

---

## LA TELEDETECCIÓ APLICADA A LA VITICULTURA

---

**Miquel Aran,<sup>1</sup> Barbara Hay,<sup>2</sup> Sylvie Duthoit<sup>2</sup>**

1. Parc Científic i Tecnològic Agroalimentari de Lleida, Lleida

2. Terranis, Ramonville-Saint-Agne, França

REBUT: 15 de novembre de 2019 - ACCEPTAT: 31 de desembre de 2019

### RESUM

Les possibilitats que ofereix el tractament d'imatges de satèl·lit en viticultura tenen un impacte rellevant en la gestió de les parcel·les de vinya. Aquest cultiu presenta particularitats com ara la llarga permanència al terreny i una resposta de la planta i una productivitat variables en funció de les condicions del sòl, cosa que indica el potencial de la utilització dels aspectes vinculats a la variabilitat intraparcèl·laria. El tractament dels senyals de sensors de satèl·lits especialitzats en l'observació de la Terra, mitjançant el paquet CEnoview<sup>®</sup>, permet conèixer la variabilitat de la collita, la fertilització i els tractaments fitosanitaris, i això suposa una nova via de millora de la rendibilitat de l'explotació i la qualitat del producte. En el cas de la viticultura, enfrontada avui dia a exigències de qualitat, econòmiques i mediambientals intenses, el mètode proposat permet intuir un ampli camp d'aplicacions. En aquest article se'n presenten alguns exemples en plantacions de diversos països.

PARAULES CLAU: índex de vegetació, vigor, sòl, variabilitat interparcèl·laria, variabilitat intraparcèl·laria, sostenibilitat.

## **LA TELEDETECCIÓN APLICADA A LA VITICULTURA**

### **RESUMEN**

Las posibilidades que aporta el tratamiento de imágenes de satélite en viticultura tienen un impacto importante en la gestión de las parcelas de la vid. Este cultivo presenta particularidades como su larga permanencia en el terreno y una respuesta de la planta y una productividad variables en función de las condiciones del suelo, hecho que indica el potencial de la utilización de los aspectos relacionados con la variabilidad intraparcelaria. El tratamiento de las señales de sensores de satélites especializados en la observación de la Tierra, utilizando el paquete **ENoview®**, permite conocer la variabilidad de la cosecha, la fertilización y los tratamientos fitosanitarios, y ello supone una nueva vía de mejora de la rentabilidad de la explotación y de la calidad del producto. En el caso de la viticultura, enfrentada actualmente a un reto de calidad, económico y medioambiental, el método propuesto permite intuir un amplio campo de aplicaciones. En este artículo se muestran algunos ejemplos en plantaciones de varios países.

**PALABRAS CLAVE:** índice de vegetación, vigor, suelo, variabilidad interparcelaria, variabilidad intraparcelaria, sostenibilidad.

## **REMOTE SENSING APPLICATION IN VITICULTURE**

### **ABSTRACT**

The potential of remote sensing and satellite image processing may have an important impact in improving the management of vineyards. The crop presents a number of specific characteristics such as the long-lasting continuity of the crop in the ground and a variable productivity and plant response according to the soil conditions, suggestive of the potential for using aspects linked to inter-plot variability. The use of the specific package **ENoview®**, which processes the signal of sensors on board satellites devoted to Earth observation, provides important knowledge in terms of differential yield, fertilization and pesticide applications. This pathway of work contributes significantly to better profitability and improvement of the final product. Nowadays, in viticulture, the challenge of quality, economic, and environmental issues is relevant, and the method proposed allows a wide range of applications. In this paper, several examples are shown from plantations in different countries.

**KEYWORDS:** vegetation index, vigour, soil, inter-plot variability, intra-plot variability, sustainability.

### 1. INTRODUCCIÓ: EL SEGUIMENT DE PARCELES DE VINYA DES DE L'ESPAI

En el context actual de creixent competitivitat en els mercats internacionals, esdevé de la màxima importància per als viticultors millorar la rendibilitat de les parcel·les de vinya i maximitzar la qualitat del vi. L'agricultura de precisió és un pas en aquesta direcció. Cada vegada s'utilitzen més les imatges multiespectrals dels sensors instal·lats en satèl·lits, avions o drons, la informació de les quals s'empra per estimar els índexs de vegetació i, a partir d'aquests, calcular paràmetres biòtics relacionats amb l'estat de la vegetació (biomassa, deficiències de nutrients, estrès hídric o estat fitopatològic). Tot plegat permet cartografiar la variabilitat inter- i intraparcèllària. És rellevant destacar l'alta variabilitat a l'interior de les parcel·les de vinya, el maneig de la qual és crucial per gestionar millor la plantació en tots els àmbits: l'agronòmic, l'econòmic i el mediambiental.

En aquest article es presenten les aplicacions pràctiques de la utilització de la informació multiespectral en la gestió de parcel·les de vinya, en concret mitjançant el servei CENoview®.

