



Universitat de Lleida  
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària

**Projecte Final de Carrera**

**ÍNDIX PER A L'AVAUACIÓ DE L'OPORTUNITAT DE LA  
VEREMA SELECTIVA A PARTIR DE  
MAPES DE VIGOR**

Alumne: Adriana Monsó Llana  
Tutor: Jaume Arnó Satorra  
Cotutor: José Antonio Martínez-Casasnovas

Juliol 2011

## **AGRAÏMENTS**

En primer lloc, agrair al tutor, el Dr. Jaume Arnó, per la seva col·laboració i ajuda. En tot moment ha estat disponible per a la realització de consultes i per solucionar dubtes.

Agrair també al cotutor, el Dr. José Antonio Martínez-Casasnovas, pels coneixements transmesos i per la seva col·laboració en el desenvolupament del present projecte.

A la Sílvia, per tot el que he après i, especialment, per la seva ajuda en els temes de SIG.

Al Xavier Bordes, tècnic de la Divisió Agrícola de Codornú, per les dades i la informació aportada sobre el maneig i gestió de les vinyes.

Als amics, pels bons moments que hem passat junts.

I finalment, a la família, que ha estat sempre al meu costat donant-me suport.

## **ÍNDEX GENERAL**

<b>ÍNDEX DE TAULES.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDEX DE FIGURES .....</b>	<b>v</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ.....</b>	<b>2</b>
<b>2. ANTECEDENTS.....</b>	<b>6</b>
2.1. <i>Agricultura de precisió</i> .....	6
2.2. <i>Viticultura de precisió</i> .....	8
2.2.1. Variabilitat a la vinya .....	9
2.2.2. Teledetecció i índexs de vigor .....	11
2.2.3. Verema selectiva.....	13
2.2.4. Beneficis viticultura de precisió .....	13
2.2.5. Índex d'oportunitat .....	15
2.2.6. Antecedents Lleida-Raimat .....	18
<b>3. OBJECTIUS .....</b>	<b>21</b>
<b>4. MATERIALS I MÈTODES .....</b>	<b>23</b>
4.1. <i>Localització i zona d'estudi</i> .....	23
4.2. <i>Procés metodològic</i> .....	26
4.3. <i>Material utilitzat</i> .....	27
4.4. <i>Càlcul índex de vegetació NDVI</i> .....	27
4.4.1. Espectre electromagnètic .....	27
4.4.2. Imatge de satèl·lit .....	29
4.4.3. Índex NDVI .....	30
4.5. <i>Anàlisi de les dades</i> .....	32
4.5.1. Anàlisi estadística descriptiva .....	32
4.5.2. Anàlisi geoestadística .....	33
4.5.2.1. Anisotropia.....	37
4.5.3. Anàlisi "cluster" .....	39
4.5.3.1. Classificació no supervisada .....	39
4.6. <i>Índex d'oportunitat (IO)</i> .....	41
4.6.1. Variació dels valors llinars.....	48
4.6.2. Mapa reclassificat de zones de verema.....	50
4.7. <i>Contrast dels resultats</i> .....	51

---

<b>5. RESULTATS I DISCUSSIÓ</b> .....	<b>54</b>
5.1. <i>Anàlisi dels valors de l'índex de vegetació</i> .....	54
5.1.1. Anàlisi estadística descriptiva .....	54
5.1.2. Anàlisi geoestadística .....	56
5.1.3. Anàlisi “cluster” .....	59
5.2. <i>Índex d'oportunitat</i> .....	61
5.2.1. Variació dels valors llinar.....	65
5.2.2. Classificació de les parcel·les.....	69
5.2.3. Mapa reclassificat de les zones de verema .....	72
5.3. <i>Contrast dels resultats</i> .....	79
<b>6. CONCLUSIONS</b> .....	<b>83</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>86</b>
<b>ANNEX 1:</b> .....	<b>90</b>
<b>ANNEX 2:</b> .....	<b>96</b>

