

Gestión de datos y toma de decisiones:

Cuando la agricultura de precisión nos pone en aprietos

El uso de sensores en Agricultura de Precisión en conjunto con la tendencia de tener mejores resoluciones de muestreo espacial y temporal ha llevado a una enorme acumulación de datos.

Y es un gran desafío poder gestionar esos conjuntos de datos para transformarlos en información útil que permita tomar decisiones. Esto ya fue analizado en la etapa 3 del ciclo de agricultura de precisión que presentamos en nuestro primer artículo en New Ag (New Ag International N°64 de Nov/Dic 2016). En esta edición describimos cómo gestionar y usar la información recolectada para tomar mejores decisiones agronómicas. Sin lugar a dudas, este es el momento de la verdad: cuando la agricultura de precisión nos pone en aprietos y tenemos que tomar una decisión agronómica.

New Ag International ha establecido una alianza con el Grupo de Investigación en AgróTICA y Agricultura de Precisión (GRAP) de la Universitat de Lleida- Agrotecnio Center. En cada número de la revista, Jaume Arnó, José A. Martínez-Casasnovas y Alexandre Escolà, con nuestro equipo editorial, entregan un artículo con el objetivo de ayudar a los actores de la industria a reducir la brecha entre la agricultura comercial y la ciencia de los datos.

EL USO DE SENSORES PRÓXIMOS Y REMOTOS

nos permite obtener una gran cantidad de datos del cultivo y del ambiente donde se desarrolla. El vigor del cultivo, la salud, el estado hídrico, la evolución de la canopia, malezas, plagas y enfermedades, parámetros del suelo y datos climáticos son ejemplos de todo lo que es posible medir gracias a los sensores actuales. Adicionalmente, el agricultor de precisión todos estos datos son georreferenciados para poder determinar la variabilidad espacial de los parámetros agronómicos que afectan los rendimientos y la calidad del cultivo.

Más aún, cada día es más fácil y económico obtener varias mediciones durante la temporada con el uso de sensores terrestres y/o espaciales. Las mejoras en la resolución de la información espacial y temporal implica que se van acumulando cada vez conjuntos de datos de cientos de Megabytes por predio en una temporada (por ejemplo, cuando se usan escáneres de laser terrestres la cantidad de datos obtenidos en las nubes de puntos puede llegar fácilmente a Gigabytes (109) por predio, pero el mapa que se obtiene se puede reducir a Megabytes (106)). Aquí salta una pregunta: ¿Pertenece la agricultura de precisión al dominio de la Big Data? La respuesta es: depende...

GRANDES CANTIDADES DE DATOS

Los expertos hablan de Big Data cuando las 3 "V" (o una ade-

cuada combinación de dos) son satisfechas: un gran Volumen de datos, con una gran Variedad de fuentes y con una necesidad de una gran Velocidad de captura/procesamiento. En lo que respecta a la Agricultura de Precisión, un agricultor puede generar una gran cantidad de datos comparado con lo que sucedía hace 10 o 20 años.

Sin embargo, un predio o un campo no acumulan cantidades inmanejables de datos. Adicionalmente, no es necesario procesar o capturar todos los datos en tiempo real. Las acciones agrícolas pueden esperar algunas horas, incluso en el caso de plagas y enfermedades. No obstante, la información en la Agricultura de Precisión viene desde diferentes fuentes (por ejemplo, sensores remotos o sensores próximos) con resoluciones espaciales muy diferentes (desde algunos centímetros hasta varios metros) y con resoluciones temporales muy diversas (desde algunos milisegundos hasta semanas, meses y años).

Por lo tanto, solo cuando las técnicas de Agricultura de Precisión se implementan en una región, uno podría comenzar a pensar en Agro Big Data.

Hoy se puede usar data abierta de sensores remotos en Agro Big Data ya que cada día se generan varios cientos de Terabytes (1012) e incluso de Petabytes (1015) de imágenes de la Tierra. Sin embargo, la Big Data en la agricultura todavía no se utiliza

como sí se hace en el dominio de las redes sociales, por ejemplo. Una de las razones puede ser que hay una carencia importante de data de sensores proximales que se pueda combinar con sensores remotos debido a que o son datos privados o no existen.

