Teledetección: Agua y desarrollo sostenible. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección.
Calatayud, 23-26 de septiembre de 2009. pp. 73-76. Editores: Salomón Montesinos Aranda y Lara Fernández Fornos

ENSAYOS PARA LA ESTIMACIÓN DE DAÑOS PRODUCIDOS POR HELADAS Y SEQUÍA EN CÍTRICOS MEDIANTE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL

M. Erena[*]; P. Pérez[*]; S. Montesinos[**]; M. Bea[**]; S. Sánchez[***], M. González[***]; L. A. Ruiz[****]; J. Recio[****]; T. Hermosilla[****].

[*] *Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario (IMIDA)*
[**] *GEOSYS, S.L.*
[***] *AGROSEGURO, S.A.*
[****] *Grupo de Cartografía Geoambiental y Teledetección (CGAT). Universidad Politécnica de Valencia*

RESUMEN
La cuantificación de los daños producidos en cultivos de cítricos por heladas y sequía supone un exhaustivo trabajo de campo que deben realizar las empresas aseguradoras. La estimación, mediante técnicas de teledetección, de los daños a escala de parcela o grupos de parcelas podría reducir drásticamente las tareas de campo. Con este propósito, se realizaron dos grupos de ensayos en zonas piloto de Valencia y Murcia, empleando imágenes de satélite de alta resolución (QuickBird e Ikonos) y fotografías aéreas de infrarrojo, respectivamente. Tanto los datos de campo como las imágenes se tomaron en torno a la helada producida en enero de 2005 en la provincia de Valencia, mientras que el ensayo de sequía se realizó en un conjunto de parcelas con dosis de riego controladas en la provincia de Murcia. Los resultados preliminares obtenidos a nivel de parcela muestran relación entre el descenso de la producción provocado por la helada y los datos obtenidos mediante teledetección cuando se tienen en cuenta los datos anteriores de producción media por parcela. Además, se pueden clasificar las parcelas o polígonos cualitativamente según tres niveles básicos de daño, tanto en el caso de heladas como en el de sequía. Aunque existen diversos factores de difícil control que pueden influir en los resultados de la estimación (técnicas de cultivo, variedad, zona, etc), su estudio en mayor profundidad y la ampliación de los ensayos a otras zonas y parcelas podría permitir el uso de estas técnicas para reducir los costes de prospección en campo.

ABSTRACT
Estimation of frost and drought damage using remote sensing techniques, referred to each particular parcel, is being searched by agricultural insurance companies in order to reduce the field costs. Two different tests have been performed over two *Citrus* crop areas from Valencia and Murcia, using high resolution infrared imagery. Preliminary results show good correlation between frost damage and estimated damage per parcel, using NDVI differences and mean production information before the event. Accurate parcel classifications in 3 and 4 levels of damage, for frost and drought tests, respectively have been achieved. However, several factors with influence in damage estimation, such as varietal types, agricultural techniques, etc., should be deeply studied, and an exhaustive set of contrasted field information should be used in order to obtain definitive conclusions.

Palabras clave: teledetección, heladas, sequía, clasificación, alta resolución espacial.

INTRODUCCIÓN

El cartografiado de superficies agrícolas dañadas por causas meteorológicas mediante técnicas de teledetección ha sido ampliamente estudiado, fundamentalmente aplicado a grandes extensiones de terreno. Tal es el caso de Bentley et al. (2002), que emplearon el NDVI a partir de imágenes Landsat TM para determinar áreas afectadas por granizo, o Escobar et al. (1983), quienes determinaron daños por helada en cítricos mediante vídeo infrarrojo aerotransportado. Sin embargo, la estimación de daños a escala de parcela ha sido estudiada muy poco debido a su complejidad y a la necesidad de trabajar con datos de gran resolución. Apan et al. (2005) estudiaron la eficiencia de las técnicas de teledetección con el fin de generar modelos para las compañías aseguradoras, obteniendo una correlación muy elevada entre la defoliación por pedrisco y la información espectral proveniente de imágenes de los satélites Landsat y SPOT. En este sentido, cada tipo de cultivo presenta ciertas peculiaridades a la hora de abordar una metodología útil para la estimación de daños fisiológicos provocados por sequía o heladas. Este estudio se centra en el estudio de la posibilidad de estimar, a nivel de parcela, de este tipo de daños en cultivos citrícolas. En concreto, se ha perseguido un doble objetivo: 1) elaborar una metodología basada en imágenes aéreas

que permita estimar los daños producidos en cultivos citrícolas por la sequía, desarrollando criterios de selección en los que se pueda generar una clasificación estadística de los datos procedentes de la imagen para obtener un gradiente de afección por la falta de riego; y 2) estudiar la viabilidad para la estimación de daños por heladas en cultivos citrícolas mediante el empleo y análisis de imágenes de satélite de alta resolución.

