



ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN FENOLÓGICA ESTACIONAL DEL VIÑEDO MEDIANTE TELEDETECCIÓN AÉREA

SALINAS SUBÍAS Miriam, de ZULOAGA CINCA, Santiago
IMAER Cartografía, Gis, teledetección C/Bosch i Gimpera, 26 08034 Barcelona

RESUMEN

La teledetección se presenta como una nueva herramienta para el análisis en la viticultura. A través de ella podemos conocer estado del cultivo, evolución y predicción de cosechas. El presente trabajo pretende mostrar una de estas aplicaciones. En este caso se ha pretendido conocer cual ha sido la evolución de este cultivo en su momento de máximo esplendor y declive con el fin de estudiar aquellas zonas que muestran menos producción y porqué.

ABSTRACT

Teledetection is nowadays a new tool used for analysis in viticulture. It provides information regarding the state of the crop, evolution and harvest prediction. This study shows one of these applications. In this case, the target was the evolution of the crop in its vigor and declined moments of those less productive areas and why.

Palabras clave: viticultura, NDVI, evolución fenológica.

Key words: viticulture, NDVI, phenological evolution.

INTRODUCCIÓN

La teledetección es una tecnología que recientemente se está aplicando a la agricultura de precisión. Conocer los límites de esta técnica y sus aplicaciones nos permitirá extraer gran cantidad de información y datos útiles para mejorar nuestro conocimiento en la evolución del cultivo y por tanto mejorar la gestión y en definitiva mejorar los rendimientos de nuestro esfuerzo.

En este estudio nos hemos centrado en algunas de las múltiples aplicaciones posibles de la teledetección, ya contrastadas, para la agricultura, como son la obtención del índice NDVI, idóneo para conocer el vigor de un cultivo entre otros factores o también el índice SAVI, similar al anterior pero con una corrección del efecto del suelo. La realización de un estudio multitemporal nos permite recoger la evolución del NDVI citado y en un momento dado, obtener el punto de maduración.

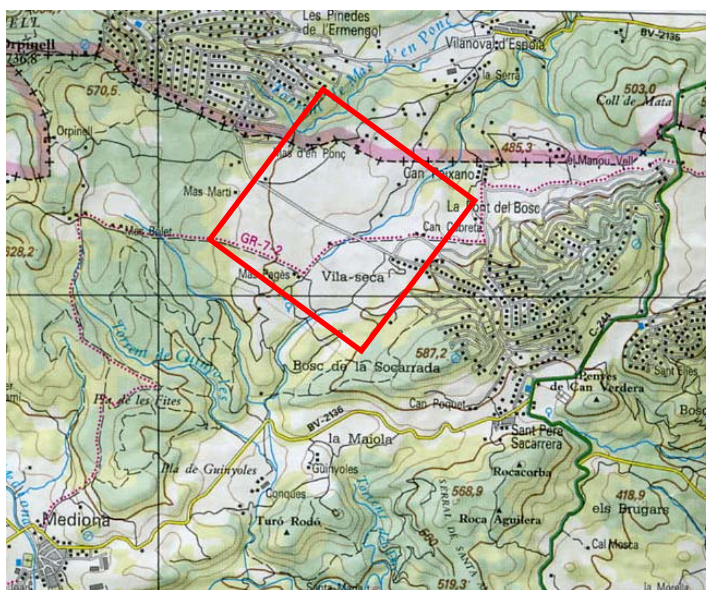
A continuación pasamos a presentar los resultados obtenidos tras la realización del presente estudio. El objetivo principal del mismo ha sido comprobar el vigor vegetal de los cultivos objeto de estudio. Este objetivo ha sido cubierto a través de la aplicación de un índice de vegetación.

El estudio se estructura en tres partes:

- Un primer apartado de datos técnicos sobre el vuelo, cámara fotográfica y material utilizado.
- Un segundo apartado en el que desarrolla la metodología y principios empleados.
- Y un tercer apartado donde se muestran los resultados obtenidos.

AREA DE ESTUDIO

La zona se encuentra localizada en el término municipal de Mediona. En la comarca del Alt Penedès (Barcelona).



Escala: 1:50.000 Fuente: Mapa comarcal de Catalunya. Alt Penedès - 01.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

En este apartado llevaremos a cabo una descripción e identificación técnica de las características del avión, vuelo realizado, películas y material analógico empleado.

