

Pozzolo O.R. ^{1 2} R. Roskopf ; ¹M. A. Herrera, ; C. Pereyra ¹

RESUMEN: Los fitoterápicos son una herramienta de uso masivo en los cultivos, sin embargo, el éxito de los mismos depende en gran medida del estado de los equipos y dentro de ellos, las boquillas son las principales responsables de la calidad de la pulverización. El desgaste de boquillas provoca variaciones en las dosis y heterogeneidad en tamaño y distribución de gotas. Actualmente están disponibles en el mercado boquillas de diversos orígenes con precios muy diferentes desconociéndose la variabilidad en la prestación. Se determinó la respuesta al desgaste, medida en caudal, utilizando soluciones abrasivas en un banco de pruebas de boquillas de abanico plano 8002 de cinco orígenes diferentes construidas con polímeros similares (kematal). Se detectaron diferencias significativas de variaciones en el caudal con valores extremos de 0,05% y 15,8% con respecto al inicio del ensayo. Como elementos complementarios se determinaron variaciones en los ángulos de aspersión y en la distribución del caudal, encontrándose boquillas que no cumplían con las especificaciones aún antes de ser sometidas a desgaste. Se realizó un análisis de la relación precio/desgaste no encontrándose asociación entre ambas.

Palabras claves: boquillas - pulverización - desgaste.

SUMMARY: Pesticide products are a massive tool in crops but success in their use mainly depends on what shape they are and, very especially, on the nozzles which are mainly responsible for spraying quality. Nozzles wearing out causes dose variation and heterogeneity in size and distribution of drops. Several nozzles from different origins are presently available in the market with very different prices and with unknown variability in spraying quality. Wearing out response was measured in terms of volume using abrasive solutions under controlled trial conditions with five different origins of flat fan-shaped 8002 nozzles built in kematal. Significant differences were found in volume variation within a range of 0,05% to 15,8% referred to the start of the trial. Complementary determinations include variations in fan-shape angles and volume distribution. There were found nozzles, which did not fulfill the standards even before wearing them out. There was no correlation between price and wearing out resistance.

Key word: nozzles - spraying - wearing.

INTRODUCCIÓN

La expansión de la agricultura en Argentina ha aumentado en la última década un 73%, provocando un uso de agroquímicos sin precedentes; solamente en la provincia de Entre Ríos se estima que se utilizaron durante el 2004 aproximadamente 8,5 y 1,9 millones de litros de herbicidas e insecticidas respectivamente. Si bien el uso de agroquímicos es indispensable en los actuales sistemas productivos, también conlleva riesgos, ya que implica el uso de sustancias tóxicas en diversos grados, que no solo representan riesgo para el usuario, sino que además son un potencial contaminante del ambiente (Pozzolo, 2003).

Para minimizar los riesgos, el equipo de pulverización debe ser de buena calidad, en perfecto estado de funcionamiento y debidamente regulado (Bogliani *et al* 1996). En este sentido, las boquillas son un componente del equipo pulverizador que tienen vital importancia en la correcta aplicación de los productos agroquímicos, con la función específica de dosificar el líquido pulverizándolo en gotas de tamaño efectivo y distribuyéndolo sobre el objetivo (Herrera *et al* 2000). Las mismas, históricamente han sido fabricadas y provistas por firmas multinacionales con precios relacionados al valor del dólar estadounidense. Sin embargo, en los últimos años, han aparecido boquillas de diversos orígenes, incluido el nacional, con costos muy variables. El objetivo del presente trabajo es evaluar el comportamiento en cuanto a patrón de asperjado, caudal y ángulo de boquillas, de cinco fabricantes diferentes disponibles en el mercado local.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para decidir que tipo de boquilla evaluar se determinó la boquilla más frecuentemente utilizada. Según una encuesta realizada en 1998 (Pozzolo *et al* 1998), resultó ser la de abanico plano 8002, no obstante ello, como forma de actualizar los datos, se realizó una nueva encuesta a 21 propietarios de

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER, Oro Verde, Entre Ríos, (3100). E-mail: opozzolo@ciudad.com.ar.

