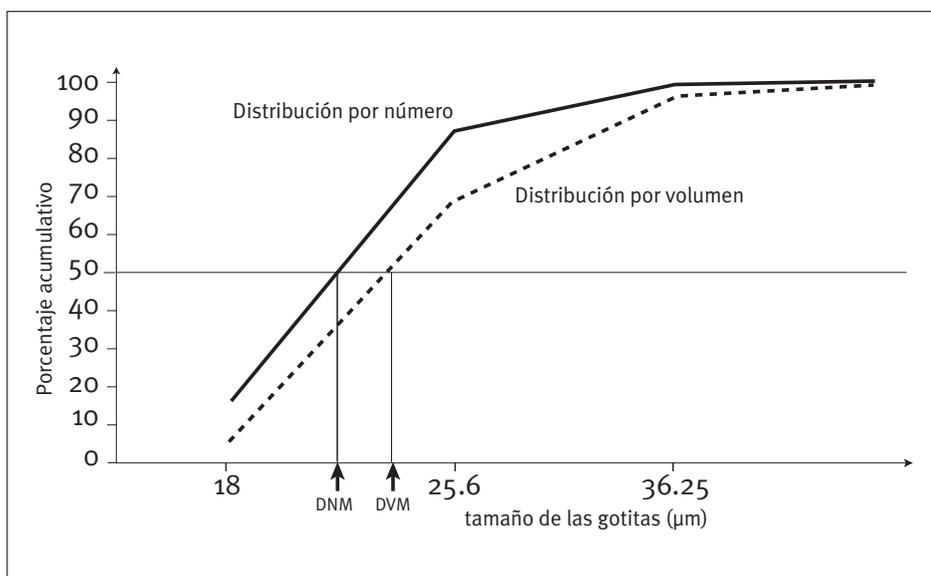
Cuando se ha utilizado agua para diluir el producto, hay que utilizar tiras de papel hidrosensible para recoger gotitas con objeto de determinar su tamaño, pero como las manchas pueden aumentar de diámetro a lo largo del tiempo su uso es sólo indicativo del tamaño y no es una técnica tan precisa como otras. Mediante el tratamiento del papel hidrosensible con



**Figura 10.** Retículo para la medición del tamaño de las gotitas

**Cuadro 3.** Ejemplo de la distribución de los tamaños de las gotitas de pulverización depositadas en un portaobjetos de cristal

Número de retículos	Tamaño de clase superior (D)	Límite del tamaño verdadero (d)	Tamaño medio (dm)	Número en la clase (N)	N (%)	$\sum N$ (%)	dm <sup>3</sup>	Ndm <sup>3</sup>	Ndm <sup>3</sup> (%)	$\sum Ndm^3$ (%)
4		12.80								
5		18	15.40	33	16.3	16.3	3652	120516	5.1	5.1
6		25.60	21.80	145	71.8	88.1	10360	1502200	63.0	68.1
7		36.25	30.90	23	11.4	99.5	29504	678592	28.5	96.6
8		51.25	43.75	1	0.5	100.0	83740	83740	3.5	100.1
9		72.50	61.90							
10		102.5	87.50							
11		145								
12		205								
13	250	290								



**Figura 11.** Distribución de las gotitas por número y volumen (datos del cuadro 3)

acetato de etilo las manchas serán más permanentes. El factor de dispersión varía en función de las formulaciones y el tamaño de las gotitas. También se pueden utilizar papeles oleosensibles y ciertos disolventes.

