

## MECANIZACIÓN DE LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES Y ENMIENDAS

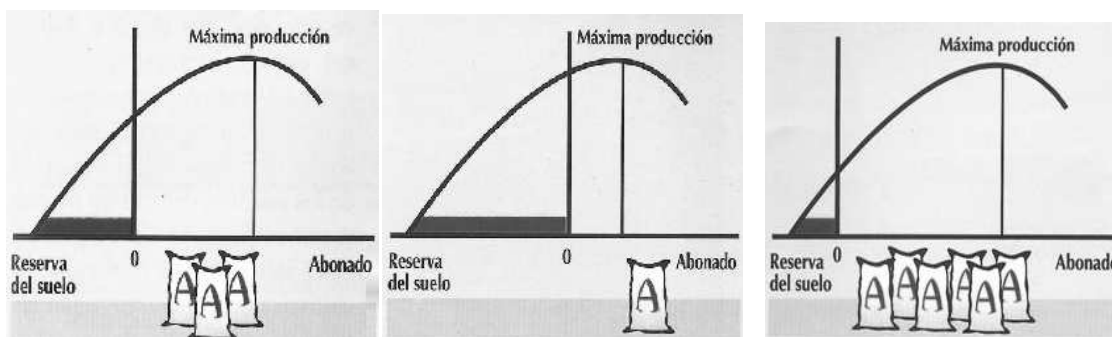
**Ing Agr. Roberto Balbuena, Ing. Agr. Matilde Mur, Ing. Agr. Telmo Palancar**

Cada cultivo posee una curva característica de respuesta a la aplicación de un determinado fertilizante, la cual depende, esencialmente, de la cantidad de nutrientes presentes en el suelo, es decir del nivel de fertilidad del mismo, y de la influencia directa que dicho nutriente ejerce sobre la producción.

El aprovechamiento que el cultivo hace del fertilizante aportado no varía linealmente con la cantidad aportada, sino que la eficacia cae progresivamente como se indica esquemáticamente en la Figura 44.

La distribución no uniforme de fertilizantes y cal agrícola puede reducir los rendimientos de los cultivos. Cuando un área del lote es sub fertilizada (o sub encalada), mientras que otra es sobrefertilizada (o sobre encalada), el rendimiento total del cultivo puede ser inferior a que si las dosis de fertilizante (o cal agrícola) fuesen adecuadamente distribuidas. Los efectos de la variabilidad en la distribución de fertilizantes son mucho más notables en los lotes de suelos menos fértiles, debido a que la respuesta a los nutrientes aportados es mayor.

Resulta de fundamental importancia la realización de un correcto muestreo de suelo para saber, a ciencia cierta, la disponibilidad de cada nutriente, en vista a la posterior fertilización, para poder predecir el comportamiento de los principales elementos que se incorporan en la fertilización mineral.



*Figura 44. Respuesta de los cultivos al abonado (M. Aullé 2008)*

Los primeros aportes de fertilizante producen un incremento aproximadamente lineal de la producción para, a continuación, seguir una curva, por lo general, de tipo parabólico, hasta alcanzar su valor máximo. Si la cantidad aportada de fertilizante supera ese máximo, pueden acontecer una caída de la producción, y posibles anomalías en el cultivo, o bien transformarse en un "consumo de lujo" con el consiguiente perjuicio económico, e incluso medioambiental.

La fertilización "de fondo" como por ejemplo de fósforo y en menor medida potasio, al tener menor influencia directa sobre la producción admiten la planificación de la fertilización, incluso pensando en dosis no solamente restituyentes de lo que podría extraer el cultivo, sino recomponentes del nivel de fertilidad del suelo. En cambio, las fertilizaciones nitrogenadas resultan mucho más complejas tanto por su potencial percolación, como por su difusión a la atmósfera en estado gaseoso, como por la acción directa que tiene el nitrógeno sobre la producción.

Para una utilización óptima de los fertilizantes y enmiendas de suelo es necesaria una aplicación precisa y uniforme de los mismos. Los **fracasos** en el resultado final de la fertilización y/o la corrección del suelo puede ser atribuida, con frecuencia, a la **aplicación no uniforme** ocasionada por fallas en el equipo aplicador o por desconocimiento de las regulaciones necesarias para conseguir una correcta dosificación del producto a aplicar.

Los problemas para la aplicación uniforme de fertilizantes y enmiendas se incrementan, notablemente, en la medida que la granulometría de los productos es menor (correctores cálcicos, cálcicos-magnésicos, yeso, azufre elemental). Estos problemas pueden estar originados por la mayor densidad de los productos pulverulentos, su dificultad de transporte, y por estar más sujetos a la posibilidad de deriva por el viento.

Los fertilizantes se pueden encontrar en tres estados diferentes:

- sólidos
- líquidos
- gaseosos

De las tres formas, la utilización de fertilizantes sólidos es mayoritaria en la República Argentina, en un porcentaje variable según las diferentes regiones, entre el 60 y el 70% aproximadamente. En relación a los líquidos y gaseosos, estos últimos, todavía, de difusión incipiente para cultivo extensivos.

Las máquinas responsables de la aplicación de fertilizantes y enmiendas son las **fertilizadoras**, y se entiende como tal a *toda herramienta capaz de llevar el producto a aplicar dentro de una tolva y entregarlo con una localización determinada, consiguiendo un grado de uniformidad tal que las diferencias de distribución no se vean reflejadas en el cultivo.*

En este capítulo se desarrollarán características básicas y regulaciones para herramientas aplicadoras de fertilizantes y enmiendas sólidas y líquidas.

## **Aplicación de fertilizantes y enmiendas sólidas**

La aplicación de fertilizantes y enmiendas en estado sólido puede efectuarse bajo tres principios básicos:

- sistema gravitacional
- sistema centrífugo o de proyección
- sistema con asistencia neumática

**Sistemas gravitacionales:** En estas máquinas el producto se deposita por caída libre desde una tolva por medio de un mecanismo dosificador de distintas características de construcción. Entre los diferentes diseños se ha popularizado el uso del sistema **Chevrón** (Figura 45), en las sembradoras-fertilizadoras (Figura 48) que ha reemplazado gradualmente a los tradicionales **rodillos acanalados**. Ya en menor medida, pueden encontrarse sistemas de **estrellas**, (Figura 46) limitados actualmente a algunas máquinas fertilizadoras de uso específico para esta labor (Figura 47).

Estos implementos presentan, en líneas generales, una adecuada distribución, pero adolecen de una reducida capacidad operativa, por poseer un ancho de distribución efectivo similar al ancho de la máquina y, además, pueden presentar el inconveniente de una reducida capacidad de tolva para aquellas aplicaciones que ameritan elevadas dosis por hectárea (enmiendas cálcicas y cálcico-magnésicas). Por otra parte, la aplicación del fertilizante junto con la labor de siembra dificulta siempre el trabajo de la sembradora, tanto por problemas de penetración de la máquina, adecuación de la dosis de fertilizante y semilla, reducción de la capacidad de trabajo del conjunto,

aumento del esfuerzo de tracción, movimiento de terrones que modifican la uniformidad de ubicación de la semilla en profundidad, entre otros factores.

Estas máquinas, al tomar movimiento sus órganos dosificadores de ruedas de mando en contacto con el terreno, tienen una distribución proporcional, dentro de ciertos límites, a la velocidad de avance.

Para la aplicación de productos pulverulentos y, fundamentalmente, en dosis elevadas como las enmiendas cálcicas y cálcico-magnésicas, se han desarrollado máquinas especiales con tolvas de gran capacidad de almacenamiento, montadas sobre neumáticos de alta flotación para reducir la presión específica sobre la superficie del suelo y reducir, de esta manera, el problema de la compactación superficial. Estas máquinas pueden tener un botalón de gran ancho de trabajo y un sistema de transporte de tornillo sin fin (Figura 49), con varias bocas de salida para la deposición del material. Asimismo, pueden contar con un sistema de cortinas que reducen la incidencia del viento durante la aplicación, pudiendo bajar la incidencia de la deriva, tan común en la aplicación de este tipo de productos de reducida granulometría.

