

CAPE

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

INTRODUCCIÓN A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL VALLE DEL GUADALQUIVIR



Europa
invierte en las zonas rurales

Cooperación para la implantación de técnicas de Agricultura de Precisión





Introducción a la Agricultura de Precisión en el Valle del Guadalquivir

Edita G.D.R. Campiña-Alcores, Aljarafe-Doñana, Bajo Guadalquivir, Gran Vega y Serranía Suroeste.

Autores Manuel Pérez-Ruíz, Lucía Quebrajo Moya, Jorge Martínez Guanter y Juan Agüera Vega.

Diseño, edición de textos y maquetación CACTUS. INVESTIGACIÓN CUALITATIVA Y COMUNICACIÓN S.L.

Imprime Coria Gráfica S.L.

ISBN 978-84-608-2673-6

Año 2015

01

Introducción [8]

Objetivos de este documento de introducción a la Agricultura de Precisión [11]

02

Por qué implementar Agricultura de Precisión en nuestros cultivos [13]

La Agricultura de Precisión [16]
2.1 Propuesta de valor..... [18]

03

Cómo implementar la Agricultura de Precisión [27]

3.1 Gestión de la variabilidad intraparcilaria [28]

3.2 Instrumentos básicos de la tecnología de distribución variable..... [30]

3.3 Metodología para gestionar la variabilidad intraparcilaria [34]

3.4 Procedimientos para aplicar Agricultura de Precisión [41]

04

Qué podemos conseguir con la Agricultura de Precisión [49]

05

Conclusiones [59]

06

Bibliografía [63]



Este libro sirve como compendio de todo el trabajo realizado en el proyecto CAPE, así como documento explicativo y expositivo de las técnicas innovadoras de Agricultura de Precisión que gracias a CAPE se han comenzado a desarrollar en el valle del Guadalquivir. El papel de los G.D.R. Campiña-Alcores, Aljarafe-Doñana, Bajo Guadalquivir, Gran Vega y Serranía Suroeste, ha sido esencial en su labor de promotores del proyecto, que tiene como pilar la investigación en Agricultura de Precisión desarrollada por el equipo de la E.T.S.I.A. de la Universidad de Sevilla. Todo esto no sería posible sin el trabajo y apoyo de las organizaciones agrarias del territorio, así como las empresas agrarias locales, los cuales han sido los agentes clave para propiciar que las experiencias de la investigación se lleven a cabo en contextos reales. También es necesario citar especialmente la implicación del G.D.R Campiña-Alcores, cuyo equipo ha coordinado todo el proyecto. Como puede constatarse en este elenco de entidades colaboradoras, este

compromiso es fruto del encuentro de ideas, algo de lo que sentirse orgulloso, pues el resultado del mismo no habría sido posible sin la participación de todas ellas.

Esperamos que este libro sea útil para el conjunto de la ciudadanía del ámbito rural sevillano en el que tienen su actividad los GDR mencionados. Ha de ser de utilidad a las agentes clave en el sector agrario rural, las empresas agrícolas -agricultores/as y las de servicios-, así como al equipo de los grupos de desarrollo, sirviendo como manifiesto de una nueva visión de las relaciones entre las explotaciones agrarias y su entorno socioambiental que prima la generación de información válida para la optimización en la toma de decisiones. Esto garantiza un contexto en el que una agricultura rentable, sostenible y respetuosa con el entorno sea posible.

David Javier García
Presidente GDR Campiña-Alcores

01 INTRODUCCIÓN

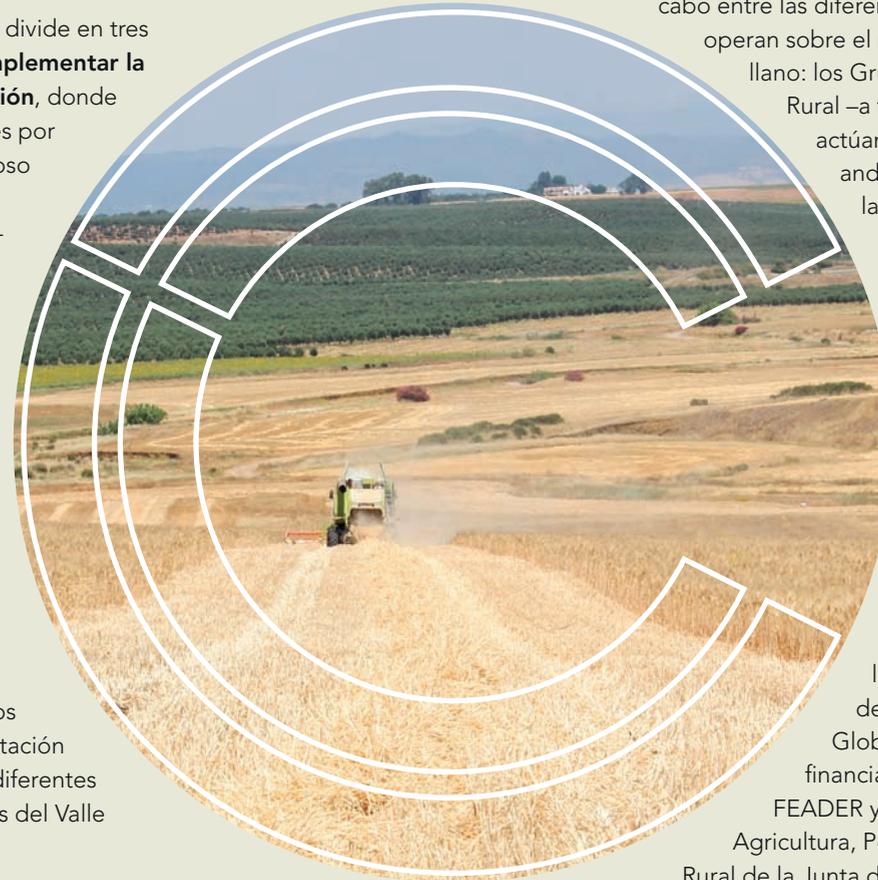
Los elementos fundamentales de cualquier estrategia para abordar el desarrollo agrícola pasa por varias fases antes de implementarse. Primero se realiza un **diagnóstico** de las carencias, las problemáticas, las potencialidades y las virtudes de la situación de partida. Seguidamente, se buscan **alternativas creativas** que potencien las virtudes de la situación de partida, permitan integrar otro tipo de respuestas a los problemas y reduzcan las problemáticas y carencias. Por último, se desarrollan **herramientas y técnicas** innovadoras que pongan en práctica nuevos abordajes de la situación, teniendo en cuenta todas sus dimensiones (ecológica, social, económica y legal).

El proyecto CAPE es un ejemplo singular de esta lógica de la innovación para el desarrollo agrícola del Valle del Guadalquivir, y este libro es un ejemplo que atestigua los esfuerzos realizados para alcanzar un nuevo horizonte en la producción agraria y las nuevas técnicas que sirven para ello.

Durante todo el libro se intentará exponer las virtudes de las nuevas tecnologías desarrolladas en el marco de la Agricultura de Precisión, una nueva forma de abordar la producción agrícola centrada en el aumento del conocimiento que los agricultores posean sobre sus parcelas que optimice el proceso de toma de

decisiones. El libro se divide en tres partes: (1) **por qué implementar la agricultura de precisión**, donde se abordan las razones por las cuales es beneficioso implementar técnicas basadas en la Agricultura de Precisión; (2) **cómo implementar la agricultura de precisión**, donde se explica cuáles son las técnicas e instrumentos más eficientes para aplicar este tipo de agricultura, y; (3) **qué se puede conseguir con la agricultura de precisión**, donde se exponen los resultados fruto de la experimentación de estas técnicas en diferentes explotaciones agrarias del Valle del Guadalquivir.

Los desarrollos tecnológicos que se han aplicado históricamente a la agricultura han implicado un aumento progresivo de su eficiencia y productividad. El proyecto CAPE es una iniciativa cooperativa que busca coordinar esfuerzos para lograr una mejora en la explotación de las parcelas agrarias del Valle del Guadalquivir. Esta mejora implica un aumento en la



rentabilidad económica de las explotaciones agrarias y al mismo tiempo un paso hacia una agricultura más sostenible.

Pero más allá de esto CAPE implica la demostración de la fuerza de la cooperación como instrumento para el desarrollo local. Una cooperación llevada a cabo entre las diferentes estructuras que operan sobre el medio rural sevillano: los Grupos de Desarrollo Rural –a través de quienes actúan la Administración andaluza y europea–, las instituciones del conocimiento a través de la Universidad de Sevilla, y los/las agentes locales a través de las empresas y asociaciones agrarias. Proyectos como CAPE sientan un precedente en el desarrollo territorial articulado sobre la medida Medida 421 del Plan de Actuación Global “LiderA” que financia el Fondo Europeo FEADER y la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía.

CAPE surge en base a una identificación común de las necesidades en el sector agrícola del territorio, gracias a un contacto inicial entre el **GDR Campiña-Alcores**, el equipo de científicos de la Universidad de Sevilla dirigido por Manuel Pérez-Ruiz, del Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de

Fluidos, del Área de Ingeniería Agroforestal, de la E.T.S.I.A. y empresas de servicios agrícolas locales. Juntos detectaron determinadas necesidades de las empresas agrícolas del Valle del Guadalquivir que podrían ser cubiertas mediante el empleo de Agricultura Inteligente. Poco a poco otras parcelas de estudio se fueron incorporando a CAPE, fruto de la iniciativa de los **GDR Aljarafe-Doñana, Serranía Suroeste, Bajo Guadalquivir y Gran Vega** de complementar el proyecto CAPE, fraguando el verdadero proyecto de Cooperación. Las diferentes experiencias y tipología de parcelas sobre las que ahora se actuaban enriquecían el proyecto y aseguraban exigencias metodológicas de aplicar Agricultura de Precisión en los diferentes agroecosistemas que podemos encontrar en el Valle del Guadalquivir.

El esfuerzo de coordinación del GDR Campiña-Alcores con el resto de grupos y entidades agrarias ha permitido que CAPE incorpore además un aspecto fundamental en los proyectos de desarrollo rural como es la comunicación horizontal.

Una comunicación que en CAPE se ha puesto en práctica a través de una identidad visual moderna y limpia, y unas directrices de un plan de comunicación estratégica elaborado y consensuado por los todos los Grupos, plasmado en una presencia constante en las redes sociales y diversos audiovisuales difundidos en la red, así como material impreso como folletos, enaras o carteles, y el propio manual de buenas prácticas que el lector ahora tiene en sus manos. Todo esto ha permitido potenciar las posibilidades de un proyecto como CAPE hasta niveles muy satisfactorios.

Misión, visión y valores

Misión

El proyecto CAPE tiene como objetivo **favorecer el desarrollo territorial impulsando uno de sus sectores estratégicos como es la agricultura**. Gracias a la investigación aplicada en Agricultura de Precisión, CAPE trae a nuestro territorio las últimas posibilidades tecnológicas y las pone a disposición de los/ las agentes locales del sector agrario, mientras que se sensibiliza a la ciudadanía sobre los beneficios de esta agricultura.

Visión

El proyecto CAPE **pretende ser un referente en la innovación del sector agrícola en el territorio**, sentando las bases para el desarrollo de una agricultura más eficiente y competitiva. Los/las agricultores/as y empresas agrícolas podrán tener mejor acceso a las tecnologías aplicadas en el sector y mayor conocimiento del contexto en el que tienen que tomar decisiones. Esto permitirá desarrollar una agricultura más sostenible y seguir conservando nuestro entorno.

Del mismo modo CAPE desarrolla todo el potencial de la actividad investigadora en el territorio, estableciendo un marco de relación y colaboración entre la comunidad científica, las empresas y otras entidades involucradas en la producción y transferencia de conocimiento, de manera que la sociedad local se beneficie de las capacidades y los resultados de la investigación.

Valores

El proyecto CAPE se sustenta sobre los valores de la **innovación** como herramienta para mejorar la calidad de vida de las personas; de la **eficiencia** como medio para ser más competitivo, y; de la **sostenibilidad** como enfoque para hacer que los campos sean un medio de vida rentable y digno para los agricultores y agricultoras de nuestra tierra.

CAPE es un ejemplo de cómo los proyectos impulsados por entidades de desarrollo local pueden estar impregnados sostenibilidad medioambiental, socioeconómica y tecnológica.

Objetivos de este documento de introducción a la Agricultura de Precisión

En consonancia con los valores del proyecto y con el objetivo de cubrir las necesidades del sector detectadas por los investigadores implicados en el desarrollo de esta iniciativa, surge la idea de este libro.

El **libro de Buenas Prácticas de CAPE** es fruto del encuentro de ideas producido entre los investigadores de la Universidad de Sevilla, los Grupos de Desarrollo Rural implicados en el proyecto y las empresas y asociaciones agrarias interesados en las tecnologías y las prácticas en las que se centrará este libro.