## 6.2 Procedimientos de aplicación

### 6.2.1 Protección del operador

Todas las personas que intervienen en actividades de pulverización en el aire deben llevar ropa, guantes y gafas protectores cuando vierten el insecticida, preparan el líquido para la pulverización y rellenan el equipo (hay una máquina semicerrada de dilución automática que se utiliza con el producto diluido en agua). Dado que las gotas pulverizadas son tan pequeñas que se pueden inhalar, se debe distribuir a los operadores del equipo, que lo deben utilizar, un respirador adecuado, cuyo filtro se ha de cambiar periódicamente de acuerdo con las instrucciones del fabricante. El equipo impulsado por un motor es muy ruidoso, de manera que el operador debería tener los oídos protegidos. El equipo debe tener protección para impedir que los operadores toquen las superficies calientes. Los operadores deben trabajar de acuerdo con la reglamentación nacional en materia de uso y aplicación de plaguicidas y deben seguir estrictamente las recomendaciones del fabricante.

### 6.2.2 Nebulización en espacios cerrados

El personal que realiza este trabajo requiere capacitación sobre las medidas de seguridad que se han de adoptar. Se aplican varias normas:

- Cortar toda la corriente eléctrica en el interruptor principal.
- Apagar todo el equipo de la calefacción y la cocina de cocinar, incluidas las luces piloto, y esperar a que se enfríe antes de pulverizar.
- El riesgo de incendio es menor cuando los productos están diluidos en agua.
- Proteger todos los recipientes de agua y los productos alimenticios.
- Eliminar los depósitos para peces o cubrirlos.
- Asegurarse de que todos los ocupantes y los animales estén fuera de la casa durante la pulverización y permanezcan fuera hasta 30 minutos después de su conclusión. Garantizar que se ventile el edificio antes de volver a entrar en él.
- Cerrar todas las puertas y ventanas antes de la pulverización y mantenerlas así hasta 30 minutos después de su conclusión, para garantizar una eficacia máxima.
- Los operadores encargados de la pulverización deben caminar hacia atrás, alejándose de la niebla, para reducir al mínimo la exposición.
- En edificios pequeños de un solo piso se puede pulverizar desde la

puerta de entrada o por una ventana abierta sin tener que entrar en todas las habitaciones de la casa, siempre que se pueda conseguir una dispersión adecuada de las gotitas de insecticida.

- En edificios grandes de un solo piso puede ser necesario pulverizar habitación por habitación, comenzando por la parte trasera del edificio y avanzando hacia la delantera.
- En edificios de varios pisos, la pulverización se realiza desde el piso superior hacia la planta baja y desde la parte trasera del edificio hacia la delantera. Esto garantiza en todo momento la buena visibilidad del operador.

Se debe calcular el tamaño de una vivienda media (en m<sup>2</sup>) y el volumen del producto diluido que se necesita según las recomendaciones de la etiqueta del fabricante (*nota: las recomendaciones de la etiqueta de algunos fabricantes para la nebulización en espacios cerrados figuran como tasa por volumen*). Hay que controlar el caudal de la máquina (ml/min) a fin de conocer el promedio del tiempo necesario para pulverizar cada vivienda e informar a los operadores encargados de la pulverización.

La niebla debe ser "seca" antes de pulverizar el interior de un edificio. Se realiza una prueba colocando la máquina en el suelo y controlando que la zona situada inmediatamente enfrente de la boquilla no se humedezca. Para reducir la producción de gotitas grandes que humedecen se ha de obtener el equilibrio correcto entre el caudal y la temperatura de combustión. Esto se suele conseguir reduciendo el caudal.

### 6.2.3 Nebulización en la superficie de espacios abiertos

Las operaciones de nebulización en la superficie de espacios abiertos deben ir precedidas de una planificación previa de la trayectoria, y en zonas con un acceso difícil o limitado de vehículos se puede necesitar una combinación de equipo montado en un vehículo y manual o de mochila. También se debe prestar atención a los aspectos siguientes:

- No se debe pulverizar cuando llueve, cuando el viento alcanza una velocidad superior a 15 km/h o en las horas calurosas del día.
- Se deben abrir las puertas y ventanas de las casas y otros edificios para que entre la nube de pulverización, a fin de mejorar eficacia.
- Para el equipo montado en un vehículo en zonas donde las carreteras son estrechas y las casas están cerca del borde, el pulverizador se debe dirigir hacia la parte posterior del vehículo. En zonas donde las carreteras son anchas, con edificios situados lejos del borde, el vehículo se debe conducir cerca del borde y el pulverizador se debe orientar en ángulo (a favor del viento) con respecto a la carretera, y no directamente hacia la parte posterior del vehículo.