Cabe aclarar que se entiende por **deriva** a todo producto que abandona la máquina y no se deposita en el objetivo (en este caso el suelo). La deriva, puede producir una potencial contaminación sobre operarios, de lotes vecinos, fuentes de agua, animales que se encuentren en la proximidad de la aplicación, además de acarrear una pérdida económica al productor.



Figura 45. Dosificador tipo Chevrón

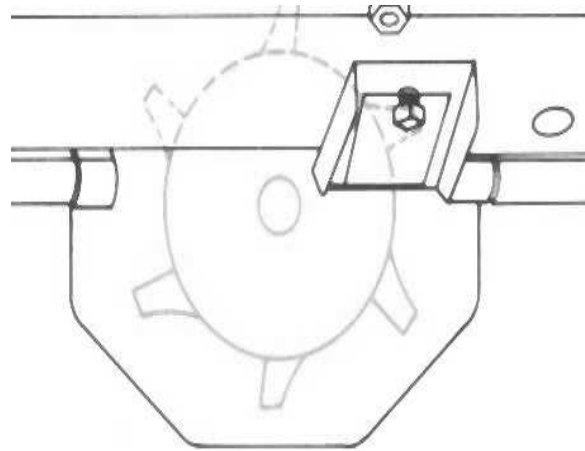


Figura 46. Esquema de dosificador tipo estrella



Figura 47. Fertilizadora



Figura 48. Sembradora-fertilizadora



Figura 49. Aplicadora de enmiendas con botalón a tornillo sinfín

El fertilizante puede ubicarse en una monotolva, o bien en tolvas individuales, actualmente están muy difundidos los materiales plásticos, tanto para las tolvas como para los dosificadores. Las aplicadoras de enmiendas, dado las dosis usualmente elevadas que se utilizan, son del tipo monotolva de gran capacidad, con removedores-mezcladores, o piso móvil con cadenas transportadoras.

Las máquinas que realizan la incorporación del fertilizante, una vez que éste abandona la tolva, conducen el material por mangueras hacia el surco realizado, generalmente, con dobles discos, discos simples angulados o bien cuchillas inclinadas, los cuales poseen habitualmente un mecanismo de control de la profundidad de trabajo. También la deposición puede efectuarse con cinceles o púas que penetran por succión, siendo importante destacar que estos elementos pueden provocar un disturbio importante en el suelo, especialmente con velocidades de desplazamiento superiores a los 7-8 km/h.

**Sistema centrífugo o de proyección:** estas herramientas tienen la característica en común de poseer mecanismos de dosificación, si bien distintos entre sí, que realizan la proyección del fertilizante a distancias considerables. Los mecanismos de dosificación más difundidos son:

- **discos rotativos**
- **péndulo o tubo oscilante**

Dado el principio de funcionamiento de estas herramientas, cada partícula de fertilizante es tratada como un "proyectil" y en virtud de ello, el alcance de los mismos está regido por el *principio de la balística*, es decir, que la trayectoria del fertilizante va a depender de:

- **el peso y su relación con la densidad aparente de la partícula:** esta debe ser constante y superior a los  $850 \text{ kg/m}^3$ , lo cual permite alcanzar un mayor ancho de cobertura efectivo.
- **su tamaño (granulometría):** este debe ser lo más uniforme posible, siendo recomendable que el 80% del producto se encuentre entre 2,5 y 4.0 mm de diámetro, lo que produce una distribución más uniforme y de mayor alcance.

- **de su forma:** preferentemente con gránulos esféricos los cuales presentan menor rozamiento, menor generación de polvo y una trayectoria más uniforme
- **de la velocidad inicial:** la velocidad inicial alta tiene incidencia sobre la distancia a la cual pueden llegar las partículas de fertilizante. La misma depende del diámetro del disco y / o la longitud de las paletas en las fertilizadoras de discos, y de la longitud de la trompa dosificadora y el ángulo de barrido en las pendulares.
- **de la resistencia del aire**
- **de la gravedad**

Además, influyen otras características en la uniformidad de la distribución tales como: la necesidad que el material tenga baja higroscopicidad, alta dureza para evitar la formación de polvo, contenido de polvo inferior al 1%, ausencia de apelsonamiento del material, etc.

Estas máquinas se caracterizan, entre otras condiciones, por:

- transmitirle energía cinética a la partícula de fertilizante para producir su proyección.
- poseer un gran ancho de cobertura (en máquinas de doble disco cercana a los 50 metros), en relación al ancho de la máquina y, por consiguiente, una elevada capacidad de trabajo.
- tener **un ancho efectivo de trabajo menor al ancho total de distribución** por requerir un solapamiento entre pasadas, situación que hace necesaria una evaluación más precisa y compleja del patrón de distribución, debido a la obligatoriedad de solapar pasadas sucesivas, para conseguir una distribución uniforme del producto a aplicar.
- poseer un tipo de mecanismo distribuidor que permite mayores velocidades de trabajo que las aplicadoras gravitacionales.
- una calidad de distribución que depende, en mayor medida que para las gravitacionales, de las características físicas del fertilizante a aplicar y de las regulaciones que se realizan sobre los mecanismos de proyección. El viento puede ocasionar alteraciones en el patrón de distribución de la herramienta.
- el grado de precisión de la aplicación, que suele ser menor que para las aplicaciones gravitacionales.
- presentar, en líneas generales, un menor costo de adquisición y mantenimiento que las fertilizadoras gravitacionales.
- ser herramientas dependientes de la nivelación longitudinal y transversal, como así también de mantener un adecuado y constante régimen de rotación de la toma posterior de potencia (si su mecanismo distribuidor no es movido por motores hidráulicos), para mantener un adecuado diagrama de distribución.
- poseer una tolva, generalmente de forma tronco cónica invertida en cuya base menor posee un sistema de remoción de fertilizante y una compuerta por cada mecanismo dosificador.
- la modificación del patrón de distribución cuando, para una misma regulación de la máquina, se modifica la dosis o tasa de aplicación.

### **Fertilizadora centrífuga con discos rotativos**

En líneas generales, las aplicadoras de doble disco presentan un perfil de distribución más uniforme que las de disco simple (Figuras 50 y 51). La forma que habitualmente presenta la distribución es triangular o trapezoidal en las máquinas de

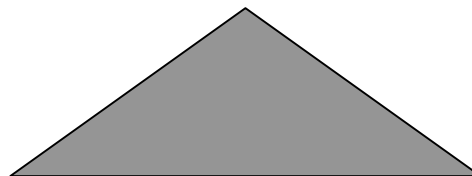
doble disco, aunque la regulación de las mismas tiende frecuentemente a generar patrones de distribución trapezoidal (Figura 52). Tanto los perfiles trapezoidales como los triangulares simétricos (Figura 53) permiten la circulación de las máquinas en forma alternada, ida y vuelta, con una adecuada eficiencia de labor, en lo relacionado a las pérdidas de tiempo en las cabeceras. Por lo expuesto, esta forma de trabajo alternada implica la superposición o solapamiento del lado derecho con el derecho y luego del lado izquierdo con el izquierdo.