MATERIAL Y MÉTODOS

Daños por sequía

En esta primera parte del trabajo se ha seleccionado una zona homogénea de cultivo en la zona norte del municipio de Santomera, localizado al este de la Región de Murcia, caracterizada por ser un área de gran importancia en el cultivo de cítricos en regadío. Dentro de este espacio se ha elegido una superficie compuesta por parcelas con cultivos de limoneros, extraídas de la cobertura de suelos agrícolas perteneciente al Sistema de Información Geográfica de apoyo a la elaboración de la Estadística Agraria de Murcia (SIGEAM) realizada por el IMIDA, obteniéndose una superficie total de 410,6 hectáreas. La imagen utilizada en el proceso se ha generado a partir de un vuelo aerotranportado, con información del infrarrojo cercano, realizado el 3 de Julio de 2007. La cámara utilizada para la captura de imágenes es la Leica ADS40 transportada en un avión tipo Partenavia P68C, lográndose una resolución espacial para la imagen de 35 cm y radiométrica de 16 bits por píxel.

La metodología seguida se basa en una clasificación estadística supervisada de la imagen. Para la valoración de los daños producidos por la sequía en las parcelas piloto seleccionadas se han estimado cuatro clases o grados de afección por la falta de agua en las necesidades de los cultivos. Un primer grado de afección, en la que el cultivo se encuentra en condiciones óptimas de producción. Un segundo grado donde el cultivo, a pesar de tener ciertos problemas de desarrollo vegetal por la falta de riegos puntuales, se encuentra en condiciones aceptables dentro del proceso de crecimiento. Un tercer grado, en la que los cultivos se ven claramente afectados por la falta de agua, mostrando elementos claramente visibles de perdida de masa foliar y producción. Y finalmente un cuarto grado de afección, en el que se incluyen los cultivos que han sobrepasado el umbral de resistencia a la sequía, apareciendo como árboles secos y sin cobertura foliar. Se han obtenido en campo 73 puntos de control de los diferentes grados de afección. La toma de la información se realizó durante los días 22, 23 y 25 de enero de 2008, con la utilización de un GPS para la localización de las parcelas. Se definieron 30 puntos de control en campo. Con la información del estado vegetativo de los cultivos localizados en las coordenadas de estos puntos se han obtenido las áreas de entrenamiento necesarias para la clasificación (figura 1). El último paso consiste en la clasificación estadística supervisada. En este caso, se ha utilizado una regla de decisión paramétrica, utilizando criterios de asignación de máxima probabilidad.

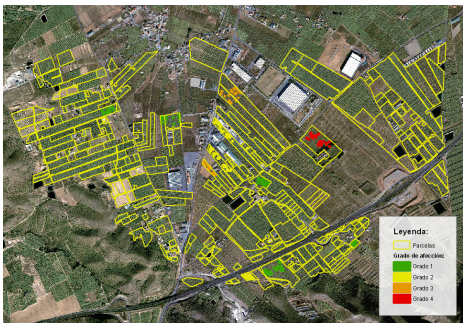

Figura 1. Muestras de entrenamiento en Santomera con los cuatro grados de afección por sequía.

Daños por heladas

Para esta segunda parte del estudio, se han recopilado datos de imágenes de satélite, cartografía vectorial y producciones reales por parcela durante varias campañas citrícolas antes y después de la helada de finales de enero de 2005, correspondientes al término municipal de Algemesí, en la provincia de Valencia. Se ha utilizado una imagen IKONOS adquirida en enero de 2004, antes de la helada, y otra imagen QuickBird adquirida en marzo de 2005, después de la helada, además de la cartografía municipal del término municipal de Algemesí con los límites de las parcelas catastrales. La empresa Agroseguro S.A. ha proporcionado, para un total de unas 900 parcelas, los datos de producción total por parcela catastral correspondientes a las campañas 2002-2003, 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006 y 2006-2007, así como la superficie de cada recinto y la variedad citrícola cultivada. Se han estudiado las variedades *Satsuma* y *Navelina*, tratándose de datos reales obtenidos a partir de las bases de datos de las centrales hortofrutícolas que reciben las producciones citrícolas de la zona.