**ÍNDEX DE TAULES**

Taula 1: Informació general de les diferents parcel·les avaluades.....	25
Taula 2: Característiques tècniques del satèl·lit Quickbird-II.....	30
Taula 3: Estadístics descriptius dels valors de NDVI per cada una de les parcel·les.....	55
Taula 4: Paràmetres dels variogrames dels valors de NDVI per a cada una de les parcel·les.....	58
Taula 5: Quadre resum del càlcul de la superfície de cada una de les classes de vigor.	60
Taula 6: Càlcul dels paràmetres i valor final de l'índex d'oportunitat per a les diferents parcel·les.....	63
Taula 7: Càlcul dels paràmetres i valor final de l'índex d'oportunitat considerant una disminució del 20% en el llindar per aquelles parcel·les amb una lambda igual a zero.	66
Taula 8: Càlcul dels paràmetres i valor final de l'índex d'oportunitat considerant una disminució del 10% en els llindars per aquelles parcel·les amb dues lambdes iguals a zero. ....	68
Taula 9: Resum de les parcel·les amb oportunitat de verema selectiva segons l'índex proposat .....	70
Taula 10: Oportunitat de verema selectiva de les diferents parcel·les segons Raïmat o segons l'índex proposat. ....	79
Taula 11: Taula de contingència dels resultats de Raïmat i de l'índex proposat.....	80

**ÍNDIX DE FIGURES**

Figura 1: Mapes de rendiment hipotètics, amb una superfície total de parcel·la igual i el mateix rendiment mig (Pringle <i>et al.</i> , 2003).....	15
Figura 2: Mapa de situació de la zona d'estudi (Font: ICC) .....	23
Figura 3: Mapa de situació de les parcel·les de la zona d'estudi .....	24
Figura 4: Signatura espectral típica de la vegetació (Basso <i>et al.</i> , 2006).....	28
Figura 5: Contrast espectral de la vegetació sana entre les bandes del roig i l'infraroig de l'espectre (Chuvieco, 2002).....	29
Figura 6: Mapa de l'índex de vegetació (NDVI) de cada una de les parcel·les.....	32
Figura 7: Representació esquemàtica de la forma d'un variograma teòric (Basso et al, 2006).....	34
Figura 8: Exemple de semivariograma.....	37
Figura 9: Criteris a considerar per al càlcul del variograma direccional (Bohling, 2005). .....	38
Figura 10: Variograma omnidireccional P44 (isotropia).....	39
Figura 11: Variograma direccional P44 (anisotropia) .....	39
Figura 12: Esquema del procés seguit per al càlcul de l'índex d'oportunitat .....	47
Figura 14: Mapes de vigor de diferents parcel·les segons l'oportunitat de verema selectiva. ....	71
Figura 15: Mapa vigor P44 (IO=40).....	73
Figura 16: Mapa classes P44 .....	73
Figura 17: Mapa NDVI P45 (IO=33) .....	73
Figura 18: Mapa classes P45 .....	73
Figura 19: Mapa NDVI P08 (IO=28) .....	74
Figura 20: Mapa classes P08 .....	74
Figura 21: Mapa NDVI P04 (IO=26) .....	74

Figura 22: Mapa classes P04 .....	74
Figura 23: Mapa NDVI P01 (IO=25) .....	75
Figura 24: Mapa classes P01 .....	75
Figura 25: Mapa NDVI P31 (IO=25) .....	75
Figura 26: Mapa classes P31 .....	75
Figura 27: Mapa NDVI P03 (IO=24) .....	76
Figura 28: Mapa classes P03 .....	76
Figura 29: Mapa NDVI P28 (IO=24) .....	76
Figura 30: Mapa classes P28 .....	76
Figura 31: Mapa NDVI P29 (IO=24) .....	77
Figura 32: Mapa classes P29 .....	77
Figura 33: Mapa NDVI P42 (IO=20) .....	77
Figura 34: Mapa classes P42 .....	77
Figura 35: Mapa NDVI P09 (IO=20) .....	78
Figura 36: Mapa classes P09 .....	78
Figura 37: Mapa NDVI P20 (IO=20) .....	78
Figura 38: Mapa classes P20 .....	78