1.1 Avión y plataforma de vuelo

El avión empleado en nuestro caso particular se trata de un Partenavia 68 Observer ideal para prospección y fotografía aérea.

Características del vuelo

Las condiciones meteorológicas fueron favorables, con dominio de cielos despejados y viento favorable, muy importante esto último en la realización de vuelos ya que favorece la obtención de resultados idóneos.

Altura	Fechas de vuelo	Condiciones meteorológicas
3000 pies	Agosto-Septiembre	Favorables

Cuadro 1. Características de vuelo

Por otro lado, también es importante destacar las fechas seleccionadas para este trabajo: Agosto y Septiembre. Se han elegido estos dos momentos de año atendiendo al tipo de cultivo objeto de estudio: el viñedo. Debemos recordar que este cultivo alcanza su máxima plenitud en estos meses, y sobretodo en el último. Esta situación nos permite realizar un seguimiento que nos indique el máximo vigor vegetal alcanzado y su entrada en la fase de madurez.

1.2 Sistema de cámaras

El sistema de cámaras utilizado es de tipo multi-banda para fotografía multiespectral (M.S.P: Multispectral photography).

Este tipo de cámaras basa su fundamento en varios lentes a la vez. Con el paso del tiempo, este sistema ha mejorado y hoy en día se utiliza un sistema multi-cámara, es decir, con varios objetivos a la vez, para poder separar los diferentes haces de luz que equivalen a las diferentes bandas del espectro a grandes rasgos.



En nuestro caso se ha utilizado un sistema analógico basado en cámaras Rollei Metric y Hasselblad, usadas para análisis MSP, con objetivos de 50 mm.

1.3 Películas y filtros

Como hemos visto en el anterior apartado, para poder captar las diferentes bandas del espectro visible es necesario una serie de películas y filtros especiales que nos permitan separar las bandas de espectro que nos interesan. En nuestro caso se han empleado películas de calidad Ilford y Kodak con filtros especiales para infrarrojo y pancromático. Durante la presentación se especificarán las calidades.

METODOLOGIA

A continuación presentaremos en este apartado el proceso llevado a cabo en el tratamiento de las diferentes imágenes.

2.1 Cartografía de base

Previamente a la aplicación y desarrollo de los diferentes índices, ha sido necesario un tratamiento previo del material original. Este ha sido escaneado y convertido a formato digital para facilitar su tratamiento y posteriormente georeferenciado y orientado espacialmente.

2.1.1 Transformación digital

Este proceso se basa en la transformación de imágenes analógicas en formato papel o negativo a formato digital codificado en niveles de información (ND) en un rango de 0 a 255 denominados también píxeles. Generalmente se realiza a través de un escáner. En nuestro caso, se ha sometido la información original –negativos fotográficos– a un proceso de escaneado a niveles de alta resolución para evitar la pérdida de información. Una vez convertida esta información a formato digital, es necesario dotarla de coordenadas geográficas.

2.1.2 Proceso de corrección geométrica

Las imágenes adquiridas en origen, carecen de una orientación en el espacio. Este proceso, puede realizarse con posterioridad a otros procesos de tratamiento digital, pero es preferible realizarla con anterioridad para poderla contrastar con información auxiliar y trabajar con imágenes análogas y en un mismo formato de coordenadas.

La eliminación de las distorsiones geométricas implica llevar a cabo un proceso de georeferenciación para llevar a la imagen a su posición correcta. mapa o imagen de referencia. El proceso se divide en tres etapas:

1. Localización de puntos de control comunes a la imagen y al mapa.
2. Cálculo de las funciones de transformación entre las coordenadas de la imagen objetivo y las de referencia.
3. transferencia de los ND originales (niveles de información) a la nueva posición, definida por la transformación previa.

En este caso, las coordenadas de referencia han sido tomadas de la cartografía base en formato CAD suministrada por el cliente. El resultado ha sido una cartografía dotada de coordenadas geográficas (x,y) para las cuatro imágenes trabajadas.

Debemos anotar que, al tener diferente escala de vuelo y de fotografiado, puede parecer a simple vista que una cartografía no corresponda con otra respecto a la zona de trabajo. Todo lo contrario. Tras el proceso de georeferenciación la cartografía final muestra el resultado de las zonas comunes. Hay que recordar que, sin ambas cartografías no coincidieran espacialmente sería imposible el cálculo del índice de vegetación.



