

*Autores: Ing. Agr. Mario Bragachini,  
Ing. Agr. Andrés Méndez,  
Ing. Agr. Axel von Martini  
Colaboración en tipeado y diagramación: Sr. Aldo Oscar  
Proyecto Agricultura de Precisión - INTA Manfredi*

Este artículo forma parte del trabajo "**Eslabonamiento Productivo del Sector Maquinaria Agrícola Argentina**", realizado para el **Consejo Federal de Inversiones** (Mayo de 2001)

## **Pulverización calidad de aplicación y preservación del ambiente**

La aplicación de agroquímicos para la protección de cultivos es un proceso complejo que debe ser efectuado por especialistas o personas idóneas, con conocimientos básicos de los fundamentos técnicos de calidad de pulverización. Cuando se realiza un tratamiento es necesario resolver un problema particular. No todos los tratamientos son idénticos, ni deben efectuarse del mismo modo.

Cada tipo de tratamiento tiene sus propias exigencias según el cultivo considerado, los fitosanitarios que se utilicen, las plagas que se van a combatir, el estado del suelo, las condiciones ambientales, la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento y la estabilidad atmosférica; todos estos factores influirán en forma directa sobre la cantidad de depósito posible del producto químico que emerge de las pastillas pulverizadoras, dicho de otra manera la calidad de aplicación depende de la cantidad de depósito ubicado en el blanco (suelo, maleza, insecto, enfermedad foliar o bien el propio cultivo cuando se aplica fungicida).

El tratamiento tiene como principal objetivo combatir plagas, malezas y enfermedades de diferentes orígenes, por lo que las estrategias deben ser específicas para cada tipo de tratamiento. Antes de iniciar el mismo es conveniente leer atentamente el marbete del producto a aplicar.

La aplicación de productos fitosanitarios en los cultivos exige la utilización de un equipo de pulverización de buena calidad y en buen estado para conseguir la máxima eficiencia en la aplicación, pero también para evitar daños sobre el cultivo que se quiere proteger. En la mayoría de los casos se le otorga mucha importancia al producto que se emplea y poca a la máquina que realiza la aplicación.

La ineficiencia de aplicación, trae como consecuencia un aumento de los costos de producción, al tener que aumentar las cantidades de producto que la aplicación exige. Además, con ello se aumentan los riesgos de sobredosificaciones y subdosificación, que pueden causar daños al ambiente o mermas en la producción.

Los niveles de pérdidas en las cosechas de cultivos debidas a competencia de plagas, malezas y enfermedades superan los valores tolerables y esto se debe principalmente a las aplicaciones ineficientes de agroquímicos. Estas ineficiencias son debidas, en su gran mayoría, a problemas que presentan los equipos de pulverización, como ser pastillas pulverizadoras dañadas o desgastadas, manómetros fuera de servicio, filtros tapados, velocidades excesivas de trabajo, mala posición de los picos en los barrales, desapropiada altura del botalón por oscilaciones pronunciadas que provocan desuniformidad en la distribución del producto.

Ligado a esto, están los problemas de posicionamiento del equipo dentro del lote superposiciones o zonas sin aplicación y además un bajo nivel de capacitación en el medio rural que potencia estos errores.

También se debe tener en cuenta que un porcentaje superior al 60% de las aplicaciones de pulverización son realizadas por contratistas con equipos autopropulsados; y éste equipo presenta una relación directa de capacidad de trabajo con el caudal de aplicación, al estar relacionados con las pérdidas de tiempo en recarga. Como el precio es fijado por la aplicación independientemente del caudal, generalmente estos están por debajo de lo aconsejado para lograr una excelente aplicación, cuando algunos de los factores climáticos son desfavorables, como alta velocidad de viento y baja humedad relativa

La optimización de los tratamientos exige una actualización de las técnicas de aplicación y una puesta a punto de los equipos a fin de mejorar la eficiencia de los agroquímicos, preservar el ambiente y evitar riesgo para el operario.

Trabajar en forma integral para mejorar la calidad de aplicación en Argentina posee un gran potencial económico evitando riesgos para los operarios y para el ambiente.