## **INTRODUCCIÓ**



## **1. INTRODUCCIÓ**

Els agricultors sempre han observat una certa variabilitat espacial entre diferents zones d'una mateixa parcel·la, i també temporal, ja que els cultius solen presentar diferències de desenvolupament i rendiment en diferents punts de la parcel·la degut a la variabilitat dels sòls, disponibilitat d'aigua, diferent fertilització, etc., així com d'un any a l'altre. Tot i observar diferències de rendiment dins d'una mateixa parcel·la, les pràctiques agrícoles s'han realitzat de forma uniforme, considerant la parcel·la com a unitat de maneig, sense tenir en compte la heterogeneïtat dels factors que incideixen en la producció. Aquest fet és degut, principalment, a la manca d'eines i mètodes per poder observar i mesurar la variabilitat de forma precisa.

Els avenços tecnològics dels darrers anys i l'ús de noves eines de posicionament espacial, han conduït a un nou enfocament o paradigma de l'agricultura, conegut com a agricultura de precisió. L'agricultura de precisió és un concepte agronòmic de gestió de les parcel·les agrícoles, basat en l'existència de variabilitat en el camp, que permet realitzar les pràctiques culturals de forma diferencial, en funció de la variabilitat del terreny i dels factors que afecten els cultius. D'aquesta manera, s'adeqüen les aplicacions al potencial productiu de cada zona, evitant així actuacions innecessàries en algunes zones que suposen un augment dels costos i que poden ocasionar una problemàtica mediambiental.

L'objectiu final és abandonar la idea de parcel·la com a unitat mínima de maneig per passar a treballar amb subparcel·les o zones que es delimiten i es tracten de forma diferencial en funció de les característiques productives i/o qualitatives.

Donat que els factors que influeixen en la productivitat d'un cultiu varien al llarg del temps, a més d'una component espacial també és necessari considerar una variabilitat temporal. Cal diferenciar entre la variabilitat temporal dins del mateix any, en que el paràmetre varia al llarg de l'any en funció de les condicions ambientals i de la interacció amb altres factors presents, i la variabilitat temporal al llarg dels anys. Aquesta variabilitat espacial i temporal del sòl i dels factors que incideixen en el cultiu és la base de l'agricultura de precisió.

Algunes aplicacions de les tècniques d'agricultura de precisió són la fertilització variable en funció de l'estat nutricional i del potencial productiu de cada zona, un tractament específic contra plagues o males herbes només en aquelles zones que hi hagi afectació i, fins i tot, en el moment de la recol·lecció, una separació de la collita atenent a paràmetres de qualitat. Actualment, alguns dels cultius on té més importància l'agricultura de precisió són els cereals, la vinya, el cotó i la canya de sucre.

La introducció de l'agricultura de precisió dins del camp de la viticultura és relativament recent. L'ús dels primers sensors i monitors de collita en veremadores ha posat de manifest que la producció de raïm dins d'una mateixa parcel·la pot ser molt variable. És conegut que aquesta variabilitat espacial no només afecta a la producció, sinó que també està lligada a determinats paràmetres de qualitat del raïm (Bramley, 2005).

Hi ha diverses raons que justifiquen que l'agricultura de precisió es pugui aplicar a la vinya. En primer lloc, és un cultiu en línia, amb un mateix marc de plantació, que fa que els punts de mostreig siguin fàcilment georeferenciables i que es puguin associar a un cep concret. D'altra banda, el fet de que sigui un cultiu perenne fa pensar que els patrons de comportament és mantindran més o menys estables any rere any.

També cal considerar que en la vinya no importa només la quantitat sinó que també es valora la qualitat, de manera que poder determinar quins són els factors que la regulen i com interacciona la qualitat amb la quantitat interessa molt als viticultors. Tant és així que l'estudi dels aspectes relacionats amb la qualitat del raïm és una de les línies d'investigació que presenta un major interès dins de la viticultura de precisió. Un aspecte clau és la diferenciació de zones de qualitats diferents dins d'una mateixa parcel·la per poder dur a terme una diferenciació de la collita.