Recientemente, grandes empresas de maquinaria y de insumos agrícolas han puesto en marcha plataformas en la nube para recolectar la mayor cantidad de datos posibles. La internet de las cosas (IoT) con certeza va a ayudar a incrementar las bases de datos. Pero actualmente no son compatibles, lo que hace muy difícil su implementación a nivel general. El uso de estas plataformas plantea algunas preocupaciones: ¿Quién es el dueño de los datos?, ¿Quién va a usar esos datos?, ¿Cuál es el objetivo? Todo esto también se conecta con asuntos éticos.

Más allá de todo esto, antes de enfocarnos en grandes superficies, en este artículo nos queremos concentrar en cómo realizar decisiones más informadas a nivel de manejo predial.

PRIMERA DECISION: ¿TASA UNIFORME O VARIABLE?

La primera decisión que un agricultor debe considerar es si vale la pena destinar tiempo y dinero a la agricultura de precisión. No es una decisión simple. Muchos investigadores y agrónomos han levantado esta pregunta, especialmente respecto a la oportunidad de la decisión. ¿Hay una

variabilidad espacial tal en el predio que justifique tener zonas de manejo diferenciadas?

Más aún, ¿Es esta variabilidad lo suficientemente estructurada para que presente un patrón que permita manejarla agrónomicamente? En otras palabras, ¿permitirá este patrón de variabilidad la delineación de zonas de manejo bien diferenciadas, compatibles con la capacidad de dosis variable de la maquinaria agrícola? Para abordar estos dilemas, recientemente se han propuesto varios índices de oportunidad. En este artículo no nos explayaremos sobre cómo hacer una lista de todos estos índices de oportunidad.

Pero lo que no interesa es entender en qué se basan estos índices, los beneficios de su aplicación y si hay todavía algunas desventajas que deban ser resueltas y mejoradas.

En general, los índices de oportunidad se basan en dos componentes: variabilidad del predio (o

variabilidad espacial) y, como se ha mencionado anteriormente, la distribución espacial de esta variabilidad (o estructura espacial). Bajo este esquema dicotómico, la idea detrás de los índices de oportunidad es simple: los sectores que presenten oportunidad para utilizar agricultura de precisión son solo aquellos que cumplan con ciertos requisitos (umbrales) en los dos componentes.

Obviamente, cómo son formulados estos componentes y, sobre todo, cuáles son los umbrales específicos que deben cumplirse en cada zona, son factores claves para obtener resultados útiles y aplicables. Los Indicadores de Oportunidad generalistas son aquellos que al ser aplicados a cualquier cultivo (arables o de árboles) permiten adaptarse a zonas de manejo al ofrecer indicaciones de oportunidad para un amplio espectro de operaciones mecanizadas de un campo. Pero hay otras opciones donde la evaluación de

oportunidad se limita a un solo cultivo o a una sola operación mecanizada.

Este es el caso del índice de oportunidad desarrollado por el Grupo de Investigación en AgrÍTIca y Agricultura de Precisión de la Universitat de Lleida (Cataluña, España) para determinar la oportunidad de realizar cosecha selectiva de uva vinífera. Este índice de oportunidad es novedoso porque solo se basa en mapas de vigor derivados de datos obtenidos por sensores remotos de alta resolución. Es sabido en viticultura la presencia en muchos predios de correlaciones espaciales consistentes entre el rendimiento de las uvas, el vigor del viñedo y algunos parámetros de calidad de las uvas.

Entonces, debido a la diferencia en precio entre uvas de diferente calidad, la cosecha selectiva basada en una clasificación previa a través de mapas de vigor podría general beneficios al separar en bloques homogéneos las diferen-

tes calidades de uva dentro de un predio.

Más aún, los productores de vino al utilizar este índice de oportunidad podrán identificar esas zonas dentro de un campo que, siendo de diferentes calidades, podrán ser cosechadas de forma diferenciada para cumplir con el plan productivo y enológico de la viña.

