

Utilización de fotografías aéreas multiespectrales en viticultura de precisión.

Battistella, Maximiliano; Silva, Sonia M.¹; Alday, Silvina² y Liotta, Mario¹

¹ Estación Experimental San Juan INTA.

Calles 11 y Vidart. Villa Aberastain. Pocito C/P 5427 San Juan. Argentina.

² Universidad Nacional de San Juan. Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes.

Av. Ignacio de la Roza 230 (oeste) C/P 5400. San Juan. Argentina

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo fueron utilizar fotografías aéreas multiespectrales como herramienta en viticultura de precisión; ajustar y adaptar este método a las condiciones locales; representar la variabilidad espacial en forma de mapas a través de fotointerpretación y Sistema de Información Geográfica (SIG); y conocer la asociación entre la delimitación de zonas homogéneas obtenidas por fotointerpretación con la información de parámetros de suelo y cultivo obtenida a campo.

Palabras claves: vid, SIG, NDVI

ABSTRACT

The purposes of this research are the use of multiespectral aerial photographs in precision viticulture; to adapt and to fit this method to local conditions; to represent the spatial variability in form of maps through photo-interpretation and Geographic Information System (GIS); and to know the correlation between the boundary homogeneous zones obtained by photo-interpretation based on the information of soil and crop obtained at field.

Keywords: grapewine, GIS, NDVI

Introducción

La variabilidad espacial en rendimiento y calidad es determinada por factores propios del lugar de producción como la heterogeneidad del suelo y el clima y de gestión del cultivo como son el riego, la nutrición y el manejo de la canopia entre otros. En la mayoría de los casos las tareas se realizan en forma uniforme sin considerar la heterogeneidad de los factores que inciden en la producción.

En el caso de la provincia de San Juan el principal factor responsable de la variabilidad en un viñedo es el suelo debido a que presenta heterogeneidad en sus características físicas y químicas. También las diferentes condiciones de drenaje inciden en forma directa en la productividad y calidad de la uva.

Es posible cuantificar esta variabilidad con la viticultura de precisión, que se define como el uso de tecnologías de información para la toma de decisiones técnicas, económicas y ambientalmente adecuadas para la producción vitícola y tiende hacia el diseño y aplicación de mane-

jos sitio-específicos considerando la variabilidad existente (Ortega y Esser *et al.*, 2002). La viticultura de precisión permite discriminar zonas heterogéneas y realizar su cosecha en forma diferencial, o realizar manejo sitio-específicos que permitan homogeneizar estas zonas para destinarlas a un mismo objetivo.

Las herramientas básicas son: Sistemas de Información Geográfica (SIG), Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), imágenes obtenidas por sensores remotos y equipos especializados. Estas herramientas permiten a los productores cuantificar la variabilidad existente en el viñedo y es posible representar en forma de cartas temáticas las variaciones espaciales relacionadas con la productividad y calidad de la uva.

Durante las últimas décadas, se han desarrollado diversas técnicas para estudiar cualitativa y cuantitativamente el estado de la vegetación a partir de medidas espectrales obtenidas por sensores remotos montados en satélites o aviones (Ortega y Esser *et al.*, 2002).

¹ Contacto autores: Te: 54-0264-4921191 o 54-0264-4921079 - Correo electrónico: mbattistella@sanjuan.inta.gov.ar; ssilva@sanjuan.inta.gov.ar, maliotta@sanjuan.inta.gov.ar Copyright: EEA San Juan INTA, San Juan, Arg..

² Contacto autora: Te: 54-0264-4213380 - Correo electrónico: silald@hotmail.com

En función de la respuesta espectral generada por una superficie, es posible desarrollar índices que corresponden a ecuaciones matemáticas entre distintas bandas.

