

# Incorporación de tecnologías de información territorial en una explotación agraria de secano ante la práctica de agricultura de precisión

L. Martínez-Cebrían<sup>1</sup> y M.A. Casterad<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fundación Aragonesa para el Desarrollo de Observación de la Tierra (FADOT)

<sup>2</sup>Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Unidad de Suelos y Riegos (unidad asociada a EEAD-CSIC)

lucia@fundacionfadot.com

## RESUMEN

La explotación agraria Castillo de Castejón S.A desea integrar tecnologías de información geográfica para la gestión y optimización de los recursos que dispone. Para ello, se ha diseñado y puesto en funcionamiento un Sistema de Información Geográfica (SIG) que facilite las tareas de administración y gestión de la finca. En este SIG se han integrado coberturas de la delimitación de la finca y el parcelario, información de cultivos y variedades e información de suelos. También se ha incorporado cartografía derivada de imágenes de satélite Landsat TM relativa a las coberturas del suelo y la variabilidad inter e intraparcilaria del desarrollo del cultivo, información de utilidad en la determinación de posibles actuaciones en las zonas desfavorables de la finca y para la futura definición de unidades de manejo diferencial ante la práctica de agricultura de precisión. El trabajo desarrollado muestra algunas de las posibilidades que los SIG y la teledetección pueden brindar en la gestión agraria de esta explotación y su utilidad si se quiere practicar agricultura de precisión, si bien pone de manifiesto la necesidad de contar con información espacial actualizada sobre propiedades del suelo y de un modelo digital de elevaciones, aconsejándose usar, si es posible, imágenes de mayor resolución espacial. Este estudio previo de la situación de la finca debería completarse con trabajos más exhaustivos que lleven a una caracterización más completa, a la definición de unidades de manejo diferencial y a la obtención de modelos de trabajo y productos para la práctica de agricultura de precisión.

## PALABRAS CLAVE

Sistemas de información geográfica (SIG), teledetección, NDVI, agricultura de precisión

## ABSTRACT

The Castillo de Castejón S.A. farm wants to integrate geographic information technologies for the management and optimization of its own available resources. To do this, a Geographic Information System (GIS) has been designed and implemented to facilitate the tasks of farm administration and management. This GIS contains coverages of the property delimitation and also information about the parcel, soil and the different crop varieties. Cartography derived from Landsat TM satellite imagery relating to the soil cover as well as inter and intra-parcel crop development has also been used, since this information becomes very useful when identifying possible adverse reactions in the areas within the farm and for the future definition of different management units improving the practice of precision farming. The work shows some of the possibilities that GIS and remote sensing can provide in agricultural management and also its application in precision agriculture, but it highlights the need for updated spatial information about soil properties and the use a digital elevation model. Therefore, the use of images with higher spatial resolution should be recommended whenever possible. This preliminary study should be supplemented with more extensive works leading to a more complete

characterization, to the definition of differential management units and the generation of differential work patterns and products for precision farming practices.

## KEY WORDS

Geographic information system (GIS), remote sensing, NDVI, precision agriculture.

## 1 INTRODUCCIÓN

La agricultura es uno de los principales motores económicos del medio rural que, con el paso del tiempo y la aparición de mercados competitivos, requiere de innovación y mejora de la producción de sus productos. Bajo estas premisas se encuentra el concepto de agricultura de precisión, apoyado en el concepto agronómico de gestión de parcelas agrícolas basado en la existencia de variabilidad en campo. El objetivo que este tipo de agricultura persigue es sacarle provecho, ganancia o rentabilidad a dicha variabilidad, logrando a la vez mayor sostenibilidad del uso de los recursos y un menor impacto ambiental (Council Committee an assesing Crop Yield, 1997; Price y Nowak, 1999).

La aplicación del concepto de agricultura de precisión está siendo posible gracias a tecnologías de información territorial, como los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), la Teledetección, y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Stanford, 2000). Estas herramientas permiten recopilar, interpretar y aplicar información de las explotaciones, transformando datos e información en conocimiento y rentabilidad, de manera que no sólo posibilitan una gestión agronómica más eficaz, sino que permite aumentar la precisión de las labores y la eficiencia de los equipos, siendo de gran ayuda en la planificación y toma de decisiones en la agricultura (Kreimer, 2003).