Para mostrarles un ejemplo, las Figuras 1 y 2 fueron obtenidas para una gran viña en Raimat (Lleida, Cataluña, España) para clasificar 36 sectores de la viña de acuerdo a su oportunidad para realizar cosecha selectiva de dos calidades de uva diferentes. El objetivo era establecer un ranking de los diferentes sectores de la viña según sus valores del índice. Debido a que los productores de vino deben planificar la producción de acuerdo a la calidad y variedad de las uvas, es de gran importancia tener información anticipada sobre qué zonas pueden ser cose-

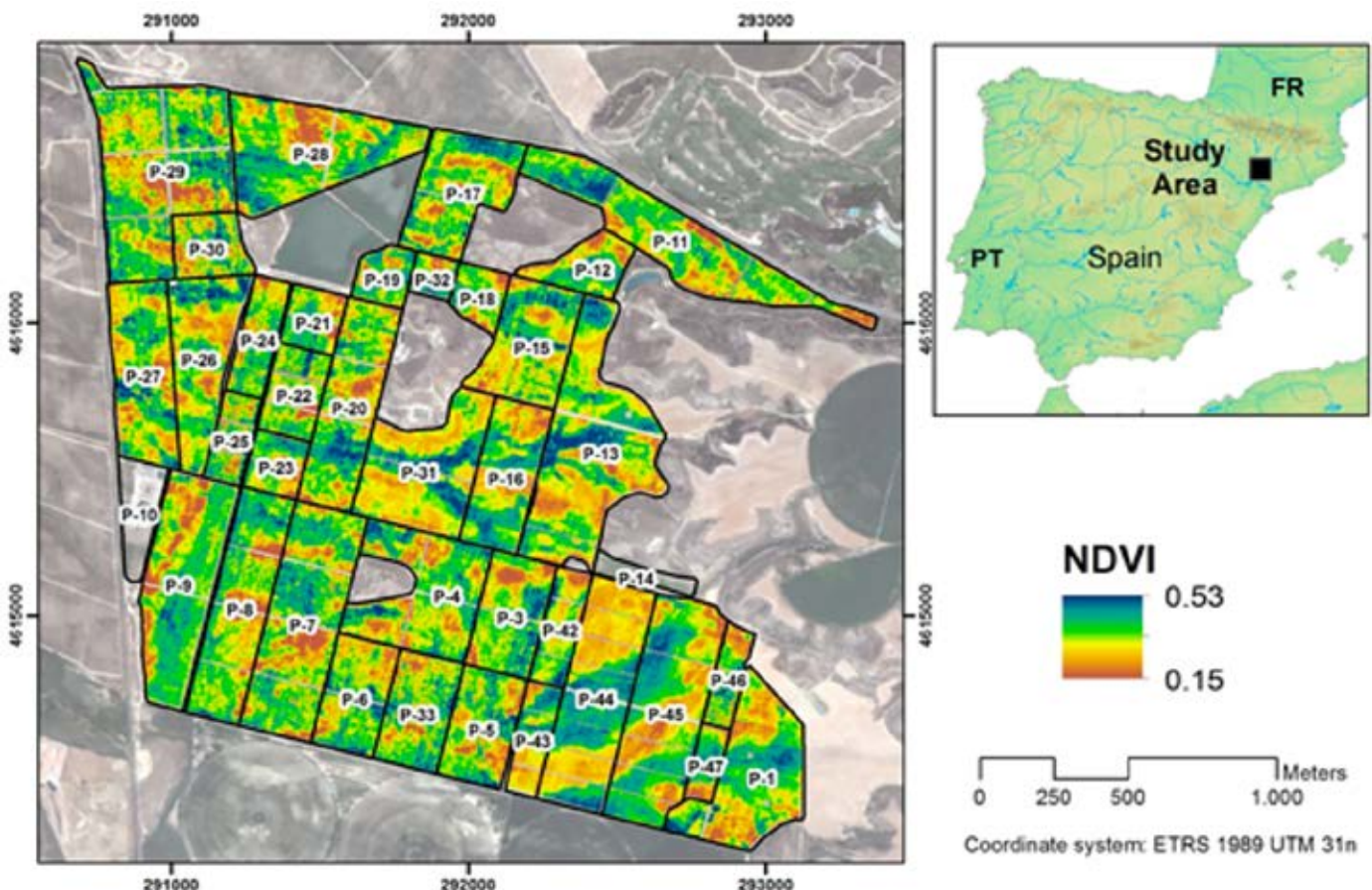


Figure 1: Mapa de la viña en Raimat (Lleida, Cataluña, España). El contorno de los 36 zonas están pintadas de negro y están llenos de colores que representan el NDVI (Arnó et al., 2017).