Actualmente existen numerosos índices con aplicaciones en cultivos agrícolas. El más difundido y de uso potencial en viticultura es el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), el cual considera la cantidad de energía roja que es absorbida por la clorofila y la cantidad de energía del infrarrojo cercano que es reflejada por la estructura celular de la hoja. Áreas de alto vigor (densidad vegetal) poseen una mayor reflectancia en el infrarrojo cercano y una menor reflectancia en el rojo, debido a que poseen un mayor índice NDVI (Ortega y Esser *et al.*, 2002).

Área de Estudio

La provincia de San Juan se encuentra al centro – oeste de la República Argentina. Se caracteriza por una orografía montañosa y un clima árido donde las actividades humanas se concentran en los oasis irrigados.

En la provincia existen 80.164 ha (INDEC, 2002) bajo riego que se concentran principalmente en los Valles de Tulúm, Ullum y Zonda. Más del 50% de esta superficie es cultivada con vid, cuya producción, es destinada al consumo en fresco, pasas y elaboración de vinos y mostos. El 94 % de la superficie con vid se encuentra en el valle de Tulúm (INV, 2001). Este valle se caracteriza por un clima árido, con una temperatura media anual de 17,6 °C, con temperatura media del mes más cálido (enero) de 21,6°C y 8,5 °C en el mes más frío (julio). La precipitación media anual es de 96 mm y se concentran en el período estival (INTA, 2004). Bajo estas condiciones la viticultura solo es practicable bajo riego.

La experiencia se realizó en un viñedo de la Estación Experimental Agropecuaria INTA San Juan, que se encuentra ubicada en la planicie pedemontana occidental del valle de Tulúm. Los suelos que predominan pertenecen al orden Entisol, suborden Fluvents, familia Torrripsament típico (USDA, 2003). Salcedo *et al.* (1976) clasifica este suelo como Complejo

El Salado (Co Es), caracterizado por una capa superficial de texturas variables apoyada sobre un subsuelo esquelético arenoso con gran contenido de gravas, gravillas y rodados.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en un cultivo de vid de 0,9 ha de 7 años de edad, implantado con la variedad Merlot. El sistema de conducción es espaldera alta en cordón bilateral con un marco

de plantación 2,25 m entre hileras y 2,10 m entre plantas con una densidad de 15 brotes por metro de cordón.

El sistema de riego es presurizado (por goteo), con un lateral por hilera de plantas y goteos "in line" espaciados cada 65 cm con un caudal de 2 l h⁻¹. La precipitación del sistema es de 1,37 mm h⁻¹. Los riegos se efectuaron de acuerdo a la demanda hídrica del cultivo estimada por evapotranspiración con datos de un tanque tipo A. El estado hídrico del cultivo se evaluó con un seguimiento del potencial hídrico (Scholander, *et al.*, 1965) de base o pre - amanecer y potencial hídrico de medio día.

En el viñedo se realizó un relevamiento de suelo con 10 calicatas transversales a los laterales de riego en las que se efectuó un estudio textural del perfil y un análisis de la distribución de raíces del cultivo.

Como indicador de vigor se consideró el peso de poda, y como estimador de la superficie foliar, el largo total de sarmiento. Estos datos se obtuvieron con un muestreo sistemático tomando, cada 2 hileras, la planta central de cada claro (distancia entre postes, dentro de la hilera, equivalente a 6m).

Con fecha 15 de diciembre de 2006 se obtuvieron del área de estudio fotografías aéreas con resolución espectral en las bandas del visible e infrarrojo cercano, adquiridas con una cámara aerotransportada en avión, y una resolución espacial de 0,50 m. Los puntos de control se generaron a través de un relevamiento planimétrico con DGPS en coordenadas Gauss-Krüger

A partir del procesamiento en software para tratamiento digital de imágenes se calculó el NDVI. La información generada a campo se procesó en un Sistema de Información Geográfica, con el software ArcView 3.2.

Las variables relevadas a campo en la temporada 2006/2007 se obtuvieron de registros de análisis de suelos, textura, diámetros de tronco, potencial hídrico, peso de poda, largo de sarmientos y superficie foliar total estimada.

Se utilizaron los registros meteorológicos de una estación automática METOS Weather data (Pessel instruments) instalada a campo en el área de estudio.

