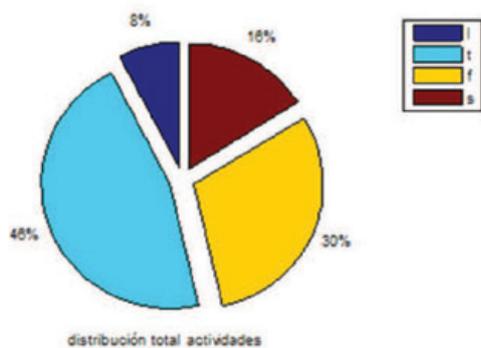


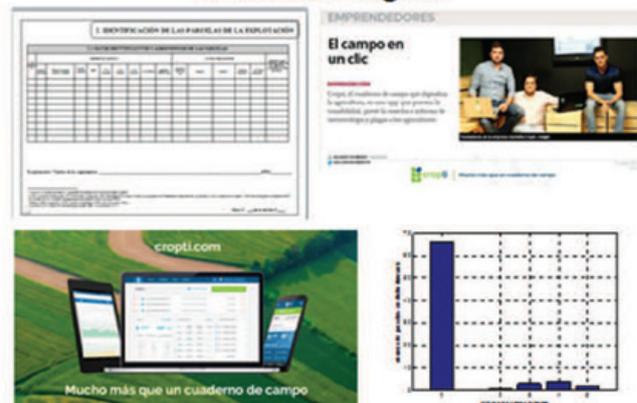
Figura 1. Porcentaje de dedicación a distintas operaciones en una cebada de secano (l. laboreo; t. tratamiento; f. fertilización; s. siembra) obtenidas del cuaderno de campo digital propuesto por la empresa CROPTI.

El impacto de las operaciones por tiempo: ejemplo en cebada de secano



Fuente: CROPTI (2014)

* El cuaderno de explotación: el tránsito al mundo digital



TECNOLOGÍAS ÓPTICAS: HACIA UNA DETECCIÓN ESPECÍFICA DE MALAS HIERBAS Y OTROS FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS

Adolfo Moya González y Pilar Barreiro Elorza

La modernización de la agricultura en Europa requiere cada vez más de la transformación del agricultor en un profesional cualificado capaz de gestionar su explotación de la forma más eficiente posible desde un punto de vista agronómico, considerando el rendimiento económico y respetando el medio ambiente en los procesos de producción. Es por esto que estos nuevos profesionales deberán familiarizarse con las nuevas herramientas de gestión de la explotación y de la ayuda a la toma de decisiones orientadas a los objetivos mencionados.

LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y LOS CUADERNOS DE EXPLOTACIÓN

La agricultura de precisión (AP) es la aplicación de tecnologías para la gestión eficiente de la variabilidad espacial (a nivel >>>

- * La agricultura de precisión (AP) es la aplicación de tecnologías para la gestión eficiente de la variabilidad espacial (a nivel sub-parcelario) y temporal (histórico de información)... Cabe preguntarse, sin embargo, si los cultivos extensivos de secano en España pueden admitir el coste derivado de su empleo....
- * La tecnología disponible impulsa un nuevo perfil de agricultor: más profesional y formado, capaz de colaborar con empresas de servicios y centros de extensión en la identificación de la variabilidad productiva y de recursos de su explotación, así como en la definición de soluciones personalizadas (cartografía, tratamiento diferencial o convencional...)

Agricolum

LA APLICACIÓN DE LOS AGRICULTORES DEL SIGLO XXI



Genera tu cuaderno de campo y mejora la rentabilidad de tu explotación con Agricolum



Informes oficiales

Genera tus cuadernos e informes (fitosanitarios, fertilización, deyecciones,...) listos para revisar y firmar.



Mapas SIGPAC

Visualiza y crea parcelas a través de recintos SIGPAC. Importa desde excel o PAC. Podemos importarlas por ti.



Control por GPS

Gestiona tu actividad con la precisión de un GPS. Localiza tu maquinaria y personal en tiempo real.



Actividades

Registra y consulta el histórico de tus actividades y las de tus clientes.



Sincronización

En tiempo real con el MAGRAMA, SIGPAC y desde cualquier dispositivo.



Gestión económica

Gestiona tus stocks y análisis de costes: productos, horas de trabajo y maquinaria.

