

UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN TRANSVERSAL DE UNA FERTILIZADORA PENDULAR

M.C. TOURN; E.L. SOZA y J.C. POLLACINO¹

Recibido: 12/08/02

Aceptado: 04/03/03

RESUMEN

Se evaluó la uniformidad de distribución transversal de una fertilizadora pendular en la aplicación de tres materiales: urea, superfosfato y cal. Los cuantificadores utilizados fueron el coeficiente de variación y los porcentajes de desvío con respecto a la media en el patrón con superposición y la oblicuidad del patrón sin superposición. Los resultados obtenidos muestran valores de coeficiente de variación inferiores al 15%, luego de optimizar el patrón de superposición, en los tres materiales. Solamente en cal se alcanzaron magnitudes comprendidas entre el 80 y 120% del promedio recolectado. En todos los casos la máquina produjo mayor descarga de material hacia la izquierda de la franja cubierta. Se concluye sobre la necesidad de considerar la superposición necesaria durante la regulación de la máquina, así como la observación de su cumplimiento durante la operación.

Palabras clave. Distribución de fertilizantes sólidos; uniformidad de distribución transversal; fertilizadora pendular.

DISTRIBUTION PATTERN OF A PENDULUM SPREADER

SUMMARY

A pendulum spreader was evaluated through pattern testing with three materials: urea, superphosphate, and lime. The criteria used was the coefficient of variation and the extent of the extremes in the overlapped pattern, and level of skewing without any pattern adjustment. CVs not exceeded 15% in optimal overlapped pattern; values between 80 and 120% of the mean application rate was obtained only with lime. The spreader skewed to left in every test run. It's concluded that uneven distribution was obtained if overlapped pattern was not considered and maintained during operation.

Key words. Solid fertilizer distribution; pattern uniformity; pendulum spreader.

INTRODUCCIÓN

La distribución precisa y uniforme de fertilizantes es un requisito básico para su utilización. La aplicación de densidades inferiores o superiores a la recomendada reducen los rendimientos (Tisdale *et al.*, 1993), al igual que la variabilidad espacial de la dosis aplicada (Jensen y Pesek, 1962). Consecuentemente, el logro de una distribución transversal uniforme constituye un objetivo de diseño en fertilizadoras, circunstancia que sostiene la utilización del coeficiente de variación como su cuantificador (Sogaard y Kierkegard, 1994).

Las fertilizadoras centrífugas de discos alcanzaron gran difusión debido a su bajo costo, simplicidad de operación y mantenimiento, y gran ancho de labor; esta última resulta una característica sustancial por el efecto directo que produce sobre la capacidad de trabajo (ha h^{-1}). Como contrapartida, la distribución transversal es desuniforme (Davis y Rice, 1973). Broder (1983), al ensayar doce máquinas de este tipo con dos fertilizantes diferentes, informa un valor medio del coeficiente de variación de 27%; además en nueve de las veintitres evaluaciones efectuadas dicho indicador osciló entre el 30 y 44%.

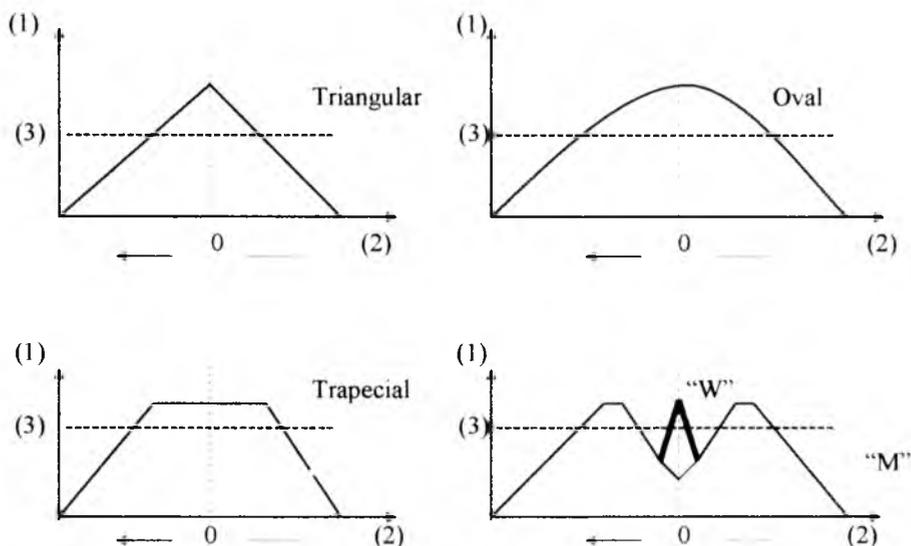
¹Cátedra de Maquinaria Agrícola, FAUBA. Av. San Martín 4453. (C1417DSE) Buenos Aires, Argentina. mtourn@agro.uba.ar

