Regulación de fertilizadoras: con la dosis no alcanza

Santiago Néstor Tourn; Juan Ignacio Santos; Mariano Trueba; Rodrigo Lasaga, Dionisio Martinez y Walter Carciochi
Facultad de Ciencias Agrarias de Balcarce (UNMdP)
tourn.santiago@inta.gob.ar

Introducción

La pérdida de nutrientes del suelo y el uso continuo de siembra directa han provocado incrementos en la respuesta de los cultivos a la adición de nutrientes y su reposición ha ganado importancia (Sainz Rozas et al., 2011). Los nutrientes generalmente deficientes para la producción de cultivos en la región pampeana han sido el nitrógeno (N) y el fósforo (P) (Divito et al., 2011). Su deficiencia puede ser suplida total o parcialmente a partir del agregado de fertilizantes inorgánicos.

Si bien existen fertilizantes en estado sólido, líquido y gaseoso, la aplicación de fertilizantes sólidos en forma granulada es la más utilizada y presenta ciertas ventajas al no tener que diluirse ni mezclarse, presentar menor absorción dérmica y menor deriva (Parish, 2002). La mayoría de los fertilizantes sólidos se presentan en forma de gránulos y su número guía de tamaño (SGN) varía notablemente entre fertilizantes y entre partidas del mismo fertilizante. La urea (46-0-0) es la fuente nitrogenada sólida más utilizada para la fertilización de los cultivos extensivos por su alta solubilidad y concentración de N. Además, es no polar, lo que permite que se pueda mezclar con otros fertilizantes y agroquímicos (Carciochi y Tourn, 2017). Los fertilizantes fosforados son también muy utilizados y si bien gran parte se aplican inyectado al suelo, en los últimos años se han generalizado las aplicaciones por proyección.

La técnica de aplicación por proyección del material predomina en Argentina. El mercado cuenta con una importante cantidad de máquinas para la aplicación de fertilizantes granulados por proyección y los sistemas de distribución más utilizados son los doble-discos y difusores neumáticos (Carciochi y Tourn, 2016). Los primeros, y más utilizados, constan de dos discos con aletas que reciben el fertilizante y lo proyectan por fuerza centrífuga. El ancho de labor es variable ya que se ve afectado por factores propios de la maquinaria (velocidad de giro de los discos, diámetro de los discos, largo o ángulo de las paletas, altura de aplicación y ángulo de salida de las particular) y del fertilizante (tamaño de partícula, forma, dureza y densidad) (Aloe y Toribio, 2008). Tienden, en general, a conformar una distribución con diagrama de tipo trapezoidal y es necesaria la superposición de pasadas para lograr mayor uniformidad en la distribución del fertilizante (Martinez Peck, 2007). Los motivos de su gran adopción son su precio accesible, fácil mantenimiento, alta velocidad de avance y el amplio ancho de labor (Cerqueria de Luz, 2010). En las fertilizadoras neumáticas, el fertilizante baja de la tolva por presión (tolva presurizada) y gravedad, luego es dosificado por un conjunto de rodillos y arrastrado por una corriente de aire generada por ventiladores centrífugos. El transporte es a través de tuberías adosadas a un botalón hasta los difusores que provocan la distribución del material en el terreno (Piveta, E. com. per., 2018). La principal diferencia de la distribución del material entre los dos mecanismos de distribución (discos y difusores neumáticos) está en la proyección del material. En los sistemas de discos la partícula de fertilizante recorre una distancia lateral y luego cae por gravedad. Esto genera que durante el recorrido lateral la trayectoria de la partícula puede modificarse por factores como el viento o bien la arquitectura del cultivo sobre el que se aplica. En cambio la proyección neumática de la partícula de fertilizante es hacía abajo formando un ángulo de 45-50° con la superficie del suelo. Este tipo de trayectoria disminuye el tiempo en que la partícula está expuesta al viento y se ve menos afectada por el canopeo (Parish, 2002). La variación del tamaño de partícula en y entre las partidas de fertilizantes es el factor físico más influyente en máquinas doble disco y hace necesario cambios en la configuración del sistema distribuidor para lograr uniformidad en su aplicación (Márquez, 2011). La distribución neumática, permite la aplicación de fertilizantes con tamaño de partícula desuniforme manteniendo la uniformidad de distribución, respecto

a las de doble disco.

En general, la calibración de la dosis en las fertilizadoras resulta muy simple de llevar a cabo, y si bien se registran ineficiencias, la uniformidad de distribución del fertilizante sobre el terreno (UD) es el punto clave al momento de planificar una aplicación de calidad y apta para las tecnologías de fertilización variable. En este punto, las fertilizadoras de doble plato presentan más posibilidades de corrección respecto a las neumáticas. Existe un gran desconocimiento de la UD y de cómo es afectada por los cambios de configuración de los mecanismos distribuidores. Esto puede llevar a generar zonas con diferentes tasas de aplicación, los casos más comunes son:

a) uniformidad de distribución aceptable y ancho de labor inadecuado,
b) ancho de labor adecuado y una mala distribución de fertilizante sobre el terreno
c) ancho de labor inadecuado y mala distribución de fertilizante sobre el terreno.