Premios:



PRUÉBALA YA, GRATIS!



www.agricolum.com | info@agricolum.com | 93 551 62 92 | 610090127

sub-parcelario) y temporal (histórico de información). Cabe preguntarse, sin embargo, si los cultivos extensivos de secano en España pueden admitir el coste derivado de su empleo. La respuesta es clara, el coste de la aplicación ha de ser inferior al ahorro que facilitan: combustible, fertilizantes, fitosanitario o mano de obra.

A día de hoy, la incorporación de cuadernos digitales de explotación puede ayudarnos en la

cuantificación del ahorro, dado que a golpe de un solo *click* de ratón podemos determinar cuáles han sido nuestros desembolsos en las distintas operaciones: laboreo, siembra, fertilización, tratamientos y cosecha, y por tanto cuál es el horizonte de ahorro.

PROTECCIÓN DE CULTIVOS

Uno de los aspectos más determinantes en la gestión de una explotación agrícola es la protección de los cultivos (46% del tiempo según Figura 1), y dentro de ésta, la lucha contra las malas hierbas ya que actualmente en Europa el gasto en herbicidas supone un 40% del desembolso total en agroquímicos por parte de los agricultores. La optimización en la aplicación de estos herbicidas se identifica por tanto como un factor clave de cara tanto a mejorar la rentabilidad económica como a reducir el impacto ambiental de las operaciones de cultivo.

TRATAMIENTOS GLOBALES VS TRATAMIENTOS LOCALES

Varios grupos de investigación españoles trabajan en el estudio de distribución de las malas hierbas en los cultivos y en sus posibilidades de detección temprana

Figura 2. Sistemas de detección para la Agricultura de Precisión (AP) basados en medición remota, a bordo, fija con transmisión inalámbrica o equipos portátiles.



orientadas a la selección del tipo de tratamiento más adecuado. El grupo de Ecología de Malas Hierbas del Instituto de Ciencias Agrarias del CSIC ha trabajado intensamente en la caracterización de la heterogeneidad espacial y temporal de las poblaciones de malas hierbas en cultivos anuales (cereales) y leñosos (viña). Según un reciente estudio publicado por miembros de este grupo (Andújar et al., 2013) relativo a la conveniencia de tratamiento según los niveles de infestación de malas hierbas experimentados, una infestación inferior al 7% no justifica ningún tipo de tratamiento, mientras que infestaciones superiores al 40% pueden ser abordadas mediante tratamientos convencionales que cubran toda la superficie de cultivo. Entre el 7% y el 40% los investigadores recomiendan tecnología de cartografía y control sitio específico cuando los niveles de infestación se encuentren en la parte baja del rango y tratamientos localizados barriendo toda la superficie cuando nos encontremos en la parte superior del rango.

Estas recomendaciones inciden directamente sobre el tipo de tecnología a emplear, las aplicaciones de cartografía y control de sitio específico requieren de sistemas de detección remota para la localización de los >>>

¿Cómo reciclar en la agricultura?