2.2 Cocientes e índices de vegetación

Una vez sometidas las imágenes al proceso de corrección geométrica, nos encontramos en condiciones de poder someter la información original a diferentes tratamientos para comprobar el vigor vegetal de los cultivos a través de los denominados índices o coeficientes de vegetación. La variedad de índices existentes es amplia, cada uno se ajusta a diferentes objetivos y funciones. Pero en este caso destacaremos varios, que se ajustan de manera importante a nuestra finalidad: mostrar el vigor vegetal.

Como su nombre indica, un cociente o ratio implica efectuar una división píxel a píxel, entre los ND almacenados en dos o más bandas de la misma imagen. Se utilizan ampliamente en dos situaciones:

1. Para mejorar la discriminación entre dos cubiertas con comportamiento reflectivo muy distinto en esas dos bandas, como es el caso del suelo y la vegetación en el infrarrojo cercano.
2. Para reducir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracterización espectral de distintas cubiertas.

El empleo de los cocientes para discriminar masas vegetales se deriva del peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación. La signatura espectral característica de la vegetación sana muestra un claro contraste entre las bandas del visible (0,6 a 0,7 micras) (recogida en nuestro trabajo en films de tipo pancromático el cual recoge en una sola emulsión todas las bandas del espectro visible) y el infrarrojo cercano (0,7 a 1,1 micras). Mientras en el visible los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben, estas sustancias apenas afectan al infrarrojo cercano. Podemos señalar que cuanto mayor sea la diferencia entre las reflectividades de la banda del infrarrojo cercano y del visible (concretamente la banda del rojo), mayor vigor vegetal presentará la cubierta observada. Bajos contrastes presentan una vegetación enferma, senescente o con poca densidad, hasta llegar a los suelos descubiertos o el agua que presentan una reflectividad muy similar entre el Infrarrojo cercano y en la banda del rojo del visible (Chuvienco, 2002). Podemos observar esta situación en la figura 2.

En este principio se apoyan la mayor parte de los denominados índices de vegetación. Los más empleados son el cociente simple entre esas bandas y el denominado índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*).

Las regiones pioneras en el uso de la Viticultura de Precisión han sido Australia y California (EEUU), aunque con diferentes aproximaciones.

En California, el énfasis se ha puesto en el concepto “sensores remotos” o lo que es lo mismo, en la obtención de imágenes multiespectrales de las viñas a partir de satélites y aviones (Johnson et al. 1996 y Nemani et al. 2001).

En Australia, donde existe una fuerte mecanización, la adquisición de datos se realiza a través de monitores de rendimiento con posicionamiento GPS (Global Positioning Satellites), instalados en las propias cosechadoras (Bramley, 2000).

Desde el año 2004, en España, hemos propuesto una metodología basada en el uso integrado de “sensores remotos” y “sensores planta-clima-suelo” (Montesinos et al., 2006 y Álvarez et al. 2006). Mientras éstos últimos nos proporcionan datos de una planta, continuos en el tiempo; los sensores remotos nos aportan datos multiespectrales de todas las plantas de la explotación, facilitándonos un conocimiento continuo en el espacio y en el tiempo, que además queda registrado digitalmente, lo que permite su análisis en un Sistema de Información Geográfica (GIS, *Geographical Information System*).