Las imágenes han sido corregidas radiométricamente mediante la conversión de los valores digitales de cada una de sus bandas a valores de reflectancia, así como rectificadas y georreferenciadas para ajustarse al sistema de referencia de la cartografía base. Además, se les ha

aplicado un procedimiento de fusión de las bandas pancromáticas y multiespectral mediante el método de sustitución basado en la transformación de componentes principales.

Se han aplicado varias metodologías de análisis para la caracterización y cuantificación del daño producido por las heladas, todas ellas referidas y orientadas a cada objeto, esto es, a las parcelas catastrales. Los métodos ensayados se basan en índices de vegetación (NDVI y PVI) y en el análisis del vector de cambios, si bien en este artículo se recogen sólo los resultados obtenidos mediante las diferencias de NDVI. La figura 2 muestra ejemplos de las diferencias de NDVI para dos parcelas.

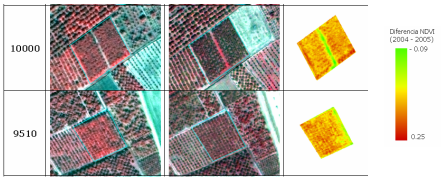

Figura 2. Diferencias de NDVI, antes y después de la helada, en dos parcelas de Algemesí.

Considerando valores de producción por unidad de superficie (kg/m^2), se ha calculado la producción media de cada parcela en el periodo anterior a la afección de la helada (PM), esto es, la media de las campañas 2002/2003, 2003/2004 y 2004/2005. Esta producción media se ha considerado como valor de referencia de producción de las diferentes parcelas estudiadas, la cual se ha comparado con la producción de cada parcela en la campaña 2005/2006 (P05/06), la siguiente tras la helada y afectada más directamente por ella. La diferencia entre ambas (PM - P05/06), puede entenderse como la pérdida o el descenso de producción debido a la helada (DP). Se ha aplicando un modelo de regresión múltiple en el que la variable dependiente es el descenso de producción ocurrido tras la helada (DP), siendo la variable independiente la producción media de las campañas anteriores a la helada (PM) y la diferencia de NDVI entre antes y después de la helada (DNDVI = NDVI2004 – NDVI2005). Estas variables se han obtenido por parcela, diferenciando el modelo para según la variedad estudiada.

RESULTADOS

La clasificación de daños por sequía en cítricos realizada en Santomera, sobre una superficie total de 410,6 ha., ofrece los resultados recogidos en la Tabla 1. En este análisis se ha introducido la superficie correspondiente a suelo desnudo en cada parcela como índice para poder estimar el área de copa de los cultivos. En la primera categoría, perteneciente a los cultivos en perfecto estado de producción, nos encontramos que superan el 11% de la superficie total de la parcela, y se acercan al 50% de la superficie correspondiente al área de copa de los cultivos. En la categoría de grado 2 el porcentaje de superficie total es de algo más de 7%, llegando al casi 30% de superficie en copa, siendo el de 4,7% y 18,87 de la categoría grado 3. Finalmente, los porcentajes de superficie ocupada por la categoría grado 4, relacionados con los cultivos en desarrollo vegetativo deficiente y en estado defoliado, representan el 1% en la superficie total de la parcela y un 4% de superficie en copa.

Tabla 1. Superficie de afección por sequía en la zona piloto de Santomera.

GRADO AFECCIÓN	SUPERFICIE AFECCIÓN (m^2)	SUPERFICIE (%)	SUPERFICIE DE COPA (%)
Grado 1	492.682,64	12,00	48,21
Grado 2	295.427,38	7,19	28,91
Grado 3	192.866,84	4,70	18,87
Grado 4	41.038,29	1,00	4,02
Suelo	3.084.204,84	75,11	0,00
Total	4.106.219,98	100,00	100,00

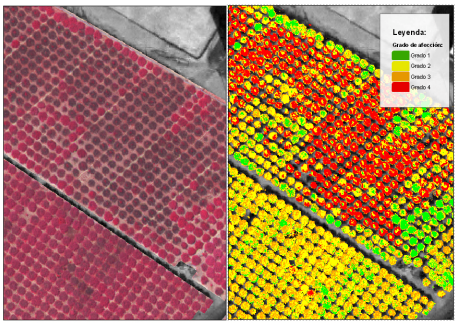

Figura 3. Ejemplo de clasificación en grados de afección por sequía (Santomera).