Envases SIGFITO



En el punto de SIGFITO

Cooperativa o distribuidor

Envases con el símbolo de retorno



Devuélvelo donde lo compraste y recupera el dinero



Envases con el punto verde



Contenedor urbano



Envases sin símbolo

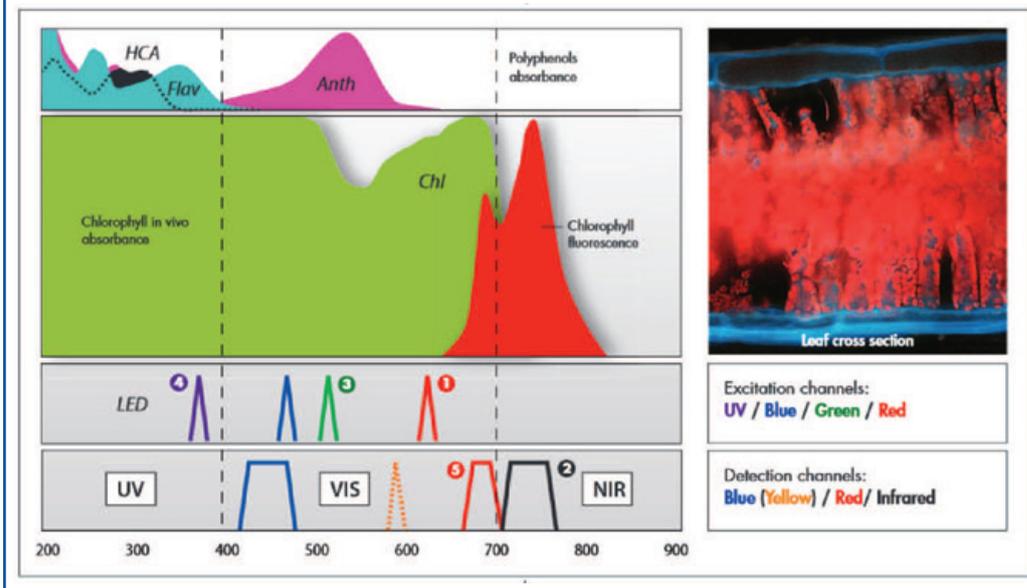


Contrata a un gestor y decláralo en tu Comunidad Autónoma



rodales y aplicaciones de planificación y gestión de rutas para que los vehículos aplicadores alcancen las localizaciones identificadas y apliquen el tratamiento de una forma eficiente. En el caso de tratamientos localizados barriendo toda la superficie es interesante la implementación de sensores a bordo de los vehículos que vayan a realizar el tratamiento para una identificación y dosificación precisa durante la aplicación.

Figura 3. Propiedades ópticas de diversos compuestos de interés en viña y su correspondencia con los canales de excitación y de detección en el sistema Multiplex.



LA ESPECTROSCOPIA UNA TECNOLOGÍA “PARA TODO”

Está claro, que no podemos pensar en disponer de un instrumento distinto para optimizar cada una de las distintas operaciones de cultivo, de manera, que ha de buscarse la tecnología *definitiva* que nos indique las necesidades de laboreo, el nivel de nascencia, las necesidades de fertilización de cobertera, o el riego inminente de ataques de plagas o enfermedades, o al menos un estado incipiente de daños.

Si tal tecnología existiera, sin duda sería la espectroscopía que saca provecho de la interacción de la radiación electromagnética (que típicamente llega del sol) con la materia. Los seres humanos, sólo percibimos una pequeña parte de dicha radiación que denominamos visible, aunque las distintas especies animales emplean rangos distintos: los insectos el ultravioleta, y muchos depredadores el infrarrojo para disponer de visión nocturna. De hecho los seres humanos tenemos una visión que se ha adaptado al rango donde la luz del sol es más intensa y ésta se corresponde con los verdes (500nm aprox.).

Por tanto pensemos en un equipo que fuera capaz de generar imágenes en varias (o muchas) longitudes de onda (colores en el visible) y veremos como su combinación en forma de índices espectrales (SI) podría dar respuesta a las necesidades en la toma de decisión.

AP REMOTA, EMBARCADA Y EN RED

Existen diversas maneras de instalar la tecnología espectroscópica: 1) en remoto (satélites, aviones o drones), 2) de manera embarcada (en el tractor o en quads), 3) en

Figura 4. Configuración del equipo para la toma de imágenes multiespectrales en campo (Zhang et al., 2012).



redes de sensores inalámbricos, o 4) mediante dispositivos para muestreo manual. La primera es la más conocida y ya disponemos de distintos sensores que ofrecen desde unas pocas longitudes de ondas (6 en el LANDSAT) hasta cientos de ellas; en el primer caso hablamos de sistemas multiespectrales (MSI), mientras en el segundo los denominamos hiperespectrales (HSI). En todo caso las imágenes de satélite han de ser en general adquiridas aunque cada vez más se distribuyen de manera parcialmente gratuita. El empleo de imágenes multiespectrales en drones se está también difundiendo a gran velocidad, y en España por ejemplo Smart rural ofrece el equipo desarrollado por el CNRS francés muy interesante. ▶▶▶

TOWER®



COMERCIAL QUÍMICA MASSÓ, S.A.