La aplicación puede presentar diferentes patrones de distribución: triangular, oval, trapezoidal, en "M" o "W" (Figura 1), en los que la mayor descarga de fertilizante en las proximidades del centro de la franja cubierta, constituye una característica común (Davis y Rice, *op. cit.*). Estas determinan la necesidad de superponer las sucesivas pasadas de la máquina en procura de uniformizar su distribución transversal (Popp, 1985).

Con la utilización del coeficiente de variación como indicador, y el propósito de realizar una evaluación cualitativa de la distribución del fertilizante, se propone la siguiente clasificación: 0-5% muy bueno, 5-10% bueno, 10-15% suficiente, 15-20% insuficiente y mayor de 20% inaceptable (Pezzi y Bovolenta, 2001). No obstante, si bien una magnitud inferior al 10% es deseable pero difícil de obtener en condiciones de campo, valores menores al 20% se consideran generalmente aceptables (Parish, 1987). Otros criterios que se adicionan son: el porcentaje de tolerancia con respecto a la media del patrón de superposición y la ausencia de oblicuidad en el patrón sin superposición. Una buena aplicación debe permitir, en la totalidad de su ancho de labor, descargas comprendidas entre el 80

y 120% del valor promedio; la ausencia de oblicuidad se verifica cuando la aplicación se reparte por mitades a derecha e izquierda del centro del patrón (Parish, *ibid.*).

Las fertilizadoras pendulares constituyen una variante dentro de las fertilizadoras centrífugas en las que la distribución del material se realiza mediante un tubo dotado de movimiento angular, en lugar de hacerlo con uno o dos discos provistos de movimiento circular. La caracterización del desempeño de las fertilizadoras pendulares muestra antecedentes disímiles, ante similar protocolo de ensayo (ASAE, 1988). Parish y Bergeron (1991), trabajando con tres fertilizantes comerciales diferentes y cal, concluyen la ausencia de oblicuidad y que la superposición en el patrón de distribución es innecesaria. Coates (1992), al ensayar otra máquina distribuyendo urea, considera inaceptable el desempeño del sistema; dos tercios de los coeficientes de variación obtenidos excedieron el 20% y los porcentajes con respecto a la media frecuentemente superaron el 120% o resultaron inferiores al 80%. En otro trabajo, Parish (1995) verifica que la oblicuidad en fertilizadoras pendulares es leve pero consistente, aunque concluye una menor incidencia en estas con relación a las centrífugas de discos.



- (1): densidad de aplicación ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)
 (2): distancia desde el centro de la máquina (m)
 (3): media ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

FIGURA 1. Patrones de distribución transversal de fertilizadoras centrífugas (Adaptado de Glover y Baird, 1973).