² EEA INTA Concepción del Uruguay, ruta 39, C. del Uruguay, CC6, (3260), Entre Ríos.

máquinas pulverizadoras inscriptas en la provincia con un total de 42 máquinas, de las cuales el 95 % son autopropulsadas. El 100 % manifestó que la boquilla más usada es abanico plano estándar, aunque con mayores valores de caudal para las autopropulsadas y con una fuerte tendencia a utilizar ángulos de 110° en estos casos. Basándose en esta información y contemplando las máquinas de arrastre se decidió emplear las boquillas determinadas en la encuesta, abanico plano standard 8002 construidas en kematal (polímero) provenientes de cinco fábricas. El número total de repeticiones fue de cinco boquillas por fábrica de acuerdo a la norma ASAE - S 471, totalizando así 25 picos.

Las boquillas fueron desgastadas utilizando un banco de desgaste de boquillas pulverizadoras construido bajo la norma ASAE - S 471 siguiendo el procedimiento normado. Las pruebas de caudal, perfil de distribución de la pulverización y ángulo, se realizaron en otro banco de ensayos construido de acuerdo a los puntos más relevantes que establece la norma ISO 5682/I, registrándose los valores a los 0, 20, 35 y 100 minutos de ensayo. Los ángulos del asperjado se midieron por el método fotográfico previsto en la norma ISO 5682/I utilizando soporte informático y la medición del caudal en forma gravimétrica de lo arrojado en un minuto conforme a lo establecido por la norma ASAE - S 471.

La presión utilizada para todas las mediciones se mantuvo en un rango de 2,71 kg/cm² a 2,79 kg/cm², siendo la presión normalmente recomendada por los fabricantes.

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA) con 5 marcas de boquillas como tratamientos. Al momento de inicio, es decir sin desgaste, se registraron los valores para determinar si el caudal inicial de cada marca de boquilla cumple con el valor teórico esperado de 757 g/min, utilizándose el test de hipótesis de Student con un intervalo de confianza al 95 %, de esta forma, los valores registrados sin desgaste se utilizaron a modo de testigo. Para analizar los caudales se realizó un análisis de varianza y posteriormente una prueba de Tukey para las medias fijándose un nivel de significación del 5 %.

Para determinar si el perfil de distribución individual se ajustaba a una curva de tipo normal, se realizó una prueba de bondad de ajuste con aplicación de Chi-cuadrado.

El análisis económico se realizó en función del precio de mercado y el comportamiento al desgaste de cada marca de boquilla. El precio de mercado (sin iva) se obtuvo del promedio de cuatro vendedores repartidos en distintas provincias.

Se obtuvieron las ecuaciones de regresión de la variación del caudal en función de los minutos de desgaste para determinar el tiempo en que cada marca muestre una variación del 10 % de su caudal (en valor absoluto), posteriormente se obtuvo el cociente entre el precio de cada marca de boquilla y los minutos de desgaste necesarios para lograr una variación en el caudal del 10 % (\$/min). De esta forma se establece un orden comparativo de costos el cual estará en relación directa con el precio y la resistencia al desgaste de cada marca. También se correlacionó el costo por min. (\$/min) y el valor de mercado de cada boquilla (\$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento inicial

Tres de las cinco boquillas evaluadas, A, D y E no mostraron diferencias significativas entre el valor teórico esperado, 757 g/min para la 02 y encontrado 751,3; 747,92; 754,58 g/min respectivamente, mientras que C y B mostraron diferencias con un intervalo de confianza del 95% con 768,33 y 591,79 g/min respectivamente. La diferencia relevada en la boquilla B se alejó del valor esperado en un -19,8 %, muy superior a las demás, sin embargo al consultar la tabla del fabricante los valores indicados tampoco coinciden con lo que se correspondería con una numeración 02, no obstante ello, se decidió dejarla respetando el criterio de la nomenclatura internacional