El parámetro de variación más usado para caracterizar la UD es el coeficiente de variación (CV%). Se consideran aceptables CV% a campo de la distribución de fertilizante igual o menores a 25% (Botta et al., 2001). Distribuciones con CV% por encima de dicho valor, pueden manifestarse en franjeos en los cultivos por baja eficiencia de uso del fertilizante, generando pérdidas de productividad, afectando económica y ambientalmente al sistema (Carciochi y Tourn, 2017).

En los últimos años se ha hecho énfasis en la importancia de configurar las máquinas fertilizadoras, suministrando información de cómo realizarlo (Aloe y Toribio, 2008). Al respecto, se han documentado distribuciones con CV% mayores a 35% en máquinas distribuidoras de doble disco de urea en el sudeste de Buenos Aires (Carciochi y Tourn, 2016). Asimismo, luego de correcciones del sistema de distribución se han logrado valores de CV% inferiores al 25%. Sin embargo, se desconoce para los distintos fertilizantes cuales son los niveles de variación que pueden garantizar una aplicación de calidad.

Caracterización de la uniformidad de distribución de fertilizadoras por proyección de discos en la Provincia de Buenos Aires

Durante los años 2017 y 2018, en el marco de tares de investigación y transferencia de Mecanización Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias de Balcarce (UNMdP), se realizaron evaluaciones de desempeño a 45 máquinas fertilizadoras por proyección de discos. El parque de maquinarias evaluado tenía una antigüedad máxima de 5 años y eran de origen nacional e internacional (**Tabla 1**).

Tabla 1. Caracterización de las fertilizadoras de proyección de doble discos evaluadas (total: 45).

Marca de Fertilizadora	Origen	Cantidad
Fertec	Nacional	17
Yomel	Nacional	12
Syra	Nacional	6
Terragator	Internacional	3
SR	Nacional	3
Gimetal	Nacional	2
Metalpaz	Nacional	1
Amazone	Internacional	1

Las evaluaciones consistieron en estimar la UD de fertilizante en el terreno. Se utilizaron urea y superfosfato triple (0-46-0) granulados para las evaluaciones. La urea granulada se usó como fertilizante de referencia dado que, de los más utilizados (superfostato simple, triple, fosfato diamónico, etc.), es el que presenta mayor desuniformidad de tamaño de partícula. En todos los casos se determinó el SGN de cada muestra y el valor más común fue de 260 ±30. El método de determinación de la UD fue una adaptación de la norma IRAM 8041 (**Figura 1**).

En cada momento de evaluación de la UD se estimó la temperatura, humedad relativa y el viento promedio y ráfagas. Se utilizó como criterios para realizar las pruebas humedad relativa (HR) entre 20 y 70%, velocidad del viento promedio no mayor a 10 km h^{-1} y ráfagas de no más de 15 km h^{-1}. Las evaluaciones se realizaron siempre en el mismo sentido de la dirección del viento. Se utilizó el CV% y las tolerancia máximas y mínimas (**Figura 1**) como medida de decisión de necesidad de regulación de la máquina fertilizadora.

Se utilizó un CV% de 25 como límite máximo, las máquinas que luego de la calibración presentan un valor de CV% mayor, se enviaron a fábrica para modificarlas.

La dosis que se utilizó en todas las máquinas fue de 150 kg ha^{-1}. Evaluaciones previas arrojaron que la uniformidad de distribución no varía significativamente para un mismo fertilizante y configuración entre 70 y 150 kg ha^{-1}. La UD se analizó antes y después de la configuración. Independientemente de su ancho de labor efectivo siempre se utilizaron 25 bandejas recolectoras **(Figura 1)** y el material recolectado en cada caja fue referido proporcionalmente a la caja que más fertilizante recibió. Por lo tanto, los resultados se presentan en % del valor máximo. Las evaluaciones de las UD antes de la calibración presentaron diversas formas. Fueron caracterizadas de la siguiente manera:

- Punto excesivo central
- Dos puntos excesivos en los extremos (distribución tipo M)
- Tres puntos excesivos (distribución tipo W)

Resultados de las evaluaciones

En la **Tabla 2** se observa la frecuencia de tipo de distribuciones. Las distribuciones con un punto de acumulación excesivo en el centro y las de tres puntos excesivos (W) fueron las más frecuentes. Sin embargo, en las tipo W tienen un pico excesivo central. Por lo tanto, de las 45 máquinas, 36 presentaron acumulación de fertilizante en la zona central. En la **Figura 2** se muestra un ejemplo de cada tipo de distribución.

Tabla 2. Frecuencia de tipo de distribución de fertilizadoras.

Tipo de Distribución	Frecuencia (total 45)
Punto excesivo central	18
Tres puntos excesivos (distribución tipo W)	18
Dos puntos excesivos en los extremos (distribución tipo M)	9

