

# Características físicas de los fertilizantes y calibración de fertilizadoras

Walter Carciochi<sup>1,2,\*</sup>, y Santiago Tourn<sup>2,\*</sup>

- *La aplicación de fertilizantes y enmiendas son prácticas cada vez más frecuentes y necesarias.*
- *A la hora de aplicar estos productos surge la necesidad de conocer sus características físicas, y de calibrar adecuadamente la maquinaria, en pos de lograr una aplicación de calidad, efectiva y eficiente.*
- *Se brindan una serie de pautas y ejemplos de cómo mejorar la calidad de aplicación con maquinarias de uso común en la región.*

## Introducción

La intensificación de los sistemas productivos actuales generó un incremento en el uso de recursos e insumos. En este contexto, la aplicación de fertilizantes y enmiendas, son prácticas cada vez más frecuentes, lo que genera la necesidad de seguir realizando estudios para asegurar su adecuada aplicación.

La calidad de aplicación de los fertilizantes se ve afectada por numerosas variables. Se asume que, aproximadamente, una tercera parte de la misma es determinada por el operador, otra por el equipo fertilizador y otra por las características del fertilizante. La mayoría de las máquinas aplicadoras de enmiendas y fertilizantes sólidos granulados se caracterizan por aplicar los mismos de manera desuniforme en el suelo, obligando a realizar superposiciones entre pasadas sucesivas para uniformizar la aplicación. La falta de calibración de las fertilizadoras lleva al empleo de anchos de labor inadecuados que generan la aplicación de cantidades excesivas de fertilizantes en una parte del lote y muy bajas cantidades en otras zonas. Esto produce pérdidas de productividad, afectando económicamente al sistema.

Los objetivos del siguiente trabajo son:

- 1) Realizar una revisión y presentar datos locales sobre las propiedades físicas de los fertilizantes y enmiendas más utilizados.
- 2) Detallar los principales aspectos a contemplar para la calibración de fertilizadoras.
- 3) Presentar resultados de evaluaciones de distribución de algunos fertilizantes con máquinas de uso común en la región.

## Propiedades de los fertilizantes

A la hora de elegir un fertilizante o enmienda deben considerarse ciertas propiedades de los mismos que hacen a la calidad de su aplicación. Entre ellas pueden mencionarse:

## Tamaño de partícula

Este es el principal factor que afecta la distribución de los fertilizantes sólidos y enmiendas. Las partículas más grandes son arrojadas por el distribuidor a una mayor distancia, en comparación con las más pequeñas (Yule, 2011). Esto es así porque la fuerza centrífuga sobre las partículas es proporcional a la masa de las mismas (Morsy et al., 2012). Como ejemplo, puede mencionarse un estudio realizado por Broder y Balay (1983), donde gránulos de urea (46-0-0) de 4.7 mm de diámetro alcanzaron una distancia de dispersión de 20 m, mientras que aquellos de 1.7 mm sólo alcanzaron una distancia de 10 m. Asimismo, Hofstee y Huisman (1990) recomiendan remover las partículas menores a 1 mm, ya que no solo disminuyen el ancho de labor, sino que también incrementan la desuniformidad de la aplicación del producto sobre el terreno.

Comúnmente el tamaño de partícula es determinado por el Número Guía de Tamaño (SGN, por sus siglas en inglés "Size Guide Number"). El SGN se calcula como el tamaño de partícula en mm al cual se retiene el 50% de las partículas (mediana), multiplicado por 100 y redondeado al múltiplo de cinco más cercano (Fertilizer Manual, 1998). Como ejemplo, si se retiene el 50% de un fertilizante en el tamiz de 3.18 mm, entonces su SGN es de 320. En la **Tabla 1** se muestra el SGN de distintos fertilizantes y de distintas partidas de urea granulada y fosfato monoamónico (MAP, 15-52-0) comercializadas por una empresa de la región pampeana argentina. Cabe destacar la variabilidad en el SGN entre fertilizantes, e incluso entre partidas de un mismo fertilizante.

Conocer el SGN de los fertilizantes es de fundamental importancia a la hora de evaluar su aptitud para el mezclado físico. Fertilizantes con diferencias considerables en granulometría, responderán en forma diferencial a las fuerzas y acciones mecánicas a las que serán sometidos durante el mezclado, almacenamiento, transporte y aplicación, y presentarán tendencia a la segregación de las partículas. La mayoría

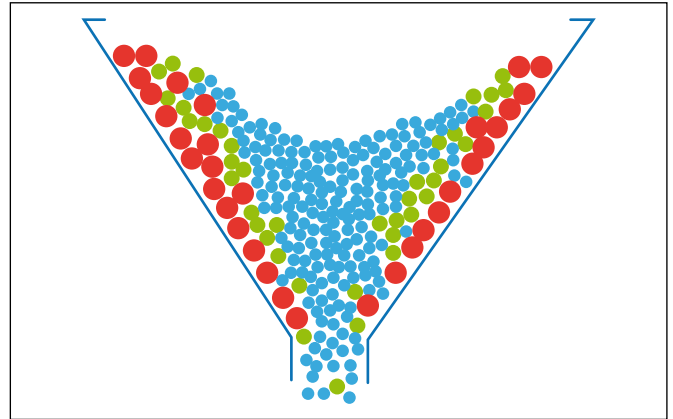
<sup>1</sup> CONICET

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Unidad Integrada Balcarce INTA-FCA

\* Autor de contacto. Correo electrónico: carciochi.walter@inta.gov.ar, tourn.santiago@inta.gov.ar

**Tabla 1. Número Guía de Tamaño (SGN) de distintos fertilizantes granulados. Letras minúsculas distintas entre partidas de fosfato monoamónico, y mayúsculas entre partidas de urea, indican diferencias significativas según test LSD (5%). Fuente: Datos propios.**

Fertilizante	SGN
Sulfato de amonio	400
Sulfato de calcio (yeso)	340
Carbonato de calcio y magnesio (dolomita)	310
Superfosfato simple	260
Fosfato monoamónico 1	340 a
Fosfato monoamónico 2	310 b
Urea 1	285 A
Urea 2	265 B
Urea 3	250 B