*Figura 50. Fertilizadora centrífuga bidisco. Figura 51. Detalle de los platos giratorios*



*Figura 52. Perfil trapezoidal típico*



*Figura 53. Perfil de distribución triangular de máquinas centrífugas bidiscos*

En relación a estos patrones, resulta claro que la superposición trata de lograr uniformidad en la distribución, la cual se alcanza teóricamente cuando se superponen aquellos sectores que presentan un 50% del producto que se encuentra en la parte central de la distribución, cuando el perfil es normal y no muestra defectos o anomalías. Tal como se ha dicho en forma precedente y dada la variabilidad de los factores que determinan el alcance máximo del fertilizante proyectado por los mecanismos u órganos activos es imprescindible la caracterización y cuantificación del fertilizante en el ancho de esparcido de la máquina. Lamentablemente los procedimientos de control en campo son poco frecuentes y como consecuencia de ello se producen errores de superposición que afectan la uniformidad. Existe en este sentido una tendencia a sobreestimar el ancho de esparcido y que se produzcan zonas con menor dosis de fertilizante que la deseada. Si bien este problema afecta a los dos patrones característicos, trapezoidales y triangulares, resultan más tolerantes estos últimos, ya que las pendientes suaves de los extremos hacen que los defectos en el solapamiento produzcan menores variaciones en la dosis de los diferentes sectores.

Otro problema frecuente a nivel de campo es que las regulaciones de las máquinas se efectúan para alcanzar el mayor ancho de cobertura posible, produciendo como consecuencia de dichas acciones un perfil de distribución desuniforme, con sectores centrales o intermedios con menor cantidad de fertilizante.

En cambio, las máquinas monodisco, suelen producir patrones de forma triangular, asimétricos, que ocasionan la necesidad de trabajar en forma continua, en redondo, superponiendo permanentemente el lado derecho con el lado izquierdo de la distribución en los pasajes sucesivos. Esta forma de trabajo aumenta las pérdidas de tiempo en las cabeceras del lote y la necesidad de contar con banderilleros que marquen la pasada, recorriendo largas distancias. Este problema es fácilmente solucionado con la incorporación de auto guías o "banderilleros satelitales", pero resulta poco habitual entre pequeños productores que poseen este tipo de máquinas. Como consecuencia de las dificultades mencionadas y ante la falta de identificación del problema los productores suelen trabajar ida y vuelta, provocando ante una misma superposición a derecha e izquierda, zonas de mayor y menor tasa de aplicación, fácilmente visibles en aquellos ambientes con fuerte respuesta a la aplicación del fertilizante, ya que sobre el cultivo se visualizan diferentes alturas, en franjas coincidentes con los sectores de mayor y menor cantidad de fertilizante aplicado.

Por otra parte, independientemente del número de discos, estas máquinas presentan aspectos básicos de diseño comunes que inciden sobre la calidad del trabajo realizado y su capacidad de trabajo. La prestación y capacidad de trabajo de las máquinas de fertilizadoras de discos dependen de aspectos básicos de diseño y regulación de los órganos activos.

Las principales características de diseño de los órganos de trabajo son el diámetro interno del disco, el diámetro externo del disco, la velocidad de giro, la forma del disco, el número de paletas, la forma de las paletas, la longitud de las paletas, la forma de alimentación de los discos, la distancia entre los discos (en las máquinas de doble disco) y las posibilidades de regulación de algunos de estos factores. Esto se complementa con la altura de distribución posible de alcanzar por la máquina en su conjunto y la capacidad de carga de la tolva.

El diámetro interno de los discos se relaciona con el punto de caída del fertilizante sobre el disco. Este parámetro encuentra mayores restricciones de diseño cuando la tolva se encuentra por encima de los discos, ya que el diámetro mínimo estará condicionado por la alimentación del fertilizante, el cual no puede reducirse ya que comprometería en cierta medida el flujo del material desde la tolva hacia el disco. Si el punto de caída determinado por el radio interno mínimo está muy alejado del centro de giro, las paletas del disco al tomar contacto con el fertilizante, con una mayor velocidad tangencial por un mayor radio para una misma velocidad de giro, producirá un impacto de mayor energía, con posibilidades de romper los gránulos, generar polvo y un menor alcance efectivo.

El radio máximo se encuentra asociado a la longitud de las paletas, en una relación directa, aunque por lo general el largo de las mismas suele ser mayor que el radio de los discos. Cuanto mayor sean ambas medidas, mayor será el ancho de cobertura de la máquina, al alcanzar el fertilizante una mayor velocidad resultante al momento del lanzamiento.

Sin embargo, es frecuente encontrar diseños que presentan diferentes longitudes de paletas, ya que las mismas entregarán el fertilizante en distintos sectores del perfil de distribución, siendo las paletas más cortas las encargadas de la entrega hacia el sector hacia el cual están girando los discos y la parte media del perfil, mientras que las de mayor longitud lo harán más lejos y hacia la parte externa del perfil de distribución. La presencia de paletas de diferente longitud en un mismo disco permitirán una mayor facilidad para alcanzar una mayor uniformidad de la fertilización,

al estar más claro para el usuario con qué elemento y que acción produce una determinada modificación del patrón establecido.

La velocidad de giro también incide sobre el ancho de cobertura y la distribución, permitiendo las mayores velocidades un mayor alcance. No obstante, la mayor velocidad de giro puede producir mayor rotura del fertilizante, por lo que no es recomendable sobrepasar las velocidades indicadas por el fabricante. Las máquinas que poseen una mayor velocidad de giro deberán tener un diseño de entrega del material que minimice estos inconvenientes, tendiendo a aumentar la velocidad a la cual el fertilizante llega al disco.

La forma del disco se refiere a si los mismos son planos o cónicos. Siendo estos últimos los que permiten teóricamente un mayor alcance. Un ángulo de proyección de  $45^\circ$  es según los principios de balística el que permite un mayor alcance, pero los problemas de rozamiento, aceleración, densidad y resistencia del aire del fertilizante hacen que nunca se alcance esa angulación en las fertilizadoras de discos.

El número de paletas cobra importancia en las máquinas actuales en función de la velocidad de desplazamiento de las máquinas. Cuanto mayor sea dicha velocidad, debería ser mayor el número de paletas para no producir una distribución desuniforme. En este sentido existen máquinas de 2, 3, 4 y hasta 8 paletas. Las dificultades para el trabajo con un número reducido de paletas es a veces compensado con una mayor velocidad de rotación, lo cual puede traer aparejado una mayor rotura del fertilizante y generación de polvo según el diseño de entrega del material a los discos.

La forma de las paletas es también variable entre las distintas máquinas existiendo paletas rectas, curvas, con perfil en L o en U. Estos parámetros inciden sobre la aceleración que sufre el material, lenta o rápida, como así también la ubicación y contención ante altas dosis de entrega. Por último, la distancia entre los discos, en las máquinas de doble disco, incide sobre el perfil de distribución y las regulaciones que la máquina debe ofrecer para alcanzar uniformidad del mismo.

Las regulaciones más comunes que pueden realizarse en las máquinas centrífugas de disco son las siguientes:

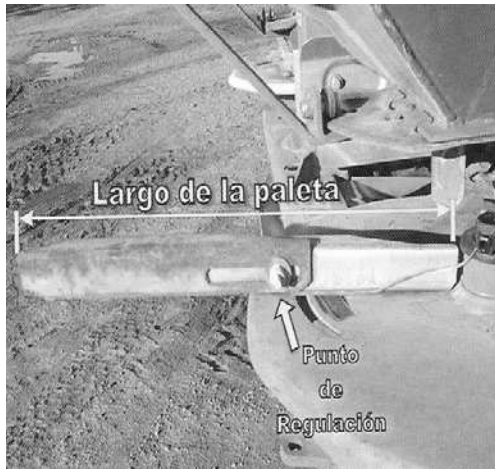
- **posición de caída del fertilizante:** permite, de acuerdo a las características físicas del fertilizante y del patrón de distribución determinado modificar o corregir el mismo. Existen 2 posibilidades de modificación (Figura 54): a) adelantar o atrasar el punto de descarga en relación con el sentido de giro del disco; b) descarga del fertilizante hacia el centro o hacia la periferia del disco (distintos radios de aplicación).