Este trabajo responde a la inquietud de la finca Castillo de Castejón, SA. por integrar las mencionadas tecnologías en la gestión de su explotación agraria. Se pretende proporcionar un SIG que recoja la información sobre cultivos y suelo ya disponible, así como nueva información derivada de imágenes de satélite acerca de la variabilidad espacial del desarrollo de los cultivos. Además, se analizará la información que hace falta para poder realizar agricultura de precisión en la finca.

## 2 ÁREA DE ESTUDIO

La finca Castillo de Castejón es una explotación agropecuaria de secano en la que se practica agricultura de conservación. Está localizada en el término municipal de Esquedas, a unos 10Km al NE de la ciudad de Huesca. La carretera A-132 y la red ferroviaria Huesca-Canfranc la atraviesan.

Esta explotación agraria abarca unas 1.470 has, de las cuales 870 están ocupadas por las 44 parcelas agrícolas objeto de estudio (figura 1). Los cultivos predominantes en estas parcelas son la cebada, el trigo y la veza. Las 600 has restantes, presentan mayoritariamente masas boscosas de *Quercus ilex rotundifolia* y matorrales esclerófilos. Una pequeña superficie de unas 11 has, corresponden a cultivos leñosos, almendros y olivos. Los suelos son carbonatados, moderadamente básicos, predominando las texturas franco-arcillosas y franco-limosas.

La finca forma parte de una ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves) con el Quebrantahuesos (*Gypaetor barbatus*) como especie protegida.

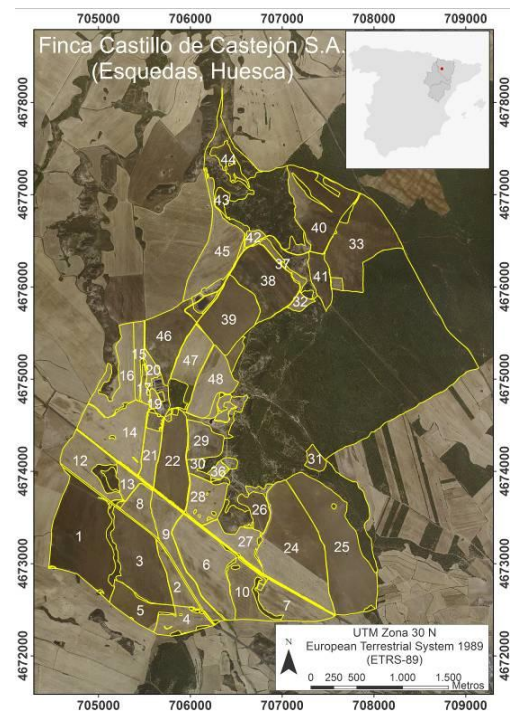


Figura 1. Localización de las parcelas de estudio sobre ortofoto del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de 2009.

## 3 EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA IMPLEMENTADO

Se quiere tener la información territorial de las parcelas de cultivo de la finca ordenada en un

sistema central que facilite a los propietarios de la finca el mantenimiento y la optimización de los recursos de la explotación y ayude en la planificación, gestión y toma de decisiones. Para la implementación del SIG fue necesario obtener y preparar la información cartográfica básica a introducir en el modelo para tener un sistema de información geográfica adaptado a las necesidades del agricultor.

### 3.1 Obtención de información

Se reunió la información disponible en la finca, suministrada por los propietarios, preparándola y mejorándola previamente a su incorporación al SIG. Concretamente se disponía de la delimitación de la finca y del parcelario en formato digital, cultivos y variedades para los años 2010 y 2011, e información de la granulometría del suelo derivada de 60 muestras de los 30 primeros cm de suelo tomadas en 1999. Esta información de suelos, pese a no estar actualizada, se incorporó también en el SIG al ser la única información de suelos disponible. Se buscaba también que no se perdiera con el tiempo.

