

Influencia de la variabilidad del suelo en la agricultura de precisión

Material original, relieve, clima, vegetación, escala temporal y acción humana determinan cada suelo

El objetivo principal de la cartografía de suelos es la caracterización de las propiedades del suelo y la estimación de su representación territorial. La memoria y el mapa de suelos constituyen el resultado final de la prospección de suelos, que puede ir acompañada de una evaluación de las unidades de suelos definidas, considerando diversas alternativas de uso.

- **Miguel Arán Mayoral.** Ingeniero agrónomo. M. Sc. LAF, Laboratorio de Análisis y Fertilidad de Suelos. Sidamon. Lleida.
- **Astrid Ballesta Remy.** Ingeniero agrónomo. Departamento de Hortofruticultura, Botánica y Jardinería. Universidad de Lleida.
- **Pedro Villar Mir.** Dr. Ingeniero agrónomo. LAF, Laboratorio de Análisis y Fertilidad de Suelos. Sidamon. Lleida.

Las cartografías de suelos se efectúan normalmente a escalas comprendidas entre 1:10.000 y 1:100.000. Sus impulsores son generalmente entidades institucionales con finalidades diversas: planificación, preservación, impulso de producción, transformación en riego, etc. En cualquier caso, la cartografía de suelos refleja esencialmente la variabilidad de los suelos, resultado de los factores formadores: material original, relieve, clima, vegetación, escala temporal y acción humana.

A nivel de la explotación agraria la cartografía de suelos se utiliza escasamente como tal. Sin embargo, las características del suelo constituyen la estructura principal sobre la que se apoyan las operaciones de manejo del suelo. La



Terminal Fieldstar de Massey Ferguson para elaboración de mapas de rendimiento.

información relativa a las unidades de suelo y su localización precisa de un desarrollo adicional en el contexto de la explotación y, más concretamente, en las operaciones de cultivo relacionadas con el suelo. El caso de la fertilización es paradigmático.

El estudio de la variabilidad del suelo a nivel de unidades de gestión o parcelas agrícolas constituye una evolución de la cartografía de suelos, que da una gran relevancia a las propiedades en las que se deben apoyar decisiones de manejo del día a día. Frente a una gestión uniforme de los entrantes agrícolas en la parcela, se plantea la posibilidad de efectuar una gestión adaptada a la variabilidad intraparcular de suelo. El concepto de "agricultura de precisión" se ajusta a este enfoque de manejo.

A efectos de la variabilidad del suelo, la situación no es nada nueva. Los agricultores son normalmente cono-

La cartografía de suelos refleja esencialmente la variabilidad de los mismos.



CUADRO I. PROPIEDADES DEL SUELO A CONSIDERAR EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MANEJO VARIABLE DE SUELOS

