

Orden de 11 de diciembre de 2007, por la que se establecen las bases reguladoras del Programa de Incentivos a los Agentes del Sistema Andaluz del Conocimiento y se efectúa su convocatoria para el ejercicio 2008-2013.(BOJA nº 4 de 5 de enero de 2008)

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE EXCELENCIA (Convocatoria 2008)

Organismo	Universidad de Almería
Investigador principal	Francisco Agüera Vega
Denominación proyecto	Adquisición y análisis en tiempo cuasi-real de imágenes multiespectrales para el manejo localizado del cultivo en agricultura de precisión. Disminución del impacto ambiental y optimización económica.

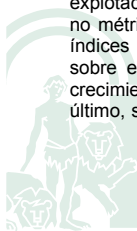
MEMORIA CIENTÍFICO-TÉCNICA

Además de la documentación que se recoge en el apartado a) de carácter genérico, se acompañará a la solicitud una memoria científico-técnica, que deberá contener, entre otros los siguientes extremos (art.16.5.b):


- Resumen de la propuesta
- Antecedentes del proyecto
- Objetivos del proyecto
- Metodología y plan de trabajo
- cronograma
- Resultados esperados, difusión y explotación, en su caso, de los mismos.
- Relación del personal del equipo que participa en la actividad.
- Financiación pública y/o privada, en otros proyectos y contratos I+D, obtenida por los miembros del equipo o institución
- Relación y perfil de los candidatos en las distintas modalidades de personal a incorporar al proyecto cuando proceda, salvo en personal investigador en formación.
- Descripción del carácter multidisciplinar y transversal del proyecto.
- Presupuesto total del proyecto y justificación del mismo, en el que figure desglosado el importe total del proyecto, parte del coste del proyecto para el que solicita el incentivo y el modo de financiación del resto del coste de la actividad, tanto por incentivos públicos como privados.

RESUMEN

El sector agrícola se encuentra en la actualidad con capacidad suficiente para asumir los costes intrínsecos a la aplicación de tecnologías modernas, lo que ha posibilitado desarrollar maquinaria que permite hacer un uso más eficiente de los recursos, a la vez que respetuoso con el medio ambiente. Existen monitores de rendimiento que registran la producción en cada punto de la explotación, permitiendo localizar zonas conflictivas y actuar en consecuencia, o abonadoras y máquinas de aplicación de productos fitosanitarios de dosis variables, que permiten aplicar diferente cantidad de producto en función de las necesidades de cada zona de la finca. Esto constituye la base la agricultura de precisión, y más concretamente del manejo localizado del cultivo (MLC). El éxito del MLC reside en contar con los datos necesarios en el momento oportuno, y la herramienta que gestione estos datos para definir las zonas de manejo o zonas donde la intensidad de una determinada labor es constante, e indicar qué tipo de problema aparece en cada una de ellas. Actualmente, la toma y manejo de estos datos constituye el cuello de botella en el MLC puesto que o bien no se cuenta con los sensores necesarios para obtenerlos con la periodicidad necesaria (lo ideal sería un seguimiento continuo del cultivo), bien son lentos de tomar, o son económicamente inviables. El principal objetivo marcado en este proyecto desarrolla una metodología que integra, con un coste asumible, todos los pasos necesarios para aplicar de manera eficiente el manejo localizado del cultivo, a partir de datos adquiridos desde cámaras fotográficas montadas sobre aeronaves teledirigidas de reducido tamaño. Se evaluará la utilidad de las imágenes adquiridas para obtener el modelo digital de elevaciones (MDE) de la explotación con un nivel de precisión adecuado, proponiendo una metodología cuyas herramientas sean cámaras no métricas y software de bajo coste. Se determinará además, mediante el análisis de las imágenes adquiridas, índices calculados a partir de la reflectancia para diferentes longitudes de onda que informen de manera eficaz sobre el estado del cultivo en cuanto a su contenido de nitrógeno, aparición de malas hierbas, y estado de crecimiento. Todo esto, en un tiempo de ejecución lo más reducido posible desde la toma de las imágenes. Por último, se pretende desarrollar e implementar un sistema de información geográfica a nivel de finca que permita el



C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa		Número Registro @ries	
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B	FECHA	14/04/2008
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	1 / 16
 5142930.0			

manejo rápido y eficiente de los datos y ayude a la toma de decisiones, lo que permitirá a la maquinaria adaptada a la agricultura de precisión actuar de manera eficiente.

ANTECEDENTES

La reducción del uso de productos fitosanitarios y fertilizantes es una preocupación de diferentes administraciones. Así, la Comunicación de la Comisión Europea "Hacia una estrategia temática para el uso sostenible de plaguicidas", sienta las bases para conseguir una utilización más sostenible de los plaguicidas, garantizando, al mismo tiempo, la protección necesaria de las cosechas. Por otro lado, la Directiva 91/676/CEE del Consejo Europeo, tiene por objeto proteger las aguas comunitarias contra nitratos de origen agrario, que son la principal causa de la contaminación desde fuentes difusas. En esta Directiva se insta a los Gobiernos de los diferentes Estados miembros a limitar la aplicación de abonos nitrogenados. En el año 2000, también a nivel Comunitario, se aprobaron nuevos planes de desarrollo rural, que incluyen una definición de buenas prácticas agrícolas, sobre la base de normas verificables en las que la protección del suelo recibe una atención considerable, como pilar fundamental para la generación de alimentos.

Otro ámbito del sector agrícola que irá cobrando cada vez mayor peso estratégico es el de la producción de biodiesel. La Directiva Europea de Energías en Bio Oil 2008, que obliga a los Estados miembros a alcanzar el objetivo del 10% en biodiesel en 2020 se disgrega en dos plazos: productos diesel cuya mezcla al 7% estará disponible en las estaciones de servicio el 31 de diciembre de 2010 y productos con mezcla al 10% en las mismas condiciones el 31 de diciembre de 2013. Esto provocará que algunas especies que desde hace unos años habían disminuido su superficie de cultivo (girasol y colza), aumenten en gran medida, e incluso ocupen zonas marginales, por lo que sería oportuno contar con técnicas que aumenten la eficacia de su explotación.

En este sentido, la agricultura de precisión (AP) hace uso de un conjunto de herramientas con el doble objetivo de conseguir, por un lado, un conocimiento más preciso de las condiciones en las que se desarrolla el cultivo, permitiendo así la toma de decisiones con un mejor criterio, y por otro lado, la ejecución de dichas decisiones. La consecución de estos dos objetivos tiene como consecuencias directas un manejo sostenible del sistema, más respetuoso con el medio ambiente, y una mejora económica, a través de la optimización de las diferentes labores (Berry et al., 2003, Kitchen et al., 2005)


El manejo localizado del cultivo (MLC), considerado como una manifestación de la AP, permite el tratamiento diferenciado por zonas, dentro de una misma parcela, consiguiendo de esta forma un uso más eficiente de los recursos (Agüera, 2001, Zhang et al., 2002). La aplicación de estas técnicas en explotaciones agrarias han llegado a conseguir una reducción del 35% en la aplicación de nitrógeno sin reducir el rendimiento de un cultivo de remolacha, o evitar un 15% de pérdidas de cosecha de por una oportuna aplicación de fungicidas (Seelan et al., 2003). Cualquiera de los insumos requeridos por la producción agrícola es susceptible de ser aplicado con técnicas de distribución variable. Basso et al., (2003) evaluaron la aplicación de laboreo a profundidad variable basada en datos de compactación del suelo obtenidos mediante un penetrómetro, frente al laboreo a profundidad constante, obteniendo mayores producciones y una reducción del 31% del coste de la operación. Además, también aumentaba el contenido de materia orgánica del suelo. Perry et al., (2003) describen un sistema de dosificación variable de riego en un pivó, con resultados muy favorables. Por otra parte, Maguire et al., (2003) adaptaron y ensayaron con éxito una sembradora de cebollas convencional para poder realizar siembra con densidad variable, logrando un 10% de incremento en la fracción comercializable de la producción total.

Sin embargo, donde hoy día se concentra el mayor interés por parte de agricultores, investigadores y fabricantes es en la distribución variable de agroquímicos: herbicidas, fungicidas y abonado, fundamentalmente el nitrogenado, debido a su elevada incidencia tanto económica como ambiental.

