

# Agricultura de Precisión: Cómo obtener y qué hacer con los mapas de colores

Desde nuestro primer artículo, esta sección ha ido siguiendo el ciclo de la Agricultura de Precisión (AP). Hasta ahora, hemos descrito cómo obtener datos georreferenciados mediante observaciones visuales o a través de sistemas de navegación satelital junto con el monitoreo del suelo y de las cosechas, con sensores.

Ese es el propósito de la primera etapa del ciclo de la AP. Debemos tener en cuenta que el objetivo final de la AP es tomar decisiones de manejo más informadas. Para ello, es crucial convertir los datos recopilados durante la etapa 1 en una información útil (etapa 2) y, posteriormente, en decisiones de manejo inteligentes (etapa 3). En este número, describimos cómo convertir los datos en información mediante mapas digitales. En 2018, New Ag International vuelve a asociarse con el Grupo de Investigación de AgróTICA y Agricultura de Precisión (GRAP) de la Universitat de Lleida-Agrotecnio Center. En cada número de la revista Jaime Arnó, José A. Martínez-Casasnovas y Alexandre Escolà, junto a nuestro equipo editorial, redactarán un artículo cuya ambición es ayudar a las diferentes partes interesadas a disminuir la brecha entre la recopilación de datos y la agricultura de mercado.

**LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN BASADA EN MAPAS** se beneficia de los Sistemas de Navegación Satelital y de las observaciones visuales o de las técnicas de monitoreo por sensores, para crear mapas digitales de los campos. Cada mapa es una capa que proporciona información sobre la distribución espacial de una única variable agronómica. La AP en tiempo real, basada en monitoreo por sensores no requiere ni tiene tiempo para crear y hacer uso de dichos mapas. En la AP basada en mapas, es esencial la forma en que estos se crean y cómo interpretarlos para lograr tomar las decisiones de manejo correctas.

## MAPEO DE LAS PARCELAS PARA UN MEJOR MANEJO DE LOS CULTIVOS

En artículos anteriores se mencionaron algunos de los sensores de monitoreo de proximidad y remoto más utilizados. Con la ayuda de sistemas adecuados para georreferenciar los datos obtenidos, estos sensores finalmente permiten medir en diferentes resoluciones espaciales, los distintos tipos de suelo y las características de los cultivos. El rendimiento, el vigor de la planta expresado según los índices de vegetación, como el IVDN (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), o la conductividad eléctrica aparente del suelo (CEa), son ejemplos conocidos de datos facilitados a los agricultores y administradores. Obviamente, el ciclo de la AP no se interrumpe en esta primera etapa y, una vez obtenida toda esta información espacial, se pueden mapear e interpretar los datos. Estos mapas deben cumplir ciertos requisitos para poder ser aplicados en las AP basadas en mapas. Por lo tanto, un mapa no será muy útil si es solamente un mapa con puntos coloreados que representen medidas tomadas en terreno. Los agricultores deben aprovechar

las ventajas de la información de los mapas y, para este propósito, estos deben entregar información en la misma cuadrícula de ubicación de la parcela. De acuerdo con la terminología SIG (Sistemas de Información Geográfica), se llama mapa en formato ráster o mapa de superficie, el que logra representar la información de forma continua, cubriendo la superficie total de la parcela. Aunque para poder cambiarse de datos específicos a mapas de superficie se requiere utilizar un proceso de interpolación espacial (no siempre disponible en los softwares comerciales), este es el primer paso para que los agricultores y los asesores puedan utilizar la información de mapas para mejorar la toma de decisiones agronómicas. En una segunda etapa, se deberá delimitar las diferentes zonas agrícolas que tengan un comportamiento de cultivo o de rendimiento similar, para el manejo de cultivos específico del lugar (SSCM, sigla en inglés). La delimitación de la zona se basa en la comparación y superposición de mapas de superficie utilizando los procedimientos de clasificación. El cómo pasar de los datos a los mapas de superficie y cómo convertir estos mapas en mapas de zona es el principal tema abordado en la presente edición de AP Corner. Como ejemplo, la Figura 1 muestra este proceso en una parcela con maíz. Un mapa de rendimiento de superficie se obtiene combinando el sensor de monitoreo de rendimiento. Luego se utiliza para obtener un mapa de potenciales zonas de gestión (PMZ, en inglés) clasificando las áreas de mayor y menor rendimiento de la parcela.