PROPIEDAD	INFLUENCIA EN EL MANEJO DE SUELOS
pH	Detección de zonas con pH excesivamente ácido que focaliza las necesidades de enmiendas cálcicas. Localización de las zonas alcalinas en las que pueden aplicarse enmiendas de corrección acidificantes o aportaciones de residuos orgánicos. Zonas de afloramiento de materiales no edafizados por nivelaciones o erosión.
Materia orgánica	Localización de enmiendas orgánicas. Localización de áreas en las que debe reforzarse la lucha contra la erosión. Selección y priorización de las zonas a tratar con residuos orgánicos. Zonas en las que pueden ser aconsejables técnicas de cultivo mínimo o aplicaciones de <i>mulching</i> . Su variabilidad puede reflejar la erosión a lo largo de la pendiente. Medición del grado de pérdida del horizonte superficial.
Granulometría	Potencial del suelo en función de las demandas del cultivo. Origen de las diferencias de maduración y vigor. Explicación de las diferentes retenciones de humedad que se observan en una parcela. Diferenciación de laboreo. Origen de las diferentes retenciones de nutrientes. Origen de la variación del drenaje interno de los suelos.
Nitrógeno-mineral	A igual manejo, las diferencias obtenidas se deben a la mayor absorción en suelos de mayor rendimiento, a la tasa de mineralización, al efecto de los residuos orgánicos, al drenaje, al grado de lixiviación del suelo, a la acción de capas freáticas próximas a la superficie, al precedente cultural, etc.
Fósforo asimilable	A igual manejo, las diferencias se atribuyen al consumo diferencial de los cultivos, a los precedentes culturales, a las aportaciones de residuos orgánicos de origen ganadero, al grado de erosión, al historial de fertilización de las subparcelas pretéritas que formaron la parcela actual, etc.
Potasio extraíble	A igual manejo, las diferencias se atribuyen al contenido de arcilla, muy asociado a la retención del potasio, al precedente cultural, al historial de fertilización, al tipo de suelo (existen suelos naturalmente muy ricos en potasio), al grado de erosión, al grado de drenaje interno del suelo, etc.
Magnesio extraíble	Las diferencias se deben a las características intrínsecas de la unidad de suelos, al drenaje interno, a la calidad de las aguas de riego, a la presencia de niveles freáticos próximos a la superficie
Salinidad	Detección de áreas de riego imperfecto, mal drenaje, afloramiento de materiales edáficos con diferentes contenidos en sales, selección de las áreas de tratamiento diferencial, explicación de problemas de calidad en condiciones de ligera salinidad en cultivos sensibles, etc.
Micronutrientes	Detección de zonas con problemáticas no detectadas en condiciones de aparente normalidad edáfica, localización de las aplicaciones de quelatos de hierro en cultivos sensibles a la clorosis férrica; localización de zonas con carencias o excesos de micronutrientes como boro, zinc y manganeso, etc.

dores de las diferentes situaciones edafológicas "entre" parcelas y "en" las parcelas. Por un lado, la práctica del agricultor reconoce por su experiencia las "zonas" de mayor y menor producción, las de diferente comportamiento al laboreo, pedregosidad, retención de agua, erosión superficial y otras. Pero, difícilmente puede cuantificar niveles de nitrógeno mineral, fósforo, potasio, niveles de micronutrientes y otras propiedades detectables a partir de procedimientos más complejos. En este contexto, la cuantificación de las propiedades y su localización precisa es cada vez un elemento más importante en la gestión agrícola.

Es evidente que los agricultores, hasta cierto punto, ya han adaptado los cultivos y su manejo a las características básicas de los suelos, por lo menos en lo que se refiere a los grandes usos del suelo.

La variabilidad del suelo es una realidad conocida, así como su influencia en los cultivos. El paisaje agrícola constituye una adaptación de los cultivos al sistema suelo-clima. Incluso dentro de un determinado sistema, sea, por ejemplo, cereal en secano, olivar o arrozal, son observables y cuantificables diferencias directamente atribuibles a las características del suelo. Los avances tecnológicos han podido disimular parcialmente dichas diferencias, pero un nuevo enfoque del manejo, más "preciso", permite poner de relieve unas diferencias más sutiles que tienen una repercusión económica importante. Añádase además la medida de propiedades "no visibles", ahora más perfeccionada, y tendremos una apreciación del problema. Entre las propiedades "visibles" para el agricultor podría citarse, por ejemplo, la textura.

Entre las "invisibles", los niveles de nutrientes.

En definitiva, la agricultura de precisión se enfrenta, a una escala muy detallada, al problema de la variabilidad del suelo y a las consecuencias de manejo que de esta realidad pueden derivarse.

1.- ¿Por qué ahora agricultura de precisión?

Si el problema de la variabilidad del suelo y su influencia en la producción es conocido por el agricultor, pueden plantearse las razones que impulsan a un tratamiento diferenciado de la variabilidad.