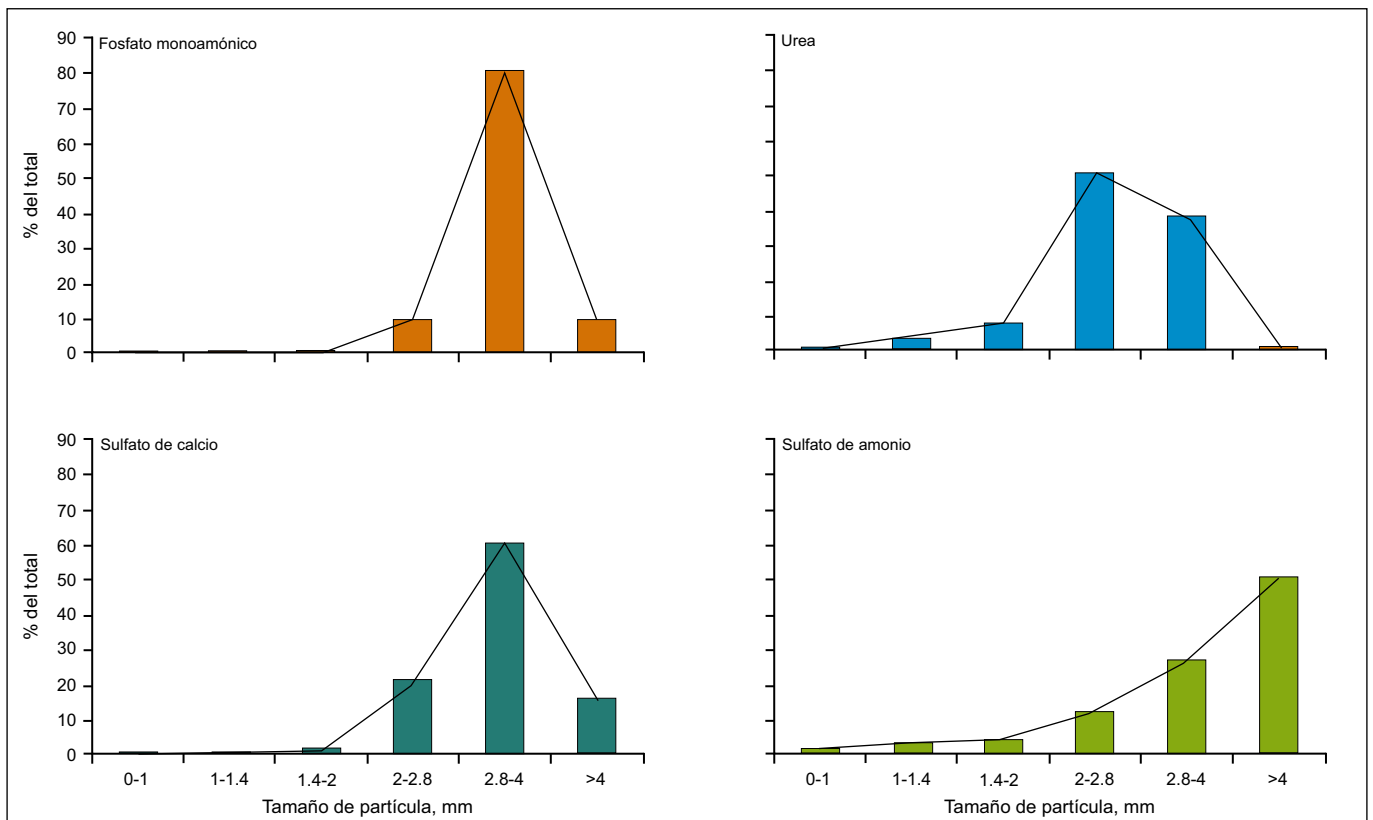
**Figura 1. Segregación del fertilizante dentro de la tolva de la fertilizadora.**

de las partículas más pequeñas tienden a acumularse en la parte central y superior de la pila de almacenamiento, mientras que las partículas más grandes, lo hacen en la base y en la parte externa de la pila. La misma situación se da dentro de las tolvas (**Figura 1**), debido a las vibraciones producidas durante el transporte del fertilizante a granel.

**Tabla 2. Compatibilidad de fertilizantes según Número Guía de Tamaño (SGN). Fuente: Fertilizer Manual, 1998.**

Diferencia en SGN	Compatibilidad esperada
0-10 %	Compatible
11-20 %	Compatibilidad moderada
>20 %	Incompatible

Una vez calculado el SGN de cada fertilizante de la mezcla, se comparan los valores y se determina si los mismos se encuentran dentro de los límites de compatibilidad (**Tabla 2**). Como ejemplo, y en función a los valores de la **Tabla 1**, puede mencionarse que el sulfato de calcio (SGN = 340) y la urea de la partida 3 (SGN = 250) no pueden mezclarse ya que la diferencia entre sus SGN es mayor al 20%.



**Figura 2. Distribución del tamaño de partículas para distintos fertilizantes. Fuente: Datos propios.**

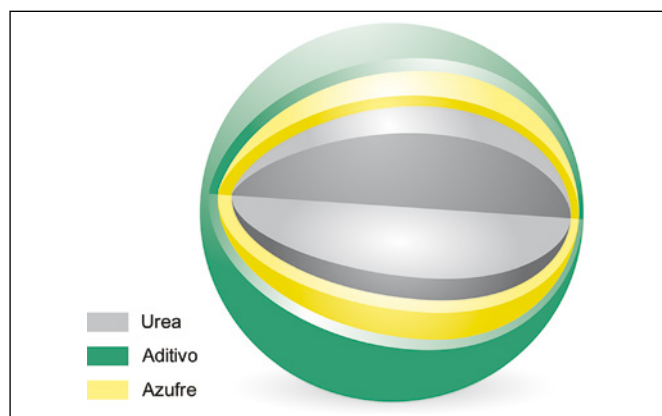
### Distribución del tamaño de partículas

No solo resulta necesario conocer el tamaño de las partículas, sino también su distribución. Si se va a emplear una fertilizadora con sistema distribuidor pendular, una heterogeneidad en el tamaño de partículas favorecerá la uniformidad de aplicación. De forma contraria, con distribuidores de disco, a mayor homogeneidad del producto se logrará una distribución del fertilizante más uniforme (Hofstee y Huisman, 1990).

En la **Figura 2** se muestra la distribución del tamaño de partículas para distintos fertilizantes comercializados por una empresa de venta de este insumo en la región pampeana. Tal como puede observarse, el fosfato monoamónico presenta una gran uniformidad en el tamaño de sus partículas, ya que más del 80% de las mismas se encuentran en el rango de 2.8 a 4 mm. Una distribución similar muestra el sulfato de calcio (0-0-0-16S-25Ca), mientras que en la urea granulada y el sulfato de amonio (21-0-0-24S) la distribución es más heterogénea.

### Higroscopicidad y humedad crítica relativa

La higroscopicidad es la capacidad que tienen los fertilizantes de absorber humedad bajo determinadas condiciones de humedad y temperatura. La mayoría de los fertilizantes son higroscópicos debido a su alta solubilidad en agua (Fertilizer Manual, 1998). A mayor higroscopicidad de un fertilizante, más fácilmente se humedece, y sus partículas se vuelven blandas y pegajosas. Esto afecta



**Figura 3. Granulo de fertilizante recubierto con agente anti-apelmazante (coating). Fuente: IPNI (2013).**

su fluidez y, por consiguiente, se deteriora la calidad de su esparcimiento. Además, el humedecimiento de los fertilizantes lleva al apelmazamiento, el cual ocurre como resultado de la formación de puentes cristalinos fuertes, y fuerzas adhesivas entre los gránulos. Esto es un efecto indeseable en los fertilizantes ya que también afecta la distribución del material sobre el lote. Una solución a este problema en ciertos fertilizantes, es la aplicación de un agente anti-apelmazante que recubre el gránulo (coating), el cual reduce la tasa de absorción de humedad del producto (**Figura 3**).