Los objetivos fundamentales que desea alcanzar esta obra son:

1 Servir de documento informativo sobre el proyecto CAPE.

2 Explicar a los/las agentes locales del territorio del Valle del Guadalquivir, especialmente a las empresas agrarias, las técnicas implementadas en Agricultura de Precisión para la mayor eficiencia de las explotaciones agrarias.

3 Dar a conocer los beneficios de la Agricultura de Precisión frente a la Agricultura Convencional.

4 Concienciar a la sociedad civil y las empresas agrarias sobre la importancia de un desarrollo sostenible del medio rural sevillano.

5 Generar sinergias entre las empresas locales, las asociaciones agrarias, la Universidad de Sevilla y los Grupos de Desarrollo Rural para que esta nueva forma de hacer agricultura quede accesible al sector agrícola del valle del Guadalquivir.



02

**POR QUÉ IMPLEMENTAR
AGRICULTURA DE PRECISIÓN
EN NUESTROS CULTIVOS.**

La Agricultura inteligente es aquella que aprovecha el potencial tecnológico actual para disminuir el esfuerzo del agricultor, consiguiendo aumentar la productividad y reducir el impacto. La denominación de inteligente le viene de su capacidad para entender las necesidades de los suelos y cultivos, desarrollándose en un contexto de mayor información con respecto a otras agriculturas, lo que la posiciona de manera favorable y estratégica en lo que a toma de decisiones se refiere. Como toda forma de agricultura, tiene incidencia sobre nuestro entorno, pero gracias a este contexto “inteligente” es capaz de mitigar los efectos no deseados sobre el medio ambiente.



El proyecto CAPE, financiado por los fondos **FEADER** de cooperación articulado a través de cinco Grupos de Desarrollo Rural sevillanos, supone un gran avance hacia la implementación de una Agricultura de Precisión en el Valle del Guadalquivir, que incida directamente sobre estos dos aspectos: competitividad y sostenibilidad. Apuesta por diferentes estrategias para hacer más rentables y eficientes las empresas agrícolas, teniendo un mayor conocimiento sobre el estado de los cultivos y los suelos, y planta cara a gran parte de las externalidades de la agricultura gracias a la reducción de inputs, controlando el empleo de productos contaminantes.

El objetivo de este proyecto, y por tanto el de este documento, está encaminado a favorecer el crecimiento y la competitividad de cultivos de una importancia significativa -por su número de hectáreas y valor- en Andalucía, como son el trigo, el girasol, el maíz, la remolacha azucarera, y el olivar, entre otros.

Los **cambios tecnológicos** se han acelerado en este comienzo de siglo y ello está permitiendo la reinvencción del sector agrícola, o cuanto menos la implementación en nuestra región de técnicas novedosas que ya están funcionando en otros lugares.

Esta es una de las principales aspiraciones de CAPE, poner a punto esta tecnología en el medio rural sevillano, y favorecer la transferencia del conocimiento, ya madurados en el sistema universitario, sobre estos nuevos avances tecnológicos en el sector agrícola, en materia de estrategias y prácticas apropiadas para conseguir en un corto periodo de tiempo una Agricultura

de Precisión más sostenible y respetuosa con el medio ambiente en el Valle del Guadalquivir. Se trata de un diálogo entre el conocimiento experto universitario y el conocimiento práctico de las empresas agrícolas, buscando que las investigaciones desarrolladas en el ámbito científico sean útiles para todos aquellos que trabajan en este sector.

En definitiva, es una apuesta por un conocimiento aplicado, útil y comprometido con los agricultores, la sociedad y el medio ambiente.

Lo que nos ha permitido conocer y centrarnos en las debilidades del sector en esta materia han sido las conversaciones previas con empresas agrícolas y asociaciones de agricultores, así como la información extraída de foros del sector, y reuniones de la coordinación técnica, sobre la forma de cómo acometer el manejo localizado de las explotaciones. El gran reto que todas las partes integradas en el proceso deben de asumir es mejorar la competitividad del sector agrícola en la esfera Europea.

Por ello, el proyecto CAPE se funda en la **cooperación** y el **diálogo** entre los agentes sociales implicados en los procesos agrícolas, favoreciendo esto el entendimiento y una mejora de las herramientas necesarias para el desarrollo agrícola en el territorio. Se favorece también una **toma de conciencia** de la importancia del medio ambiente donde esta agricultura se desenvuelve, un medio ambiente que no sólo provee de servicios de abastecimiento, sino muchos otros, que también han de ser tenidos en cuenta.

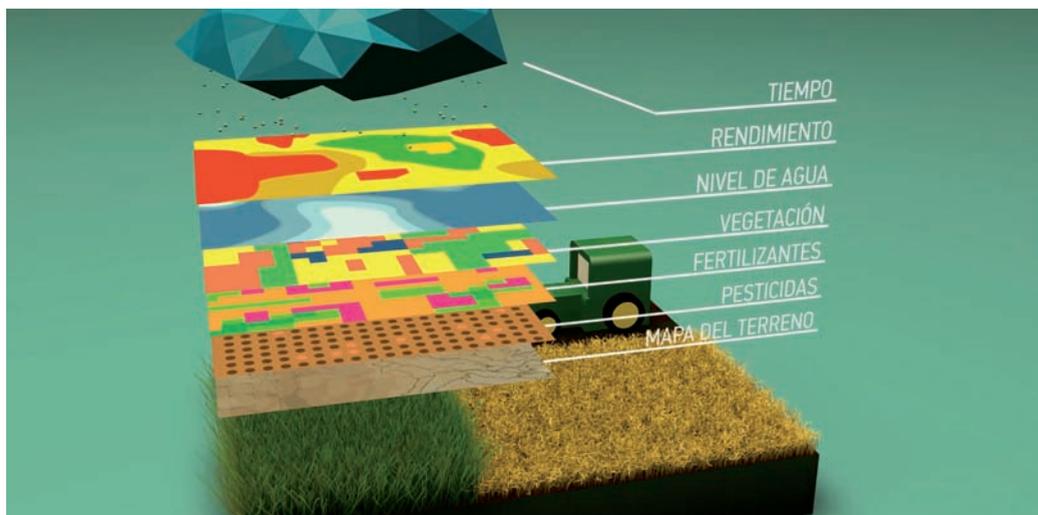


Figura 1. La agricultura de precisión permite al agricultor disponer de más información para tomar mejores decisiones

En este sentido, cabe mencionar que el sector viene comunicando una demanda tecnológica en términos de innovación para el correcto manejo de la aplicación de nitrógeno, según viene exigiéndose desde esferas europeas. Cada vez es más necesario tener un mayor control sobre la cantidad de nitrógeno aplicado, optimizando su distribución y dirigiéndola específicamente a zonas con necesidad, de una manera correcta, eficaz y a tiempo.

Tal es el imperativo actual que la Normativa Europea vigente destaca como elementos clave “el fomento del bajo consumo (reducción de las aplicaciones) y la utilización de dosis adecuadas en función de las necesidades”. Ambos componentes están incluidos en el fundamento agronómico de la Agricultura de Precisión, concretamente en la tecnología basada en aplicaciones de abonado variable (*Precision Nutrients Management*) cuyo objetivo principal consiste en adaptar la dosis según necesidades de las áreas en la parcela.

LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Para entender los objetivos de CAPE es necesario hablar de la Agricultura de Precisión. ¿Qué es? ¿Cómo beneficia al sector agrario?

La Agricultura de Precisión es como se denomina a aquella práctica agrícola centrada en la obtención de información detallada que permita adoptar soluciones adecuadas a cada cuestión particular. Sus beneficios son muy amplios, pero principalmente hay que subrayar tres: mejora del rendimiento de las cosechas, optimización de los recursos disponibles y reducción de los riesgos medioambientales.

Algunos aspectos de la Agricultura de Precisión que ayudan a mejorar los elementos comentados son:

- 1 **Monitorización de las propiedades físico-químicas del suelo y planta:** con la colocación de sensores (conductividad eléctrica, temperatura, radiación, humedad) y la información obtenida se pueden conseguir condiciones más óptimas para el desarrollo de las plantas.
- 2 **Obtención de información en tiempo real:** el uso de información en tiempo real garantiza conocer de forma rápida y veraz los aspectos de campo y de la planta elegidos en todo momento.
- 3 **Automatizar la gestión:** la incorporación de modelos de ayuda a la toma de decisiones en el entorno de la Agricultura de Precisión permitirá la optimización automática de la decisión. Por ejemplo, el mejor momento para regar o la necesidad de fertilizar puntualmente.
- 4 **Ahorrar tiempos y costes:** la información diaria procedente de sensores y/o vehículos puede ser transmitida y almacenada de forma muy eficiente con el uso de las nuevas tecnologías.
- 5 **Mejorar la imagen del agricultor/a o empresa agrícola:** el uso de la agricultura de precisión, puede incrementar el rendimiento, pero también puede fortalecer la percepción de la sociedad en general y de la Administración hacia la actividad agrícola.

Este proyecto parte de un análisis de las **necesidades** de los potenciales usuarios de

esta maquinaria, de manera que su conocimiento ha sido incorporado al proceso de estudio y desarrollo de la técnica.

Como resulta evidente este proyecto va dirigido a agricultores/as de muy diverso tipo, pero es imprescindible subrayar que CAPE se compromete a incorporar las bases necesarias (tecnológicas y de conocimiento) para que Jóvenes Agricultores, más vinculados con las nuevas tecnologías y la informática, puedan conocer y actuar de forma más óptima en sus explotaciones con el beneficio que esto supone para toda la sociedad.



2.1 PROPUESTA DE VALOR

El proyecto CAPE se construye desde el reconocimiento de la importancia de la actividad agrícola para la sociedad y los ecosistemas de los cuales esta se beneficia. En esta línea, es necesario reconocer cuales son los valores que sirven como motor de este plan. Principalmente, CAPE aborda tres aspectos centrales vinculados a cualquier actividad agraria: la economía vinculada a esta actividad, el medioambiente y la cooperación y el desarrollo territorial. En este apartado vamos a detenernos en analizar qué propuestas de valor abandera el proyecto CAPE en estos ámbitos.



ECONÓMICO

El buen rendimiento económico de las estrategias agrícolas es un aspecto central, ya que, obviamente, de ello depende el interés del sector agrario por ellas. La rentabilidad de una plantación debe de contemplarse no solo a corto plazo, sino también a medio-largo plazo, pues de otra forma, es posible que en pocos años la plantación sobreexplotada agote su capacidad productiva y provoque grandes pérdidas para sus dueños.

La Agricultura de Precisión busca la optimización de los cultivos, contemplando su rentabilidad a corto, medio y largo plazo, y buscando un equilibrio adecuado que

fomente el desarrollo económico individual, colectivo y social. Por todo ello, el proyecto CAPE se centra en el desarrollo e innovación de técnicas basadas en los principios de la Agricultura de Precisión.

En el ámbito de la valoración económica de estas técnicas sirva como ejemplo el de la Comunidad Autónoma de Andalucía, que representa el 62% en superficie (197.826 ha) y más del 80% de la producción nacional de trigo duro con un rendimiento medio de 3,11 t/ha [1]. Tomando datos medios de aplicación de abonado nitrogenado del municipio de Carmona, 120 unidades de nitrógeno/ha y campaña, un coste de 8-9 €/ha la aplicación por empresa de servicio (2 pases) y un coste de 110 €/t de urea al 46% de nitrógeno, podemos llegar a obtener 46,5 €/ha de coste por campaña (abono+aplicación).

Utilizando técnicas de Agricultura de Precisión y aplicando de forma variable el abono con el equipo apropiado, poniendo las unidades necesarias en zonas con buenos rendimientos y reduciendo las unidades en zonas con bajos rendimientos (este menor rendimiento puede estar debido a limitaciones del suelo y no a fertilización nitrogenada), se puede ahorrar hasta un 20% de insumos. En este supuesto el coste sería de 37,2 €/ha por campaña para obtener un mismo rendimiento al final de la campaña. Andalucía ahorraría en torno a 1,8 M€ utilizando las técnicas de Agricultura de Precisión para la operación de abonado nitrogenado.

En general, las técnicas de aplicación variable, núcleo central de la Agricultura de Precisión, son muy aceptadas por el sector agrario, pero es cierto que existe una incertidumbre en torno a la ventaja relativa en determinados cultivos y situaciones estacionales, siendo esto un obstá-

Ahorro andaluz utilizando Agricultura de Precisión para la operación de abono nitrogenado

1,8 Mill./€

Ahorro de insumos

-20%

culo. Desde CAPE, se propone, para la superación de estas limitaciones, realizar ensayos en la propia explotación y con el apoyo de personal técnico que ayude con su conocimiento a diagnosticar la variabilidad con precisión. Esto debería reducir la incertidumbre y dar una respuesta en la dirección apropiada. Basándonos en datos recogidos en los últimos años y en recientes trabajos de investigación comenzados por los autores, no se ve ninguna razón por la que este tipo de aplicación no continúe con la buena tasa de crecimiento que ha tenido en los últimos años.

