

## CARACTERIZACION DE UN SISTEMA DE PULVERIZACIÓN CON GOTAS MUY FINAS (NIEBLA) DESTINADAS AL CONTROL DE POLVO EN GRANOS.

GERARDO MASÍA<sup>1</sup>, JULIO FIORINI<sup>2</sup>, CLAUDIA CURRÓ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Coordinador I&D, Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina. 54 11 4665 0495 / 0450 [gmasia@cniia.inta.gov.ar](mailto:gmasia@cniia.inta.gov.ar)

<sup>2</sup> Ingeniero Agrónomo, Investigador, Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup> Técnico en Producción Agropecuaria, Investigador, Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina.

Presentado en el  
XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2013  
04 a 08 de Agosto de 2013 - Fortaleza - CE, Brasil

**RESUMO:** Cuando los granos se manipulan mecánicamente se generan nubes de polvo provenientes de las partículas depositadas sobre su superficie. Las concentraciones de polvo en el aire constituyen un riesgo potencial, afectando la salud de las personas y el ambiente. Los métodos comunes para su control son los sistemas de aspiración y la aplicación de aditivos en base a aceite. También se ha empleado la pulverización con agua fraccionada en finas gotas para su control. Estos sistemas de niebla podrían ser un método alternativo eficaz. El objetivo del presente trabajo fue determinar el caudal real de dos boquillas y el alcance efectivo de la pluma de pulverización. El caudal se determinó por diferencia de peso entre el volumen erogado y el remanente del depósito. El alcance de la pluma de pulverización se cuantificó, sobre el mayor caudal, mediante el uso de tarjetas hidrosensibles. Los resultados muestran que el incremento del caudal no guarda relación directa con la presión. Del análisis de varianza efectuado sobre las coberturas logradas a 280 kPa de presión, surgen diferencias significativas las cuales evidencian que la pluma de pulverización generada con la boquilla TeeJet XR 11008 alcanza una distancia de 4,3 m, mientras que la correspondiente a la boquilla TeeJet TK 50678-10 SS no supera los 2,9 m.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pulverización, niebla, polvo, granos.

## CHARACTERIZATION OF A VERY FINE (FOG) SPRAYING SYSTEM FOR GRAIN DUST CONTROL.

**ABSTRACT:** When grains are mechanically manipulated dust clouds are generated from the particles deposited on its surface. Concentrations of dust in the air are a potential risk, affecting people's health as well as the environment. Most common methods for controlling this problem are suction systems and the spraying of oil based additives. Another method, which has also been used, consist on the spraying of water fractionated into fine droplets. These fog systems would be an effective alternative method. The aim of this study was to determine the real flow rate of two nozzles and the effective smoke plume of the spraying. The flow rate was determined by weight difference between the amount of water applied and the water left in the deposit. The smoke plume volume of the spraying was quantified on the maximum flow through the use of water-sensitive cards. The results show that the increase of the flow rate is not directly related to the pressure. The analysis of variance related to coverages achieved at 280 kPa of pressure showed statistical differences. These results prove that smoke plume generated with the spray nozzle TeeJet XR 11008 reaches a distance of 4.3 m, while the nozzle corresponding to the SS 50678-10 TeeJet TK does not exceed 2,9 m.

**KEYWORDS:** Spraying, Fog, Dust, Grain

## INTRODUÇÃO.

Cada vez que el grano se manipula mecánicamente se generan nubes de polvo provenientes principalmente de las partículas depositadas sobre su superficie.

Las altas concentraciones de polvo en el aire constituyen una molestia y un riesgo potencial para los trabajadores constituyendo una contaminación ambiental (COOPER y ALLEY, 1994). Al sedimentarse sobre equipos y maquinaria también puede actuar como combustible, ante un eventual incendio, o favorecer la proliferación de diversas plagas que lo utilizan como alimento.

El tamaño de las partículas de polvo generalmente varían entre 5 a más de 100 micrones (MARTIN, 1981). Estas partículas tienen velocidades de sedimentación relativamente bajas en el aire, que van desde 0,001 hasta 0,25 m.s<sup>-1</sup> (HINDS, 1982). En un área de recepción de granos, el movimiento del aire se forma en la medida que el grano va llenando la tolva, generando un flujo ascendente donde su magnitud depende de la altura y del caudal del grano enviado (COOPER y ARNOLD, 1995). Como caso extremo se puede señalar la alta capacidad de carga que poseen la terminales portuarias modernas, en donde el flujo de carga oscila entre 1000 a 1500 tn.h-1, generando grandes nubes de polvo (GARDEL, 1999).