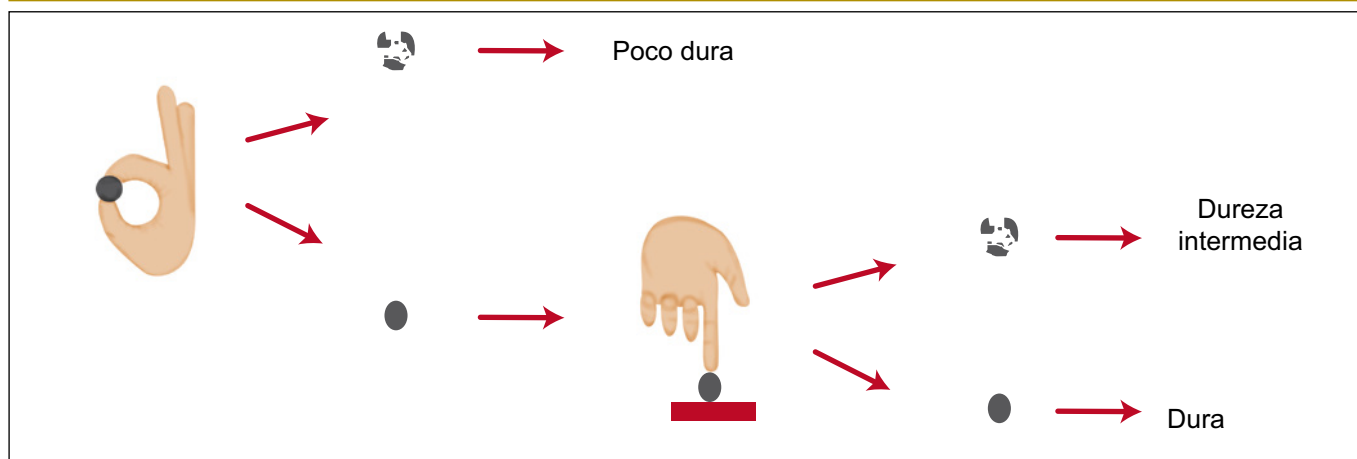
La humedad crítica relativa (HCR) de un fertilizante es la humedad relativa del ambiente (determinada a 30 °C) a partir de la cual un fertilizante comienza a absorber humedad del medio que lo rodea (**Tabla 3**) (Fertilizer Manual, 1998). La HCR es una propiedad de suma importancia para evaluar fuentes a emplear en mezclas, ya que generalmente la HCR de las mezclas es más baja que la de cada fuente en forma individual (**Tabla 3**). Un caso muy particular se presenta al mezclar urea y nitrato de amonio, donde la HCR de la mezcla es de sólo 18%. Considerando que la mayoría de los días se dan condiciones de humedad relativa ambiental por encima de ese valor, y que el humedecimiento de los fertilizantes dificulta el manipuleo y aplicación, es que se indica que dichos fertilizantes son incompatibles.

### Dureza de la partícula

Este parámetro está regulado por el tipo de formulación y el diámetro de la partícula, e indica la fuerza que debe aplicarse para romper las partículas de fertilizante (Fertilizer Manual, 1998). Esta ruptura afecta la densidad aparente y tamaño de las partículas, impactando sobre el almacenamiento, transporte y distribución del producto. A menor dureza, mayor es la formación de polvillo durante el manipuleo y aplicación del fertilizante, lo cual es una característica indeseable. La dureza se relaciona con la distancia alcanzada por las partículas aplicadas, determinada en parte por la velocidad de giro del disco distribuidor. Esto es así, porque para evitar la ruptura de los fertilizantes menos duros, el disco distribuidor debe girar a una menor velocidad, lo que genera una menor distancia de lanzamiento del fertilizante y, por ende, un menor ancho de labor. Por este motivo, resulta importante conocer la velocidad adecuada de giro de los discos, la

**Tabla 3. Humedad crítica relativa (HCR) de algunos fertilizantes y sus mezclas (a 30 °C). Fuente: Fertilizer Manual, 1998.**

Fertilizante	U	NA	SA	SPT	DAP	MAP
Urea (U)	70					
Nitrato de amonio (NA)	18	55				
Sulfato de amonio (SA)	55	55	75			
Superfosfato triple (SPT)	60	50	70	80		
Fosfato diamónico (DAP)	50	55	70	75	70	
Fosfato monoamónico (MAP)	55	55	70	80	70	70



**Figura 4. Determinación práctica de la dureza de partícula.**

**Tabla 4. Densidad aparente de fertilizantes y de tres partidas de urea. Letras distintas entre partidas de urea indican diferencias significativas según test LSD (5%). Fuente: Datos propios.**

Fertilizante	Densidad aparente, $\text{kg m}^{-3}$
Urea	700-820
Sulfato de calcio	950-1100
Nitrato de amonio	850-975
Sulfato de amonio	785-1040
Superfosfato triple	950-1200
Fosfato monoamónico	900-1100
Fosfato diamónico	875-1100
Urea 1	710 B
Urea 2	710 B
Urea 3	740 A

cual se determina como la máxima velocidad a la que no se observa ruptura de partículas. Se ha indicado que gránulos con durezas menores a 1.5 kg se romperán con facilidad y generarán polvo. Durezas entre 1.5-2.5 kg son adecuadas tomando algunas precauciones de manejo mientras que partículas con durezas mayores a 2.5 kg son deseables (Fertilizer Manual, 1998). Una aclaración a la hora de comparar la dureza de distintos fertilizantes es que debe medirse al menos sobre 10 gránulos que deben ser de igual tamaño, ya que la fuerza de ruptura se incrementa a medida que aumenta el tamaño de partícula. Una forma práctica y sencilla de medir la dureza de las partículas en el campo es mediante la aplicación de presión en gránulos individuales. Así, partículas que se rompen al ejercerles presión entre los dedos índice y pulgar, se consideran poco duras, si la ruptura se produce al presionarlas entre el dedo y una superficie dura, se dice que tienen dureza intermedia, mientras que se consideran duras si no se rompen de esta última forma (Figura 4).

Un ejemplo de diferencia en la dureza del fertilizante debido al tipo de formulación es el de la urea. En este caso, la urea granulada presenta partículas con mayor dureza en comparación con la perlada ( $1.5-2.5$  vs  $0.8-1.2$   $\text{kg gránulo}^{-1}$ ). Es debido a esto y a su mayor esfericidad y tamaño que es preferible el empleo de la urea granulada (Fertilizer Manual, 1998).

#### *Densidad de partícula y densidad aparente*

La densidad de partícula es una propiedad que afecta el ancho de labor efectivo de la aplicación. Partículas más densas alcanzan una mayor distancia (Morsy et al., 2012), y generalmente, pueden aplicarse con una mayor velocidad de giro de los platos, dado que suelen tener una mayor dureza de partícula.

Por su parte, la densidad aparente es una característica que debemos conocer a la hora de ajustar la dosis que queremos aplicar, tal como veremos más adelante. Su determinación es muy sencilla, ya que sólo debemos llenar con el fertilizante una probeta u otro recipiente de volumen conocido y pesarlo, obteniendo los  $\text{kg L}^{-1}$  del producto. En la **Tabla 4** se muestran valores promedio de densidad aparente para distintos fertilizantes, y valores medidos en distintas partidas de urea granulada. Cabe remarcar que al igual que lo ocurrido con el SGN, hay una gran variabilidad de densidad aparente entre fertilizantes y entre partidas de un mismo fertilizante, tal como se observa en el ejemplo de la urea. Esto genera la necesidad de determinar la densidad del producto previo a cada aplicación.