### 3.2 Creación de una geodatabase personal

Para el almacenamiento de la información se optó por un modelo Geodatabase (GDB) personal, de manera que la información quedase ordenada, georreferenciada y relacionada. Dicha GDB integra tres capas vectoriales con su correspondiente base de datos asociada; dos de polígonos parcelario de la finca (*Recintos*) y parcelas objeto de estudio (*Parcelas C. Castejón*) y otra de puntos correspondiente a los puntos de muestreo del análisis granulométrico (*Análisis suelo*). Además, se generaron e incorporaron a ella tres tablas, dos con información sobre los cultivos de 2010 y 2011 (*Siembras 2010* y *Siembras 2011* respectivamente) y otra con la información de la granulometría (*Granulometría*).

### 3.3 Modelo relacional de base de datos

Las tablas incluidas en la GDB se unieron mediante un modelo entidad-atributo-relación (EAR) tal y como se muestra en la figura 2. Para ello se precisa de un identificador común que permita relacionar las diferentes tablas individuales, lo que exigió tratar previamente las bases de datos disponibles (Gutiérrez, 2000). Cada tabla individual presenta un campo con identificador único a través del cuál se realizaron las interrelaciones con las demás tablas en el modelo. Estos campos fueron *Id\_parcela* que contienen un número único identificador de cada una de las parcelas de la capa *Parcelas*

*C. Castejón* e *Id\_muestra* que contiene un número identificador único de cada punto de muestreo de la capa *Análisis suelo*.

La relación entre tablas se realizó con la herramienta en ArcGis *Relatio class*, de manera que la información quedó concentrada en diferentes tablas individuales, evitándose así trabajar con tablas grandes con excesiva información y facilitando al agricultor la búsqueda de información al usar estas tablas más pequeñas. Así, cada vez que se realiza una consulta sobre una parcela, se obtiene la información individual de la misma recogida en cada una de las tablas relacionadas.

La única tabla no relacionada fue la correspondiente a la capa *Recintos*, al precisarse únicamente en el estudio para conocer todas las parcelas de la finca.

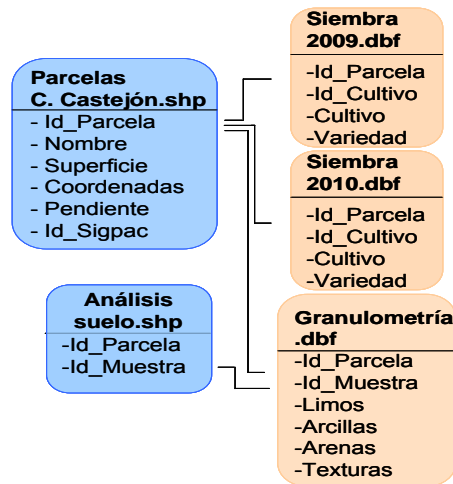


Figura 2. Estructura de las tablas relacionadas del SIG de la finca Castillo de Castejón S.A.

En definitiva, el SIG diseñado permite, no sólo albergar el mayor número de información disponible de Castillo de Castejón S.A., sino también elaborar y proyectar toda esta información sobre el terreno, analizando la evolución de los cultivos, gracias a lo cual se podrá llevar a cabo posibles actuaciones sobre la finca, facilitando asimismo la toma de decisiones.

En la GDB se incorporó, posteriormente, en formato ráster, toda la cartografía derivada de las imágenes de satélites que se detallará a continuación.

## 4 INFORMACIÓN OBTENIDA DE IMÁGENES LANDSAT TM

Ante el interés de los propietarios de la finca por practicar agricultura de precisión se llevó a cabo un estudio previo para verificar la variabilidad espacio-temporal del desarrollo de los

cultivos ante una posible definición de unidades de manejo diferencial en la finca y/o en las parcelas.

Al tratarse de un estudio preliminar se optó por utilizar, dada su inmediata disposición, las imágenes Landsat TM del Plan Nacional de Teledetección (PNT) corregidas geoméricamente y remuestreadas a píxel de 25m×25m, a sabiendas de las posibles limitaciones que pueden surgir por su resolución espacial. Como años de estudio, se eligieron 2010 y 2011, años en los que se cuenta con información de los cultivos. En el momento de abordarse el estudio se disponía de seis imágenes del periodo de desarrollo de los cultivos, escena 199/031, que presentaban buena visibilidad en el área de estudio y estaban exentas de nubes: 6 de abril, 24 de mayo y 11 de julio de 2010, y 4 de febrero, 25 de abril y 11 de mayo de 2011. Dichas imágenes se corrigieron, radiométrica y geoméricamente, remuestreándose a píxel de 25m.