No solo existen argumentos empíricos como los demostrados por CAPE, sino también factores reales externos al sistema agrario, como son: (1) aumento progresivo del coste en los insumos utilizado en el sector agrícola; (2) una mayor conciencia social y apreciación de las ventajas agromónicas, ecológicas y económicas de la técnica de aplicación variable; (3) mayor disponibilidad y asequibilidad de los equipos necesarios, y; (4) alto grado de conocimiento y valoración de esta tecnología por parte del sector agrícola, aunque aún no la haya adoptado.



MEDIOAMBIENTAL

En la actividad agrícola el entorno medioambiental es central ya que su actividad se basa en la manipulación de los sistemas biológicos para la obtención de recursos alimentarios necesarios para la vida humana. Pero debemos entender que los ecosistemas se caracterizan porque todos los elementos que lo componen (componentes físico-químicos, bacterias, plantas, animales, seres humanos) están interrelacionados; todos dependen unos de otros. Por ello, es imprescindible que seamos conscientes del impacto de nuestras actividades en el medio.

Así lo reconocen las normativas europeas, nacionales y autonómicas, que han ido aumentando la regulación de la actuación humana en el medio para mejorar el equilibrio de los ecosistemas.

Cuidar nuestra actuación en el medio y conocer sus consecuencias redundará en beneficio para todos y todas, pues eso aumenta la rentabilidad a largo plazo de los suelos y ecosistemas, mejorando nuestra calidad de vida y asegurando la disponibilidad de recursos.

Los problemas a los que nos enfrentamos constantemente en este ámbito pueden clasificarse en dos grandes ramas: la **contaminación del suelo** y la **destrucción de la biodiversidad**.

La primera viene dada por la contaminación de aguas debida a los nitratos. Como ya sabemos, el nitrógeno es uno de los principales contaminantes de las aguas subterráneas. Es conocido que las plantas aprovechan únicamente un 50% del nitrógeno aportado en el abonado, lo que supone que el exceso de nitrógeno se pierde. Este nitrógeno es generalmente lavado del suelo por el agua, que después se filtra al subsuelo y es arrastrado hacia los acuíferos, ríos y embalses, contaminando, por tanto, las aguas destinadas a consumo humano. Es decir, la calidad de las aguas subterráneas de las que los núcleos urbanos se abastecen se ve entonces amenazada por la actividad agraria. No sólo el abonado de suelos interviene aquí, sino también la concentración del ganado en pequeñas superficies de terreno o la eliminación de residuos ganaderos, algo que se remonta al último cuarto del siglo XIX.

Resulta incuestionable el enorme beneficio que sobre la productividad de las explotaciones han supuesto el uso de fertilizantes inorgánicos, plaguicidas sintéticos, el aumento de la mecanización y regadíos, entre otros, pero es imprescindible hacer patente la necesidad de armonizar el progreso con la preservación del medio ambiente, al recaer los efectos más negativos del desarrollo sobre este último.

En diversos estudios realizados en España se muestra que la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos afecta a grandes zonas. Las áreas más contaminadas

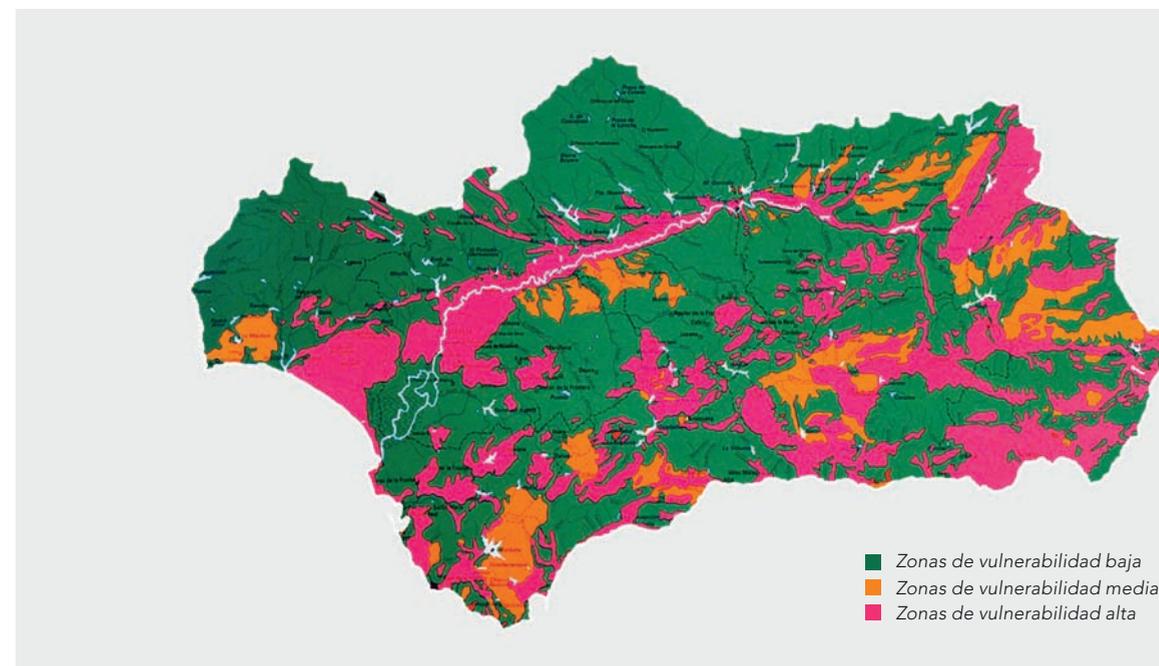
son, en muchos casos, aquellas en las que se practica una agricultura intensiva, con altos aportes de fertilizantes y riego.

En muchas zonas, la concentración de nitratos en las aguas subterráneas supera en bastantes casos el límite de 50 mg/l establecido por la CE (*Directiva 2006/118/CE*). Esta situación es debida, principalmente, a las elevadas dosis de fertilizantes nitrogenados empleados, muy superiores a las necesidades de los cultivos. En el ámbito de la valoración ambiental, la Agricultura de Precisión favorece que las explotaciones agrarias se adapten al cumplimiento de la Orden 36/2008, de 18 de Nov., por el que se aprueba el programa de actuación aplicable en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrario en Andalucía y sus modificaciones (**Fig. 2**).

“Existe una gran motivación agroambiental y de salud para que la dispensación de abonado nitrogenado que requieren los cultivos se efectúen únicamente sobre las zonas deficitarias de manera correcta, eficaz y a tiempo. La contaminación por nitratos de las aguas continentales y litorales es uno de los fenómenos de mayor importancia de cuantos afectan a la calidad de las aguas naturales.

—Real Decreto 261/1996, de 16 de Febrero.

Figura 2. Mapa de vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación en Andalucía.



El segundo gran problema actual de la agricultura es la **destrucción de la biodiversidad**. Los fitosanitarios o plaguicidas suelen retenerse en las aguas superficiales, y aunque su contaminación de acuíferos no es tan alta como la de los derivados nitrogenados, sí afecta gravemente a la biodiversidad del lugar, poniendo en peligro tanto a la fauna silvestre como a las personas. Además, si se da la circunstancia de que alcancen a las aguas subterráneas, los procesos de degradación y retención de los contaminantes se ralentizan notablemente y los efectos pueden ser muy graves. Entre los plaguicidas, los más problemáticos son los insecticidas organoclorados y organofosforados, y los herbicidas del grupo de las triazinas (atrazina, desmetrina, simazina, terbutrina).

“ En este contexto, siguiendo los principios y objetivos de la política de medio ambiente de la Comunidad Europea de prevención, reducción y eliminación de la contaminación para garantizar la gestión prudente de los recursos naturales, se aprueba por el Consejo el 12 de diciembre de 1991 la Directiva 676 relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura (Directiva 91/676/CEE). La Directiva se transpuso, con una importante demora, al ordenamiento jurídico español mediante RD 261/1996 de 16 de febrero (Real Decreto 261/1996). El cumplimiento de la Directiva en España ha presentado y sigue presentando numerosos problemas tanto de tipo jurídico como técnico, quedando mucho por hacer tanto para el cumplimiento de las obligaciones que impone la norma, como para difundir entre los distintos sectores implicados la necesidad de protección y recuperación de las aguas subterráneas.

Frente a estos problemas medioambientales, el proyecto CAPE apuesta por la Agricul-



tura de Precisión, como marco estratégico para adaptarse a las normativas vigentes y fomentar la sostenibilidad ambiental y económica.

Como demuestran muchas investigaciones, la agricultura respetuosa con su medio resulta más productiva a medio y largo plazo, ya que permite mantener la regularidad y el equilibrio de los ecosistemas, lo que aumenta su rentabilidad, calidad y capacidad de explotación en el tiempo.

En esta línea, las principales actuaciones que pueden realizarse para disminuir la contaminación con nitratos son:

a). Ajustar la dosis de abonos nitrogenados al cultivo, suelo o momento;

cultura **lo más ecológica posible**, es decir buscar un equilibrio basado en el control de plagas y enfermedades a través de la biodiversidad (p.ej: potenciar la presencia de enemigos naturales de las plagas pero inocuas para las plantaciones), favorecer las rotaciones de cultivos o seleccionar variedades tradicionales locales, evolutivamente adaptadas a la zona y sus necesidades. También puede ser muy útil, la elección de la variedad, de la fecha de siembra y de la densidad del cultivo que pueden ser factores determinantes en la aparición o no de problemas sanitarios.

La innovación de CAPE en este ámbito reside en que proporciona herramientas que facilitan el desarrollo de una Agricultura de Precisión. Además busca **informar, divulgar y concienciar** al sector agrícola y ganadero, sobre la necesidad de la puesta en práctica de los códigos de buenas prácticas agrarias, como una de las tareas que prioritariamente se deben emprender, para alcanzar un objetivo final que debe ser común a todos los sectores: conseguir una agricultura sostenible. Así mismo, anima a los agricultores y agricultoras a utilizar la información como herramienta para conocer nuestras producciones, nuestro entorno y sus capacidades.

Por último, debemos insistir en la oportunidad de colaboración entre los distintos organismos implicados que supone CAPE, superando los posibles problemas competenciales que se presenten, favoreciendo las vías de comunicación entre los distintos interlocutores, lo que supondrá un notable avance para la consecución de beneficios comunes como el buen estado de los ecosistemas.

- b). Tener en cuenta otros aportes de nitrógeno alternativos;
- c). Fraccionar más el abonado cuanto más arenoso sea el suelo;
- d). Mantener el suelo con vegetación, y;
- e). Evitar riegos excesivos, como ocurre con algunos sistemas de riego tradicionales (como riego a manta o por surcos), ajustando la pendiente del terreno a la longitud de las tablas de riego y a la velocidad de infiltración del agua, o acudiendo a sistemas de riego localizado (exudación, microaspersión o goteo).