#### *Forma de las partículas*

La forma de las partículas puede variar entre los fertilizantes. Ésta puede ser redonda (esférica o en forma de huevo), cúbica, rectangular o irregular. A mayor esfericidad de la partícula, mayor es la distancia que puede alcanzar, debido a que mejora su aerodinamicidad (Morsy et al., 2012). Además, las partículas irregulares son más propensas a la segregación que las esféricas. Sin embargo, la diferencia de tamaño de las partículas tiene mucho más impacto en la distancia de aplicación y la segregación, que la forma de las mismas.

## Características de las fertilizadoras: puesta a punto

### i) Equipos aplicadores de fertilizantes y enmiendas

En Argentina, gran parte de la aplicación de fertilizantes y enmiendas sólidas se realiza al voleo por medio de máquinas fertilizadoras de arrastre, montadas y algunas autopropulsadas. Si bien existen diferencias constructivas y de configuración, todas poseen un sistema de dosificación y distribución de producto. Conocer el funcionamiento de cada uno de estos sistemas permite, por un lado, ajustar la dosis objetivo de manera precisa, y por otro, corregir la distribución del producto en el suelo. Como se mencionó anteriormente, el éxito de la aplicación está influenciado, en gran parte, por las características del fertilizante o mezcla realizada y las condiciones ambientales. Por lo tanto, es necesario aclarar que cada vez que se utilice un fertilizante o mezcla diferente, habrá que calibrar y configurar la máquina nuevamente (Márquez, 2011a).

### ii) Distribución del fertilizante sobre el terreno

Es el primer punto a observar y corregir, ya que nos definirá la calidad de aplicación y el ancho de labor efectivo (ALE). Como se ha mencionado, la uniformidad de distribución del fertilizante está influenciada en gran medida por las características del producto y las condiciones ambientales. Sin embargo, el tipo y configuración del mecanismo distribuidor de fertilizante va a definir finalmente su nivel de uniformidad. Las máquinas pueden generar distintos perfiles de distribución (**Figura 5**) según su mecanismo distribuidor (pendular, de un disco o de dos discos, **Figura 6**). Si consideramos una buena condición del fertilizante (ver arriba), las máquinas mono-disco tienden, en general, a formar perfiles sesgados y en forma de "M" con acumulaciones en los extremos, que son muy difíciles de corregir. Las pendulares pueden generar perfiles simétricos, pero de bajo ancho de labor. En cambio, las máquinas con distribuidores de doble-disco pueden generar un perfil más deseable (ovalado o piramidal), dado el efecto de compensación que genera un disco adicional, aunque es común encontrar distribuciones tipo M o W (Márquez, 2011b).

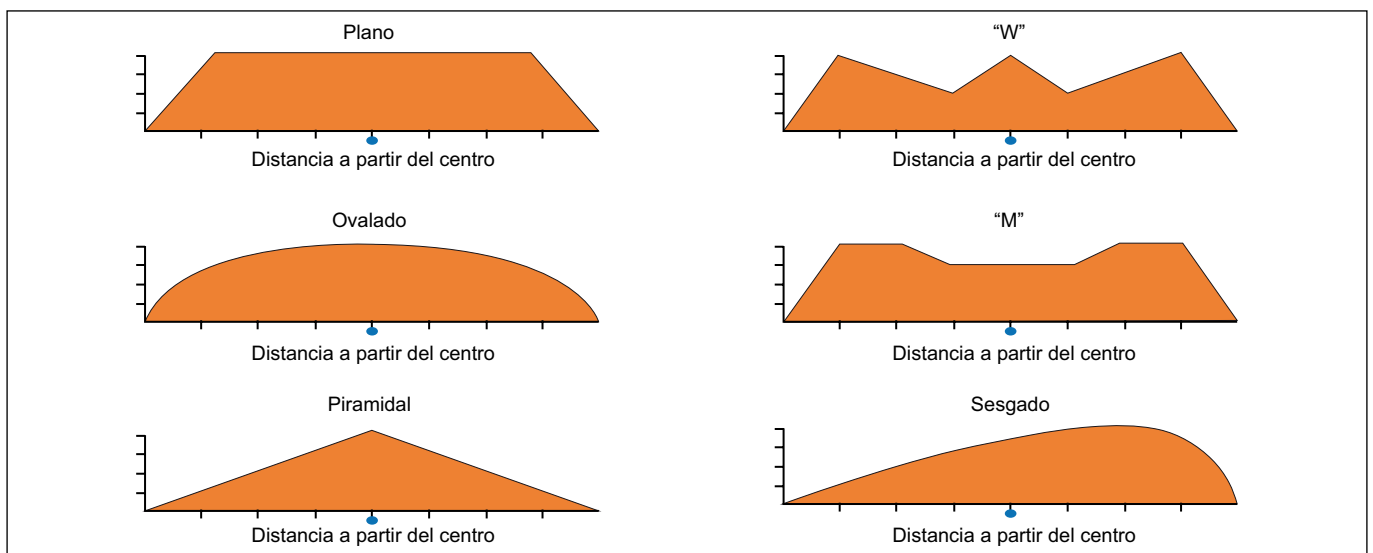


Figura 5. Perfiles de distribución de fertilizantes generados por máquinas fertilizadoras al voleo.

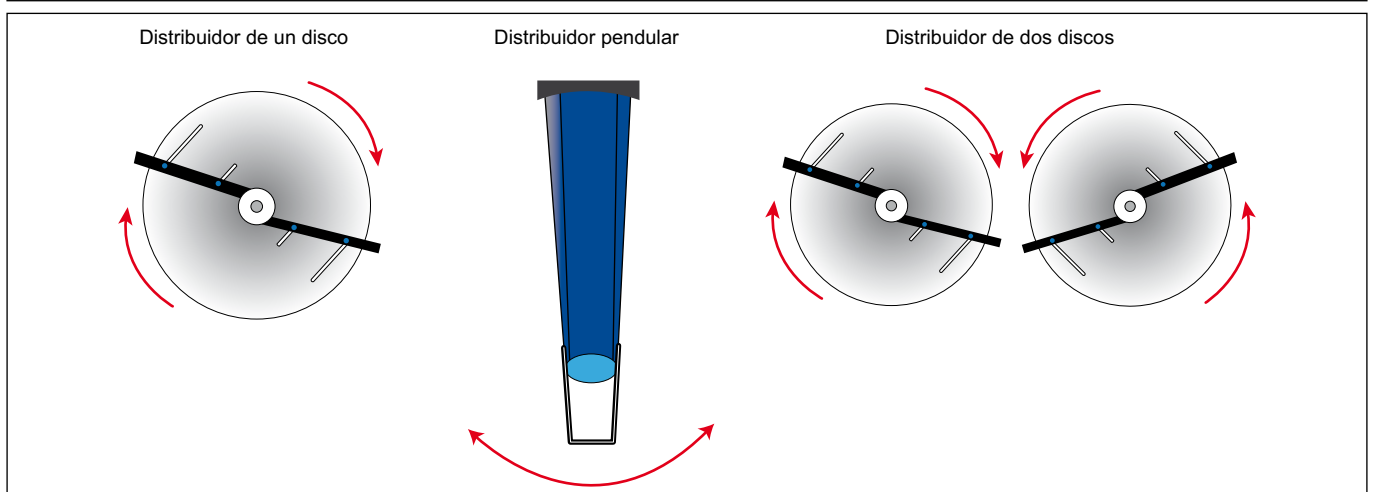


Figura 6. Distintos mecanismos distribuidores de fertilizantes presentes en fertilizadoras.



iii) Método para determinar ancho de labor efectivo (ALE) de las fertilizadoras.