Resultados

Tratamiento digital y fotointerpretación:

El primer proceso consistió en determinar en forma arbitraria el NDVI en base a la fotografía del área. El resultado fue una clasificación con un intervalo de valores entre -1 y 1 (Figura 1).

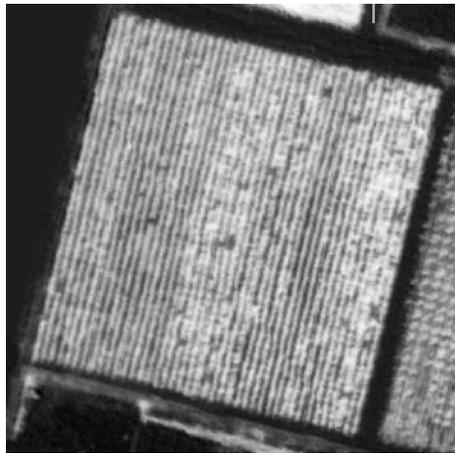


Fig. 1. Cuadro Merlot. Clasificación por NDVI (15/12/06).

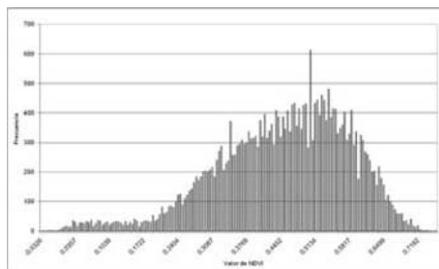


Fig. 2. Distribución de frecuencias

A partir de esta clasificación se consideraron los valores positivos de la misma y se analizó la distribución de frecuencias (Figura 2).

Como resultado se definieron 3 clases en correspondencia con los siguientes intervalos de NDVI: 0.19 – 0.339, 0.34 – 0.599 y 0.60 – 0.74 (Figura 3). Estos rangos fueron definidos como: Bajo, Medio y Alto NDVI respectivamente. Los valores inferiores a 0.19 fueron descartados debido a su correspondencia con los espacios interfilares.

A través de la fotointerpretación de la clasificación de NDVI en falso color se definieron 3 áreas de observación (Figural 4)

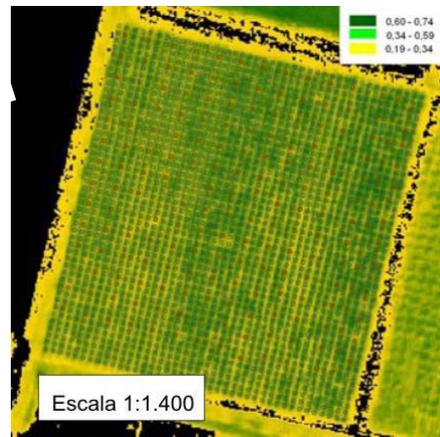


Fig. 3 Cuadro Merlot. Clasificación NDVI falso color.



Fig. 4. Cuadro Merlot. Tres áreas de observación.

Estimación área foliar:
Se obtuvo una alta correlación ($R^2 = 0,91$) entre largo total de sarmiento y superficie foliar por planta (Figura 5).

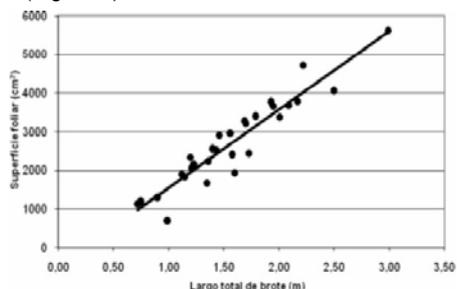


Fig. 5. Correlación entre superficie foliar y largo total de sarmiento. Cv Merlot, temporada 2006/2007.

Sistema de Información Geográfico (SIG):
El SIG, permitió agrupar la información relevada a campo de superficie foliar estimada y peso de poda, correspondiente a cada una de las áreas definidas en la figura 4.

