

Las sembradoras a chorrillo neumáticas, sus claves en la siembra variable

Las características dinámicas del sistema pueden condicionar la fidelidad del trabajo realizado



Pedro Nicolás Giacobone, Natalia Hernández Sánchez y Tomás Ramón Herrero Tejedor.

Dpto. de Ingeniería Agroforestal, E.T.S. Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid.

La planificación digital y las características técnicas del sistema de siembra deben garantizar la coherencia operativa. Establecer criterios técnicos contribuye a mejorar la integración entre herramientas digitales y maquinaria agrícola, fortaleciendo la eficiencia y precisión de la siembra en el marco de sistemas productivos sostenibles.

Las sembradoras que operan con dosificación variable mediante mapas de prescripción integran dispositivos adicionales que permiten la automatización y el ajuste dinámico de la dosis en función de la ubicación y las características de la zona de manejo. Entre estos elementos se encuentran sensores, actuadores eléctricos, módulos de control y microprocesadores; y sistemas de comunicación entre monitor, tractor y sembradora.

Los principales fabricantes que operan en el mercado español han desarrollado líneas de sembradoras convencionales que, sin abandonar su estructura funcional tradicional, integran tecnologías compatibles con la agricultura 4.0. Sistemas de comunicación Isobus, navegación por satélite, dosificación variable, corte de secciones, sensores de trabajo, sistemas de documentación, incluso gestión remota vía aplicación móvil, están cada vez más presentes en los modelos comerciales.

Maschio Gaspardo incorpora la transmisión eléctrica Isotronic con protocolo de comunicación Isobus para el control digital de la dosificación desde el terminal en la cabina del tractor. El sistema Genius Master gestiona la comunicación con Isotronic y permite llevar a cabo las funcionalidades Isobus relacionadas con la agricultura de precisión. Con este sistema se importan los mapas de prescripción,



PIENSA COMO UN PROFESIONAL. TRABAJA COMO UNA BESTIA.

Combina perfectamente potencia, practicidad, precisión y rendimiento. Cuando tu negocio necesita una Bestia con suficiente potencia y tecnología para afrontar cualquier tarea y utilizar cualquier implemento como un Profesional, la Serie Q es tu máquina.

valtra.es

los datos de siembra georreferenciados registrados pueden exportarse, la apertura y cierre automáticos de las secciones de siembra son posibles gracias al mapeo de los límites del terreno y al registro de las zonas ya sembradas. Estas sembradoras incorporan el dispositivo MG-Live (Agricultura 4.0) de interconexión móvil a distancia que permite al agricultor monitorear en tiempo real y optimizar el trabajo de sus máquinas. Además, facilita la asistencia técnica remota a través del portal web de Maschio Gaspardo.

Las sembradoras a chorrillo neumáticas Amazone son compatibles con el sistema Isobus, lo que permite una comunicación completa entre el apero, el tractor y los sistemas de gestión agronómica. La marca incorpora terminales propios como el AmaDrill 2, AmaTron 4 y AmaPilot+, así como funciones de control automático de secciones mediante GPS (GPS-Switch y GPS-Switch Pro). También se integran tecnologías como Twin-Terminal3.0 para facilitar la calibración desde el terreno, monitoreo de tubos de siembra con sensores de flujo, control de dosis en tiempo real y conectividad mediante AmaTron Connect para sincronización con móviles o tabletas.

La tecnología Isobus está plenamente incorporada en los modelos más recientes de Kuhn, permitiendo su operación mediante terminales CCI 800 o 1200, y compatibilidad con otras interfaces estándar. En tractores no Isobus, el control se realiza mediante terminales VT como el Kuhn VT 30. Los sistemas de corte de secciones, el ajuste automático de dosis en cabezales y la documentación de labores están disponibles en los modelos equipados. Además, el sistema Vistaflow optimiza la distribución de semilla y mejora el control del trabajo al enviar alertas automáticas ante bloqueos o fallos en el flujo control.