Las piezas clave del MLC son la disponibilidad de información que indique, para cada zona de la explotación, las condiciones actuales del propio cultivo, y los actuadores que, en base a dicha información, lleven a cabo las tareas necesarias en las zonas donde se requiera, y con el grado de intensidad adecuado, definiéndose así las llamadas zonas de manejo. Esto implica la necesidad de contar con información sobre el estado del cultivo a lo largo de su periodo de crecimiento, y con una alta resolución espacial (Seelan et al., 2003). El análisis de imágenes adquiridas desde sensores montados en diferentes plataformas (remotas: aviones o satélites, terrestres: vehículo móvil o sensores estáticos), ha sido una herramienta ampliamente usada en la AP. Desde hace tiempo se han venido desarrollando índices que utilizan para su cálculo la respuesta del cultivo en diferentes zonas del espectro, y con la finalidad de conocer el estado del mismo, en cuanto a contenido de nitrógeno (p.e: Shanahan et al. 2008, Zarco-Tejada et al., 2005), grado de estrés hídrico (p.e: Suarez et al., 2008, Sepulcre-Cantó et al., 2006, Ray et al., 2006), ataque de plagas o invasión de malas hierbas (p.e: Girma et al., 2005, Slaughter et al., 2008).



C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa		Número Registro @ries	
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B	FECHA	14/04/2008
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	2 / 16
 5142930.0			

Jurado-Expósito et al. (2003), estudiaron la reflectancia de girasol y trigo, así como la de varias especies de malas hierbas entre 450 y 950 nm a intervalos de 50 nm con el objetivo de discriminar los cultivos de las malas hierbas, obteniendo resultados positivos. Aunque estos resultados fueron consistentes, los autores advierten de que éstos fueron obtenidos en condiciones de laboratorio, de manera que su aplicación en condiciones de campo podría no ser inmediata.

Otro tipo de información fundamental para el MLC es la relacionada con la topografía de la explotación, ya que por un lado hay factores de la misma que condicionan el rendimiento: pendiente, zonas de encharcamiento, etc. (Vitharana et al., 2008, Fraisse et al., 2001), y por otro lado es imprescindible la georreferenciación de las tareas a realizar para que los actuadores puedan llevar a cabo su labor en el lugar preciso. Es por este motivo por lo que la primera tarea que se realiza en AP sea el levantamiento topográfico de la explotación. Las técnicas usadas para ello varían en función de la procedencia de los datos: la medición de coordenadas in situ con instrumentos clásicos como estación total o medios modernos como el GPS no son en la actualidad económicamente viables en la AP. La restitución fotogramétrica a partir de imágenes aumenta el rendimiento pero tampoco es viable en la AP debido al coste del software y equipo informático necesario, así como el grado de especialización del personal. En este sentido, el equipo solicitante ha llevado a cabo diversos trabajos en los que se ha demostrado que es posible usar software de bajo coste, inicialmente pensado para fotogrametría de objeto cercano, con fotografías aéreas (Aguilar et al., 2005a), así como el uso de cámaras no métricas con las que se ha obtenido una precisión suficiente en fotogrametría terrestre (Aguilar et al., 2005b), e incluso el uso de un software de desarrollo propio y el uso de cámaras estándar (Carvajal et al., 2006)

Las imágenes tomadas desde aviones cuentan con la ventaja de poder fijar la resolución tanto espacial como espectral variando la altura de vuelo o la longitud focal del objetivo de la cámara, pero tienen el inconveniente de su elevado coste y su dependencia de las condiciones atmosféricas (Shanahan et al., 2008). Por su parte, los satélites de muy alta resolución (QuickBird, Ikonos), proporcionan imágenes con una resolución (1 y 4 m respectivamente), que puede ser aceptable para el cálculo de índices relacionados con el estado del cultivo cuando éste ha llegado a un determinado nivel de crecimiento, pero no cuando el porcentaje de suelo cubierto es bajo. Además, el rango espectral de las mismas está limitado a las bandas roja, verde, azul e infrarrojo cercano, y al igual que las procedentes de aviones, aunque son más fáciles de manejar, dependen de las condiciones atmosféricas y son caras, problema que se acentúa aún más cuando se pretende hacer un seguimiento del cultivo a lo largo de su ciclo. Los mismos argumentos se pueden indicar si de lo que se trata es de obtener la topografía de la explotación.


Existen numerosos trabajos relacionados con el manejo localizado de cultivos en los que los sensores van montados sobre el vehículo que realiza la labor (p.e: Christy, 2008, Sui et al., 2008, Slaughter et al., 2008, Adamchuk et al., 2004), pero esto implica que el proceso de análisis de los datos se tenga que hacer en tiempo real, provocando en ocasiones, la ralentización de la labor. Adicionalmente, el vehículo tiene que recorrer y analizar toda la explotación para poder decidir en qué zonas tiene que actuar, disminuyendo así su eficacia (Auemhammer, 2001).

A la vista de lo expuesto, se deduce que es necesario contar con un sistema que proporcione datos lo suficientemente precisos, con la regularidad necesaria, y a un coste asumible, para poder llevar a cabo un MLC de una manera eficiente. En esta línea, el trabajo de Sugiura et al. (2005), tuvo como objetivo la rectificación de imágenes tomadas desde un helicóptero teledirigido de reducido tamaño, usando una cámara no métrica, en las bandas roja, verde, e infrarrojo cercano, para la cual solo tuvieron en cuenta como factores de distorsión de la imagen el aleteo, cabeceo y deriva de la nave, y no la topografía del terreno ni las distorsiones provocadas por la lente. Esto limitó su campo de aplicación a terrenos con pequeños desniveles. Rovira-Más et al. (2005) utilizaron una estéreo-cámara montada sobre un helicóptero convencional con el objetivo de generar modelos de elevaciones de cultivos. La reducida dimensión de la base de los estéreopares obtenidos provocó una reducida precisión en el cálculo de la elevación. Stombaugh et al., (2003) obtuvieron con éxito imágenes en el espectro visible y en el infrarrojo de parcelas de hasta 36 ha utilizando un aeromodelo de bajo coste, de 2,5 m de envergadura controlado desde tierra y una cámara digital de uso doméstico. En ellas podían apreciarse fácilmente zonas del cultivo con problemas imposibles de localizar desde el nivel del suelo. Vioix et al., (2004) emplean también un aeromodelo de radio-control equipado con un sensor multispectral, obteniendo imágenes de gran calidad que una vez analizadas permitieron la realización de mapas de prescripciones para tratamiento con distribución variable de herbicida.

Del procesado integral de toda la información recavada, debidamente georreferenciada, y en el menor tiempo posible, depende en gran parte el éxito del MLC. Existen en el mercado numerosos Sistemas de Información Geográfica, incluso específicos para AP, que cuentan con herramientas para llevar a cabo estas



C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa		Número Registro @ries	
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B	FECHA	14/04/2008
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	3 / 16
 5142930.0			

tareas, e incluso con un módulo de programación propio. Gutiérrez et al. (2008) utilizaron información de distinta naturaleza (fotografías aéreas, datos de rendimiento, MDE, y zonas infectadas de malas hierbas) para predecir el rendimiento del cultivo de girasol con zonas afectadas de malas hierbas, utilizando para ello diferentes modelos basados en redes neuronales, con resultados suficientemente precisos pero con un tiempo de procesado excesivo. Seelan et al. (2003), llevaron a cabo un manejo integral mediante sistemas de información geográfica de datos deducidos de imágenes procedentes de diferentes sensores remotos, los cuales fueron proporcionados a los agricultores de una gran zona con el objeto de que éstos pudieran recibirla rápidamente y pudieran actuar en consecuencia, logrando conseguir beneficios económicos y medioambientales por la disminución del uso de productos fitosanitarios y fertilizantes.

Referencias

ADAMCHUCK, V. I., HUMMEL, J. W., MORGAN, M. T., UPADHYAYA, S. K., 2004. On-the-go sensors for precision agriculture. *Comp. Electron. Agric.*, 44, 71-91.

AGÜERA, J. 2001. Agricultura de precisión: nuevas herramientas para el campo. *Vida Rural*, junio, 58-61.