### 2. LA TELEDETECCIÓ ESPACIAL: UNA EINA POTENT PER AL SEGUIMENT DE LES SUPERFÍCIES TERRESTRES

En la teledetecció espacial, l'energia de l'espectre electromagnètic, emesa o reflectida pels objectes observats, és mesurada a distància pels sensors instal·lats a bord de satèl·lits. Aquesta informació, posteriorment, s'analitza amb eines específiques. Hi ha dues grans famílies de sensors: els actius i els passius. Els sensors actius produeixen la seva pròpia font d'energia per projectar-la a l'objectiu. Altrament dit, emeten un feix d'ones electromagnètiques dirigit cap a l'objectiu i després mesuren la resposta d'aquest objectiu. Es basen en la tècnica del *radio detection and ranging* (RADAR)<sup>1</sup> o també en el *light detection and ranging* (LIDAR).<sup>2</sup> D'altra banda, els sensors passius utilitzen els raigs naturals del sol com a font d'energia. Un cop l'energia és difosa per l'objectiu, els sensors passius mesuren l'energia reflectida.

Cada objecte de la superfície terrestre té la capacitat de reflectir una quantitat d'energia en funció de la seva naturalesa i de les seves característiques intrínseques: es tracta de la *firma espectral*. El tractament i l'anàlisi de les informacions obtingudes pels sensors dels satèl·lits en les diferents longituds d'ona característiques permeten accedir a nombroses propietats dels

1. Per a més informació, vegeu <https://elib.dlr.de/82313/1/SAR-Tutorial-March-2013.pdf>.

2. Per a més informació, vegeu <http://www2.geog.ucl.ac.uk/~plewis/lidarforvegetation/lidarRS.pdf>.

objectes: forma, estructura, temperatura, composició química, etc. La selecció de les imatges dels satèl·lits depèn essencialment de les aplicacions que se cerquin.

Després d'un llarg període d'utilització militar, la teledetecció s'ha obert a l'àmbit civil (per exemple, la navegació amb Google Earth, accessible a tothom). Al mateix temps, el desenvolupament digital ha obert el camí a moltes disciplines que utilitzen la teledetecció, com ara la meteorologia, l'estudi del clima, l'epidemiologia, la gestió dels recursos naturals i, evidentment, l'agricultura.

La resolució espacial de les imatges (mida del píxel de la imatge com a element més petit observable) no cessa de millorar, com també ho fan la resolució espectral de les ones (precisió en la determinació de dades en intervals concrets de l'espectre electromagnètic) i la resolució temporal (temps transcorregut entre dues imatges seguides del mateix punt).

### **3. APLICACIONS EN L'AGRICULTURA: ELS INDICADORS DE VEGETACIÓ DERIVATS DE LES IMATGES DE SATÈLLIT**

La firma espectral de la vegetació depèn alhora de la seva naturalesa, del seu estat fisiològic, del contingut d'aigua i del sòl subjacent, que influirà més en la mesura espectral si la vegetació és escassa i cobreix poc la superfície. En les longituds d'ona de l'espectre visible, el que podem veure amb la nostra vista, la vegetació en bon estat absorbeix fortament la llum de l'interval roig i blau, i reflecteix en bona part la de l'interval verd com a conseqüència de la presència de clorofil·la. En la banda de l'infraroig proper (NIR, de l'anglès *near-infrared*), amb longituds d'ona que van de 780 a 2.500 nm, la reflectància de la vegetació se situa fora de l'espectre visible i és proporcional al vigor i a la salut de la planta. En conseqüència, la banda del NIR aporta informacions de molt valor per avaluar l'estat dels cultius.

L'anàlisi de les imatges de satèl·lit per a l'estudi de la vegetació està basada, amb freqüència, en el càlcul d'índexs de vegetació, que permeten relacionar els valors de la reflectància amb les característiques físiques i químiques de les plantes. La major part dels índexs de vegetació s'obtenen per combinacions aritmètiques de bandes espectrals en l'espectre visible i en el NIR. Existeixen altres índexs desenvolupats per la comunitat científica que utilitzen diferents longituds d'ona amb aplicacions molt concretes, com ara el contingut de clorofil·la de les fulles, el contingut d'aigua, la detecció de malalties, el rendiment, etcètera.

En el cas de l'anàlisi d'imatges per a l'estudi de la vegetació i l'agricultura, l'índex de vegetació més utilitzat és l'*índex de vegetació de diferència normalitzada* (NDVI, de l'anglès *normalized difference vegetation index*). El van desenvolupar Rouse i col·laboradors (Rouse Jr. *et al.*, 1974) i consisteix

a calcular la diferència entre la reflectància en el NIR i la reflectància en el roig (R), segons la fórmula següent:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

Aquest índex permet extreure els punts amb més o menys vegetació verda, però els resultats depenen de la quantitat d'energia rebuda en el moment concret de la captura de la informació, que depèn de la intensitat de la irradiació solar, l'angle dels raigs solars, l'estat de l'atmosfera, etc., de manera que no sempre és possible comparar els resultats obtinguts en diferents períodes.

La fracció de coberta vegetal (FCover) descriu característiques bioquímiques i biofísiques de les plantes. Aquest índex s'obté de la resposta espectral en les bandes de l'espectre visible i l'infraroig proper, i considera el tipus de cultiu, específicament, i també la humitat del sòl. Els mètodes que cerquen estimar directament aquests paràmetres a partir del senyal captat per un sensor passiu, es basen en general en una modelització complexa de les característiques d'estructura i reflectància de la vegetació (Bronge, 2004; Dahms *et al.*, 2016; Aitouda, 2012). A diferència dels índexs de vegetació, tenen en compte les característiques dels sensors, les condicions d'observació i la il·luminació. Per aquest motiu, es consideren més sòlids que els índexs de vegetació clàssics en la caracterització i el seguiment de la vegetació (Blondlot *et al.*, 2005; Roumiguié *et al.*, 2015).