1. Colocar cajas en sentido transversal al desplazamiento del tractor a 1 m de distancia entre cajas asegurando cubrir la distancia de distribución (las del centro pueden ir separadas a 1.5 m, según trocha de los implementos).
2. Con la máquina cargada se realizan 4 pasadas sucesivas y en el mismo sentido sobre las cajas. Mantener la velocidad y las revoluciones de toma de fuerza.
3. Peso medio: Recolectar y pesar el producto de cada caja. Sumar los pesos y todas las cajas y dividir por la cantidad de cajas.
4. Tolerancia: Multiplicar el peso medio por 0.3 (30%).
5. Límite inferior: Restarle al peso medio la tolerancia.
6. Cajas (metros) a superponer: Número de cajas peso inferior o límite inferior.
7. Ancho de labor efectivo: Número de cajas no superpuestas multiplicado por la distribución entre colectores.

iv) Modificaciones en la configuración de la máquina fertilizadora para corregir la distribución del fertilizante en el terreno

Cómo se mencionó anteriormente, para definir el ALE de la operación de fertilización es necesario conocer la distribución del material en el terreno. En fertilizadoras de doble-disco es común observar distribuciones del tipo M o W (Figura 5). Éstas, generan zonas de sub o sobre-dosificación que no pueden ser corregidas con la variación del grado de solapamiento entre pasadas. Es necesario, por lo tanto, actuar sobre la configuración de la máquina fertilizadora. Las máquinas que son comercializadas en Argentina, presentan distintos modos de cambio en su configuración para modificar distribuciones. En general, existen cinco puntos posibles de acción.

1. Modificación del ángulo de las paletas o barras de los discos respecto al sentido de giro.
2. Modificación del largo de las paletas o barras.
3. Modificación del punto de caída del fertilizante según sentido de giro.
4. Modificación del punto de caída del fertilizante según el radio del disco.
5. Modificación de la velocidad de giro de los discos.

En la Figura 8 se representan los cambios en la configuración de la máquina para corregir modelos de distribución tipo M y tipo W. Es necesario aclarar que no todas las máquinas fertilizadoras en el mercado poseen los distintos tipos posibles de configuración presentes en la figura.

En el caso de una distribución con una depresión de material en el centro y acumulación sobre los lados de la depresión (M), se puede modificar la posición de las paletas, moviéndolas hacia adelante respecto del sentido de giro, esto provoca que el material sea arrojado antes (alcanza menos distancia) y más cerca el centro. El punto de caída del material se puede modificar para lograr mejorar una distribución M si se coloca adelantado respecto al sentido de giro o bien, más cerca del borde del plato. De esta manera, el fertilizante recorre menos espacio en el disco y es liberado en la zona central. Para una distribución W, se deben realizar los cambios en la configuración de manera opuesta a la forma de corrección de una M (Figura 8).

Evaluación de la uniformidad de distribución de dos fertilizadoras con distintos fertilizantes

Ensayo 1

Uniformidad de distribución de urea y sulfato de calcio con fertilizadora Fertec Fertil 3000 de doble-disco

Se evaluó la distribución de urea y sulfato de calcio (Tablas 2, 3, 4 y Figura 5) con una fertilizadora de doble disco

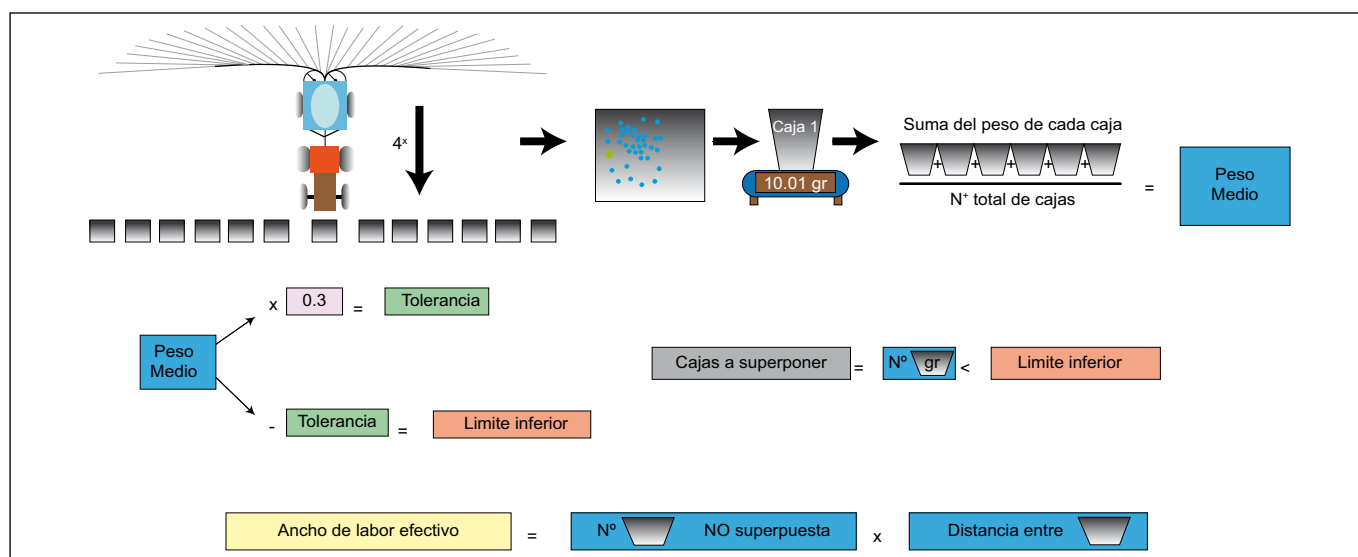
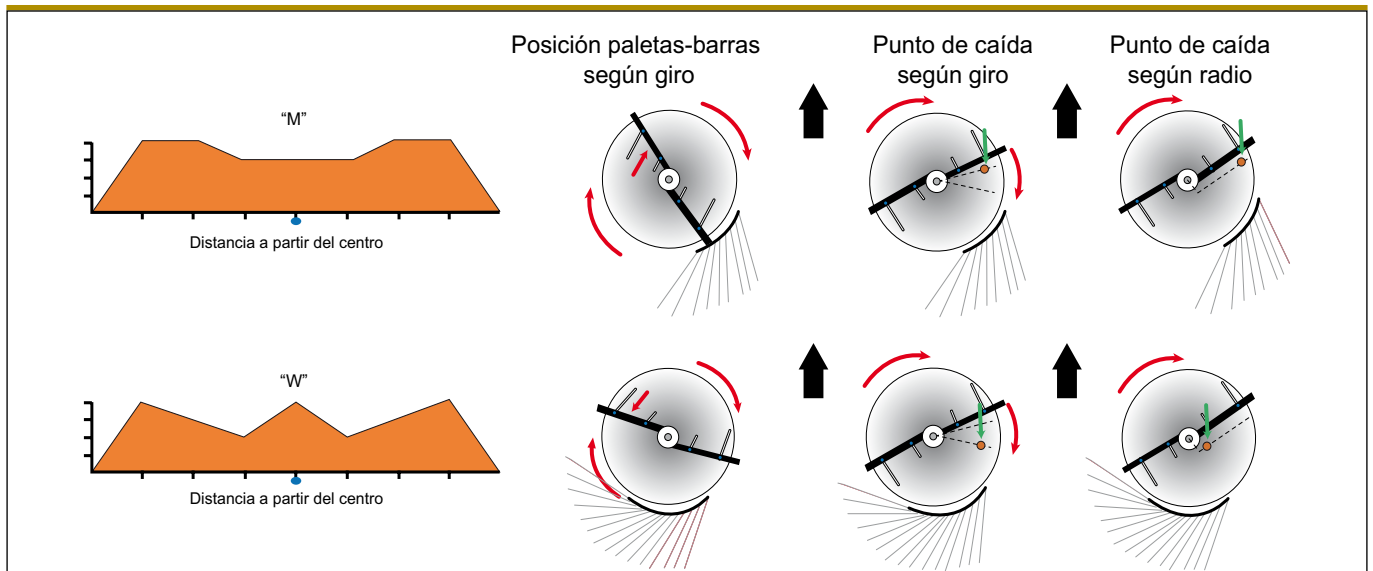
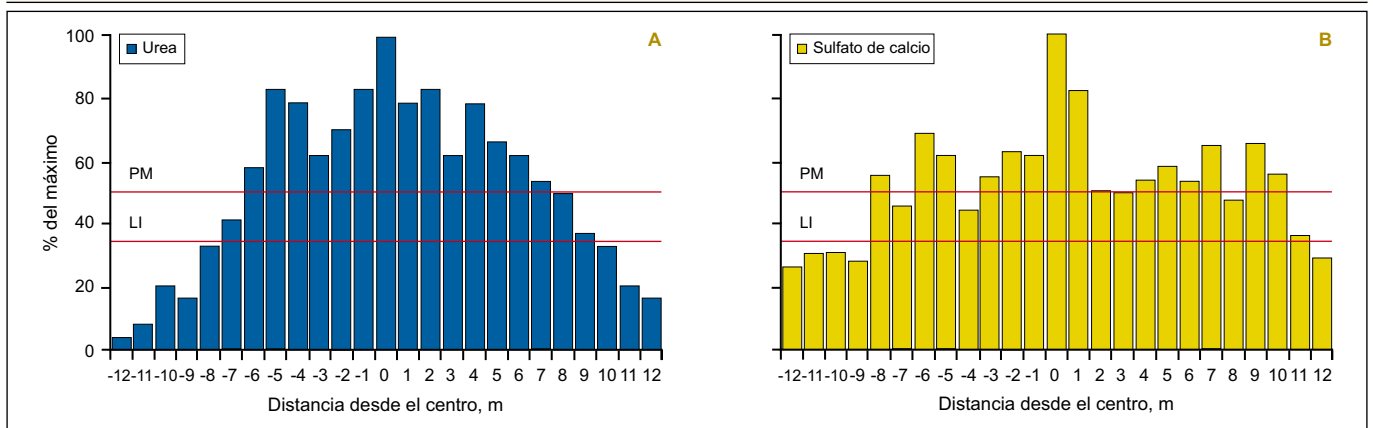