AGUILAR, M. A., AGUILAR, F. J., AGÜERA, F., CARVAJAL, F., 2005a. The evaluation of close-range photogrammetry for the modelling of mouldboard Plough surfaces. *Biosystems Engineering*, 90(4), 397-407.

AGUILAR, M. A., AGUILAR, F. J., AGÜERA, F., 2005b. Mapping small areas using a low-cost close range photogrammetric software Packaged with aerial photography. *The Photogrammetric Record*, 20 (112), 335-350.

AUERNHAMMER, H., 2001. Precision farming – the environmental challenge. *Comp. Electron. Agric.* 30, 31-43.

BASSO, B., SARTORI, L., BERTOCCHI, M., OLIVIERO, G., 2003. Evaluation of variable depth tillage: economic aspects and simulation of long term effects on soil organic matter and soil physical properties. 4th European Conference on Precision Agriculture. Berlin. 61-67.

BERRY, J. K., DELGADO, J. A., KHOSLA, R., PIERCE, F. J., 2003. Precisión conservation for environmental sustainability. *J. Soil Water Conserv.*, 58, 332-339.

CARVAJAL, F., AGUILAR, M. A., AGÜERA, F., AGUILAR, F. J., GIRÁLDEZ, J. V., 2006. Maximum Depression Storage and Surface Drainage Network in Uneven Agricultural Landforms. *Biosystems Engineering*, 95 (2), 281-293.

CHRISTY, C. D., 2008. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. *Comp. Electron. Agric.*, 61, 10-19.

FRAISSE, C. W., SUDDUTH, K. A., KITCHEN, N. R., 2001. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. *Transaction of the ASAE*, 44(1), 155-166.

GUTIÉRREZ, P. A., LÓPEZ-GRANADOS, F., PEÑA-BRRAGÁN, J. M., JURADO-EXPÓSITO, M., GÓMEZ-CASERP, M. T., HERVÁS-MARTÍNEZ, C., 2008. Mapping sunflower yield as affected by *Ridolfia segetum* patches and elevation by applying evolutionary product unit neural networks to remote sensed data. *Comp. Electron. Agric.*, 60, 122-132.

JURADO-EXPÓSITO, M., LÓPEZ-GRANADOS, F., ATENCIANO, S., GARCÍA-TORRES, L., GONZÁLEZ-ANDÚJAR, J. L., 2003. Discrimination of weed seedlings, wheat (*Triticum aestivum*) stubble and sunflower (*Helianthus annuus*) by near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Crop Protection*, 22, 1177-1180.

KITCHEN, N. R., SUDDUTH, K. A., MYERS, D. B., MASSEY, R. E., SADLER, E. J., LERCH, R. N., HUMMEL, J. W., PALM, H. L., 2005. Development of a conservation-oriented precision agriculture system: crop production assessment and implementation. *J. Soil Water Conserv.*, 60, 421-430.

MAGUIRE, S., EARL, R., SMITH, D.F., CRIPSEY, P., GODWIN, R.J., 2003. Technology for variable rate precision drilling of onions. 4th European Conference on Precision Agriculture. Berlin. 373-378.

RAY, S. S., DAS, G., SINGH, J. P., PANIGRAHY, S., 2006. Evaluation of hyperspectral indices for LAI estimation and discrimination of potato crop under different irrigation treatments. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 5373-5387.

PERRY, C., POCKNEE, S., HANSEN, O., 2003. A variable rate pivot irrigation control system. 4th European Conference on Precision Agriculture. Berlin. 539-544.

ROVIRA-MÁS, F., ZHANG, Q., REID, J. F., 2005. Creation of three-dimensional crop maps base don cereal stereoisimages. *Biosystem Engineering*, 90(3), 251-259.


SEELAN, S. K., LAGUETTE, S., CASADY, G. M., SEILSTAD, A., 2003. Remote sensing applications for precision agriculture: a learning community approach. *Remote Sensing of Environment*, 88: 157-169.

SEPULCRE-CANTÓ, G., ZARCO-TEJADA, P. J., JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C., SOBRINO, J. A., MIGUEL, E. D., VILLALOBOS, F. J., 2006. Detection of water stress in an olive orchard with thermal remote sensing imagery. *Agricultural and Forest Meteorology*, 136, 31-44.

SHANAHAN, J. F., KITCHEN, N. R., RAUN, W. R., SCHEPERS, J. S., 2008. Response in-season nitrogen management for cereals. *Comp. Electron. Agric.*, 61, 51-62.



C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa	Número Registro @ries		
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B	FECHA	14/04/2008
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	4 / 16
 5142930.0			

SLAUGHTER, D. C., GILES, D. K., DOWNEY, D., 2008. Autonomous robotic weed control system: a review. *Comp. Electron. Agric.*, 61, 63-78.

STOMBAUGH, T., SIMPSON, A., JACOBS, J. AND MUELLER, T., 2003. A low cost platform for obtaining remote sensed imagery. 4th European Conference on Precision Agriculture. Berlin, 665-670.

SUAREZ, L., ZARCO-TEJADA, P., SEPULCRE-CANTÓ, G., PÉREZ-PRIEGO, O., MILLER, J. R., JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C., SOBRINO, J. 2008. Assessing canopy PRI for water stress detection with diurnal airborne imagery. *Remote Sensing of Environment*, 112, 560-575.

SUGIURA, R., NOGUCHI, N., ISHII, K., 2005. Remote-sensing technology for vegetation monitoring using an unmanned helicopter. *Biosystems Engineering*, 90(4), 369-379.

SUI, R., THOMASSON, J. A., HANKS, J., WOOTEN, J., 2008. Ground-based sensing system for weed mapping in cotton. *Comp. Electron. Agric.*, 60, 31-38.

VITHARANA, U. W. A., MEIRVENNE, M. V., SIMPSON, D., COCKX, L., BAERDEMAEKER, J. D., 2008. Key soil and topographic properties to delineate potential Management classes for precision agriculture in the European loess area. *Geoderma*. 143, 206-215.

VIOIX, J.B., DOUZALS, J.P., TRUCHETET, F., 2004. Aerial detection and localization of weed by using multispectral and spatial approaches. *AgEng 2004 Leuven (Belgium)*.

ZARCO-TEJADA, P. J., BERJÓN, A., LÓPEZ-LOZANO, R., MILLER, J. R., MARTÍN, P., CACHORRO, V., GONZÁLEZ, M. R., FRUTOS, A. D., 2005. Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment*, 99, 271-287.

ZHANG, N., WANG, M., WANG, N., 2002. Precision agriculture – A worldwide overview. *Comput. Electron. Agric.*, 36 (2), 113-132.

OBJETIVOS

El principal objetivo del presente proyecto es el desarrollo de una metodología que integre, con un coste asumible, todos los pasos necesarios para aplicar de manera eficiente el manejo localizado del cultivo, a partir de datos adquiridos desde sensores montados sobre aeronaves teledirigidas de reducido tamaño. Este objetivo genérico engloba a una serie de objetivos específicos:

1. Evaluar la utilidad de las imágenes adquiridas para obtener el modelo digital de elevaciones (MDE) de la explotación con un nivel de precisión adecuado, proponiendo una metodología cuyas herramientas sean cámaras no métricas y software de bajo coste.
2. Determinar mediante el análisis de las imágenes adquiridas, índices calculados a partir de la reflectancia para diferentes longitudes de onda que informen de manera eficaz sobre el estado del cultivo en cuanto a su contenido de nitrógeno, aparición de malas hierbas, y estado de crecimiento. Todo esto, en un tiempo de ejecución lo más reducido posible desde la toma de las imágenes.
3. Desarrollar e implementar en un sistema de información geográfica a nivel de finca los algoritmos que permitan el manejo rápido y eficiente de los datos y ayude a la toma de decisiones.

METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

La metodología a seguir en cada uno de los objetivos planteados se describe a continuación:

1. *Evaluar la utilidad de las imágenes adquiridas para obtener el modelo digital de elevaciones (MDE) de la explotación con un nivel de precisión adecuado, proponiendo una metodología cuyas herramientas sean cámaras no métricas y software de bajo coste.*


Con este objetivo se pretende elaborar el MDE de una superficie topográfica obtenido a partir de imágenes adquiridas desde una aeronave dirigida por control remoto, cámaras no métricas y software de bajo coste, para lograr una notable disminución del coste de esta representación. Se escogerán superficies topográficas con diferentes morfologías: desde plana hasta muy ondulada. Las tareas propuestas para el cumplimiento de este objetivo, las cuales serán aplicadas a cada una de las morfologías, se detallan a continuación:

1.1. Calibración de la cámara.

La calibración permitirá conocer una serie de parámetros relacionados con ciertas características de la cámara usada: longitud focal de la lente, tamaño del sensor de la cámara, punto principal, y una serie de parámetros relacionados con la distorsión característica de la lente. Será necesario llevarla a cabo una vez para cada cámara que se use y cada distancia focal, así como llevar a cabo revisiones periódicas para corregir la



C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa		Número Registro @ries	
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B	FECHA	14/04/2008
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	5 / 16
 5142930.0			

modificación de estas distorsiones debidas a desajustes y desgastes en los mecanismos de accionamiento de la óptica.

Se realizará en unas condiciones lo más parecidas posible a aquellas en las que se trabajará. Para ello, se proyectará una retícula cuadrada sobre una pared lisa y se tomarán una serie de fotografías desde diferentes ángulos que posteriormente tratadas nos permitirán obtener los parámetros de calibración.

La cámara fotográfica a usar será digital y con la mayor resolución posible, con sensor CCD (el cual es sensible al infrarrojo). Se ensayarán dos configuraciones: una con el sensor activo en los canales rojo, verde y azul, y otra con el sensor activo en los canales rojo, verde e infrarrojo, que son los más utilizados a la hora del cálculo de índices relacionados con los cultivos.

1.2. Definición del plan de vuelo fotogramétrico óptimo.

En función de la distancia focal, de la resolución del sensor de la cámara, y de los solapes longitudinal y transversal de las fotografías tomadas, se fijarán diferentes alturas de vuelo para conseguir imágenes cuyos píxeles se correspondan con diferentes tamaños en el terreno (a mayor altura de vuelo un píxel del sensor captará más superficie del terreno, con la consiguiente pérdida de nivel de detalle). El plan de vuelo indicará las coordenadas de los puntos desde donde se tomarán las fotografías.

La aeronave a utilizar será el modelo MD4-1000 de la marca Microdrones (<http://www.microdrones.com/md4-1000.html>), cuyas características principales son:

- envergadura menor de 1 m
- despegue y aterrizaje vertical, lo que no obliga a contar con ningún tipo de pista
- 1,4 kg de carga útil
- dirigido por control remoto
- provista de un receptor GPS y magnetómetro para determinar deriva, aleteo y cabeceo
- posibilidad de piloto automático: se le puede fijar la ruta y los puntos desde donde tomar las diferentes fotografías
- fácil de pilotar
- sistema de propulsión a partir de cuatro motores eléctricos, lo que reduce las vibraciones, así como el aleteo y cabeceo, contribuyendo así a la calidad de las imágenes.
- Se le pueden adaptar diferentes cámaras y almacenar las fotografías.

Cada altura de vuelo proporcionará un conjunto de imágenes a partir de las cuales se obtendrá una representación del terreno con diferente precisión. Se trata de determinar la mayor altura de vuelo (para manejar el menor número de imágenes) con la que se consiga una precisión aceptable.

El material fotográfico obtenido será tratado con el módulo de fotogrametría aérea y satelital OrthoEngine de PCI Geomática 10 (ejes de las fotografías paralelos), y PhotoModeler, un software de fotogrametría de objeto cercano (ejes de las fotografías convergentes), de menor coste. El grupo solicitante cuenta con ambos programas. También se ensayará con diferentes grados de convergencia de los ejes de las fotografías para comprobar su influencia en la precisión del MDE final.

Será necesario realizar algunos trabajos electrónicos, relacionados con el accionamiento del disparador de la misma, para adaptar la cámara a la aeronave. El software proporcionado por el constructor de la aeronave permite almacenar los datos del GPS y del magnetómetro en el momento de la toma de cada fotografía.


1.3. Obtención del MDE con el software de fotogrametría aérea.

El flujo de trabajo será el mismo para los dos programas informáticos a usar (fotogrametría aérea o de objeto cercano):

- a) Introducción de los datos de calibración de la cámara.
- b) Orientación externa o registro. Se usarán tres metodologías diferentes para comparar la precisión que ofrecen:
 - Puesto que el equipo irá provisto con GPS y magnetómetro, la orientación externa se podrá obtener directamente. Para los cálculos posteriores, se usarán las coordenadas brutas dadas por el GPS de la aeronave, las corregidas a partir de un segundo receptor, y las corregidas a partir de las señales de corrección gratuitas procedentes del sistema RASANT o EGNOS, caso de estar disponibles. Esto



C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa		Número Registro @ries	
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B	FECHA	14/04/2008
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	6 / 16
 5142930.0			

proporcionará información acerca de la influencia de las diferentes correcciones sobre la precisión final del MDE.

- A partir de puntos de control situados sobre el terreno (GCP). Para estar seguros de poder contar con el suficiente número de GCP, se distribuirán por la superficie a fotografiar una serie de marcas cuyas coordenadas planimétricas y altimétricas se medirán con un GPS de precisión centimétrica trabajando en modo RTK, y llevando a cabo una corrección diferencial a partir de un segundo receptor colocado en un punto de coordenadas conocidas. Se estudiará la influencia del número GCP sobre la precisión del MDE y así poder determinar el mínimo número de GCP necesarios para conseguir una determinada precisión.
- A partir de una técnica híbrida de las dos anteriores. Contar con ambas posibilidades puede aumentar la precisión del MDE con un número escaso de GCP.

c) Generación del MDE. Se realizará a partir de las coordenadas planimétricas y altimétricas de una nube de puntos identificados sobre las imágenes y una posterior interpolación para conseguir la malla regular. Anteriores trabajos del grupo han demostrado que las funciones multicuadráticas de base radial son los interpoladores que ofrecen MDEs más precisos, pero a pesar de ello se evaluarán otros métodos, ya que las condiciones no serán las mismas que en dichos trabajos.

1.4. Medida de la precisión del MDE.

Para cada MDE obtenido se realizará una medida de su precisión a partir de las coordenadas calculadas y las medidas con GPS de una serie de puntos de comprobación (PC), marcados sobre el terreno a la vez que los GCP. El error medio cuadrático de las componentes x, y, z será calculado según las siguientes expresiones:

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{PCm} - x_{PCe})^2} \cdot RMSE_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{PCm} - y_{PCe})^2} \cdot RMSE_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_{PCm} - z_{PCe})^2}$$

donde el subíndice PCm significa componente medida del punto de control, y PCe significa componente estimada del punto de control, n es el número de puntos de control tenidos en cuenta.

Según el US National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA), si no existen errores sistemáticos en los datos, las precisiones vertical y horizontal (P_v , P_h , respectivamente) con un intervalo de confianza del 95% pueden ser computadas de la siguiente manera:

$$P_v = 1.9600 \times RMSE_z \quad P_h = 1.7308 \times RMSE_h$$

donde $RMSE_h$ es el error medio cuadrático horizontal, dado por:

$$RMSE_h = \sqrt{(RMSE_x^2 + RMSE_y^2)}$$

Con estos valores, y teniendo en cuenta un valor de 0.2 mm como límite de percepción visual humana, se podrá estimar la mayor escala a la que se puede representar el terreno:

$$D_e \geq P_h / 0.2$$

donde P_h está expresado en mm, y D_e representa el denominador de la escala.

Todas las tareas de este primer objetivo se realizarán durante el primer año del proyecto sobre terrenos diferentes a los de las fincas donde se efectuarán los ensayos con cultivos. Cuando la metodología puesta a punto en este objetivo se aplique sobre las explotaciones en las que se llevarán a cabo ensayos con material vegetal, se hará cuando el suelo esté desnudo.

2. Determinar mediante el análisis de las imágenes adquiridas, índices calculados a partir de la reflectancia para diferentes longitudes de onda que informen de manera eficaz sobre el estado del cultivo en cuanto a su contenido de nitrógeno, aparición de malas hierbas, y estado de crecimiento. Todo esto, en un tiempo de ejecución lo más reducido posible desde la toma de las imágenes.