La cantidad de polvo en el ambiente varía, principalmente, según el tipo de grano y su contenido de humedad. El maíz generalmente produce más polvo que el trigo. Mediante un lavado con alcohol, MARTIN y LAI (1978) encontraron en las muestras de maíz un promedio de 0,082% de polvo, mientras que las muestras de trigo arrojaron un promedio de 0,025%. CONVERSE y ECKHOFF (1989) observaron que la cantidad de polvo generado en un elevador de granos que operaba con maíz secado por medio de una mezcla de propano y aire caliente es más del doble comparado con un secado realizado con aire únicamente.

La geometría del depósito sobre el cual se vuelcan los granos parece adquirir cierta relevancia en la formación de polvo. Cuando la descarga se produce en un camión equipado con tolva prismática, el promedio de emisiones de polvo fue de 9,5 g.t-1, en el caso de trigo y 8,5 g.t-1 para maíz (SHAW et al, 1997). Para un camión con caja cerealera cúbica, la emisión media fue de 19,5 g.t-1 (KENKEL y NOYES, 1994).

Los métodos comunes de control del polvo son los sistemas neumáticos de aspiración y la aplicación de aditivos en base a aceite. Los primeros son eficaces en la reducción de polvo en puntos de transferencia de granos, sin embargo, requieren alto costo de capital y altos caudales de aire (MAINS, 1998). A su vez generan una gran cantidad de residuo de polvo de difícil manejo y eliminación. La adición de aceite al grano también es eficaz en la supresión de polvo. LAI et al. (1984) demostraron que la aplicación de aceite mineral en la boca del elevador reduce las emisiones de polvo en un 90%. Sin embargo, los aditivos de aceite podrían reducir los rendimientos en la molienda y aumentar los problemas en la clasificación (REID, 1987).

También se ha empleado la pulverización con agua para el control de polvo en minas y en carreteras (PAGE, 1982; JANKOWSKI et al, 1987; FORD et al, 1987; PAGE et al, 1994). Existen equipos comerciales de nebulización de agua para el control de polvo, que aseguran una buena eficiencia incrementando tan solo un 0,01% de humedad en el grano (1 kg agua cada 10.000 kg de grano). Estos sistemas de niebla podrían ser un método alternativo para el control de polvo. Sin embargo, su eficiencia no ha sido completamente documentada (BRABEC et al, 2004).

El objetivo del trabajo fue caracterizar un equipo de pulverización de agua destinado al control de polvo en granos, por medio de la determinación de los caudales de las boquillas y el alcance efectivo de la pluma de aplicación.

## MATERIAL E MÉTODOS:

Las determinaciones fueron llevadas a cabo en el laboratorio de protección de cultivos del Instituto de Ingeniería Rural de INTA Castelar. Se realizaron dos determinaciones, el caudal de las boquillas y el alcance efectivo de la pluma de aplicación. Para ello se empleó un equipo de aspersión constituido por una bomba de desplazamiento positivo, una llave manual reguladora de caudal, un manómetro con fondo de escala de 700 kPa y un depósito de agua de 15 l, el cual se colocó sobre una balanza electrónica con capacidad de 35 kg y resolución de 0,1 g. Los caudales de agua se calcularon por diferencia del contenido del depósito al inicio y al final de cada determinación durante el lapso predeterminado (un minuto). Esta variable fue mensurada con un cronómetro digital con precisión de centésimas de segundo. Sobre una barra se colocaron cinco picos marca TeeJet modelo AirJet distanciados a 0,35 m entre sí con un manómetro de 700 kPa de fondo de escala. En otra paralela, circulaba el aire que alimentaba los picos, en la cual el caudal del mismo fue regulado mediante una llave de diafragma que llevaba adosado un manómetro de idéntica escala. De esta forma se podía regular independientemente ambos fluidos (Figura 1). Debido al caudal de aire requerido por la barra cortapicos se fijó su presión en 180 kPa. El aire empleado en este tipo de pico cumple una doble función, generar una segunda ruptura de las gotas obtenidas en la boquilla y desplazar las mismas a una distancia mayor. De esta forma empleando caudales relativamente bajos se puede lograr gotas de tamaños finos y de mayor alcance.