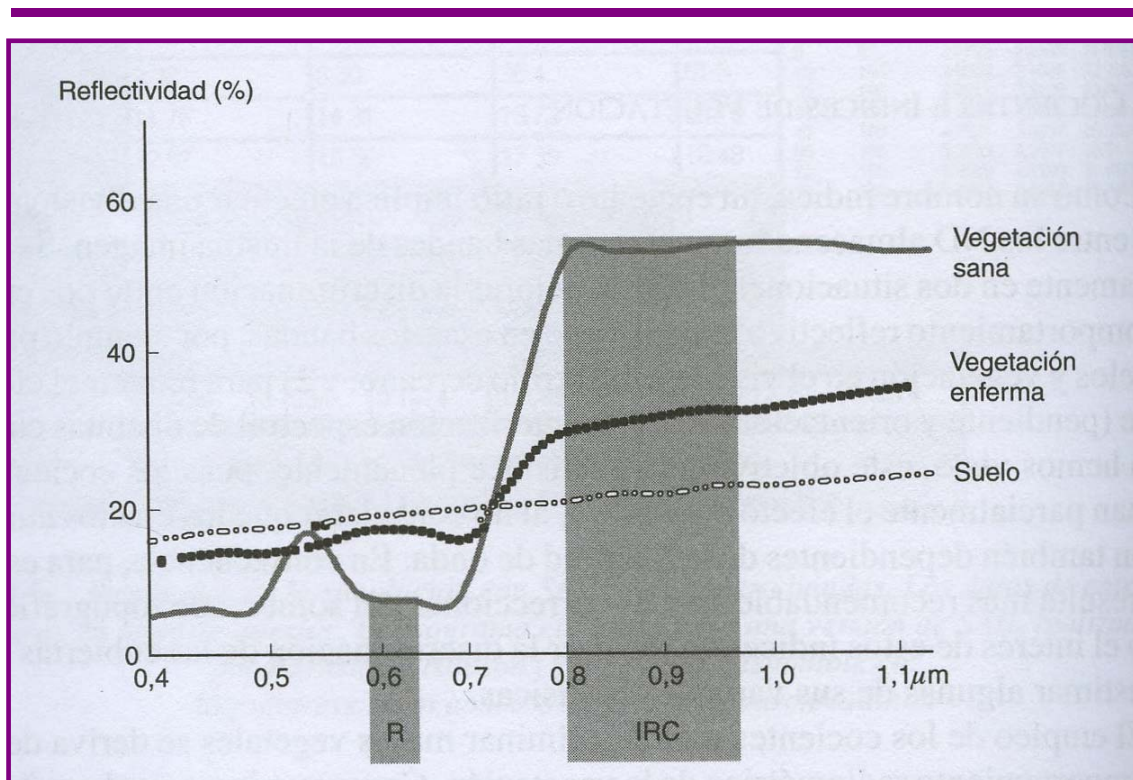


Figura 1. Contraste espectral de la vegetación sana entre las bandas del R e IRC del espectro (Chuvieco, 2002)

Una imagen nos permite obtener información multispectral de todas las plantas de una explotación. Es decir, información continua en el espacio, sin embargo solamente nos ofrece información del momento de la toma.

2.2.1 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

$$NDVI = \frac{\text{Infrarrojocercano}(IRC) - \text{bandarajavisible}(R)}{\text{Infrarrojocercano}(IRC) + \text{bandarajavisible}(R)}$$

Este índice se obtiene a partir de las reflectividades de las bandas 4 y 3 para los sensores Landsat TM y ETM+ y a partir de los ND o niveles de información de los canales del rojo de las películas de infrarrojo próximo y pancromático como es nuestro caso. En ambos casos cuanto mayor sea el resultado, mayor será el vigor vegetal que presenta la zona observada. Debemos decir que este cociente varía entre unos márgenes conocidos, de entre -1 y +1, lo que facilita notablemente su interpretación. Por ejemplo podemos señalar un umbral crítico de NDVI en torno a 0,1 y para la vegetación densa entre 0,5 y 0,7 (Holben, 1986).

Por otro lado, al NDVI se le relacionan diferentes parámetros:

- Contenido en clorofila de la hoja. El NDVI presenta correlaciones altas y linealmente positivas con la cantidad de clorofila en la hoja (Curran, 1989; Wesman, 1994 y otros).
- Contenido de agua en la hoja, a través de correlaciones negativas y lineales según algunos autores.
- Productividad neta de la vegetación. De modo indirecto, puede estimarse a partir del NDVI la biomasa verde y seca.



- **Dinámica fenológica a partir del seguimiento de la evolución estacional.**

En nuestro caso, y como veremos más adelante, el NDVI ha sido aplicado en relación a parámetros relacionados con la dinámica fenológica. Se han discriminado previamente las bandas del rojo tanto en el infrarrojo cercano como en pancromático, y a partir de ellas se ha generado un NDVI para los meses de agosto y septiembre para así poder estudiar la dinámica fenológica en ambos meses, claves para la evolución de este tipo de cultivo. Los resultados los comentaremos en el apartado final.