Comportamiento al desgaste

En la tabla 1, a los distintos tiempos de desgaste y para distintas marcas de boquillas, se detallan los porcentajes de variación del caudal (g/min) respecto al valor inicial. A igualdad de tiempos de desgaste, podemos observar la disparidad en la variación del caudal alcanzado por las distintas marcas de boquillas. A los 5 min. de iniciado el desgaste, todas las marcas mostraron una disminución en su caudal respecto del valor inicial. Este comportamiento es explicado por Matthews y Thornhill (1996) aduciendo que la absorción de agua realizada por el material (polímero) cambia el tamaño del orificio afectando su caudal. Asimismo también es coincidente con el comportamiento observado por Sarubbi (Sarubbi et al, 1999; Sarubbi y López 1999) y en ensayos de desgaste que utilizan sustancias de menor poder de desgaste, a diferencia de métodos altamente abrasivos que no permiten observar dicha caída del caudal, pasando directamente a la fase de desgaste positivo. Esta fase negativa permanece por mucho más tiempo en algunas boquillas, C, D y E, para recién a los 100 minutos mostrar todas aumentos de caudal, derivado de este comportamiento, las boquillas A y B superan el límite del 10% de tolerancia (Spraying Systems Co, 1994; Lechler 2001) debiendo ser

Tabla 1: % variación del caudal a distintos tiempos de desgaste respecto al valor inicial (VC) y diferencias de variación de caudal acumuladas DVCA expresadas como porcentajes.

Tiempo de desgaste (min.)	A		B		C		D		E	
	VC	DVCA	VC	DVCA	VC	DVCA	VC	DVCA	VC	DVCA
5	-0,3	0,3	-2,3	2,3	-5,6	5,6	-1,8	1,8	-1,8	1,8
20	7,5	8,1	1,3	5,9	-3,9	7,3	-3,9	3,9	-3,1	3,1
25	8,1	8,7	2,6	7,2	-2,9	8,3	-4,3	4,27	-5,3	5,3
35	9,8	10,3	6,4	11,0	-1,9	9,2	-2,9	5,59	-3,3	7,2
50	12,1	12,7	9,1	13,7	0,3	11,5	-2,5	6,00	-1,8	8,7
70	13,3	13,9	14,7	19,3	1,1	12,3	-1,3	7,23	-0,8	9,7
100	15,8	16,3	15,4	19,9	2,8	14,0	0,7	9,27	0,1	10,6

reemplazadas entre los 50 y 70 minutos, sin embargo, al tomar el parámetro de variación de caudal como variable respuesta, este comportamiento de reducción de caudal puede enmascarar variaciones importantes del tamaño de la población de gotas no analizadas en este trabajo, por lo que se procedió a analizar las variaciones de caudal utilizando los valores absolutos de diferencias con el testigo, además de considerar las variaciones porcentuales en aumentos de caudal al final del ensayo, lo que puede observarse en la tabla 2. Es importante destacar que las recomendaciones de fábrica (Spraying Systems Co, 1994; Lechler 2001) prevén el reemplazo cuando las diferencias son del 10% en más o en menos respecto de su caudal medio.

Tabla 2: Análisis de variaciones de caudal de las boquillas. Los valores indican las diferencias medias en valores absolutos con respecto al testigo en g/min en los intervalos. Porcentaje de los valores de aumentos de caudal al momento de finalizar el ensayo.

Trat.	Entre 0 y 20 minutos	Entre 20 y 35 minutos	Entre 35 y 100 minutos	% incremento positivo del caudal
A	58,72 c	17,69 c	46,64 bc	15,8
B	8,02 a	30,95 d	54,32 c	15,37
C	30,67 b	15,33bc	37,38 ab	2,82
D	29,92 b	7,04ab	28,42 a	0,72
E	23,62 ab	5,93 a	25,87 a	0,05

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Considerando las variaciones en valores absolutos se destaca que las boquillas D y E muestran las menores variaciones en todos los momentos registrados, a excepción de la B a los 20 minutos (tabla 1 y 2), mientras que A, B y C muestran un comportamiento con mayores variaciones a lo largo del ensayo y los mayores valores de desgaste.

Estas tendencias son coincidentes con los valores de las variaciones positivas de caudal al final del ensayo con respecto a los valores sin desgaste. Asignando un valor de desgaste 100% a la boquilla A, las B, C, D y E muestran valores de desgaste relativos de 97,3, 17,85; 4,56 y 0,3%.

Comportamiento del ángulo de aspersión

La tabla 3 refleja los valores teóricos de ángulos esperados, los determinados sin desgaste y los 20, 35 y 100 minutos de desgaste.