Para evitar la contaminación por fitosanitarios se recomienda la práctica de una agri-



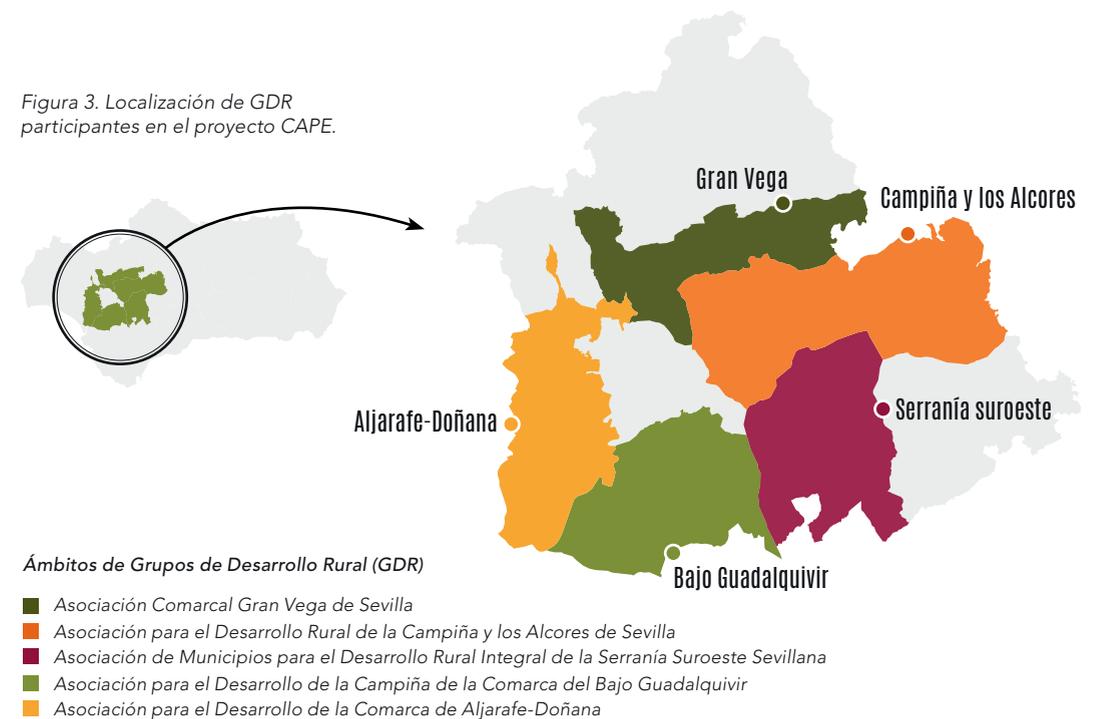
COOPERACIÓN Y DESARROLLO TERRITORIAL

Como hablamos al principio, la piedra angular del proyecto CAPE es la cooperación como instrumento para el desarrollo territorial. Por definición CAPE es un proyecto colaborativo, que busca coordinar estratégicamente unas líneas comunes, el conocimiento científico de la Agricultura de

Precisión, para un desarrollo territorial más rentable para el sector agrario, y más sostenible y respetuoso con el medioambiente. El cometido de este proyecto colaborativo es poner sobre la mesa las herramientas necesarias, y maduras en el ámbito de la investigación, para que tanto administración como el sector agrario puedan ponerlas en práctica y diseñar nuevas estrategias de manejo de los cultivos.

La principal característica de la cooperación es que permite aunar las fuerzas de todos los agentes clave interesados, en una estrategia de conocimiento multidisciplinar y multiexperiencial que ofrece soluciones de igual índole multivariable, para enfrentarnos a los retos del mercado en todas sus dimensiones, consiguiendo ampliar los beneficios de los agricultores y la ciudadanía.

Figura 3. Localización de GDR participantes en el proyecto CAPE.



La actividad colectiva supone una organización creativa, integrada y participativa, algo que mejora las maneras de enfrentar los problemas económicos, ecológicos y sociales. La unión de asociaciones y productores agrarios, Grupos de Desarrollo Rural y la Universidad favorece la integración de los conocimientos de productores, personal técnico de los G.D.R. y científicos/as de las universidades, potenciando el sector agrario con enfoque de sostenibilidad. Además, si todo esto está guiado por una visión común del desarrollo territorial y una puesta en escena de una consciencia compartida de sus posibilidades, limitaciones y potencialidades, el resultado no solo es más óptimo, sino que presenta mejores indicadores de calidad y respeto con el medio ambiente.

Todas estas estructuras territoriales trabajando de manera coordinada sobre los

Extensión de la zona que podría cubrirse contando con todos los socios

1 Mill. ha.

problemas del medio rural sevillano tienen el potencial de encontrar más creativas y eficaces soluciones a estos problemas. Contando con este elenco de entidades asociadas se podrán cubrir zonas que representan a diferentes cultivos y que abarcan un total casi 1 millón de ha, llegando a ser una cuarta parte de las tierras de cultivo de Andalucía.



03

CÓMO IMPLEMENTAR LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta el agricultor/a es la gestión de la falta de uniformidad en la finca. Esto es, las características del suelo y las cualidades de los cultivos no son las mismas en una explotación, sino que varían según muchos factores. Hay partes de suelo con más humedad, más nutrientes, o partes donde la siembra ha sido más efectiva, por ejemplo.

3.1 GESTIÓN DE LA VARIABILIDAD INTRAPARCELARIA



Desde muy antiguo se conoce que la cantidad de cosecha recogida en una parcela agrícola no es uniforme, a pesar de haber realizado todas las operaciones de cultivo como el laboreo, la siembra, el abonado o el riego de forma homogénea. Diversos factores influyen en esto, como las propiedades físico-químicas de los suelos, la existencia de microclimas o la presencia de agentes patógenos, entre otros. Estas circunstancias afectan de manera selectiva y con distintos grados de intensidad en zonas concretas, dando lugar a lo que se conoce como **variabilidad intra-parcelaria**.

Tradicionalmente, la forma original de gestionar esta variabilidad fue la división de la explotación en parcelas de características homogéneas, teniendo en cuenta la experiencia e intuición conseguidas a lo largo de los años. Pero con la llegada de la mecanización, la subdivisión en parcelas,

muchas veces demasiado numerosas y de tamaño reducido, deja de ser eficiente por la cantidad de tiempos muertos que se generan.

Debido a esto en la Agricultura Convencional se ha dado prioridad a que las unidades de cultivo sean lo más extensas posible, quedando la variabilidad intraparcelsaria como algo secundario, imposible de tener en cuenta. En esta situación, las máquinas empleadas en la aplicación de los distintos productos necesarios en las operaciones de cultivo son ajustadas para aplicar una dosis constante y homogénea en toda la parcela, calculada en base a un promedio de toda ella.

Con el desarrollo de las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación), y su aplicación en la agricultura se tiene la oportunidad de hacer una gestión variable de la finca.



Cuando en una finca empleamos esta **Tecnología de Distribución Variable**, también llamada **Variable Rate Technology o VRT** (por sus siglas en inglés), podemos decir que estamos llevando a cabo **Agricultura de Precisión**.

La Agricultura de Precisión y las VRT nos permiten por un lado **diagnosticar** las necesidades de cultivos y suelos en las diferentes zonas de nuestra parcela, y al mismo tiempo, nos permiten hacer **aplicaciones** adaptadas a dichas necesidades. Podemos entonces

conocer la necesidad de riego de un cultivo en diferentes zonas, o aplicar un producto determinado, ya sea fertilizante o herbicida, con diferente intensidad según diferentes zonas de nuestra parcela.

El empleo de VRT en la agricultura implica utilizar diferentes herramientas para diferentes fines. Primero para conocer las necesidades de la finca –obteniendo información precisa sobre los nutrientes en suelo, por ejemplo–, y segundo para aplicar soluciones específicas –aplicar un abonado variable–.

3.2 INSTRUMENTOS BÁSICOS DE LA TECNOLOGÍA DE DISTRIBUCIÓN VARIABLE

01. SENSORES

Los sensores sirven para medir cualidades de nuestros cultivos (temperatura, humedad, color, o volumen de cosecha) permitiendo hacer diagnósticos o ajustar dosis de aplicaciones de producto. En muchos casos son dispositivos ópticos que se montan en las cosechadoras, en máquinas de aplicación o en vehículos teledirigidos.

La manera en que los sensores remotos obtienen la información de nuestros cultivos es analizando el espectro de la luz que reflejan.

En el caso de la **fertilización**, las máquinas abonadoras VRT poseen de 2 a 4 dispositivos ópticos que exploran la luz que refleja la superficie de cultivo alrededor de la máquina, calculando sobre la marcha la dosis óptima a aplicar mediante un modelo que llevan programado, ajustado a las condiciones generales en que se encuentra (**Fig. 4**). Mediante un servomecanismo, el dispositivo de control modifica la configuración del sistema dosificador de la abonadora para adaptarlo a la dosis calculada en cada momento.



Figura 4. Abonado nitrogenado con máquina VRT basada en sensor óptico (Cortesía de Fritzmeier Umwelttechnik)



Figura 5. Aplicación selectiva de herbicida mediante sensores ópticos que detectan las malas hierbas (Weed Seeker de Trimble).

En la aplicación de **herbicidas**, los sensores ópticos permiten discriminar las malas hierbas del suelo desnudo, lo que posibilita comandar una electroválvula que hace pulverizar el caldo sólo cuando es necesario (**Fig. 5**). Con ello se evitan los tratamientos masivos con el consiguiente ahorro económico y la reducción del impacto ambiental.

Además del análisis espectral en que se basan los sensores ópticos, existen ensayos a nivel experimental con resultados prometedores que combinan dicha técnica con el empleo de cámaras y análisis de imagen (visión artificial). De esta forma, además es posible discriminar las malas hierbas de las plantas cultivadas, lo que sería de gran utilidad en tratamientos herbicidas en la línea de cultivo una vez éste se ha establecido.



02. GNSS

Los Sistema de Navegación Global por Satélite o GNSS (por sus siglas en inglés) son localizadores que se incorporan en la maquinaria agrícola, de manera que informan de su posición exacta en cada momento. Sirven además para leer correctamente los mapas, o para indicar la velocidad real a la que se mueve un vehículo.

La velocidad del vehículo, por ejemplo, sirve para ajustar el caudal de salida de producto según la marcha del tractor, de modo que la

dosis aplicada al suelo se mantenga constante. Con esto se consigue mayor precisión y un ahorro de costes.

La información sobre la posición del vehículo ayuda corregir los solapes y huecos que pueden ocurrir cuando sembrando, por ejemplo, no se hacen bien las pasadas contiguas. Gracias a los dispositivos de ayuda al guiado, que se exponen más adelante, se pueden corregir estos problemas.

Tecnología GPS y correcciones diferenciales

Identificar de manera precisa la posición de la maquinaria trabajando en el campo (latitud, longitud, altitud, etc.) se puede conseguir gracias a la aparición del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que comenzó en EE.UU. en los años setenta.

Los receptores GPS pueden calcular la distancia a la que se encuentran de cada uno de los satélites en ese momento disponibles sobre el horizonte a partir del retraso con que reciben sus señales respecto al momento en que fueron emitidas.



03. MAPAS

La información de los mapas es cargada en dispositivos que se montan en el tractor o la maquinaria, de manera que se van leyendo para regular la dosis de aplicación de productos. Los mapas más usuales utilizados en Agricultura de Precisión son los mapas de prescripción, que pueden ser mapas de aplicación de abonado o de riego, entre otros.

Para usar estos mapas las máquinas necesitan disponer de receptores GNSS a bordo que indiquen la posición en la que se encuentran. Un mapa de prescripción cargado previamente irá indicando la dosis de aplicación que corresponde a dicho punto.



Mediante estos tres instrumentos (los sensores, los sistemas de navegación global por satélite y los mapas) podemos llevar a cabo tecnologías de diagnóstico que nos ayudan a gestionar la variabilidad intra-parcelaria.

Cuando se utilizan sensores, un conjunto de electroválvulas, servomecanismos y otros instrumentos modifican el sistema dosificador para adaptarlo a la dosis prescrita.

La fertilización y los tratamientos herbicidas son las tareas más frecuentes llevadas a cabo con la técnica VRT basada en mapa pero no están limitadas a ellas.

En la actualidad existe la posibilidad de realizar cualquier operación de cultivo aplicando esta técnica, desde laboreo con profundidad variable, siembra a distintas densidades e incluso riego con dosis adaptada a las necesidades concretas de cada zona de la parcela.

Por ejemplo, hay ensayos de recolección diferenciada basada en mapa, en el caso concreto de la viña. El mapa de prescripción diferencia dos zonas con calidad de uva distinta, confeccionado mediante teledetección con apoyo de medidas directas sobre el cultivo. Aunque la máquina cosechadora trabaja en continuo, el mapa de prescripción indica a cuál de las dos tolvas de las que dispone la cosechadora, debe ir la uva recolectada en cada zona. De esta forma pueden conseguirse mostos que darán origen a vinos de distinta calidad, aún procediendo de la misma parcela.

Cuando utilizamos maquinaria VRT, los equipos de control tienen la posibilidad de grabar en archivos digitales la dosis real aplicada en cada punto constituyendo los llamados "mapas de aplicación", que pueden ser volcados posteriormente a un ordenador para comprobar el correcto ajuste de la aplicación a la prescripción.