Viladomat, 321, 5º - 08029 Barcelona - Tel. +34 93 495 25 00 - Fax +34 93 495 25 02 - E-mail: masso@cqm.es - www.massoaagro.com



Los equipos embarcados son todavía poco frecuentes en España y sin embargo son la base de un tratamiento diferencial (aplicación variable de insumos), y los equipos manuales son propios de grandes explotaciones de manera que puedan ser empleados sistemáticamente a lo largo de la campaña para verificar el estado del cultivo. Multiplex, por ejemplo es una apuesta interesante para empresas de servicios puesto que sirve tanto para establecer mapas de necesidades de abonado (actividad clorofílica), como para evaluar la calidad de los tratamientos fitosanitarios cuando se emplea un fluorómetro (puede reducir a la mitad la cantidad a añadir en el caldo), o para identificar zonas de gestión independiente según calidad (antocianos y flavonoides en el caso de la vid).

ESPECTROFOTÓMETROS Y CÁMARAS ESPECTRALES

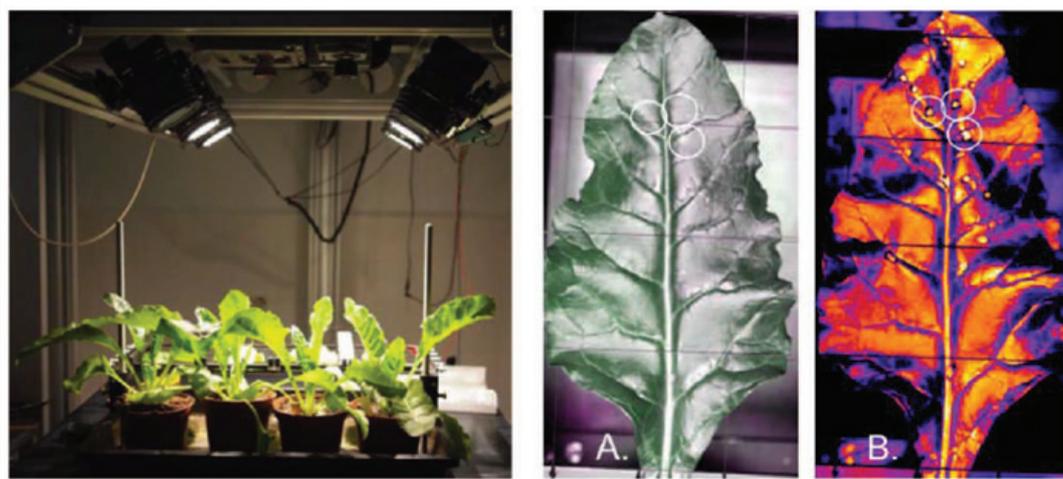
La mayor parte de los sistemas espectrales constan de: A) una iluminación activa (inexistente en los sistemas remotos que emplean la luz solar), B) un sistema de presentación de la muestra (esfera integradora, geometría 0/45, o de visión directa), C) un procedimiento de descomposición de la luz o monocromador (filtro ajustable, red de difracción o filtro lineal –LVF–), y D) un detector que puede tener una o dos dimensiones (curva espectral o imagen respectivamente) y que difiere según su sensibilidad espectral (visible, infrarrojo cercano o medio, rango térmico).

Los sistemas embarcados, portátiles (muestreo manual) y montados en WSN pueden emplear iluminación activa (propia). Esto es una notable ventaja pues permite

Tabla 1. Tasas de error de clasificación de modelos para la detección de malas hierbas elaborados a partir de una sola campaña o a partir de varias campañas cuando son aplicados en múltiples

Datos de calibración	Datos de validación	Tasa de error de clasificación (% de píxeles)				
		Tomate	<i>Solanum nigrum</i> L.	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Total (3-especies)	Total (cultivo–malas hierbas)
2005	2005	6,5	4,6	1,2	4,2	3,9
	2006	6,4	24,9	3,5	12,3	12,1
	2008	50,2	19,9	38,2	37,9	31,8
2006	2005	16,2	10,3	1	9,3	9,2
	2006	5,5	5,3	1,9	4,5	4
	2008	39,8	26,3	48,5	40,2	29,9
2008	2005	44,3	19	0,5	20,7	19,1
	2006	29,8	11,6	1,2	15,7	12,2
	2008	12,9	9,4	3,3	8	7,3
Media		23,5	14,6	11	17	14,4
Global	2005	31,8	13,3	1,8	15	14,5
	2006	10,3	7,4	2,8	7,3	6,6
	2008	15,1	12,5	4,5	10	9,1
	Global	14,2	10,3	3,8	9,4	8,6

Figura 5. Determinación de ataque por *Cercospora* en hoja de remolacha azucarera mediante imagen multiespectral (Grieve, 2015).



utilizar iluminación LED de distintas longitudes de onda (secuencialmente) y obtener directamente imágenes multi-espectrales sin necesidad de descomponer la luz. Esto hace que los sistemas sean mucho más baratos que los sistemas multi-espectrales remotos como los del satélite LANDSTAT.