Los modelos John Deere están completamente integrados dentro del ecosistema Isobus y pueden operarse desde terminales como el GreenStar 2600, que ofrece control total sobre la siembra, la dosificación, el sistema de guiado y la generación de mapas. La compatibilidad con JDLink y el receptor StarFire permite la corrección en tiempo real de la posición con precisión de hasta ± 2 cm, lo que garantiza una aplicación uniforme incluso en terrenos ondulados o en condiciones climáticas variables. El sistema FieldDoc registra automáticamente datos relacionados con la variedad de semilla, la dosis aplicada, condiciones del suelo y otros parámetros clave, y los integra con el software de gestión agronómica de John Deere. Esta plataforma permite planificar tareas desde el ordenador, transferirlas al monitor y analizar los resultados posteriormente.

Los modelos más recientes de la serie Airsem de Sembradoras Gil están preparados para operar con el sistema Isobus, lo que permite su integración con terminales universales. El usuario puede controlar electrónicamente la dosificación, vi-



VALTRA

YOUR WORKING MACHINE



Foto 1. Sembradora neumática a chorrillo GIL modelo Airsem-L-4F, motor eléctrico de accionamiento del dosificador y pantalla InCommand 1200 de Ag Leader.

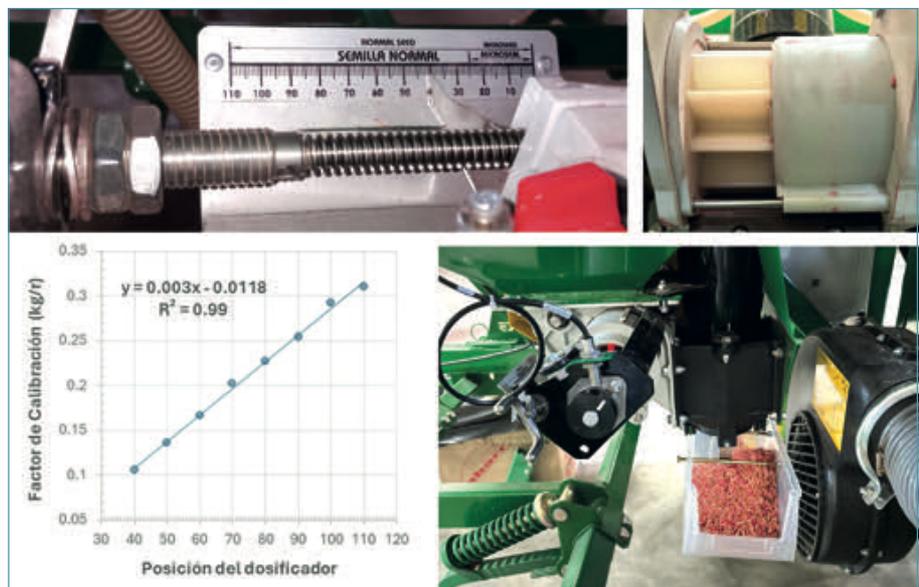
sualizar parámetros clave y gestionar el trabajo desde la cabina del tractor mediante monitores compatibles. También están disponibles sensores de paso de semilla, sistemas de corte parcial de secciones, detectores de caudal y módulos de control digital. Aunque algunos modelos básicos pueden funcionar sin electrónica avanzada, las versiones equipadas con distribución eléctrica son plenamente compatibles con la documentación de tareas y la agricultura de precisión.

Capacidades dinámicas de la sembradora

En el contexto de la agricultura de precisión, la siembra variable permite ajustar la densidad de semilla según la variabilidad espacial del lote, reflejada en mapas de prescripción generados a partir de distintas fuentes de información como producción superficial, índices de vegetación, historial de cultivos y características del suelo.

