

LA RIOJA
Capital



VII FORO
MUNDIAL
DEL VINO

VII WORLD WINE FORUM
VII^e FORUM MONDIAL DU VIN

TRABAJOS PRESENTADOS
CON MOTIVO DEL VII FORO
MUNDIAL DEL VINO

12, 13 y 14 de mayo de 2010

Palacio de Congresos de La Rioja. Riojaforum
Logroño. La Rioja. España

www.forovino.com



Gobierno
de La Rioja

Agricultura, Ganadería
y Desarrollo Rural



ISBN: 978-84-8125-336-8 | D.L.: LR-140-2010

UTILIZACIÓN DE IMÁGENES FOTOGRAMÉTRICAS MULTIESPECTRALES EN VITICULTURA. UTILIZACIÓN DE LAS IMÁGENES DEL PLAN NACIONAL DE ORTOFOTOGRAFÍA AÉREA (PNOA) EN LA D.O. BIERZO

José Ramón Rodríguez-Pérez, María Flor Álvarez, Ana Belén González, Enoc Sanz Ablanedo

Grupo de Investigación GI202: Geomática e Ingeniería Cartográfica.
Universidad de León

ESTIA. Universidad de León. Avenida de Astorga, s/n. 24400. Ponferrada
(León). Tel: 987442000. Fax: 987442070. Email: jr.rodriquez@unileon.es

Área de Viticultura

Resumen

La teledetección es una herramienta cada vez más utilizada por las explotaciones vitivinícolas, especialmente por las que están desarrollando sistemas de viticultura de precisión. Este tipo de imágenes son costosas, sobre todo aquellas de alta resolución. En este trabajo se plantea utilizar las imágenes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) para evaluar parámetros relacionados con el estado vegetativo de las cepas y de la producción de sus uvas, a partir de índices de vegetación. Los resultados han permitido diferenciar áreas homogéneas de cada viña de estudio, aunque las correlaciones entre los parámetros vitícolas y los índices de vegetación varían entre 0.24 y 0.62. Estos valores pueden deberse al nivel de pre-procesamiento y a la falta de parámetros de calibración radiométrica de la imagen. Estas correlaciones se mejorarían utilizando imágenes de menor nivel de procesado, lo cual permitiría calcular índices de vegetación más representativos del estado del viñedo.

Palabras clave, Key words

Viticultura de precisión, Teledetección, Índices de Vegetación.
Precision viticulture, Remote sensing, Vegetation Indexes.
Viticulture de précision, Télédétection, Indices de Végétation.

1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de teledetección basan en la utilización de imágenes digitales capturadas por sensores aerotransportados capaces de discriminar y almacenar por separado la radiación electromagnética reflejada por las superficies. En este trabajo se expone una aplicación mediante una imagen multispectral con bandas del espectro visible e infrarrojo cercano (400-800 nm).

A partir de las imágenes se pueden calcular índices de vegetación representativos del estado de la vegetación. Los más utilizados en viticultura

son el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y el RVI (Ratio Vegetation Index) (Johnson, 2003; Proffit et al., 2006). Durante los últimos años la teledetección ha sido aplicada a la viticultura en numerosos estudios, fundamentalmente en Estados Unidos (Nemani et al., 2001; Dobrowski et al., 2002; Johnson et al., 2003; Rodríguez-Pérez et al., 2007) y en Australia (Hall et al., 2002; Lamb et al., 2004), aunque también hay muy buenos ejemplos en España (Zarco-Tejada et al., 2005; Martín et al., 2007).

Se puede destacar algunos trabajos en los que se aplica la teledetección a la viticultura como los que se han centrado en la discriminación de áreas homogéneas dentro de un viñedo (Arkun et al., 2001), identificación de áreas con deficiencias nutricionales en viñedos (Zarco-Tejada et al., 2005; Martín et al., 2007), estrés hídrico (Rodríguez-Pérez et al., 2007), evaluación de incidencia de plagas como la filoxera (Renzullo et al., 2007) y enfermedades vitícolas (Naidu et al., 2009), entre otros. En todos estos trabajos quedan patentes las grandes ventajas que ofrecen las técnicas basadas en teledetección y su aplicación directa en la viticultura (Hall et al., 2002).