#### 4.1 Variabilidad espaciotemporal de los cultivos

A partir del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, Rouse *et al.*, 1974) obtenido de las imágenes se elaboraron diferentes mapas temáticos y se obtuvieron datos estadísticos que permitieron identificar las coberturas del suelo, reconocer diferentes estados de desarrollo de los cultivos y relacionarlos en ocasiones con agentes causales. Los mapas de NDVI obtenidos se presentan recodificados en 10 categorías, facilitándose, así, su interpretación. En la figura 3 se observa cómo los NDVI más bajos, representados con tonos tierra, correspondientes a zonas desprovistas de vegetación, como suelos desnudos y áreas con escasa vegetación en las que predominan la respuesta espectral de suelo o áreas de cultivo en fase senescente. Los tonos verdes corresponden a zonas con vegetación en desarrollo o completamente desarrollada.

Según la fecha de la imagen, el cultivo se encuentra en una u otra fase del ciclo vegetativo y por tanto con NDVI diferente. Al ser las imágenes de diferentes fechas cada año no se pueden comparar los NDVI de un año y otro directamente. Además, hay que señalar que en 2011, el ciclo de los cultivos fue adelantado respecto a 2010 lo que todavía acentúa más las diferencias entre años.

En la figura 3 se observa cómo parcelas con el mismo cultivo presentan diferentes NDVI para la misma fecha, indicativo de diferente desarrollo, es decir, variabilidad interparcelaria. Asimismo, estas diferencias se aprecian también dentro de

algunas parcelas, indicativo de la variabilidad intraparciliar existente en ellas. La distribución de cultivos y variedades no guarda, en general, ningún patrón o condición establecida, por lo que no tiene que ver con la variabilidad detectada.

La variabilidad intra e interparcelaria se estudió así mismo apoyándose en gráficos de evolución del NDVI medio de la parcela en cada fecha y de diagramas de caja, obtenidos en ambos casos previa eliminación de los píxeles de borde. Detalles de este estudio se pueden encontrar en Martínez (2011).

En la figura 4 se presentan dos ejemplos de relación desarrollo del cultivo-agente causal. De todas las parcelas cultivadas con trigo en 2011, hay una parcela que presenta claramente mejor desarrollo (NDVI medio superior) sobre todo en febrero, al inicio del ciclo vegetativo (figura 4a). Ello se debe al efecto de la rotación de cultivos, ya que esta parcela es la única que había estado cultivada el año anterior, 2010, con veza, planta fijadora de nitrógeno que ha favorecido el desarrollo del trigo. El resto de las parcelas se habían cultivado en 2010 con cebada o trigo.

En 2010 las parcelas de vezas sufrieron un relevante ataque de babosas (*Limax Maximus*) al inicio del ciclo vegetativo, siendo este ataque menos severo en la única parcela con suelos menos profundos y más pedregosos, teniendo esta parcela los NDVI medio más elevados (figura 4b).

#### 4.2 Localización de zonas uniformes en cuanto al comportamiento del cultivo.

La variabilidad intra e interparcelaria observada a partir del análisis de los NDVI animó a pensar que era posible localizar zonas con diferente comportamiento en cuanto a desarrollo del cultivo se refiere, zonas candidatas a un manejo diferente. Para ello, se realizó cada año de estudio una clasificación no supervisada, utilizando como bandas las siguientes imágenes diferencia en las que se puede distinguir y localizan, espacialmente, zonas que presentan cambios:

Año 2010

- NDVI diferencia 1= NDVI abril – NDVI mayo

- NDVI diferencia 2= NDVI mayo – NDVI junio

Año 2011

- NDVI diferencia 1= NDVI febrero – NDVI abril

- NDVI diferencia 2= NDVI abril – NDVI mayo

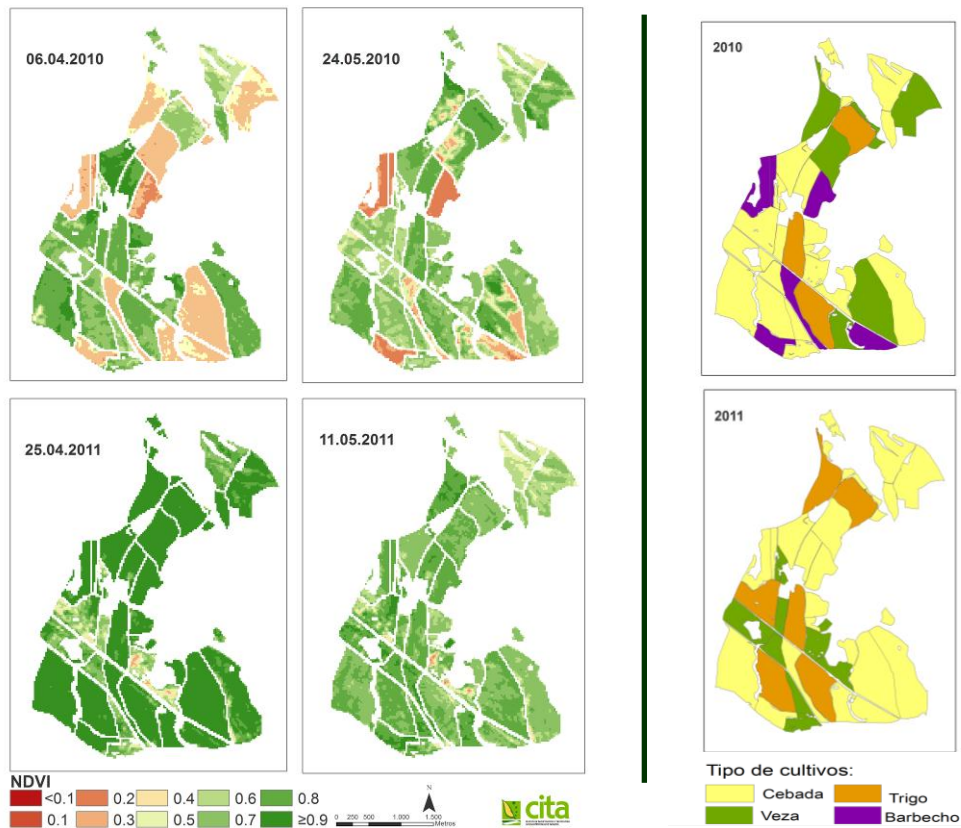


Figura 3. NDVI obtenido para las parcelas del área de estudio recodificados en 10 categorías (izquierda) y mapas de cultivo para el año 2010 y 2011 (derecha).

El número de clases a considerar en la clasificación se fijó atendiendo a:

- Los cultivos presentes en los años de estudio, 2010 y 2011.
- Intentar discriminar al menos tres estados de desarrollo diferentes por cultivo.
- Discriminar las parcelas de barbecho o sin cultivo que había.

La clasificación no supervisada permitió distinguir las superficies sin cultivo o con barbecho, las de veza y las de cereal de invierno, no siendo posible, en estas últimas, la discriminación de superficies con cebada y superficies con trigo. En la figura 5 se muestra la cartografía obtenida, representándose en tonos ocres y marrones las superficies con cereal de invierno y en tonos verdes las de veza. Para suelos desnudos y con escasa vegetación se han elegido tonos morados. En rojo están algunos bordes de parcela, carreteras, zonas con desarrollo atípicamente bajo del cultivo etc.