El análisis de las capacidades dinámicas de la sembradora debe integrarse en el proceso de elaboración de los mapas y de materialización de su prescripción. Este análisis ha de determinar en qué medida la sembradora puede ejecutar una siembra variable operativamente eficaz, y qué condicionantes impone su funcionamiento al diseño y aplicación del mapa de prescripción. Esto implica carac-

FIG. 1 Arriba izquierda: husillo y escala de regulación de la posición del dosificador. Arriba derecha: detalle de acanaladuras del dosificador en la posición 50. Abajo izquierda: relación entre la posición del dosificador y el factor de calibración (kg/r). Abajo derecha: recogida de grano para calibración.



terizar su comportamiento frente a cambios de dosis, analizar su compatibilidad con distintos niveles de resolución espacial del mapa, configurar adecuadamente el terminal universal (UT) y estimar las posibles desviaciones operativas durante la siembra.

El presente artículo se centra en la operatividad del dosificador proponiendo un procedimiento que permite la selección de los parámetros de trabajo óptimos y la

adecuación de la complejidad de los mapas de prescripción.

Sembradora del estudio

Para ilustrar el procedimiento se utiliza una sembradora neumática a chorrillo GIL modelo Airsem-L-4F de siembra directa con reja (foto 1), equipada con tecnología compatible con la agricultura de precisión y comunicación Isobus, que

pertenece a la ETSIAAB (UPM). Esta sembradora cuenta, entre otros elementos, con sensores capacitivos de llenado, sensores inductivos de confirmación de giro de ejes, interruptor de señal de posición de trabajo, dosificador volumétrico de cilindro acanalado accionado por un motor eléctrico, ventilador centrífugo accionado por un motor hidráulico y 16 líneas de siembra con una válvula de corte en cada línea que se agrupan en 4 secciones.

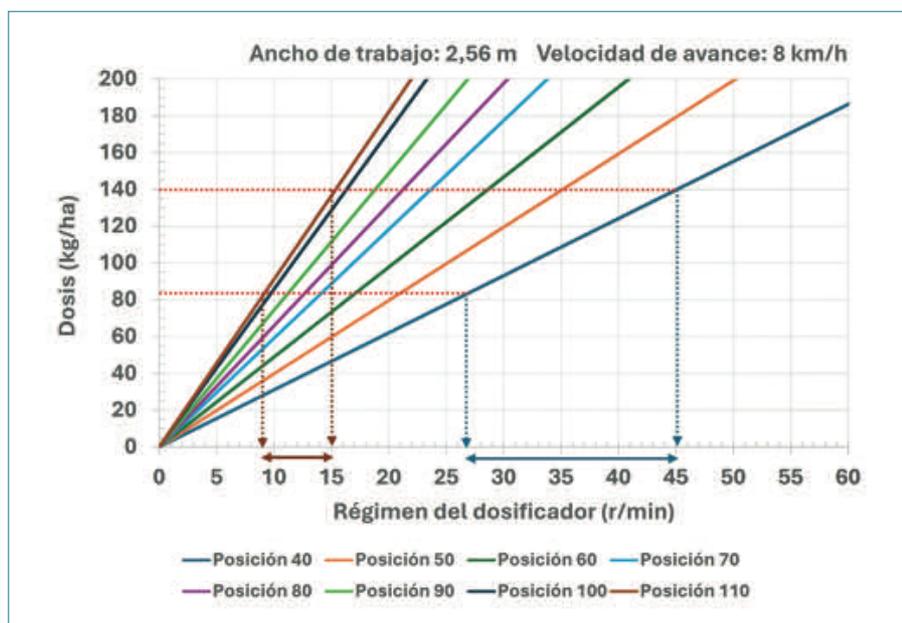
Se dispone además de la pantalla In-Command 1200 de Ag Leader con las funcionalidades, entre otras, UT, AUX-N para la conexión de joystick o botonera y Task Controller (TC) para el control de tareas, incluidos TC-BAS para documentar tareas realizadas, TC-GEO para registrar datos geocalizados y realizar dosificación variable dependiente del posicionamiento y TC-SC para el control de secciones automático.