L'interès de l'agricultura de precisió es basa en el fet que és una estratègia de gestió de les parcel·les que reuneix, processa i analitza les dades espacials, temporals i individuals, i les combina amb altres informacions per orientar les decisions. Una de les plusvàlues d'aquesta tècnica és que té en compte, gràcies a les imatges de satèl·lit i a la seva anàlisi espectral i temporal, els indicadors de més interès que es poden calcular i les heterogeneïtats inter- i intraparcels, cosa que permet optimitzar les dosis d'*inputs* i, per tant, incrementar el benefici de l'agricultor i minimitzar l'impacte ambiental.

#### 4. APLICACIONS DE LA TELEDETECCIÓ ESPACIAL A LA VITICULTURA

La viticultura presenta unes característiques particulars ben diferents dels grans cultius extensius en els quals s'aplica generalment l'agricultura de precisió. En la pràctica, els viticultors estan molt propers als seus cultius, ja que hi efectuen moltes intervencions manuals, moltes d'elles a l'hivern. Els viticultors estan familiaritzats amb el concepte *heterogeneïtat dels sòls*: l'utilitzen des de fa molt temps mitjançant les diferents tipificacions i la noció de *terrer*. A més, la vinya és un cultiu perenne amb rotacions de més de trenta

anys; per tant, els paràmetres mediambientals hi influeixen molt des del moment de la plantació.

Les primeres recerques en viticultura de precisió van començar els primers anys del segle XXI, deu anys després de popularitzar-se la utilització dels satèl·lits. Els resultats van posar en relleu la gran variabilitat inter- i intraparcèl·laria de les vinyes i la importància que tenia en la gestió de la parcel·la.

Actualment, es poden destacar quatre usos concrets de la viticultura de precisió, tots ells aplicables a les necessitats dels cellers i dels productors de vi:

*a) La selecció en collita:* l'estratificació basada en el vigor de la planta i els indicadors d'heterogeneïtat s'elabora per agrupar conjunts o seccions de les parcel·les amb raïms de característiques organolèptiques similars. L'eficiència d'aquesta selecció en parcel·la es millora i refina per a objectius concrets de producció.

*b) La reducció dels costos:* els *inputs* de fertilització s'ajusten d'acord amb les àrees de vigor similar, i així es pot arribar a un pla de fertilització optimitzat i racionalitzat.

*c) L'adaptació parcèl·laria de les pràctiques de cultiu:* amb l'objectiu d'homogeneïtzar les actuacions en el conjunt de parcel·les.

*d) L'optimització del mostratge:* per tal de guiar i optimitzar el nombre d'observacions al camp, com els controls de maduresa i les estimacions de collita, o per simplificar la tasca de camp del tècnic.

## **5. L'ENOVIEW®: UNA EINA PER A LA VITICULTURA DE PRECISIÓ**

El servei de viticultura de precisió anomenat CEnoview® es basa en l'anàlisi d'imatges procedents de sensors de satèl·lits (SPOT-6, SPOT-7 o la sèrie Pléiades), amb una resolució espacial de 2 m o inferior, junt amb l'expertesa vitivinícola. Des de l'any 2014, CEnoview® és comercialitzat per Terranis, empresa instal·lada recentment a Lleida. Terranis aporta l'experiència en l'anàlisi d'imatges de satèl·lit en cooperació amb el Groupe ICV (Institut Coopératif du Vin), que contribueix amb la seva experiència en viticultura i elaboració del vi. Les aplicacions més importants s'han desenvolupat a França, però també al Marroc, el Japó, la Xina, Xile, Hongria i Espanya, amb demostracions en marxa a Grècia i Itàlia.

Almenys una de les imatges s'ha d'adquirir en la fase de verolada del raïm (unes setmanes abans de la collita), però cal processar més imatges si es vol fer un seguiment al llarg del cicle vegetatiu. El processament de les dades (procedents de bandes entre l'espectre visible i el NIR) es duu a terme amb el programa Overland (Poilvé, 2010), que és el nucli del servei CEnoview® i genera un índex com l'FCover, un indicador directe del vigor de la

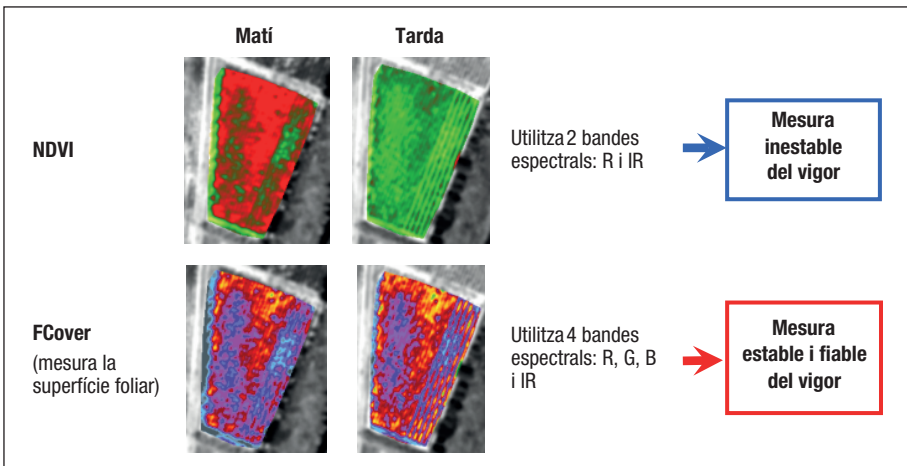
planta. Overland té en compte les característiques espectrals del sòl dessora la vegetació i també la geometria d'obtenció de les imatges (posició del sol i direcció d'observació).