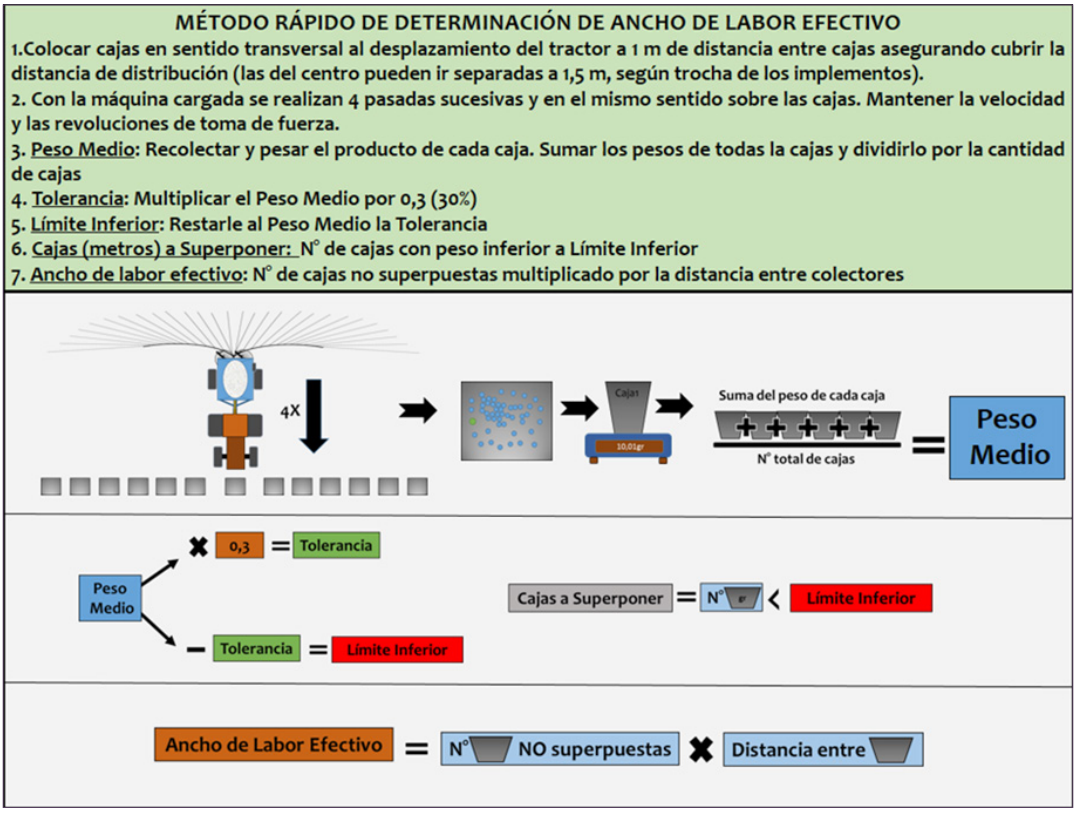

Figura 1. Método rápido de determinación a campo de uniformidad de distribución y ancho de labor efectivo. Se utilizaron 25 cajas recolectoras, abarcando el ancho de labor más dos metros. Adaptado de Carciochi y Tourn (2017).

Correcciones de acumulación en la zona central de la distribución (Figura 2b):

Este tipo de inconveniente se debió mayormente a la rotura de fertilizante por excesivas revoluciones de los discos distribuidores. Los gránulos partidos presentan un tamaño menor a la partícula original y, debido a su pérdida de esfericidad y peso, su proyección es menor, acumulándose en la zona central de la distribución. Se logró corregir el exceso de fertilizante disminuyendo las revoluciones de los discos (generalmente no más de un 10% de disminución). Del total las 36 máquinas, 29 presentaron este inconveniente, las restantes presentaban problemas constructivos que generaban pérdida de fertilizante del sistema de dosificación y distribución.

Correcciones de distribuciones tipo W (Figura 2a):

Las zonas con excesos de fertilizante en los extremos de la distribución en las del tipo W generalmente estuvieron asociadas a una incorrecta configuración de las aletas del plato y velocidad excesiva de giro de los discos. En 10 de las 18 máquinas con este inconveniente se logró disminuir notoriamente los tres puntos de excesos (mayormente el central) con solo disminuir las revoluciones de los discos. Sin embargo, la regulación definitiva y menor CV% se logró modificando la posición de alguna de las aletas (acortándolas). En los discos con dos aletas, el cambio de configuración resultó más simple y más efectivo que en discos con tres y cuatro aletas (siempre actuando sobre la aleta corta). La modificación del punto de caída de fertilizante en la mayoría de las máquinas (40) es muy limitado y solo resultaron efectivos para correcciones de zonas entre el centro y los extremos.

Correcciones de distribuciones tipo M (Figura 2c):

para corregir este tipo de distribuciones se debió actuar sobre las aletas y punto de caída de fertilizante. En primera medida se aconseja configurar las aletas cortas, alargándolas en el caso de 2 y 4 aletas, o bien, alargar 1 o 2 aletas en los discos con 3 aletas iguales. La magnitud del alargue depende de la capacidad de cambio de posición propio de cada máquina y de la cantidad de material acumulado en las zonas problema. No existe un indicador, es necesario cambiar la configuración y volver a evaluar la UD hasta observar el menor CV% y tolerancias. El punto de caída de fertilizante puede variarse acercándolo al centro del plato para lograr mayor tiempo del material sobre el plato lo que produce mayor trayectoria de las partículas. También es posible mejorar esta distribución corriendo el punto de caída hacia la parte posterior de la máquina.