- Cuando existan barreras que impidan el flujo del aire, por ejemplo muros y vallas de separación, la boquilla de la máquina de nebulización en frío montada en un vehículo se puede orientar hacia arriba en ángulo; en los nebulizadores térmicos montados en un vehículo la boquilla se debe mantener en posición horizontal.
- La distancia entre las pasadas sucesivas a través de una zona construida dependerá fundamentalmente del trazado de las carreteras. Generalmente se recomienda un espacio de 50 metros entre los recorridos, moviéndose el vehículo contra el viento, de manera que la niebla se aleje del vehículo y de los operadores (figura 12).
- Se debe mantener, en la medida de lo posible, la velocidad previamente establecida del vehículo y desconectar el pulverizador cuando el vehículo se detiene.
- Se debe pulverizar en primer lugar la zona situada a favor del viento, pasando sistemáticamente de ésta a la que está contra el viento.



**Figura 12.** Trayectoria de la pulverización en relación con la dirección del viento en un asentamiento urbano. La cobertura se realiza desde la parte que está a favor del viento hacia la que está en contra. En este ejemplo, los primeros objetivos del frente de pulverización son los insectos adultos voladores en las proximidades del lugar de cría.

- Para evitar la posibilidad de introducirse en la nube de pulverización, los caminos sin salida se deben pulverizar sólo al salir de ellos.
- Tratar de evitar la pulverización directa de plantíos de arbustos y zonas florales costosas, a menos que se utilice un producto diluido en agua o de base acuosa.

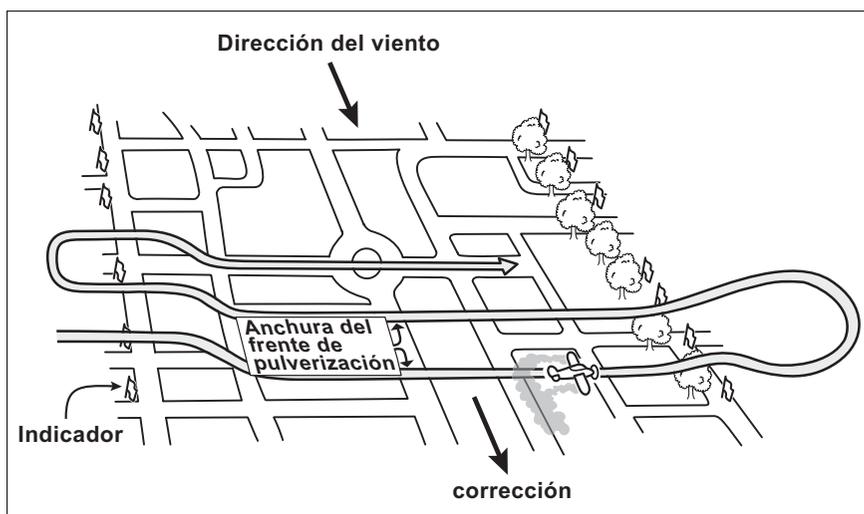
## 6.2.4 Nebulizaciones aéreas

La supresión de las poblaciones de vectores en grandes superficies se puede llevar a cabo pulverizando en el aire con una avioneta, especialmente en lugares donde el acceso con el equipo de superficie sea difícil y haya que tratar con gran rapidez zonas muy amplias (figura 13). En la pulverización aérea hay que tener en cuenta especialmente los factores meteorológicos, en particular la velocidad del viento, a la altura de la pulverización y al nivel del suelo, y el espectro de los tamaños de las gotitas obtenidos a la velocidad de vuelo de la avioneta. Los tratamientos suelen ser nocturnos para aprovechar cualquier inversión y permitir que las gotitas caigan desde una altura de emisión más alta hacia los lugares de vuelo de los vectores de la enfermedad.

