

# LA UNIFORMIDAD EN LA DISTRIBUCIÓN DEL ABONO

LA INTENSIFICACIÓN DE LA AGRICULTURA SUELE IR ACOMPAÑADA DE UN INCREMENTO DE INSUMOS UTILIZADOS, ENTRE ELLOS LOS ABONOS. LA FERTILIZACIÓN, Y ESPECIALMENTE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA, DEBE REALIZARSE DE MANERA RAZONADA Y PRECISA PARA OBTENER UN RENDIMIENTO ELEVADO EVITANDO EN TODO MOMENTO ACCIDENTES CULTURALES. INCLUSO SI LAS CANTIDADES A APLICAR SON DETERMINADAS DE MANERA PRECISA, UNA IRREGULARIDAD EN EL REPARTO DEBIDA A UNA MALA REGULACIÓN DEL EQUIPO, UN SOLAPAMIENTO INADECUADO O UNAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEFICIENTES DEL FERTILIZANTE PUEDEN PROVOCAR EFECTOS NEGATIVOS EN EL RESULTADO FINAL, INCREMENTANDO LOS RIEGOS DE CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS Y CAUCES DE AGUA PRÓXIMOS.



**C**onstructores y agricultores buscan equipos de fertilización no demasiado costosos que permitan asegurar una distribución de producto lo más homogénea posible. Si es cierto que un buen reparto del abono depende ante todo del equipo con el que se distribuye, la regulación del mismo y la calidad del fertilizante utilizado son factores importantes a tener en cuenta.

## TERMINOLOGÍA BÁSICA

Para profundizar con más detalle en todos los aspectos que intervienen en la calidad de distribución, es nece-

sario el dominio y la familiarización con algunos de los términos más usuales (Figura 1).

La distancia entre los puntos extremos de reparto del abono se conoce como anchura de distribución, mientras que la zona en la que todos los puntos reciben la misma cantidad de abono por unidad de superficie recibe el nombre de anchura de trabajo.

Esta anchura de trabajo coincide



## UNIFORMIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN

La uniformidad de distribución longitudinal es, en principio la menos dependiente de las condiciones externas y, por tanto, la más fácil de garantizar. Ésta depende principalmente (Tabla 1) de las características físicas del abono que afectan a la capacidad de salida del mismo desde el fondo de la tolva (fluidez y densidad aparente) y del sistema de regulación de la dosis.

Respecto a este último, la diferencia entre un sistema de regulación por gravedad y un sistema de regulación forzada o volumétrico es que, mientras que en estos últimos el caudal de abono que se extrae de la máquina se modifica en función de la velocidad de avance, en un equipo con un sistema de regulación por gravedad, el flujo de abono que alimenta los elementos distribuidores se mantiene constante, lo que obliga a fijar una velocidad de avance para garantizar la uniformidad.

La uniformidad de distribución transversal se presenta como un objetivo de más difícil consecución y depende de muchos más factores que la anterior. Como regla general podemos decir que la anchura de trabajo,

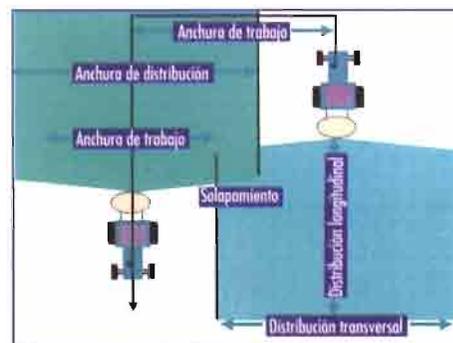


FIG. 1. Definiciones de interés.

el sistema de distribución y las características físicas del abono son los factores determinantes. Estos dos últimos determinan, a igualdad de condiciones, la forma del diagrama de distribución de la abonadora.

Se entiende como tal la representación gráfica de la cantidad de abono distribuida a lo largo de una línea perpendicular al avance de la máquina. Un diagrama de distribución simétrico, de forma determinada –triangular o trapezoidal en la mayoría de los casos– y una anchura de trabajo adecuada al mismo permitirán, juntamente con la utilización de un abono con una granulometría homogénea, la obtención de una curva de distribución acumulada –una vez realizado el solapamiento correspondiente– uniforme en toda la anchura de trabajo de la máquina.

siempre con la distancia entre dos pasadas consecutivas. La diferencia entre anchura de distribución y anchura de trabajo se denomina solapamiento o zona de la parcela donde se superponen los chorros de dos pasadas contiguas para obtener una uniformidad adecuada.