Uno de los objetivos de la iniciativa europea INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community) es hacer disponible información geográfica relevante, concertada y de calidad de forma que se permita la formulación, implementación, monitorización y evaluación de las políticas de impacto o de dimensión territorial, de la Comunidad Europea. En este marco se encuadra el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), lanzado en 2004 por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Este plan tiene como objetivos evitar duplicidades y capturar el dato geográfico una única vez, asegurar una cobertura de ortofotografías homogénea para todo el territorio nacional disponible para todas las administraciones, e implicar a las Comunidades Autónomas en la producción mediante un esquema de producción descentralizada. En origen, la realización de PNOA se planteó mediante vuelos analógicos a escala 1:30000, con un escaneado posterior a 15 micrómetros (obteniéndose un tamaño de píxel equivalente en el terreno (GSD) entre 0.45-0.50 m), con el fin de generar un modelo digital del terreno de 5 m de resolución espacial y ortofotografías con 0.50 m de GSD, con una frecuencia de actualización de 2 años. La aparición de las cámaras aéreas digitales modificó el planteamiento inicial, proponiéndose su realización con cámaras aéreas digitales, que permiten capturar de forma diferenciada la respuesta a las longitudes de onda del azul, del verde, del rojo y del infrarrojo. De este modo el modelo de PNOA indicado por el IGN capturaría información con estas cámaras multiespectrales, con un GDS de 0.50 m y con una frecuencia bienal. En Castilla y León el Instituto de Tecnología Agraria (ITACYL) propuso un modelo alternativo, que permite obtener ortofotografías con un GSD de 0.25 m y de 0.50 m cada dos años: Castilla y León se divide en cuatro cuadrantes y cada año se vuelan dos cuadrantes (ubicados en los extremos de una diagonal) para obtener un GSD determinado (e.g. 0.25 m), y al año siguiente se vuelan los otros cuadrantes con el otro GSD (e.g. 0.50 m), repitiéndose el esquema sucesivamente y alternando los GSD. De ese modo se consigue una cobertura total de Castilla y León con GSD de 0.25 m y de 0.50 m cada cuatro años, e información actualizada de cada zona con una frecuencia bienal [http://www.itacyl.es/opencms_wf/opencms/informacion_al_ciudadano/wms].

La elevada cantidad de información capturada periódicamente con los vuelos fotogramétricos para PNOA se emplea en la actualidad únicamente para la generación de cartografía de referencia (i.e. ortofotografías, modelos digitales del terreno), pero se encuentra infrautilizada desde el punto de vista de que no se extrae información sobre características biofísicas de superficies de cultivos, zonas de interés ambiental, etc. De este modo, la extracción de información útil para el seguimiento de recursos vitícolas es de interés, y más si se hace aprovechando información no capturada específicamente para este fin. La posibilidad de realizar estimaciones de parámetros de interés vitícola a partir de imágenes de cámara aérea digital abre nuevas líneas de trabajo, donde se emplean técnicas de teledetección con imágenes de sensores de una resolución espacial muy elevada, y con características radiométricas poco definidas. Para ello es necesario determinar el grado de adecuación de estas imágenes y de su procesamiento (geométrico y radiométrico) para la extracción de parámetros biofísicos de interés para la gestión vitícola.

2. OBJETIVOS

El Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL) es un Ente Público, adscrito a la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León). Además de otras actividades, el ITACYL se encarga de la obtención de Vuelos Fotogramétricos, Ortofotografía Aérea y Modelos Digitales del Terreno, en el marco del PNOA. Por tanto se cuenta con imágenes digitales de todo el territorio con una frecuencia anual. El desarrollo de este trabajo se fundamenta en tratar de responder a esta pregunta: ¿es posible aplicar las imágenes del PNOA a la viticultura?