¿Qué es lo que impulsa en la actualidad a un mayor refinamiento, a una gestión a la carta del manejo de los entrantes? Podemos distinguir tres causas principales:

- La necesidad de incrementar la rentabilidad por unidad de superficie.
- La mejora tecnológica en relación a los sistemas de georeferenciación.
- La mejora de los medios de producción de información de suelos.

El caso de la nutrición de las plantas se toma como ejemplo en la presente exposición.

1.1.- Del necesario incremento de la rentabilidad por unidad de superficie

Frente a un entorno que estrecha de forma continua los márgenes económicos, la reflexión sobre las operaciones que exige el cultivo se hace evidente a escala intraparcilaria.

Supóngase una parcela de maíz de 10 ha en regadío en el valle del Ebro. Las producciones del conjunto de la parcela pueden situarse en las 13 t/ha de grano (materia seca), si bien son reconocibles zonas de mayor y zonas de menor producción en la propia parcela. Sus costes de fertilizante en la presente campaña pueden haberse situado en unas 45.000 pesetas/ha aplicadas de forma homogénea. Por ejemplo, un abonado de fondo equivalente a 250 UF de nitrógeno, 100 UF de fósforo (P_2O_5) y 200 UF de potasio (K_2O). El coste de las materias primas es de 450.000 pesetas, lo que supone un gasto anual importante, con una influencia directa en la producción y en la rentabilidad final.

El estudio detallado de los suelos de las 10 hectáreas podría haber revelado un patrón de distribución de nutrientes fuertemente heterogéneo, asociado a tipos de suelo suficientemente diferentes, para obtener medias de producción distintas a igual manejo y largo plazo. La prospección revelaría probablemente zonas con niveles de nutrientes deficitarios, en otras zonas se detectarían problemas de infiltración, alcalinidad u otros problemas frecuentes en los regadíos del valle del Ebro.

¿Justifican esas diferencias un tratamiento diferenciado? La respuesta es a la vez técnica y económica. Posibilidad de ejecución y rentabilidad de la misma. En el caso de la nutrición mineral habría que evaluar la posibilidad de aplicar dosis variables.

Supongamos dosis variables de abonado según zonas. Ciertas subparcelas recibirían dosis de abonado 2X-2Y-2Z, otras dosis X-Y-Z y otras dosis X/2-Y/2-Z/2 (dosis relativas a abonado NPK). El resultado de dicha variación podría suponer un coste económico mayor, igual o más reducido, pero su ajuste a las necesidades del cultivo en las 10 ha sería mucho más adecuado. A medio plazo, el margen de rentabilidad debería engrosarse, sea por aumento de producción, reducción de costes o ambos. La rentabilidad generada debería compensar los costes de la nueva logística de distribución, control, análisis de suelos, etc.

1.2.- De la mejora tecnológica en relación a los sistemas de georeferenciación

La localización territorial de la información puede efectuarse ahora de forma mucho más precisa por el aumento de la información cartográfica disponible y, especialmente, por la disponibilidad de equipos de georeferenciación en base a conexión satelitaria (sistemas GPS).

Respecto a la información cartográfica, la disponibilidad de ortofotos permite una localización de observaciones, puntos de control y unidades de forma suficientemente precisa para los propósitos que se persiguen. En el caso de las ortofotos escala 1:5.000, se dispone de un material de base excelente para la delineación de unidades y localización de puntos de muestreo.

En el caso de los sistemas de georeferenciación, es posible obtener las coordenadas de cualquier punto de forma inmediata, asociándose de forma automática la toma de muestras, por ejemplo, y la posición en campo. Esta tarea constituye una labor tediosa con métodos convencionales, especialmente si debe hacerse en campo y de forma repetitiva, como es el caso de la toma de muestras de suelo en campo.

A corto plazo debería disponerse de equipos estándar de geoposicionamiento en la maquinaria agrícola, conectados con la base de datos de suelos, que permitirían conocer no sólo la posición sino también las características del medio edafológico sobre el que va a actuarse.