## DE DATOS A MAPAS AGRÍCOLAS ÚTILES: UN PROCESO CON VARIOS PASOS

Tal como se sugiere en el informe titulado "Agricultura de precisión: una oportunidad para los agricultores de

la UE", solicitado en el 2014 por la Comisión de Agricultura y Desarrollo Rural del Parlamento Europeo, 'hay una necesidad de obtener conocimientos y habilidades sobre cómo transformar, mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los datos recogidos por diferentes sensores de monitoreo y georreferenciados en mapas que proporcionen información sobre el estatus fisiológico de los cultivos y de la condición del suelo'. Ya se ha mencionado la necesidad de tener mapas de superficie (mapas con cobertura ráster). Imaginemos que se quiere comparar una serie de tres mapas de rendimiento obtenidos en sucesivas cosechas. Solo será posible comparar y cuantificar cómo ha variado el rendimiento en cada lugar y/o área dentro de la parcela de manera fiable cuando el rendimiento en cada mapa se refiera a los valores de la misma cuadrícula de referencia. Por lo tanto, al ordenar los datos correctamente, se facilita la extracción de un conocimiento más profundo de nuestros datos de rendimiento para que después sea posible analizar, por ejemplo, si el rendimiento del cultivo sigue un patrón de variación espacial que se mantiene estable durante el tiempo. El análisis de la variación espacio-temporal del rendimiento de los cultivos es un aspecto fundamental que se debe considerar a la hora de decidir si realizar o no un manejo diferente en una determinada parcela o SSCM. Siguiendo el ejemplo de los mapas de rendimiento, hay otro aspecto que a menudo pasa desapercibido y que, tras haber cuestionado la utilidad de los mapas de superficie interpolados, se puede terminar convenciendo a los agricultores más escépticos. Todos están de acuerdo en que la calibración de los sensores de monitoreo de rendimiento es muy importante para lograr

la precisión suficiente en las mediciones de rendimiento, con el objeto de tomar decisiones específicas en cada sitio. Por ejemplo, para determinar el rendimiento en cultivos herbáceos, es necesario registrar tres parámetros cada vez que el monitor adquiere datos (por ejemplo, cada 1,5 segundos): masa del grano, superficie cosechada y coordenadas de ubicación. Tomemos el ejemplo de una cosechadora de 7,5 m de ancho de corte moviéndose a 6,5 km/h. Cuando la medición del monitor de rendimiento es de 3,5 toneladas/ha en un punto, esto significa que el sensor de rendimiento ha detectado una masa de grano de 7 kg recolectada en un área con dimensiones de 7,5 m (ancho) por 2,7 m (distancia recorrida en 1,5 s). Sin embargo, es necesario que el tiempo haya transcurrido dado el retardo de flujo existente desde que se cosecha el grano hasta que pasa por delante del sensor para ser medido. Durante este periodo de tiempo de espera (entre 10-15 s que el operador debe validar) ambos siguen avanzando y cosechando. Así que, debido a que lo más probable es que se produzca una mezcla de granos en la cosechadora durante el flujo, ¿quién nos puede garantizar la exactitud de los datos de rendimiento medido punto a punto? ¿No sería más conveniente mapear los datos adquiridos por medio de un método que, tomando en cuenta los intervalos de la recolección de datos, logre suavizar los datos adquiridos proporcionando un mapa más realista? Es por eso que la interpolación espacial utilizando métodos geo-estadísticos es la mejor opción. Sin embargo, antes de la interpolación deben comprobarse los datos para eliminar los valores atípicos y deben ser pre-procesados para corregir los errores que puedan producirse durante la adquisición de datos.

### INTERPOLACIÓN DE DATOS: EL PAPEL DE LA GEOESTADÍSTICA

Además de los monitores de rendimiento y otros sensores de monitoreo de proximidad que proporcionan datos en alta resolución espacial (por ejemplo, sensores de suelo continuos para mediciones de CEa), muchas veces los agricultores solo obtienen datos espaciados mediante el muestreo de algunas propiedades de sue-

lo y cultivos que, por lo demás, son esenciales para la toma de decisiones del manejo agrícola. Nos referimos a las propiedades relacionadas con la fertilidad y humedad del suelo o de algunos parámetros de cultivo. En resumen, los agricultores pueden tener muchos datos, pero con diferente soporte espacial lo que requiere, en todos los casos, de mapas detallados para una correcta interpretación. Los mapas no solo son una forma elegante de presentar datos en terreno, sino que deben ser lo más exactos posible ya que son la información base para apoyar el proceso de toma de decisiones de la agricultura de precisión basada en mapas. La geoestadística es la ciencia que permite la creación de los mapas requeridos como lo han reconocido los expertos en esta área. Acordando que la interpolación geoestadística es la solución, veamos qué pasos son necesarios y cuál es el software disponible.