El objetivo fundamental de este trabajo consiste estimar variables de interés vitivinícola mediante índices de vegetación calculados a partir de imágenes multiespectrales capturadas para el para el PNOA.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Zona de estudio

El estudio fue llevado a cabo en los viñedos de la empresa Ribas del Cúa S.A., ubicada en la localidad de Cacabelos, y están localizados dentro de la Denominación de Origen Bierzo.

3.2. Imagen multiespectral

En la Figura 1 se muestran dos composiciones de la imagen utilizada en este trabajo (una en color verdadero y otra en falso color infrarrojo), donde se pueden ver los viñedos objeto de estudio.



Figura 1. Imagen multispectral original de la zona de estudio: composición en color verdadero (izquierda) y en falso color infrarrojo (derecha)
(Fuente: Imagen cedida por el ITACyL)

La imagen utilizada en este estudio fue capturada con una cámara Ultracam X, durante el segundo día de vendimia. Se trata de una cámara matricial o de cono, conformada por 4 objetivos pancromáticos (B/N) compuesto cada uno por 14430 x 9420 píxeles y por otros 4 objetivos matriciales multispectrales (R,G,B,IR) (rojo, verde, azul e infrarrojo cercano) de 4810 x 3190 píxeles cada uno. La focal de los objetivos de pancromático es de 100 mm y su luminosidad de $f : 1.56$. Cada uno de los píxeles (fotodetectores) tiene un tamaño de $7.2 \times 7.2 \mu\text{m}$ y la amplitud (ancho por largo) de su campo de visión (FOV) es de $55^\circ \times 37^\circ$. La distancia focal de las lentes de color es de 33 mm y su apertura $1/4.0$. La resolución espectral de esta cámara es de 400-600 nm para el canal del azul, 480-660 para el verde, 580-720 para el rojo y 620-1000 nm para el infrarrojo cercano.

El nivel de procesamiento de las imágenes empleadas en este trabajo es el denominado Level-3, que proporciona imágenes en color en RGB, CIR o RGB-NIR tras realizar un “pan-sharpening” para proporcionar la información del color a una resolución espectral como la del pancromático. En este trabajo se emplearon imágenes en formato de 8 bits.

La imagen utilizada tiene un tamaño en píxeles de 5237x3956 (columnas x filas) siendo la resolución espacial de 0.25 m. Los valores de los niveles digitales varían entre 0 y 255, para todas las bandas. Los parámetros estadísticos básicos de cada banda son los mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de la imagen multispectral.

Banda	Rango	Promedio	Desviación estándar
1	Azul	115.67	47.73
2	Verde	108.46	43.97
3	Rojo	81.08	41.11
4	Infrarrojo	148.36	42.54

3.3. Metodología

La descripción de la metodología se va a estructurar en dos apartados para diferenciar el proceso de toma de datos en el campo y el procesamiento de la imagen multiespectral.

3.3.1. Toma de datos en las parcelas de trabajo

Se muestrearon un total de 162 zonas (con una intensidad media de 23 puntos/ha), repartidas en cuatro bloques, con objeto de conseguir información representativa de todo el viñedo. Cada bloque es de una variedad diferente (Mencía, Merlot, Cabernet sauvignon y Tempranillo). Las coordenadas de cada punto de muestreo se determinaron con receptores GPS, trabajando en tiempo real con precisión centimétrica. Las zonas de muestreo abarcaron un radio de 1.5 m, tomando como centro la cepa más cercana.

La toma de las muestras de uva se hizo durante la semana del 8 al 12 de septiembre de 2008. En cada lugar de muestreo se tomó una muestra representativa de uvas con objeto de determinar el grado alcohólico probable (GAP), pH, índice de polifenoles totales (ITP) y acidez total (AT) del mosto. Los análisis químicos se hicieron con los métodos oficiales (Reglamento (CEE) N° 2676/90 de la Comisión de 17 de septiembre de 1990, por el que se determinan los métodos de análisis comunitarios aplicables en el sector del vino). Durante la vendimia (tuvo lugar a la semana siguiente) se determinó el peso total de uva vendimiada (PTU) y el peso medio de la baya (PMR).