3.3

METODOLOGÍA PARA GESTIONAR LA VARIABILIDAD INTRAPARCELARIA

Con los instrumentos vistos anteriormente, los sensores, los GNSS y los mapas, la Agricultura de Precisión dispone de diferentes procedimientos para conocer las necesidades del suelo o los cultivos en una finca:



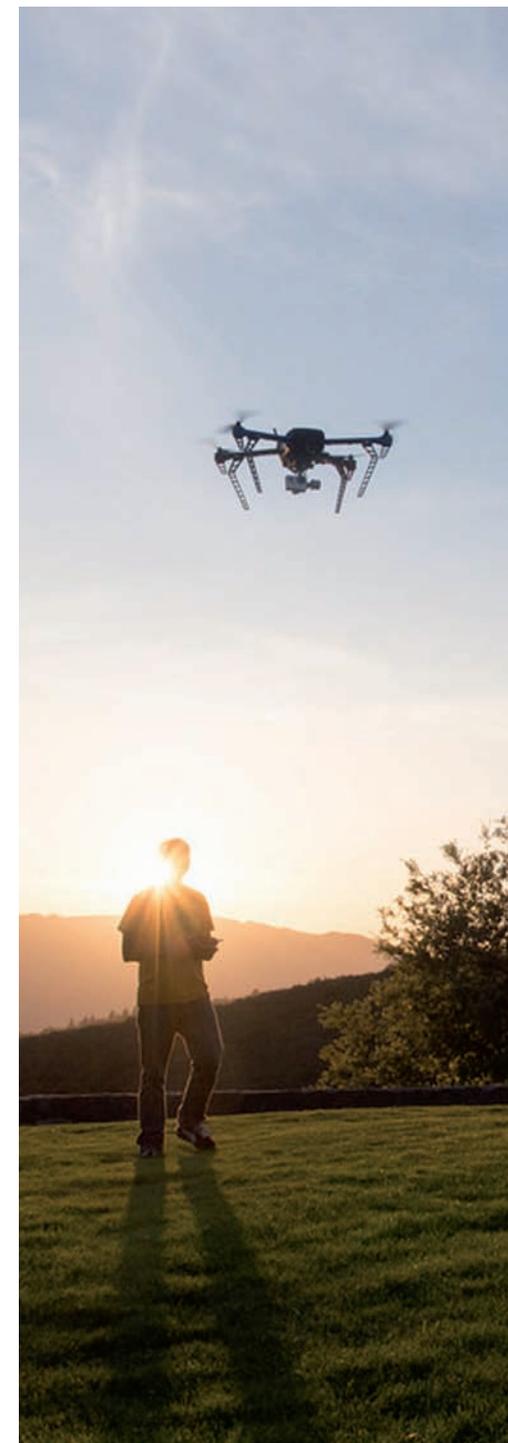
01. TELEDETECCIÓN

Uno de los dispositivos más útiles y eficientes para obtener información espacial de una parcela agrícola es la teledetección, que consiste en utilizar sensores incorporados en vehículos aéreos no tripulados (UAV) también conocidos como drones. De

esta manera se obtiene información aérea sobre localización de malas hierbas, salud de las plantas, humedad o temperatura, entre otros. Con la información producida al volar sobre nuestra finca se elaboran los mapas del estado de suelos y cultivos.

En los últimos años multitud de trabajos de investigación aplicada han demostrado el potencial de las imágenes procedentes de drones para ayudar al diseño de estrategias de control de precisión de malas hierbas en cultivos herbáceos, de enfermedades en olivar, o de riego en viña, contribuyendo a una gestión eficiente y localizada de los cultivos. Poco a poco estos equipos se abren hueco en el sector de los servicios agrícolas, hasta tal punto que el prestigioso Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) considera que los “drones agrícolas” son el principal avance tecnológico del año 2014.

En el año 2014 se aprueba la regulación específica de este sector en España. En cuanto a requisitos y permisos de vuelo, el real Decreto 8/2014 establece que cualquier operación que se realice con este tipo de vehículos debe cumplir una serie de requisitos (piloto, empresa y aeronave) y presentar ante la Agencia Española de Seguridad Aérea (AESA) diferentes documentos con al menos 5 días de antelación a la toma de datos. Para el manejo de estos vehículos, de momento, es necesario un certificado básico o avanzado de piloto de drones, según el alcance del vuelo. Es muy probable que esta regulación sufra modificaciones.



Con la información sobre localización de malas hierbas, salud de las plantas, humedad o temperatura, procedente de la teledetección se pueden producir:

- Mapas con zonas específicas de infestación de mala hierba;
- Mapas del estado nutricional del cultivo (ej., nitrógeno), o;
- Mapas de temperatura para diseñar riego variable según este parámetro.

En el caso de infestación de mala hierba, mediante teledetección del rodal de ésta

se puede hacer una aplicación localizada pudiendo ahorrar más del 50% de la cantidad de herbicida a aplicar.

En algunos trabajos, mediante el uso de drones que llevaban sensores ópticos se ha podido detectar el 90% de los rodales de malas hierbas en una parcela y el estado nutricional (ej. Nitrógeno) en el que se encuentra el cultivo (**Fig. 6**). Una vez obtenida la información la aplicación hay que hacerla de forma rápida ya que el estado del cultivo puede variar si esperamos mucho.

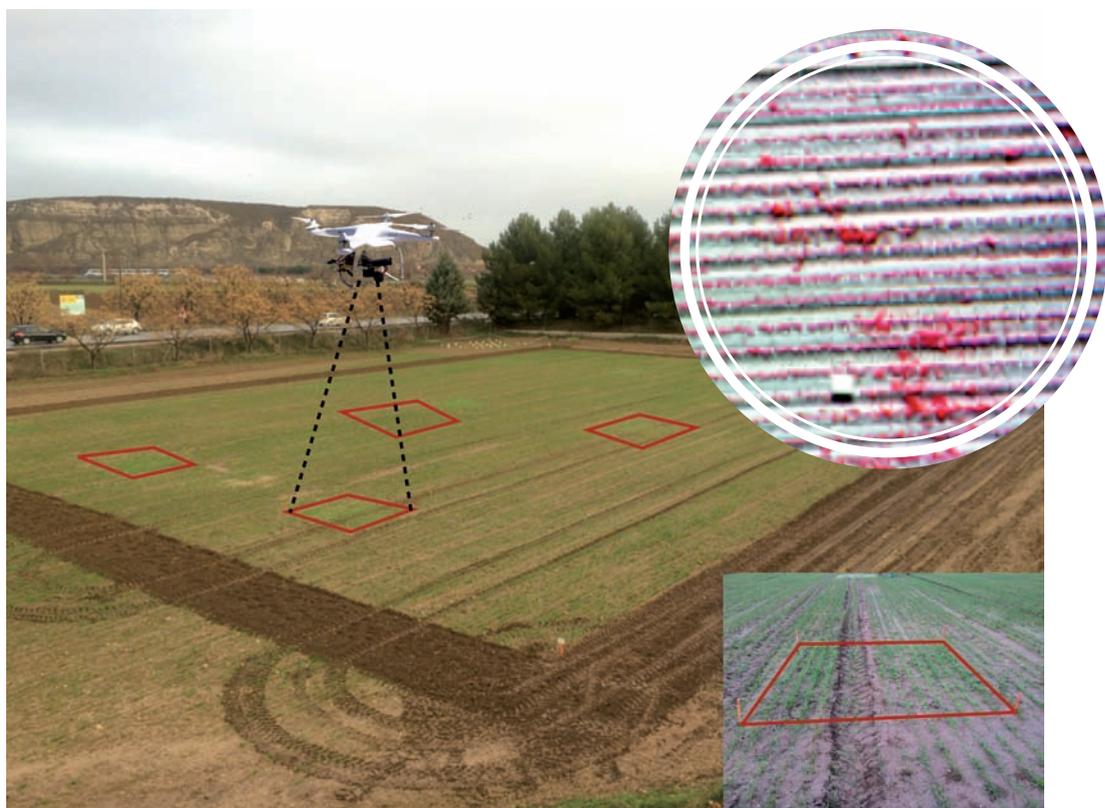


Figura 6. Operativa para la detección de los rodales de mala hierba con UAVs y Generación de mapas de aplicación localizada de herbicida.

Cuando utilizamos teledetección en agricultura es muy importante hacer un diseño del plan de vuelo, definiendo la superficie de terreno, la altura de vuelo, la cámara o sensor utilizado y el solapamiento entre tomas consecutivas. Para ello se utiliza un programa informático que calcula la ruta óptima, el número de imágenes y el tiempo requerido para el vuelo (**Fig. 7**).

El plan de vuelo se carga en el dron y el proceso se hace de manera automática. La ventaja fundamental de esta forma de trabajar es la obtención de mucha información útil en poco tiempo, ayudando a la toma de decisiones agronómicas en base a necesidades reales.



Figura 8. Helicóptero de 3 m de envergadura para aplicaciones de pesticidas (Fuente: UC Davis News).



Figura 7. Programa de control de UAV.

Actualmente se está trabajando en el desarrollo de drones con una mayor autonomía de vuelo y mayor porte para realizar aplicaciones en tiempo real. La Figura 8 muestra el Yamaha RMax, que carga dos depósitos para agroquímicos de 8 litros, uno a cada lado del fuselaje, y 4 boquillas de chorro plano para conseguir aplicaciones muy específicas y en lugares de difícil acceso para otros vehículos en cultivos de gran valor (como el viñedo).

02. MONITORIZACIÓN DEL ESTADO DEL CULTIVO

Con los sensores remotos podemos leer información sobre el color, la humedad o la temperatura de las plantas, pudiendo determinar estados de estrés antes de que se manifiesten visualmente al ojo humano, lo que nos permite actuar anticipadamente.

Además de los sensores que se montan en los aviones o drones, también se pueden instalar en el propio tractor o ser manejados manualmente por un técnico agrícola (Fig. 9).



Figura 9. Sensor óptico de mano para obtención del NDVI a nivel de parcela.

Una combinación de la información óptica obtenida por estos sensores nos permite calcular un **Índice Vegetativo** para el cultivo. Uno de lo más utilizados es el **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)**, que sirve para indicar la cantidad de **Nitrógeno** que posee un cultivo, pudiendo establecer la aplicación variable apropiada a un bajo coste superficial.

03. MONITORIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO

Toda esta información nos sirve para ir creando poco a poco nuestra base de datos de cada parcela agrícola, lo cual resulta fundamental para optimizar la toma de decisiones de una explotación. Cuando además introducimos información sobre el volumen de cosecha producido por un unidad de

superficie, lo que llamamos rendimiento de cultivo, estamos verdaderamente haciendo Agricultura de Precisión.

Para calcular la producción, en las cosechadoras se incorpora un dispositivo que mide y almacena los datos de cosecha por unidad de superficie. La generación de mapas de distribución de cosecha en sucesivas campañas es esencial para la delimitación de zonas de manejo homogéneo dentro de una misma parcela y para establecer las dosis adecuadas de los distintos tratamientos aplicados al cultivo. La comparativa entre un año y otro es el principal instrumento para comprobar que estamos haciendo una gestión eficiente de las parcelas y nos permiten programar el cultivo del año siguiente.



COMPONENTES DE LOS MONITORES DE RENDIMIENTO

El cálculo del volumen de cosecha se puede obtener mediante medidores de flujo volumétricos o gravimétricos.

Los medidores volumétricos hacen el cálculo de dos maneras:

- 1 **Contando el número de veces que un receptáculo de volumen conocido, una vez lleno, vuelca sobre la tolva de la cosechadora.**
- 2 **Midiendo el flujo de cosecha que pasa entre dos sensores colocados a ambos lados de una tolva.** Se mide la proporción de tiempo en que la luz es bloqueada (por la cosecha) al pasar entre un fotoemisor y un fotosensor (Fig. 10).

Los medidores gravimétricos también hacen el cálculo de dos formas:

- 1 **Midiendo la fuerza con que la cosecha impacta sobre una superficie.** Para ello se utilizan unas células de carga que generan una señal eléctrica variable y proporcional a dicha fuerza.
- 2 **Midiendo la interferencia que el flujo de cosecha provoca sobre un rayo de luz producido por dos sensores colocados a ambos lados de una tolva.**

Además de esto, los monitores de rendimiento necesitan información extra como la velocidad de la cosechadora, el ancho de trabajo y la altura respecto al suelo a la que se encuentra el cabezal de corte. Algunos monitores necesitan conocer incluso la velocidad a la que se desplaza el producto dentro de la cosechadora (monitor de algodón) o su contenido de humedad (monitor de grano), lo que se mide mediante sensores capacitivos (Fig. 11).



Figura 10. Fotoemisor y fotosensor integrado en el conducto de canchales para cuantificar el flujo de cosecha.