La mayor parte de los sistemas espectrofotométricos que se emplean en agricultura constan de sensores de silicio cuya sensibilidad abarca el rango de 400 a 1100nm, es decir el visible y el infrarrojo muy cercano, suficiente para detectar una amplia variedad de estresores tanto bióticos como abióticos, como se verá posteriormente.

La espectroscopía (especialmente en forma de imágenes) tiene la particularidad de generar un gran volumen de información que ha de ser procesada con métodos matemáticos complejos que son transparentes al usua- ▶▶▶



TOPCON Positioning Spain

agrimanager
Versión TOPCON

Líderes en medición de precisión

Tecnología de posicionamiento innovadora para la agricultura de precisión

- Sistemas de guiado y control de aplicación
- Colectoras de datos
- Nivelación de terreno

Simplificando tareas en el campo

Los principales beneficios son:

- Integración automática de las tareas registradas en el autoguiado Topcon.
- Sin complicaciones, fácil y sencillo.
- Vuelca la información a un pendrive y pásalo a un ordenador.
- Desde cualquier dispositivo con acceso a internet.

¿Qué hace Topcon?

Topcon produce una gama de controladores para la dirección y orientación, pulverización, siembra, plantación, fertilización, difusión, y la incorporación de autosección y control de velocidad variable.



¿Qué es Agrimanager?

Agrimanager versión topcon es una aplicación que permite integrar las tareas del autoguiado en un cómodo y sencillo cuaderno de campo online.



Contacta con nosotros en www.topconpositioning.es



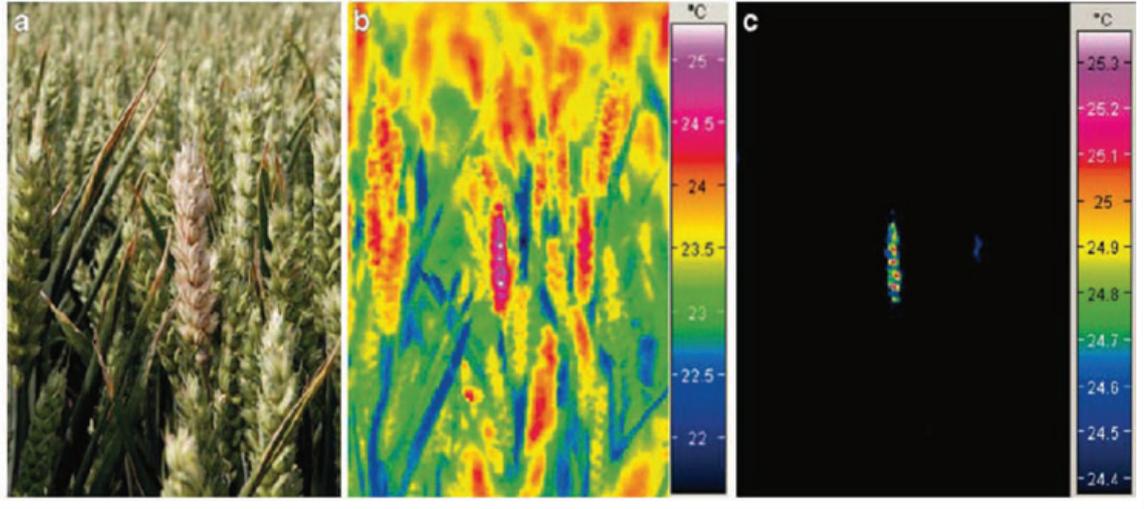
Contacta con nosotros en www.bynse.com





rio, puesto que en general quedan embebido en la aplicación final, de manera que sólo se observa el resultado final del cómputo de un índice espectral y su conversión a un factor agronómico (necesidad de fertilización o tratamiento).