### **Bases para una buena aplicación**

La eficacia de un tratamiento depende fundamentalmente de cuatro factores:

Calidad del agua: es de extrema importancia y de esto dependen varios aspectos atinentes al éxito de la aplicación, la durabilidad de las pastillas y del estado general de su equipo de pulverización. La dureza de pH del agua (alcalina o ácida) provoca en algunos herbicidas totales (glifosato/sulfosato) modificaciones en su principio activo, determinando pérdidas de efectividad. Están disponibles en el mercado numerosas sustancias correctoras para adecuar el pH a los requerimientos de los agroquímicos, para ello se aconseja a los contratistas de este servicio disponer de un medidor de pH de bajo costo capaz de entregar rápidamente la información del pH de agua a utilizar.

Otro aspecto de importancia son las suspensiones inorgánicas que pueda contener el agua, como ser limos y arcillas. Estos elementos son extremadamente abrasivos y generan un desgaste acelerado de los mecanismos de precisión (caudalímetro, manómetros, reguladoras de presión) y de los orificios de las pastillas.

Por último las suspensiones orgánicas del tipo algas/líquenes, restos de hojas, etc. que se pueden encontrar en los estanque provocan taponamientos en bombas, filtros y pastillas si al momento de la carga del tanque no son eliminadas por los

sistemas de filtrado. Por lo tanto la tendencia futura indica que las máquinas pulverizadoras autopropulsadas tendrán un tanque de apoyo, no solo para mejorar la eficiencia de trabajo sino para asegurar la calidad de agua utilizada como vehículo de aplicación de cualquier agroquímico.

*Efectividad del producto empleado*: tiene relación con la elección acertada del producto para el control de plagas, malezas y enfermedades. Los plaguicidas aplicados correctamente no deben fallar, ya que existe una inversión millonaria por parte de los laboratorios y muchos años de investigación antes de enviarlos al mercado agrícola. Puede contribuir a mejorar la efectividad del producto, el uso de coadyuvantes o aceites minerales que mejoren la adherencia del mismo al objetivo que se pretende controlar. Con relación al producto en sí, hay que tener la certeza de su origen ya que pueden ser adulterados. Los envases comercializados deben ser herméticos y con los precintos inalterados. Es de suma importancia que el fabricante del producto especifique en el marbete las exigencias de la técnica de aplicación del caudal presión, pastillas, altura del botalón, número de impactos mínimos, condiciones ambientales, etc.

*Momento oportuno de aplicación*: es de vital importancia, ya que el éxito o fracaso del tratamiento depende del momento de la aplicación y esto tiene que ver con el estado del crecimiento o desarrollo de las malezas, enfermedades e insectos y con la mayor o menor sensibilidad de acuerdo a ello. Siempre se debe tener claro la ubicación exacta del blanco u objetivo, porque esto nos permite orientar la aplicación para lograr el mayor número de impactos en el blanco.

*Homogeneidad en la distribución*: se logra mediante un buen equipamiento y regulación de la pulverizadora, esto no es suficiente, pues también es indispensable un buen mantenimiento del equipo, y sobre todo, un manejo correcto del mismo, para ello el operario debe estar capacitado para resolver alternativas de aplicaciones que pueden condicionar el éxito de la aplicación.

### **Regulación de la pulverizadora**

Antes de proceder a regular la pulverizadora es necesario leer atentamente las instrucciones del producto que se va a aplicar, para conocer el volumen de agua por hectárea recomendado.

La dosis de aplicación del producto dependerá de muchos factores ya mencionados, se podrá modificar la dosis promedio de marbete de acuerdo a como se presente el cultivo, plaga o enfermedad

Control de la velocidad de avance: En el caso de las pulverizadoras de arrastre o suspendidas (3 puntos) no es suficiente controlar la velocidad del tractor con el cuenta revoluciones (RPM) o lo que indique el manual del mismo con relación a los cambios de marcha. Como también en los equipos autopropulsados que no disponen de radar para medir la velocidad. Lo mas conveniente es medir la velocidad de la pulverizadora, con el tanque a un 50 % de su capacidad y con el botalón desplegado, la mayoría de las veces la velocidad real será distinta de la indicada por el fabricante, el manual del tractor o pulverizadora.