Independientemente de la solución técnica adoptada y de las características físicas del fertilizante a distribuir, el sistema utilizado debe permitir el reparto del abono con suficiente uniformidad tanto en la dirección de avance (uniformidad de distribución longitudinal) como en sentido perpendicular a éste (uniformidad de distribución transversal).

TABLA 1. Factores que afectan a la uniformidad de distribución

SENTIDO	FACTORES	ASPECTOS
UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN LONGITUDINAL	Características del abono	Fluidez
		Densidad aparente
	Sistema de regulación de la dosis	Por gravedad
		Por extracción forzada
		Volumétrica
UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN TRANSVERSAL	Características del abono	Granulometría
		Densidad real
		Resistencia aerodinámica
	Características del sistema de distribución	Disco centrífugo
		Pendular
		Neumático
	Regulación de la máquina	Dosis
		Anchura de trabajo
		Altura e inclinación
	Factores ambientales	Irregularidad del terreno
Velocidad del viento		

## EVALUAR LA CALIDAD DE DISTRIBUCIÓN

La determinación de la uniformidad de distribución de una abonadora exige la elaboración previa de su diagrama de distribución. Éste puede ser determinado en un banco de ensayos o en campo siguiendo la metodología prevista por la norma ISO 5690.

Para ello se utilizan unos recipientes rectangulares de 50 x 50 x 15 cm. provistos de una rejilla interna para evitar rebotes de las partículas de abono, separados una distancia máxima de 50 cm y dispuestos en una línea perpendicular al avance de la máquina. La cantidad de abono recogida en cada caja es pesada y los datos obtenidos se representan gráficamente en forma de histograma o de curva (Figura 2).

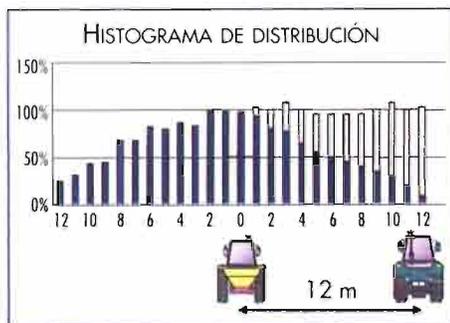


FIG. 2. Ejemplo de distribución triangular.

Las formas más habituales de estas representaciones se corresponden con un triángulo –típico de las abonadoras centrífugas de un disco y de las abonadoras pendulares– o con un trapecio –característico de las abonadoras de dos discos–.

Una vez determinada la curva de distribución de una sola pasada se obtiene, mediante los solapamientos correspondientes en función de la anchura de trabajo seleccionada, la curva de distribución acumulada que es la que representa la distribución final del abono sobre el terreno (Figura 3).

Es evidente que el objetivo de una buena distribución se traduce en que todos los puntos de la curva acumulada reciban la misma cantidad de abo-

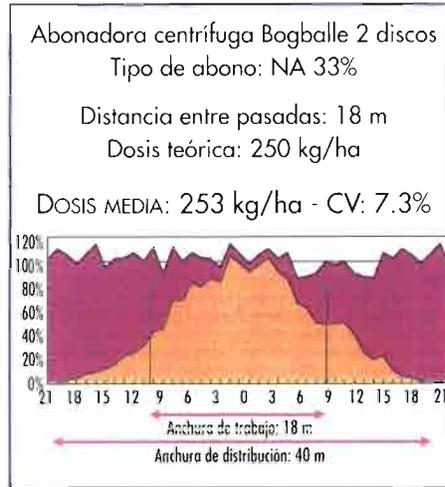


FIG. 3. Curvas de distribución unitaria y solapada obtenidas en ensayos de campo.

no (100% de la dosis deseada). Pero en la realidad ocurre que existen diferencias entre ellos, detectándose puntos con una cantidad de abono superior al 100% y puntos con una cantidad inferior a este valor.