Si bien estos antecedentes muestran una controversia, es posible inferir que el desempeño de las fertilizadoras pendulares depende de las características de diseño y/o fabricación. La obtención de información adicional contribuirá a la dilucidación del problema, siendo este el objetivo del trabajo que se presenta.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se efectuó en un establecimiento agropecuario de la localidad de Ayacucho, provincia de Buenos Aires, ubicada a 58° al oeste de Greenwich entre los paralelos 37° y 38° de latitud sur, en el mes de setiembre de 2001. Mediante una fertilizadora pendular Vicon PS 402, se distribuyeron tres materiales con diferente forma de presentación: urea perlada (18-46-0), superfosfato triple granulado (0-46-0) y cal (carbonato de calcio, 40% de Ca) como enmienda pulverulenta. La máquina dispone de tres posibilidades de regulación del ancho de labor; de acuerdo a lo aconsejado por su fabricante se seleccionaron para urea y superfosfato la posición máxima y para cal la posición mínima.

Sobre una franja rectangular de terreno agrícola de 1,10 m de largo y 17 m de ancho se cavaron dos fosas de 0,25 m de profundidad, 1,10 m de largo y 7,25 m de ancho, partiendo desde los extremos hacia el centro. En la franja central remanente de 2,5 m de ancho se realizó solamente una abertura central de 0,30 m de base e idéntica profundidad. Esto respondió a la necesidad de dejar dos anchas pasarelas centrales, para el pasaje del equipo, evitar el desmoronamiento de las paredes de las fosas laterales y prevenir el riesgo de accidentes. Dentro de las fosas laterales, a 0,20 m de profundidad, se dispuso alternadamente un total de 30 receptores de material plástico (15 de cada lado) de 1 m de longitud y 0,25 m de ancho. En la abertura central se colocó solamente uno. La superficie de cada receptor (0,25 m²) y su disposición alternada, dejando una superficie similar a la del receptor entre cada uno de ellos, se determinó para dar cumplimiento a lo establecido por el protocolo de ensayo (ASAE, 1988).

Mediante el pasaje del equipo sobre el banco de ensayo, a una velocidad de 7,5 km h⁻¹ y manteniendo el régimen normalizado de la toma de potencia, se realizó la averiguación del ancho de cobertura. Contando con la densidad de fertilización (150 kg ha⁻¹ para urea, 300 kg ha⁻¹ para superfosfato y 400 kg ha⁻¹ para cal) se calculó la dosis correspondiente (kg min⁻¹), para luego proceder a su verificación en condición estacionaria previo retiro del tubo distribuidor.

Los diagramas de distribución transversal sin superposición, así como sus coeficientes de variación, desvíos

con respecto a la media y oblicuidad, provinieron de la recolección del material depositado en los recipientes colectores luego de un pasaje del equipo. Parish (1999, 2000a) demostró la ausencia de diferencias en los diagramas de distribución obtenidos mediante una o múltiples pasadas sobre los recipientes colectores, hecho que motivó la adopción del citado criterio. En todos los casos el tractor inició su trayectoria con la fertilizadora esparciendo el producto 25 m antes del banco y continuó haciéndolo por 20 m más luego de superarlo. Posteriormente, se procedió al cálculo de la totalidad de los patrones de distribución posibilitados por el ensayo, mediante la superposición de las pesadas provenientes de los recipientes colectores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se muestran los diagramas de distribución sin superposición de los tres materiales. Urea y superfosfato presentan un patrón en "M", el de cal responde a un formato triangular. Parish y Bergeron (1991) obtuvieron formatos en "W" y "M" para urea y cal, respectivamente, mientras que la representación gráfica de la distribución transversal de urea hallada por Coates (1992) coincide con la del presente ensayo.

La desuniformidad de la distribución transversal en las pasadas superpuestas guarda estrecha relación con el diagrama original (sin superposición). En ese sentido, el patrón triangular presenta menor sensibilidad a fallas en la determinación del ancho de labor efectivo y a errores de conducción en la operación; por el contrario, distribuciones en "M" o "W" son más sensibles a estos inconvenientes por el riesgo de superposición de los picos de descarga (Glover