Para obtener la velocidad expresada en km/h se debe aplicar la siguiente formula:

$$\text{Velocidad (km/h)} = \frac{\text{Distancia (m)}}{3,6} \times 3,6$$

Tiempo (s)

Aclaración: La medición siempre será conveniente realizarla en el terreno de trabajo debido a radio bajo carga real que adoptará el neumático.

### **Verificación de las pastillas pulverizadoras**

El excelente equipamiento de una pulverizadora puede ser malogrado por la mala elección de la pastilla o estado avanzado de desgaste, mal posicionada en el botalón, con altura inadecuada o por la presión de trabajo no aconsejada.

Las pastillas son elementos básicos para una correcta uniformidad de distribución del producto sobre el cultivo y/o el suelo. El volumen de líquido pulverizado, el tamaño de gota y la distribución sobre la superficie, influyen sobre los resultados en la lucha contra las plagas, malezas y enfermedades. Para su elección, se deberán tener en cuenta los diversos factores que hacen a los diferentes tipos de pulverización. Para seleccionar adecuadamente las pastillas y saber si su funcionamiento es el correcto se harán las siguientes operaciones:

Elegir el tipo y modelo de pastilla de acuerdo al volumen que se va a pulverizar por hectárea, el producto, la plaga y el cultivo a tratar. Para ello se deberán consultar las tablas de los fabricantes e importadores de pastillas. El mercado ofrece pastillas de abanico plano convencionales, de baja deriva y de rango extendido con diferentes ángulos de trabajo (80° y 110°, siendo los dos últimos los más utilizados), doble abanico, cono hueco y lleno, espejo y asistidas por aire. Estas se presentan en diversos materiales de fabricación plástico, latón (bronce), kematal, POM, termorresina, acero inoxidable y alúmina (cerámica).

La medición del caudal pulverizado de las pastillas debe hacerse a la presión indicada por el fabricante y siempre con agua limpia. Los métodos más usados son las jarras graduadas o los caudalímetros de caudal constante. Cualquiera sea el método elegido, se anota el caudal de cada pastilla, se suman los caudales y se calcula el caudal promedio. Aquellas que presenten desviaciones de más o en menos del 10% del valor de la media, deben ser sustituidas por otras nuevas.

Hay que tener en cuenta que la limpieza cuidadosa de una pastilla obstruida puede marcar la diferencia entre una dosis correcta o una sub o sobredosis. Bajo ningún concepto se recomienda el uso de objetos metálicos (clavos, alambres) para limpiar las pastillas, ya que esto provoca una deformación del orificio que no se puede apreciar a simple vista. Esto trae aparejado una incorrecta distribución de producto y un aumento de la dosis del agroquímico. El elemento que se debe utilizar para efectuar la limpieza es un cepillo de cerda dura, similar al de dientes, ofertado por los distribuidores.

### **Elección de la pastilla**

Existen muchas clases de boquillas que producen diferentes caudales, ángulos de pulverización, tamaños de gota y perfiles. Algunas características de estas puntas de pulverización están indicadas por el número correspondiente de la punta. Cada tipo de punta de pulverización está clasificado según sus diferentes condiciones de funcionamiento (Figuras 1 y 2). Por ejemplo, para las puntas de pulverización de

chorro plano estándar TeeJet se expresa el caudal en l/min (litros por minuto), mientras para las puntas de cono hueco TX ConeJet, que tienen un caudal muy inferior, se expresa éste en l/h (litros por hora). En la tabla a la derecha figuran los valores de los caudales de diversas puntas de pulverización de uso corriente. Cuando se reemplacen las puntas, utilizar siempre puntas del mismo número, para asegurarse de que el pulverizador siga correctamente ajustado.