En el ámbito de la AP, el kriging ordinario es el procedimiento más habitual de interpolación adoptado para la generación de mapas. En este sentido, se involucran dos acciones diferentes en el siguiente orden. En primer lugar y, ante todo, es necesario analizar cómo varían espacialmente los datos observados utilizando el variograma (o análisis variográfico). Tomando de nuevo el ejemplo de los mapas de rendimiento, el variograma permite cuantificar cuál es la variación de rendimiento esperada entre dos ubicaciones diferentes dentro de la parcela. Esta información es esencial para la siguiente fase de interpolación (kriging). Específicamente, los valores de cuadrícula del rendimiento se obtienen mediante una apropiada ponderación de los valores monitoreados de rendimiento real de acuerdo con su ubicación relativa. Aunque algunos softwares SIG genéricos entregan herramientas interactivas para el análisis de datos geoestadísticos y espaciales, existen también programas específicos para obtener mapas a través de un proceso de interpolación geoestadística. Este es el caso del Programa VESPER desarrollado por el Laboratorio de Agricultura de Precisión (PA Lab) de la Universidad de Sydney. VESPER se distribuye como un programa de

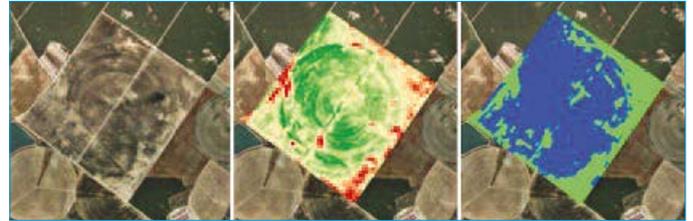


Figura 1: Parcela de maíz cosechada con sensor de monitoreo de rendimiento (izquierda) y el mapa de superficie de rendimiento correspondiente obtenido mediante interpolación (centro). Mapa de las zonas de rendimiento (verde claro y azul fuerte) para la administración diferenciada de la parcela (derecha).

shareware y puede ser descargado del sitio web de PA Lab. Además de ser capaz de encajar diferentes modelos de variogramas, es el único programa que ofrece la posibilidad de interpolación basada en el uso de variogramas locales. Esta es una característica muy apreciada en la Agricultura de Precisión porque logra producir mapas de mayor fiabilidad cuando se cuenta con grandes cantidades de datos para una misma parcela. En lugar de intentar encajar en un variograma global para toda la parcela, el programa permite el uso de un variograma en particular (o variograma local) para cada punto de la cuadrícula de predicción y mejorar la precisión de la interpolación. Ciertamente, el usuario debiera tener ciertas habilidades computacionales y, ante todo, ser capaz de dedicarle tiempo a la construcción de mapas. Desafortunadamente, los agricultores no suelen contar con uno o los dos requisitos, y la figura del consultor experto pasa a ser fundamental en este caso. Sin embargo, los mapas creados con otro tipo de procedimiento podrían no ser tan precisos y por lo tanto condicionar el proceso de toma de decisiones.

### DESDE MAPAS A ZONAS POTENCIALES DE MANEJO: UNA DIFICULTAD ADICIONAL

El manejo de cultivos específicos de un lugar consiste en ajustar la distribución de insumos (como fertilizantes, pesticidas, agua de riego, etc.) o incluso la intensidad de la actividad agrícola a las necesidades locales. Estos ajustes pueden ser modulados sobre la base de una variabilidad punto a punto o agrupando áreas con resultados similares en las áreas de manejo. En este sentido, las áreas de manejo pueden definirse como subregiones de un campo que expresan combinaciones relativamente homogéneas de rendimiento o de factores potenciales de rendimiento, y para los que un tratamiento uniforme basado en el terreno podría no ser el más apropiado. Entonces, la delimitación de las áreas de manejo implica la clasificación de la variabilidad espacial dentro del terreno en diferentes clases. Pero la pregunta clave es: ¿Cómo se hace eso? En primer lugar, la delimitación de las áreas de manejo potencial debería considerar todos los factores que el agricultor puede permitirse mapear. En particular, y con el fin de maximizar los retornos,