La viticultura de precisió promet ser una eina molt potent d'ajuda en la gestió de la variabilitat, una millora en la gestió del cultiu i en la presa de decisions per aconseguir vins de més qualitat, i que es tradueixi en majors beneficis econòmics. A més, una aplicació controlada dels inputs, en funció del potencial productiu de cada zona també fa que es redueixin els problemes de contaminació, reduint l'impacte ambiental de les pràctiques agrícoles. Les aplicacions de dosi variable, la predicció de collita i la verema selectiva a nivell de parcel·la segons el potencial de qualitat del raïm o el seu grau de maduresa són algunes de les actuacions més rellevants en què es centra la viticultura de precisió.

Una verema selectiva en funció de paràmetres qualitatius ofereix la possibilitat d'obtenir uns lots de producte molt més homogenis pel que fa a les característiques del raïm. D'aquesta manera, el raïm de més qualitat pot anar destinat a la producció d'un vi de major qualitat, amb unes característiques diferenciades que faran que tingui un preu més elevat i, per tant, un major benefici per al productor. La diferenciació del preu entre raïms de diferent qualitat i atributs dóna èmfasi a un maneig de la variabilitat per tal de produir majors rendiments i raïms amb unes qualitats majors. És per això que alguns estudis es centren en la possibilitat d'una zonificació intraparcèl·laria de la vinya amb la finalitat d'una verema selectiva per tal d'obtenir lots ben diferenciats.

Existeixen diversos estudis que tracten la possibilitat de crear un índex que permeti avaluar les oportunitats que ofereix una parcel·la de ser manejada de forma selectiva (Pringle *et al.*, 2003; Tisseyre *et al.*, 2008). En tots els casos, però, els diferents estudis es centren en l'estudi de la variabilitat a partir de mapes de collita.

En el present projecte, l'índex proposat pretén ser una eina que permeti diferenciar aquelles parcel·les que presentin unes característiques més adequades per a la verema selectiva però partint de la informació proporcionada pels mapes de vigor.

L'ús de la teledetecció s'ha estès molt en els darrers anys. En l'àmbit de l'agricultura, les imatges obtingudes a través dels sensors remots permeten calcular l'índex de vegetació  $i$ , a partir d'aquí, relacionar-ho amb paràmetres de rendiment del cultiu o bé de qualitat. A partir de l'índex de vegetació, la parcel·la es pot classificar en àrees de vigor alt i baix. Les zones resultants es transfereixen al monitor de collita d'una màquina de verema per realitzar la recol·lecció selectiva.

Diferents estudis realitzats en vinya mostren la relació existent entre l'índex de vegetació, la massa foliar i el rendiment (Bramley, 2005). Aquelles zones amb un índex de vegetació major corresponen a zones amb un alt rendiment però amb un raïm d'una qualitat inferior. Per contra, en aquelles zones amb un índex de vegetació baix, que corresponen a un rendiment baix de collita, el raïm serà d'una qualitat superior degut, entre altres, a una concentració major de fenòlics i més color.

L'ús de mapes de vigor, per tant, esdevé una bona eina per classificar les parcel·les per a una verema selectiva ja que es consideren paràmetres de rendiment i qualitat. És per això que en el present projecte es construeix un índex d'oportunitat a partir del càlcul de l'índex de vegetació. Concretament es treballa amb l'índex NDVI (*Índex de Vegetació de Diferència Normalitzada*).

L'índex proposat (IO) es calcula a partir dels variogrames i l'anàlisi de conglomerats de les diferents parcel·les, i pretén ser una eina fàcil i senzilla per classificar de manera eficaç les parcel·les per a una verema selectiva.

## **ANTECEDENTS**

## **2. ANTECEDENTS**

A continuació es presenten els antecedents bibliogràfics més interessants, relacionats amb el concepte d'agricultura de precisió i, més concretament, aquells relacionats amb el cultiu de la vinya.

### **2.1. Agricultura de precisió**

L'agricultura de precisió es defineix com l'ús de tecnologies de la informació per a la presa de decisions econòmiques i ambientals adequades per a la producció agrícola i que tendeixen a un disseny i una aplicació de maneig diferencial, considerant la variabilitat existent en els cultius (Blackmore, 1999). L'objectiu és identificar àrees amb un potencial productiu similar que puguin ser gestionades de manera uniforme.