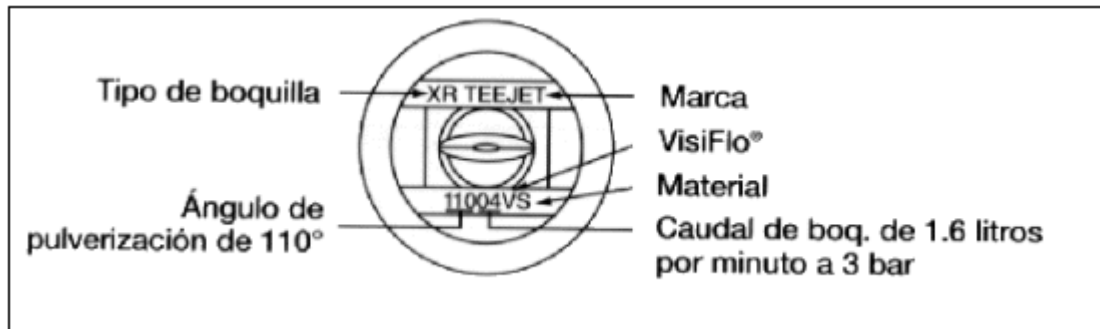


Figura 1

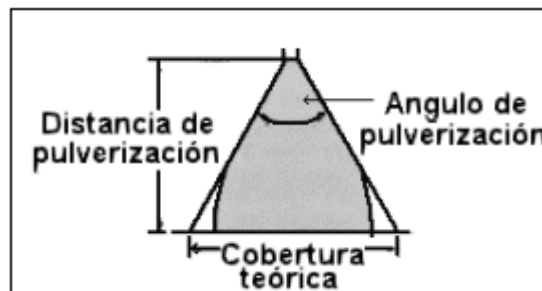


Figura 2

### Unidades técnicas utilizadas en pulverizadoras agrícolas v sus equivalencias

#### Unidades de longitud

1 km	0,62 millas
1m	1,09 yardas
1 cm	0,39 pulgadas
1 pie	0,30 m
1 milla	1,61km
1 yarda	0,91 m
1 pulgada	2,54 cm

#### Unidades de superficie

1 ha	10.000 m <sup>2</sup>
1acre	0,404 ha
1 ha	2,471 acres
1 acre	4040 m <sup>2</sup>

#### Unidades de volumen

1 litro	1.000 cm <sup>3</sup>
1 cm <sup>3</sup>	1.000 l

#### Unidades de caudal para campo

1 l/ha	0,106 galones USA/acre (Gal/acre)
--------	-----------------------------------

1 litro	1.000 ml
1 galón USA	3,785 l
1 galón imperial	4,546 l

1 ha	0,089 galones imperiales/acre (Gal/acre)
------	--

#### Unidades de caudal

1 l/min	0,26 galones USA/min (GPM)
1 l/min	0,219 galones imperiales/min (GPM)
1 l/h	0,16 l/min
1 l/min	0,016 l/seg

#### Unidades de velocidad

1 km/h	0,62 millas/h (MPH)
1 km/h	0,277 m/seg
1 m/seg	2,24 millas/h (MPH)

#### Unidades de presión

1 kg/cm <sup>2</sup>	14,22 lb/pulg <sup>2</sup>
1 kg/cm <sup>2</sup>	98 kilo pascal (kPa)
1 BAR	1,0197 kg/cm <sup>2</sup>
1 lb/pulg <sup>2</sup>	6,895 kilo pascal (kPa)

### Conversión de Unidades

Para convertir unidades multiplique por los siguientes factores:

<b>Multiplique</b>	<b>por</b>	<b>Para obtener</b>
Millas	1,609	Km/h
Yardas	0,91	M
Pies	0,304	Mm
Pulgadas	2,54	Cm
ACRES	0,4047	Ha
Hectáreas	2,471	ACRES
L/seg	0,06	L/min
Galones USA	3,785	L
Galones imperiales	4,546	L
Galones USA por min	3,785	L/min

Galones Imperiales./ min	4,546	L/min
Galones USA/ACRE	9,353	L/ha
Galones Imperiales/min	11,23	L/ha
M/seg	3,6	Km/h
Millas /h	1,609	Km/h
Lb/pulg 2	6,895	Kilo Pascal kPa
Kg/cm2	98	Kilo Pascal kPa
Galón Imperial	1,201	Galón USA
Galón USA	0,833	Galón Imperial