Entrevista con Joel Wipperfurth, Director de Tecnología Agrícola de WinField United



“WinField United continuará equipando a los profesionales ag con herramientas para acceder y aprovechar el poder de los datos, ahora y en el futuro”.

“WinField United es uno de los proveedores más grande de insumos agrícolas, datos, herramientas tecnológicas y agronómica; con sede en EE UU. Hoy en día el mercado de la ‘agricultura tecnológica’ se asemeja a una estación de tren donde cada viajero habla un idioma diferente y está

tratando de llegar a un destino diferente. Estos viajeros son personas perfectamente capaces, pero como no se entienden entre sí, no pueden tomar decisiones informadas sobre qué tren es el adecuado para ellos. Como resultado, nadie llega a ningún lado.

¿Qué tiene que ver un centro de tránsito con la agricultura tecnológica? Bueno, muchas herramientas agricultura de precisión no pueden comunicarse entre sí, e incluso cuando la conectividad es posible, pueden ser necesarios varios pasos para lograrla. En WinField United, trabajamos con el mercado minorista para ayudar a sus clientes a elegir e implementar las herramientas de agricultura tecnológica, adecuadas para sus operaciones particulares. Nuestro conjunto de herramientas facilita una administración de datos más uniforme y fluida y una toma de decisiones más informada durante la temporada, incluso si algunas de las herramientas que administramos no son nuestras. Por ejemplo, una de nuestras soluciones

es Answer Tech Data Silo™, un sistema de gestión basado en la nube que ayuda a los agrónomos a almacenar y sincronizar los datos de los agricultores.

Reconocemos que un agricultor puede usar varias herramientas digitales. Si se necesita cambiar algo como un límite de campo, Data Silo permite que esta actualización se realice en todos los sistemas de ese agricultor, manteniendo todo sincronizado.

Creo que en el futuro, la agricultura tecnológica incluirá más fuentes de datos, desde sensores, observaciones de campo y la datación continua de prácticas culturales en las fincas; que deberán ser analizadas convenientemente y suministradas a través de múltiples sistemas de software que los agricultores pueden usar. Estas fuentes de datos tienen el potencial de ayudar a los agricultores no solo a plantar un cultivo por año, sino a ejecutar miles de escenarios para optimizar los resultados, mientras el valor y potencial siguen los vaivenes de la

temporada.