1.3.- La mejora de los medios de producción de información de suelos

1.3.1.- Un enfoque diferenciado

La agricultura de precisión, en lo que al manejo diferenciado de suelos se refiere, precisa de un extraordinario volumen de información en densidad de muestreo y en determinaciones a efectuar. Entre las características que deberían ser evaluadas en una primera fase figuran: granulometría, materia orgánica, carbonatos, salinidad, pH, nitrógeno mineral, fósforo, potasio, otros macronutrientes y micronutrientes.

En un principio, se consideraría el horizonte superficial o de laboreo como el de caracterización fundamental. Asimismo, podría distinguirse entre propiedades permanentes y variables para considerar el plan de acción a corto y medio plazo.

La demanda de información de suelos se eleva de forma muy importante por aumento de la densidad de muestreo. Esta demanda se traduce en unas necesidades de análisis muy superiores a las de la agricultura convencional.

Las necesidades logísticas aumentan paralelamente en esta situación: toma de muestras, análisis de laboratorio e interpretación de resultados deben vertebrarse como un trabajo continuo a realizar en un plazo de tiempo lo más reducido posible.

Estos nuevos enfoques precisan de laboratorios de análisis capaces de afrontar estas necesidades. Entre los retos planteados a estos laboratorios figuran:



Disponer de información del suelo gracias a sistemas GPS permite una fertilización más precisa.

- La coordinación entre la toma de muestras y los análisis de laboratorio.
- La realización de los análisis en un periodo breve, utilizando metodologías aceptadas y obteniendo resultados fiables.
- La interpretación de los resultados obtenidos.

1.3.1.- Parámetros analíticos evaluados normalmente.

Los parámetros analíticos que se caracterizan en la agricultura de precisión no constituyen ninguna novedad. Son los clásicos parámetros evaluados en los análisis de fertilidad de suelos con una diferencia: la intensidad analítica se eleva sustancialmente, con lo que los datos obtenidos no sólo se evalúan en sí mismos, sino también en relación a su entorno más inmediato. En el **cuadro I** se describen los más importantes y su influencia en el manejo variable de suelos.

1.4.- Fases de la agricultura de precisión relacionada con un manejo diferenciado de suelos

Se contemplan cuatro fases consecutivas:

1. Descripción y problemática de la explotación.
2. Toma de muestras en campo.
3. Análisis de laboratorio.
4. Interpretación y presentación de resultados.

1.4.1.- Descripción y problemática de la explotación

Las aplicaciones de la agricultura de precisión dependen de las características de la explotación. En principio, las aplicaciones más frecuentes se orientarán hacia la reconducción de la fertilización mineral y orgánica, en función de las características básicas del sistema de cultivo.

Uno de los problemas o retos más frecuentes es la optimización de la fertilización en parcelas de tamaño relativamente importante, e.g. una parcela de 50 ha de alfalfa, 30 ha de viñedo, 100 ha de trigo, etc.

En el caso del cultivo extensivo, por ejemplo, la optimización de la fertilización para maximizar la producción al coste óptimo es una operación evidente en el contexto de cultivos con márgenes muy ajustados.

El objetivo podría definirse así: «Implantación de una fertilización razonada en una parcela de alfalfa de 50 ha, en base a las características de los suelos de dicha parcela, con el objetivo de asegurar su máximo rendimiento por hectárea al coste óptimo». Normalmente, en la situación de partida, la fertilización se basa en un tratamiento homogéneo de las 50 ha con una recomendación de abonado tradicional o en base a análisis de suelos de baja intensidad y frecuencia. En las 50 ha se aplica una dosis homogénea de abonado.

1.4.2.- Toma de muestras en campo

El muestreo se realiza de forma sistemática a razón de una muestra por hectárea. En principio, se muestrea el horizonte de laboreo superficial Ap a una profundidad de 25 cm.