### **Caudal**

El caudal de la boquilla varía según la presión de pulverización. En general, la relación entre los L/min y la presión es la siguiente:

$$\frac{L/min_1}{L/min_2} = \frac{\sqrt{bar_1}}{\sqrt{bar_2}}$$

Esta ecuación se explica mediante la ilustración abajo reflejada. **En resumen, para duplicar el caudal a través de una boquilla, debe cuadruplicarse la presión.**

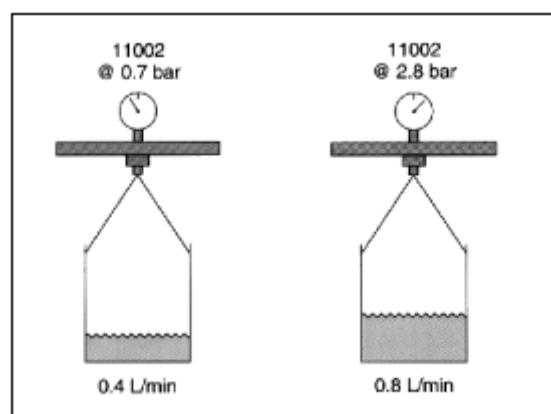


Figura 3

Una presión más alta no sólo aumenta el caudal de la boquilla, sino que también influye en el tamaño de las gotas y la velocidad de desgaste de los orificios. Al subir la presión de pulverización, disminuye el tamaño de las gotas y se desgastan más rápidamente los orificios (Figura 3).

NOTA: Las alturas mínimas de pulverización recomendadas para el tratamiento al voleo están basadas en el empleo de agua, estando las boquillas ajustadas al ángulo de pulverización mencionado.

### **Alturas mínimas de pulverización recomendadas**

Las indicaciones sobre la altura de las boquillas que figuran en la siguiente tabla, están basadas en el recubrimiento mínimo requerido para obtener una distribución uniforme. Sin embargo, en muchos casos los ajustes estándar de la altura están basados en una relación de 1 a 1 en la distancia entre boquillas y la altura. Por ejemplo, las puntas de pulverización de chorro plano de 110° situadas a 50 cm. la una de la otra, suelen ajustarse a 50 cm por encima del objetivo.

Tipo de Boquilla	Altura mínima de las boquillas (cm)			
	Angulo de pulverización	50 cm de distancia	75 cm de distancia	100 cm de distancia
TeeJet (chorro plano)	56°	60	80	NR *
TeeJet, XR TeeJet	80°	50	70	NR *
TeeJet, XR TeeJet	110°	40	50	NR *
FullJet	120°	30**	40**	40**
FloodJet	120°	***	***	***

\*No se recomienda.

\*\*La altura de pulverización está basada en un ángulo de pulverización de orientación de 30° hasta 45°.

\*\*\*La altura de la punta de pulverización gran angular depende de la orientación de la boquilla. El factor crítico es un recubrimiento doble del perfil de pulverización.

Estas aclaraciones sobre el manejo de tablas no tienen otro objetivo más que valorizar la importancia de la capacitación del operario sobre el manejo de la información disponible, ya hoy una pulverizadora moderna posee por lo menos un pico con 3 a 5 pastillas que las puede seleccionar en el campo en forma rápida y solo lo utilizará el potencial del equipamiento si mejora información y criterio.

### **Regulación de la altura del botalón**

La altura del botalón de pulverización es un factor esencial para una buena homogeneidad en el reparto del producto en la parcela (Figura 4), que dependerá del tipo de pastilla que se utilice y del cultivo del que se trate. Consulte el manual de pastillas pulverizadoras de acuerdo al ángulo de pulverización y distancia entre pastillas (Figuras 5, 6 y 7).