Figura 11. Sensor de humedad capacitivo

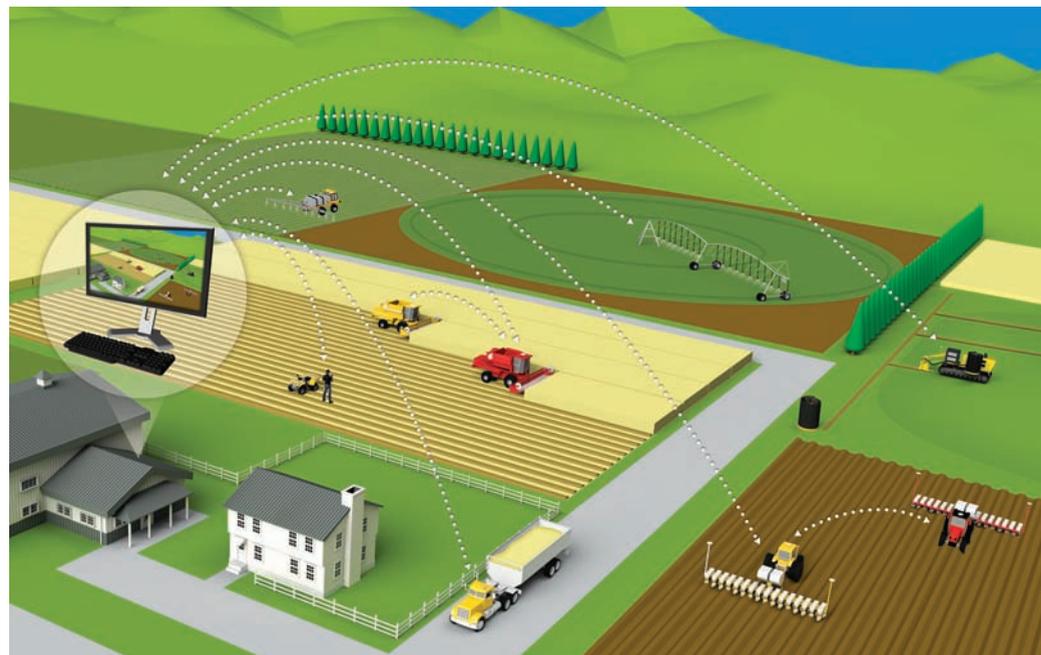


Figura 12. En la parte central de la imagen envió remoto instantáneo de mapas de producción a un servidor (Fuente CNH).

La información referente al rendimiento de cosecha en combinación con otro tipo de información sobre el suelo y el cultivo, reunida de la forma más eficiente posible, son un buen punto de partida para emplear la Agricultura de Precisión.

Mientras que los monitores de rendimiento nos van mostrando en pantalla el volumen de grano cosechado en cada punto de nuestra parcela, esta información va quedando registrada y haciendo uso de una tarjeta de memoria puede posteriormente ser analizada en un ordenador. Pero hay sistemas más avanzados que incluso mandan la información y los mapas a un servidor vía internet, con lo que el técnico puede ver la información al mismo tiempo en su ordenador (Fig. 12).

03. SOFTWARE O PROGRAMAS DE PC PARA MODELOS DE APLICACIÓN

Una vez que tenemos la información en el ordenador hay que procesarla y analizarla, dándole un sentido. Descubrimos así qué nos dicen los datos y podemos tomar las mejores decisiones de manejo.

Para el análisis de estos datos se utilizan programas del tipo Ag GIS (Sistemas de Información Geográfica para Agricultura), que desde un ordenador nos ayudan a interpretar la información. Uno de los resultados más valiosos es la representación de la información en forma de mapas. Estas tecnologías nos ayudan a clasificar la información y generar bases de datos que permitan optimizar la gestión de nuestra finca.

3.4 PROCEDIMIENTOS PARA APLICAR AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Una vez que nos hemos ayudado de los diferentes instrumentos de diagnóstico y seguido sus correspondientes procedimientos, la Agricultura de Precisión procede de diferentes maneras para aplicar la tecnología de distribución variable:



Figura 13. Mapa de CE del suelo en la parcela en estudio. Unidades en dSm-1

01. MAPAS DE PRESCRIPCIÓN

Reuniendo toda la información disponible y teniendo en cuenta los requisitos del cultivo, las preferencias y experiencia del agricultor y cualquier otro dato de interés, se realizan los mapas de prescripción.

Estos mapas de prescripción nos indican necesidades específicas del suelo y las plantas, señalando: la cantidad de fertilizante necesaria, dosis de herbicidas en determinadas zonas, zonas para el laboreo,

kg/ha de semilla a poner en campo o distribución de agua de riego en nuestra parcela.

Dentro de los mapas de prescripción, podemos encontrar los siguientes mapas:

- Mapa de rendimiento
- Mapa de vigor del cultivo
- Mapa de conductividad eléctrica (CE)

02. EQUIPOS DE APLICACIÓN DE ABONADO VARIABLE

Estos equipos interpretan los mapas de prescripción y nos permiten ajustar las dosis de producto por zonas en una misma parcela.

Las técnicas y maquinarias de aplicación permiten a los agricultores y agricultoras ajustar la dosis de abonado por zonas en una misma parcela según los nutrientes que la planta extrae (producción media), o enriquecer el suelo cuando presente baja concentración de uno o varios nutrientes.

Los componentes básicos de un equipo de aplicación son:

- Antena GNSS y Receptor**, que permiten conocer la posición del equipo para ajustar la aplicación según la zona.
- Controlador**. Este dispositivo permiten visualizar e interpretar el mapa de aplicación, registrar la señal GPS, comunicarse con el dispositivo de control de flujo para modificar dosis o registrar la velocidad del vehículo.
- Válvula de regulación de flujo**, que recibe información de manera electrónica para regular la dosis de producto.
- Motor hidráulico**.

Es importante que los controladores incluyan la capacidad de controlar y variar diversos productos al mismo tiempo, que sean con diferentes marcas de maquinaria, tanto en el aspecto mecánico como en el formato de los datos digitales que maneja, que tengan facilidad de interacción, capacidad de grabar y guardar mapas de aplicación de fertilizante y por último, fáciles de adaptar a cualquier modelo de abonadora, tanto para abonos sólidos como para líquidos.

ANTENA GNSS Y RECEPTOR

Durante la aplicación variable de abonado el uso del GPS es imprescindible tanto para conocer la posición actual del equipo, como para ajustar la aplicación en función de la zona de la parcela en la que se encuentre. Las antenas puede estar montadas en el tractor o el equipo de aplicación, o bien en otra ubicación, para lo cual hace falta corregir esta posición en el controlador.

ORDENADOR/CONTROLADOR

Este es el equipo más importante en la aplicación variable de fertilizantes y en la mayoría de las ocasiones es montado en la propia cabina del vehículo agrícola, para facilidad de manejo por parte del conductor.

El controlador realiza varias funciones:

- Visualizar e interpretar** el mapa de aplicación sobre una pantalla.
- Registrar** la señal del GPS para conocer la posición en tiempo real del vehículo.
- Comunicarse** directamente con el dispositivo de control de flujo (líquido/sólido) para modificar las dosis.
- Registrar** la velocidad del vehículo.
- Reconocer** el mapa post-aplicación (Fig. 14).

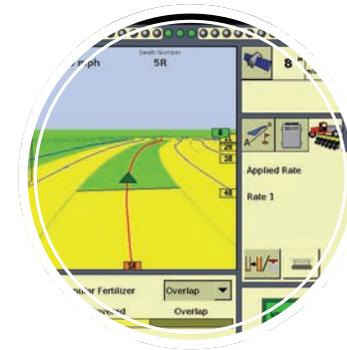


Figura 14. Display con receptor GPS integrado junto al controlador de aplicación variable que permite una mejor eficiencia en el uso de fertilizante (Fuente: TRIMBLE).

VÁLVULA REGULADORA DE FLUJO (APLICACIONES LÍQUIDAS)

La válvula reguladora de caudal es un dispositivo mecánico que, accionado por un sistema electrónico de control, permite o impide el paso de fluido en un circuito hidráulico. En los equipos de aplicación se pueden encontrar dos tipos de electroválvulas: **motorizadas y de solenoide**.

En las motorizadas, un pequeño motor regula el caudal de líquido que pasa. En

las electroválvulas de solenoide, más rápidas que las anteriores, actúan una bobina, un muelle y un vástago metálico que interactúa con el sistema de apertura o cierre de la válvula hidráulica. Por su construcción, generalmente estas electroválvulas funcionan en modo "todo o nada", abriendo o cerrando completamente el circuito, aunque algunos fabricantes ofrecen sistemas de apertura proporcional a la tensión de alimentación de la bobina.

MOTOR HIDRÁULICO O ELÉCTRICO (APLICACIONES SÓLIDAS)

Estos motores permiten controlar el flujo de salida del fertilizante para realizar la dosificación necesaria en campo. Este motor utiliza el dato de velocidad del equipo de aplicación para determinar en tiempo real la velocidad a la que debe girar el motor para aplicar la dosis programada (Fig. 15).

A diferencia de los abonos líquidos, no existen dispositivos para medir el flujo de la masa de abono sólido que se está aplicando, con lo que se pierde información sobre la cantidad realmente aplicada.



Figura 15. Válvula de control de flujo y motor hidráulico de velocidad variable

03. EQUIPOS DE AYUDA AL GUIADO Y GUIADO AUTOMÁTICO

La persona que conduce un tractor o una cosechadora destina la mayor parte de su atención durante el trabajo a mantener la dirección adecuada y hacer las correcciones necesarias para evitar obstáculos puntuales como postes, rocas o árboles.

Tradicionalmente estas operaciones se llevan a cabo mediante pasadas paralelas rectas y a veces curvas, distanciadas según el ancho de trabajo de la máquina empleada y el solape que se estime adecuado.

Pero el vehículo, además de seguir una dirección, debe realizar el trabajo de labrar, sembrar, abonar o cosechar, el cual también debe ser supervisado por el conductor. La atención que esta persona pueda prestar a todos estos factores influirá en el rendimiento y los costes de estas operaciones, y sus repercusiones ambientales.

En los sistemas de guiado aplicados en Agricultura de Precisión, se facilita la

conducción al agricultor/a mediante la instalación de dispositivos en los tractores y cosechadoras. La forma de trabajo de estos equipos no es más que una imitación del procedimiento normal que un conductor/a lleva a cabo: en cada momento compara su situación y trayectoria con las que debería tener y que previamente fueron establecidas mediante unas marcas de referencia, haciendo las correcciones oportunas.

Los sistemas de guiado son de dos tipos:

- Dispositivos de ayuda al guiado, que informan al conductor de posibles desviaciones mediante un sistema de luces, de manera que el conductor pueda corregir manualmente su posición.
- Dispositivos de guiado automático, que asumen el control total de la máquina y el agricultor/a no interviene en la conducción, pudiéndose centrar en otras tareas.

SISTEMA DE AYUDA AL GUIADO

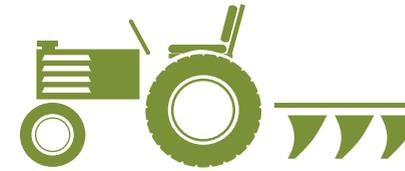
El creciente desarrollo de los receptores GPS ha posibilitado la expansión de estos sistemas y su buena recepción por parte de los agricultores.

Los sistemas más conocidos son la Barra de luces y el sistema Parallel Tracking. Estos sistemas tienen en común la flexibilidad de comunicarse con otros instrumentos de medidas como son monitores de rendimientos o los controladores. (Fig. 16)



Figura 16 Barra de luces Ez-Guide 500

Las dimensiones de estos sistemas hacen que sean muy manejables, pudiéndose montar tanto en el salpicadero como en la parte superior del cristal frontal. Suelen incluir un receptor GPS, una antena, y en algunos casos un microprocesador que registra las pasadas para reproducirlas de un año a otro.



Constan de un monitor que es programado con la distancia entre líneas que se desea mantener, y la línea original de partida. Con estos datos el procesador genera todas las líneas paralelas restantes y compara la situación instantánea del vehículo con la línea más cercana. Una barra horizontal de luces va mostrando el error en la posición de la máquina actual respecto a la línea en que teóricamente debería encontrarse. La luz roja indica posición errónea y a medida que se corrige se vuelve verde. (Fig. 17).



Figura 17. Luces de ayuda al guiado

¿Qué debe hacer el agricultor/a cuando instala un sistema de ayuda al guiado?:

Realizar una primera pasada de referencia para el resto de pasadas, marcando el inicio y el final de la línea con dos puntos A y B.

Introducir la medida del ancho de trabajo junto con otros parámetros básicos de configuración. Después de esto el equipo determina la posición de las siguientes pasadas paralelas en todo el campo de vamos a tratar.

Al final de la pasada, se gira para iniciar la siguiente pasada, indicándose en la barra de luces la distancia de aproximación a la nueva línea que se debe seguir. En todo momento la barra de luces le va indicando el error que existe entre la línea ideal y la que realmente se está realizando, teniendo que subsanar este error el conductor.

GUIADO AUTOMÁTICO

Los equipos de guiado automático pueden funcionar en modo ayuda al guiado o guiado automático, que es cuando despliegan su verdadero potencial.

Constan de un procesador que recibe la información de los sensores, realiza los cálculos y establece las correcciones, una pantalla donde se visualiza la información y se introducen los parámetros de configuración, y un localizador GPS para conocer la ubicación de la máquina.