Figura 7. Determinación de ancho de labor efectivo (ALE) de la fertilizadora.



**Figura 8. Modos de corrección de distribuciones de tipo M y W. Las flechas rojas indican la dirección de giro de los discos y las flechas negras, la dirección de avance de la fertilizadora. Flechas verdes y los círculos naranjas indican la posición de caída del fertilizante.**



**Figura 9. Perfil de distribución de urea (A) y sulfato de calcio (B) sin superposición. PM sobre línea roja indica peso medio y LI límite inferior. Fertilizadora: Fertec "Fertil 3000".**

utilizando el método descrito en la **Figura 7**. El ancho de labor efectivo (ALE) fue diferente entre los fertilizantes (**Tabla 5**). El mayor ALE obtenido con el sulfato de calcio estuvo dado, principalmente, por el mayor SGN y densidad respecto a la urea (**Tablas 1 y 4**).

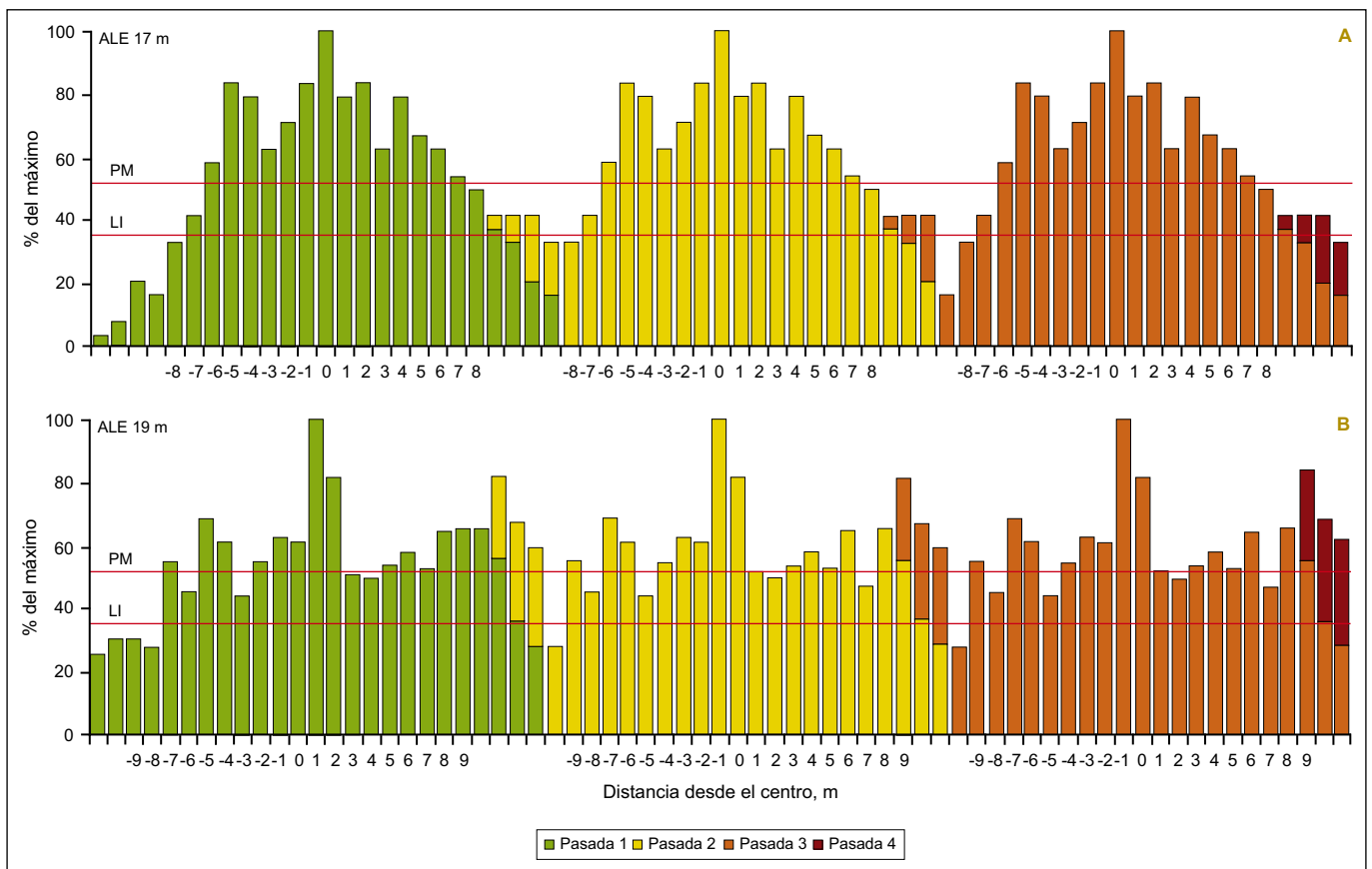
En cuanto al perfil de distribución, para ambos fertilizantes fue similar, sesgado y de tipo W. Sin embargo, para el sulfato de calcio el tipo W fue menos notorio que para urea (**Figura 9**). La combinación de estos tipos de distribuciones hace que se presente acumulación de fertilizante hacia la derecha y, además, un pico en la zona central, luego un valle a cada lado y nuevamente un pico a cada lado del valle (**Figura 9**). Esto genera sobredosisificación (picos) y subdosisificación (valles) afectando directamente la calidad y eficiencia de aplicación.