Niveles de variación de las distribuciones antes y después de los cambios en la configuración:

Las evaluaciones de las máquinas se realizaron por demanda de sus dueños dado a que habían detectado algún problema de calidad de aplicación o bien querían conocer su estado. En general, las primeras evaluaciones de la UD sin superposición de pasadas arrojaron valores de CV% muy altos y en muchos casos inaceptables (**Figura 3**). Se registraron valores de CV% extremos cercanos a 80% y los más bajos 30%, sin embargo, el promedio fue 53%. Estos niveles de variación a campo no pueden garantizar una aplicación correcta de la dosis y no son aptos

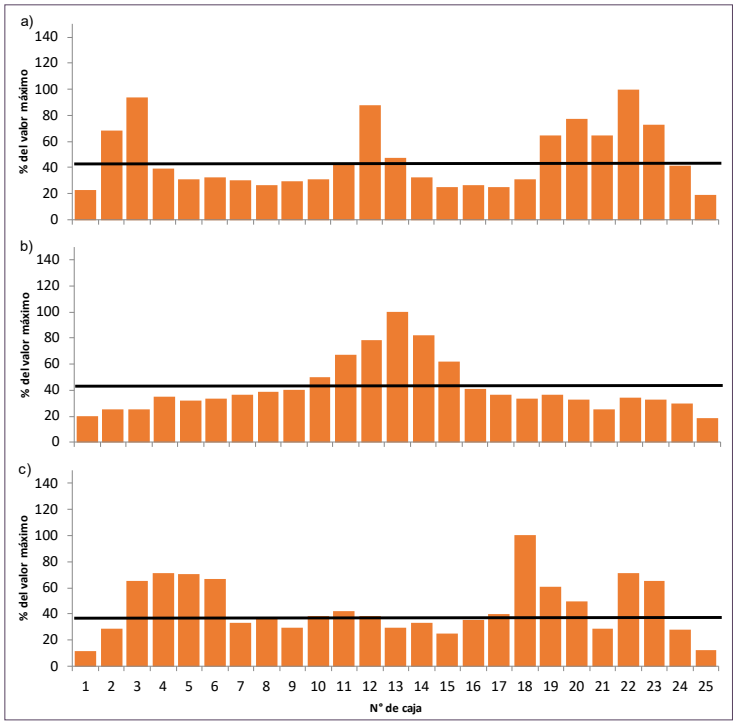

Figura 2. Distribuciones de urea de tres fertilizadoras. a) Tipo tres puntos excesivos (W), b) un punto excesivo y c) dos puntos excesivos (M). Línea negra indica el valor promedio.

para sistemas de dosis variable. Cuando se analizaron las UD iniciales con superposición (8%), el CV% promedio disminuyó a 46% (**Figura 4**) y solo una máquina de 45 tuvo un CV% menor de 25. Estos resultados demuestran que la superposición de pasadas no garantiza una mejora notable de las UD con valores de CV% altos.

Luego de las calibraciones. los CV% disminuyeron notablemente y aun si superposición de pasadas las determinaciones arrojaron un CV% promedio de 29%, con extremos entre 40% y 17% (**Figura 3**). En el caso de las máquinas en que el CV% luego de la regulación superaba 35%, se recomendó e informó a las fábricas por problemas estructurales o configuración limitada. Cuando las UD luego de las regulaciones fueron superpuestas (8%), los CV% disminuyeron notablemente (**Figura 4**) registrando un CV% promedio de 22% con extremos de 30% y 13%. Estos niveles de variación son considerados muy buenos a campo y garantizan una muy baja probabilidad de que se generen franjeos en los cultivos y pérdida de rentabilidad.

Conclusiones de las evaluaciones

- Es necesaria la evaluación periódica de las UD de las máquinas fertilizadoras para conocer los niveles de variación que presentan, aun cuando son recién adquiridas o con muy poco uso.
- La regulación de la máquina es una actividad sencilla y de muy bajo costo que puede garantizar un ancho de labor efectivo optimo y bajo nivel de variación de la dosis objetivo en el terreno.
- Si la máquina fertilizadora logra buen desempeño con urea y se utiliza otro fertilizante con mayor SGN y con niveles de dureza similar (superfosfato triple, fosfato di amónico (18-46-0), nitrato de amonio calcáreo (27-0-0), es más probable que la variación esté en el ancho de labor efectivo (mayor que con urea) que en la UD.

Impacto de la correcta regulación de fertilizadoras por proyección en el rendimiento en grano y el ingreso neto del cultivo de maíz

Entre octubre del 2017 y mayo 2018 se llevó a cabo un ensayo en la Unidad Integrada Balcarce como actividad de tesis de grado de Juan Ignacio Santos y Mariano Trueba. Uno de los objetivos fue evaluar el efecto de la uniformidad de distribución de urea generada por diferentes sistemas de distribución por proyección (de doble discos y neumáticos) sobre el rendimiento en grano de maíz y su impacto en el resultado económico del cultivo. Se utilizaron dos máquinas fertilizadoras de origen nacional, Yomel RD 2022 de doble disco bien regulada y mal regulada y Altina LSI 4000 neumática. Se midió la UD de las máquinas según **Figura 1** y se determinó su CV%. Se aplicó 75 kg ha^{-1} de urea.