Del análisis estadístico de la información (ANOVA) surge que la superficie foliar estimada (SFE) se diferenció significativamente entre Alto y Medio NDVI, mientras que el Bajo NDVI

mostró valores intermedios sin diferenciarse estadísticamente de las otras áreas (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de medias de SFE de las tres áreas definidas por NDVI.

NDVI	SFE (dm ² /planta)
Medio	504,05 a
Bajo	555,86 a b
Alto	589,96 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Test: LSD Fisher.

En el caso del peso de poda (PP) se observa un comportamiento similar al de SFE (Tabla 2) con diferencias significativas entre las áreas.

Tabla 2. Comparación de medias de PP de las tres áreas definidas por NDVI.

NDVI	PP(gr/planta)
Medio	613,6 a
Bajo	764,4 b
Alto	959,8 c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Test: LSD Fisher.

La falta de orden lógico entre las áreas de Bajo y Medio vigor hizo necesario replantear las áreas establecidas por NDVI. En consecuencia se fusionaron los polígonos correspondientes a

las áreas de Medio y Bajo NDVI, quedando dos áreas redefinidas como Alto y Bajo NDVI (Figura 6).



Fig. 6. Cuadro Merlot dos áreas de observación.

El análisis estadístico (ANOVA) de las nuevas áreas muestra diferencias significativas entre ambas, en superficie foliar estimada y peso de poda (Tablas 3 y 4).

Tabla 3. Comparación de medias de SFE de las dos áreas definidas por NDVI.

NDVI	SFE (dm ² /planta)
Bajo	504,1 a
Alto	589,9 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Test: LSD Fisher.

Tabla 4. Comparación de medias de PP de las dos áreas definidas por NDVI.

NDVI	PP(gr/planta)
Bajo	613,2 a
Alto	959,8 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Test: LSD Fisher.

Determinaciones en suelo:

De las calicatas realizadas en cada una de las zonas de observación, surgió que existen diferencias en la distribución de raíces entre las áreas, siendo significativamente mayor la exploración radicular en las áreas de Alto NDVI (Tabla 5).

Tabla 5. Distribución del 80% de raíces en el perfil del suelo.

NDVI	Sección de exploración del 80% de las raíces (m ²)
Bajo	0,42 a
Alto	0,60 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Test: LSD Fisher.

Efecto del viento:

Si bien algunos trabajos muestran que viñedos protegidos del viento presentan valores mayores (menos negativos) de potencial hídrico que cultivos no protegidos (Freeman, B. *et al.*, 1982), el análisis espacial de la información de potencial hídrico del 27 de diciembre de 2006, hace suponer un efecto del viento en el potencial hídrico del viñedo. Ese día los valores de medio día (13:30 hs), permitieron definir un área con potenciales de hoja de -13 bares, considerado un valor crítico de estrés hídrico para viñedos (Smart, R. *et al.*, 1974), y otra no estresada. Estos polígonos se denominaron Sur y Norte respectivamente (Figura 7).

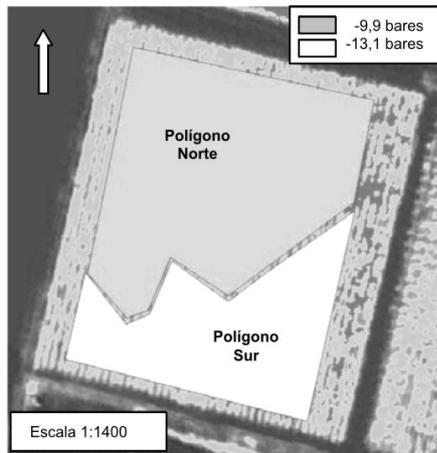


Fig. 7. Cuadro Merlot. Áreas de diferente potencial hídrico de hoja (Ψ hoja). 13:30 hs día 27 de diciembre de 2006.