En la **Figura 10** se muestra la distribución de los fertilizantes ajustada con la superposición de pasadas trabajando en redondo y en función al ALE estimado. Se puede observar que aún con el ALE elegido, no se logra una distribución adecuada en la zona de solapamiento, ya que los valores están por debajo, aunque muy cercanos, al límite inferior (30% menos fertilizante que la media). Esto se puede mejorar disminuyendo el ancho de labor,

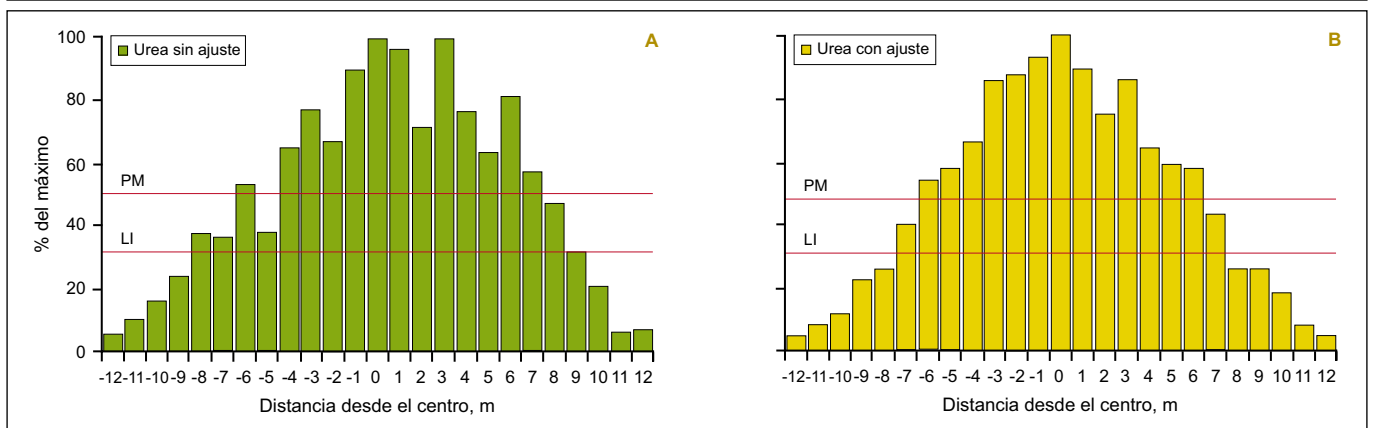
pero se pierde eficiencia operativa. Es importante aclarar que los picos que aparecen en la zona de la W, son muy difíciles de corregir con la superposición de pasadas, pero sería posible realizarlo eligiendo un fertilizante con bajo contenido de polvo y/o con regulaciones del sistema

**Tabla 5. Resultado de la evaluación de ancho de labor efectivo (ALE) para urea y sulfato de calcio. Fertilizadora Fertec "Fertil 3000" de doble plato.**

Variable	Resultado
Urea	
N° total de colectores	25
N° colectores superpuestos	8
Ancho de Labor Efectivo (m)	17
Sulfato de Ca	
N° total de colectores	25
N° colectores superpuestos	6
Ancho de Labor Efectivo (m)	19



**Figura 10. Perfiles de distribución de urea (A) y sulfato de calcio (B) superpuestos según ancho de labor efectivo (ALE). PM sobre línea roja indica peso medio y LI límite inferior. Fertilizadora: Fertec "Fertil 3000".**



**Figura 11. Perfil de distribución de urea sin ajuste (A) y con ajuste (B) de la entrega de fertilizante, sin superposición. PM sobre línea roja indica peso medio y LI límite inferior. Fertilizadora: Terra-Gator 8103.**