La figura 1 mostra com l'FCover és més sòlid i fiable que l'NDVI. L'FCover és menys dependent de les condicions d'obtenció de les imatges, com ara l'orientació i les característiques del sensor, la data, la lluminositat, etc. A la parcel·la de vinya representada es pot observar que, al matí i a la tarda del mateix dia, els valors de l'NDVI varien, i això dona lloc a heterogeneïtats intraparcelsàries aparents. Els nivells de l'FCover són més estables i les heterogeneïtats intraparcelsàries són comparables en el decurs de la jornada. L'ús de l'FCover permet considerar, a més a més de les respostes espectrals en l'espectre visible i el NIR, l'especificitat del cultiu, element clau per a l'obtenció del resultat.

En resum, els avantatges que proporciona emprar l'índex FCover enfront de l'NDVI són els següents:

- Permet estudiar característiques biofísiques de les plantes (clorofil·la en fulla, índex d'àrea foliar [LAI], ombra de la coberta, pigmentació, fracció de la radiació activa absorbida per fotosíntesi, etcètera).
- No depèn de l'hora del dia ni de l'època de l'any.
- No es veu influït per les condicions atmosfèriques.
- Té en compte la tipologia del sòl.

**FIGURA 1.** Comparació de les imatges d'una parcel·la de vinya a la zona de Bordeus aplicant en les imatges superiors l'índex de vegetació de diferència normalitzada (NDVI) i en les inferiors, la fracció de coberta vegetal (FCover)



NOTA: B: blau; G: verd; IR: infraroig; R: roig.

FONT: Elaboració pròpia a partir de treballs interns desenvolupats per la societat Airbus i Terranis.

El vigor de la vinya obtingut amb el programa Overland mitjançant l'FCover és conegut perquè és prou sòlid i reproducible per permetre una absoluta caracterització de la parcel·la i una especialització de les recomanacions agronòmiques. Els anys 2006 i 2007, en un programa de recerca desenvolupat a França per l'Institut Nacional de la Recerca Agronòmica (INRA) i l'Institut Nacional d'Estudis Superiors Agronòmics de Montpeller (Montpellier SupAgro), es va confirmar la forta correlació entre l'FCover i la superfície foliar (Rousseau *et al.*, 2010). Tal com s'ha observat en nombroses recerques que tracten de conèixer els factors lligats a la qualitat i la composició del raïm, aquest estudi va posar també en evidència que com més elevat és el vigor de la planta, és superior el pes dels raïms i el contingut d'àcid màlic, i és inferior el contingut de polifenols totals, cosa que indica que pateix menys estrès hídric.

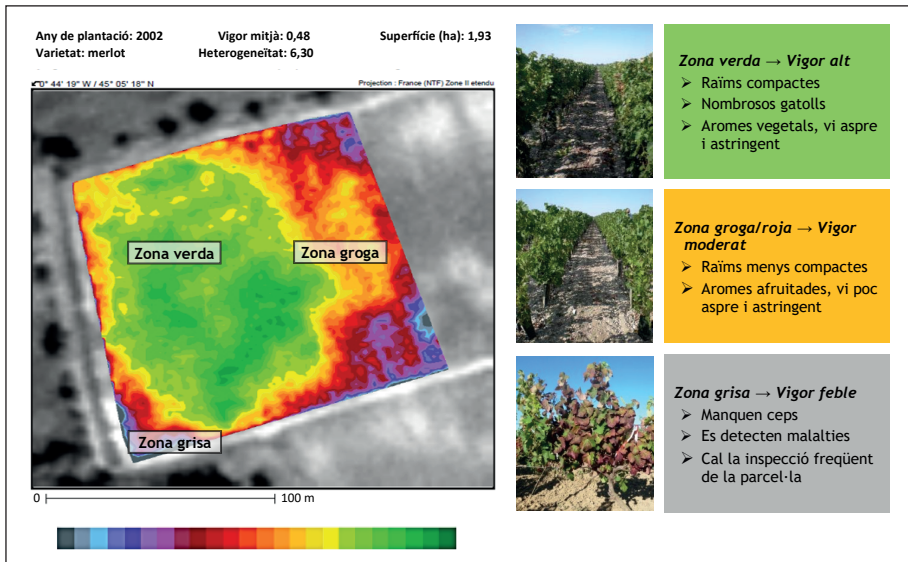
La cartografia que es pot obtenir amb l'FCover permet definir zones homogènies des del punt de vista del potencial enològic. Les microvinificacions (elaboracions de vi en petit volum), fetes a partir de raïms procedents de les zones homogènies de les parcel·les cartografiades, han demostrat als enòlegs les diferències organolèptiques entre els vins obtinguts.