El valor significativamente menor de potencial hídrico de medio día del polígono sur se explicaría, principalmente, por efecto del viento con dirección predominante del cuadrante sureste y velocidad media de $7,8 \text{ m s}^{-1}$ que se produjo durante el período de medición. Esta hipótesis se sustenta en que las mediciones de

potencial hídrico base para ese día, realizadas con calma ambiental (velocidad media del viento menor a 1 m s^{-1}) (Figura 8), no presentaron diferencias significativas entre los polígonos demarcados (Tabla 6).

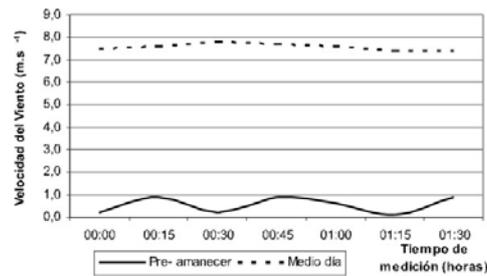


Fig. 8. Velocidad media del viento (m s^{-1}) durante los períodos de medición de potencial hídrico. Día 27 de diciembre de 2006.

Tabla 6. Diferencias de potencial hídrico pre-amanecer y medio día entre los polígonos Norte y Sur

Polígono	Ψ hoja (bares) pre amanecer	Ψ hoja (bares) Medio día
Norte	6,0 a	9,9 a
Sur	6,1 a	13,1 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Test LSD Fisher.

Conclusiones

Las áreas delimitadas por NDVI deben ser contrastadas con información a campo para poder definir áreas homogéneas de manejo. En el caso de viñedos, el peso de poda es una variable de sencilla obtención y un buen indicador del potencial productivo del cultivo. Una vez establecidas las áreas homogéneas es necesario definir puntos de observación a campo que permitan comprender los motivos de la heterogeneidad. Con esta información se tomarán las decisiones técnicas y económicas más adecuadas.

Las fotografías aéreas multiespectrales con una resolución espacial de 0,50 m, permiten diferenciar interfilar cuando la cobertura vegetal en este es escasa o nula.

Si bien las características físicas del suelo son un factor determinante de heterogeneidad en los viñedos, es importante sumar el efecto de otros agentes abióticos que influyen en el desarrollo del cultivo afectando rendimiento y calidad, tal como el viento (Dry, P., *et al.*, 1989)

Referencias

- Dry, P. R., Reed, S. and Potter, G. 1989. The effect of wind on the performance of the Cabernet Franc grapevine. Australian Temperate Fruits Review Conference. Acta Horticulturae 240, 143 -146.
- Freeman, B; Kliever, W, Stern, P. 1982. Research note influence of windbreaks and climatic region on diurnal fluctuation of leaf water potencial, stomatal conductance, and leaf temperature of grapevines. Departament of Viticulture and Enology, University of California, Davis; and Winemaker, Turgeon & Lohr Winery, San José, CA
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Censo Nacional Agropecuario 2002. <http://www.indec.mecon.ar>
- Instituto Nacional de Vitivinicultura.2001: Censo Nacional Vitivinícola.
- Ortega, R., Esser, A. 2002. Uso de percepción remota o teledetección para el manejo sitio-específico en viñedos. Centro de Agricultura de precisión. Departamento de Ciencias Vegetales. Pontificia Universidad Católica. Chile.
- Salcedo, E. N.; Castro T. S, Massanés E. 1976. Estudio de suelos y drenajes del Valle de Tulum. Convenio Gobierno de San Juan – INTA.
- Servicio de Agrometeorología. EEA INTA San Juan. 2004. Estadísticas meteorológicas del departamento de Pocito, San Juan.
- Smart, R. E. 1974: Aspect of relations of the grapevine (*Vitis vinífera*). Am. J. Enol. Vitic. Vol 36, N° 3 230 – 239
- Scholander, P.F., Hammel H.T., Bradstreet E.D. Hemmingson. E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. Science 148: 339-346.
- USDA. 2003. Keys to soil taxonomy. United States Department of Agriculture NRCS, Ninth Edition.