Site-specific crop management (SSCM) és el terme en anglès que descriu un nou enfocament de les pràctiques agrícoles, que consisteix en regular les entrades del cultiu per tal de satisfer la demanda d'aquest. La qüestió més important és determinar on la variació és suficient (en termes de magnitud i de distribució espacial) per tal de que sigui rendible un maneig específic (Pringle *et al.*, 2003).

Cal entendre l'agricultura de precisió i el maneig selectiu com una actuació adequada espacial i temporalment. L'agricultura de precisió és un procés cíclic, no una acció aïllada i, per tant, té la seva component temporal (McBratney *et al.*, 2005). És una estratègia de maneig que evoluciona, que es centra principalment en la presa de decisions. Aquestes decisions poden estar en funció de canvis en un camp segons l'estació, o canvis entre estacions. Les millors decisions donaran beneficis econòmics, ambientals i socials (Whelan, 2007).

L'agricultura de precisió té com a objectiu optimitzar la gestió d'una parcel·la, considerant diferents aspectes:

- Agronòmic: ajustar les pràctiques de cultiu a les necessitats reals de la planta (ex: fertilització nitrogenada)
- Mediambiental: reduir l'impacte relacionat amb les activitats agrícoles (ex: contaminacions per nitrogen)
- Econòmic: augmentar la competitivitat de l'explotació a través d'una major eficiència de les pràctiques agrícoles realitzades.

Es volen aplicar els coneixements per tal de permetre a l'agricultor variar els inputs que són controlables de tal manera que es pugui maximitzar els beneficis dels outputs i minimitzar els resultats desfavorables (Cook *et al.*, 1998).

L'agricultura de precisió requereix l'ús de les tecnologies dels Sistemes Globals de Navegació per Satèl·lits, sensors locals i sensors remots, monitors de collita, dispositius automàtics d'aplicació variable juntament amb Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG) i sistemes per a l'anàlisi i la interpretació de la informació. La informació recollida pot ser utilitzada per avaluar amb major precisió la densitat òptima de sembra, estimar l'aplicació de fertilitzants i altres entrades necessàries, i predir amb més exactitud la producció dels cultius.

El sistema de posicionament global (GPS) és un mètode general per a determinar identificar la posició d'un objecte o persona sobre la superfície terrestre o l'atmosfera. El sistema GPS proporciona les coordenades espacials per al mostreig i per a la posterior elaboració de mapes. Aquest sistema de posicionament és utilitzat també en màquines d'aplicació variable i en veremadores.

Els Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG, o GIS en el seu acrònim anglès) són sistemes capaços d'integrar, emmagatzemar, editar, analitzar, compartir i mostrar informació amb referències geogràfiques. És el software que permet gestionar les dades alfanumèriques i gràfiques associades a les coordenades obtingudes a partir del GPS.

Els sensors remots són sistemes o instruments que permeten captar informació d'un objecte a distància. Utilitzats en l'àmbit de la teledetecció, capten les característiques físiques de la superfície terrestre, basades en mesures de radiació reflectida i emesa de cada component de la superfície. Les dades poden ser obtingudes des d'una avioneta (fotografies aèries) o des de satèl·lits que es troben a grans distàncies de la terra.

L'agricultura de precisió sol dividir aquest conjunt de tecnologies en tres etapes diferents:

- Observació i recol·lecció de dades (monitors de cultiu i sòl, mapes de producció)
- Interpretació i avaluació de les dades (anàlisi de la informació)
- Implementació del sistema de maneig (aplicació dels inputs d'acord a un sistema de maneig variable i/o recol·lecció selectiva)

Així doncs, l'agricultura de precisió és un procés cíclic continu d'observació, avaluació i interpretació que condueix al desenvolupament d'un maneig diferencial. (Bramley *et al.*, 2004; Bramley, 2009). Amb aquesta informació es defineix un cicle de pràctiques agrícoles orientades a substituir la recomanació habitual en base a un valor promig per una més precisa amb un maneig localitzat, considerant les variacions de rendiment de tota l'àrea.