La localización en campo puede resultar muy compleja. Para ello se utiliza la cartografía disponible escala 1:25.000, o bien ortofotomapas a escala 1:5.000. Pero el mecanismo que permite una rápida ubicación es la disponibilidad de un equipo de georeferenciación que permite la obtención inmediata de las coordenadas X e Y en un determinado sistema de proyección cartográfica (e.g. UTM). Cada muestra se obtiene a partir de 6 submuestras en un radio de 10 m a partir del punto de localización. La distribución de las muestras se



Uno de los casos prácticos se ha llevado a cabo en una parcela de cereal de regadío.

realiza en una malla sistemática de 100 x 100 m.

La toma de muestras es una operación costosa económicamente y de logística compleja. Debe realizarse bajo control del laboratorio receptor de las muestras y de forma coordinada por el técnico responsable de la dirección del proyecto.

El planteamiento de prospección sistemática en malla fija es ciertamente discutible. Sin duda que un buen conocimiento de los suelos permitiría obtener métodos de muestreo mejorados. Por otro lado, deben considerarse los requerimientos de velocidad, sistematización y desdoblamiento del personal que efectúa los trabajos de campo.

1.4.3.- Análisis de laboratorio

Los análisis a realizar no se diferencian de los convencionales excepto en las demandas de alta velocidad de respuesta y la necesidad de afrontar grandes volúmenes de trabajo en periodos de tiempo muy limitados.

Normalmente los análisis demandados en agricultura de precisión son los siguientes:

- Granulometría. Determinación fundamental de carácter permanente que define de forma básica las características del suelo. Se calcula mediante el método de la sedimentación discontinua, obteniéndose las fracciones arena (una o dos fracciones), limo (dos fracciones) y arcilla. Su realización automatizada mediante granulómetro permite aumentar la cadencia de producción.
- pH. Determinación elemental y simple que permite fijar el nivel de acidez o basicidad del suelo. Método potenciométrico con determinación de pH en agua suspensión 1:2.5.
- Conductividad eléctrica (prueba previa). Determinación estimativa de la cantidad total de sales. Método conductimétrico en extracto con agua. En caso de presencia importante, la tipología de las sales se determina mediante un extracto de pasta saturada.
- Carbonato cálcico equivalente. Determinación que mide la cantidad de carbonatos existentes en la matriz mineral del suelo. El resultado se expresa en carbonato cálcico equivalente. Método mecánico volumétrico.
- Nitrógeno-mineral. Nitrógeno mineral en forma mayoritariamente nítrica y disponible para la plantas. Extracción con agua y determinación por colorimetría
- Fósforo. Cantidad de fósforo asimilable para las plantas, en forma disponible para absorción radicular. Se utiliza el método Olsen con extracción mediante bicarbonato sódico.
- Potasio. Cantidad de potasio extraíble con acetato amónico. Utilizado también para la extracción del magnesio.

• Microelementos. Pueden obtenerse, eventualmente, las determinaciones de micronutrientes. Boro, zinc, manganeso y hierro son los más frecuentes (con diversos extractantes).

La distribución de costes analíticos por hectárea es lógicamente más elevada que en una metodología convencional. Más aún si es el caso de una baja utilización de las técnicas de análisis de suelos como base del razonamiento de la fertilización. Sin embargo, la simple observación del cuadro de gastos de cualquier cultivo conlleva una relativización del coste de análisis en relación a los costes de fertilización y la posible influencia en la cantidad y calidad del producto final.

1.4.4.- Interpretación de resultados

En el procedimiento tradicional es evidente que la interpretación de los resultados puede efectuarse de forma normalmente individualizada por muestra de suelo, representativa de un sector de mayor o menor tamaño, pero siempre superior a la hectárea.