La cuantificación de estas diferencias se conoce como el Coeficiente de Variación (CV) parámetro estadístico que indica, en términos porcentuales, la dispersión de una serie de datos respecto al valor medio. El valor del CV es igual a 0 cuando no existen diferencias entre los puntos, resultando entonces una distribución totalmente homogénea. La figura 4 muestra, mediante un ejemplo sencillo, una explicación gráfica del Coeficiente de Variación.

Desde el punto de vista práctico, resulta ciertamente improbable la obtención de curvas de distribución acumulada que presenten valores del CV iguales a 0, tanto si los ensayos se realizan en las instalaciones al efecto como si se trata de pruebas de campo.

Por ello, y teniendo en cuenta la previsible respuesta agronómica de los cultivos a una aplicación heterogénea de un fertilizante, especialmente cuando se trata de distribución de nitrógeno, la interpretación del valor del CV obtenido se basa en unos baremos previamente determinados, que varían según se trate de ensayos de laboratorio o pruebas de campo (Tabla 2).

En cualquier caso, valores superiores al 25% del CV pueden dar como resultado unos efectos negativos tanto desde el punto de vista económi-

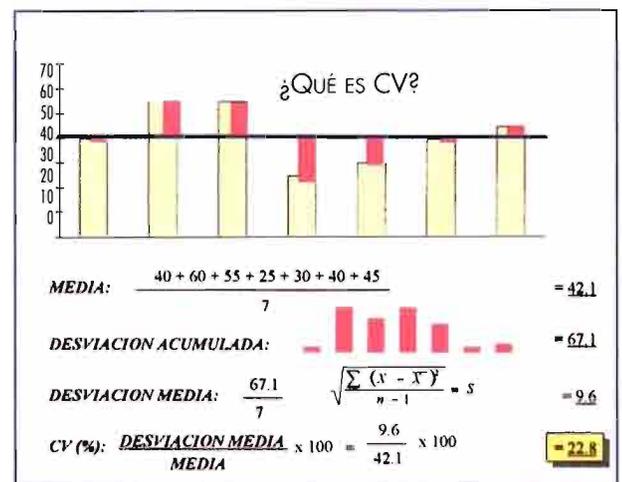


FIG. 4. Ejemplo de método de cálculo del coeficiente de variación.

co (disminución de rendimientos, aparición de encamado) como ambiental (exceso de nitratos en el suelo y contaminación de aguas).

TABLA 2. Interpretación de los valores del coeficiente de variación

ENSAYOS EN LABORATORIO	INTERPRETACIÓN	PRUEBAS DE CAMPO
0 < CV < 10%	Bueno - Muy bueno	0 < CV < 15%
10 < CV < 15%	Aceptable	15 < CV < 25%
> 15%	Malo - A desechar	> 25%

## LA ANCHURA DE TRABAJO: ELEMENTO CLAVE

### La anchura óptima

La elección de la anchura de trabajo adecuada para cada equipo se convierte en el punto clave para el éxito de la operación. A diferencia de lo que ocurre con otro tipo de equipos (sembradoras, equipos de tratamientos fitosanitarios...) e incluso con algún tipo de abonadoras (abonadoras de distribución neumática), los distribuidores de abono del tipo centrífugo o pendular no sólo no son equipos de anchura de trabajo fija, sino que además carecen de sistemas que permitan

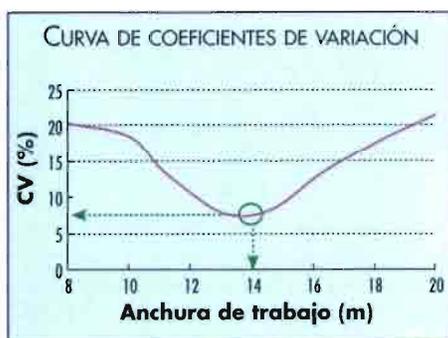


FIG. 5. Evolución del coeficiente de variación en función de la anchura de trabajo. El punto más bajo de la curva se corresponde con la anchura de trabajo óptima.

el marcaje y la fijación de la anchura de trabajo, por lo que ésta deberá ser elegida de acuerdo con las características de los mismos, y siempre teniendo como objetivo una aplicación uniforme.

Todos los libros de instrucciones de las abonadoras presentan –o al menos así debería ser– unas tablas de recomendación de anchuras de trabajo óptimas en función, básicamente, de las características físicas del abono.