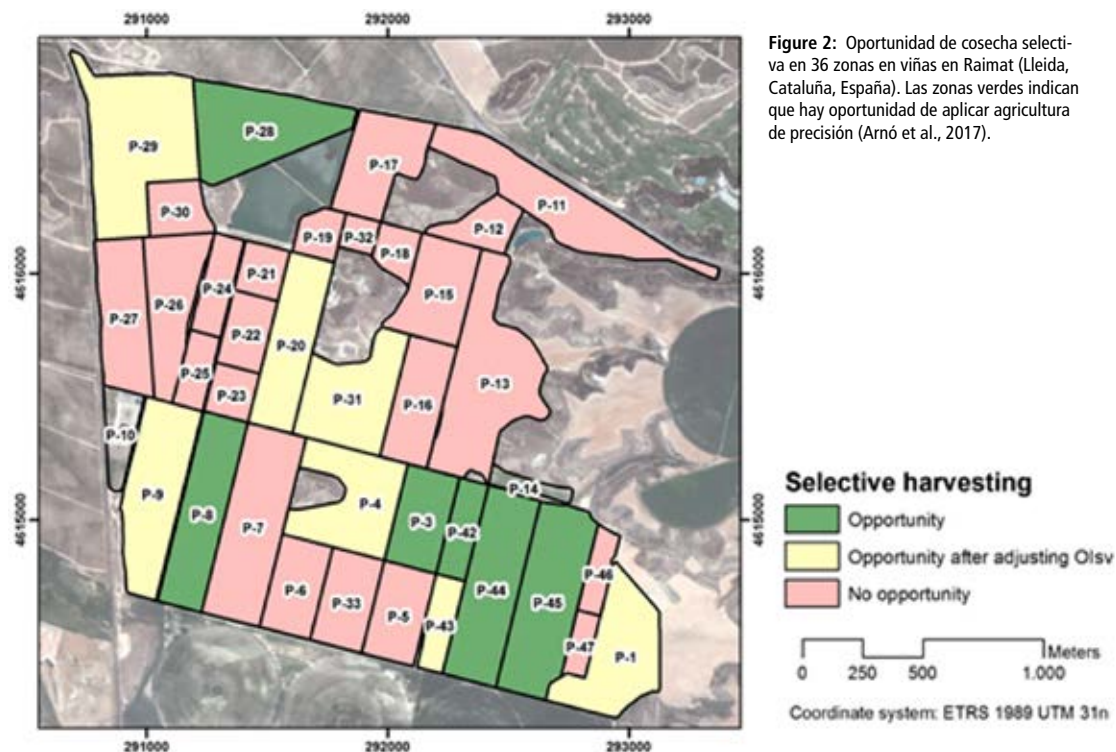
A medida que avanza el poder de conectar las fuentes de datos, existe un potencial más allá de que los productores compartan datos a cambio de asesoramiento agronómico. La monetización de datos podría ser una oportunidad a corto plazo, a medida que los productos se mueven a través de la cadena de suministro de alimentos, las compañías de seguros buscan asegurar el riesgo o los comerciantes buscan sacar ventaja en los mercados accediendo a los datos de los agricultores. Sin duda habrá una evolución de la definición de privacidad, pero la confianza y transparencia serán las piedras angulares de cualquier negocio que busque acceder a estas capas de datos ricas y fértiles.

Los productores y minoristas ganadores serán definidos por la agricultura tecnológica. WinField United continuará equipando a los profesionales de esta industria con herramientas para acceder y aprovechar el poder de los datos, ahora y en el futuro”.

chadas de forma homogénea y cuáles pueden ser cosechadas selectivamente.

Asumiendo que las plantas con vigor más bajo (bajos niveles de NDVI) producen uvas de mayor calidad, solo los predios con una gran magnitud de variación en el vigor de las parras pueden ofrecer diferentes calidades de uvas. Luego, aplicando un análisis geoestadístico al mapa NDVI obtenido en enero, tanto la variabilidad espacial como los componentes de la estructura espacial fueron evaluados para diferenciar las zonas con y sin oportunidad.

El objetivo del índice es identificar aquellos predios en los que se puedan definir claramente zonas de diferentes calidades