Figura 54. Regulación en función del ángulo y del radio en forma conjunta.



- **modificación del largo de las paletas** dosificadoras (Figura 55) por deslizamiento del extremo de la paleta, sobre una guía o por cambio de paletas de distinta longitud.



a



b

*Figura 55. a) Modificación del largo de las paletas de forma continua. b) Presencia de paletas de distinta longitud*

- **modificación de la posición de las paletas:** la misma es relativa al sentido de giro y al radio del disco. Las paletas se pueden atrasar (ángulos negativos) o adelantar (ángulos positivos) tomando como referencia al radio del disco, con lo cual se varía el ángulo de ataque de las mismas (Figuras 56, 57 y 58).



*Figura 56. Modificación de la posición de las paletas en forma discontinua.*



*Figura 57. Modificación de las paletas en forma continua.*

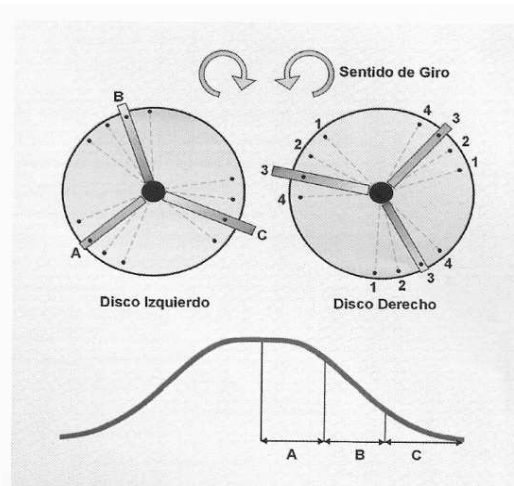


Figura 58. Presencia de paletas de distinta longitud y posición. Sectores de distribución de las distintas paletas. A: cortas; B: medias; C: largas

- modificación de la velocidad de giro del disco:** poco frecuente en máquinas con accionamiento mecánico a través de la TPP, es habitual en las que poseen movimiento asistido por motores hidráulicos. La velocidad es mencionada como forma de modificar tanto el alcance como los patrones de distribución, pero generalmente con la salvedad que su aumento puede provocar la rotura del fertilizante y producir problemas en la distribución aún cuando se lo haya propuesto como forma de solución. Si es frecuente su uso cuando la máquina se acerca a los extremos de la parcela (al final de la aplicación) para evitar la proyección por afuera de los límites del predio.

### Fertilizadoras pendulares

Por su parte, las máquinas pendulares generan un perfil triangular (Figura 53). Su principio de funcionamiento se basa en la acción de un tubo o trompa oscilante (Figura 59) que, al recibir una cantidad de fertilizante desde la tolva, lo lanza hacia el terreno cubriendo un sector que puede extenderse, en ciertos casos, los 100° de amplitud. Para tal fin, el tubo oscilante está animado de movimiento alternativo, dotado de un régimen elevado de carreras por minuto.

Si bien el ancho de cobertura efectivo suele ser menor que para las fertilizadoras centrífugas de disco, si están bien pensadas desde su diseño, este defecto se compensa por una mayor uniformidad de reparto de material.

Con la finalidad de poder variar el ancho de cobertura, así como permitir una mayor adaptabilidad a distintas granulometrías de fertilizantes, algunas marcas pueden proveer ángulos variables de barrido del péndulo (38°, 48°, 56°), en líneas generales, a mayor angulación de barrido, mayor sería también el incremento en el ancho de esparcido.

En estas máquinas, el ancho de esparcido también depende de la longitud del tubo oscilante. Algunas empresas contemplan la posibilidad de intercambiar tubos para localizar el material de acuerdo a la necesidad de la aplicación (por ejemplo aplicaciones entre hileras de frutales o forestales). Estos implementos son sensibles a la pérdida de uniformidad en la distribución cuando se trabaja con abonos de poca consistencia, que se adhieran en el interior del péndulo.



*Figura 59. Fertilizadora centrífuga de péndulo o tubo oscilante*

Es necesario, para conseguir uniformidad en la distribución, que el deflector de esparcido, ubicado en la salida del tubo oscilante, se encuentre en perfectas condiciones. De no ser así, puede resentirse en gran medida la calidad de aplicación, apareciendo patrones irregulares de difícil solapamiento. Sin embargo, las características de la aplicación cuando el tubo oscilante no cuenta con difusor es aprovechado para el trabajo en montes frutales, donde resulta conveniente la concentración de la distribución sobre la hilera de los cultivos. En estos casos, además de la utilización de tubos sin lengüeta o difusor, se emplean los de menores dimensiones, o con ángulos de barrido reducido, a los efectos de adecuar el flujo a la distancia entre hileras o marco de plantación.

Para incrementar el ancho de cobertura puede adicionarse, por debajo del péndulo, unas pantallas deflectoras donde el material rebota y se proyecta a mayor distancia. En estos casos, la distribución puede variar de triangular a trapezoidal, dentro de ciertos límites.

Estas máquinas pueden ser sensibles a la rotura de mecanismo distribuidor cuando se emplean velocidades de régimen por encima de la estipulada por el fabricante.

**Sistema con asistencia neumática:** estos implementos han comenzado a difundirse en los últimos años, buscando mejorar la aplicación de las fertilizadoras por proyección, combinando un adecuado ancho de trabajo, con la mejora de la distribución del producto por la asistencia de aire.

En líneas generales, cuentan con grandes tolvas que pueden poseer, en su parte inferior, un gran distribuidor mecánico (similar a un rodillo acanalado de una sembradora), capaz de extraer el fertilizante del recipiente que lo contiene. Este mecanismo toma movimiento, generalmente, de las ruedas de la máquina, con regulaciones para variar la tasa de aplicación, siendo ésta proporcional a la velocidad de avance. Una vez retirado el producto de la tolva, es tomado por una corriente de

aire, provista por una turbina, que moviliza el material hasta un el punto de descarga, pudiendo ser la misma localizada incorporada (Figura 60) o distribuida al voleo sobre la superficie del terreno



*Figura 60. Fertilizadora neumática con mecanismos para la incorporación del fertilizante*

Estos dispositivos pueden disponerse sobre grandes chasis que, a su vez, pueden llevar tolvas de semillas, con un sistema de distribución similar al del fertilizante, constituyéndose en las sembradoras-fertilizadoras difundidas como diseños air-drill, reconocidas por su gran capacidad de trabajo (Figura 61).



*Figura 61. Sembradora Fertilizadora con transporte neumático (diseño air drill)*

Otras máquinas con este mismo principio de distribución se asemejan a pulverizadores de botalón, debido a que la conducción del fertilizante, una vez extraído de la tolva, la realiza una corriente de aire a través de sendos caños con difusores de aplicación distribuidos a intervalos regulares sobre el cuerpo del botalón (Figura 62).



*Figura 62. Fertilizadora con asistencia neumática con botalón y difusores.*

En los últimos años se han comenzado a desarrollar diseños que permitan la aplicación de fertilizantes sólidos en estadios avanzados del cultivo, tratando de competir y complementar la aplicación de fertilizantes líquidos. Por ello, dichos diseños se basan en la utilización de la estructura básica de las máquinas pulverizadoras de botalón automotrices, aprovechando el despeje de las mismas. Estas máquinas montan en algunos casos sistemas de proyección centrífuga de discos y en otros sistemas neumáticos.

### **Aplicación de fertilizantes líquidos**

Los fertilizantes líquidos son productos que a la presión atmosférica se mantienen en estado líquido y que pueden ser trasvasados, transportados y aplicados en ese estado. En un principio solamente se podían encontrar soluciones nitrogenadas, pero en la actualidad los fertilizantes líquidos disponibles en el mercado cumplen una amplia gama de productos para cualquier cultivo y necesidad. Si bien con el aumento de la concentración se economiza el transporte, existen límites para ello debido al alto costo de la formulación.