CEnoview<sup>®</sup> caracteritza cada parcel·la amb un FCover mitjà, que indica si la parcel·la té globalment un vigor alt, moderat o feble. L'FCover pren un valor comprès entre 0 i 1, i s'aplica específicament a l'interior de cada parcel·la o entre parcel·les. L'índex d'heterogeneïtat indica la variabilitat de l'índex FCover a escala intraparcèl·laria. Així, es fa una classificació sòlida per vigor i per heterogeneïtat que s'aplica específicament a cada parcel·la. Aquestes informacions donaran una idea de les característiques enològiques del raïm. En l'exemple de la parcel·la de la figura 2, el vigor mitjà és 0,48, que correspon a una parcel·la de vigor alt. En canvi, l'índex d'heterogeneïtat de 6,3 correspon a un nivell d'heterogeneïtat alt. Aquestes diferències de vigor corresponen a característiques enològiques diferents.

Tres o quatre setmanes abans de la collita, es lliuren els mapes de vigor i els seus corresponents indicadors estadístics, en diferents formats opcionals (GIS, KML, PDF, pòsters, etc.), d'acord amb les necessitats dels usuaris. Per a cada parcel·la, es facilita la mitjana, la variabilitat i la superfície que ocupa cada classe d'un rang determinat de l'índex FCover. Es disposa d'una aplicació per a telefonia mòbil que permet accedir a l'aplicació CEnoview<sup>®</sup> i introduir-hi informació de la parcel·la, com l'estat de la planta, l'estat foliar, els tractaments, l'estat del sòl, etcètera.



**FIGURA 2.** Interpretació de la cartografia d'una parcel·la de vinya obtinguda amb CENOVIEU®



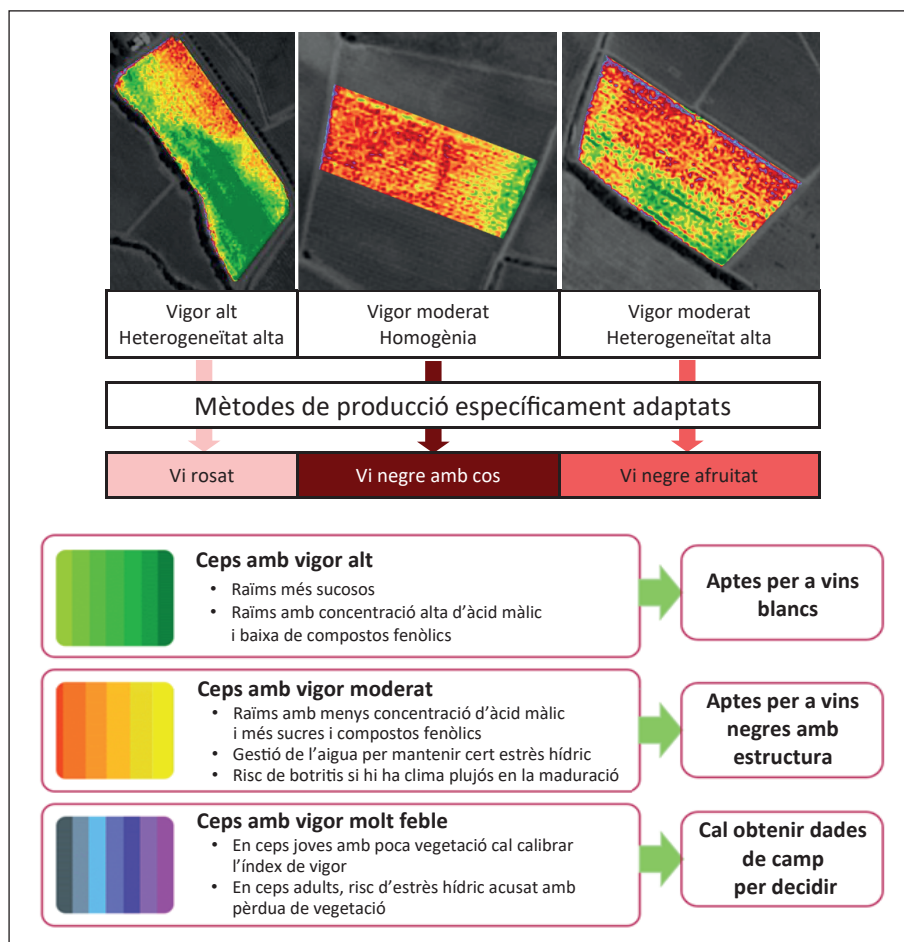
FONT: Elaboració pròpia a partir de treballs interns desenvolupats per la societat Airbus i Terranis.

## 6. EXEMPLES CONCRETS D'UTILITZACIÓ DEL SERVEI CENOVIEU® A EUROPA

### 6.1. Selecció de parcel·les

Alguns productors de vi i cellers utilitzen l'agricultura de precisió des de fa anys, i l'apliquen per caracteritzar el potencial qualitatiu de les parcel·les, a partir del vigor i els indicadors d'heterogeneïtat, per fer-ne una selecció posterior. En la figura 3 es presenta el cas de tres parcel·les de vinya de la regió del Llenguadoc (França) on s'ha aplicat l'Fcover per obtenir una discriminació zonal intraparcèl·laria i els índexs d'heterogeneïtat i de vigor. Les parcel·les amb vigor alt es van destinar a fer vi rosat, amb mètodes de producció específicament adaptats. Les parcel·les amb vigor moderat i heterogeneïtat baixa es van seleccionar per donar vins negres amb cos. Les altres parcel·les, amb vigor moderat i alta heterogeneïtat, es van orientar a fer vins negres afruitats. Es produeixen dos vins negres amb dos estils diferents i la regularitat any rere any es pot assolir mercès al suport d'aquest mètode.