El sistema de dosificación variable se basa en el control de régimen de giro del motor eléctrico de corriente continua que acciona de forma directa el eje del dosificador. Esto permite establecer una relación lineal entre las revoluciones del motor y el caudal de semilla aplicado, lo que facilita la parametrización del sistema. El módulo de control regula el régimen mediante pulsos de ancho modulado PWM desde 0 hasta 96 revoluciones por minuto, de manera que la cantidad de semilla proporcionada se ajusta de forma automática a los requerimientos del mapa de prescripción y a la velocidad de avance del conjunto tractor-sembradora. El sistema emplea un *encoder* incorporado en el motor, que proporciona 100 pulsos por revolución, permitiendo la supervisión y el control preciso del régimen.

Factor de calibración

En el dosificador volumétrico, la longitud de las acanaladuras que se rellenan con semilla se establece de forma manual

FIG. 2 Relación entre el régimen del dosificador y la dosis de siembra para las distintas posiciones del dosificador. Las líneas punteadas indican dos ejemplos de valores de prescripción.



y permanece fija durante el trabajo (figura 1). La determinación del factor de calibración correspondiente, es decir, la cantidad de semilla aportada por revolución (kg/r) se realizó para 8 posiciones siguiendo el procedimiento dispuesto en el UT. La figura 1 muestra la correlación lineal entre la posición del dosificador y el factor de calibración.

Dosis y régimen del dosificador

El caudal de semilla aplicado (kg/min) se deriva del factor de calibración (kg/r) y del régimen del dosificador (r/min), de manera que, para una longitud fijada de acanaladuras (posición del dosificador), el incremento de caudal se consigue mediante el incremento de la revoluciones del dosificador. En la sembradora del estudio el control del régimen permite un rango desde 0 hasta 96 revoluciones por minuto. Cuanto mayor sea la posición del dosificador mayor longitud de las acanaladuras es rellena con semilla, por lo que el caudal aportado en cada régimen es siempre mayor para posiciones más altas.

Si este comportamiento se traslada a la dosis de siembra (kg/ha) el resultado es análogo (figura 2). A partir de los valores de caudal se calculan las dosis (kg/ha) correspondientes para distintas combinaciones de régimen del dosificador (r/min) y sus posiciones, estableciendo una velocidad de avance y un ancho de trabajo determinado por la sembradora en uso. En el caso ilustrativo se establecen 8 km/h y 2,56 m respectivamente (figura 2). Estos cálculos permiten determinar los límites de la dosis de siembra que se pueden alcanzar con el modelo de sembradora y tipo de semilla analizados. En posiciones elevadas del dosificador, el volumen de semilla entregado por vuelta es mayor, lo que permite alcanzar dosis deseadas con regímenes más bajos. Esto genera un rango más estrecho de revoluciones para cubrir el intervalo de dosis del mapa de prescripción (ejemplo de 84 a 140 kg/ha, figura 2). Como resultado, el cambio entre dosis es más rápido, pero el sistema se vuelve más sensible a perturbaciones en el control del régimen del



Foto 2. Izquierda: detalle de la medida del régimen del dosificador con tacómetro digital. Centro: pantalla UT de trabajo de la sembradora y mapa de prescripción para la medida de regímenes a distintas dosis. Derecha: pantalla de trabajo del simulador de posicionamiento y velocidad de tractor.

dosificador ya que llevan asociadas mayores cambios de dosis en la velocidad de avance o errores de consigna en el motor del dosificador.

En cambio, en posiciones más bajas, se requiere un régimen de giro más amplio para alcanzar las mismas dosis y hay una mayor elasticidad operativa, ya que para modificar la dosis es necesario un cambio más amplio en las revoluciones. Por lo tanto, el cambio de dosis es más lento, pero el sistema se vuelve menos sensible al ruido operativo.