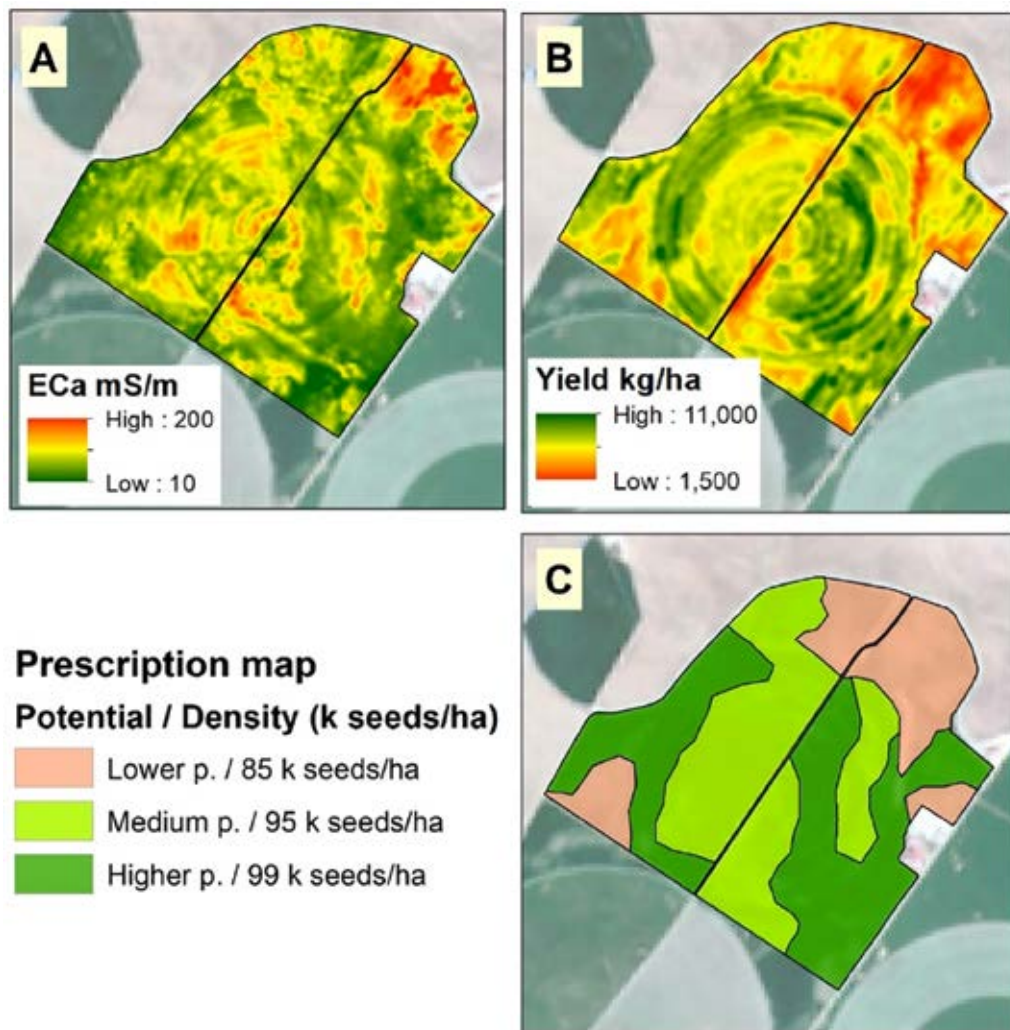


Figure 3: Mapa de prescripción para planta maíz con diferentes tasas de semillas de acuerdo al potencial productivo de cada sector. La delineación fue hecha a base de la conductividad eléctrica del suelo (A), el mapa de rendimiento del cultivo precedente (trigo de invierno, B) y el conocimiento expert del agricultor y su asesor sobre los suelos (textura, salinidad, drenaje). Las dosis recomendadas se expresan en miles de semillas por hectárea (k semillas/ha).

de uva. Esto permite también optimizar la operación y el trabajo de los cosechadores. Se espera un uso muy exitoso de esta metodología. En primer lugar porque permite ajustar la logística de otras viñas que compran la uva.

En Segundo lugar, porque se base en softwares y tecnologías que ya se están usando con bastante frecuencia en la agricultura como son los sensores remotos y los sistemas de información geográfica (GIS), los que en muchos casos son de fuente abierta.

Si le interesa, puede encontrar más información en el artículo publicado en Cogent Food & Agriculture por: Arnó, Martínez-Casasnovas and Tejada-Moral en 2017. (<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1>

080/23311932.2017.1386438).

ZONAS DE MANEJO: UN ASUNTO DE CLASIFICAR INFORMACIÓN

¿Cómo transformar datos en mapas agronómicos que se puedan usar? En la edición de Marzo/Abril 2018 de esta revista introdujimos los procesos claves en el flujo de datos en Agricultura de Precisión. Adicionalmente al adquirir datos, este proceso involucra varios pasos, como la limpieza de datos, interpolación (en el caso de data variable obtenida en puntos discretos) y la clasificación de la variabilidad espacial dentro de un predio en diferentes clases potenciales de manejo.

La delineación de estas clases potenciales se puede hacer de forma manual de acuerdo al co-

nocimiento experto de los agricultores y/o los técnicos, o de forma automática aplicando algoritmos de clasificación. Sin embargo, este procedimiento no garantiza que las clases creadas son estadísticamente diferentes. Otras desventajas adicionales son que es muy difícil para el agricultor/técnico delinear zonas con más de una variable a la vez, debido a que la delineación es por mapas de interpretación visual; adicionalmente este proceso consume mucho tiempo, especialmente cuando el campo tiene muchos sectores por clasificar.