El caudal de agua se registró como el total erogado por la barra de aplicación, conformada por cinco picos, a seis presiones de trabajo: 180, 200, 220, 240, 260 y 280 Kpa. Las boquillas ensayadas fueron de la marca TeeJet, modelo TK 50678-10 SS, abanico plano tipo espejo y XR 11008 abanico plano de rango extendido. Se contrastaron los caudales teóricos con los observados en el trabajo.

El alcance de la pluma de pulverización se determinó mediante el uso de tarjetas hidrosensibles. Las mismas fueron colocadas sobre un soporte de 3,5 m de largo a 0,10 m de separación entre sí, totalizando 20 tarjetas. Dicho soporte se fijó a una plataforma móvil que se fue acercando hacia las barras de pulverización hasta que la primera tarjeta quedara saturada por una gran cantidad de gotas (Figura 2). Así se determinó la distancia existente entre la barra de picos y la primera tarjeta. Luego se procedió a su escaneo para la contabilización del porcentaje de cobertura que determinó el alcance efectivo de la estela de pulverización. La altura de la barra porta pastillas al piso se fijó en 0,86 m mientras que el porta tarjetas se ubicó a 0,46 m. La presión de trabajo se fijó en 280 kPa, a la cual se obtuvo el mayor caudal estudiado. Se realizaron tres repeticiones en cada condición experimental y el método de análisis estadístico fue un análisis de varianza, utilizando la prueba de comparaciones múltiples de LSD con un nivel de significación del 5%.



FIGURAS 1 y 2. Barras de pulverización y plataforma móvil porta tarjetas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caudales de las boquillas. Los resultados se expresan en  $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  del total erogado por la barra de aspersión conformada por cinco boquillas. En las tablas 1 y 2 se pueden observar los caudales obtenidos con las diferentes boquillas.

TABLA 1. Caudales de agua, expresados en  $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  obtenidos con la boquilla TeeJet TK 50678-10 SS.

Presión (kPa)	180	200	220	240	260	280
Repetición 1	1500,2	1801,5	1931,5	1990	2091,6	2308,6
Repetición 2	1465,7	1550,9	1816,7	1978,6	2011,4	2252,7
Repetición 3	1515,4	1620,3	1830,1	1940,5	2093,5	2302,9
Repetición 4	1535,5	1581,2	1740,8	2020,8	2142,9	2301,5
Repetición 5	1510,7	1739,8	1840,8	2002,5	2151,8	2295,4
Media	1505,5	1658,7	1831,9	1986,5	2098,2	2292,2

TABLA 2. Caudales de agua, expresados en  $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  obtenidos con la boquilla TeeJet XR 11008.

Presión (kPa)	180	200	220	240	260	280
Repetición 1	1145,4	1391,3	1461,5	1619,3	1761,3	1891,2
Repetición 2	1152,4	1979,8	1388,9	1671,5	1938,5	1900,2
Repetición 3	1121	1411,4	1511,1	1611	1859,4	1929,1
Repetición 4	1119,7	1251,8	1469,8	1703,7	1891,4	1972,6
Repetición 5	1140,5	1419,4	1441,7	1708,2	2021,7	2031,4
Media	1135,8	1490,7	1454,6	1662,7	1894,5	1944,9

La relación que existe entre la presión de trabajo y el caudal de las boquillas hidráulicas se rige por la ecuación (1).

$$q_1 * (q_2)^{-1} = \sqrt{p_1} * (\sqrt{p_2})^{-1} \quad (1)$$

En donde,

$q_1$  – caudal de la boquilla a la presión 1.

$q_2$  – caudal de la boquilla a la presión 2.

$p_1$  – presión de trabajo 1

$p_2$  – presión de trabajo 2

Al aplicar la ecuación (1) a las presiones de trabajo empleadas en el presente se obtienen los caudales teóricos. En la tabla 3 se presentan dichos valores en conjunto con los caudales medios reales obtenidos en las determinaciones.

TABLA 3. Caudales teóricos y medios reales obtenidos con las boquillas TeeJet TK 50678-10 SS y XR 11008.