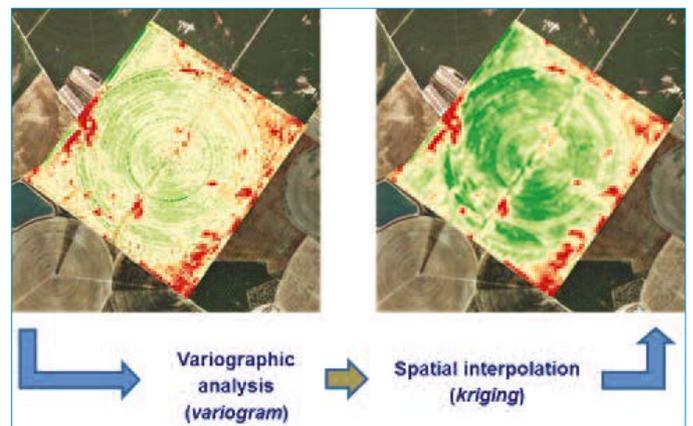


Figura 2: Mapa de puntos de los lugares de rendimiento adquiridos en una parcela de maíz (izquierda) y mapa de superficie de la misma parcela obtenido por kriging en una cuadrícula de 5 m (derecha).

## Entrevista al Dr. Rob Bramley, CSIRO, Australia del Sur



**El Dr. Rob Bramley es un científico e investigador principal senior de CSIRO, situado en el Waite Campus, Adelaide, Australia del Sur. Científico experto en suelo, y que tiene más de 20 años de experiencia en la investigación sobre Agricultura de Precisión.**

**- Usted ha trabajado en Agricultura de Precisión por varios años. ¿Cuál es la fase más crítica cuando se trata de aplicar soluciones basadas en mapas: las variables de muestreo/monitoreo por sensores, crear el mapa, interpretar consistentemente una variedad de contextos y situaciones, delimitar las áreas de manejo o prescribir decisiones productivas para ellos?**

- Hay un viejo cliché que dice 'que no puedes manejar lo que no puedes medir' así es que, claramente medir las cosas correctamente es importante. Esto significa que las herramientas de medición que se utilizan (monitores de rendimiento, sensores, equipo de laboratorio, etc.) deben estar calibradas correctamente. Pero también hay una trampa en la que uno puede caer y es perseguir demasiada precisión analítica. En mi experiencia, los agricultores que adoptan la AP están solamente interesados en una clasificación de "baja", "me-

dia" y "alta", a veces sólo "baja" y "alta", y es por esta razón, que tiendo a pensar que el poder caracterizar adecuadamente la variación espacial es el aspecto más crítico de la elaboración de herramientas basadas en mapas para la toma de decisiones. Por supuesto que los números que usas para mapear deben ser contundentes, pero creo que es bastante importante que saques tus muestras en el lugar correcto, que tomes muestras suficientes y que luego éstas sean procesadas correctamente. Creo que está bien establecido en la literatura que el kriging es el método óptimo de interpolación de mapas y más bien me desespero cuando veo que mucha gente sigue usando IDW (normalmente con W sólo se asume para igualar a 2) para generar mapas, ¡si es que se toman la molestia de interpolar un mapa continuo! Los agricultores están manejando sus negocios y para tomar buenas decisiones, necesitan datos de buena calidad que hayan sido correctamente analizados y eso es lo que debe impulsar nuestro enfoque de procesamiento y análisis de datos.

**- Muchas soluciones de software plug&play o de caja negra han aparecido en el mercado para ayudar a los asesores y a los agricultores a "dibujar" sus mapas y crear sus propias prescripciones. ¿Cree que son lo suficientemente confiables? ¿Hay una necesidad real de educación en estos nuevos temas?**

- He visto solo una pieza de software de AP disponible comercialmente que, en mi opinión, ha creado correctamente mapas de rendimiento, y hasta donde yo sé, ya no está disponible. Creo que es un problema real que con el interés de producir algo que "se vea bien" rápidamente, los desarrolladores de muchos programas de mapas han ignorado la necesidad de producir mapas utilizando métodos sólidos. Por desgracia, los métodos de mapeo como el kriging son lentos compu-

tacionalmente hablando. Tampoco se pueden utilizar para el mapeo en 'tiempo real' porque, en el caso del mapeo de rendimiento, por ejemplo, necesitas los datos de las áreas que aún no han sido cosechadas para poder obtener un mapa sólido. Un problema adicional es que debemos reconocer que el conocimiento del agricultor es invaluable en el proceso de interpretación del mapa; y este es un conocimiento que no debe ser descartado; por ejemplo, éste probablemente conoce bien sus suelos. Esto ciertamente dificulta el desarrollo de software para AP, pero creo que esta es un área donde los proveedores necesitan aumentar sus esfuerzos considerablemente para mejorar lo que está disponible actualmente.