Debido a esto, y la nueva era del Big Data, se deberían preferir los procedimientos de clasificación automática. Los dos algoritmos más

utilizados son k-means e ISODATA. Ambos son similares, pero con la diferencia que el algoritmo ISODATA permite números diferentes de clusters mientras que el k significa suponer que se conoce a priori el número de clusters.

Estos algoritmos permiten hacer mapas de clases "duros", que significa que cada punto de un predio se clasifica en una sola clase. Sin embargo, algunas veces hay puntos "entre medio" de dos clases y, en algunas situaciones, pueden ser clasificados perteneciendo a la clase A o a la clase B.

Esta asignación intermedia de clases se puede resolver con la ayuda de los algoritmos "fuzzy", como el algoritmo fuzzy c-means. Este método permite que se asigne más de una clase o cluster para cada punto individual en el predio, de acuerdo a sus características y con diferentes grados de pertenencia.

Un ejemplo de software basado en una clasificación fuzzy es el Management Zone Analyst (US Department of Agriculture). Realiza un procedimiento de clasificación fuzzy sin supervisión para una serie de números clusters y le ofrece al usuario dos índices de desempeño (fuzziness performance index y normalized classification entropy) para ayudar a decidir cuántos clusters son los más apropiados para crear zonas de manejo. Esto quiere decir que basado en diferentes variables de ingreso de datos (por ejemplo, conductividad eléctrica del suelo aparente, índices de vegetación, mapas de rendimiento, elevación, pendiente, etc.), el programa indica si un campo debe ser dividido en dos, tres o cuatro zonas de manejo. La aplicación de este tipo de clasificación en agricultura de precisión es muy interesante, pero todavía no resuelve una de las preguntas claves de la agricultura de precisión: ¿Qué hacer en cada zona?

LO MÁS DIFÍCIL: ¿QUÉ HACER EN CADA ZONA?

Para comenzar, tomemos una zona de un cultivo extensivo que tiene la oportunidad de recibir aplica-

Glosario de términos

- **Tasa uniforme o variable:** las tasas uniformes o constantes se usan en agricultura convencional, donde la unidad de manejo es el predio. La agricultura de precisión opera en una escala menor que el predio. Delinear diferentes zonas de manejo dentro de un predio con tasas diferenciadas para un manejo sitio específico del cultivo implica usar una aproximación de tasa variable.
- **Zonas de manejo potencial:** son áreas en las cuales el predio se divide para realizar operaciones agronómicas diferenciadas con diferentes dosis en cada zona. En general, un predio se clasifica en diferentes clases de manejo potencial, y cada clase incluye una o más zonas dentro del predio.
- **Índice de Oportunidad:** es un valor numérico que permite que los predios puedan ser ranqueados según la oportunidad que presentan para hacer agricultura de precisión. El índice normalmente evalúan la oportunidad técnica: si el predio tiene la suficiente variabilidad espacial y si permite tener zonas bien delimitadas que puedan ser manejadas con tasas de aplicación variable.
- **Experimentación en el campo:** utilizar el propio campo para realizar ensayos relacionados con fertilización, siembra, riego, etc. con apoyo estadístico adecuado para poder obtener coeficientes específicos de manera de adaptar modelos generales a las condiciones locales de los campos.
- **Agro Big Data:** el uso de las técnicas de Big Data para obtener, analizar, visualizar y valorizar la información agrícola satisfaciendo el requerimiento de las tres "V": gran volumen, alta variabilidad y alta velocidad. Generalmente, la información debe abarcar una gran superficie para lograr tener una gran cantidad de datos. Los resultados se pueden obtener para estimar rendimiento, determinar las necesidades de insumos agrícolas y gestión del riesgo.