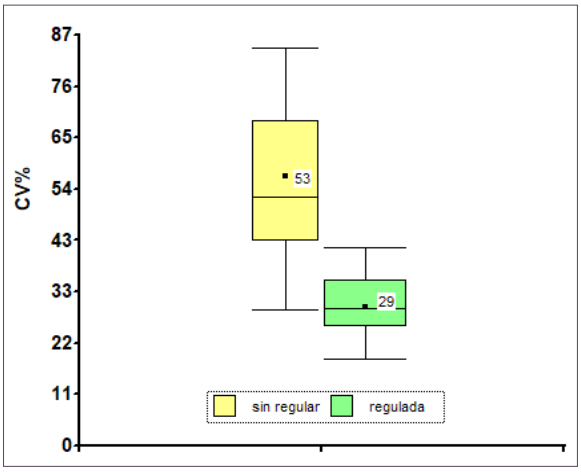

Figura 3. Diagramas de caja de los coeficientes de variación (CV%) de la uniformidad de distribución de urea sin superposición de 45 máquinas fertilizadoras antes y después de ser reguladas. Cuadrados negros dentro de las cajas indican el promedio.

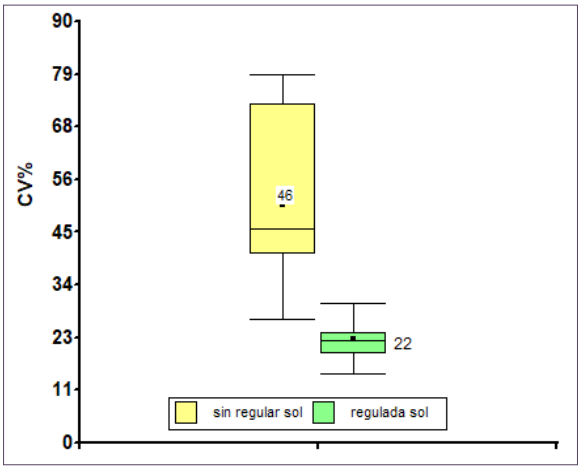

Figura 4. Diagramas de caja de los coeficientes de variación (CV%) de la uniformidad de distribución de urea con superposición (8%) de 45 máquinas fertilizadoras antes y después de ser reguladas. Cuadrados negros dentro de las cajas indican el promedio.

En la **Tabla 3** se presentan los resultados parciales del trabajo. El uso de la fertilizadora neumática presentó mayor rendimiento de maíz e ingreso neto respecto a la de doble disco independientemente de su regulación cuando se usó el ancho de labor recomendado para urea por el fabricante. Sin embargo, cuando se ajustó el ancho de labor efectivo a 19 m en la doble disco, las diferencias de la doble disco regulada y la neumática no fueron significativas. El menor CV% logrado por la mayor superposición en la doble disco no regulada provocó mejoras en el rendimiento y el ingreso neto. El hecho no de regular la máquina y trabajar con CV% elevado provocó una pérdida de 150 dólares ha^{-1}. Este monto es significativo y justifica la inversión en configurar la máquina o adquirir una que permita trabajar con CV% por debajo de 25%.

Configuraciones deseables al momento de adquirir una máquina fertilizadora de proyección de doble disco

Sistemas de distribución

1. Discos cóncavos con un diámetro mayor a 45 cm para lograr un ancho de labor efectivo alto y evitar que se pierda material de su parte superior.
2, Discos con giro solidario de accionamiento hidráulico y velocidad variable regulable.
3. Dos aletas rectas, una corta y una larga con regulación continua de su largo y con contrapeso variable para equilibrar el disco.
4. Punto de caída de fertilizante variable respecto al radio del plato y anteroposteriormente.
5. Altura mínima de los discos: 1 m

Sistema de dosificación

1. Tolva de acero inoxidable o plástico de 4500 L o más.
2. Malla agujereada para tamizar el fertilizante al momento de la carga.
3. Chapa cubre cinta que abarque un 70% de su superficie.
4. Traslado de fertilizante por cinta.
5. Accionamiento hidráulico de la cinta
6. Guillotina con regulación hidráulica o caja escuadra.

Bibliografía

Aloe, J. y.; Toribio, M. 2008. Aplicación de fertilizantes sólidos: Regulación de fertilizadoras. Profertil, Departamento de Investigación y Desarrollo. Informe Técnico n° 13. 8p.

Botta, G., Márquez, L y Dagostino, C. 2001. Máquinas para la fertilización y abonos. En Botta G (ed) Máquinas: series de producción agrícola. 7:1-103

Carciochi, W.D., Tourn, S. 2016. Características de los fertilizantes y calibración de fertilizadoras. Visión Rural, 114: 21-27.

Carciochi, W.D.; Tourn, S. 2017. Fertilizantes y calibración de fertilizadoras. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. 26: 1-10.

Cerqueria De Luz, P. 2010. Optimización de la Aplicación Enmiendas y Fertilizantes. Informaciones Agronómicas, 78:1-15.

Divito, G.A., Sainz Rozas, H.R., Echeverría, H.E, Studdert, G.A y Wyngaard, N. 2011. Long term nitrogen fertilization: soil property changes in an Argentinean pampas soil under no tillage. Soil Till. Res. 114(2):117-126.

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

Martínez Peck, R. 2007. Regulación de fertilizadoras a platillos. Fertilizar.7:18-22.