Este análisis demuestra que la elección de la posición del dosificador no debe basarse únicamente en la dosis objetivo, sino también en el equilibrio entre rapidez de respuesta y robustez frente a perturbaciones. En muchos casos, utilizar posiciones intermedias resulta una opción conveniente, ya que ofrecen un compromiso adecuado entre sensibilidad, rango operativo y capacidad de respuesta. Este balance se optimiza mediante el uso de actuadores altamente eficientes y precisos, que permitan ejecutar los cambios con rapidez sin comprometer la estabilidad del sistema.

Tiempos de respuesta en cambios de dosis

Para el manejo diferenciado de aplicación de insumos mediante mapas se estable-

cen habitualmente tres zonas. En este caso práctico se partió de imágenes reales adquiridas con un dron equipado con una cámara multiespectral y se realizó la zonificación utilizando el índice NDVI calculado. Se utilizó semilla de avena (*Avena sativa* L.) y se asignó una densidad de 350 plantas/m² a la zona de manejo con mayor potencial de rendimiento. Para calcular la dosis correspondiente se utilizó el peso de mil semillas, un poder germinativo del 95% y una pureza del 99%, dando un valor redondeado de 140 kg/ha. Se asignaron dosis más bajas a zonas restrictivas (suelos con limitaciones o menor potencial) como parte de la estrategia de prescripción variable empleada. El 80% de la dosis, 112 kg/ha, fue asignado a las zonas intermedias y el 60%, 84 kg/ha, a las zonas de bajo potencial.

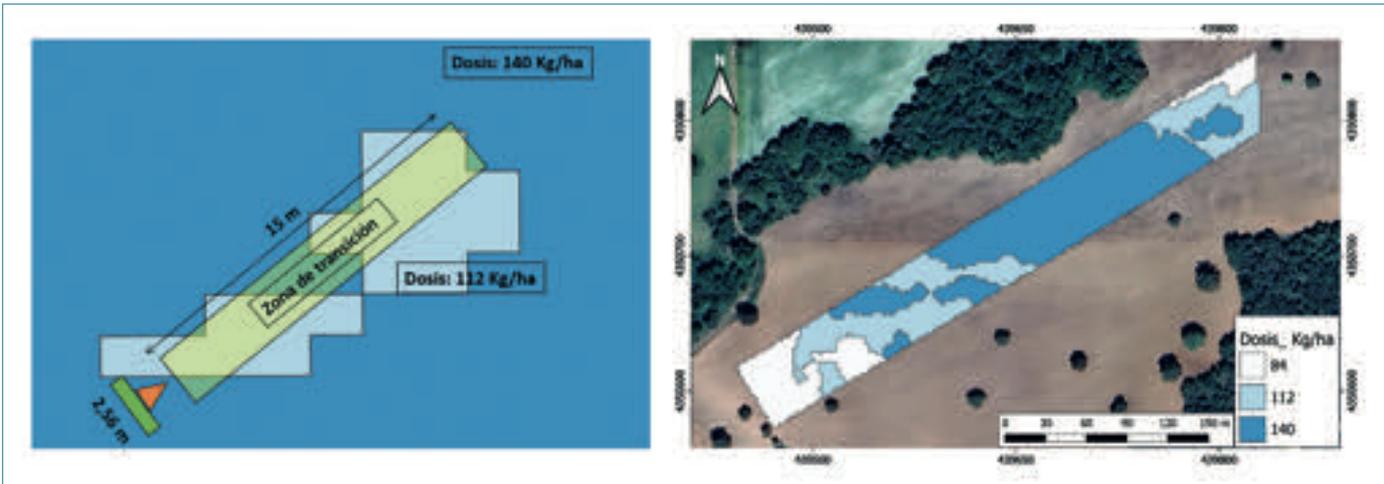
Para caracterizar el comportamiento dinámico del sistema dosificador de la sembradora se determinaron los tiempos de reajuste en las transiciones entre zonas del mapa de prescripción que requieren diferentes niveles de dosis (foto 2). Para ello se trabajó con un mapa de prescripción con transiciones entre cinco valores de dosis dentro de un rango realista para la siembra de cereal de invierno (84, 98, 112, 126 y 140 kg/ha), registrando tres mediciones del régimen del dosificador en cada caso y calculando el

promedio correspondiente. Las mediciones se efectuaron utilizando un tacómetro digital en el modo de contacto, modelo PCE-DT 65 (PCE).