**"Hay un viejo cliché que dice 'que no puedes manejar lo que no puedes medir' así es que, claramente medir las cosas correctamente es importante. Esto significa que las herramientas de medición que se utilizan (monitores de rendimiento, sensores, equipo de laboratorio, etc.) deben estar calibradas correctamente"**

**- Muchos agricultores obtienen mapas de colores de sus campos, tales como mapas de rendimiento o de índices de vegetación, pero nunca los usan en su proceso de toma de decisiones. ¿Cuál es el problema? ¿Puede sugerir una solución?**

- En Australia, se han llevado a cabo varias encuestas en la industria de granos que muestran una fuerte relación entre la adopción de la Agri-

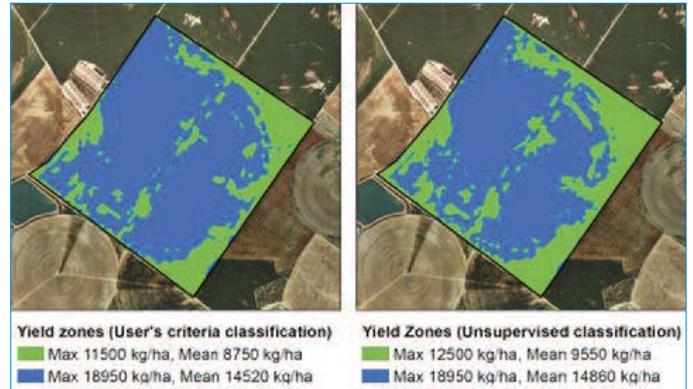
cultura de Precisión por parte de los agricultores (mapeo de rendimiento y el uso específico de aplicaciones de fertilizantes con tasa variable) y si usan o no a un asesor pagado. Cuando se contrata a un asesor agrícola, la probabilidad de adoptar un rango de fuentes de información es mucho mayor que cuando no se usa. Recientemente, llevé a cabo una encuesta a más de 200 agricultores y también mostró claramente que es mucho más probable que un agricultor que cuenta con mapas de rendimiento adopte otros elementos de AP que uno que no tiene mapas de rendimiento. Así que al facilitar poder generar mapas de rendimiento, es importante para predisponer al agricultor a adoptar otras tecnologías como el monitoreo por sensores de los cultivos. Otras encuestas que he realizado tanto en las industrias vitivinícola y de azúcar sugieren un fuerte interés en la AP, pero que está siendo retenido por falta de apoyo técnico. La gente para producir los mapas de manera adecuada discute las implicaciones agronómicas y ayuda en el desarrollo de zonas. Y por supuesto que estos mapas necesitan ser proporcionados en el contexto de una decisión a tomar. ¿Cuánto fertilizante aplicar? ¿Qué cantidad de semillas utilizar? etc.

**- En su opinión, ¿cómo ha ido evolucionando la Agricultura de Precisión: van a prevalecer las soluciones basadas en los mapas? ¿Van a tener más protagonismo las aplicaciones basadas en el monitoreo por sensores en tiempo real? ¿Qué sería mejor, desde el punto de vista técnico, agronómico y económico?**

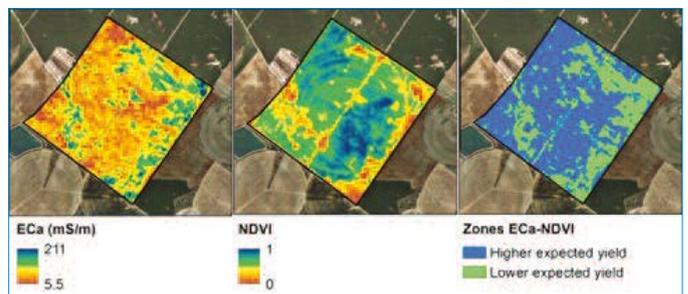
- Gran parte de la oferta comercial de tecnología de AP se presenta como "soluciones buscando problemas". Buen ejemplo de esto es el gran entusiasmo que se produce actualmente alrededor de los drones que, en su mayoría, no están monitoreando algo que ya podemos