2.1.2 Índice de Vegetación ajustado al suelo (SAVI)

Entre los factores que modifican notablemente el comportamiento del NDVI figura la proporción de vegetación/suelo observada por el sensor. Los mismos valores de NDVI pueden corresponder a cubiertas vigorosas pero poco densas, o a cubiertas densas con poca vitalidad. Para incluir explícitamente el factor suelo, Huete (1988) y colaboradores propusieron incluir en la fórmula del NDVI un parámetro (L) que ajuste el índice a una reflectividad promedio de fondo. De esta forma se calcula el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI):

$$SAVI = \frac{\text{Infrarrojocercano}(IRC) - \text{Bandarojavisible}(R)}{\text{Infrarrojocercano}(IRC) + \text{Bandarojavisible}(R)} (1 + L)$$

L: Constante para ajustar la línea de la vegetación-suelo origen

En estudios experimentales sobre campos de hierba y algodón se comprobó que este índice reducía sustancialmente las variaciones inducidas por el suelo en comparación con el NDVI y otros índices, en la mayoría de las condiciones de la vegetación. En nuestro caso hemos aplicado un índice SAVI modificado que contempla el efecto del brillo del suelo (*Modified Soil Adjusted Vegetation Index - 1*), es decir, es un índice perfeccionado del NDVI que corrige los valores que puede introducir el suelo y nos puede conllevar a cierto error en la obtención de datos. Se trata, en resumidas cuentas, de un índice complementario al NDVI.

RESULTADOS

Estudio evolutivo comparativo de la dinámica fenológica en los meses de agosto y septiembre a partir de un NDVI

Como hemos comentado en apartados anteriores, el NDVI nos proporciona información vital sobre el comportamiento vegetal atendiendo a parámetros como el de la evolución temporal. Los estudios evolutivos nos proporcionan información análoga sobre un mismo objeto de estudio en épocas y estadios diferentes. Esto nos permite establecer conclusiones comparativas y resultados definitivos que nos proporcionarán ayuda en la toma de decisiones respecto de nuestro objetivo. Los periodos temporales seleccionados para este estudio, dependerán de la masa vegetal a estudiar. En este caso, y tratándose de un tipo de cultivo que alcanza su máximo vigor en los meses estivales, se han seleccionado los meses de agosto y septiembre.

En el caso del mes de agosto, podemos observar como los valores son ciertamente menores que el mes de septiembre, donde la uva alcanza su grado máximo de maduración. Podemos observar como los colores en tonos más oscuros y en valores negativos corresponden a valores de escaso vigor vegetal y los tonos más claros y en valores positivos a zonas de alto vigor vegetal. Dentro de los valores negativos o entorno a cero observamos como los tonos más oscuros corresponden a zonas de suelo desnudo o escasa vegetación, y los tonos más claros y positivos de forma progresiva, a zonas de mayor vegetación o mayor vigor



vegetal, correspondiente esto último con las zonas de cultivo más vigorosas. Podemos diferenciar varias zonas de forma gradual en forma de aureolas desde el centro de los campos de cultivo hacia el exterior. En su zona central como acabamos de comentar, vemos en tonos más oscuros los espacios de menos vigor vegetal. Esta situación se debe a que viene a coincidir con espacios de escasa vegetación y/o suelo desnudo. A medida que nos desplazamos hacia la mitad oeste, vemos como progresivamente los valores positivos aumentan, esto significa que es ahí donde el viñedo ha alcanzado una plenitud vegetativa óptima. Dependiendo del tipo de cultivo, los valores varían. En el caso del viñedo, podemos decir que los valores óptimos se encuentran entre 0,1 y 0,5. Podemos observar como para este periodo temporal y en esta mitad oeste dominan los valores entorno a 0,1-0,2 destacando también zonas con valores entorno a 0,4. En cambio si nos desplazamos hacia la mitad noreste, estos valores disminuyen progresivamente llegando incluso a valores negativos. Nos encontramos aquí con valores entorno a 0,0.

Por otro lado también es interesante comparar los resultados obtenidos en vegetación natural. Podemos observar como ciertamente los valores de vigor vegetal son notablemente altos (0,8-1,0). Esta situación se debe a que nos encontramos en el mes de agosto, época en la que la vegetación natural alcanza su máximo esplendor vegetal. Los niveles de clorofila son altos, al igual que los de humedad de la planta (lo cual proporciona unos niveles altos de vigor vegetal) esto unido a que nos encontramos en una zona con espacios de vegetación muy densa, nos proporciona unos niveles altos de NDVI. Así pues y de modo general, podemos concluir que durante el mes de agosto los valores más altos en los campos de cultivo se localizan en la mitad oeste.