El procedimiento de determinación de la anchura óptima se basa en la simulación de pasadas a diferentes anchuras de trabajo y la obtención del correspondiente coeficiente de variación de la curva acumulada, siempre a partir de la distribución unitaria determinada experimentalmente. De este modo se obtienen una serie de puntos

que relacionan anchura de trabajo –o distancia entre pasadas– con coeficientes de variación.

La representación gráfica de estos puntos se denomina curva de coeficientes de variación (Figura 5) y permite determinar el óptimo de trabajo del equipo, que coincide con el punto mínimo de la curva.

“El objetivo de una buena distribución es que todos los puntos de la curva acumulada reciben la misma cantidad de abono”

### El tipo de perfil de distribución

Sin embargo, y desde el punto de vista práctico de manejo de los equipos en campo, es necesario tener presente algunas consideraciones. La utilización de abonadoras con perfil de distribución triangular permite anchuras de trabajo de hasta 15 m –en función del tipo de abono– siendo reco-

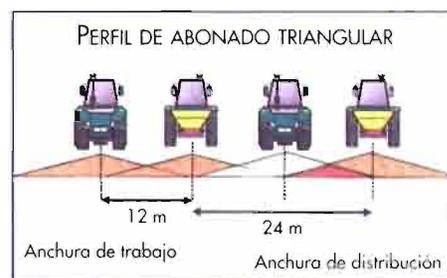


FIG. 6. Cuando se utilizan equipos con diagrama de distribución triangular, la anchura de la banda de solapamiento coincide con la anchura de trabajo.

mendable la utilización de perfiles de distribución trapezoidal (abonadoras de doble disco) cuando se desee trabajar con distancias entre pasadas superiores a los 18 m.

Desde el punto de vista de capacidad operativa de los equipos (ha/h), el paso de 15 a 18 m de anchura de trabajo representa un incremento de 2.4 ha/h suponiendo una velocidad de avance de 8 km/h. Sin embargo, la utilización de diagramas de distribución trapezoidal entraña un riesgo a tener en cuenta en condiciones como las de nuestra agricultura, en las que la técnica del tráfico controlado no está demasiado extendida y por tanto no existen marcas prefijadas que indiquen el lugar de paso de los equipos.

La característica principal de las distribuciones según diagrama triangular estriba en que, cuando se superponen dos pasadas consecutivas, to-

dos los puntos de la parcela reciben abono de las dos pasadas, es decir, existe un solapamiento completo (100%). De este modo, la distancia entre pasadas es siempre el 50% de la anchura de distribución (Figura 7).

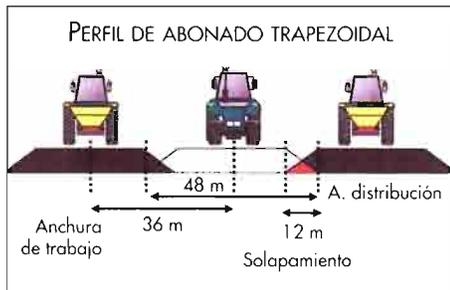


FIG. 7. La banda de solapamiento es mucho menor cuando se distribuye según un diagrama trapezoidal.

Por otro lado, cuando se trabaja con diagramas de distribución trapezoidales es posible trabajar con distancias entre pasadas superiores, debido principalmente a que la zona central del trapecio debe recibir en una única pasada todo el abono necesario, sin necesidad de posteriores solapamientos. En este caso es preciso solapar únicamente las partes exteriores del diagrama de distribución (Figura 7).

Desde un punto de vista teórico es evidente que si se determina con precisión la anchura óptima de trabajo, la utilización de equipos con diagrama de distribución trapezoidal presenta notables ventajas en cuanto al incremento de la capacidad de trabajo. Sin embargo, ¿qué ocurre cuando se circula por una parcela en la que no están prefijadas las rodadas? Lo habitual en estos casos, los más comunes, es que el agricultor debe agudizar la pericia y determinar sobre la marcha la distancia entre pasadas, incrementándose entonces el riesgo de errores. Aparece entonces otra clara diferenciación entre las distribuciones triangulares y las trapezoidales, en este caso por lo que hace referencia a la incidencia de un error en la determinación de la distancia entre pasadas.