**FIGURA 3.** Caracterització de parcel·les de vinya mitjançant el servei *Eno-view*® per seleccionar-les



FONT: Elaboració pròpia a partir de treballs interns desenvolupats per la societat Airbus i Terranis.

## 6.2. Reducció dels costos de fertilització

El grup Grands Chais de France (GCF) és un dels propietaris més grans de plantacions de vinya del món. Actualment, el grup gestiona 33 cellers en diverses àrees productores, amb unes 1.500 ha de vinya. Un dels objectius de GCF és cartografiar el vigor de la vinya a partir d'un projecte de viticultura de precisió. L'any 2016 es van cartografiar 600 ha de vinya per a una estratègia ecoambiental en les aplicacions de fertilitzants i fitosanitaris, que

al mateix temps en va millorar la rendibilitat. L'estratificació de les parcel·les amb una zonificació del vigor (entre quatre i vuit seccions per zona), associada a equips de fertilització capaços d'aplicar ràtios variables de nutrients, va permetre establir programes de fertilització racional (figura 4). Fins i tot sense disposar d'equips sofisticats acoblats al tractor, és possible una fertilització diferenciada: per exemple, accelerant o disminuint la velocitat del tractor en llocs determinats. La rendibilitat del pla de fertilització de 2017 no està del tot avaluada, però els mapes previs elaborats a l'àrea de producció de vins de Bordeus (cellers Châteaux Castel i Château Fayau) han posat de manifest reduccions dels costos de fertilització d'entre el 10% i el 30%.

### 6.3. Aplicacions pràctiques a Espanya: adaptació parcel·lària de les pràctiques de cultiu

El sistema CEnoview® s'ha aplicat en algunes explotacions de la península Ibèrica. L'any 2016, en un programa pilot, es va estudiar la seva capacitat per discriminar la variabilitat a l'interior d'un seguit de parcel·les de vinya de la comunitat autònoma de Castella-la Manxa. En la figura 5 es mostren els resultats de l'indicador FCover i la segmentació obtinguda en dues parcel·les.

La vinya de la parcel·la de l'esquerra és de la varietat syrah i la de la dreta, de les varietats cabernet i merlot. Les taules indiquen els valors d'FCover i la superfície, en percentatge sobre el conjunt de la parcel·la i en ha, que ocupa cada interval. En la parcel·la de l'esquerra, l'índex FCover oscil·la de 0,0513 a 0,340, i en la de la dreta, de 0,0513 a 0,299. L'heterogeneïtat de cadascuna de les parcel·les és 6,4 i 4,3, respectivament. Com més alt és l'índex, més alta és l'heterogeneïtat (com es pot apreciar visualment).

En cadascuna de les parcel·les de la figura 5 es va fer una prospecció de sòls i un seguiment en campanya dels continguts de nutrients a la fulla mitjançant l'anàlisi foliar (el mostratge es fa durant vint dies a partir de l'inici de la verolada). Els resultats van tenir un gran interès per les seves implicacions en l'ulterior maneig del sòl. Les seccions amb valors més baixos d'FCover presentaven normalment desequilibris de nutrients, tant pel que fa als macro- com als micronutrients. Les zones amb un índex més alt presentaven continguts de macro- i micronutrients dins dels intervals de normalitat.

Un cop dutes a terme la prospecció de camp mitjançant la descripció de sòls, les anàlisis de laboratori i la correlació amb el desenvolupament vegetatiu, es va constatar que els factors de desenvolupament estaven clarament associats a la tipologia del sòl. La regió presenta un paisatge edàfic caracteritzat per zones amb sòls gravencs, de classe textural franca, molt pedregosos, poc profunds i molt calcaris en un extrem. D'altra banda, altres sectors

**FIGURA 4.** Cartografia de classificació del vigor de les parcel·les amb el sistema *Enoview*<sup>®</sup> per planificar el programa de fertilització