Presión (kPa)	Boquilla TK		Boquilla XR 11008	
	Caudal Teórico (cm <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> )	Caudal Real (cm <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> )	Caudal Teórico (cm <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> )	Caudal Real (cm <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> )
180	1465,4	1505,5	984,0	1138,8
200	1586,4	1658,7	1195,3	1490,7
220	1663,8	1831,9	1253,7	1454,6
240	1737,8	1986,5	1309,4	1662,7
260	1808,8	2098,2	1362,9	1894,5
280	1877,1	2292,2	1414,3	1944,9

Los valores de la tabla 3 se encuentran graficados en las figuras 3 y 4.

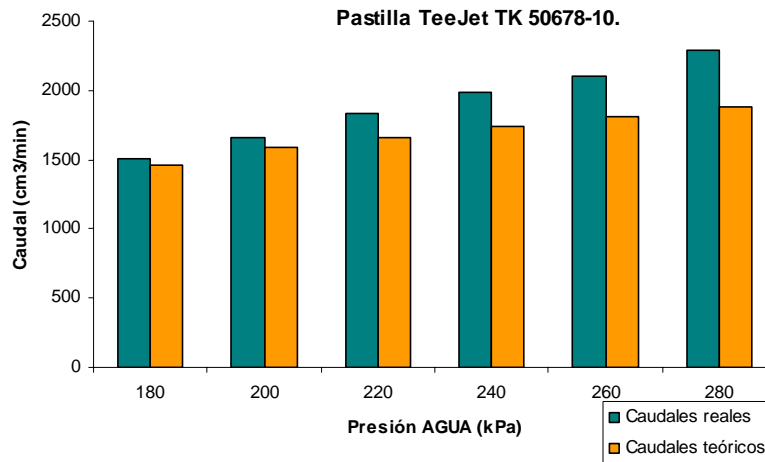


FIGURA 3. Caudales teóricos y medios reales obtenidos con la boquilla TeeJet TK 50678-10 SS.

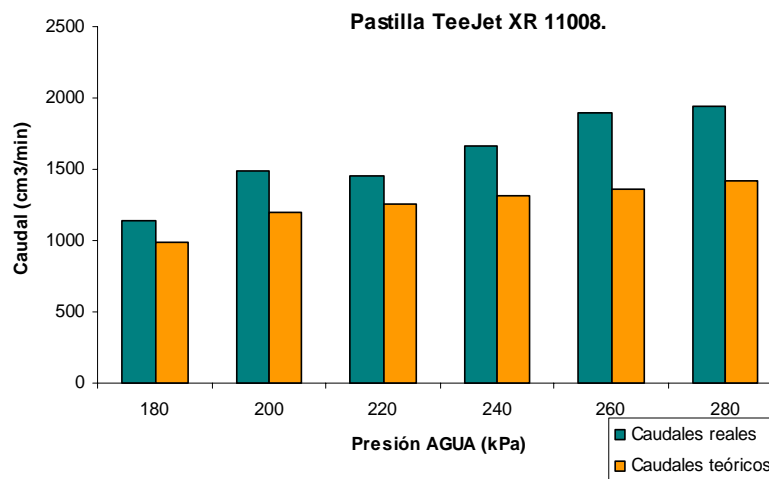


FIGURA 4. Caudales teóricos y medios reales obtenidos con la boquilla TeeJet XR 11008.

Tal como puede apreciarse los valores del caudal obtenido difieren de los caudales teóricos calculados siempre con caudales mayores para todas las situaciones. Esto puede deberse a la presencia del aire a la presión estudiada modificando, no solo el tamaño de las gotas, sino también el gasto de las boquillas (SPRAYING SYSTEMS CO. 1995). Dicho incremento en los caudales reales deberá tenerse en cuenta en el momento del diseño y calibración del equipo aspersor.

BAZZANELLA et al (1986) reportan disminuciones en el polvo atmosférico generado en minas de carbón del orden del 60 % empleando un número mayor de boquillas de caudales bajos. Utilizando las boquillas estudiadas y considerando un flujo de carga de granos de  $1500 \text{ t.h}^{-1}$  (GARDEL, 1999) el incremento en la humedad del grano despachado sería exigua ( $78 \text{ cm}^3.\text{t}^{-1}$  para la boquilla TeeJet XR 11008 y  $92 \text{ cm}^3.\text{t}^{-1}$  para la boquilla TeeJet TK 50678-10 SS) lo que permitiría incrementar su número a fin de lograr una mayor eficiencia.