El fertilizante líquido más difundido, en cultivos extensivos, es el UAN que es una solución de Urea y Nitrato de Amonio que posee una concentración de, solamente, 30 % de nitrógeno y el CAN (Nitrato de Amonio Calcáreo)

### **Ventajas de la aplicación de fertilizantes líquidos:**

- **dosificación precisa:** con la adecuada elección de las pastillas aplicadoras y el control de la presión de trabajo en forma manual o automática.
- **independencia de la humedad ambiente:** a diferencia de la aplicación de sólidos, los fertilizantes líquidos no sufren apelmazamientos y taponamientos de tubos de descarga.
- **aplicación simultánea:** con otros productos con afinidad físico-química con una mayor homogeneidad de aplicación.
- **fertirrigación:** se pueden inyectar directamente en la línea de riego de goteo, aspersión o surco.
- **versatilidad:** los equipos aplicadores se pueden adaptar a implementos de labranza (escarificadores) y de siembra.
- **capacidad de trabajo:** por el ancho de distribución y la velocidad de desplazamiento.
- **menores costos de manejo:** dado que el producto se puede movilizar con bombas, reduciendo mano de obra y el envase contenedor puede ser reutilizado.
- **disponibilidad:** su composición química permite una absorción y asimilación más directa por las plantas.
- **facilidad de almacenamiento:** en tanques de hasta 30 toneladas.

#### **Desventajas de la aplicación de fertilizantes líquidos:**

- **corrosión química:** las partes metálicas en contacto con el producto pueden acortar su vida útil si están compuestas por cobre, latón, hierro, zinc, hierro galvanizado y acero. Los materiales resistentes serían: acero inoxidable, fundición plastificada o esmaltada, materiales plásticos, polisteres, aluminios, neoprene, vidrios y materiales cerámicos (óxidos de aluminio y esteatitas. Es muy importante el lavado diario de la máquina.
- **abrasión física:** en especial de aquellos productos en suspensión que pueden desgastar elementos como bombas, juntas grifería, válvulas y pastillas.
- **separación de fases:** proceso que se puede dar en productos en suspensión cuando no son adecuadamente removidos dentro del depósito que los contiene.



*Figura 63. Sembradora con aplicación de fertilizante sólido y líquido*

## Formas de aplicación:

### en forma superficial:

- chorreado o pulverizado en cobertura total en presiembra
- chorreado en pos emergencia

### con incorporación:

1. En pre-siembra con implementos de labranza vertical o de discos
2. Al momento de la siembra con sembradoras adaptadas (Figura 63)
3. Con incorporadoras de fertilizantes líquidos

## Pastillas para la aplicación de fertilizantes líquidos

Para la aplicación de este tipo de fertilizantes se deben utilizar pastillas que permitan una familia de gotas gruesas y homogéneas para evitar las pérdidas de deriva por acción del viento en conjunción con la generación de corrientes motivadas por la velocidad de avance.

Pueden ser utilizadas pastillas convencionales de **abanico plano** (de hendidura) generalmente utilizadas para la aplicación de herbicidas (Figura 64 a), teniendo en cuenta que las presiones de trabajo deben ser bajas (no mayor a 3 bares) dentro de lo posible, para disminuir el riesgo de deriva. Estas pastillas tienen un perfil de distribución triangular que debe ser superpuesto para conseguir una distribución uniforme. Estas pastillas deben ubicarse de manera tal que sus proyecciones no se toquen entre sí para evitar que no se produzcan coalescencia de gotas y desuniformidad de aplicación.

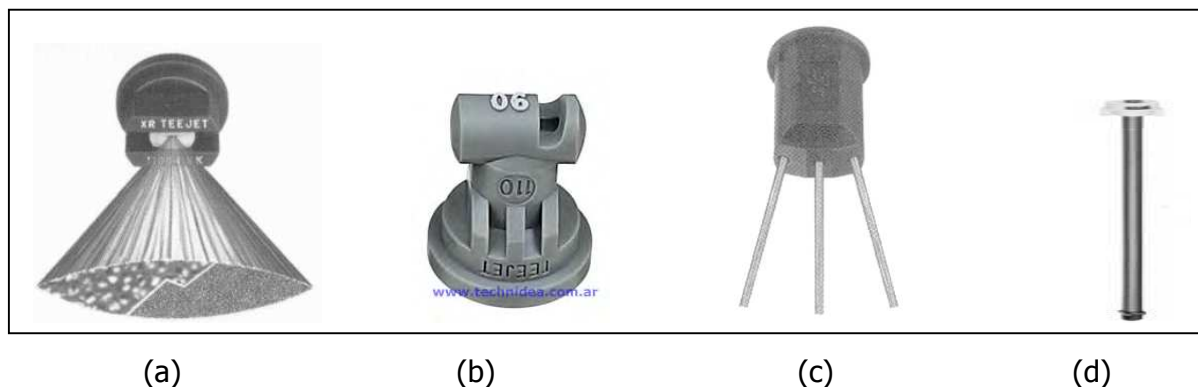


Figura 64. (a) pastilla abanico plano; (b) pastilla de impacto o espejo; (c) pastilla 3 orificios; (d) accesorio para la aplicación de UAN

Otra pastilla que se puede usar es la de **de impacto, espejo o deflectoras** (Figura 64 b). En estas pastillas la vena líquida impacta sobre una superficie deflectora pudiendo tener un ángulo de aplicación entre  $90^\circ$  y  $140^\circ$ , lo que permite un importante espaciado entre pastillas sucesivas. Estas pastillas permiten trabajar a presiones bajas (0,5-2,5 bares) en las específicas para aplicaciones sobre suelo desnudo o entre 1 a 6 bares para los nuevos diseños en cobertura total.

Por último, dentro de las pastillas de uso convencional para la aplicación de agroquímicos pueden ser usadas también **las pastillas con inducción de aire**. Este tipo de pastillas también resulta, presentando como ventaja al igual que las de impacto con respecto a las de hendidura que poseen orificios grandes, redondos, que facilitan el flujo del líquido sin favorecer la obturación de los mismos.

Las pastillas específicas para pulverización pueden ser de 1 o múltiples orificios (Figura 64 c), produciendo un chorro de producto que permite realizar aplicaciones dirigidas cuando el cultivo ya ha emergido, entre las líneas del mismo, con accesorios de bajada (Figura 64 d) minimizando los riesgos de quemaduras sobre las hojas, por no producir niebla en la aplicación. Normalmente, en la aplicación con estas pastillas el líquido se puede distribuir entre 1 a 4 bares, pudiendo efectuarse también a la presión atmosférica (chorreo) y a una altura sobre el suelo de 0,70 a 1 m.

### **Calibración de fertilizadora gravitacional de aplicación en línea**

La calibración de estas máquinas es similar a la que se realiza para las sembradoras de grano fino. El ensayo de calibración debe realizarse en condiciones estáticas (dentro de un galpón, por ejemplo) con antelación a la fertilización, para reconocer problemas más importantes que ameritan mayor tiempo de reparación. Es recomendable repetir la calibración en el momento de la aplicación, ya sobre el mismo terreno de trabajo y con el fertilizante que se va a emplear.