El procedimiento para establecer la trayectoria que se debe seguir es similar al de los sistemas de ayuda al guiado. Primero se guía manualmente el tractor hasta una posición próxima al inicio de la pasada y una vez ahí se entrega el control al sistema

pulsando la tecla correspondiente. En cualquier momento el/la tractorista puede volver a tomar el control con sólo realizar un movimiento del volante. Una barra de luces o un dibujo sobre la pantalla dan idea en cada momento de la desviación sobre la trayectoria prevista. Al llegar al final del pase, el tractorista debe volver a tomar de nuevo el volante para efectuar la maniobra de aproximación al pase siguiente.

Los sistemas de guiado automático, además de indicar el error relativo, actúan automáticamente sobre la dirección del vehículo sin necesidad de intervención por parte del operario. Existen modelos que intervienen sobre el volante y otros, más precisos y robustos, que intervienen sobre el sistema hidráulico de la dirección.

En nuestro país aún no se utilizan, pero existen tres modelos comercialmente disponibles de guiado automático. AutoFarm, de la división agrícola de IntegriNavics; Autopilot de Trimble, y; AutoTrack de John Deere, todas ellas con representación en España.

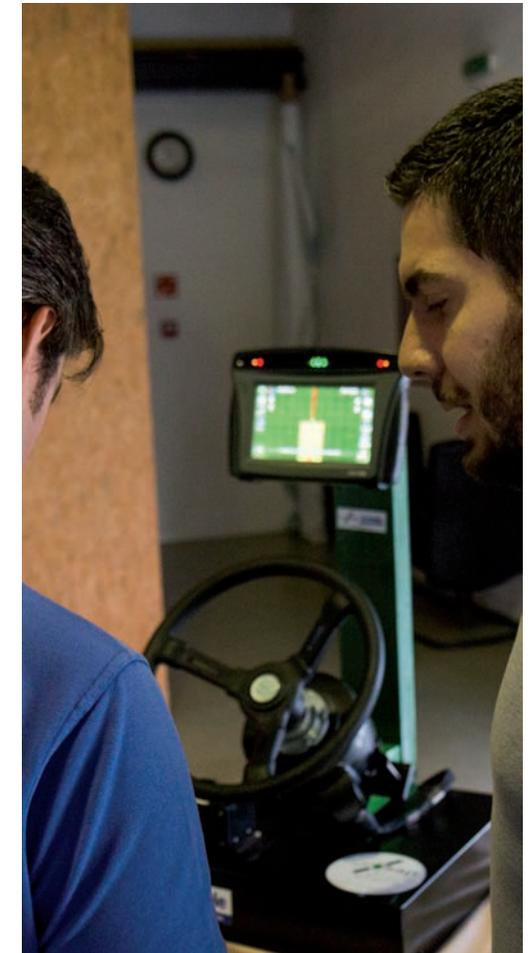
Ventajas y desventajas del sistema de ayuda al guiado y guiado automático.

VENTAJAS

- + Reducen la fatiga la persona que conduce y permiten mayor atención a las labores que se está realizando, pudiéndose incluso aumentar las jornadas de trabajo en caso de necesidad.
- + Ofrecen mayor rendimiento de campo al permitir mayores velocidades y reducir los tiempos muertos.
- + Permiten trabajar fuera de las condiciones óptimas de trabajo (de noche, al amanecer, con niebla o con polvo en el aire) cuando es necesario o el cultivo lo requiere.
- + Reducen costes fijos del tractor al aumentar el número de horas trabajadas al año.
- + Facilitan la aplicación de tránsito por calles fijas reduciendo la compactación del suelo.
- + Eliminan solapes o huecos no deseados entre pasadas sucesivas.
- + Disminuyen el gasto en agroquímicos, combustible y personal.
- + Reducen el impacto ambiental de las operaciones agrícolas.
- + Permiten integrar su información en los sistemas de gestión de finca en Agricultura de Precisión.

DESVENTAJAS

- Requieren mayor formación del personal
- Suponen una mayor dependencia de la tecnología
- Requieren una mayor inversión inicial.





04

**QUÉ PODEMOS CONSEGUIR
CON LA AGRICULTURA
DE PRECISIÓN.**

El proyecto CAPE ha mostrado la posibilidad de utilizar información procedente de sensores (e.j., temperatura del cultivo, índices de vegetación, etc.) como un medio para ayudar a la toma de decisiones en diferentes aplicaciones agronómicas, entre ellas abonado nitrogenado variable o riego de precisión. A la vista de los ensayos y experiencias realizadas en cada uno de los cinco Grupos de Desarrollo Rural (GDRs) que han participado, financiado y cooperado en la transferencia de este proyecto, se presenta en esta sección del documento los resultados de un primer año de trabajos en el Valle del Guadalquivir. Los GDR implicados son Campiña-Alcores (grupo coordinador), Aljarafe-Doñana, Bajo Guadalquivir, Gran Vega y Serranía Suroeste, que junto con el grupo de agricultura de precisión de la Universidad de Sevilla han conseguido los siguientes resultados en cada una de las comarcas.

Ámbitos de actuación de los cinco GDR sevillanos impulsores del proyecto CAPE

Ámbitos de Grupos de Desarrollo Rural (GDR)

- Asociación Comarcal Gran Vega de Sevilla
- Asociación para el Desarrollo Rural de la Campiña y los Alcores de Sevilla
- Asociación de Municipios para el Desarrollo Rural Integral de la Serranía Suroeste Sevillana
- Asociación para el Desarrollo de la Campiña de la Comarca del Bajo Guadalquivir
- Asociación para el Desarrollo de la Comarca de Aljarafe-Doñana



GDR CAMPIÑA-ALCORES

En la comarca Campiña-Alcores los esfuerzos se han centrado en comparar diferentes operaciones agrícolas entre parcelas donde se han aplicado Técnicas de Agricultura de Precisión (TAP) con otras donde se han aplicado Técnicas Convencionales (TC).

Las TAP utilizadas en estas parcelas son siembra y operaciones con tractores utilizando guiado automático, abonado nitrogenado variable en función de la información tomada por sensores remotos y recolección con monitor de rendimiento. Las TC aplicadas son siembra y operaciones con tractores sin guiado automático, abonado convencional uniforme (de fondo y cobertera) y recolección sin monitor de rendimiento (sólo se tiene el dato de rendimiento total medio de la parcela).

Se han tomado para la realización de este estudio parcelas localizadas al oeste de la comarca dentro del término municipal de Carmona (al sureste del núcleo de población) (Fig. 18).

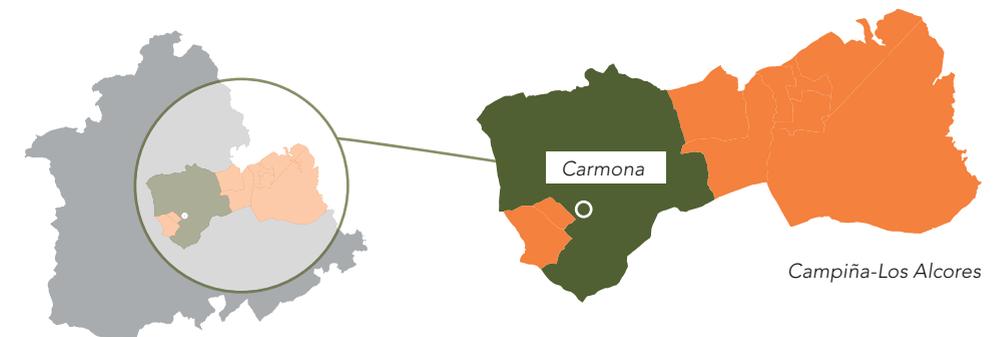


Figura 18.-Ubicación de parcelas en comarca Campiña-Alcores

Se han analizado los datos disponibles de dos campañas de cinco parcelas, tres de ellas con aplicación de TAP y otras dos con técnicas convencionales TC.

PARCELA	EXTENSIÓN (ha)	COORDENADAS		CULTIVO	AÑO COSECHA	TÉCNICA AGRICULTURA
		Latitud	Longitud			
1.1	0,91	37,4732073° N	5,6688719° W	Trigo	2014 y 2015	TAP
1.2	13,55	37,4186917° N	5,6414064° W	Trigo	2014 y 2015	TAP
1.3	4,7	37,5062334° N	5,6725377° W	Trigo	2014 y 2015	TAP
1.4	55	37,3986271° N	5,5970557° W	Trigo	2014 y 2015	TC
1.5	60	37,3942438° N	5,5935783° W	Trigo	2014 y 2015	TC

Coordenadas de las parcelas en Campiña-Alcores.

Tomando como ejemplo de las parcelas en las que se han aplicado metodologías de agricultura de precisión, la parcela 1.2 de 13,55 ha de extensión, y con los datos de rendimiento de esta parcela de los dos últimos años se puede planificar con la ayuda de un programa de información geográfica un mapa de aplicación nitrogenada variable (Fig. 20 y 21). Esta aplicación nitrogenada se puede llevar a cabo con distintas estrategias que persigan diferentes fines como pueden ser reducir insumos o aumentar los rendimientos. En este caso se han tomado dos ejemplos, uno de estrategia "conservadora" (estrategia 1) y otro de estrategia "arriesgada" (estrategia 2) (Fig. 22).

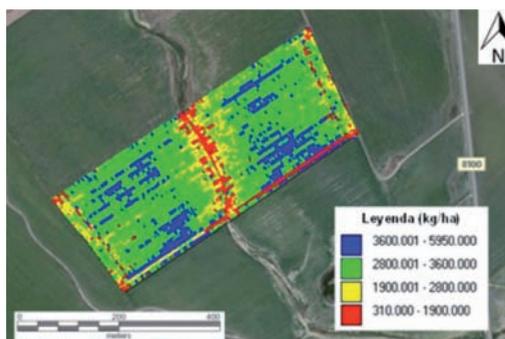


Figura 20.- Mapa de rendimiento comarca Campiña-Alcores

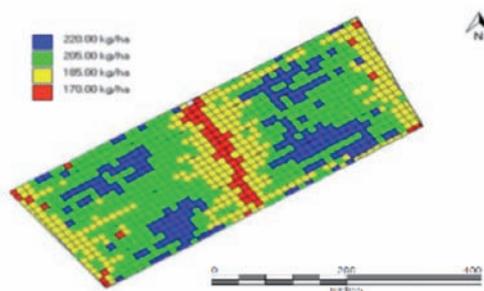


Figura 21.- Mapa de aplicación variable comarca Campiña-Alcores

ESTRATEGIA 1

Aplicación media 200 kg/ha

$$13,55 \text{ ha} * 200 \text{ kg/ha} = 2.710 \text{ kg}$$

rendimiento (kg/ha)	superficie (ha)
220,00	2,56
205,00	6,41
185,00	3,90
170,00	0,69

A igual coste, mayor rendimiento

ESTRATEGIA 2

Máxima aplicación 200 kg/ha

Aplicado 2214 kg

rendimiento (kg/ha)	superficie (ha)
220,00	2,56
165,00	6,41
145,00	3,90
115,00	0,69

- 486 kg | Ahorro 18%

Menor Coste e Igual Rendimiento

Figura 22.- Distintas estrategias de aplicación nitrogenada.

En la Figura 22 se esquematiza la estrategia 1 consistente en la aplicación de 220 kg/ha de abono nitrogenado sólido en el área de más producción de trigo (área azul en la Figura 20 y 21) y la reducción progresiva de la dosis en las demás áreas en base a la producción obtenida. En esta estrategia el agricultor intenta conseguir un mayor rendimiento de su parcela, distribuyendo de forma más apropiada el abono aplicado. En la estrategia 2 se establece la cantidad de 200 kg/ha de abonado a la zona de máxima producción y progresivamente se va bajando la cantidad en cada área. El agricultor supone que las zonas que proporcionan menos rendimiento tienen



alguna limitación independiente del abonado nitrogenado. Con esta estrategia se persigue ahorrar coste con menor aplicación de abonado por hectárea y mantener el rendimiento de la campaña anterior. En la estrategia 1 no se consigue ningún ahorro pero las expectativas son de conseguir un mayor rendimiento en la producción, mientras que en la estrategia 2 se consigue un ahorro del 18% del abono a poner en la parcela manteniendo el rendimiento de años anteriores.

GDR ALJARAFE-DOÑANA Y SERRANIA-SUROESTE

En la Comarca Aljarafe-Doñana y Serranía-Suroeste se han monitorizado varias parcelas en las que se ha implementado un monitor de rendimiento incorporado a las cosechadoras para conocer la cantidad de cereal cosechado por unidad de superficie, estos datos servirán para, en posteriores campañas, poder prescribir los mapas de abonado variable. La instalación del receptor DGPS (Differential Global Positioning System) ha permitido también la obtención de mapas de variabilidad del rendimiento.