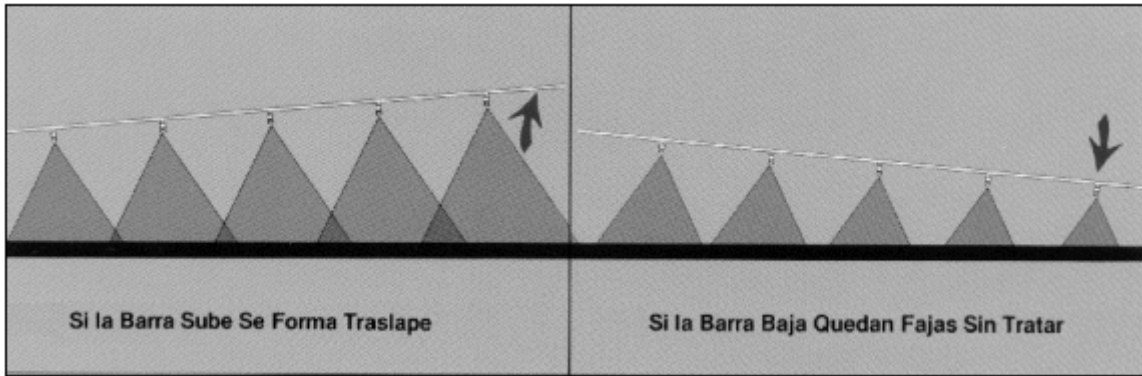


Figura 4: Errores por oscilaciones en la altura del botalón.

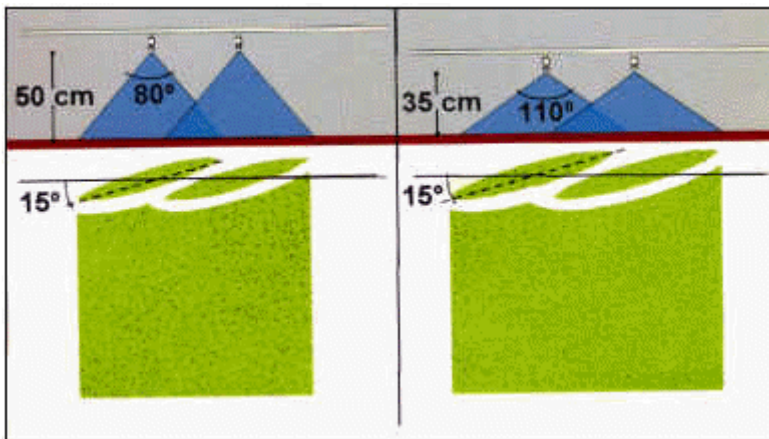


Figura 5: Indica la forma correcta de ubicar las pastillas abanico en el botalón con un cruce de 15° para evitar choques entre los abanicos. Se muestra también la variación de altura óptima de aplicación con el ángulo de la boquilla.