#### **Ensayo estático:**

- **limpieza y lubricación:** cualquier resto de fertilizante de una anterior aplicación, tanto en la tolva como en los dosificadores o tubos de descarga puede ocasionar alteraciones en la entrega del fertilizante. Es conveniente la revisión de las cadenas y su mantenimiento previo al control. La distribución del fertilizante produce una resistencia al movimiento que puede ocasionar discontinuidades en el mismo y variaciones en la uniformidad de la distribución en la línea, por "cadeneo" o patinamiento de la rueda de mando.
- **llenado de la tolva:** se debe colocar suficiente cantidad de fertilizante para que se produzca una carga adecuada de los dosificadores que represente una condición real.
- **elevación del implemento:** de acuerdo al ancho de la máquina habrá una o más ruedas de mando del tren cinemático de la fertilizadora, que entrega movimiento a los dosificadores de fertilizante. Este paso es necesario para que, manualmente, podamos mover a los dosificadores a través del giro de las ruedas de mando.
- **determinación del perímetro del rodado:** esta medición es necesaria para saber el desarrollo de pisada de la rueda cuando cumple una rotación completa (cabe hacer notar que esta determinación puede sufrir modificaciones en la regulación dinámica, condiciones de trabajo, dependiendo del tipo de rodado, la presión de inflado y de la carga normal que recae sobre el neumático, en función del peso de la máquina y de la dotación de fertilizante en la tolva). Este paso se puede cumplir recorriendo el neumático con una cuerda y luego medir dicha longitud, o bien emplear la siguiente ecuación:

$$\text{Perímetro} = 3,1416 \times \text{diámetro de la rueda}$$

- **elección de la relación de transmisión:** de acuerdo a tablas de referencia que la máquina presente en relación al sistema de transmisión de movimiento hacia los dosificadores (por ejemplo combinación de engranajes), junto con otras regulaciones (por ejemplo apertura de compuertas de entrega al dosificador), y en relación al fertilizante y dosis a



aplicar, se buscará la regulación tentativa que convenga a nuestras necesidades.

- **cargado de dosificadores:** una vez embragada la máquina se hace girar la o las ruedas de mando para cargar a los mecanismos dosificadores.
- **colocación de bolsitas en los tubos de descarga:** el chequeo de la máquina debe realizarse en la totalidad de los mecanismos dosificadores para evaluar el estado de funcionamiento de los mismos. Las bolsas se tomarán a los tubos de descarga por medio de banditas elásticas o precintos.
- **giro de la rueda de mando y recolección del fertilizante:** debe hacerse girar la rueda de mando el número de veces que, de acuerdo a su perímetro, represente una distancia de desplazamiento de por lo menos 50 metros, o bien la distancia que nos permita recolectar una cantidad suficiente de producto, de acuerdo a la sensibilidad de la balanza utilizada. En líneas generales, a mayor distancia recorrida mayor precisión de la determinación.
- **pesado individual de las bolsitas:** cada bolsita será pesada individualmente. Luego del pesaje individual se procederá a sumar los datos obtenidos y se determinará el promedio de la cantidad de fertilizante recogido en las mismas dividiendo el peso total por el número de distribuidores evaluados.
- **determinación de los desvíos con respecto a la media y revisión/repación de los dosificadores fuera de rango:** para esta tarea se considera que un dosificador está fuera de rango cuando la cantidad recogida, en la bolsita respectiva, se aparte de la **media  $\pm 10 \%$** . Aquellos distribuidores que distribuyan por exceso se revisarán para su eventual reparación o ajuste, controlando los mecanismos o lengüetas que puedan incidir también en el flujo de material. Los que se encuentran por debajo de la media serán revisados en sus elementos activos y bocas de descarga por la posibilidad de suciedad y restos de fertilizantes que puedan limitar el movimiento del fertilizante. También deberá constatarse la presencia y funcionamiento de los removedores. Por último, si las diferencias en más o en menos se corresponden con un sector de la máquina, se deberá revisar el estado de los neumáticos, su presión de inflado o corroborar la igualdad de alistamiento del tren cinemático en sus distintos puntos de regulación.
- **confirmación de la dosis de aplicación:** relacionando la distancia supuestamente recorrida ( $n^{\circ}$  de vueltas de la rueda x el perímetro de la misma) con el ancho efectivo de la máquina, se obtiene la **superficie** barrida por la fertilizadora. En dicha superficie se aplicó una cantidad equivalente a la sumatoria del contenido de las bolsitas colocadas. Luego de obtenido este dato, se relaciona la **cantidad de fertilizante entregada**, en la superficie recorrida, con la cantidad que se aplicaría si se recorriera una hectárea del lote. La **tolerancia** de aplicación no debería variar dentro de lo posible en un 5% con la dosis objetivo planteada, salvo que las discontinuidades en las relaciones de transmisión impiden alcanzar dicho grado de precisión.

En el **ensayo dinámico** se reproducen los pasos detallados anteriormente, con la salvedad de que en lugar de levantar la máquina y hacer girar la rueda de mando, se recorre con la sembradora la distancia determinada. La realización de este ensayo es sumamente necesaria porque incorpora, en su determinación, factores que podrían

alterar la calibración realizada en forma estática al considerar, por ejemplo y entre otras cuestiones, las vibraciones que se originan en condiciones de marcha con el consecuente acomodamiento y segregación que se produce en el material a entregar. Además, en este ensayo se incorpora como variable el patinamiento de la rueda de mando, el cual afecta disminuyendo la dosis de aplicación. También incidirá la relación rueda suelo, según las características del rodado y el estado mecánico del sustrato.

## **Calibración de fertilizadoras centrífugas**

Como ya fuera expresado en párrafos aparte, estas máquinas necesitan de una precisa determinación del ancho efectivo de trabajo para que, a partir del mismo, pueda establecer en forma correcta la superposición necesaria entre pasadas, en virtud de conseguir la homogeneidad de aplicación.

Aspectos previos a tener en cuenta:

- **verificación del estado general de la máquina:** debe estar limpia, sin restos de fertilizante y engrasada en sus partes móviles.
- **verificación de la presencia de dispositivos de seguridad:** generalmente estas máquinas reciben potencia rotacional por medio de la Toma Posterior de Potencia del tractor, la cual debe contar con la respectiva protección homologada por el IRAM, para prevenir accidentes que, en un buen número de ellos, pueden ser mortales.

Una vez revisada la máquina se procede a su regulación, efectuando los siguientes pasos:

1. **Enganche de la máquina:** el tipo de vinculación de estas máquinas con el tractor puede ser del tipo de tracción libre (arrastre) o bien, a través del sistema hidráulico tripuntal. En el acoplamiento se debe verificar el paralelismo de los mandos cardánicos para evitar angulaciones que puedan resentir las crucetas.
2. **Verificación de las velocidad de giro (revoluciones por minuto) de la toma de fuerza del tractor:** como se dijo anteriormente, el correcto funcionamiento de estas máquinas, como su performance en la distribución, dependen en buena medida de que la caja de mandos de la fertilizadora reciba la velocidad de régimen estandarizada de acuerdo a si es de categoría 1 (540 rpm) o categoría 2 (1000 rpm). Esta tarea debe controlarse cada vez que se produzca una desaceleración y vuelta a colocación en régimen de giro del dispositivo durante el trabajo con la máquina. Para ello es de fundamental importancia el correcto funcionamiento del tacómetro del tractor o de la máquina en el caso de las autopropulsadas.
3. **Nivelación de la máquina:** prestar especial atención a esta regulación, debido a la estrecha relación entre ella y el patrón de distribución del producto. Deben buscarse el paralelismo en sentido longitudinal y transversal al avance.
4. **Nivelación de altura:** esta es otra de las regulaciones fundamentales para conseguir entrega uniforme del material a aplicar. El fabricante de la máquina, a través del manual de la misma, suele recomendar la altura necesaria para una correcta distribución y alcance, la cual debe variar en acuerdo con la altura del cultivo, según se realice el trabajo durante el barbecho, sobre suelo desnudo o una vez crecido el mismo.