Durante el mes de diciembre de 2008 se hizo la poda de las viñas y se determinaron en cada zona de muestreo los siguientes parámetros: peso total de la madera de poda (PTMP), relación peso de la uva / peso de madera de poda (IR), peso medio del sarmiento (PMS) y longitud media del entrenudo (LME).

3.3.2. Procesado de la imagen multiespectral

Como ya se ha comentado la imagen de partida tiene un pre-procesamiento hasta Level-3; esto implica que los niveles digitales (NDs) originales han sido modificados para conseguir valores visualmente homogéneos. Como se no se tienen los parámetros de calibración para determinar valores de radiancia o reflectancia, los índices de vegetación se determinarán a partir de los NDs.

A partir de la imagen de partida se calcularon los valores de dos índices de vegetación: el NDVI y el RVI. Se han seleccionado estos dos índices multiespectrales más usados en viticultura (Proffitt et al., 2010). Para determinar estos índices se aplicaron para cada píxel las siguientes ecuaciones:

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \qquad RVI = \frac{IR}{R}$$

Donde, IR y R se corresponderían con valores en las longitudes de onda del Infrarrojo cercano y del rojo, respectivamente.

Una vez obtenidas las imágenes con los índices de vegetación, éstas se georreferenciaron utilizando con sistema de referencia de coordenadas el ETRS89 (proyección UTM sobre el huso 29N). La georreferenciación se hizo mediante 16 puntos de control, mediante transformación polinomial de primer orden obteniendo un error medio residual de 0.65 píxeles. Para no modificar los valores de los índices se hizo un remuestreo por el *vecino más próximo*. De esta manera se podrán superponer las zonas de muestreo sobre las imágenes con los índices de vegetación. En la Figura 2 se aprecia un detalle de la definición de las zonas de muestreo y su buena superposición con las líneas de vid sobre las imágenes del NDVI y RVI.

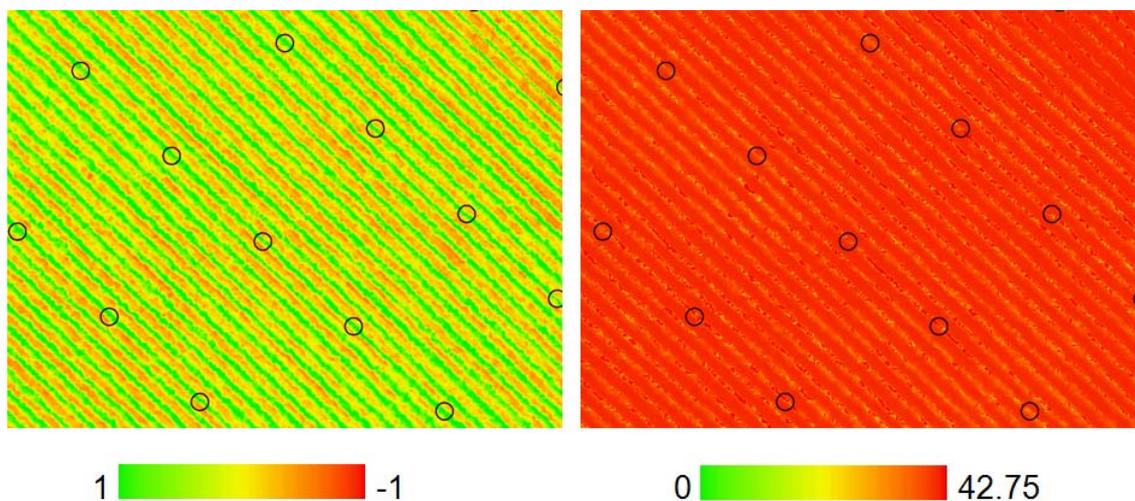


Figura 2. Imágenes con los valores de NDVI (izquierda) y RVI (derecha)

Las imágenes con los índices de vegetación se filtraron para aislar los valores de los píxeles correspondientes a las cepas. Mediante análisis espacial con SIG, se extrajeron de esas imágenes filtradas los valores promedio del NDVI y del RVI correspondientes a cada zona de muestreo.