Las figuras 8 y 9 representan las curvas acumuladas de dos aplicaciones de abono, una con distribución triangular y otra con distribución tra-

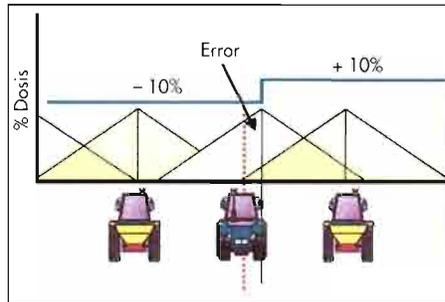


FIG. 8. La distribución triangular permite amortiguar errores de cálculo de la distancia entre pasadas.

pezoidal, en las que se ha cometido un error de  $\pm 1$  m en la determinación de la anchura de trabajo. En el caso de la distribución triangular, al trabajar con solapamientos del 100%, este error provoca un ligero incremento del CV, ya que el error se distribuye en una amplia zona de trabajo. Sin embargo, cuando este mismo error se comete utilizando una distribución trapezoidal, el incremento del CV –y por tanto de la heterogeneidad en la distribución– es mucho mayor y se localiza en bandas concretas de la parcela (fenómeno típico de diferentes intensidades de verde en campos de cereales).

### ¿QUÉ PUEDE HACER EL AGRICULTOR EN SU CAMPO?

La determinación del diagrama de distribución en laboratorio o en campo supone una herramienta muy útil para la caracterización de los equipos y sus condiciones de trabajo. Sin embargo, resulta una tarea laboriosa y complicada, siendo impensable que el agricultor la realice habitualmente. Ya hemos comentado que las recomendaciones de los fabricantes en cuanto a anchuras

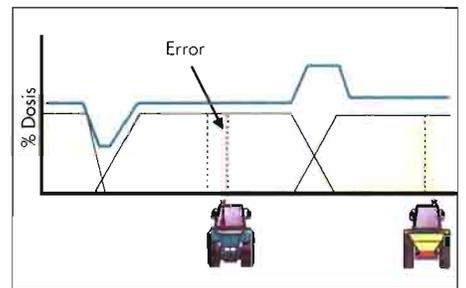


FIG. 9. El mismo error en el cálculo de la distancia entre hileras cuando se trata de distribuciones trapezoidales genera valores más elevados del coeficiente de variación, con la consiguiente heterogeneidad de distribución.

óptimas de trabajo están basadas en ensayos realizados con diferentes granulometrías de abono y que cuando se utiliza un abono diferente es necesario comprobar determinados aspectos.

Con el fin de facilitar esta tarea al agricultor, determinados fabricantes ofrecen junto con sus equipos algunos kits de comprobación, formados por un número determinado de cajas y sus correspondientes rejillas antirrebote,

TABLA 3. Distancias entre cajas para diferentes anchuras de trabajo

ANCHURA DE TRABAJO	DISTANCIA ENTRE CAJAS	ANCHURA DE TRABAJO	DISTANCIA ENTRE CAJAS
9 m	1.5 m	24 m	4.0 m
12 m	2.0 m	27 m	4.5 m
15 m	2.5 m	28 m	4.6 m
18 m	3.0 m	30 m	5.0 m
20 m	3.3 m	33 m	5.5 m
21 m	3.5 m	36 m	6.0 m



continuar abonando al menos 18 metros más allá de la línea de cajas.

3. Conducir en sentido contrario abonando por la línea que corresponde a la siguiente pasada del tractor (en la que está situada la caja número 7), usando las mismas distancias de inicio y final que en el caso anterior.
4. Vaciar el contenido de las cajas en cada uno de los tubos, utilizando para ello un embudo. El resultado que se observa en el conjunto de los tubos es la distribución obtenida una vez realizado el solapamiento. La cantidad recogida en cada tubo debería ser la misma.

un embudo y un soporte de tubos transparentes en los que depositar el abono recogido y visualizar de inmediato la curva de distribución obtenida. El procedimiento de utilización resulta simple y rápido y los datos así obtenidos proporcionan una información importante. Para su utilización se debe proceder de la siguiente manera:

1. Se colocan las rejillas antirrebote en las cajas, y se conectan los tubos de lectura unos con otros. Se ubica la primera caja en el centro de la calle por donde va a circular el tractor y la última en el centro de la calle siguiente, distribuyendo uniformemente las cajas restantes entre las líneas de paso del tractor. Por ejemplo, si la anchura de trabajo es de 18 m se coloca la caja número 1 en el centro del paso del tractor y la caja número 7 en la zona de paso de la pasada contigua, a 18 m. La caja 2 se colocará a 3 metros de la caja 1, la caja 3 a 6 metros, etc. (Figura 10). En la tabla 3 aparecen las distancias entre cajas para diferentes anchuras de trabajo
2. Se realiza una pasada por la zona marcada de paso para el tractor, empezando a abonar unos metros antes de llegar a las cajas. Debe recordarse que es imprescindible mantener la abonadora abierta una vez superada la línea de cajas, como mínimo una distancia igual a la anchura de trabajo. Por ejemplo, si la anchura de trabajo es 18 metros,

Hay tres posibilidades de resultados tras realizar la distribución (Figura 11). Si la altura de todos los tubos es la misma o muy similar, la distribución obtenida resulta homogénea (a). Si se detecta un valle en la zona central (b) indica que la anchura de trabajo utilizada es excesiva, con lo que deberemos reducir la misma y comprobar nuevamente el resultado. Por el contrario, cuando el pico de la curva se localiza en los tubos centrales (c) es característico de anchuras de trabajo insuficientes.

## EL FUTURO

Es evidente que el sector de fabricación de equipos de fertilización ha evolucionado enormemente en los últimos años, y que se han alcanzado objetivos impensables hasta hace bien poco. Los sistemas de modificación en continuo de la dosis en función de las necesidades del punto de localización del equipo –ligado con la agricultura de precisión–, los mandos auto-

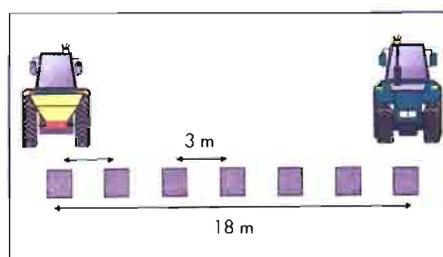


FIG. 10. Sistema de colocación de cajas en campo para un ensayo de comprobación.

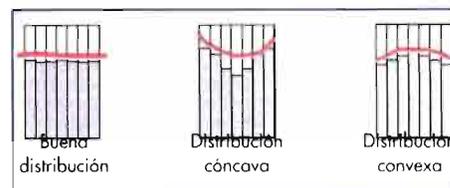


FIG. 11. Interpretación de los resultados de la distribución de abono cuando se utilizan los kits de comprobación.

máticos de modificación de caudal de fertilizante en función de las variaciones de la velocidad de avance y las propuestas para la mejora del abonado en bordes son sin duda avances importantes y de reciente aparición.

Sin embargo, todos estos dispositivos parten de la previa introducción en el controlador de a bordo de datos como la dosis de fertilizante a distribuir y la anchura de trabajo del equipo. Y hoy por hoy, este último dato continúa siendo un factor fijo en cada actuación, es decir, que un sistema de modificación en continuo de la dosis realizará su función de forma correcta siempre y cuando se mantenga constante la distancia entre pasadas.

En situaciones en las que no se hayan prefijado de antemano las marcas por donde debe circular el tractor (tráfico controlado), es la pericia del agricultor la que predomina, lo que en sí es un contrasentido teniendo en cuenta la sofisticación de las nuevas tecnologías mencionadas. Por tanto, mientras no se planteen soluciones a la variación en continuo de dicho parámetro, su correcta determinación seguirá siendo un tema clave a la hora de una aplicación homogénea. Posiblemente, una de las soluciones aparezca en breve utilizando los sistemas de posicionamiento global (GPS), bien en el sentido de utilizarse como herramienta de medida para la determinación exacta de la distancia entre pasadas, bien adoptando como válida cualquier anchura de trabajo (dentro de unos límites) modificando entonces los demás parámetros. Mientras esto no sea así, la determinación y el respeto de una anchura de trabajo constante seguirá siendo un factor clave para la aplicación uniforme de fertilizantes. 🚀