ciones diferenciadas de nitrógeno en zonas de manejo claramente definidas. Una vez que llegamos a este punto nos debemos preguntar: ¿Cuánto N debe aplicarse a cada zona? Una vez más estamos enfrentando el momento de la verdad, que es cuándo debemos realizar una decisión agronómica. Pasar desde los datos a decisiones agronómicas no es tarea sencilla. El uso de modelos agronómicos nos puede ayudar, y esto explica por qué tantos agrónomos e investigadores están destinando tanto esfuerzo a experimentar con sensores y modelos de respuesta de los cultivos. Un ejemplo de esto

es el desarrollo de algoritmos para estimar los requerimientos de fertilizantes de N utilizando sensores ópticos terrestres que operan en las bandas roja e infrarroja del espectro electromagnético. Bajo este enfoque, vale la pena mencionar la aplicación web desarrollada por Oklahoma State University, que permite aprovechar las ventajas de utilizar el sensor manual GreenSeeker™ y de esta forma establecer recomendaciones de aplicaciones variables de nitrógeno (Sensor-Based Nitrogen Rate Calculator, SBNRC). Este método se basa en mediciones a mitad de la temporada

con el sensor (lecturas de NDVI) y comparando la reflectancia de las plantas no fertilizadas con aquellas que están en una franja en el mismo sector pero que reciben N sin limitaciones (franja rica en N). Para que el algoritmo opere correctamente, es importante conocer el número de días desde plantación (o días con valores positivos de grados días de crecimiento).

Por lo tanto, al dividir las lecturas de NDVI de las plantas no fertilizadas por el número de días, se puede obtener un rendimiento potencial (YP 0), y este ratio entrega información sobre la biomasa producida por día en la fecha específica cuando se hace la medición. El potencial que se puede obtener cuando se aplica el nitrógeno (YP N) se calcula al multiplicar YP 0 por RI (el índice de respuesta en rendimiento a la aplicación de fertilizante N adicional).

El RI es esencialmente el NDVI de la franja rica en N dividido por el NDVI del resto del sector (o la práctica común del agricultor). Asumiendo que el YP N no excede el rendimiento máximo que se puede obtener para una zona o región, la tasa de N recomendada se puede obtener de la siguiente forma:

$$N \text{ applied} = P_N \times \frac{(YP N - YP 0)}{NUE}$$

Donde N applied es la tasa de aplicación de N (kg/ha); es el porcentaje de N en el grano; y NUE es la eficiencia de uso de N.

De hecho, los agricultores solo tienen que ingresar unos pocos datos al SBNRC para obtener como resultados dos estimaciones de rendimiento potencial (YP 0 e YP N) así como una recomendación específica para su campo de tasa de aplicación de N. Este enfoque se puede aplicar tanto a estrategias de manejo uniforme como para ajustar mapas de prescripción basados en diferentes zonas de manejo de la fertilización nitrogenada. Obviamente que tam-

bién esto tiene sus problemas. El algoritmo es específico a un sitio o región y se deben usar coeficientes de calibración en cada caso. Adicionalmente, el agricultor debe estar dispuesto a invertir tiempo en el diseño experimental que se requiere establecer en su campo para las lecturas del NDVI.

Este nuevo enfoque experimental, conducido por el (la) propio agricultor (a) debe ser considerado como una buena herramienta para mejorar el manejo del suelo y el cultivo. El valor de la experimentación en el predio es obtener información en la que los agricultores puedan confiar. Muchas veces lo que funciona bien en un campo no necesariamente funciona bien en otro.

A este punto en el proceso de toma de decisiones, el uso de los resultados de la experimentación en el campo puede ser la clave para, junto con la experiencia del agricultor, contribuir a tomar decisiones informadas adaptadas a factores sitio específicos no controlados que ocurren en el ambiente agrícola.

La Figura 3 ilustra este concepto: muestra un caso real de uso de la conductividad eléctrica aparente (A), rendimientos del cultivo anterior (B, trigo de invierno) para delinear zonas productivas potenciales donde sembrar maíz a tasas variables. La delineación de las zonas (C) considera también el conocimiento experto del agricultor y del agrónomo asesor en cuanto a tipos de suelos (texturas pesadas o ligeras), áreas con problemas de salinidad, áreas con drenaje limitado y otros aspectos.

Esto fue preferido por el agricultor por sobre un mapa realizado por un proceso de clustering, que creó un mapa con efecto "sal y pimienta" (alta heterogeneidad de zonas) pero que no decía nada sobre la causa de las diferencias. El predio fue plantado con tres densidades diferentes de semillas de maíz, según el potencial productivo de cada zona. ■