Al respecto, es interesante mencionar que en las experiencias realizadas por LAF en prospecciones de alta densidad se detectan con frecuencia importantes diferencias a nivel intraparcelar que, de otro modo, hubiesen pasado desapercibidas. Son espectaculares en ocasiones los diferentes contenidos de macronutrientes. Se plantean dudas sobre el grado de eficiencia de una fertilización homogénea. Es rutinario observar zonas de exceso y déficit en una misma parcela, consecuencia de años de prácticas homogéneas sobre suelos diferentes con producciones diferentes.

Téngase en cuenta que, a igual dosis de fertilizantes, dos suelos de diferente capacidad productiva tendrán unos volúmenes muy diferenciados de nutrientes a medio plazo (**cuadro II**).

Precisamente, los análisis de suelos permiten efectuar las oportunas correcciones al alza o a la baja, evitándose la ocurrencia de balances fuertemente distorsionados. Un balance desequilibrado supone un impacto directo en la producción, por exceso o defecto de nutrientes, un impacto económico directo y un impacto directo en el suelo y aguas (en caso de excesos).

Con respecto a los resultados de un muestreo y análisis de alta intensidad deben considerarse:

1. Las propiedades intrínsecas de los suelos estudiados.

CUADRO II. NIVELES DE FÓSFORO EN TRES TIPOS DE SUELOS DE DIFERENTE CAPACIDAD PRODUCTIVA A IGUAL DOSIS DE ABONADO. SE CONSIDERA MAÍZ EN REGADÍO CON TRES NIVELES DE REDUCCIÓN Y UNA DOSIS FIJA ANUAL DE 100 UF DE P₂O₅/HA. PERIODO CONSIDERADO: 10 AÑOS

	Aportación total UF	Exportación total UF	Balance (*) UF
Suelo A 13 t/ha	1.000	1.300	-300
Suelo B 10 t/ha	1.000	1.000	0
Suelo C 9 t/ha	1.000	900	+100

(*) Se trata evidentemente de un balance muy simplificado. En el suelo existen otros factores que modifican intensamente el balance: mineralización, lixiviación, inmovilización, fuentes de nutrientes de diverso origen, etc.

2. Los criterios elementales de interpretación.
 3. El ajuste entre 1 y 2, y explicaciones de los resultados: el suelo y su gestión.
 4. Recomendación teórica (e.g. de abonado NPK).
 5. Ajuste práctico: localización, simplificación de tratamientos, logística operacional.
 6. Plan de control.
- Los resultados se plasman en forma gráfica bajo diferentes opciones de formato (**figuras 1, 2 y 3**).

2.- Casos prácticos

2.1.- Caso práctico nº. 1

Empresa productora de forrajes en regadío.

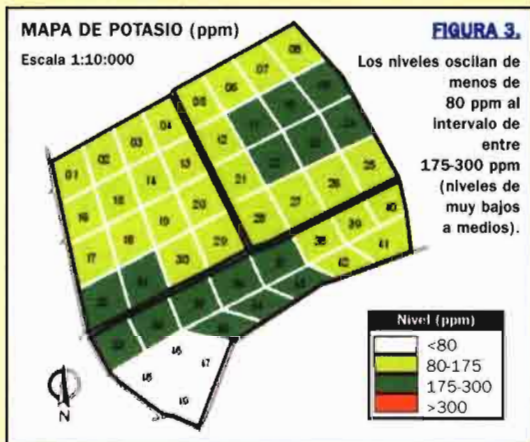
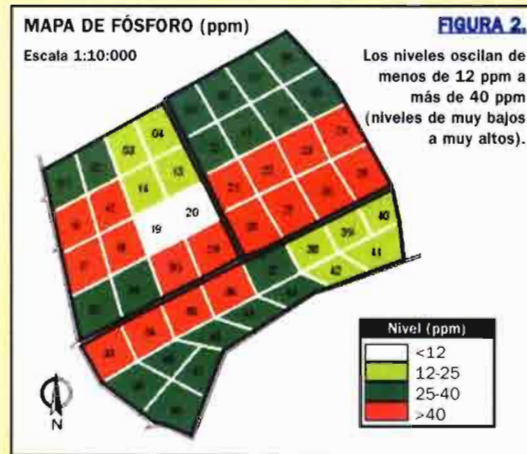
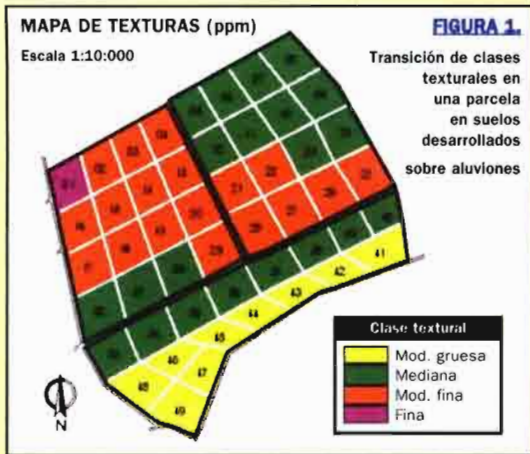
Objetivo: racionalización de las dosis de abonado en base a optimización de costes y producciones.