Tabla 3: Ángulos teóricos y observados.

boquilla	Ang. esperado	Ang. Desgaste 0	Ang. 20 min.	Ang. 35 min.	Ang. 100 min.
A	80	86	85,5	83,5	84
B	80	51	50,5	50	50
C	80	78,5	76,5	76,5	77,5
D	80	66,5	68	66,5	71
E	80	85,5	91,5	91	90

La tabla anterior pone en evidencia que las boquillas pulverizaron con ángulos que no se corresponden con los valores esperados de 80° y que se mantuvieron relativamente constantes a lo largo del ensayo. Las boquillas que presentaron los valores más diferentes con respecto al esperado

fueron B y D, la primera es coincidente con su baja performance demostrada en el desgaste, sin embargo la D tuvo un buen comportamiento y su ángulo difería notablemente del teórico, particularmente en valores inferiores que son los que causan mayores irregularidades de aplicación. Ello demuestra que los valores de caudal por si solos no son suficientes para evaluar el estado y calidad de una boquilla, ya que no se manifiesta una tendencia que relacione la variación del caudal con los cambios registrados en el ángulo de aspersión. Al analizar el patrón de distribución de las boquillas se lo contrastó con una distribución del tipo normal que es la esperable de una boquilla de abanico plano, los resultados del análisis se pueden observar en la tabla 4.

Tabla 4: Comparación de distribución del caudal arrojado a diferentes tiempos de desgaste

Variable	Boquillas				
	A	B	C	D	E
S/desgaste	Normal	No normal	Normal	Normal	Normal
20 minutos	No normal	Normal	Normal	No normal	Normal
35 minutos	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
100 minutos	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal

Se detecta que solo dos boquillas, C y E, se ajustaron a una distribución normal durante todo el período de ensayo. Esta situación, al igual que las diferencias de ángulo de aspersión, provoca distribuciones no uniformes al alterar los solapamientos.

Cuando se analiza esta situación hace dificultosa la recomendación de una boquilla determinada debido a lo anteriormente comentado, sin embargo, de la observación de las gráficas y de los resultados de los análisis, la boquilla C, se presenta como la más estable y con bajos valores de variaciones en el caudal

Un factor no evaluado en el presente trabajo es el tamaño de gota, esta variable puede influir en forma importante en la calidad del asperjado y por lo tanto en la eficacia de la misma. Los cambios en los caudales a una misma presión, así como sus variaciones en la distribución sugieren que la población de gotas pudo haber cambiado en forma importante. Sería importante para próximos trabajos la inclusión de este tipo de mediciones para evaluar la calidad de boquillas.

Análisis económico

El factor calidad de fabricación, en este caso reflejado por la mayor resistencia al desgaste, podría reducir el costo de utilización a pesar de poseer un precio por unidad mayor.

Para realizar un análisis comparativo de costos, se determino los minutos de desgaste necesarios para que cada marca llegue al final de su vida útil, estipulado en una variación del 10 % en el caudal. Para ello se tomaron los valores absolutos como una forma de contemplar las variaciones que en definitiva muestran diversificación en el caudal.

Se determinaron las ecuaciones de regresión entre % de variación del caudal y tiempo de desgaste, de acuerdo a la tabla 1, con ellas se estimó el tiempo necesario de uso en cada boquilla para llegar a un valor del 10% de diferencia en el caudal. Las ecuaciones encontradas fueron: boquilla A; $Y = 5,264 \ln x - 8,1229$; $r = 0,996$; boquilla B; $Y = -0,0017x^2 + 0,3793x - 0,4071$; $r = 0,983$; boquilla C; $Y = -0,0007x^2 + 0,1595x + 4,6465$; $r = 0,990$; boquilla D; $Y = 0,7843x + 0,5314$; $r = 0,98^*1$ y boquilla E; $Y = 0,0952x + 2,4769$; $r = 0,8545$. En la tabla 5, se indican los minutos para el reemplazo y el costo para cada boquilla, referido a su precio de adquisición en el mercado, el mismo, se determinó sin iva del promedio de cuatro vendedores a consumidores finales distribuidos en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe, consultándose a veinte comerciantes del rubro.

Tabla 5: Resultados económicos.