Parish, Richard 2002. Granular Spreaders: Selection, Calibration, Testing and Use. American Society of Agricultural Engineers. *68p.*

Sainz Rozas, H.R., Echeverría, H.E. y Angelini, H.P. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. Ciencia del Suelo. 29(1): 29-37. ◀

Tabla 3. Rendimiento e ingreso neto del cultivo de maíz utilizando distintas fertilizadoras con diferentes coeficientes de variación (CV%) y ancho de labor efectivo. DD: doble disco. Letras iguales entre filas en cada sección indican que no hay diferencias significativas ($p<0,05$). (Santos y Trueba, 2019, inédito)

Fertilizadora	Ancho de labor (m)	CV%	Rendimiento (kg ha^{-1})	Ingreso Neto (U$S ha^{-1})
Neumática	18	22	12.230 a	1176 a
DD regulada	22	26	11.767 b	1107 b
DD no regulada	22	53	11.309 b	1036 b
Neumática	18	22	12.230 a	1176 a
DD regulada	19	22	12.176 a	1170 a
DD no regulada	19	45	11.207 b	1020 b

Equipamientos de agricultura de precisión en aplicaciones de fertilizantes

Andrés Méndez[1] y Juan Pablo Vélez[2]
[1]Consultor – [2]EEA INTA Manfredi
andresmendez74@hotmail.com – jpablovelez@gmail.com

Introducción

Luego de más de 20 años en Argentina con la aparición de equipamientos de agricultura de precisión (AP) es que surgen muchas preguntas a cerca de que tipo de fertilizantes se aplican, en qué condiciones físico-químicas, como se distribuyen estos fertilizantes, con que tipo de equipamientos mecánicos se distribuyen, con que equipamientos electrónicos, que software se utilizan para realizar las prescripciones, que tiempo de reacción entre la lectura de una prescripción o información de lectura de sensores y la aplicación del producto a campo. Otros puntos no menos importantes son el tamaño de la unidad de aplicación, definición de la zona de caracterización, corroboración sobre si la cantidad de fertilizantes para cada zona fue la correcta o hubo déficit o excesos de productos, etc.

En los inicios de la AP aparecían frases para que los lectores comprendamos de que se trataba esta tecnología de aplicación variable de insumos. Una de las explicaciones mencionaba a la Tecnología de Dosis Variable (VRT) que permitía a los agricultores una vez conocido el comportamiento del cultivo en cada sector del lote, calcular las necesidades de insumos en cada zona homogénea más pequeña o subunidad sobre el terreno, y aplicarlos en forma sitio-específica (Bragachini, 2004). Este texto aún es muy vigente y puede decir mucho o no decir nada sobre si se realizan bien o mal las aplicaciones variables por zonas. En la actualidad sigue sucediendo lo mismo, pero se cuenta con información más detallada que permite en la mayoría de los casos empezar a entender mejor el funcionamiento de este sistema de AP y la respuesta de aplicaciones de fertilizantes respecto al suelo y los cultivos.

En los inicios de la aplicación variable de insumos en nuestro país se trataron de forzar a los suelos hacia la caracterización de ambientes diferentes y dentro del análisis de las zonas llevarlas a la menor cantidad posible, forzándolas a comportarse de igual manera, aunque no lo fueran. A su vez, como el tamaño de la maquinaria y los dispositivos con los que se contaba no eran lo suficientemente precisos, no se podía tratar un determinado tamaño de variabilidad que muchas veces existía en el campo, ej: campos con presencia de tosca. Es así que muchas veces los resultados físicos y económicos de la aplicación variable no daban como los técnicos deseábamos.

Muchas veces, aunque la caracterización estuviese bien hecha también aparecían malos resultados a campo debido a malos productos aplicados o malas condiciones del producto aplicado, malas distribuciones de los fertilizantes, aplicaciones fuera de los límites de los ambientes prescriptos, o simplemente que, en la mayoría de los campos, el efecto de la micro- variabilidad ejerce un error complicado de aislar en el análisis de los datos de rendimiento.

En el año 2000, el Dr. Terry Roberts mencionaba lo siguiente a cerca del manejo sitio específico (MSE): *"El concepto de MSE no es nuevo, pero nuevas herramientas de alta tecnología hacen más fácil manejar distintas áreas en los lotes de forma diferencial"* (Roberts et al., 2000). Esta frase sigue siento muy actualizada solo que el tamaño de esas áreas para nuestro país se vería totalmente modificada respecto a lo que se planteaba en el año 2000 y lo que en la actualidad se empieza a visualizar. Países como Japón captaron este concepto desde hace muchos años atrás y trabajan en un sistema robotizado obviamente porque el tamaño de sus campos es de 5.000 m2 a no más de 3 hectáreas (Noboru Noguchi, 2005).

En cuanto a la tecnología de AP disponible en Argentina se puede decir que nos encontramos utilizando en gran parte lo mismo que países desarrollados como EE.UU., Australia, Inglaterra o Alemania, entre otros. Pero en lo que respecta a robotización y automatismo de la maquinaria agrícola nos encontramos por debajo en desarrollos de países como pueden ser Japón, Alemania, Inglaterra, Francia, Italia y algún otro país como por ejemplo Chile en algunas producciones.

Desarrollo de la AP en Argentina sobre maquinaria de fertilización

El modelo elegido para la aplicación de la AP en nuestro país en un inicio fue copiado a EE.UU. en el año 1995/96 y siempre se trataba de adaptar la mejor opción propuesta por empresas, productores o investigadores de las universidades de aquel país. Algunos de los pasos propuestos como así también los equipamientos importados fueron probados en Argentina aplicándose de manera exitosa en gran parte. Pero también otros equipos o pasos de la AP no se aplicaron dado a su menor éxito en cuanto a su adaptación.