## **2.2. Viticultura de precisió**

Amb l'aparició l'any 1999 del primer monitor de collita (Bramley *et al.*, 1999), es van obtenir els primers mapes de rendiment que demostraven una certa variabilitat de la producció dins d'una mateixa parcel·la. A partir de llavors, molts estudis s'han centrat en l'estudi d'aquesta variabilitat i dels factors que l'ocasionen per tal d'aplicar els conceptes de l'agricultura de precisió en el maneig de la vinya (Bramley *et al.*, 2003b).

La viticultura de precisió és un concepte que té un especial interès en països d'importància vitivinícola com Austràlia, Estats Units, Argentina, Xile, però també a Europa, especialment a França, Espanya i Portugal.

La investigació en l'àmbit de la viticultura ha de permetre als viticultors i enòlegs conèixer i comprendre per què la collita varia dins d'una mateixa parcel·la, quines són les causes d'aquesta variació, com estan relacionades la collita i la seva qualitat i, davant l'existència d'aquesta variabilitat espacial, saber si està justificat un maneig diferencial de la vinya des d'un punt de vista tècnic i econòmic (Arnó *et al.*, 2009).

El que està reconegut és que la inherent variació del sòl (topografia, propietats del sòl) condueix a una variació en la productivitat potencial. Per tal de millorar aquestes relacions cal considerar estratègies de maneig on els inputs estiguin relacionats amb els outputs esperats. L'adopció de l'agricultura de precisió té com a objectiu ajudar els agricultors a prendre la decisió correcta per tal d'obtenir uns resultats beneficiosos, ja sigui amb una focalització de les entrades o a través d'una collita selectiva (Bramley, 2009).

Les parcel·les amb majors oportunitats per a la viticultura de precisió són aquelles amb una gran variació del rendiment i una forta estructura espacial d'aquesta variació. Una variació gran en la producció significa una major variació en les taxes d'aplicació dels inputs i, per tant, majors beneficis econòmics i mediambientals que en un maneig uniforme. Una forta estructura espacial és desitjable ja que les màquines d'aplicació de dosi variable podran treballar de forma més eficaç quan les zones de diferent tractament siguin grans i definides de forma clara i regular.

Un dels punts importants per als productors de raïm que ofereix la viticultura de precisió és la possibilitat d'aconseguir uns lots de producte el més uniformes possible (Bramley *et al.*, 2004), ja que els enòlegs demanen lots de bona qualitat i uniformes per tal d'aconseguir un producte final amb unes característiques determinades, que facin aquell vi fàcilment identificable (Bramley, 2005).

Dins l'àmbit de la viticultura les tècniques de precisió es centren principalment en la possibilitat d'una aplicació variable dels inputs o bé en un maneig selectiu de la collita. Dins d'aquest últim punt destaquen principalment les tècniques de predicció del rendiment o dels paràmetres de qualitat de la vinya, així com l'avaluació de l'oportunitat de les diferents parcel·les per a un maneig selectiu.

### **2.2.1. Variabilitat a la vinya**

La variabilitat espacial dins d'una parcel·la ha existit sempre però usualment s'ha fet un maneig homogeni de tota la parcel·la sense considerar les variacions existents. El problema és que la incertesa temporal és molt gran i, degut a l'absència d'eines i mètodes per observar i mesurar aquesta variació, sovint s'ha considerat que la millor estratègia és continuar amb un maneig uniforme (Cook *et al.*, 1998). Així doncs, és important estudiar la variabilitat existent per tal de conèixer els patrons de variació i poder determinar les pràctiques de maneig més adequades.

Diversos estudis realitzats mostren que la variació de rendiment presenta una estructura espacial marcada (Pringle *et al.*, 2003) i que existeixen fortes similituds entre la variació de rendiment i de les propietats del sòl (Bramley, 2005).