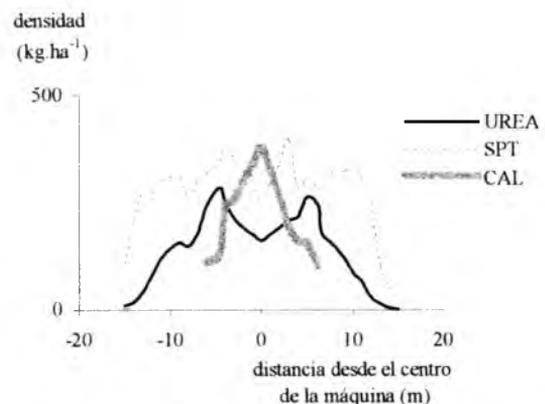


FIGURA 2. Distribución transversal sin superposición.

y Baird, 1973). La Figura 3 muestra la variabilidad de la distribución transversal en función de la superposición, para los tres materiales. En coincidencia con Glover y Baird, se observa que cambios moderados en el ancho de labor efectivo no afectan en gran medida al coeficiente de variación en cal (distribución triangular), pero sí en urea y superfosfato (distribución en "M").

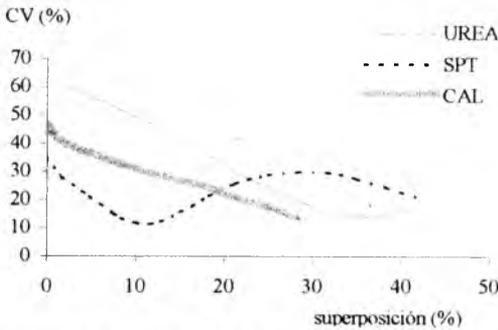


FIGURA 3. Variabilidad de la distribución transversal en función de la superposición.

Ante una disminución del ancho de labor teórico del 35% para urea, 29,16% en cal y 11,33% en superfosfato, el coeficiente de variación se redujo 79, 71 y 66%, respectivamente (Cuadro N° 1). El patrón de superposición óptimo se alcanzó, considerando los tres materiales, en un rango de coeficiente de variación de 11,66 a 14,05%. Si bien esta cuantificación permite calificar a la distribución como aceptable, cabe destacar que la superposición implica un incremento en la densidad de fertilización (kg ha⁻¹), circunstancia particularmente destacable en

CUADRO N° 1. Anchos de labor (Al), superposición (Sup), coeficiente de variación (CV) y desvíos máximos (Max) y mínimos (Min) con respecto a la media.

Material distribuido	Al (m)	Sup (%)	CV (%)	Max (%)	Min (%)
Urea	15,00	-----	65,74	211,66	1,18
	9,75	35,00	14,05	126,18	70,82
Superfosfato	15,00	-----	34,46	147,33	10,65
	13,25	11,33	11,66	124,44	81,18
Cal	6,00	-----	46,40	198,12	52,40
	4,25	29,16	13,23	113,54	84,55

los casos de urea y cal. Además, solamente en este material se observó el cumplimiento del criterio de tolerancia con respecto a la media.

La cuantificación de la oblicuidad, expresada como porcentaje de material distribuido a izquierda y derecha del centro de la máquina, resultó 54/46 en urea, 57/43 en superfosfato y 65/35 para cal. Parish y Bergeron (1991) obtuvieron 47/53 en urea y 52/48 en cal. Parish (1995) trabajando con tres tamaños diferentes de material inerte, encuentra 52/48 para los dos mayores y 58/42 en el menor. Los resultados propios y citados sugieren una mayor distribución hacia la izquierda de la franja cubierta (oblicuidad izquierda); solamente en un caso se produjo el efecto inverso. La validación de esta tendencia implicaría la imposibilidad de operar sobre el terreno mediante trayectorias en ida y vuelta, obligando a la conducción del equipo siguiendo un patrón en redondo.