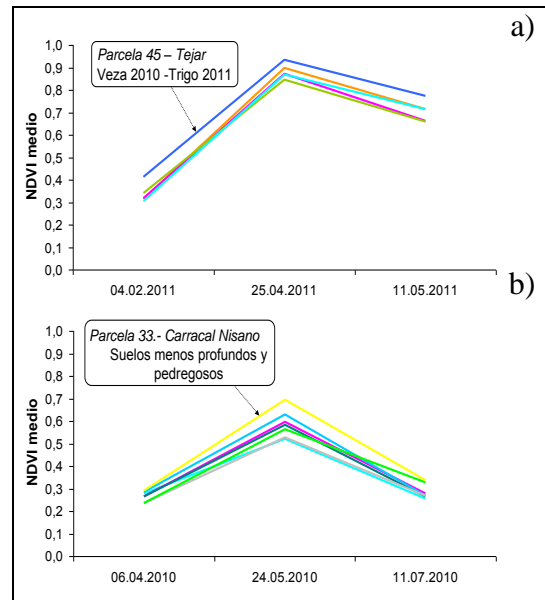


Figura 4.- Evolución del NDVI medio en parcelas de trigo (a) y de veza (b).

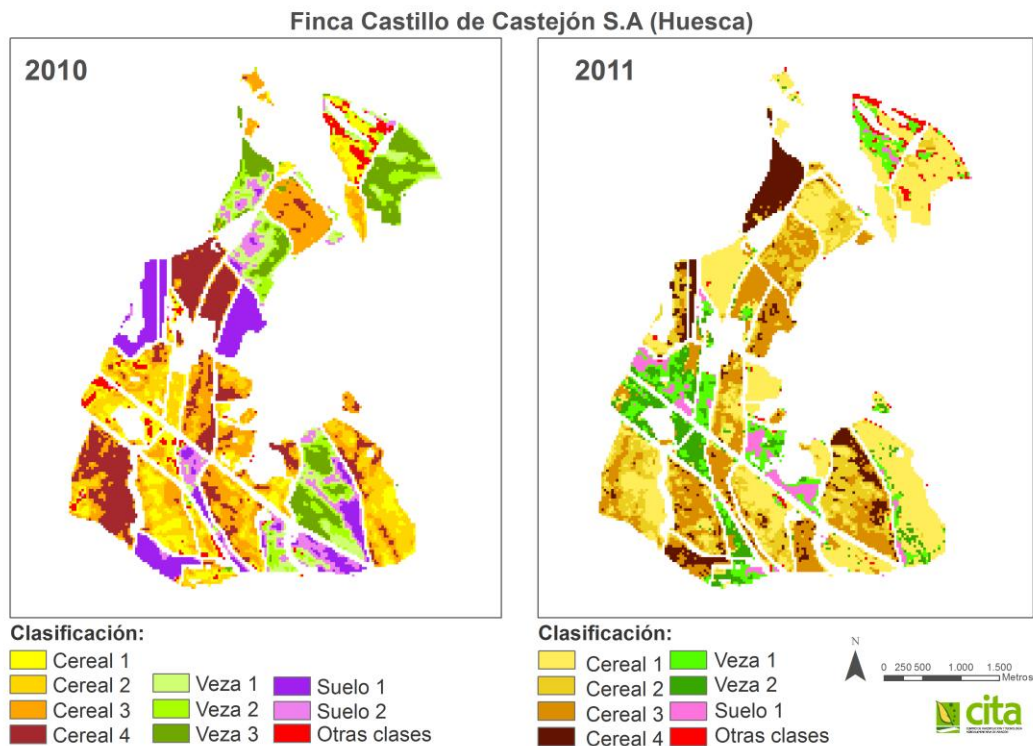


Figura 5: Clasificación no supervisada del área de estudio. Los cultivos clasificados presentan tonos de menor a mayor saturación coincidiendo con el grado de desarrollo, de menor a mayor.

La comparación de la cartografía obtenida con los mapas de NDVI y mapas de cultivo muestra que cuatro categorías o clases corresponden a diferentes grados de desarrollo o evolución del cereal de invierno, categorías que van desde *Cereal1*, el menos desarrollado, a *Cereal4*, el más desarrollado; tres a veza, de *Veza,1* la menos desarrollada a *Veza,3* la más desarrollada; dos a barbechos y suelos desnudos diferentes, *Suelo1* barbecho y suelo desnudo y *Suelo2* suelo con algo de vegetación; y una a Otras clases como son carreteras, caminos, zonas con suelos menos profundos y pedregosos, etc.