#### Alcance efectivo de la pluma de aplicación.

Las determinaciones se realizaron sobre el caudal mayor, es decir el obtenido a 280 kPa de presión.

El análisis de varianza efectuado surgen diferencias altamente significativas para ambas boquillas.

En la prueba de comparaciones múltiples se pueden detectar varios grupos homogéneos. Al analizar el comportamiento de la boquilla TeeJet TK 50678-10 SS se puede observar que las cuatro primeras tarjetas hidrosensibles, ubicadas entre los 2,6 a 2,9 metros, obtuvieron diferentes porcentajes de cobertura, con valores del 23,5 al 6,9 %. A partir del quinto punto de muestreo, correspondiente a la distancia de 3,0 metros, la cobertura disminuye sensiblemente hasta un 3,9 %, diferenciándose estadísticamente del punto anterior (Figura 5).

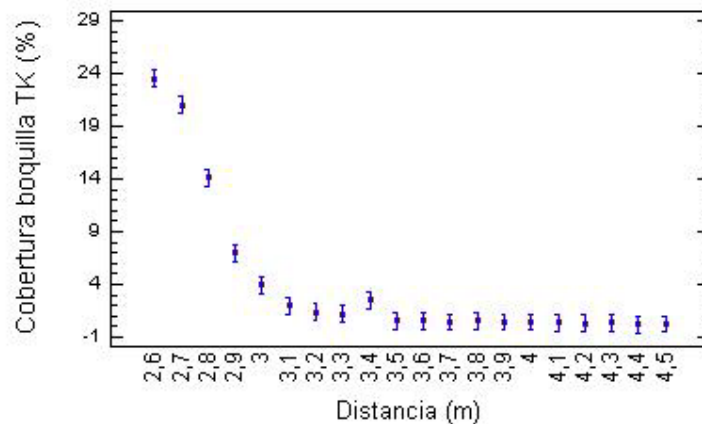


FIGURA 5. Medias e intervalos de confianza de la cobertura obtenida con la boquilla TeeJet TK 50678-10 SS.

La boquilla TeeJet XR 11008 logró valores de porcentajes de cobertura en las ocho primeras tarjetas hidrosensibles, correspondientes a la distancia de 3,6 a 4,3 metros, que oscilan entre el 23,5 al 6,5 % respectivamente. En el punto de medición siguiente, 4,4 metros, los valores de cobertura disminuyen a 3,2 % diferenciándose estadísticamente del punto anterior (Figura 6).

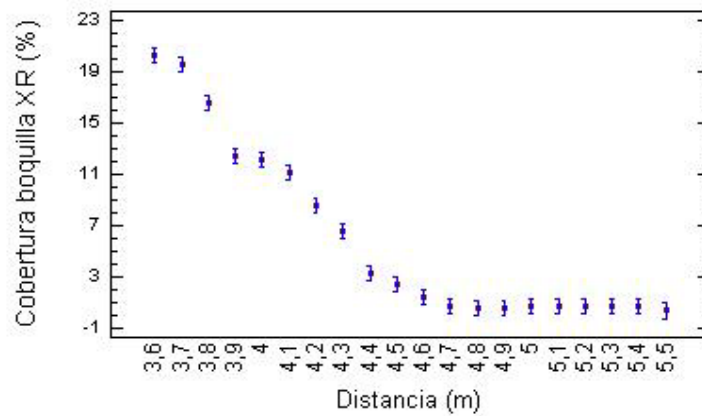


FIGURA 6. Medias e intervalos de confianza de la cobertura obtenida con la boquilla TeeJet XR 11008.

Las diferencias observadas en el alcance efectivo de la pluma de pulverización pueden deberse al tamaño de las gotas generadas por las boquillas. Si bien la corriente de aire produce una segunda ruptura de las gotas formadas, ambas boquillas, *per se*, poseen diferentes métodos de formación de gotas, mientras que la TeeJet TK 50678-10 SS genera la ruptura de la vena líquida por impacto (boquilla tipo espejo) dando lugar a gotas extremadamente gruesas (BCPC, 1985), la TeeJet XR 11008 produce gotas de menor tamaño, pudiendo ser arrastradas por el flujo de aire del sistema a una distancia mayor.