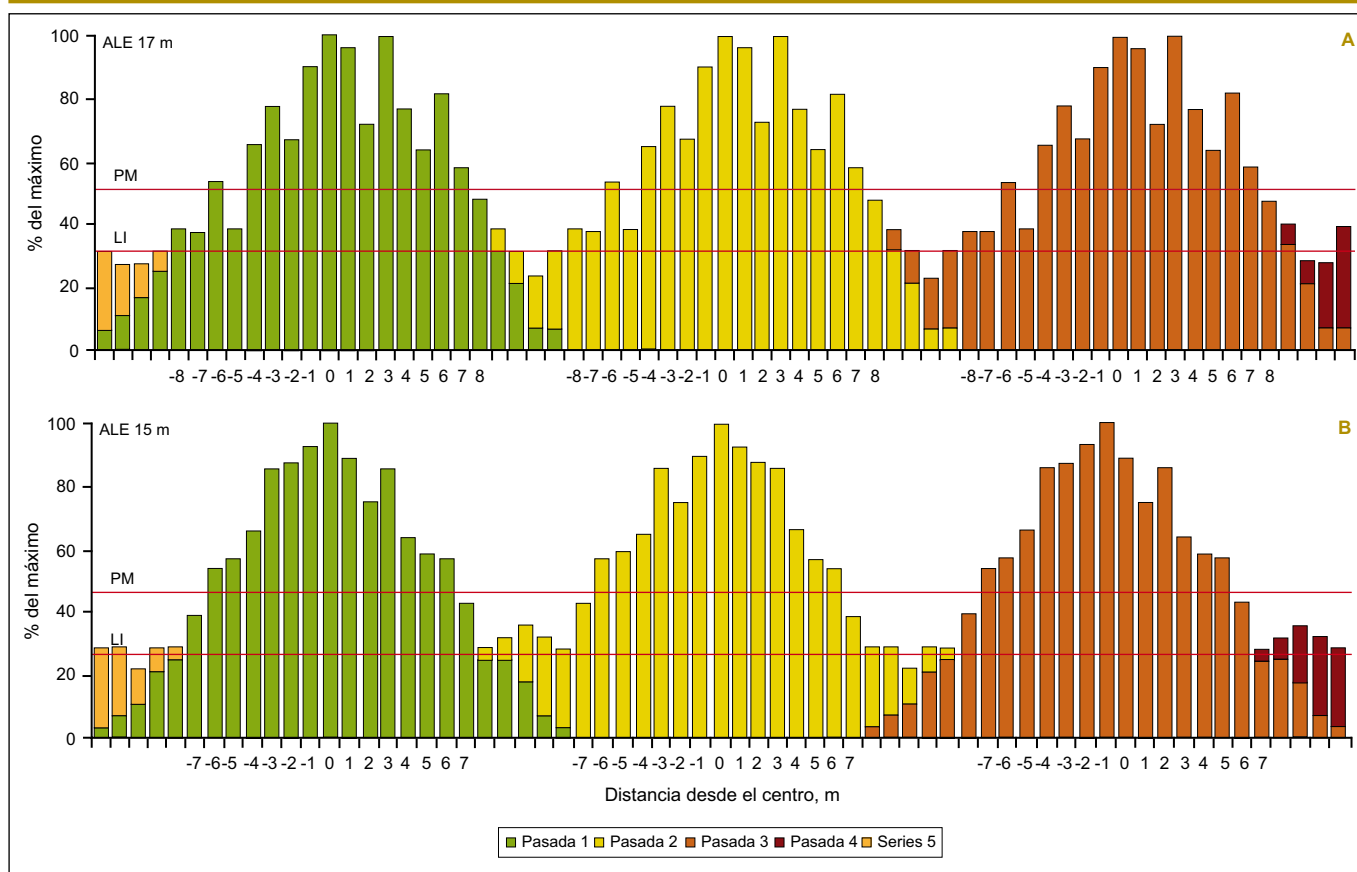
distribuidor tal como muestra la **Figura 8**. La distribución sesgada a la derecha hace necesario que se tenga que trabajar en círculo, superponiendo el extremo derecho de una pasada, con el extremo izquierdo de la pasada anterior. De lo contrario, si se trabaja de manera plana (ida y vuelta) aparecerán zonas con muy baja aplicación de fertilizante (superposición de extremo izquierdo de dos pasadas). Se puede corregir esta variación modificando la velocidad de uno de los platos (no más de 10%) o bien ajustando la entrega de fertilizante a cada plato, asegurándose que caiga la misma cantidad de fertilizante sobre los mismos.

### Ensayo 2

#### Uniformidad de distribución de urea con fertilizadora autopropulsada Terra-Gator 8103 de doble-disco

Se evaluó la distribución de urea (**Tablas 2, 3, 4 y Figura 11**) con una fertilizadora autopropulsada de doble disco utilizando el método anteriormente descrito. Al realizar la evaluación se observó una distribución sesgada hacia la derecha. Ante esta situación, se determinó la cantidad de fertilizante que caía sobre cada plato y se pudo observar que el plato izquierdo recibía 14% menos de fertilizante que el derecho. Por lo tanto, se modificó la placa divisoria de fertilizante hasta igualar la entrega sobre los platos. Esta modificación hizo desaparecer el sesgo.





**Figura 12** Perfiles de distribución de urea sin ajuste (A) y con ajuste (B) de la entrega de fertilizante, superpuestos según ancho de labor efectivo (ALE). PM sobre línea roja indica peso medio y LI límite inferior. Fertilizadora: Terra-Gator 8103.

En la **Figura 12**, se muestra la distribución del fertilizante antes (A) y después (B) del ajuste, simulando una aplicación de ida y vuelta y considerando la superposición de pasadas (ALE estimado). Se puede observar que antes del ajuste, el ALE calculado (17m) fue mayor que para la situación con la modificación (15m). Sin embargo, el coeficiente de variación en la primera situación fue superior a la situación con el ajuste (35% y 27% para la situación sin y con ajuste, respectivamente). Tales valores de coeficiente de variación son altos y si se quieren disminuir se deberá usar un ALE menor.

Cómo fue mencionado, el ajuste de la entrega de fertilizante generó que la distribución sea más pareja a ambos lados del centro de la máquina, respecto a la situación sin ajuste. Pero, a su vez, hizo que el material se concentre en los dos primeros tercios de cada lado del centro, y el último tercio quedó con muy poco material, generando un ALE que determina una capacidad operativa baja. Si bien no fue realizado, se debería modificar el punto de entrega del material sobre los platos (éste se encontraba en un punto medio entre el centro y el extremo del plato), desplazándolos hacia el centro del plato. Esta acción generaría que el material acumulado cerca del centro sea distribuido de forma más uniforme hacia los laterales, aumentando así el ancho de labor efectivo, por disminución del promedio y la tolerancia mínima.

### Consideraciones finales

La distribución de un fertilizante o enmienda sobre el terreno varía con el tipo de producto, las condiciones ambientales y el equipo aplicador. Es necesario conocer las propiedades de los fertilizantes, y tener en cuenta que existen importantes diferencias entre fertilizantes e incluso entre partidas de un mismo producto. Por otra parte, debe conocerse el funcionamiento de la fertilizadora y saber que pueden realizarse regulaciones en la misma para mejorar la distribución de los fertilizantes. Es por esto que, para lograr una aplicación de calidad, es decir, distribuir el fertilizante uniformemente sobre el terreno y a la dosis deseada, se requiere la calibración de la fertilizadora de forma periódica.

### Bibliografía

- Broder, M.F., y H.L. Balay. 1983. Effect of granule size on application. Proceedings of 33rd Annual Meeting of the Fertilizer Industry Round Table, (Spillman, J., ed.) pp. 90-96.
- Fertilizer Manual. 1998. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and International Fertilizer Development Center (IFDC). 615 p.
- Hofstee, J.W., y W. Huisman. 1990. Handling and spreading of fertilizers part 1: physical properties of fertilizer in relation to particle motion. Journal of Agricultural Engineering Research, 47:213-234.

Márquez, L. 2011a. La tecnología en abonadoras de proyección. Parte 2. Evaluación de las abonadoras en La uniformidad de distribución. Agrotécnica (4). pp 3-44.

Márquez, L. 2011b. La tecnología en abonadoras de proyección. Parte 1. La uniformidad de distribución. Agrotécnica (3). pp 38-44.

Morsy, H.A., J. Paliwal, A. Abouelmagd, H. Hedia, y Z. Ismail. 2012. Some properties of fertilizers in relation to particle motion in the hopper and on the distribution disc. 19th. Annual Conference of the Misr Soc. of Ag. Eng., 14-15 November, 2012. pp. 447-458.

Yule, I.J. 2011, The Effect of Fertiliser Particle Size on Spread Distribution. En: Adding to the Knowledge Base for the Nutrient Manager. (Eds L.D. Currie and C.L. Christensen). Occasional Report No. 24. Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North, New Zealand: ISSN 0112-9902, 10 p.



**Descripción de las Fotos:**

- 1. Fertilizadora Fertec Fertil 3000 de doble disco.
- 2. Fertilizadora autopropulsada Terra-Gator 8103 de doble disco.
- 3. Puentes cristalinos entre partículas de fertilizantes causando apelmazamiento. Fuente: Yara.