En 2011 se discriminaron cuatro categorías correspondientes a diferente grado de desarrollo del cereal de invierno (*Cereal1* a *Cereal4*), una a suelos desnudos (*Suelo1*), dos a diferente desarrollo de la veza (*Veza 1*, la menos desarrollada y *Veza 2*, la más desarrollada) y una a *Otras clases*. Este año, a diferencia del anterior, no hubo ninguna parcela en barbecho.

A partir de la información de granulometría disponible se pudo constatar, tanto en 2010 como en 2011, que en aquellas zonas de suelos más profundos y textura limosa fina el cultivo presenta un buen desarrollo, mientras que sobre arcillas y areniscas gruesas el desarrollo es peor.

Como la finca de Castillo de Castejón S.A. disponía de datos de rendimiento en 2011 para algunas parcelas de cereal de invierno obtenidos a partir de GPS y monitores de rendimiento instalados en la cosechadora, se validó con esta información la cartografía obtenida en dos de estas parcelas, *Socarrada* cultivada con cebada y *Huerto* cultivada con trigo. Ello requirió, a partir de la información de rendimientos suministrada por los propietarios de la finca, preparar mapas de rendimiento en formato ráster con el mismo tamaño de píxel que el de las imágenes clasificadas. El rendimiento se representa en tres categorías, *Rendimiento 1* a *3*, de menor a mayor rendimiento. Detalles de la metodología seguida pueden encontrarse en Martínez (2011).

Los resultados obtenidos muestran la relación que existe entre las diferentes categorías de cereal discriminadas en la clasificación no supervisada con la producción obtenida, así como con la geomorfología de la parcela. La clasificación y categorización establecidas en las parcelas a partir de las imágenes es bastante acertada y está en concordancia con los rendimientos obtenidos, tal y como se puede apreciar en la gráfica de la parcela *Socarrada* que, como ejemplo, se presenta en la figura 6.

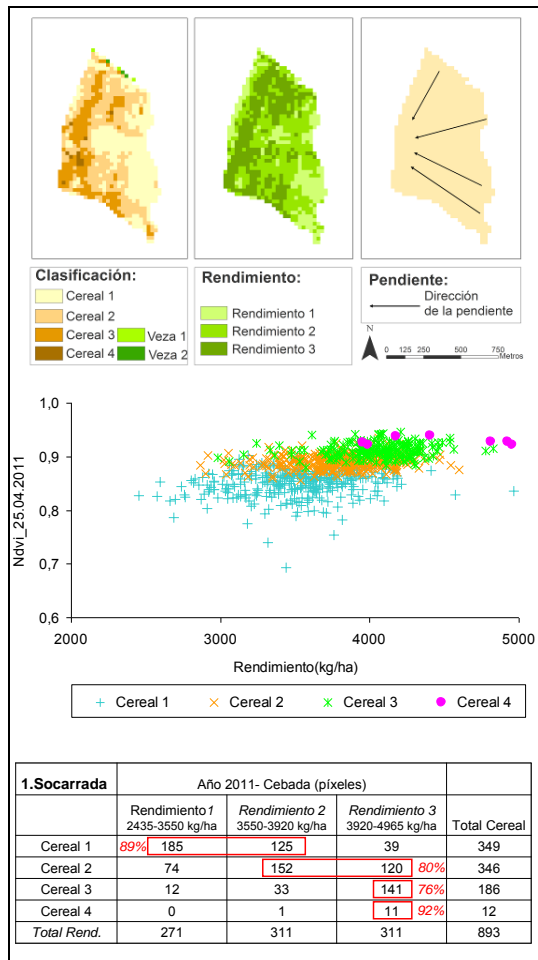


Figura 6: Desarrollo de la cebada en 2011 frente a rendimiento en la parcela Socarrada de la finca Castillo de Castejón S.A.

## 5 CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES ANTE LA PRÁCTICA DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN

El SIG desarrollado reúne información relativa a cultivos y suelo, de manera que la finca Castillo de Castejón S.A va a disponer de un instrumento de gran ayuda en la toma de decisiones y gestión de la explotación, más y cuando si se complementa con el conocimiento que el agricultor tiene sobre el comportamiento de la explotación.