Se utilizó un simulador de operación que permite controlar el desplazamiento de un tractor digital (foto 2). En el simulador se cargó la parcela georeferenciada y en la pantalla Incommand 1200 el correspondiente mapa de prescripción para el estudio de velocidades del dosificador. Se dirigió el movimiento del tractor digital dentro de sus límites, lo que generaba unas coordenadas de posicionamiento y una velocidad de avance que se transmitían a la pantalla Incommand 1200 por el mismo conector por el que se recibirían desde la antena GNSS montada realmente en el tractor. Estos datos eran utilizados por el UT, lo que permitía simular el avance de la máquina y la activación de las funciones como si se tratara de condiciones reales de trabajo. Así se llevó a cabo la aplicación de las diferentes dosis de siembra conforme a las zonas del mapa de prescripción y se cronometrarón los tiempos requeridos para la transición entre dosis.

Los datos mostraron que en transiciones graduales (por ejemplo, de 98 a 112 kg/ha), los tiempos de estabilización eran relativamente cortos, alrededor de 5 a 8 segundos. En cambio, en transiciones

FIG. 3 Izquierda: ilustración de la zona de transición derivada del tiempo de ajuste de la nueva dosis. Derecha: mapa de prescripción sobre el que realizar la fusión de regiones menores a la zona de transición.



abruptas (como de 140 a 84 kg/ha) se registraron tiempos más prolongados, hasta 11 segundos. Este retardo generará zonas de transición especialmente

significativas en mapas de prescripción complejos, con una cantidad elevada de regiones; y en mapas con cambios de dosis muy marcados.

Este aspecto también será relevante a la hora de establecer las regiones en el mapa de prescripción. En las condiciones del estudio el tiempo promedio de estable-

RECAMBIOS Y ACCESORIOS PARA LA CAMPAÑA DE SUELO



zación de la dosis fue de aproximadamente 7 segundos, a una velocidad de trabajo de 8 km/h. Esta demora representa una distancia de 15 metros recorridos por la máquina sin que el sistema haya completado el ajuste de dosis. Si una región tiene una extensión menor a esa longitud en la dirección de avance, la sembradora no llega a aplicar la nueva dosis antes de ingresar en la siguiente región.

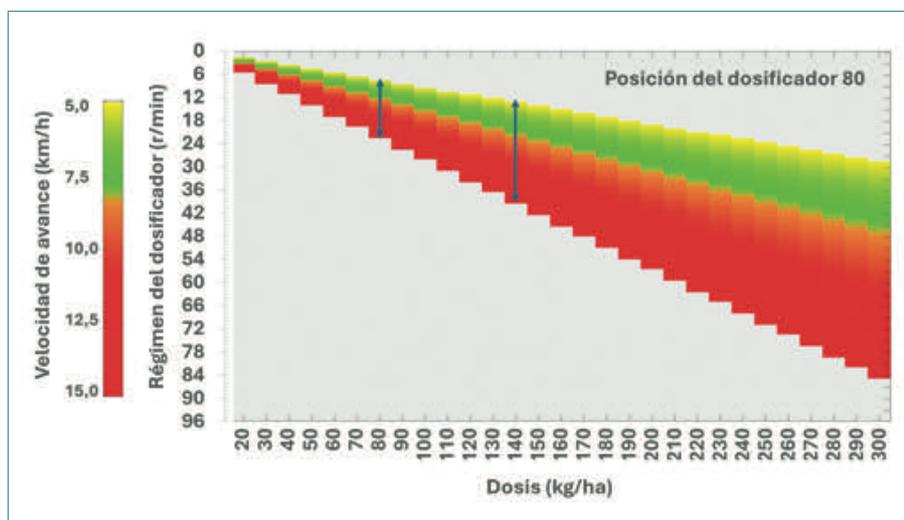
Ante este escenario, se recomienda modificar el mapa de prescripción fusionando dichas zonas menores con la contigua de mayor superficie (**figura 3**). De esta forma se aplican los criterios operativos de evitar cambios innecesarios de consigna, mantener la estabilidad del sistema y asegurar una aplicación coherente con la capacidad real de la sembradora.