En la Comarca Aljarafe-Doñana las parcelas seleccionadas se localizan al norte de la comarca dentro del término municipal de Sanlúcar la Mayor, concretamente cuatro parcelas al noroeste municipio. En la Comarca Serranía Suroeste se ubican en el término municipal de Arahal (**Fig. 23a y 23b**).

Se muestra a continuación en la **Fig. 24** un ejemplo del mapa obtenido del monitoreo de rendimiento de una de las parcelas de estudio en la Comarca Aljarafe-Doñana.

Figura 23. a) Ubicación de parcelas en comarca Aljarafe-Doñana y b) ubicación de parcelas en comarca Serranía Suroeste.

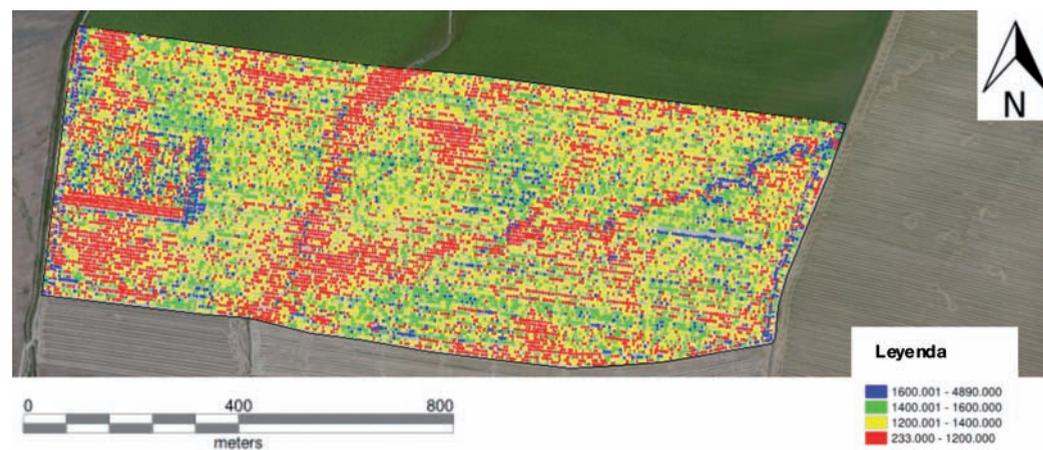
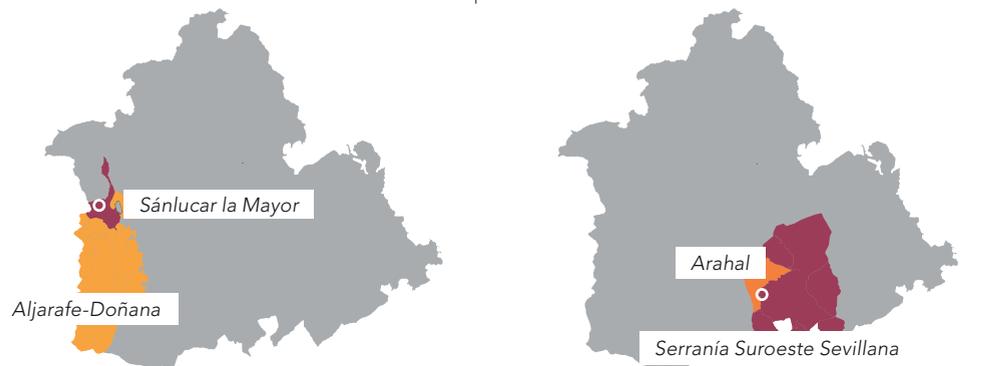


Figura 24. Mapa de rendimiento comarca Aljarafe-Doñana.

GDR GRAN VEGA

Durante el año 2015 se han realizado vuelos de Teledetección con drones en la comarca de Gran Vega. El objetivo de esta aplicación ha sido el de obtener de manera eficiente y económica información sobre la temperatura de las plantas cultivadas, en este caso maíz. Esta información nos permite programar un sistema de distribución de riego óptimo y eficaz. Los ensayos se han realizado en la explotación "La Majaloba", en el término municipal de La Rinconada, al margen izquierdo del río Guadalquivir (**Fig. 25**).

La información recogida con los sensores instalados en el dron (cámara térmica) dibuja un mapa de temperatura en la zona de estudio (**Fig. 26**). Esto facilita la programación de los sistemas de riego variable



Figura 25.-Ubicación de parcelas en comarca Gran Vega.

Zona	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Temp. Media (°C)
P1	32,4	28,0	30,2
P2	34,4	28,8	30,8
P3	29,6	26,0	27,9

Temperaturas medias en tratamientos de riego en tres parcelas de estudio (P1, P2 y P3)

según las necesidades hídricas de las diferentes zonas y permite también hacer un uso más provechoso de recursos como el agua.

Como se recoge en la tabla anterior, los datos analizados permiten conocer las temperaturas medias obtenidas en cada uno de los tratamientos de riego realizados en la parcela (P1, P2, P3). A través de esta tabla podemos comprobar cómo es posible realizar un mapa de aplicación variable de riego conociendo únicamente la temperatura del cultivo.

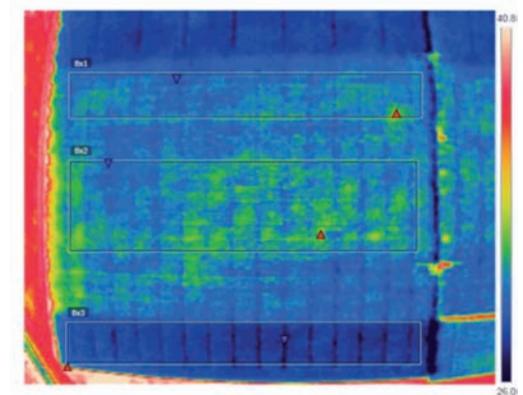
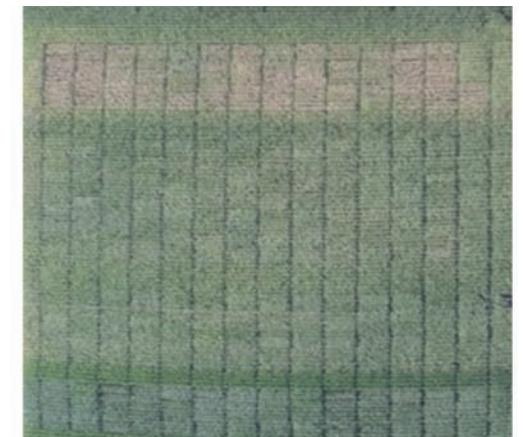


Figura 26.- Distribución de temperatura en cultivo de maíz para programación de riego variable comarca Gran Vega.

GDR BAJO GUADALQUIVIR

En esta comarca el objetivo ha sido determinar la eficiencia de los sistemas de ayuda al guiado y guiado automático. Para ello se han tomado de referencia varias parcelas localizadas al sureste de la comarca dentro del término municipal de Lebrija (**Fig. 27**).

Los trabajos han permitido demostrar cómo la utilización de un equipo de guiado automático instalado en el tractor supone el primer año un ahorro de 6,45 €/ha y, para el segundo año, de 7,26 €/ha. Para hacer el balance de costes se ha medido la cantidad de combustible y de semillas necesarias para hacer la siembra.

El sistema de guiado RTK-GPS mejora la calidad de siembra y ahorra del orden de 6% en recursos al eliminar los solapes y las zonas no tratadas, además de mejorar las condiciones de trabajo del tractorista liberándole de la tediosa tarea de mantener la dirección del tractor.

Por otra parte, los sistemas de guiado automático utilizados en la siembra facilitan la posterior realización de tratamientos entre líneas y la recolección al mantenerse las líneas completamente paralelas incluso las correspondientes a pasadas contiguas en las que, debido a la incorrecta separación respecto al pase anterior de la sembradora, la primera línea de siembra de un pase queda demasiado cerca o demasiado lejos de la última línea del pase anterior. Este aspecto es crítico ya que cuando la maquinaria que debe trabajar sobre el cultivo ya establecido encuentra separaciones irregulares entre líneas debido a esta circunstancia, se producen daños en los cultivos ya sea por aplastamiento por las ruedas del tractor o cortes por las herramientas de trabajo del apero utilizado para el cultivo entre líneas. En el caso del algodón y otros cultivos donde la cosechadora trabaja sobre varias líneas simultáneamente, se dificulta la embocadura de las plantas al interior de la máquina con la consiguiente pérdida de rendimiento.



Figura 27.-Ubicación de parcelas en comarca Gran Vega.

Insumos	Año 1		Año 2	
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 1	Tratamiento 2
Combustible (l/ha)	7,57	7,14	7,59	7,14
Semilla de Trigo (€/ha)	114,02	108,00	114,81	108,00
Coste (€/ha)	121,59	115,14	122,40	115,14

Comparativa entre guiado convencional y guiado automático. Tratamiento 1: Operaciones convencionales (sin guiado GPS). Tratamiento 2: Operaciones con el sistema de guiado automático (RTK-GPS)





05

CONCLUSIONES

Como puede deducirse de lo expuesto, el objetivo final de la AP es optimizar el rendimiento de las explotaciones agrarias mediante un preciso conocimiento del medio en el que se desarrollan los cultivos y la ejecución precisa de las decisiones adoptadas.

Por otro lado, esta optimización tiene una repercusión muy favorable en los aspectos medioambientales vinculados con la producción agraria, por la racionalización del uso de productos fitosanitarios que conlleva.

Las TIC han puesto a disposición del sector agrario todo un conjunto de nuevas herramientas que permiten dicha optimización, entre las que se encuentra la teledetección.

Es verdad que en España la adopción masiva de la AP no ha sido tan elevada como se esperaba hace unos 20 años cuando los primeros pioneros empezaron a utilizar los monitores de rendimiento. En otros países en cambio, esto no ha sido así. El análisis del porqué iría más allá de las pretensiones de este capítulo, pero lo que es verdad es que



a nivel internacional no dejan de aparecer nuevos productos y nuevas empresas relacionadas con el sector como viene pudiéndose apreciar en ferias nacionales como FIMA en Zaragoza e internacionales como Agritechnica en Hannover (Alemania).

Los sistemas de ayuda al guiado, guiado automático y control de tramos son los que más aceptación tienen en España. La aplicación variable en cambio, salvo excepciones, apenas tiene repercusión por el momento. La solución habría que buscarla en la colaboración de todos los implicados en el sector, debido al carácter tan multidisciplinar que tiene esta tecnología.

Al usuario final de la AP hay que ofrecerle un producto único y acabado. De nada le sirve al gestor de una explotación agraria un mapa de rendimiento, de conductividad eléctrica o el obtenido con sensores remotos si no tiene seguridad de que va a disponer de un correcto asesoramiento en su interpretación conjunta y de la maquinaria que le permita la distribución variable, que es lo que en definitiva justifica toda la información previa obtenida.



BIBLIOGRAFÍA

Agüera, J. y Pérez-Ruiz, M. 2004. Agricultura de Precisión. Técnicas de Agricultura de Conservación. Mundi-Prensa Libros S.A. Pag. 143-154. ISBN: 84-8476-220-3.

Agüera, J. y Pérez-Ruiz, M. 2013. Agricultura de precisión: hacia la integración de datos espaciales en la producción agraria. En: AMBIENTA (Madrid). Num. 105, Pag. 16-27.

Carballido, J., Rodríguez-Lizana, A., Agüera, J. y Pérez-Ruiz, M. 2013. Field sprayer for inter- and intra-row weed control: performance and labor savings. Spanish Journal of Agricultural Research, 11(3): 642-651.

<http://www.seguiridadaerea.gob>.

MAGRAMA, avance de superficies y producciones de julio de 2014. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/avances-superficies-producciones-agricolas/>.

Pérez-Ruiz, M., Morillo Velarde, R. y Bermejo, J.L. 2011. Avances para mejorar la sostenibilidad del control de la mala hierba en cultivos en líneas. En: TIERRAS AGRICULTURA. Num. 179, Pag. 34-41.

Quebrajo, L., Pérez-Ruiz, M., Rodríguez-Lizana, A., and Agüera, J. 2015. An approach to precise nitrogen management using hand-held crop sensor measurements and winter wheat yield mapping in a Mediterranean environment. Sensors 15(3), 5504-5517.

Torres-Sánchez J, López-Granados F, Serrano N, Arquero O, Peña JM (2015) High-Throughput 3-D Monitoring of Agricultural-Tree Plantations with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technology. PLoS ONE 10(6): e0130479. doi:10.1371/journal.pone.0130479.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su reconocimiento por el esfuerzo en labores de campo y consultas técnicas a Francisco Javier Jiménez (Serfica S.L.) y Francisco Perea Torres (IFAPA).



Cooperación para la implantación de técnicas de Agricultura de Precisión

INTRODUCCIÓN A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL VALLE DEL GUADALQUIVIR