Suelos y parcelario: suelos de alto potencial productivo, parcelario disperso, media del tamaño de parcela entre 1 y 3 ha.

Situación de partida: abonado homogéneo a dosis fija.

CUADRO III. EVOLUCIÓN DE LA FERTILIZACIÓN EN TRES FASES. FASE 0: LA FERTILIZACIÓN COMO RUTINA. FASE 1: LA FERTILIZACIÓN CONSTITUYE UNA TÉCNICA QUE MERECE UNA ATENCIÓN ESPECÍFICA. FASE 2: LA FERTILIZACIÓN VARIABLE Y A LA CARTA

	FASE 0	FASE 1	FASE 2
Importancia de la fertilización	Operación rutinaria a fecha y cantidad fijas	Estudio de alternativas	Operación de impacto en producción y calidad.
Dosis	Fija por cultivo y superficie	Se introducen algunas variaciones	En función del suelo y necesidades del cultivo
Análisis de suelos	No. Curiosidad técnica de utilidad discutible	Se efectúan eventualmente con baja intensidad y frecuencia	Alta frecuencia y densidad de realización de controles analíticos de suelos
Impacto de los costes de fertilización	Cualitativo. No cuantificado	Global por cultivo	Cuantificado en pts./ha. Existe un registro de costes por unidad de gestión
Balances de control de nutrientes	No	Escasos	Frecuentes
Alternativas en la aplicación de nutrientes (e.g. residuos orgánicos)	No	Esporádicamente	Sí. Alternativas de nutrición vegetal que reduzcan los costes de producción
Impacto ambiental	Puede ser alto	Disminuye	Mínimo



contenidos de macronutrientes (figura 4).

- Selección de dosis de fertilización según zonas del gráfico y criterios de coste del fertilizante (mineral y orgánico).
- Aplicación individualizada a cada parcela con recomendación concreta.

Observaciones. En este caso, la variabilidad espacial no se considera a un nivel intraparcilar sino a nivel interparcilar. Este caso es particularmente relevante en zonas de regadíos tradicionales con un parcelario de reducido tamaño y donde la empresa agraria debe gestionar unidades dispersas con suelos muy diferenciados. Se trata de un tipo de agricultura de precisión que se adapta a las particularidades de muchas zonas españolas.

Mejoras potenciales. Automatización del cálculo de producciones por hectárea, impacto de la dosis variable en las producciones y nivel de proteína, sistema de información que facilite la gestión de inputs, perfeccionamiento de la clasificación de parcelas.

2.2.- Caso práctico nº. 2.

Empresa de producción de cereales en regadío

Objetivo: maximización de rendimientos y optimización de costes.

Suelos y parcelario: parcelas de dimensiones entre 20 y 100 ha, suelos variables a escala hectométrica.