La altura de vuelo se determina fundamentalmente en función de factores operacionales, pero se ha de seleccionar el tamaño de las gotitas, la volatilidad de la formulación y el caudal para que las gotitas caigan cuando las desprende la avioneta y sean del tamaño correcto al descender a través del espacio de aire ocupado por los vectores de la enfermedad.

En el caso de las aplicaciones aéreas hay una combinación de factores, como la altura de la pulverización, la velocidad de la avioneta, la velocidad del viento y los tipos de formulación, que influyen en la distancia de desplazamiento de la pulverización a favor del viento. En consecuencia, para pulverizar hay que introducir una corrección. La corrección es la distancia contra el viento de la zona prevista para comenzar la pulverización. Así se evita el desplazamiento a favor del viento hacia fuera de la zona prevista. Igualmente, el punto donde se termina debe ser la distancia de corrección contra el viento del límite de la zona prevista que está contra el viento. El ámbito del presente documento no permite describir con detalle la manera de calcular la corrección. Sin embargo, los contratistas de la pulverización aérea deberían estar en condiciones de calcular las correcciones exactas.

Para todas las operaciones de pulverización aérea hay que obtener un permiso de la autoridad de aviación civil. Por motivos de seguridad, para el tratamiento en zonas pobladas normalmente se requieren avionetas bimotores. Las avionetas modernas están dotadas ahora de sistemas de posicionamiento mundial, de manera que se puede registrar su posición exacta mientras pulverizan el insecticida.



**Figura 13.** Trayectoria de la pulverización aérea en relación con la dirección del viento

### 6.3 Vigilancia de las operaciones de pulverización

Se debe mantener un registro operativo (formulario de informe diario) con los datos pertinentes, como superficie tratada, la fecha y duración de la pulverización, las condiciones meteorológicas, el tipo y la cantidad de insecticida pulverizado y cualquier dificultad operacional que haya surgido. El supervisor debe controlar regularmente el registro y anotar las observaciones sobre el funcionamiento del equipo, los defectos y los peligros que haya encontrado. En los anexos 1-3 figuran ejemplos de formularios de información normales.

Los informes finales para los organismos públicos deben dar una imagen exacta del funcionamiento del equipo para determinar su idoneidad y de los progresos del programa.

### 6.4 Evaluación

La evaluación de la eficacia de la pulverización se realiza utilizando técnicas que son fundamentalmente específicas del insecto objeto del tratamiento. Las pulverizaciones en el aire son transitorias y sólo se ven afectados los insectos que están volando en el momento de la aplicación. Por consiguiente, las poblaciones de adultos pueden aumentar como resultado de la inmigración desde fuera de la zona tratada o del nacimiento a partir de una población de pupas. El efecto entomológico se puede evaluar ya sea comparando la densidad del insecto en cues-

tión antes y después de la pulverización o la mortalidad de los insectos enjaulados, o bien mediante una combinación de ambos métodos (preferible). Hay que señalar que la mortalidad de los insectos enjaulados depende del diseño de la jaula, del material (incluso el tamaño de la malla) y del lugar de colocación, por lo que puede dar lugar a una subestimación de la eficacia de la pulverización y a un aumento injustificado de la dosis. Por otra parte, la mortalidad elevada de los insectos enjaulados puede llevar a una sobreestimación de la eficacia de la pulverización en la población destinataria.

## **6.5 Mantenimiento del equipo**

Los operadores y supervisores del equipo deben estar entrenados en la utilización segura y apropiada y en el control y mantenimiento diarios normales del equipo. Se debe disponer asimismo de instalaciones y conocimientos adecuados para las operaciones habituales de mantenimiento y reparación del equipo y los vehículos.

Se deben seguir cuidadosamente las recomendaciones del manual de servicio del fabricante del equipo y hay que llevar un registro del mantenimiento. El rendimiento eficaz y efectivo de la máquina forma parte integrante de la consecución de un funcionamiento óptimo.