Figura 6. Imágenes RGB (a), térmica (b) y térmica con rango de temperatura ajustado (c) empleadas para la detección de Fusarium en trigo (Mahlein et al., 2012).



DETECCIÓN Y RECONOCIMIENTO DE MALAS HIERBAS

La detección e identificación temprana de malas hierbas habilita por lo tanto la posibilidad de aplicación de tratamientos específicos mejor adaptados a las circunstancias locales. La detección de malas hierbas puede realizarse de forma local o remota, que supone un evidente ahorro de costes frente a la primera. La detección de malas hierbas es frecuentemente llevada a cabo mediante imágenes RGB convencionales (detección entre líneas), la ampliación del rango espectral registrado permite mejoras en la discriminación entre el cultivo y las malas hierbas e incrementa las posibilidades de identificación mediante el cálculo de índices de vegetación como el NDVI, ampliamente utilizado en teledetección. El grupo de Agricultura de precisión y teledetección del Instituto de Agricultura Sostenible del CSIC, dirigido por Francisca López Granados trabaja en el ámbito de la detección y cartografiado de malas hierbas mediante cámaras multispectrales remotas (montados en satélites o drones) dirigidos a la optimización del uso de agroquímicos con estrategias de Agricultura de Precisión.

La Universidad de California ofrece un estudio muy interesante a lo largo de tres campañas orientado a la identificación en campo de varias especies de malas hierbas en tomate mediante imagen hiperespectral (Zhang et al., 2012). Este estudio demuestra que la necesidad de recalibración sistemática es el talón de Aquiles de la tecnología espectroscópica (véase Tabla 1 en la que puede apreciarse un incremento en la tasa de error de clasificación cuando los datos empleados para la calibración en una campaña son aplicados a nuevas campañas

de cultivo), y de ahí que sea recomendable que el uso de los equipos esté en manos de empresas de terceros, o bien que subcontrate el procesado de la información.

DETECCIÓN DE ESTRÉS BIÓTICO Y ABIÓTICO MEDIANTE ÍNDICES ESPECTRALES

La bibliografía científica nos aporta referencias solventes sobre el uso de la espectroscopía para la detección de las condiciones del suelo (contenido en materia orgánica, y estado de fertilidad, véase artículo en nº 231 de tierras), la presencia de sequía somera y aguda (detectando la curva espectral del agua), las necesidades de fertilización (especialmente nitrogenada), los ataques de hongos (fusarium en trigo, mildiu, y phyrenophora en cebada; Cercospora y Uromyces en remolacha), o la calidad del cultivo (contenido proteico del cereal entre otros aspectos cualitativos).

VISUALIZACIÓN DE DATOS PARA LA TOMA DE DECISIONES

El proceso de toma de decisiones en agricultura exige la integración de toda la información recogida con distintos dispositivos en sistemas GIS, para lo cual cada uno de los datos ha de haber sido georreferenciado mediante algún tipo de dispositivo GPS.

El consorcio abierto geoespacial (OGC según sus siglas en inglés) se ha enfocado en los últimos años a proveer de un marco de estándares para la utilización de mallas de sensores e información de distintos orígenes, entre dichos estándares destaca el modelo común de datos definidos por la ISO 19156 de 2010.

La ISO 19156 realiza una taxonomía o clasificación de los sensores según su campo de aplicación. Lo más complejo es ajustar la escala de visualización a ►►►

los intereses del usuario y por ello, algunos autores proponen una visualización centrada en la tarea que va a hacer uso de la información, que es lo que se llama información adaptada al contexto. Un ejemplo, si se trata de una siembra, puede ser relevante visualizar el contenido en humedad del suelo

estimado con procedimientos espectrofotométricos en el rango crítico para la nascencia de las semillas 10 a 25%, aspecto igualmente extensible a la temperatura del suelo.

Los GIS nos permiten obtener mapas, pero dado que el número de registros por campaña se prevé elevado en los próximos años, el sistema ha de permitir una jerarquía de visualización, estableciendo el nivel de agregación por meses o años, y unas escalas de colores que sean directamente interpretables por el usuario.

