

## Manejo de Nutrientes de Precisión en EE. UU.: Tendencias Actuales y Oportunidades Futuras

► ► **Philips, Steve<sup>1\*</sup>**

Oklahoma State University

✉ [steve.phillips10@okstate.edu](mailto:steve.phillips10@okstate.edu)

### RESUMEN EXPANDIDO

El manejo de nutrientes de precisión (PNM, por sus siglas en inglés) se ha vuelto una práctica central en la agricultura moderna de los Estados Unidos, particularmente en la optimización del uso eficiente de fertilizantes, la reducción del impacto ambiental y la sostenibilidad económica. Según análisis recientes, la adopción de tecnologías de precisión para la gestión de nutrientes está muy avanzada, especialmente en las explotaciones agrícolas a gran escala del cinturón maicero del Medio Oeste. Entre las tecnologías clave que facilitan el PNM se encuentran la aplicación variable (VRT), sensores remotos y proximales, mapeo de suelos y rendimientos, y sistemas integrados de apoyo a la toma de decisiones.

En esta región, la aplicación variable de fertilizantes mediante VRT está ampliamente adoptada. Datos del USDA indican que aproximadamente el 44 % del área sembrada con maíz y el 41 % del área de soja reciben fertilización con esta tecnología. La definición de zonas de manejo de nutrientes suele realizarse mediante muestreo en grilla (por ejemplo, a resolución de 1 ha) o por zonificación basada en conductividad eléctrica del suelo, altitud y datos históricos de rendimiento. Estas zonas permiten aplicaciones diferenciadas de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), generalmente implementadas por prestadores de servicios comerciales que utilizan mapas de prescripción desarrollados en plataformas GIS.

El manejo de N basado en sensores también ha evolucionado, especialmente en cultivos de trigo y maíz. Herramientas como GreenSeeker y Crop Circle permiten ajustar en tiempo real las dosis de N aplicadas según índices como NDVI. Estos sensores ópticos, montados en pulverizadoras de alto despeje o equipos de fertilización lateral, han demostrado mantener o incluso mejorar los rendimientos con reducciones del 15–30 % en el uso de nitrógeno, bajo ciertas condiciones. Aunque la adopción de esta tecnología sigue siendo baja, el uso de imágenes obtenidas por drones con el mismo principio de monitoreo del estado nutricional del dosel ha mostrado una tendencia creciente.

### >. ADOPCIÓN DEL MUESTREO DE SUELO DE PRECISIÓN

En la última década, el muestreo de suelos por precisión ha experimentado un crecimiento notable. De acuerdo con la encuesta anual CropLife-Purdue sobre tecnología de agricultura de precisión, el porcentaje de distribuidores agrícolas que ofrecen muestreo en grilla o por zonas aumentó del 67 % en 2015 al 85 % en 2024. Esta tendencia refleja un cambio hacia una toma de decisiones basada en datos. Sin embargo, estos datos representan la oferta de servicios y no necesariamente su adopción a nivel de

campo, que puede variar según el tamaño del establecimiento, los recursos disponibles y la percepción del retorno económico.

#### Desafíos en la Predicción de la Respuesta a la Fertilización Fosfatada y Potásica

A pesar de los avances tecnológicos, predecir con precisión la respuesta del cultivo a la fertilización con P y K continúa siendo un desafío. Las recomendaciones basadas en análisis de suelo tradicionales presentan limitaciones en cuanto a su capacidad predictiva. Un estudio en soja bajo riego en Arkansas mostró que las interpretaciones del fósforo extraíble (STP) solo acertaron entre el 40 % y el 48 % de las veces en predecir respuesta a la fertilización con P, con los mayores errores en los niveles bajos y muy bajos de STP.

En un estudio regional en Missouri, se observó que las respuestas del maíz a la fertilización con P y K fueron más frecuentes en suelos con niveles bajos de nutrientes, pero la precisión de las recomendaciones disminuyó a medida que los niveles de análisis de suelo se acercaban o superaban los umbrales críticos. Este patrón indica que los métodos actuales de evaluación fisicoquímica de la fertilidad pueden no ser efectivos para predecir la respuesta en condiciones de suelo y ambiente diversas. Intentos de combinar métricas de salud del suelo con indicadores tradicionales de fertilidad no lograron mejorar la predicción de incrementos de rendimiento por fertilización.

Además, una encuesta nacional sobre prácticas de análisis de suelo reveló inconsistencias entre estados en protocolos de muestreo, métodos analíticos y recomendaciones de fertilización. En muchos casos, los datos de correlación y calibración de fósforo y potasio no se han actualizado en más de dos décadas, generando disparidades en las dosis recomendadas. Esta falta de armonización dificulta el trabajo de productores, asesores y científicos que operan en múltiples estados y pone de relieve la necesidad de una actualización coordinada y estandarización de las recomendaciones basadas en análisis de suelo.

## >. PERSPECTIVAS FUTURAS

La integración de plataformas en la nube, datos meteorológicos en tiempo real, modelos de aprendizaje automático e inteligencia artificial promete mejorar las capacidades del manejo de nutrientes de precisión. No obstante, para superar los desafíos actuales será necesario refinar las metodologías de análisis de suelo y tejidos, actualizar las guías de recomendación de fertilización y fomentar colaboraciones interestatales que permitan el desarrollo de estrategias integrales acordes con las realidades agronómicas, económicas y ambientales contemporáneas.