Algunos ejemplos de puntos para caracterización de ambientes de un campo en un inicio de la AP fueron cuales eran las herramientas que permitían lograr esa mejor caracterización a menor costo para los productores. De allí surgieron las comparativas entre el dato obtenido de monitores de rendimiento, cartas de suelo, imágenes satelitales, fotografías aéreas, rastras de conductividad eléctrica, radares de suelo, muestreos de suelos en grillas o dirigidos, entre otros. La realidad fue indicando el camino en ese momento y dejando lo que era más práctico y económico para los productores.

Si nos enfocamos en el tema fertilización en AP es interesante destacar que en principio la realización de fertilizaciones variables se realizaba con sembradoras, fertilizadoras con cuerpos para incorporar productos sólidos, fertilizadoras de productos sólidos al voleo o con bajada dirigida por aire, con fertilizantes líquidos inyectadas o por chorreado, entre otros, pero siempre tratando de aplicar variable mediante el uso de prescripciones dirigidas con GPS con previa caracterización de ambientes o mediante respuesta en tiempo real bajo la lectura de sensores como *Green Seeker* pasivos en el inicio y activos posteriormente, donde se mantenían franjas patrón bien fertilizadas para ser comparadas con el resto del cultivo en el lote.

En la actualidad, el modelo existente es muy similar a lo descripto en el párrafo anterior en cuanto al concepto. Las mejoras se dieron en la mayoría de los casos por las experiencias de prácticamente 20 años que permitieron mejorar los análisis y equipamientos que brindan respuestas más rápidas al cambio y estabilización de dosis de fertilizante entre ambientes.

Los cambios de dosis muchas veces, entre que se detecta el ambiente y se logra aplicar lo prescripto (necesario para ese ambiente), demandaba varios segundos y esto causaba una dosis no deseada en ese sector del lote, dejando errores en aplicaciones que luego se expresaban en el rendimiento de los cultivos. Esta problemática se ha ido solucionando con el tiempo y hoy se trabaja con muy buenas precisiones en el mundo.

Se lograron mejorar los equipos de acción (actuadores que reciben la información de los monitores o de sensores en tiempo real), ya sean mecánicos, hidráulicos y/o eléctricos como así también los softwares utilizados logrando una mejor aplicación de fertilizantes en los sitios deseados. La maquinaria a su vez es más específica y se ha logrado robotizar a niveles de controlar metro a metro la aplicación e inclusive a medidas sub métricas.

Muchos factores fueron y son los causantes de malas aplicaciones de fertilizantes. Pero por lo general siempre se toma de ejemplo a las fertilizaciones al voleo como las que mayores problemas causaban en cuanto a distribución del producto en el campo. Argentina ha ido mejorando estos equipos, pero Europa siempre avanza más rápidamente con componentes electrónicos conectados a dispositivos que miden y a su vez pueden cambiar las distribuciones por medio de cambios en la maquinaria en tiempo real. En la **Figura 1** se muestra una deficiente fertilización nitrogenada del cultivo de maíz dada por una mala regulación de la fertilizadora.

En nuestro país, en pulverizadoras se han desarrollado y se están desarrollando equipos que logran conocer y trazar una aplicación que brinda seguridad a los usuarios. La firma *Acronex* ha implementado un sistema de monitoreo (estación meteorológica) en tiempo real que se encuentra conectado a dispositivos de la pulverizadora para indicar si hay riesgos de deriva o malas aplicaciones (https://www.acronex.com/_). Un sistema similar en Alemania hace varios años se está utilizando para fertilizadoras al voleo donde regula, en tiempo real, el ancho de aplicación según la dirección de los vientos.

Una estación meteorológica montada arriba de la maquinaria y comunicada a un sistema inteligente que puede estar combinado a una cámara filmadora que observe en tiempo real la distribución y a su vez controlando a un sistema mecánico, eléctrico o hidráulico que acciona para hacer cambios en el ancho de aplicación o el ángulo de salida del fertilizante (en lugares

montañosos), sería la solución para mitigar o eliminar esta problemática bastante común y visible en los campos de nuestro país.

Las últimas muestras del sector agropecuario en EE.UU. y Europa mostraron equipos con grandes velocidades de reacción para variar en ambientes contrastantes en cuanto a dosis aplicadas en muy poco tiempo. También se mostraron dispositivos de control que permiten lograr fertilizaciones tanto de productos sólidos como líquidos muy eficientes y bien distribuidas. Estos serán los cambios a los que nuestro país debe avanzar para lograr una eficiencia global de la fertilización.

Figura 1. Vistas de aplicaciones deficientes de nitrogeno en maiz.

Futuro de las fertilizaciones con nuevas herramientas de AP

Vale la pena empezar a discutir sobre el sistema agropecuario y si se quiere lograr mejorar, o seguir sin cambios y hacer las cosas de la misma manera. Uno de los puntos seguramente es la fertilización y cómo se está realizando actualmente. Dentro de la fertilización nitrogenada en gramíneas todavía se sigue poniendo sobre la mesa si se hace en el momento oportuno o si se realiza cuando es más simple por logística, aunque no sea lo correcto desde el punto de vista agronómico. Esto seguramente se da por problemas en los tiempos de aplicación porque una máquina no puede hacer 1.000 ha en un día por ejemplo o por el estado de desarrollo de los cultivos que no permite que la maquinaria ingrese sin dañar plantas en momentos avanzados del ciclo entre otros factores.