monitorear desde otra plataforma - y si tienes un boom spray de 40 metros, no necesitas una imagen con resolución de 2 cm para informar cómo usarlo. Creo que el foco debe estar puesto hacia los problemas que los agricultores necesitan resolver. Probablemente sería útil un cambio básico de filosofía comercial. Pienso que también debemos reconocer que la agricultura es un sector con problemas multi-variables. Junto con otros colegas en Australia, estoy involucrado en un nuevo proyecto en la industria de los cereales que busca automatizar tanto la adquisición como el procesamiento de la información obtenida en el proceso de toma de decisiones sobre el fertilizante nitrogenado (N) y luego la implementación de la decisión de manejo. Tengan en cuenta que no estamos buscando automatizar el proceso de toma de decisiones en sí, porque eso es algo que el agricultor quiere hacer por sí mismo, probablemente considerando una gama de posibilidades para tomar esta decisión. En otras palabras, nosotros no queremos entregar una receta sino una gama de posibles recetas que el agricultor pueda considerar. Una parte preliminar de este trabajo se ha visto en un extenso esfuerzo de revisión de todo el proceso de toma de decisiones sobre el fertilizante N. Nuestra conclusión es que los enfoques basados en sensores para el manejo del fertilizante N deben adoptar un enfoque multi-variable. Así que el solo hecho de usar un sistema basado en un sensor de cultivo IVDN para aplicar una recomendación de fertilizante, no va a "cortarlo"; necesitamos considerar también la humedad del suelo existente, el estado de la estación — cuánto ha llovido hasta ahora, y si hay una mayor probabilidad de lluvia- el pronóstico del precio del grano, el precio del fertilizante y así sucesivamente.

estos debieran estar estrechamente relacionados con el rendimiento de los cultivos o con la calidad de éstos. Ejemplos de ello incluyen propiedades del suelo como la textura, profundidad, capacidad de retención del agua, disponibilidad de nutrientes, contenido de materia orgánica y factores limitantes tales como el contenido de sal, problemas de drenaje, etc. En este sentido, dado que las propiedades del suelo son difíciles de mapear y son costosas, se utilizan frecuentemente datos sustitutos tales como los de la conductividad eléctrica aparente (CEa) que pueden medirse con sensores continuos. Otros factores a tener en cuenta pueden ser el desarrollo de los cultivos, a través del mapeo de los índices de vigor o incluso del rendimiento de los cultivos. Sin embargo, el vigor de la planta varía a lo largo del ciclo de cultivo y el rendimiento puede no ser lo suficientemente estable durante el paso de las estaciones. Entonces, para definir con precisión las áreas de manejo, será necesario contar con información suplementaria, como lo es la variabilidad del suelo. Después de la creación de los mapas ráster, ¿con qué métodos contamos para delinear las áreas de manejo? Uno de los métodos más fáciles es la reclasificación de los datos espaciales, por ejemplo, de los índices de vigor o de los datos de rendimiento. Antes tendremos que decidir cuántas clases vamos a crear (por ejemplo, 2 clases vigor o rendimiento -bajo/alto- o 3 clases -baja/media/alta). Según nuestra experiencia y también basándonos en otros estudios científicos, 2 o 3 clases son lo óptimo. Por ejemplo, en el caso de la delimitación de las áreas de cosecha selectiva de uva vitícola, se prefieren 2 zonas del índice de vigor alto/bajo o de rendimiento en vez de 3, ya que el de clase media suele ser ambiguo. En otros casos, más de 3 pueden complicar la aplicación de la tasa variable o que no se encuentren diferencias significativas en el rendimiento final en algunas de las clases intermedias. Otra petición para la reclasificación es la necesidad de establecer los límites entre las clases en la variable continua que utilizamos para la delimitación de la zona (por ejemplo, el valor del índice de vigor que separa la clase baja de la



**Figura 3:** Ejemplo de creación de áreas de manejo potencial mediante la aplicación de clasificación de conocimiento experto (izquierda) y clasificación no supervisada (algoritmo ISODATA) (derecha). Ambos mapas se basan en datos de rendimiento. En el mapa de la izquierda (clasificación del conocimiento experto) el usuario ha establecido el umbral entre las clases de rendimiento bajo y alto en 11500 kg/ha, mientras que en la clasificación no supervisada (mapa derecha) el computador ha determinado el umbral en 12500 kg/ha, lo que da como resultado 2 clases con diferencias estadísticas significativas.