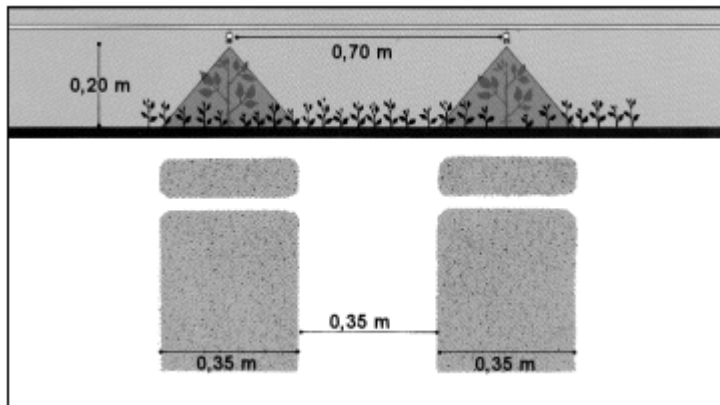


Figura 6: Boquillas para la aplicación en banda de chorro plano uniforme

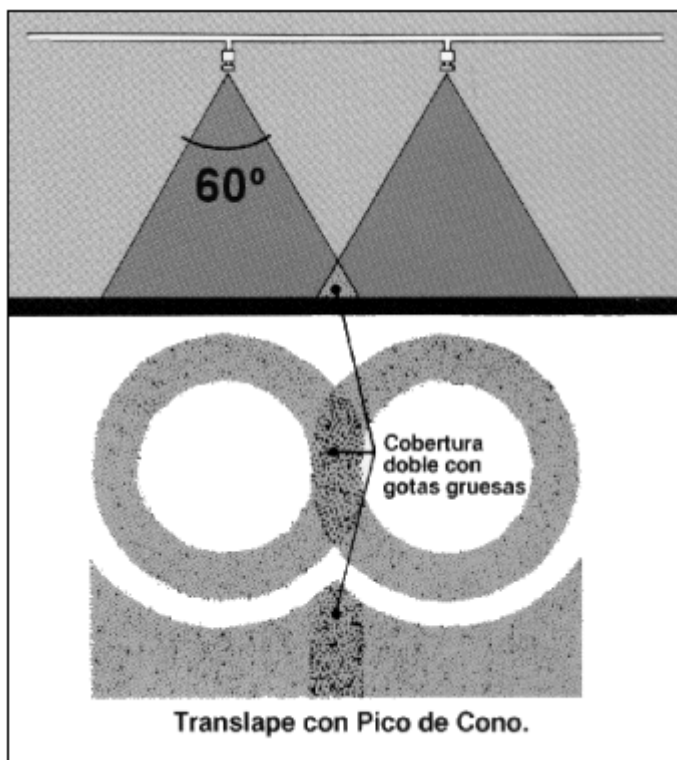


Figura 7: Pastillas de cono hueco para fungicidas e insecticidas que por su diagrama de aplicación resulta difícil lograr una cobertura uniforme requerida para los herbicidas.

### **Ubicación del objetivo**

Cuando las malezas son muy desuniformes en altura se debe tener la precaución de ubicar bien el objetivo y generalmente se debe elevar unos centímetros la altura de aplicación (Figura 8).

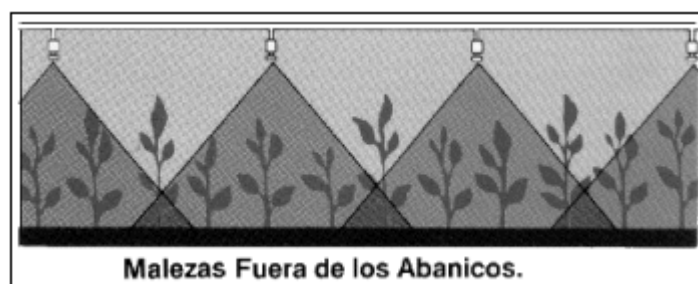
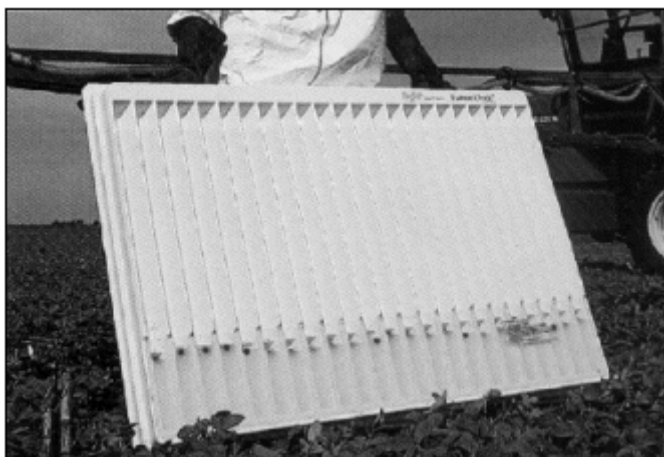


Figura 8

### **Análisis de la distribución**

A los efectos de analizar la distribución del botalón, actualmente hay disponibles una serie de bandejas recolectoras de diferentes tamaños (1 y 3 metros) (Figura 9). En caso de no disponer de ningún elemento de recolección, es suficiente observar la pulverización a contra sol y verificar que los diagramas de distribución no presenten rayones notorios ni superposiciones entre ellos.