Con este objetivo se pretende obtener una serie de índices que permitan conocer el estado del cultivo a lo largo de su ciclo en cuanto al contenido de nitrógeno, aparición de malas hierbas, y estado de crecimiento, a partir de la información geométrica y espectral deducible de las imágenes adquiridas desde la aeronave por control remoto.

Se realizarán una serie de ensayos con cultivos de trigo y girasol, una rotación típica de las explotaciones del Valle del Guadalquivir, y que además del consumo humano, cobran cada vez más importancia como biocombustibles. La finca donde se llevarán a cabo será el campo de experimentación del Campus de Rabanales, de la Universidad de Córdoba, durante dos campañas agronómicas los años segundo y tercero del proyecto.

Las tareas conducentes a la consecución de este objetivo serán:



C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa		Número Registro @ries	
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B	FECHA	14/04/2008
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	7 / 16
 5142930.0			

2.1. Mapeo del estado del contenido en nitrógeno del cultivo.

Con el objeto de asegurar que el factor limitante para la asimilación de nitrógeno por parte del cultivo no sea el agua, se diseñará un ensayo en riego. Cada dosis de nitrógeno (cinco dosis) se regará con diferente cantidad de agua. En principio se puede pensar en una línea fuente en la que las dosis de nitrógeno se dispongan paralelas a dicha línea, mientras que las repeticiones perpendiculares. El objetivo es contar con un amplio rango en cuanto al contenido de nitrógeno en la planta distribuido por toda la parcela experimental, para poder así establecer relaciones entre dicho contenido y los índices propuestos, además de poder experimentar también con la georreferenciación de los datos. Se estima que dos hectáreas por temporada, una por cultivo, serán suficientes.

A lo largo del ciclo se tomarán fotografías cada dos semanas aproximadamente desde la aeronave, y a la vez se cosechará una muestra correspondiente a cada dosis de nitrógeno y repetición para determinar en laboratorio el contenido en nitrógeno. Por combinación de los valores digitales registrados en cada banda, se valorarán índices relacionados con el contenido en N estudiados por otros autores, y se intentará modificarlos para mejorarlos o determinar alguno nuevo.

2.2. Mapeo de las zonas afectadas por malas hierbas.

En esta tarea se usarán las mismas imágenes que en la anterior. La primera labor será digitalizar las zonas afectadas por malas hierbas a partir de la inspección ocular de las fotografías y datos tomados en el campo en el momento de su toma. Esto servirá para compararlas con los resultados obtenidos por la metodología que aquí se propone.

Se compararán dos metodologías: por un lado se llevará a cabo una segmentación de la imagen y posterior clasificación de los objetos resultantes, y por otro una clasificación píxel a píxel. Para ambas propuestas, se usarán diferentes combinaciones de bandas. Las clases que se tendrán en cuenta en las clasificaciones serán cultivo, suelo, y malas hierbas.


El software usado para la segmentación será Multispec (Landgrebe et al. 2005), de distribución libre y con el que el grupo solicitante tiene experiencia en su manejo. La elección de los parámetros óptimos que definen la segmentación se realizará a partir de la metodología propuesta por Wang et al. (2004), que consiste en tomar las zonas de entrenamiento definidas y llevar a cabo la segmentación con diferentes grupos de valores de los parámetros. El grupo de valores que de cómo resultado la mayor separación entre los objetos homogéneos resultantes será elegido como óptimo. El parámetro propuesto para medir la distancia entre objetos puede ser el de Bhattacharya, o el de Jeffries-Matusita (Richards et al. 1999). Para la clasificación de los objetos homogéneos, se compararán los métodos de máxima verosimilitud y vecino más cercano.

Respecto a la clasificación por píxel, se comparará también la precisión de varios métodos de clasificación (máxima verosimilitud y redes neuronales) y se usarán diferentes combinaciones de bandas espectrales para llevarla a cabo.

Además de las bandas espectrales, en la clasificación por píxel se usará información relativa a la textura de la imagen, la cual se incorporará como una banda más en el proceso de clasificación. La metodología propuesta calcula en primer lugar una serie de parámetros que definen la textura de la imagen, estimados a partir de la llamada matriz de co-ocurrencia del nivel de gris (GLCM, Grey Level Co-occurrence Matrix), o del vector de diferencias de niveles de grises (GLDV, Grey Level Difference Vector) (Haralick et al., 1973). El número de píxeles (tamaño de ventana) usados para el cálculo de los elementos de la GLCM o del GLDV, la posición relativa entre ellos, o el fondo de escala (número de bits) para la imagen resultante, son variables que influyen en el valor de dichos elementos, para cada uno de los parámetros de textura que se citan en la bibliografía (homogeneidad, contraste, disimilitud, media, desviación estándar, entropía, momento angular de segundo orden, o correlación). Trabajos llevados a cabo por diferentes autores no han demostrado de manera clara que uno de estos parámetros sea el óptimo, ni que un valor concreto de cada variable para su cálculo sea el óptimo (p.e: Chen et al. 2004, Puissant et al. 2005, Agüera et al., en prensa), aunque todos concluyen que existe una cierta relación entre la resolución de la imagen y la clase bajo estudio con una combinación de parámetro-variables de cálculo que mejor extrae la clase en cuestión. En este trabajo, cada uno de los parámetros de textura citados anteriormente será calculado para varios tamaños de ventana (3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11, 15x15, 21x21 píxeles), y niveles de gris (1024, 256, 128, 64, 32, 16 bits), y cada una de las imágenes de textura resultante será añadida como una capa más en los métodos de clasificación por píxel.



C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa		Número Registro @ries	
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B	FECHA	14/04/2008
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	8 / 16
 5142930.0			

El software que se utilizará para llevar a cabo esta tarea será PCI Geomática v10, del que el grupo solicitante cuenta con una licencia.

Tanto en la clasificación por píxel como en la segmentada, se estudiará también la influencia en la precisión de los resultados de las reglas de decisión lógicas basadas en características geométricas (el contorno de las manchas de malas hierbas tendrá características geométricas diferentes a las del cultivo), generadas por el software See5.

Se espera que la combinación de consideraciones tanto geométricas como espectrales proporcionen la información necesaria para además de detectar las zonas afectadas por malas hierbas, se identifique la especie, para poder llevar a cabo su tratamiento de manera eficaz.

La precisión de todas las clasificaciones se medirá comparando los resultados arrojados por éstas con la realidad, digitalizada tal y como se indicó al principio.

2.3. Determinación del estado de crecimiento del cultivo.

Con esta tarea se pretende conocer el volumen de la masa vegetal existente en una superficie determinada y poder usarla como dato para la optimización de algunas labores, como por ejemplo la pulverización adaptada al cultivo.

La metodología propuesta se basa en la obtención del MDE de la superficie (terreno y cultivo: MDES). La diferencia entre este MDE y el obtenido con el suelo desnudo dará como resultado el volumen correspondiente a la masa vegetal en el momento de la toma fotográfica.

Debido a la compleja geometría de las plantas, la obtención del MDES combinará técnicas de fotogrametría y de clasificación de imágenes. Mediante técnicas de clasificación de imágenes como las descritas en el apartado anterior se podrá discriminar el cultivo, que aparecerá como una serie de manchas alargadas, correspondiente a las diferentes líneas, cuyo contorno aparente tendrá un ancho variable. Por otro lado, para cada línea, y mediante técnicas fotogramétricas, se obtendrá la altura respecto al suelo de una serie de puntos situados en la zona más alta de las plantas. Con el ancho y la altura se podrá hacer una estimación del volumen de la masa vegetal. La precisión de los resultados se medirá por comparación de los mismos con el volumen de la masa vegetal obtenido mediante un escáner láser 3D en diferentes zonas del cultivo. En las primeras fases de crecimiento del cultivo, esta metodología será difícil de aplicar debido a su reducido tamaño. En este caso se usará la relación entre el área foliar y la superficie proyectada de la planta. Para ello, se cosecharán una serie de plantas, se le medirá su superficie foliar mediante un planímetro con el que cuenta el equipo, y se medirá en las imágenes su superficie proyectada.