Respecto a los resultados obtenidos en la zona de Algemesí, relativos a la estimación de daños por heladas, se ha encontrado que el descenso de la producción tras la helada es mayor cuando: (a) aumenta la diferencia de NDVI, y (b) la producción de las parcelas en condiciones normales (sin ocurrencia de heladas) es mayor. Es decir, el descenso de producción por parcela utilizado como indicador de daño está directamente relacionado con los síntomas detectados mediante la imagen (DNDVI) y con el nivel de producción media antes de la situación de estrés provocada por la helada (PM). Además, estas dos variables no están relacionadas entre sí, lo cual aporta mayor eficiencia

al modelo de regresión. La ecuación de predicción para la estimación del descenso de producción obtenida para la variedad *Navelina* es:

$$DP=-2.427+0.819\times PM+23.931\times DNDVI$$

Aplicando este modelo al conjunto de muestras disponible se obtienen los valores de descenso de producción estimados, los cuales se han comparado con los datos reales. En la Tabla 2 se muestran algunos parámetros estadísticos obtenidos para las dos variedades ensayadas, y la Figura 4 muestra la recta de regresión entre el descenso de producción real y estimado.

Tabla 2. Parámetros estadísticos comparando las diferencias entre los descensos de producción reales y estimados (en kg/m2).

	Navelina	Satsuma
R^2	**0.63**	**0.61**
Media	-0.03	0.00
Desviación estándar	1.45	0.87
Mínimo	-3.52	-1.81
Máximo	8.15	1.98

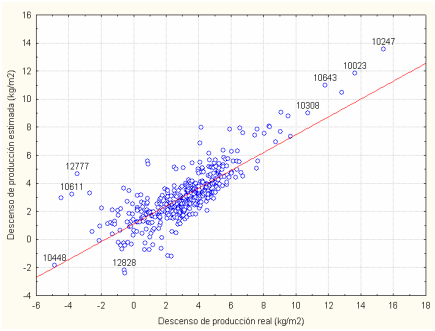

Figura 4. Relación entre el descenso de producción real y el estimado. Variedad *Navelina* (R^2=0,63).

La Figura 5 muestra algunos ejemplos en los que existe coincidencia entre el daño estimado mediante diferencias de NDVI a nivel de parcela y el daño calculado como diferencia de producción antes y después de la helada. Sin embargo, existe un conjunto de parcelas en las que existe una discordancia entre ambos, en ocasiones producida por la inconsistencia de los propios datos de producción registrados o declarados por las centrales hortofrutícolas.

CONCLUSIONES

Los métodos de teledetección estudiados permiten identificar los síntomas de daños por sequía dentro de la parcela, así como zonificar niveles de daño a varias escalas de trabajo, tanto para daños por sequía como por heladas, especialmente en el nivel de polígono agrícola. Por otra parte, existe una evidente relación global entre los daños por helada estimados por parcela mediante técnicas de teledetección y los obtenidos como diferencia de producción por parcela a partir de los datos declarados por las centrales hortofrutícolas. Sin embargo, la imposibilidad de controlar la veracidad de estos últimos en todas las parcelas incluidas en el estudio, dificulta la evaluación rigurosa de los métodos de estimación de daño por parcela. Esta evaluación en detalle debería llevarse a cabo mediante un conjunto de parcelas cuyo daño se haya valorado expresamente en campo.

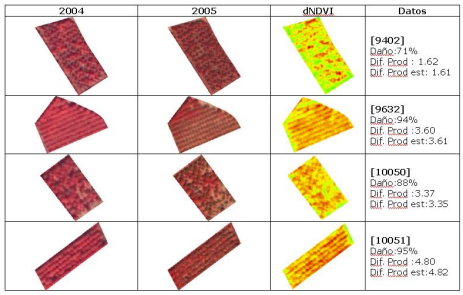

Figura 5. Ejemplos de concordancia entre daño estimado y calculado mediante datos de producción.

BIBLIOGRAFÍA

Apan, A., O. Chandler, F. Young, and T. Maraseni, 2005. Opportunities and Limitations of Remote Sensing for Crop Loss (Hail Damage) *Assessment in the Insurance Industry.* Proc. of SSC 2005 Spatial Intelligence, Innovation and Praxis, September 2005, Melbourne: pp. 19-28.

Bentley, M.L., Mote, T.L., Thebpanya, P., 2002. *Using Landsat to Identify Thunderstorm Damage in Agricultural Regions*. Meteor. Soc., 363-376.

Escobar, D.E., Bowen, R.L., Gausman, H.W. and Cooper, G.R. (1983). *Use of near infrared video recording system for the detection of freeze-damaged citrus trees.* J. Rio Grande Valley Hort. Soc. 36, 61-66.