Otro punto que siempre se pone en discusión suelen ser los métodos de diagnóstico que no terminan de ajustarse nunca ensayo tras ensayo y muchas veces no ajustan a la realidad de lo aplicado en el campo en fertilizantes. Conjuntamente con esto la dependencia del año si es húmedo o es seco y la respuesta en el rendimiento que ello causa. Son todas situaciones del día a día que con información diaria obtenida por diferentes métodos y aplicando con equipamientos robotizados podría lograrse mejorar.

Hoy se encuentran algunas herramientas que permiten un mejor ajuste y que pueden predecir con mayor exactitud las necesidades de los cultivos en diferentes tipos de insumos. La combinación de imágenes satelitales de varios satélites, más imágenes obtenidas desde un dron para tomarlo como muestra comparativa de ajuste a las imágenes satelitales, tomando datos de estaciones meteorológicas en ese lugar y ajustando a modelos de elevación de suelos, está logrando un ajuste casi perfecto en momentos tempranos de algunos cultivos como, por ejemplo, maíz y trigo. Además, hacen un ajuste matemático con datos climáticos para predecir luego del momento en que las imágenes se saturan. En EE.UU. algunas empresas proveen imágenes satelitales prácticamente todos los días y es como ver crecer a los cultivos, lo que permite detectar problemas de enfermedades o deficiencias de nutrientes muchos días antes que el ojo humano lo pueda observar, por ejemplo.

Este modelo empieza a tener gran cantidad de datos que hoy son posibles de analizar con una lógica algo más simple, porque se ha logrado tener una continuidad de puntos de un mismo lugar en el tiempo. Lo que colabora no solo a mejorar las aplicaciones de insumos, sino que también logra tener una trazabilidad de la producción primaria que será necesaria para poder lograr precios mayores a los que cotizan los *commodities* en EE.UU.

Teniendo en cuenta como avanzan las herramientas y las posibilidades tecnológicas es que se empieza a visualizar un futuro virtual interconectado y robotizado en la producción agrícola. Donde una imagen satelital puede ser el disparador para que un robot sea por aire o por tierra, salga a cumplir la recomendación del tratamiento que se le indica y luego vuelva a su base.

Seguramente estos robots podrán hacer una agricultura a su vez más versátil y con menores costos de mantenimiento que la maquinaria actual. Hoy los contratistas rurales están pasando por un momento muy complicado respecto a poder amortizar la maquinaria de trabajo.

Existen herramientas de trazabilidad y como ejemplo se puede citar solo una compañía que adquirió *Trimble* (https://www.harvestmark.com), que tiene más de 400 empresas como clientes. Hoy la industria alimentaria se está transformando por las demandas de mayor transparencia, calidad y seguridad, creando oportunidades para proporcionar un análisis significativo de los alimentos desde el campo a la mesa. Estos sistemas pueden marcar claramente diferencias de precios para los productores dado que los consumidores pagan por ello.

Conclusiones

El futuro de la AP producirá cambios que serán muy flexibles para poder virar constantemente de un sistema de producción a otro, siempre y cuando se empiece a trabajar en el concepto de micro variabilidad de suelos y el tratamiento correcto que eso implica.

El avance en la periodicidad e información de las imágenes satelitales, la mayor velocidad de análisis de datos que antes no se contaba con las computadoras existentes, la oferta en maquinaria agrícola que permite hacer cambios en pocos centímetros y la amplitud mental de quienes desarrollan tecnología que hacen posible lo que hace 6 meses no era posible es realmente

desafiante para todos los sectores productivos del mundo.

Hoy es necesario que las empresas argentinas empiecen a desarrollar este tipo de equipos robotizados dado que seguramente son el futuro de la agricultura de nuestro país y del mundo. La empresa *Plantium Gentec* de nuestro país posee un prototipo de robot eléctrico que puede servir de plataforma para colocarle un barral fertilizador pulverizador, cuerpos fertilizadores o bajadas de fertilizante entre otros.

El contratista argentino puede empezar a mutar de maquinaria clásica a maquinaria robotizada como sucede en algunos países de Europa donde el dueño de estos equipos viaja con su camioneta y acopladito con varios robots que son manejados desde su celular.

Bibliografía

Noboru Noguchi. 2005. Japan Agriculture based on Robot Faming System et al. 155-160 20. INTA Manfredi. file:///C:/Users/Andr%C3%A9s%20M%C3%A9ndez/Downloads/19-Japan_Agriculture_Robot-Noguchi.pdf

Roberts T. et al. 2000. Manejo Sitio Específico de Nutrientes - Avances en Aplicaciones con Dosis Variable. http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/dosis-variable/Manejo-Nutrientes-Sitio-Especifico.asp

Bragachini M. 2004. Manejo de cultivos por ambiente y evolución de la dosificación variable en Argentina. http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/dosis-variable/Manejo-Cultivo-Por-Ambiente-Evol-Dosificacion-Var.asp ◀