Marca	Precio prom. (\$)	min. para modif. 10 % el caudal.	Costo por min. (\$/min.)
E	2	79,02	0,025
D	3,47	120,33	0,029
B	1,49	32,03	0,046
C	2,83	40,91	0,069
A	3,11	31,27	0,099

Realizando una correlación entre precio de boquilla (\$) y costo por minuto (\$/min) la ecuación fue $y = 0,0098x + 0,0265$ con un $r = 0,0847$, lo que indica, que no hay asociación entre el precio de la

boquilla y su duración. Es importante destacar que al momento de la elección de compra, si bien el desgaste es una variable muy importante y la utilizada en las normas citadas para el reemplazo de boquillas, también es relevante considerar las variaciones de calidad de pulverización registradas en el ensayo de ángulo y distribución.

CONCLUSIONES

Las boquillas evaluadas ofrecidas en el mercado, presentan diferencias de calidad de fabricación medida como su comportamiento al desgaste.

Existen boquillas comerciales que aún de nuevas no cumplen con las especificaciones.

Las tasas de desgaste de las boquillas no son constantes entre marcas y dentro de las mismas.

El precio de mercado no es un indicador de la calidad de la boquilla.

Desde el punto de vista de desgaste medido como caudal se detectan dos grupos de boquillas diferenciados, el grupo conformado por las boquillas A y B, de rápido desgaste y otro grupo C, D y E con menor desgaste y de características similares.

Los comportamientos relevados para las distintas variables (ángulo, caudal, distribución y costo) fueron dispares para las distintas marcas de boquillas.

BIBLIOGRAFÍA

ASAE Standard 471. 1992. Procedure for measuring sprayer nozzle wear rate.

Bogliani, M.; Piantanida, N.; Honorato, A. 1996. Pulverizaciones terrestres. Aspectos prácticos de los equipos de botalón. CICA-INTA. Castelar. Argentina.

Bogliani, M.; Piantanida, N.; Onorato, A.; Masiá, G. 1996. Desgaste en pastillas pulverizadoras. Su acción sobre el caudal y la distribución. IV Congreso Argentino y II Internacional de Ingeniería Rural. Neuquen, Argentina 1996

Herrera, M.; Pereyra, C. 2000. Aplicación de agroquímicos. F. C. A. Oro Verde. Argentina.

Ibáñez, M. 1994. Uso, mantención y reparación de pulverizadoras de barra para el control químico de malezas. Boletín de Extensión N°19. Fac. de Ing. Agrícola. Campus Chillan. Chile.

ISO 5682. 1993. I Equipment for crop protection- Spraying equipment part 1 test methods for sprayer nozzle(1993)

Lechler. 2001. Boquillas (pastillas) para la agricultura y accesorios. Catalogo I. Metzingen. Germany.

Legislación en la Unión Europea sobre Aplicación de fitosanitarios y protección del medio ambiente,

Matthews, G.; Thornhill, E. 1996. Equipo de aplicación de pesticidas para uso en la agricultura. Roma FAO, 151 páginas (Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 112/1).

Pozzolo, O.; Herrera, M.; Pereyra, C.; Sione, W.; Valdemarin, D. 1998. Relevamiento de pulverización agrícola en Entre Ríos. Parte I. Aspectos de Prestaciones. Memorias II Congreso Latinoamericano y V Argentino de Ingeniería Rural. La Plata, Argentina, 18 a 20 de noviembre de 1998

Pozzolo, O. 2003. Deriva en la pulverización agrícola. Hoja Informativa Electrónica E.E.A. Concepción del Uruguay. Año III N°91

Sarubbi, C.; Bulacio, L.; Panelo, M.; Lorenzi, M.; Amado, M.; Colombo, C. 1999. Desgaste real a campo de boquillas pulverizadoras hidráulicas tipo abanico plano y su efecto sobre la tecnología de aplicación de fitosanitarios. Parte II "La distribución" X Jornadas Fitosanitarias. San Salvador de Jujuy, Argentina. 1999.

Sarubbi, C.; López, V. 1999. Interacciones en el desgaste abrasivo estandarizado de boquillas pulverizadoras hidráulicas tipo abanico plano. III Congreso Chileno de Ingeniería Agrícola. Chillán, Chile. 1999

Spraying Systems Co. 1994. Teejet . Para la Agricultura y Horticultura. Catálogo 44M-E. p. 7.