El director del programa se debe encargar de garantizar la inclusión de piezas de repuesto en el momento de la compra del equipo y de mantener posteriormente un suministro adecuado. Cada unidad en funcionamiento sobre el terreno debe contar con los instrumentos adecuados y con un suministro suficiente de piezas de repuesto para el mantenimiento y las reparaciones normales.

Hay que proteger adecuadamente el equipo contra posibles daños durante el transporte.

## **6.6 Almacenamiento y eliminación de los plaguicidas**

Todos los insecticidas utilizados en los tratamientos en el aire se deben mantener en un lugar sin riesgos, seguro y conforme a las recomendaciones de la etiqueta del fabricante. El insecticida diluido no utilizado no se debe dejar en la máquina tras la nebulización ni se debe almacenar. Los recipientes vacíos y el insecticida sobrante se deben eliminar de acuerdo con las directrices y reglamentos nacionales. Los recipientes vacíos se deben inutilizar antes de su eliminación.

## 7. Algunas lecturas

---

**Matthews G.A.** (2000). *Pesticide application methods*, 3rd ed. Blackwell Science.

**Reiter P., Nathan M.B.** (2001). *Guías para la evaluación de la eficacia del rociado espacial de insecticidas para el control del vector del dengue *Aedes aegypti**. Ginebra, Organización Mundial de la Salud (documento WHO/CDS/CPE/PVC/2001.1).

**Nájera J., Zaim M.** (2002). *Lucha antivectorial para el control del paludismo. Criterios para guiar la toma de decisiones y procedimientos para el uso sensato de insecticidas*. Ginebra, Organización Mundial de la Salud (documento WHO/CDS/WHOPES/2002.5).

**OMS** (1990). *Equipment for vector control*, 3rd ed. Ginebra, Organización Mundial de la Salud.

# ANEXO 1.

## Informe diario de aplicación (equipo portátil y montado en un vehículo)

---

- Fecha:
- Marca y modelo del equipo:
- N° de serie:
- Tipo de la boquilla y su número:
- Localidad y descripción de la zona pulverizada (se puede adjuntar un mapa):
- Tipo de pulverización en el aire (termonebulización/nebulización en frío):
- Velocidad del viento (km/h):
- Temperatura (°C):
- Humedad relativa (%):
- Hora de la aplicación
  - Comienzo:
  - Final:
  - Duración total de la pulverización:
- Insecticida utilizado
  - Nombre y concentración del producto:
  - Tasa de dilución y diluyente:
  - Cantidad de producto formulado utilizada:
  - Ritmo de aplicación previsto (ml/ha):
- Cobertura de la pulverización
  - Superficie de pulverización prevista (ha):
  - Superficie realmente pulverizada (ha):
  - N° de casas/habitaciones:

Equipo montado en un vehículo

- Velocidad del vehículo (km/h):

Observaciones:

Nombre y firma de la persona encargada de la pulverización:

Supervisor: Nombre, firma y fecha

- Observaciones:

# ANEXO 2

## Registro de mantenimiento

---

■ Nombre, marca y modelo del equipo: \_\_\_\_\_

■ N° de serie: \_\_\_\_\_

Fecha	N° total de horas de uso desde el último servicio	Detalles de la avería	Reparación: Partes montadas o sustituidas	Reparado por: Nombre y firma

# ANEXO 3

## Control normal del funcionamiento de la máquina

---

- Fecha: .....
- Nombre, marca y modelo del equipo: .....
- N° de serie: .....
  
- Caudal (ml/min.): .....
  - Inicial
  - Tras el ajuste
  
- Tamaño de las gotitas .....
  - Inicial
  - Tras el ajuste

Control físico (estado de las mangueras, tubos, derrames, etc.) – Observaciones:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Nombre y firma de la persona encargada del servicio: .....

Nombre y firma del supervisor y fecha: .....