De esta manera, para cada zona de muestreo se tienen las variables medidas en campo (de uva y madera de poda) y los valores de los índices multiespectrales. A continuación se determinaron las correlaciones entre las variables vitivinícolas y los índices de vegetación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de las zonas de muestreo

En las Tablas 2 y 3 se muestran los estadísticos de los parámetros de interés vitivinícola y de los índices de vegetación en las zonas de muestreo. Las variables relacionadas con la calidad de la uva tienen valores más centrados, aunque el rango de variación en algunos es elevado (AT e IPT). Los valores de PTU y PMR están mucho más dispersos debido a que se hizo un aclareo de racimos después del envero, dejando en cada cepa un número de racimos acorde con su estado vegetativo.

Tabla 2. Estadísticos de los parámetros relacionados con la uva

Estadístico	GAP (% vol)	pH	AT (g/L ácido tartárico)	IPT	PTU (g)	PMR (g)
Media	10.85	3.21	10.82	11.81	1494.51	108.84
Mediana	10.90	3.20	10.05	11.75	1100.50	85.28
Desv. típ.	1.11	0.10	2.55	2.56	1121.14	65.00
Mínimo	6.60	2.97	6.00	4.90	159.00	33.46
Máximo	13.50	3.46	17.50	18.60	6022.60	297.34
Rango	6.90	0.49	11.50	13.70	5863.60	263.88

Los estadísticos de los parámetros de la madera de poda son muy variables en cada zona de estudio. Antes de envero se hizo una poda mecanizada para favorecer el desarrollo de la uva y esto provocó las grandes diferencias en PTMP y PMS; los valores de LME están más centrados (Tabla 3).

Tabla 3. Estadísticos de los parámetros relacionados con la madera de poda e índices de vegetación

Estadístico	PTMP (g)	IR (%)	PMS (g)	LME (cm)	NDVI	RVI
Media	387.34	7.58	46.80	7.51	0.39	2.85
Mediana	379.05	2.45	41.40	7.85	0.39	2.84
Desv. típ.	223.84	10.40	28.27	2.27	0.07	0.55
Mínimo	49.10	0.20	7.20	1.00	0.22	1.72
Máximo	1145.60	54.00	163.70	13.20	0.57	4.46
Rango	1096.50	53.80	156.50	12.20	0.35	2.74

A pesar de las grandes variaciones de algunos parámetros medidos en campo, los valores estadísticos de los índices de vegetación están muy centrados, en especial los valores del NDVI. Como era de prever los valores del RVI tiene un mayor rango de variación puesto que es un índice que acentúa las grandes diferencias relativas en la banda del infrarrojo cercano y los valores bajos relativos en la banda del rojo (Proffit et al., 2006).

4.2. Relaciones en las variables vitivinícolas y los índices de vegetación

Para evaluar las relaciones entre los índices y los parámetros de interés se han calculado los coeficientes de correlación lineal de *Pearson* (R) al 95% (Tabla 4). Por lo general los valores de R son bastante inferiores a los obtenidos en otros trabajos (Hall et al., 2002; Johnson, 2003; Proffit et al., 2006). Los mejores resultados, tanto para el NDVI como para el RVI, se han obtenido para la AT y el PMR. Al contrario de lo que cabía esperar, las variables relacionadas con el vigor vegetativo de la cepa (PTMP, PMS y LMS) no salen bien correlacionadas con ninguno de los índices.

La justificación de estos resultados hay que buscarlos en la información almacenada en la imagen. Se ha detectado que en algunos píxeles el valor en la banda del rojo son 0; esto provoca que para ese píxel el valor del NDVI sea 1 (indicaría el máximo vigor vegetativo) y el valor 0 para el RVI. Además la mayor

parte de estos píxeles conflictivos se corresponden con las líneas de cepas. En la Figura 3 se representan en color rojo algunos de estos píxeles: puede apreciarse que, tanto los valores de NDVI como los de RVI, permiten discriminar claramente las zonas *con vid* y *sin vid* (suelo desnudo o con vegetación agostada), pero muchos de los valores de índices de vegetación no son correctos.

Tabla 4. Coeficientes de correlación de Pearson (*R*) entre las variables y los valores de NDVI y RVI.