La simplicidad de operación de las fertilizadoras centrífugas (Davis y Rice, 1973) constituye una característica discutible; la superposición necesaria debe determinarse en virtud del material a distribuir y mantenerse durante las sucesivas pasadas de la máquina. El incremento de la densidad de fertilización producto de la superposición es de difícil cuantificación, ya que la metodología de determinación de la distribución transversal y su posterior transformación en kg.ha⁻¹, no puede aplicarse para el cálculo de la mencionada densidad de fertilización. Parish (2000b) menciona errores de hasta el 118% en su determinación mediante dicho procedimiento. La conveniencia de trabajar con estas máquinas adoptando el criterio de regularla para una determinada densidad de fertilización, para luego reducir esta a la mitad y superponer un 50% de su ancho de labor teórico (Parish, 1986), implica la necesidad de información adicional sobre los efectos de esta tecnología de aplicación de fertilizantes sólidos sobre los rendimientos.

CONCLUSIONES

El logro de una distribución transversal uniforme requiere la determinación previa de la superposición necesaria para su cumplimiento, así como el seguimiento de su mantenimiento durante la operación.

El manejo diferencial del sistema agrícola, de acuerdo a su variabilidad espacial y temporal, plantea un interrogante sobre la utilización de máquinas para la aplicación de fertilizantes, con características como la ensayada.

BIBLIOGRAFÍA

- ASAE Standards 35 th Ed. 1988. S341.2 Procedure for measuring distribution uniformity and calibrating granular broadcast spreaders. St Joseph, Mi: ASAE.
- BRODER, M.F. 1983. Performance testing of fertilizer application equipment. *ASAE Paper* 83-1503. St Joseph, Mi.
- COATES, W. 1992. Performance evaluation of a pendulum spreader. *Applied Engineering in Agriculture*, 8 (3): 285-288.
- DAVIS, J.B. and C.E RICE. 1973. Distribution of granular fertilizer and wheat seed by centrifugal distributors. *Transactions of the ASAE*, 16 (5): 867-868.
- GLOVER, J and J. BAIRD. 1973. Performance of spinner type fertilizer spreaders. *Transactions of the ASAE*, 16 (1): 48-51.
- JENSEN, D. and J. PESEK. 1962. Inefficiency of fertilizer use resulting from non-uniform spatial distribution. II: Yield losses under selected distribution patterns. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26: 174-178.
- PARISH, R.L. 1986. Evaluation of two methods of fertilizer spreader pattern correction. *Transactions of the ASAE*, 29 (2): 370-373.
- PARISH, R.L. 1987. A computer program for spreader pattern analysis. *Applied Engineering in Agriculture*. 3 (1): 14-16.
- PARISH, R.L. and P.E. BERGERON. 1991. Field and laboratory study of a pendulum-action spreader. *Applied Engineering in Agriculture*, 3 (1): 14-16.
- PARISH, R.L. (1995). Pattern skewing with a pendulum spreader. *Applied Engineering in Agriculture*, 11 (4): 511-512.
- PARISH, R.L. (1999). The effect of multiple passes on spreader pattern test results. *Applied Engineering in Agriculture*, 15 (6): 643-645.
- PARISH, R.L. (2000a). Ramifications of method of selecting effective swath width. *Applied Engineering in Agriculture*, 16 (5): 493-495.
- PARISH, R.L. (2000b). Spreader rate determination from pattern tests compared with rate calibration. *Applied Engineering in Agriculture*, 16 (2): 119-120.
- PEZZI, F. e S. BOVOLENTA. 2001. Prove di distribuzione a pieno campo e localizzata di fertilizzanti organici. *Riv. di Ing. Agr.* 32 (3): 129-138.
- POPP, T. 1985. La importancia de la calidad del fertilizante para la aplicación con fertilizadoras. BASF. Reportes Agrícolas. Ludwigshafen. Alemania 23 pp.
- SOGAARD, H.T. and P. KIERKEGAARD. 1994. Yield reduction resulting from uneven fertilizer distribution. *Transactions of the ASAE*, 37 (6): 1749-1752.
- TISDALE, S.L.; W.L. NELSON; J.K. BEATON; and J.L. HAVLIN. 1993. Fundamentals of fertilizer application. En: *Soil fertility and fertilizers*, chapter 12, pp.462-510. MacMillan Pub. Co. N.Y.