3. Desarrollar e implementar en un sistema de información geográfica a nivel de finca los algoritmos que permitan el manejo rápido y eficiente de los datos y ayude a la toma de decisiones.

Con este objetivo se pretende desarrollar una herramienta que permita la gestión de todos los datos recabados y proporcione la información necesaria para la poder llevar a cabo de manera eficiente el manejo localizado del cultivo estableciendo lo que se denominan "zonas de manejo", que según Doerge, (1999) son sub-regiones dentro de una parcela que muestran una combinación homogénea de factores limitantes del rendimiento, lo que hace que sus necesidades para un determinado insumo sean iguales en toda ella. Puesto que su definición de basará en datos constantemente actualizados, las zonas de manejo no permanecerán invariables, sino que podrán modificarse durante el ciclo del cultivo. Los algoritmos que definan estas zonas tendrán en cuenta la morfología del terreno (pendiente, zonas de posible encharcamiento, altura, etc.), índices indicadores del contenido en nitrógeno (se podrá establecer un umbral por debajo del cual alerte sobre esta circunstancia, si el área afectada es mayor que un mínimo pre-establecido), grado de infestación por malas hierbas (teniendo en cuenta las mismas consideraciones que para el contenido en nitrógeno). Además, se podrá tener constancia gráfica a través de diferentes mapas temáticos, almacenar los datos de varias campañas para tener registro de la evolución de la parcela, constituyendo un SIG de asesoramiento al manejo localizado.

El trabajo de campo de esta tarea se realizará en una finca privada de la campiña cordobesa, usando para ello una abonadora convencional, así como una máquina pulverizadora convencional, ambas modificadas a la tecnología de distribución variable, desarrolladas en otro proyecto de investigación en el que parte del equipo solicitante ha participado. La producción será registrada a través de un monitor de rendimiento acoplado en la cosechadora, que tendrá que ser calibrado La rutina de campo de la cosecha monitorizada hará posible conocer la



C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa		Número Registro @ries	
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B	FECHA	14/04/2008
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	9 / 16
 5142930.0			

masa total recogida por la cosechadora cuando va a descargar al contenedor mediante dos células de carga sobre las que se subirán las ruedas de la cosechadora indicándonos su peso total. Esto permitirá disponer de gran número de medidas para la calibración. Esta tarea se llevará a cabo durante el último año del proyecto y dejará las puertas abiertas para la continuación del mismo en una segunda fase en la que se evaluarían los beneficios económicos y ambientales (a partir de la reducción de los insumos frente a la producción) derivados de la implementación de la metodología propuesta.

Referencias

AGÜERA, F., AGUILAR, F. J., AGUILAR, M. A., in press. Using texture analysis to improve per-pixel classification of very high resolution images for mapping greenhouses. ISPR Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.

CHEN, D., STOW, D. A., GONG, P., 2004. Examining the effect of spatial resolution and texture window size on classification accuracy: an urban environment case. International Journal of Remote Sensing 25 (11), 2177-2192.

DOERGE, T. (1999). Defining management zones for precision farming. Crop Insight 8, 21, Pioneer Hybrids.

HARALICK, R. M., SHANMUGAN, K., DINSTEIN, I., 1973. Textural features for image classification. IEEE Transactions. On Systems, Man, and Cybernetics, 3 (6), 610-621.

LANDGREBE, D. A., BIEHL, L., 2005. An introduction to Multispect. Available on line at: <http://cobweb.ecn.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/documentation.html> (accessed 8 april 2008)

PUISSANT, A., HIRSCH, J., WEBER, C., 2005. The utility of texture analysis to improve per-pixel classification for high to very high spatial resolution imagery. International Journal of Remote Sensing, 26 (20) 733-745.

RICHARDS, J.A., XIUPING, J., 1999. Remote Sensing Digital Image Analysis. An introduction. Springer Ed.

US NATIONAL STANDARD FOR SPATIAL DATA ACCURACY (NSSDA), 1999. Positional accuracy handbook. Using the national Standard spatial data accuracy to measure and report geographic data quality.


WANG, L., SOUSA, W. P., GONG, P., BIGING, S., 2004. Comparison of IKONOS and QuickBird images for mapping mangrove species on the Caribbean coast of Panama. Remote Sensing of Environment, 91 (3-4), 432-440.

Cronograma previsto.

El desarrollo de las diferentes tareas a llevar a cabo para alcanzar los objetivos propuestos en el proyecto que se solicita, se ajustará al siguiente cronograma:




C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa		Número Registro @ries	
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B	FECHA	14/04/2008
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	10 / 16
 5142930.0			

TAREA	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4
1. Obtención del MDE				
1.1. Calibración de las cámaras				
1.2. Plan de vuelo óptimo				
1.3. Generación del MDE				
1.4. Precisión del MDE				
2. Cálculo de índices sobre el estado del cultivo				
2.1. Índices de contenido en N				
2.2. Mapeo de malas hierbas				
2.3. Estado crecimiento cultivo				
3. Desarrollo y aplicación del SIG				
3.1. Desarrollo del SIG con las herramientas de apoyo a la toma de decisiones para el MLC.				
3.2. Aplicación de la metodología en explotaciones comerciales				
4. Análisis y discusión de los resultados. Conclusiones				



C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa		Número Registro @ries	
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B		FECHA
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	11 / 16
 5142930.0			

Distribución del trabajo.

La implicación de los investigadores en cada una de las actividades planteadas para la consecución de los objetivos del proyecto es la siguiente:

TAREA 1.1	Calibración de las cámaras	
	Responsable	Fernando Carvajal Ramírez
	Participantes	Francisco Agüera Vega, Julián Sánchez-Hermosilla López, Juan Agüera Vega, Manuel Pérez Ruiz
TAREA 1.2	Plan de vuelo óptimo	
	Responsable	Fernando Carvajal Ramírez
	Participantes	Francisco Agüera Vega, Julián Sánchez-Hermosilla López, Juan Agüera Vega, Manuel Pérez Ruiz
TAREA 1.3	Generación del MDE	
	Responsable	Fernando Carvajal Ramírez
	Participantes	Francisco Agüera Vega, Julián Sánchez-Hermosilla López, Juan Agüera Vega, Manuel Pérez Ruiz
TAREA 1.4	Evaluación de la precisión del MDE	
	Responsable	Fernando Carvajal Ramírez
	Participantes	Francisco Agüera Vega, Julián Sánchez-Hermosilla López, Juan Agüera Vega, Manuel Pérez Ruiz
TAREA 2.1	Índices de contenido en N	
	Responsable	Francisco Agüera Vega
	Participantes	Fernando Carvajal Ramírez, Julián Sánchez-Hermosilla López, Juan Agüera Vega, Manuel Pérez Ruiz
TAREA 2.2	Mapeo de zonas afectadas con malas hierbas	
	Responsable	Francisco Agüera Vega
	Participantes	Fernando Carvajal Ramírez, Julián Sánchez-Hermosilla López, Juan Agüera Vega, Manuel Pérez Ruiz
TAREA 2.3	Determinación del estado de crecimiento del cultivo	
	Responsable	Francisco Agüera Vega
	Participantes	Fernando Carvajal Ramírez, Julián Sánchez-Hermosilla López, Juan Agüera Vega, Manuel Pérez Ruiz
TAREA 3.1	Desarrollo del SIG y herramientas para la toma de decisiones	
	Responsable	Julián Sánchez-Hermosilla López
	Participantes	Fernando Carvajal Ramírez, Julián Sánchez-Hermosilla López, Juan Agüera Vega, Manuel Pérez Ruiz
TAREA 3.2	Aplicación de la metodología en explotaciones comerciales	
	Responsable	Juan Agüera Vega
	Participantes	Fernando Carvajal Ramírez, Julián Sánchez-Hermosilla López, Francisco Agüera Vega, Manuel Pérez Ruiz
TAREA 4	Análisis y discusión de los resultados. Conclusiones.	
	Responsable	
	Participantes	Todo el equipo

Personal de apoyo licenciado contratado: participará en todas las tareas

RESULTADOS ESPERADOS, DIFUSIÓN Y EXPLOTACIÓN

Resultados esperados

La consecución de los objetivos marcados en el proyecto permitirá el uso de una metodología que proporcione de forma casi inmediata la información necesaria para llevar a cabo un manejo localizado del cultivo, con los beneficios ambientales, para la salud, y económicos que ello conlleva, por medio de un uso más eficiente de los insumos.