**Figura 4:** Ejemplo de creación de zonas potenciales de manejo basadas en una clasificación no supervisada de Conductividad Eléctrica Aparente (CEa, izquierda) y IVDN (centro). El resultado (derecha) muestra 2 potenciales zonas de manejo de alto y bajo rendimiento esperado.

clase alta). Para eso, es necesario el conocimiento especializado basado en experiencia previa en las relaciones entre la variable clasificada y el rendimiento final (Figura 3). Sin embargo, este procedimiento no nos puede asegurar que las clases creadas son estadísticamente diferentes, y por lo general se basa en la reclasificación de un factor relacionado (por ejemplo, índice de vigor) aunque más arriba hayamos señalado que las áreas potenciales de manejo podrían responder a más de un factor.

La clasificación no supervisada de los factores espaciales es el método alternativo que puede hacer frente a las limitaciones del procedimiento de reclasificación del usuario. En la clasificación no supervisada, el software de procesamiento de imágenes clasifica los datos espaciales (una o más variables a la vez) sobre los grupos naturales de los valores de las celdas de la cuadrícula que son todas variables, sin que el usuario especifique cómo clasificar estos datos. Este procedimiento

es similar al análisis clúster, donde las observaciones (en este caso, celdas de la cuadrícula) se asignan a la misma clase porque tienen valores similares. El usuario debe entregar información básica tales como las variables a utilizar (por ejemplo, índice de vigor, mapas CEa, mapas de rendimiento anteriores, etc.) y cuántas clases quiere crear. Para hacer esto, el software de procesamiento de imágenes usa un algoritmo de clúster. Los dos algoritmos más utilizados son el de k-means y el ISODATA (Figura 4). El algoritmo ISODATA es similar al algoritmo de k-means con la distintiva diferencia de que el algoritmo ISODATA permite un número diferente de clústeres mientras que el de k-means asume que el número de clústeres es conocido a priori. En las figuras 3 y 4 mostramos ejemplos de la creación de áreas potenciales de manejo según la clasificación de uno o más factores de campo basado en conocimiento especializado o no supervisado (Figura 3, utilizando el rendimiento; Figura 4, utilizando CEa

## Entrevista a Charlotte Gabriel-Robez, Gerente de Marketing Agrícola, Airbus Industries, Francia.



**Airbus, líder mundial en aeronáutica y espacio, es también el más antiguo proveedor comercial de imágenes satelitales, pionero en el uso de teledetección para una amplia gama de aplicaciones desde hace más de 30 años.**

El monitoreo desde el espacio es particularmente relevante en la agricultura debido a su escala global, y al ritmo de crecimiento de la vegetación. Sin embargo, en los comienzos del monitoreo con sensores remotos, los satélites no eran numerosos. Existía la necesidad de obtener imágenes de cualquier satélite disponible para asegurarse una imagen del campo en el punto correcto durante el ciclo de cultivo. Sin embargo, mezclar diferentes imágenes es desafiante: la misma vegetación entrega diferentes respuestas espectrales ya que los satélites tienen sensores diferentes. A lo largo de los años, Airbus ha ganado experiencia en la recopilación de las imágenes requeridas a tiempo, y en la extracción de indicadores de vegetación consistentes, que son significativos, independientemente de las imágenes satelitales utilizadas. Estos análisis ya elaborados impulsados por inversión biofísica permiten cuantificar la biomasa o contenido de nutrientes, y monitorear campos sin sesgo, libres de mediciones en terreno. Combinado con modelos agro-meteorológicos, pueden convertirse con precisión en receta para dosificar fertilizantes,

agua, reguladores de crecimiento y pesticidas, ayudando finalmente a reducir al mínimo el impacto medioambiental de la agricultura. Estas mediciones confiables de cultivos se han utilizado por años en todos los servicios agrícolas de Airbus. El rápido crecimiento de la población, tierras agrícolas y recursos limitados, los movimientos generales hacia prácticas más ecológicas o el impacto del precio de los productos básicos en las utilidades de los agricultores hacen necesario el aumento de la producción y una agricultura más sustentable. En la medida que se progresa en la capacidad de la imagen, en la recolección de datos en el campo, aire y espacio, en computación, y difusión, tenemos las herramientas adecuadas para lograr esto. Por lo tanto, las plataformas de agricultura de precisión se están expandiendo, tanto por la iniciativa de líderes internacionales como por nuevas empresas (start ups). Sin embargo, para que esto tenga sentido y sea valioso para el agricultor, estas recomendaciones agronómicas deben ser adaptadas en detalle al contexto local tomando en cuenta la variedad, el suelo, el clima, y las prácticas de cultivo. Esta adaptación exige un estrecho contacto con los agricultores o asesores de cultivos y un profundo conocimiento de la realidad local.