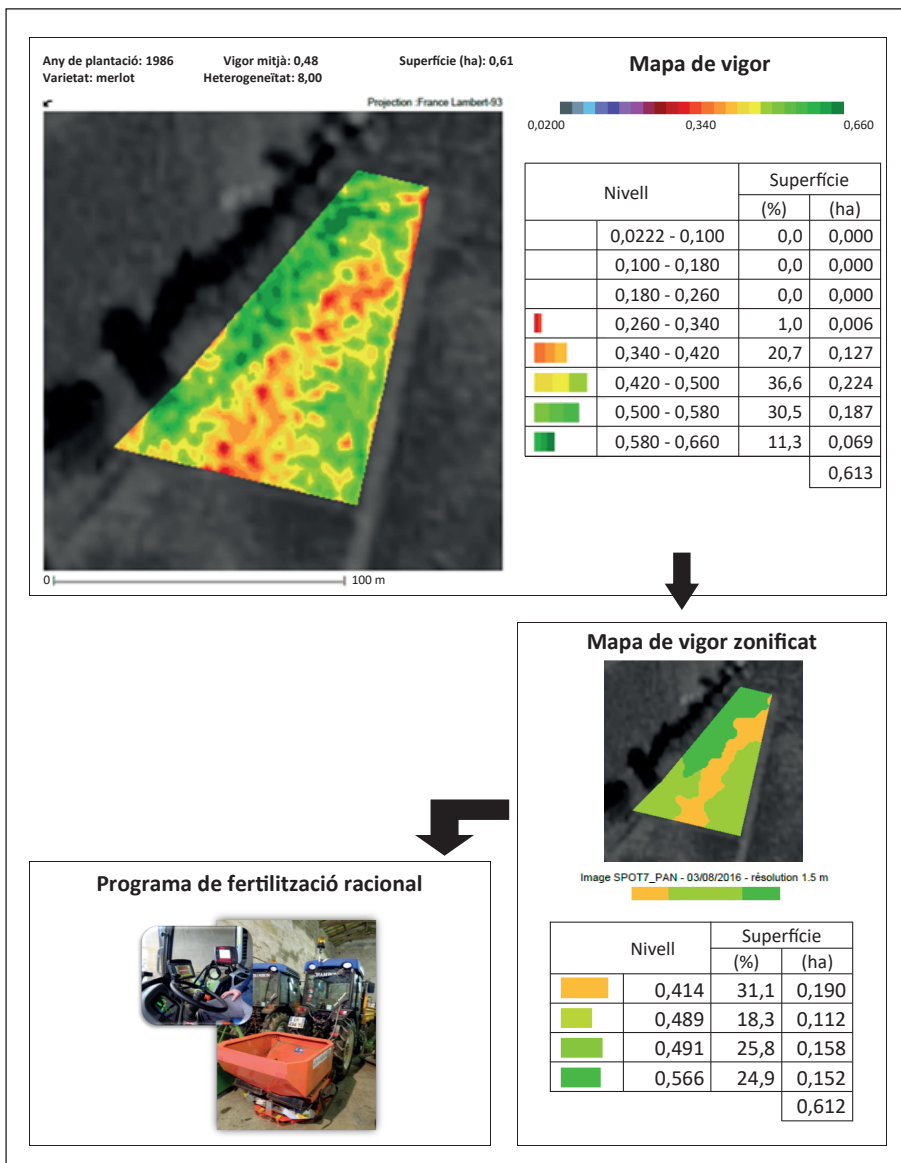
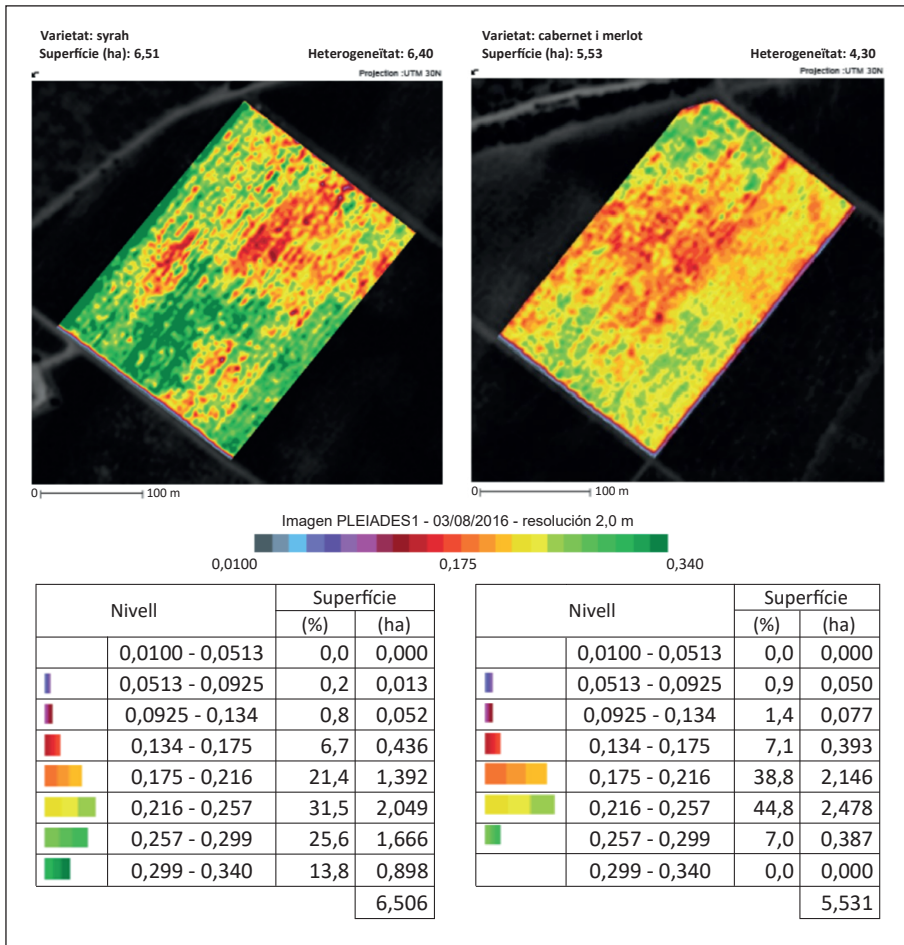


FIGURA 5. Detall del seguiment de dues parcel·les de vinya de Castella-la Manxa



FONT: Elaboració pròpia a partir de treballs interns desenvolupats per la societat Airbus i Terranis.

presenten sòls profunds, de classe textural francoargilosa, rics en matèria orgànica i lleugerament mal drenats. També es presenten parcel·les amb una certa heterogeneïtat de sòls com a conseqüència dels factors formadors i l'acció humana. Les imatges van discriminar de manera clara les grans tipologies de sòls per la via del paràmetre FCover. La presència d'anomalies nutricionals es va relacionar amb pràctiques de maneig, atès que algunes pràctiques agronòmiques s'havien orientat a solucionar problemes de desenvolupament atribuïts, inicialment, a la manca de nutrients, quan real-

ment eren deguts a factors edàfics intrínsecs. És evident l'aportació de les imatges FCover per discriminar la tipologia dels sòls i millorar l'assignació dels tractaments.