Trabajos de prospección, analíticos y de asesoría realizados:

- Una muestra por hectárea.
- Control de Nmin, P y K.
- Clasificación "tridimensional" de las parcelas según los

y macronutrientes.

- Elaboración de mapas de recomendación de abonado según resultados.

Observaciones. Se trata de la aplicación más genuina de la agricultura de precisión. En este caso, se obtuvieron importantes, y en ocasiones espectaculares, diferencias en los contenidos de nutrientes a nivel intraparcilar. Se evidencia, por tanto, la posible baja eficiencia de un abonado fijo por cultivo y parcela. Se agrupó la variabilidad en tres zonas homogéneas según dosis de abonado de fondo (2) y dosis de abonado de cobertera (2).

Mejoras potenciales. Mapa de producciones intraparcilar, mayor ajuste de dosis por zonas, mejora del sistema de geoposicionamiento, aplicaciones de técnicas de laboreo por zonas, aplicaciones de otros entrantes de forma zonificada, etc.

3.- A modo de conclusión

La fertilización razonada constituye un avance importante en la gestión del suelo. El concepto intenta revalorar una operación de cultivo, la fertilización, que puede haber sufrido una devaluación técnica. En un sentido más amplio, la gestión razonada del suelo incluiría operaciones como las aportaciones de materia orgánica, laboreo o incluso el manejo del riego, en gran parte relacionadas con la nutrición de las plantas y el suelo. En el cuadro III se fija la evolución de la importancia de la fertilización en tres fases de avance.

Descubrir las funciones del suelo a estas alturas puede parecer elemental. Sin embargo, los resultados obtenidos demuestran objetivamente que en agricultura se dista mucho de optimizar todos los factores de producción.

En esta línea, la agricultura de precisión constituye la quintaesencia de la fertilización y gestión razonada del suelo. A cada unidad de suelo y cultivo se debe una gestión específica con toda la problemática técnica que ello supone. Se vislumbra que la viabilidad futura de las explotaciones tiene probablemente que asumir estos conceptos si quiere mantener su rentabilidad, su función de equilibrio territorial y su garantía de futuro. ■

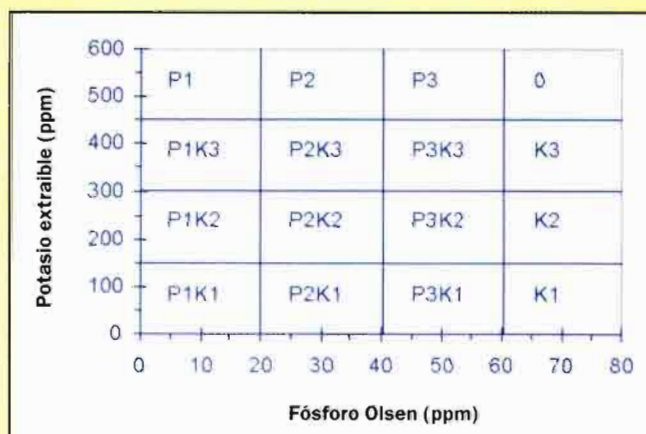


FIGURA 4: Selección del tipo de abonado según la posición de los resultados de fósforo y potasio en el suelo. Las iniciales P1, P2 y P3 indican tres dosis de fertilizante fosfórico y las iniciales K1, K2 y K3 indican tres dosis de fertilizante potásico. De esta forma se procede a agrupar los distintos intervalos de intersección entre los dos nutrientes. Por ejemplo, una proporción equilibrada de fósforo y potasio puede ser un fertilizante 1:1,5. Para parcelas con bajo contenido o proporción en fósforo se puede utilizar un fertilizante tipo 1,5:1. Para parcelas con baja disponibilidad de potasio una proporción 1:3. Finalmente para aquellas parcelas con niveles muy altos de fósforo o de potasio se recomienda usar abonos simples de potasio o de fósforo respectivamente.