A partir de las fotografías tomadas desde una nave de aeromodelismo, con cámaras de bajo coste con sensores CCD, sensibles en el rojo, verde, azul e infrarrojo cercano, se obtendrá:



C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa		Número Registro @ries	
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B	FECHA	14/04/2008
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	12 / 16
 5142930.0			

- la representación de la morfología de la explotación con suficiente precisión y mediante el uso de herramientas de bajo coste.
- definición de una serie de índices, obtenidos por el estudio espectral y geométrico de las imágenes, relacionados con el contenido de nitrógeno en la planta, la identificación de las zonas invadidas por malas y distinción de la especie, y el volumen de masa vegetal.

Debido a la rapidez del procesado de las imágenes para obtener estos índices a través del SIG que se desarrollará, se podrá hacer un seguimiento prácticamente continuado del cultivo, contando así con una herramienta que asista en la toma de decisiones sobre el manejo del cultivo.

Difusión y explotación de los resultados

Los resultados se difundirán en primer lugar en revistas incluidas en el Journal Citation Reports, del Science Citation Index (Institute of Science Information, Philadelphia, PA, USA), relacionadas con la temática del proyecto (Crops Science, European Journal of Agronomy, Transaction of ASABE, Biosystems Engineering, Remote Sensing of Environment, International Journal of Remote Sensing, Precision Agriculture, Computers and Electronic y Agriculture, etc.), en las que todos los miembros del equipo han publicado. La asistencia a Congresos y Workshops es otra vía para difundir los resultados, a la vez que fomenta la discusión con colegas que trabajen en temas relacionados.

En cuanto a la divulgación de los resultados, se participará en foros de agricultores que estén aplicando o interesados en las técnicas de la agricultura de precisión. A este respecto, el miembro del grupo Juan Agüera Vega ha participado a nivel nacional en numerosos eventos de este tipo, entre los cuales cabe destacar las siguientes conferencias impartidas por invitación:

Sistemas de Posicionamiento Global y Autoguiado. Marzo de 2007. Conferencia en la Jornada Técnica de la "Feria Catalana de Maquinaria Agrícola de Mollerussa". Mollerussa (Lleida).

Diferentes técnicas de Agricultura de Precisión de inmediata aplicación al sector agrícola Andaluz. Diciembre 2006. Jornada de transferencia sobre nuevas tecnologías en el sector agrícola. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Córdoba.

Ahorro energético en las operaciones mecanizadas de la agricultura. Marzo 2006. Conferencia en la Jornada Técnica de la "Feria Catalana de Maquinaria Agrícola de Mollerussa". Mollerussa (Lleida).

Agricultura de precisión. Mayo 2005. Actos conmemorativos del sesquicentenario de la titulación de Ingeniero Agrónomo. ETSIAM. Córdoba.

Fundamento de las técnicas de Ayuda al Guiado. Marzo 2004. Jornada sobre Tecnologías Avanzadas en Agricultura de Precisión y Conservación. Córdoba.

Las posibilidades de la Agricultura de Precisión en Andalucía. Junio 2003. Conferencia impartida con motivo de la Asamblea General del Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Andalucía. Granada.

A nivel internacional, la participación se puede resumir con las siguientes ponencias invitadas:

MECANIZACIÓN DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN. 2005. Congreso Internacional de Agricultura de Conservación. Asociación Española de Agricultura de Conservación – Suelos Vivos / Federación Europea de Agricultura de Conservación, Córdoba (España).

AHORRO ENERGÉTICO EN EL USO DEL TRACTOR. 2005. Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación. Asociación Española de Agricultura de Conservación – Suelos Vivos / Federación Europea de Agricultura de Conservación. Córdoba (España).

NUEVAS TECNOLOGÍAS EN AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN: CONTROL DE LA COMPACTACIÓN Y TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN. 2004. II Jornada Iberoamericana de Agricultura de Conservación. Asociación Española de Agricultura de Conservación – Suelos Vivos / Federación Europea de Agricultura de Conservación.

A nivel de transferencia de resultados al sector empresarial, las empresas Oficampo, Todoviña y Soluciones Agrícolas de Precisión, mantienen un contacto continuo con el grupo y han mostrado interés en los resultados derivados del proyecto para poderlos aplicar a su metodología de trabajo.



C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa		Número Registro @ries	
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B	FECHA	14/04/2008
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	13 / 16
 5142930.0			

Se podrá derivar una tesis doctoral, ligada a la disponibilidad de doctorandos, y varios trabajos profesionales fin de carrera.

RELACIÓN DEL PERSONAL DEL EQUIPO QUE PARTICIPA EN LA ACTIVIDAD

El proyecto que se solicita será llevado a cabo por investigadores pertenecientes al grupo de investigación "Tecnologías de la Producción Agraria en Zonas Semiáridas" (código PAI AGR-199, www.ual.es/GruposInv/AGR-199), de la Universidad de Almería, y del grupo "Mecanización y Tecnología Rural" (código PAI AGR-126), de la Universidad de Córdoba y Sevilla.

Las líneas de investigación del grupo AGR-199 relacionadas con el proyecto solicitado son la aplicación de la teledetección, fotointerpretación y SIG al análisis y evaluación de recursos productivos, la mecanización de las operaciones en cultivos bajo invernadero. Desde 2002, año de concesión del proyecto CICYT "Racionalización de las aplicaciones fitosanitarias en cultivos hortícolas bajo invernaderos mediante una plataforma móvil autónoma", el grupo ha trabajado con índices de cultivo indicadores de su estado de crecimiento como datos para la optimización de la aplicación de productos fitosanitarios, llegando a patentar una máquina autopropulsada para tratamientos fitosanitarios en cultivos intensivos, explotada comercialmente en la actualidad. Asimismo, cuenta con amplia experiencia en teledetección, fotointerpretación, y generación, evaluación y explotación de modelos digitales del terreno. El proyecto "Generación, integración y actualización de cartografía digital como soporte a modelos de desarrollo rural sostenible. Propuesta metodológica y aplicación en el Campo de Níjar (Almería)", concedido en el año 2001, permitió al grupo trabajar con imágenes satelitales de muy alta resolución (QuickBird e Ikonos) para extraer información de diferente tipo.

Por otro lado, el grupo AGR-126 viene trabajando desde 1984 en el uso de la maquinaria en los sistemas de Agricultura de Conservación y en el ensayo en campo, con sistemas electrónicos de medida, de los tractores y las operaciones mecanizadas, tanto en cultivos extensivos como en el olivar. Dentro de estas líneas, ha desarrollado, patentado y transferido a otros equipos de investigación sistemas de medida de la compactación del suelo a través del índice de Cono, equipos de medida "in situ" de la cohesión y el rozamiento interno de los suelos (bevámetro) y medidores sin contacto de microrrelieve de los suelos mediante sensores láser.

El grupo solicitante del proyecto inició la línea de Agricultura de Precisión en el año 2000 con una estancia del miembro del grupo Juan Agüera Vega en el Department of Biological and Agricultural Engineering de la Universidad de California, Davis, durante la cual se integró en el equipo del Prof. Shrini Upadhyaya colaborando en el proyecto "Precision Farming", financiado por el USDA, lo que le permitió adquirir una gran formación y experiencia en AP, dado el reconocido prestigio internacional de este equipo. Durante la misma tuvo oportunidad de desarrollar una metodología para el ensayo y puesta a punto de un sensor de humedad para uso en AP así como de un sensor de compactación del suelo. Además siguió el curso "Precision Agriculture" impartido en la citada Universidad por el Prof. Upadhyaya y otros especialistas en el tema.

Por otro lado, el responsable del proyecto que se solicita, Francisco Agüera Vega, realizó una estancia en el año 2007 en el Department of Engineering and Earth Science del Imperial College London, UK, integrado en el grupo de Jian Guo Liu, durante la cual tuvo la oportunidad de trabajar con imágenes procedentes de diversos sensores remotos y utilizar diversas técnicas para su explotación. Asimismo, tuvo la oportunidad de asistir en calidad de invitado al master "Remote Sensing", impartido por profesores de diferentes universidades Británicas.