En aquest cas, la producció de les imatges ha estat molt útil per a la segmentació de pràctiques agronòmiques a escala inter- i intraparcèl·laria, que ha permès ajustar les zones que cal o no tractar, reforçar les explicacions respecte a les causes de la variabilitat parcèl·laria, regular la fertilització i eliminar algunes aportacions innecessàries. S'han pogut acotar millor les zones d'aportació de macronutrients i també les zones d'aportació de micronutrients. Igualment, les zones han permès optimitzar el treball del sòl. En la major part dels casos s'ha observat una clara associació entre les propietats del sòl combinades amb el portaempelt i la varietat del cep i la resposta espectral obtinguda.

## **7. CONCLUSIONS I EVOLUCIONS PREVISIBLES**

La viticultura de precisió permet estimar i cartografiar el desenvolupament vegetatiu de la vinya mitjançant els índexs de vegetació o paràmetres biofísics vinculats al vigor de la planta, fent ressaltar la variabilitat espacial intraparcèl·laria, però també del conjunt de les parcel·les.

Els usos concrets per part de productors particulars i cooperatives vitícoles són diversos, però la selecció de parcel·les, el maneig de la fertilització o el seguiment de l'estat nutricional, fitopatològic o fisiològic de la vinya són els més desenvolupats.

Actualment es treballa en la detecció de l'estrès hídric, un tema de gran interès per a la indústria vitivinícola. L'objectiu és l'optimització dels recursos, el subministrament de reg, de fertilització i de tractaments fitosanitaris en el lloc i la quantitat desitjats, per assegurar així les condicions de la vinya i la qualitat del vi.

En el cas de Catalunya, les possibilitats són molt considerables. La complexitat orogràfica del país i la seva varietat de sòls i clima componen un mosaic molt divers, on les tècniques de discriminació inter- i intraparcèl·laria tenen moltes possibilitats de donar suport als viticultors en la pràctica de tractaments agronòmics diferenciats i, d'aquesta manera, arribar a obtenir collites i produccions diferenciades i tipificades de raïm i vi.

L'adopció d'aquestes tècniques per part del sector de la producció de vi té, certament, les seves complexitats. Per una banda, cal fer una valoració de la necessitat d'aplicar tractaments diferenciats per zones de vigor a les parcel·les cartografiades i de les possibilitats efectives que es puguin implantar. I pel que fa a la collita, dur a terme la verema separant partides segons les esmentades zones diferencials (destinant-les a vins de diferents estils) fins a aconseguir la uniformitat de les partides.

Els costos de la tècnica no són un impediment important, ja que són perfectament assumibles en un programa de pràctiques agrònòmiques ordinàries. Les aplicacions d'aquesta tecnologia han aportat sempre una informació rellevant de l'extensió i la intensitat dels efectes de la diversitat parcel·lària, més o menys visible o simplement no detectada. La nova visió generada per l'fCover constitueix una eina potent de diagnòstic per als viticultors, i aplicar aquest índex al paisatge vitivinícola català, tan ric i variat, és plausible i prometedor.

### BIBLIOGRAFIA

- AITOUDA, H. (2012). *Estimation des variables biophysiques des cultures et étude de l'effet du changement d'échelle sur leur variabilité spatiale*. Memòria de llicenciatura. Chicoutimi: Université du Québec à Chicoutimi.
- BLONDLOT, A.; GATE, P.; POILVÉ, H. (2005). «Providing operational nitrogen recommendations to farmers using satellite imagery». A: STAFFORD, J. V. (ed.). *Precision Agriculture '05*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, p. 345-352. [Actes de la 5a Conferència Europea d'Agricultura de Precisió (Uppsala, Suècia)]
- BRONGE, L. B. (2004). «Satellite remote sensing for estimating leaf area index, FPAR and primary production. A literature review». *SKB Rapport* [Estocolm: Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.], R-04-24.
- DAHMS, T. C.; SEISSIGER, S.; CONRAD, C.; BORG, E. (2016). «Modelling biophysical parameters of maize using Landsat 8 Time Series». *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLI-B2, p. 171-175.
- POILVÉ, H. (2010). *Towards an Operational GMES Land Monitoring Core Service—BioPar Product User Manual—MERIS FR Biophysical Products*. Brussel·les: European Research. [Informe tècnic per al projecte europeu de recerca Geoland2]
- ROUMIGUÉ, A.; JACQUIN, A.; SIGEL, G.; POILVÉ, H.; HAGOLLE, O.; DAYDÉ, J. (2015). «Validation of a forage production index (FPI) derived from MODIS fCover time-series using high-resolution satellite imagery: methodology, results and opportunities», *Remote Sens.*, vol. 7, núm. 9, p. 11525-11550.
- ROUSE JR., J.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. (1974). «Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS». *NASA Spec. Publ.*, vol. 351, p. 309-317.
- ROUSSEAU, J.; HALLEREAU, C.; DOUCHE, H. (2010). *Oenoview®: applications pratiques*. [Informe a l'Assemblea General del Groupe ICV]