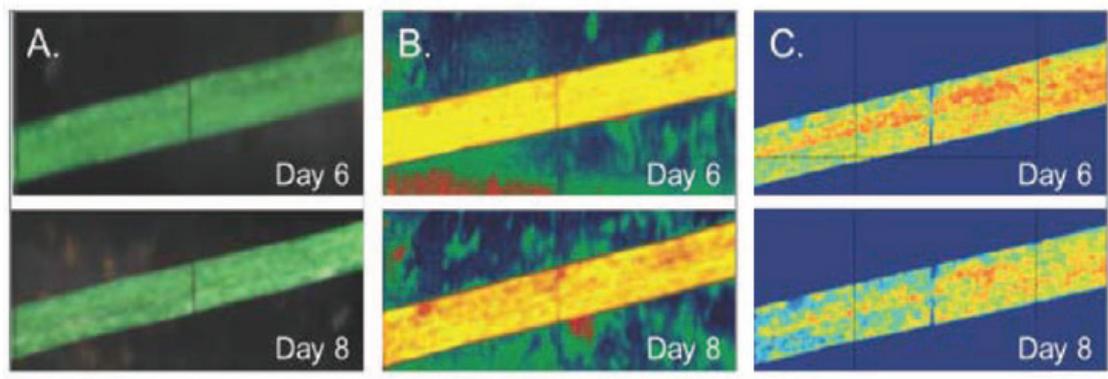
A MODO DE CONCLUSIÓN

La tecnología disponible impulsa un nuevo perfil de agricultor: más profesional y formado, capaz de colaborar con empresas de servicios y centros de extensión en la identificación de la variabilidad productiva y de recursos de su explotación, así como en la definición de soluciones personalizadas (cartografía, tratamiento diferencial o convencional).

Los cuadernos de explotación digitales ofrecen una gran cantidad de información que mínimamente procesada ayuda en la toma de decisiones: laboreo convencional, de conservación o no laboreo, dosis de tratamiento y áreas a tratar.

La espectroscopía (en forma o no de imágenes mul-

Figura 7. Hoja de cebada infectada por oidio a los 6 y 8 días desde su inoculación. (A) Cámara convencional. (B) Índice NDVI a partir de sistema de imagen hiperespectral. (C) Índice NDVI a partir de sistema de imagen multispectral (Grieve, 2015).



tiespectrales e hiperespectrales) es una tecnología “para todo”, puesto que la calibración específica permite desde: la detección de la calidad del suelo, hasta el estado fenológico, la cuantificación de la infestación de malas hierbas o la determinación de la presencia de enfermedades. Los aspectos técnicos más importantes de espectrofotómetros y cámaras están resueltos, pero la penetración de la tecnología en el ámbito agrícola dependerá de la existencia de un tejido de usuarios y empresas consultoras capaces de interpretar la información para los agricultores.

REFERENCIAS

Andújar, D., Ribeiro, A., Fernández-Quintanilla, C., & Dorado, J. (2013). Herbicide savings and economic benefits of several strategies to control Sorghum halepense in maize crops. *Crop Protection*, 50, 17-23.

Pilar Barreiro Elorza. (2015). Control robotizado de malas hierbas combinando flotas aéreas y terrestres. *Vida Rural* (394), 50-58.

Grieve, B.; Hammersley, S.; Mahlein, A.K.; Oerke, E.C.; Goldbach, H. (2015). Localized Multispectral Crop Imaging Sensors Engineering & Validation of a Cost Effective Plant Stress and Disease Sensor. Conference: IEEE 2015 Sensors Applications Symposium.

Mahlein, A. K., Oerke, E. C., Steiner, U., & Dehne, H. W. (2012). Recent advances in sensing plant diseases for precision crop protection. *European Journal of Plant Pathology*, 133(1), 197-209.

Nuria Santana Vega, Adolfo Moya González, Pilar Barreiro Elorza (2015). La importancia del suelo en la producción agrícola. *Tierras* (231), 16-25.

Yun Zhang, David C. Slaughter, Erik S. Staab, Robust hyperspectral vision-based classification for multi-season weed mapping. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 69, April 2012, Pages 65-73.



FERTILIZANTES LÍQUIDOS

Aplicación y distribución para fertirrigación, pivots, coberturas y goteos

NPK Claros y Suspensiones / Soluciones nitrogenadas / Microelementos / Abonos orgánico-vegetales





ARIJA
FERTILIZANTES LÍQUIDOS

C/ Pisuerga, 15-17 Poligonillo (Palencia)
Tfno. y fax: 979 72 50 40