Variable	R con el NDVI	R con el RVI
GAP	0.24	0.24
pH	-0.31	-0.35
AT	0.62	0.61
IPT	0.33	0.33
PTU	-0.50	-0.46
PMR	-0.58	-0.57
PTMP	0.51	0.48
IR	-0.57	-0.53
PMS	0.38	0.33
LME	0.42	0.35

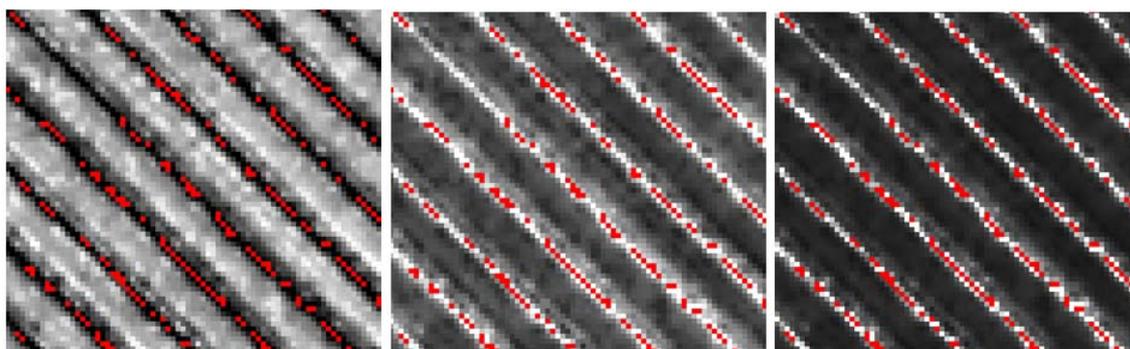


Figura 3. Píxeles con valor 0 en la banda 3 (izquierda), valor 1 en la imagen NDVI (centro) y valor 0 en la imagen RVI (derecha).

Por lo tanto la estimación de variables vitivinícolas a partir de imágenes multispectrales de Level-3, capturadas con una cámara Ultracam X está condicionada a la calidad de la imagen. Para solucionar este conflicto se deberían utilizar imágenes con un mínimo nivel de preproceso (Level-2) o imágenes de cámara aérea barredora, que disponen de una calibración radiométrica estable. Para hacer correctamente los cálculos de índices de vegetación se deberían utilizar valores de radiancia (o reflectancia) en las superficies, puesto que los valores de los NDs de las imágenes con un menor nivel de pre-procesamiento están más correlacionados con los valores de radiancia (o reflectancia) e indicativos del estado de la vegetación.

Para conseguir buenas relaciones entre variables relacionadas con la vegetación e índices de vegetación calculados a partir de imágenes capturadas con cámaras digitales multispectrales (aerotransportadas), es necesario obtener los parámetros de calibración de la cámara. En la actualidad se están tratando de determinar parámetros de calibración radiométrica para algunas

cámaras fotogramétricas como la Ultracam X (Álvarez et al., 2010). La línea de investigación iniciada con el presente trabajo proseguirá con la utilización de esos coeficientes de calibración radiométrica para evitar que el cálculo de los índices de vegetación se haga partiendo de los valores de NDs de la bandas.

5. CONCLUSIONES

Utilizando una imagen multiespectral se ha conseguido identificar las líneas de viñedo y discriminar diferentes niveles de vigor vegetativo. Sin embargo los valores correlación lineal entre los índices de vegetación calculados y las variables vitivinícolas medidas en campo, no son muy elevadas. Estos resultados son acordes con la baja calidad espectral de la imagen de partida. Para conseguir buenos resultados resulta imprescindible utilizar imágenes multiespectrales con valores de NDs con el mínimo procesado, a partir de los cuales se podrán calcular valores de radiancias o reflectancias que sí serán representativos el estado vegetativo real de la vegetación.

Agradecimientos

Este trabajo ha podido ser desarrollado gracias a la financiación del proyecto GEOVID (Aplicación de la geomática -Sistemas de Información Geográfica y teledetección de alta resolución espacial y espectral- para la estimación de variables productivas y de calidad de la vid), financiado por el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL). Asimismo, es necesario mencionar la inestimable colaboración de la bodega Ribas del Cúa S.A. (<http://www.ribasdelcua.com/>) que ha cedido sus viñedos, instalaciones y personal.