En cuanto al mes de septiembre, podemos decir que los valores se estructuran de la misma manera, aunque predominan, los valores altos en los campos de cultivo. Vemos como los valores de nuevo se estructuran en forma de aureola, pero se reducen los valores entorno a 0,0. Las manchas de suelo desnudo siguen siendo coincidentes, pero dominan los valores en el intervalo 0,2-0,5, en proporciones similares, ahora tanto en la mitad oeste como en la sur. Los valores entorno a 0,0 se han reducido notablemente. Los comentarios aplicados en el mes de agosto respecto a la vegetación natural, son igualmente aplicables respecto al mes de septiembre.

Así pues, podemos concluir observando las dos imágenes, que los valores de vigor vegetal han aumentado en el mes de septiembre respecto del de agosto.

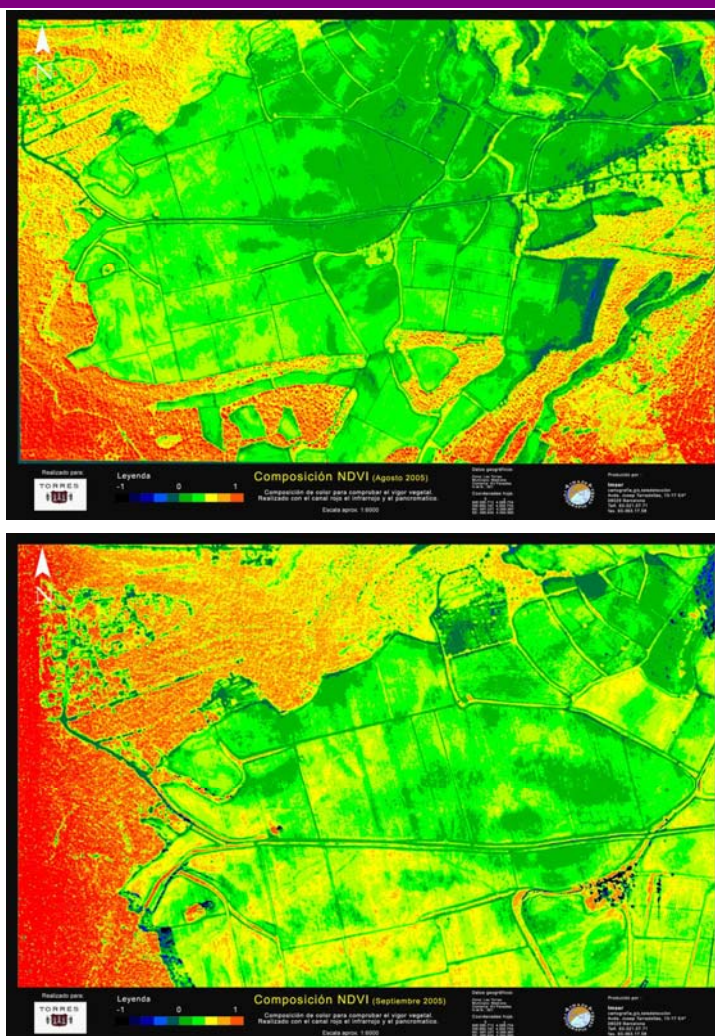


Figura 2. Composición NDVI meses de agosto y septiembre 2005.

Recibido: Abril 2007

Aceptado: Setiembre 2007

NDLR: Trabajo presentado en el Congreso sobre Clima y Viticultura (CONCLIVIT) 10 al 14 de Abril de 2007, Zaragoza – España.
Si desea contactarse con alguno de sus autores comuníquese a enologia@revistaenologia.com

BIBLIOGRAFÍA

- Chuvieco, E. (2002) *Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el Espacio*. Ariel Ciencia. Madrid.
- García, A (2003) *Análisis cartográfico de la ocupación del suelo de la comarca de la Sierra de Albaracín. Mediante el Tratamiento de una imágen Landsat e información auxiliar*. Inédito. Zaragoza.

Fuentes cartográficas:

- *Mapa comarcal de Catalunya 1: 50.000 Alt Penedès – 3*. Institut cartogràfic de Catalunya. 1994