5. **Determinación de la dosis de aplicación:** La **ecuación** que se utilizará para la calibración de la fertilizadora es la siguiente:

$$\text{kg/ha} = \frac{\text{kg/min} \times 600}{\text{Ancho efectivo (m)} \times \text{Velocidad (km/h)}}$$

6. **Determinación de la velocidad de avance:** si bien la recomendación de velocidad de trabajo se encuentra en el rango de 6 a 10 km/h, esta debe ser verificada en el campo, debido a la dependencia de la misma con el estado del terreno. Al hacer la corroboración de la velocidad de trabajo es necesario respetar el régimen estandarizado de la Toma Posterior de Potencia.

Se medirá sobre el campo una distancia de 100 metros y se determinará con un cronómetro el tiempo en recorrerla, atendiendo que:

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Espacio recorrido (m)}}{\text{Tiempo empleado (s)}}$$



Para convertir m/s en km/h, se debe multiplicar por 3,6.

7. **Ajuste del caudal de entrega (kg/min):** de acuerdo a las tablas orientativas que provee la máquina, al tipo de producto y a la cantidad a entregar, se procederá a la apertura de las compuertas de alimentación de la tolva. La información de dosificación del manual de la máquina es solo orientativa y debe ser corroborada cada vez que se cambia de material a aplicar, debido a que con cada partida de fertilizante las propiedades físicas del mismo suelen también modificarse, como así también las condiciones atmosféricas al momento de aplicación. Para realizar esta operación se determina una apertura de la compuerta de entrega, se cubre la máquina con una lona, para recoger el material entregado en un minuto, en condiciones de régimen estandarizado de la Toma Posterior de Potencia y se procede al pesaje del material entregado. Si la cantidad recibida no se corresponde con la de la tabla de la máquina se abrirá o cerrará la compuerta, repitiendo la operación hasta obtener la cantidad deseada. En algunos casos, los diseños permiten la remoción de los elementos de esparcido y la colocación de recipientes a la salida de la máquina que simplifican la operación y disminuyen los riesgos que implica el control con bolsas ubicadas cercanas a los órganos de trabajo. En otros, la máquina cuenta con balanza y computadora que indica para un determinado ancho de trabajo la dosis de aplicación, por lo cual es posible establecer la entrega en kg/ha o el caudal en kg/min por medio de la ecuación utilizada para la calibración, ya que en estos casos normalmente se estima también la

velocidad de avance por medio de un sensor de proximidad metal no metal asociado a una de las ruedas de la máquina.

**8. Cálculo del ancho de trabajo efectivo:** al distribuir el fertilizante por proyección estas máquinas tienen un ancho teórico (mayor) y un ancho efectivo (menor), con un patrón de distribución cuya regularidad depende de numerosos factores, ya aclarados más arriba, y, por supuesto, de la calidad de diseño de la máquina. Generalmente suele ocurrir una mayor deposición de material cerca del órgano distribuidor, y menor cantidad a medida que nos alejamos de éste. Esta condición de trabajo amerita la necesidad de superponer pasadas sucesivas. El Instituto de Ingeniería Rural del INTA Castelar sugiere tomar como **tolerancia para el solapamiento  $\pm$  el 30 % de la densidad media calculada** (tolerancia basada en la Norma ISO 5690/1 del año 1985. otra Norma que reglamenta el ensayo de calibración de estas máquinas es la ASAE S341.2 del año 1992) El procedimiento es el siguiente:

- sobre una línea perpendicular al paso del tractor ubicar **cajas de 50 cm x 50 cm o bien 25 cm x 100 cm** (1/4 de metro cuadrado, medidas normalizadas), en lo posible contiguas unas a otras, o bien caja por medio, dejando lugar para el pasaje de las ruedas del tractor en el centro de la línea de cajas. Numerar las cajas de izquierda a derecha. En ellas se recogerá el fertilizante distribuido
- en lo posible cubrir las cajas con una malla **de cuadrícula de 5 x 5 cm, hasta 10 x 10 cm**, para evitar el rebote del fertilizante. Se recomienda no tensar la malla. La norma también indica la colocación de un reticulado interior en lugar de la malla, con una altura relacionada a la altura de las cajas utilizadas (Figura 65).
- **realizar varias** pasadas con el tractor, siempre en el mismo sentido (al menos 4 pasadas), hasta verificar la recolección de material en una cantidad tal que permita ser evaluada con la precisión de la balanza con que contemos.
- **Pesado del material.** El fertilizante recolectado en cada caja se debe pesar individualmente y los datos se vuelcan en una planilla de cálculo.
- calcular el **peso medio**, promediando los pesos de material recolectados en todas las cajas.
- establecer **valores de tolerancia mínimos y máximos:** estos valores determinan la cantidad de cajas que pueden ser superpuestas. De acuerdo a las Normas se establece como valor de tolerancia aquel que se aparta en **30% del promedio** de las muestras. Revisamos en la planilla las cajas del lado izquierdo y derecho de la aplicación cuántas cajas tienen un valor entre el rango de la tolerancia. Siempre se debe superponer igual cantidad de cajas del lado derecho que del izquierdo. Si superponemos hasta la tolerancia máxima (más cajas) reduciremos nuestro ancho efectivo pero tendremos una aplicación más uniforme.
- el **ancho efectivo** surge de la multiplicación del número de cajas que debemos colocar desde el centro de una pasada del equipo al centro de la otra pasada, multiplicado por el ancho de cada caja (sumaremos los espacios muertos si colocamos una caja por medio). Una vez obtenido este dato, lo incorporamos a la ecuación del punto **5** y se obtiene la dosis por hectárea.



*Figura 65. Vista de las cajas normalizadas para la recolección del material con los elementos para impedir el rebote y pérdida de fertilizante*

La determinación de la eficiencia de aplicación se debe referir a una medida estadística de dispersión que se denomina **Coefficiente de Variación (Desvío estándar/la media x 100)** y que expresa cuanto se aleja la distribución de la media de la población. La bibliografía internacional recomienda la siguiente escala de Coeficientes de Variación (Tabla 51).

*Tabla 51. Calificación del coeficiente de variación para la calibración de fertilizadoras*

| <b>Ensayos de laboratorio</b> | <b>Interpretación</b> | <b>Pruebas de campo</b> |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| <b>0&lt;CV&lt;10%</b>         | Bueno-muy bueno       | 0<CV<15%                |
| <b>10&lt;CV&lt;15%</b>        | Aceptable             | 15<CV<25%               |
| <b>&gt;15%</b>                | Malo-a desechar       | >25%                    |

La metodología desarrollada en los puntos precedentes difícilmente pueda llevarse a cabo a nivel de campo. Habitualmente las fábricas nacionales no ofrecen como equipamiento de la máquina fertilizadora un kit de cajas de calibración del ancho de trabajo efectivo. En algunos casos, se ofrece un equipo básico a costos elevados, siendo escasos los proveedores que lo entregan como un accesorio dentro del costo de adquisición de la fertilizadora. Frecuentemente, no se dispone tampoco de una balanza que brinde adecuada precisión para la pequeñísima cantidad de fertilizante que se recolecta en los extremos de la distribución, haciendo imprecisa la determinación del ancho de cobertura efectivo. En otros, con máquinas de gran ancho de esparcido, se requiere un número elevado de cajas para realizar la calibración.

Por otra parte, resulta conveniente siempre realizar un gráfico con las determinaciones de peso llevadas a cabo para establecer las características del patrón de distribución, que permitan efectuar las regulaciones pertinentes ante la presencia de desuniformidad en la entrega de fertilizante en los distintos sectores.

En función de lo antedicho, existen soluciones de compromiso que permiten solucionar parcialmente los inconvenientes mencionados, ya que lo más importante es

que se cuantifique y establezca de manera aunque sea aproximada la forma o patrón de distribución.