BRABEC et al (2004) obtuvieron reducciones en las emisiones de polvo entre el 60% al 84% para granos de maíz y de 35% a 73% para granos de trigo con tamaños de gota de 12,5 a 21 micrones, evidenciando que los diámetros menores logran una mayor eficiencia. En investigaciones futuras deberá evaluarse el grado de efectividad en la supresión de polvo proveniente de granos del equipo aquí propuesto.

## CONCLUSÕES

El incremento del caudal de las boquillas no guarda la relación teórica esperada con la presión.

Las boquillas evaluadas mostraron diferentes alcances efectivos de la pluma de pulverización a las mismas presiones de trabajo.

**AGRADECIMENTOS:** Al Dr. Oscar Pozzolo por sus valiosos aportes a este trabajo.

## REFERÊNCIAS

BAZZANELLA A, BECKER H, KEMPER F. Staubbekämpfung in abbaubetrieben mit schneidender kohलगewinning. Gluckauf 122(11):728-735. Also available in translation as: Dust suppression in shearer faces, Gluckauf Translation 122(11):204-207. 1986.

BCPC (British Crop Protection Council). Spray classifications. A Sub-Committee of the Technical Committee of the BCPC. 1985.

BRABEC, D. L., R. G. MAGHIRANG, M. E. CASADA. Effectiveness of a high-pressure water-fogging system in controlling dust emissions at grain receiving. Transactions of the ASAE 47(2): 505-511. 2004.

CONVERSE, H. H., Y S. R. ECKHOFF. Corn dust emissions with repeated elevator transfers after selected drying treatments. Trans. ASAE 32(6): 2103-2107. 1989.

- COOPER, P., Y P. C. ARNOLD. Air entrainment and dust generation from a falling stream of bulk material. *KONA Powder and Particle* 13: 125–134. 1995.
- FORD, V. H. W., T. BRIERLEY, D. J. BROOKS. Water-powered extraction systems for dust control on coalface production machines. *Ann. Occup. Hygiene* 31(2): 147–160. 1987.
- HINDS, W. C. *Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*. New York, N.Y.: John Wiley and Sons. 1982.
- JANKOWSKI, R. A., N. I. JAYARMAN, C. A. BABBITT. Water spray systems for reducing the quartz dust exposure of the continuous miner operator. In *Proc. 3rd Mine Ventilation Symposium*, 605–611. Littleton, Colo.: Society of Mining Engineers. 1987.
- KENKEL, P., Y R. NOYES. OSU Grain elevator dust emission study. Publication CR–1108. Stillwater, Okla.: Oklahoma Cooperative Extension Service. 1994.
- LAI, F. S., C. R. MARTIN, B. S. MILLER. Examining the use of additives to control grain dust in a commercial grain elevator. ASAE Paper No. 843575. St. Joseph, Mich.: ASAE. 1984.
- MAINS, D. G. How to balance a dust system? Paper presented at the GEAPS Plains States Regional Meeting. Minneapolis, Minn.: Grain Elevator and Processing Society. 1998.
- MARTIN, C. R., and F. S. LAI. Measurement of grain dustiness. *Cereal Chem.* 55(5): 779–792. 1978.
- MARTIN, C. M.. Characterization of grain dust properties. *Trans. ASAE* 24(3): 738–742. 1981.
- PAGE, S. J., T. Mal, J. C. Volkwein. Unique water spray system improves exhaust face ventilation and reduces exposure to respirable dust on continuous miners in laboratory test. *J. Mine Ventilation Society of South Africa* (Oct.): 196–205. 1994.
- PAGE, S. J. An evaluation of three wet dust control techniques for face drills. USBM Report No. 8596. Pittsburgh, Pa.: U.S. Bureau of Mines. 1982.
- REID, R. G. Dust control: Additive update. In *Proc. GEAPS58th Int. Technical Conference*, 180–193. Minneapolis, Minn.: Grain Elevator and Processing Society. 1987.
- SHAW, B. W., P. P. BUHARIVALA, C. B. PARNELL, M. A. DEMNY. Emission factors for grain receiving and feed loading operations at feed mills. *Trans. ASAE* 41(3): 757–765. 1997.
- SPRAYING SYSTEMS CO. Data Sheet 49880<sup>a</sup>. Airjet nozzle application rates and droplet size category information for #62 orifice (metric). 1995.