Velocidad y régimen del dosificador

Cabe destacar que en los sistemas de manejo mediante mapas, al igual que en las soluciones tecnológicas menos complejas, el régimen del dosificador se ajusta automáticamente en respuesta a cambios en la velocidad de avance, con el objetivo de mantener constante la dosis prescrita. Es decir, si el operador incrementa o reduce la velocidad durante la marcha, el sistema compensa esta variación modificando el número de revoluciones por minuto del dosificador para garantizar una distribución uniforme de la semilla.

Con el objetivo de profundizar en el análisis, en base al comportamiento del sistema dosificador se construyó una matriz que permite visualizar de manera conjunta la relación entre la dosis requerida (kg/ha), el régimen del dosificador (r/min) y la velocidad de avance de la máquina (km/h). Este análisis tiene por finalidad evaluar el rango de variación de la velocidad del dosificador en función de los diferentes escenarios operativos, aportando información clave para la selección de parámetros de trabajo (**figura 4**).

FIG. 4 Relación entre dosis de siembra, régimen del dosificador y velocidad de avance del conjunto tractor-sembradora para la posición 80 del dosificador.



En la **figura 4** el eje X corresponde a la dosis objetivo (kg/ha) y el eje Y corresponde a los regímenes del dosificador (r/min). Las columnas interiores con escala de color representan el rango del régimen del dosificador que corresponde al rango de velocidades de avance de 5 a 15 km/h. Para valores bajos de dosis, este rango es más estrecho, lo que implica que una gran variación en la velocidad de avance es compensada por una pequeña variación en el régimen del dosificador. En estos casos, el sistema se vuelve más sensible a pequeñas fuentes de error en el control del régimen, aumentando el riesgo de desviaciones respecto a la dosis programada. A medida que se incrementa la dosis, para la misma variación de 5 a 15 km/h, el rango del régimen se amplía, por lo que el sistema se vuelve menos sensible a las fuentes de error. Cuanto mayor sea la posición del dosificador más estrechos son los rangos de variación del régimen del dosificador.

Estas matrices permiten visualizar el comportamiento dinámico del sistema dosificador, ayudando a identificar las zonas de operación más estables y aquellas

que requieren especial atención durante el desarrollo de la labor.

Conclusión

La siembra variable basada en mapas de prescripción representa una de las herramientas más efectivas dentro de la agricultura de precisión, pero su correcta implementación depende de múltiples factores técnicos que deben ser entendidos, evaluados y gestionados con criterio. Este trabajo permite concluir que no basta con disponer de tecnología avanzada o de mapas detallados: es fundamental que el personal técnico comprenda a fondo las capacidades operativas y de respuesta de la sembradora, así como las condiciones necesarias para que la dosis prescrita se aplique con el nivel de confianza requerido. ■

BIBLIOGRAFÍA

Este artículo es un extracto del Trabajo Fin de Máster en Agricultura de Precisión (Universidad Politécnica de Madrid) titulado "Estudio de los parámetros operativos de una sembradora neumática a chorrillo para la dosificación variable basada en un mapa de prescripción" cuyo autor es Pedro Nicolás Giacobone. Para más información se puede contactar con los autores del artículo.

CLAAS

¿Toda la explotación en el bolsillo?

Reto aceptado. Con tractores CLAAS
y la plataforma CLAAS connect.

Descubre más ahora:
tractors.claas.com