En cuanto al número de cajas, de contar con pocos elementos, es conveniente que las mismas se distribuyan uniformemente a izquierda y derecha del pasaje del tractor, dejando al menos una caja en el medio del pasaje entre las ruedas del mismo. Si las mismas no son pocos, pero no alcanzan a cubrir el ancho de cobertura total, se deben colocar mayor cantidad de cajas en la parte central de la distribución, cercana al pasaje del tractor y luego espaciar regularmente las mismas hasta los extremos de la distribución. De esta forma, se podrán detectar los problemas de anomalía de los patrones de distribución (ni trapezoidal ni triangular).

Si existe reticencia a realizar múltiples pasajes en la misma senda y se cuenta con cajas suficientes, se pueden colocar 4 cajas apareadas en la dirección de avance del conjunto, en la parte central y en la zona de posible superposición de las pasadas. De esta forma, en esos sectores se simula el pasaje del tractor 4 veces, en el mismo sentido. Luego se debe juntar el material recolectado en cada sector (centro por un lado y extremo por otro) y proceder a pesarlo. La cantidad en los extremos debe ser la mitad de lo recolectado en el centro. De ser la cantidad menor, se deberá disminuir el ancho de cobertura y si se supera el 50% se deberá aumentar el ancho al pre-establecido cuando se ubicaron las cajas recolectoras.

En el caso de no contar con balanza de precisión adecuada a la cantidad de fertilizante distribuido, se pueden utilizar tubos tipo "Falcon" (tubos plásticos graduados) con tapa. Los tubos permiten efectuar una medición volumétrica, no tan precisa como la gravimétrica pero lo suficientemente buena como para efectuar una adecuada superposición y determinación del ancho de cobertura efectivo. Resulta conveniente antes de realizar la lectura efectuar en cada tubo un mismo número de golpes (2 o 3) para permitir que el fertilizante se ubique de manera correcta dentro del tubo.

Por otra parte, la tapa permite una vez realizadas las lecturas y las anotaciones correspondientes invertir los tubos, colocar los mismos parados uno al lado del otro y obtener un patrón de distribución gráfico que ayuda a visualizar con claridad la presencia de perfiles indeseados.

Además de la metodología detallada, existen software de uso gratuito que grafican los datos ingresados, establecen la variación del coeficiente de variación en función del ancho de trabajo efectivo y simulan el pasaje del conjunto y la distribución del fertilizante con distinto grado de solapamiento entre pasadas, tanto para el trabajo ida y vuelta (alternado) como en redondo (continuo, girando siempre en las cabeceras en un mismo sentido).

## **Calibración de fertilizadoras para fertilizantes líquidos**

La metodología para la calibración de aplicadoras de fertilizantes líquidos en cobertura es similar a la regulación de pulverizadoras de botallón.

Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

### **Aspectos generales**

- **revisión de las boquillas:** todas las boquillas deben ser del mismo tipo y con un adecuado estado de conservación, atendiendo a que la calidad de la aplicación depende, en gran medida, de este aspecto.
- **revisión de los filtros:** son responsables de retener partículas que pueden alterar el normal funcionamiento de una determinada parte del circuito. Existen varias instancias de filtrado con filtros de distinta capacidad de filtrado. La

capacidad de filtrado se mide en *mesh* (cantidad de filamentos del filtro por pulgada lineal). Pueden existir filtros a nivel de boca de llenado del tanque, a la salida del mismo (antes de la bomba), en la entrada de alimentación a las secciones del botalón y a nivel de las pastillas de aplicación.

- **válvulas antigoteo:** elemento necesario para evitar posibles efectos fitotóxicos del fertilizante y sobrededeposiciones en la cabecera del cultivo, que podrían generar un impacto ambiental desfavorable.
- **manómetro.** Elemento indispensable de lectura periódica durante la aplicación para corroborar la presión del sistema. Se deben ubicar a la vista del operario para facilitar su lectura. Es recomendable que tenga una escala de lectura que abarque las presiones normales de trabajo, teniendo la mayor sensibilidad en esa zona de lectura. Deberían contar con baño de glicerina para aislar al mecanismo de medición del contacto con el producto y también para amortiguar las oscilaciones de la aguja de medición. Debe contar con llave de corte para que funcione solamente cuando se desee chequear la presión del sistema y así prolongar su vida útil.
- **revisar mangueras y conexiones:** para corroborar la ausencia de fugas.

#### Aspectos particulares:

- **control de la presión del botalón:** es necesario verificar si existen variaciones de presión entre la lectura del manómetro y la presión a nivel de las boquillas del botalón (pérdidas de carga). Esta lectura se puede hacer al inicio, al medio y en el extremo del botalón
- **determinación del caudal por boquilla y cálculo de su dispersión en relación al promedio:** con la pulverizadora a la presión de trabajo recomendada por el fabricante de las pastillas, se recoge el líquido en un recipiente graduado durante un minuto (Figura 66). Se debe tener en cuenta que deberían reemplazarse las boquillas cuya desviación, en relación al caudal erogado por una pastilla nueva sea **mayor al 10%**. Si el caudal es menor al 10% que el correspondiente a la pastilla nueva se deberá proceder a la inspección y limpieza de la pastilla o los filtros de la misma. Si el problema afecta a un sector de la máquina corresponde la revisión de los filtros de línea correspondientes. Es recomendable realizar esta determinación solamente con agua dentro del depósito de la pulverizadora para evitar contaminaciones.



*Figura 66. Evaluación del caudal erogado por las pastillas*

- **regulación del espaciamiento entre boquillas:** para una distribución uniforme es necesario que todas las pastillas tengan el mismo distanciamiento en el botalón.
- **elección del caudal de aplicación (litros/ha):** de acuerdo a lo indicado en la etiqueta o marbete del producto a aplicar. Puede admitirse una tolerancia máxima del  $\pm 20\%$  entre el caudal recomendado y el obtenido a campo y un **5%** entre el caudal deseado y el efectivo.
- **verificación de la altura del botalón:** la altura de la barra pulverizadora es una determinación esencial a la hora de conseguir una aplicación uniforme. La misma depende del tipo de pastilla que se utiliza. Por ejemplo para una pastilla de  $110^\circ$  de apertura se recomienda una altura de 50 a 60 cm. Si el ángulo es de  $80^\circ$ , la altura recomendada debería ser entre 70 a 90 cm. Si la altura es mayor a la recomendada, se favorece la deriva del producto. Si la altura es menor, se reduce el solapamiento de cada pastilla, cuando éstas lo ameritan, dejando zonas sin tratar.
- **determinación de la velocidad de trabajo:** la mayoría de las pulverizadoras guardan estrecha relación entre la velocidad y el volumen de aplicación. Esto hace necesaria la determinación precisa de la velocidad de desplazamiento del implemento. Para la misma seguir el procedimiento señalado en el punto 6 de la calibración de fertilizadoras centrífugas.
- **cálculo del volumen real aplicado:** para este cálculo se puede proceder de la siguiente manera:
  1. Se llena el depósito de la máquina con agua.
  2. Se mide en el campo una distancia tal que multiplicada por el ancho de cobertura de la pulverizadora determine una superficie de  $1000 \text{ m}^2$ .
  3. Se pulveriza la zona marcada a la velocidad de trabajo seleccionada.
  4. Una vez recorrida la distancia establecida, se procede a reponer el agua gastada hasta el nivel de partida. El volumen de agua gastado multiplicado por 10, determina el volumen por hectárea que se está aplicando.
- la **ecuación** que se puede aplicar para facilitar la regulación de la máquina es la siguiente:

$$\text{litros/ha} = \frac{\text{litros/min} \times 600}{\text{Distanciamiento entre boquillas (m)} \times \text{Velocidad (km/h)}}$$

O bien:

$$\text{litros/min} = \frac{\text{litros/ha} \times \text{Distanc. entre boquillas (m)} \times \text{Veloc. (km/h)}}{600}$$

Si las aplicaciones son en fajas, la única diferencia metodológica en el procedimiento radica en el reemplazo del valor de la distancia entre boquillas por el de la anchura de la faja pulverizada (m).