Al SIG se le puede ir incorporando nuevas capas de información así como actualizar las existentes, de manera que dentro de unos años, con toda la información recopilada, los propietarios de la finca Castillo de Castejón S.A. puedan disponer de una herramienta que les permita optimizar la calidad y cantidad del

producto agrícola, minimizando el costo a través del uso de tecnologías más eficientes, y ayudándoles a mantener la sostenibilidad del medio ambiente.

La teledetección ha proporcionado información sobre el cultivo, identificando las diferentes coberturas del suelo y mostrando la variabilidad espacio temporal que en su desarrollo se produjo durante 2010 y 2011, tanto entre parcelas como dentro de cada una de ellas. Sin embargo, las imágenes de Landsat TM han presentado algunas limitaciones que aconsejan en el futuro, siempre que se pueda, y si se va a practicar agricultura de precisión, complementar dichas imágenes con otras de otros satélites y/o vuelos y con imágenes de mayor resolución espacial. Ello permitirá contar con un mayor número de imágenes en las fechas que mas convienen, especialmente en el periodo marzo-mayo, además de asegurarse imágenes sin nubes que incapaciten el seguimiento del cultivo. La mayor resolución espacial proporcionará, así mismo, un mayor detalle y posibilidades en la definición de zonas con diferente comportamiento.

Si se completa el estudio relación categorías de cultivo-desarrollo-rendimiento con más parcelas y otros años se tendrá una buena caracterización de la variabilidad espacio-temporal del cultivo y su producción, de gran ayuda ante la práctica de agricultura de precisión.

Para llegar a definir unidades de manejo diferencial es indispensable, sin embargo, tener una adecuada información de suelos (mapas de granulometría, nutrientes, fertilidad, etc.). La información de suelos disponible no es suficiente pues no permite establecer relaciones entre propiedades del suelo, el desarrollo del cultivo y el rendimiento. Será necesario adquirirla. Pese a ello, la información generada en el presente estudio si es de gran utilidad en el diseño del muestreo a realizar para su adquisición. También sería aconsejable disponer de un buen modelo digital de elevaciones.

Pese a no haber podido definir unidades de manejo diferencial, el agricultor si puede, con la información obtenida, ver cuales son la zonas de la finca y/o parcela en las que el cultivo presentan diferente comportamiento en los años estudiados, relacionarlas con los agentes causales y estudiar posibles actuaciones en las zonas más desfavorables para mejorar la situación.

Antes de adoptar la práctica de agricultura de precisión se deberían realizar trabajos más exhaustivos que lleven a una caracterización más completa de la situación de la finca, a la

definición de unidades de manejo diferencial y a la obtención de los modelos de trabajo y productos necesarios.

## AGRADECIMIENTOS

A los propietarios de la finca Castillo de Castejón S.A., quienes proporcionaron toda la información necesaria para la creación del SIG, e información agronómica de gran ayuda para la interpretación de los resultados.

## BIBLIOGRAFIA

Committee on Assessing Crop Yield: Site-Specific Farming, Information Systems, and Research Opportunities. 1997. *Precision Agriculture in the 21st century: Geospatial and Information technologies in Crop Management*. National Research Council (U.S.). National Academy Press, Washington (EEUU).

Gutiérrez, J. y Gould, M. 2000. *SIG: Sistemas de Información Geográfica*, Madrid, Editorial Síntesis, 250pp.

Kreimer, P. 2003. *Las TICs en la agricultura de precisión*. Centro de Difusión de Tecnologías (CEDITEC), ETSIT- UPM.

Martínez, L. 2011. *Incorporación de tecnologías de información territorial en una explotación agraria de secano para definición de unidades de manejo diferencial en las parcelas de cultivo*. Trabajo fin de Máster. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schelle, J.A., y Deering, D.W. 1974. Monitoring vegetation system in the great plain whit ERTS. *Third ERTS Symposium*, 1 NASA. 309-317.

Pierce, F. y Nowak, P. 1999. Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy* 67, 1-85.

Stafford, J.V. 2000. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76, 267-275.