Figura 9: bandeja recolectora para analizar la distribución a lo largo del botalón



### **Deriva**

La deriva puede definirse como el envío de gotas fuera del objetivo deseado. Este fenómeno constituye uno de los problemas más importantes de cara al medio ambiente con el que se ven enfrentados los usuarios de pulverizadores. A fin de poder tomar la decisión correcta en la selección de boquillas y su aplicación, el usuario debe tener conocimiento del tamaño de las gotas.

### **Tamaño de gota**

Se indica que las gotas inferiores a 200 micrones contribuyen a la deriva. En la tabla se reflejan boquillas con un porcentaje correspondiente a gotas con tendencia a la deriva.

Tipo de Boquilla (0,8 l/min caudal)	Porcentaje del volumen de líquido pulverizado inferior a 200 micrones	
XR TeeJet 80°	8%	16%
XR TeeJet 110°	14%	21%
DG TeeJet 80°	< 1%	6%
DG TeeJet 110°	2%	10%
TF – Turbo FoodJet	< 1%	< 1%

### **La distribución en el campo (tarjetas hidrosensibles)**

Uno de los métodos que existe en la actualidad para valorar el espectro de la pulverización es el uso de las tarjetas hidrosensibles. Estas permiten, una vez efectuada la pulverización, poder contar el número de gotas y apreciar el tamaño promedio de las mismas (esto último se realiza por método de comparación con tarjetas testigos). A partir de esta información se puede caracterizar el tipo de aplicación y la cobertura que se está llevando a cabo durante la misma y sugerir las modificaciones necesarias de acuerdo al tipo de cultivo, la velocidad del viento y de avance de la máquina y las condiciones climáticas imperantes en ese momento.

Como referencia de número de gotas se pueden tomar los valores recomendados por el Código de FAO, que son suficientes para llevar a cabo un control efectivo de las plagas malezas o enfermedades:

Aplicación	Gotas/cm <sup>2</sup>
Insecticidas	20/30
Herbicidas preemergentes	20/30
Herbicida postemergente	30/40
Herbicida de contacto	30/40
Fungicidas	50/70

### **Cálculo del volumen pulverizado y/o el caudal de cada pastilla**

Cuatro son los elementos que tienen relación directa con su estado de funcionamiento y se vinculan con la siguiente expresión matemática.

**1. Caudal de campo**  $Q = \frac{q \times 600}{V \times A}$

**2. Caudal de botalón en l/min**  $q = \frac{Q \times V \times A}{600}$

**3. Velocidad del equipo**  $V = \frac{q \times 600}{Q \times A}$

**4. Ancho de trabajo**  $A = \frac{q \times 600}{Q \times V}$

Donde:

- Q = caudal de campo en l/ha
- V = velocidad en km/h
- q = caudal del botalón en l/min
- A = ancho de trabajo en m.
- 600 = factor de conversión de unidades.

### **Lo que no se debe hacer**

- Cargar la pulverizadora con agua, no aconsejada (PH, impurezas orgánicas e inorgánicas)
  - Llenar completamente el depósito antes de mezclar el producto.
  - Mezclar productos en la pulverizadora antes de asegurarse su compatibilidad, o sin conocer el procedimiento de mezclado.
  - Preparar caldo en exceso. Dejar el caldo preparado de un día para el otro.
  - Trasvasar agroquímicos a otros recipientes que no sean los originales.
  - Añadir gasoil como antiespumante al caldo.
  - Tratar sin previa preparación de los bordes de la parcela.
  - Trabajar a excesiva velocidad (mala estabilidad del botalón). La velocidad de avance debe adaptarse al estado del terreno y a las características técnicas del equipo.
  - Aplicar con viento excesivo
  - Aplicar con excesiva presión (gota fina) con condiciones ambientales de alta evaporación (baja humedad relativa, alta temperatura y viento excesivo).
  - Todos los aspectos tecnológicos de equipamiento y regulación que afectan la calidad de pulverización, son comunes para cualquier tipo de pulverizadoras de botalón ya sea autopropulsadas, de arrastre o de 3 puntos, como así también para cualquier marca de máquina.
-