Referencias bibliográficas

F. ÁLVAREZ, F.; CATANZARITE, T.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, J.R. Y NAFRÍA, D. (2010). *Radiometric Calibration and Evaluation of the Ultracam Xp using Portable Reflectance Targets and Spectroradiometer Data. Application: to Extract Thematic Data from the Imagery Gathered by the National Plan of Aerial Orthophotography (PNOA)*. Actas EuroCOW 2010, Institute of Geomatics, Castelldefels (Barcelona), pgs. 1-6 [<http://www.ideg.es/page.php?id=787>].
Última entrada: Marzo 2010.

ARKUN, S.A.; DUNK, I.J. Y RANSON, S.M. (2001). *Hyperspectral remote sensing for vineyard management*. Proceeding of the First Australian Geospatial Information and Agriculture Conference, Sydney, Australia, pgs.17-19 July 2001 [<http://www.regional.org.au/au/gia/18/586arkun.htm#TopOfPage>].
Última entrada: Marzo 2010.

DOBROWSKI, S.Z.; USTIN, S.L. Y WOLPERT, J.A. (2002). "Remote estimation of vine canopy density in vertically shoot-positioned vineyards: determining optimal vegetation indices", *Australian Journal of Grape and Wine Research*, Vol.8, nº 2, pgs. 117–125.

HALL, A.; LAMB, D.W.; HOLZAPFEL, B. Y LOUIS, J. (2002). "Optical remote sensing applications in viticulture - a review", *Australian Journal of Grape and Wine Research*. Vol.8, nº 1, pgs. 36-47.

JOHNSON, L.F. (2003). "Temporal stability of an NDVI-LAI relationship in a Napa Valley vineyard", *Australian Journal of Grape and Wine Research*, Vol. 9, pgs. 96-101.

LAMB D.W.; WEEDON M.M. Y BRAMLEY R.G.V. (2004). "Using remote sensing to predict phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: Timing observations against vine phenology and optimising image resolution", *Australian Journal of Grape and Wine Research*, Vol. 10, nº 1, pgs. 46-54.

MARTIN, P.; ZARCO-TEJADA, P.J; GONZALEZ, M.R. Y BERJON, A. (2007). "Using hyperspectral remote sensing to map grape quality in 'Tempranillo' vineyards affected by iron deficiency chlorosis", *Vitis*, Vol. 46, nº 1, pgs. 7-14.

NAIDU, R.A.; PERRY, E.M.; PIERCE, F.J. Y MEKURIA, T. (2009). "The potential of spectral reflectance technique for the detection of Grapevine leafroll-associated virus-3 in two red-berried wine grape cultivars", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 66, nº 1, pgs. 38-45.

PROFFITT, T.; BRAMLEY, R.; LAMB, D. Y WINTER, E. (2006). *Precision Viticulture: A New Era in Vineyard Management and Wine Production*. WineTitles, Adelaide (Australia), pgs. 1-92.

RENZULLO, L.J.; BLANCHFIELD, A.L. Y POWELL, K.S. (2007). "Insights into the early detection of grapevine Phylloxera from in situ hyperspectral data", *Acta Horticulturae*, nº 733, pgs. 59-74.

RODRÍGUEZ-PÉREZ, J.R.; RIAÑO D.; CARLISLE E.; USTIN S. Y SMART R.E. (2007). "Evaluation of hyperspectral reflectance indexes to detect grapevine water status in vineyards", *Am. J. Enol. Vitic.*, Vol. 58, nº 3, pgs. 302-317.

ZARCO-TEJADA, P.J.; BERJON, A.; LOPEZ-LOZANO, R.; MILLER, J R.; MARTIN, P.; CACHORRO, V.; GONZALEZ, M.R. Y FRUTOS, A. (2005). "Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy", *Remote Sensing. Environment*, Vol. 99, nº 3, pgs. 271-287.