La relación completa de los miembros que intervendrán en el proyecto solicitado es:

Investigadores doctores:


- Francisco Agüera Vega
- Juan Agüera Vega
- Fernando Carvajal Ramírez
- Julián Sánchez-Hermosilla López
- Manuel Pérez Ruiz

Investigadores no doctores

- Basilio Navarro de Oña
- Alfredo Sánchez Gimeno



C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa		Número Registro @ries	
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B		FECHA
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	14 / 16
 5142930.0			

Como personal técnico auxiliar que colaborará en tareas de apoyo, se contará con:

Francisco César Páez Cano, estudiante de trabajo profesional fin de carrera, y por tanto vinculado al grupo.
Concepción Giménez del Rey, delineante del Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad de Almería
Juan Martínez Checa, técnico de laboratorio del Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad de Almería

Sería deseable contar con un titulado superior, cuyo trabajo sirviera de apoyo técnico en todas las tareas del proyecto, cuya especialización al final del mismo le permitiría incorporarse a la empresa que adoptara la metodología desarrollada.

Fruto del trabajo de los miembros del grupo solicitante en temas relacionados con el de la presente solicitud, cabe destacar como algunas de las más relevantes, las siguientes aportaciones:

AGÜERA, F., AGUILAR, M. A., AND AGUILAR, F. J., 2006, Detecting greenhouses changes from QuickBird imagery on the Mediterranean coast. *International Journal of Remote Sensing*, 27, No. 21, 10 (November), 4751-4767.

AGÜERA, F., AGUILAR, F. J., AGUILAR, M. A., en prensa. Using texture analysis to improve per-pixel classification of very high resolution images for mapping greenhouses. *ISPR Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.

AGÜERA, F., AGUILAR, F. J., AGUILAR, M. A., CARVAJAL, F., 2006. Atomization characteristics of hydraulic nozzles using fractal geometry. *Transaction of the ASABE*, 49(3): 581-587.

AGÜERA, J. y PÉREZ, M. (2004). Agricultura de Precisión. Capitulo 20 del libro "Técnicas de agricultura de conservación" (Eds. Eumedia-Mundi-prensa)143-153.

AGÜERA, J., GIL, J., PÉREZ, M. (3 de marzo de 2004) I Jornada sobre tecnologías avanzadas en Agricultura de Precisión y Conservación: Sistemas de ayuda al guiado y guiado automático de tractores y máquinas.

AGÜERA, J., PÉREZ, M., GIL, J., BARASONA, J., MADUEÑO, A., ZARCO, P., BLANCO, G. (2003). Optimización del uso de agroquímicos en el olivar. 2º Congreso nacional de Agroingeniería.161-165.

AGÜERA, J. 2001. Agricultura de precisión: nuevas herramientas para el campo. *Vida Rural*, junio, 58-61.

AGUILAR, M. A., AGUILAR, F. J., AGÜERA, F., en prensa. Assessing geometric reliability of corrected images from very high resolution satellites. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*.

AGUILAR, M. A., AGUILAR, F. J., AGÜERA, F., CARVAJAL, F., 2005a. The evaluation of close-range photogrammetry for the modelling of mouldboard Plough surfaces. *Biosystems Engineering*, 90(4), 397-407.

AGUILAR, M. A., AGUILAR, F. J., AGÜERA, F., 2005b. Mapping small areas using a low-cost close range photogrammetric software Packaged with aerial photography. *The Photogrammetric Record*, 20 (112), 335-350.

CARVAJAL, F., AGUILAR, M. A., AGÜERA, F., AGUILAR, F. J., GIRÁLDEZ, J. V., 2006. Maximum Depression Storage and Surface Drainage Network in Uneven Agricultural Landforms. *Biosystems Engineering*, 95 (2), 281-293.

AGUILAR, F.J., AGÜERA, F., AGUILAR, M. A., SANCHEZ, J. A., 2006. The accuracy of grid digital elevation models linearly constructed from scattered sample data. *International Journal of Geographical Information Science*.

GUZMÁN, J. L., MEDINA, R., RODRÍGUEZ, F., SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J., BERENGUEL, M., 2004. Pressure control of a Mobile sparring system. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2 (2): 181-190.


SALVADOR DEL ÁGUILA, F., SÁNCHEZ-HERMOSILLA LÓPEZ, J., AGÜERA, F., 2002. Self-Propelled phytosanitary treatment machine for intensive crops. Patente PCT/ES02/00156.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J., MEDINA, R., 2004. Adaptative threshold for droplet spot analysis using water sensitive paper. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(5): 547-551.

ZARCO-TEJADA, P., MILLER, J. R., MORALES, A., BERJÓN, A., AGÜERA, J., MILLER, J. R (2004). Hyperspectral indices and model simulation for chlorophyll estimation in open-canopy tree crops. *Remote sensing of environment*, 90, 463-476.



C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa	Número Registro @ries		
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B	FECHA	14/04/2008
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	15 / 16
 5142930.0			

FINANCIACIÓN PÚBLICA Y/O PRIVADA, EN OTROS PROYECTOS Y CONTRATOS I+D, OBTENIDA POR LOS MIEMBROS DEL EQUIPO O INSTITUCIÓN

Los miembros del grupos solicitante han participado en numerosos proyectos de I+D, con financiación tanto pública como privada, desde hace tiempo. Durante los últimos cuatro años, los proyectos relacionados con el tema propuesto en este proyecto han sido los siguientes:

Título del proyecto o contrato	Investigador principal	Entidad financiadora	Periodo de vigencia
Análisis y evaluación de las Técnicas de Aplicación de productos fitosanitarios en invernaderos. Reducción del impacto ambiental y optimización Técnico-económica	Julián Sánchez-Hermosilla López	Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa	2008-2012
Desarrollo y evaluación de técnicas de Agricultura de precisión para la optimización de insumos de cultivos herbáceos en el Valle del Guadalquivir.	Juan Agüera Vega	CICYT	2006-2010
Determinación y análisis de la variabilidad espacial del rendimiento de cosecha como punto de partida para el establecimiento de técnicas de agricultura de precisión en el Valle del Guadalquivir.	Juan Agüera Vega	CICYT	2001-2004
Optimización de la aplicación de agroquímicos en el olivar	Juan Agüera Vega	Dir. Gen. De Inv. y Form. Agr. y Pesq. Junta de Andalucía	2001-2005
Racionalización de las aplicaciones fitosanitarias en cultivos bajo invernadero mediante una plataforma móvil autónoma	Julián Sánchez-Hermosilla López	CICYT	2005-2008
Generación de Cartografía digital básica en el T.M de Macael (Almería) para la ordenación y explotación de sus recursos mineros	Fernando Carvajal Ramirez	Empresa Pública de Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía.	2003-2004

DESCRIPCIÓN DEL CARÁCTER MULTIDISCIPLINAR Y TRANSVERSAL DEL PROYECTO

La realización del proyecto solicitado se llevará a cabo por un equipo de investigadores expertos en las diferentes líneas de investigación relacionadas con el trabajo, pertenecientes a los grupos de investigación "Tecnologías de la producción agraria en zonas semiáridas", de la Universidad de Almería, y "Mecanización y tecnología rural", de la Universidad de Córdoba y Sevilla:

- aplicación de la teledetección, fotointerpretación y SIG al análisis y evaluación de recursos productivos
- mecanización de las operaciones en cultivos bajo invernadero
- uso de la maquinaria en los sistemas de Agricultura de Conservación y ensayo en campo, con sistemas electrónicos de medida, de los tractores y las operaciones mecanizadas, tanto en cultivos extensivos como en el olivar.

Asimismo, el proyecto se versa, según las materias de las áreas científico-técnicas del Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación (PAIDI), en el área Agroindustrial y Alimentación.



C/Albert Einstein s/n
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA

Código Expediente Trewa		Número Registro @ries	
FIRMADO POR	AGUERA VEGA, FRANCISCO 30495297B	FECHA	14/04/2008
ID. FIRMA	5142930.0	PÁGINA	16 / 16
 5142930.0			