Airbus ahora tiene como objetivo ofrecer a las empresas proveedoras de servicios, a los asesores y a los agrónomos, una referencia viva para análisis de cultivos de alta calidad. Basándonos en más de 20 años de investigación y desarrollo y sirviendo como API (del inglés, Interfaz de Programación de Aplicaciones) para facilitar la interfaz con plataformas web y en la integración con otras fuentes de datos, nuestra ambición es que la solución de los Airbus FieldMaps (mapas de campo) sirvan para liberar el potencial de los satélites y de las imágenes UAV para la agricultura.

y IVDN combinados). Los diferentes métodos pueden producir diferentes resultados y será el agricultor/técnico el que tome la decisión final sobre qué áreas potenciales serán finalmente elegidas para la operación objetivo de manejo a implementar (p. ej. fertilización antes de la siembra o aplicación lateral de N). En ambos ejemplos, las áreas potenciales pueden ser determinadas manualmente para delinear el mapa final de la zona.

### TOMA DE DECISIONES: LA CLAVE O EL CUELLO DE BOTELLA

Una vez que se han determinado las áreas racionales con propiedades similares en un campo, es hora de convertirlas en información útil. El primer enfoque es utilizar las áreas en el mapa para un muestreo selectivo, es decir diseñar una estrategia para tomar muestras sólo en los lugares donde las propiedades son diferentes. Otro método es convertir las zonas mapeadas en áreas de manejo real. Así, a cada área se le asigna una acción de manejo: una dosificación específica de un recurso a distribuir (p. ejemplo: fertilizantes, riego, producto fitosanitario, siembra, etc.) o una intensidad específica de una operación agrícola (por ejemplo: poda, labranza, etc.) o una acción específica que se

llevará a cabo (ej.: cosecha selectiva, etc.). Ese es el cuello de botella de la Agricultura de Precisión. ¿Cuál es la dosis correcta por asignar a cada zona? ¿Qué hacer en cada área de manejo? La respuesta a esta pregunta no es simple ni directa. Ciertamente depende de cada situación. No hay una respuesta universal a la pregunta. Es tarea del agricultor o de su asesor establecer cuál es la acción más apropiada a implementar en cada área. Es una materia agronómica y no se pueden tomar decisiones considerando solamente los problemas técnicos. Cuando se le entrega al área de manejo una dosificación específica o se ejecuta una acción específica, lo que tenemos es un mapa de prescripción. Los mapas de prescripción pueden hacerse de forma manual o usando tecnologías de tasa variable a bordo de las maquinarias agrícolas. En el segundo caso se deberán considerar los parámetros adicionales como el tiempo muerto para cambiar de una dosis a otra nueva, y el ancho de trabajo para determinar las áreas de manejo. En las próximas dos ediciones, trataremos respectivamente, las consideraciones en la toma de decisiones para crear mapas de prescripción y las tecnologías de tasa variable. Manténgase atento. ■

## Glosario de términos

**Kriging:** es un método de interpolación espacial que permite crear un mapa de superficie (o mapa ráster) utilizando un modelo de variograma a partir de datos reales muestreados u obtenidos por un sensor.

**Variograma experimental:** es una representación gráfica de cómo una propiedad varía dentro de una parcela o área, de acuerdo con la distancia entre diferentes ubicaciones espaciales. El análisis variográfico posterior permite ajustar un **modelo de variograma** para describir como aumenta dicha variación de distancia de separación entre los puntos de muestreo.

**El manejo de cultivos específico del lugar (SSCM):** es la 4ª etapa de la Ciclo de la Agricultura de Precisión, después de la adquisición de datos (1 etapa), convirtiéndolos en información (2ª etapa) y tomando decisiones de manejo (3ª etapa). Consiste en el manejo de los cultivos y ejecución de las operaciones agrícolas a una escala espacial más pequeña que el campo, de acuerdo con la información de manejo prescrita. Eso significa ajustar los insumos (fertilizantes, pesticidas, agua de riego, operaciones manuales, etc.) a las necesidades locales. En algunos países, el SSCM se utiliza como sinónimo de Agricultura de Precisión.

**La clasificación no supervisada:** es un procedimiento mecanizado para describir la estructura oculta de los datos "no etiquetados". Puede aplicarse para clasificar las variables espaciales. En este caso, el usuario especifica las variables espaciales sobre la base de la cual se efectuará la clasificación y el número de clases a crear. Para eso, el computador usa un algoritmo de clúster que determina la agrupación estadística natural de los datos.