Aquestes variacions de rendiment poden estar associades a la topografia del terreny i també estan relacionades amb factors del sòl, com la textura, l'estructura, el contingut de matèria orgànica que contribueixen al contingut d'humitat, la capacitat d'intercanvi catiònic i la disponibilitat de nutrients. Per tal de controlar aquesta variabilitat es realitzen tractaments variables en la collita (raïm de diferent qualitat, ordi i blat amb diferent nivell de proteïna), o bé variacions en les pràctiques de cultiu com ara la dosi de sembra, l'aplicació de pesticides, la dosi de reg o els reguladors de creixement (Bramley *et al.*, 2003b; Whelan, 2007).

Considerant que hi ha variabilitat intraparcèl·laria i que existeix la possibilitat d'un maneig específic per tal de gestionar aquestes variacions, es plantegen un seguit de qüestions que cal tenir en compte per tal d'aplicar les tècniques de viticultura de precisió.

En primer lloc, és important saber si els patrons de variació són constants any rere any. Si no ho són, clarament la idea de que l'agricultura de precisió comportarà una sortida major és errònia. En segon lloc, cal saber si els patrons de variació de rendiment estan relacionats amb els patrons de variació de qualitat. Si ho són, el maneig específic esdevé molt més simple ja que els dos paràmetres estan lligats; sinó, cal decidir si el maneig es centra en aspectes de qualitat o de quantitat. També cal conèixer quins són els factors de variació i com es poden manejar. Evidentment, si no es coneixen o no es poden manejar, l'oportunitat d'un maneig específic es limita. I, finalment, cal saber si



un maneig diferencial comporta uns majors beneficis econòmics davant un maneig homogeni (Bramley *et al.*, 2003b; Bramley, 2009).

Bramley *et al.* (2003b), Bramley *et al.* (2004) i, Tisseyre *et al.* (2008) mostren que el rendiment de la vinya és variable dins d'una mateixa parcel·la i que aquesta variabilitat és manté d'una campanya a l'altra seguint una estructura espacial definida. Analitzant els mapes de rendiment obtinguts durant una sèrie d'anys, es mostra que els patrons de variació del rendiment en vinya són estables en el temps, encara que les mitjanes anuals variïn d'un any a l'altre degut a les variacions climàtiques. Així doncs, es mostra una estabilitat temporal en els patrons de variació del rendiment, tot i que s'observen diferències entre les mitjanes anuals de cada bloc (Whelan, 2007; Bramley *et al.*, 2004).

Els mapes de rendiment obtinguts a través de sensors de rendiment o utilitzant eines de teledetecció (mapes índex NDVI) han mostrat que els patrons de variació del rendiment es mantenen constants any rere any, i la magnitud de variació observada pot ser en alguns casos de 8 a 10 vegades major en algunes zones de la parcel·la (de 2 a 20 t/ha) (Bramley *et al.*, 2004).

Així doncs, diversos estudis realitzats sobre la variabilitat en vinya mostren que la vinya és un cultiu molt variable, que aquesta variabilitat té una marcada estructura espacial i que els patrons de variació són temporalment estables. Donades aquestes circumstàncies, la viticultura de precisió pot ser una bona estratègia de maneig, ja que els costos d'adquisició de les dades per a un maneig selectiu són inferiors als beneficis que comporta (Bramley *et al.*, 2003b).

Un altre dels aspectes d'especial interès és l'estudi de la variabilitat pel que fa als paràmetres de qualitat del raïm. Una zonificació considerant diferències de qualitat és important ja que els enòlegs demanen lots de bona qualitat i uniformes. Si es fa un maneig zonal, els lots que arriben a la bodega són més uniformes i amb unes característiques qualitatives més definides i més diferenciades.

L'estudi de la variabilitat dels paràmetres de qualitat mostra que hi ha variació interanual en els índexs de qualitat dels fruits. En termes de variació intra-anual, però, alguns paràmetres (com els fenòlics) tendeixen a ser més variables que altres (°Baumé) expressats en termes de Coeficient de Variació (CV). La variació en la qualitat en el moment de la collita és considerablement menor que la variació de rendiment (era de l'ordre de 8 a 10 vegades, CV = 40%), però tot i això, aspectes qualitius com la concentració d'antocians i fenòlics presenten un CV del 14% (Bramley, 2005). Donada la importància del color com a índex de qualitat, es suggereix que el coneixement de la variació intraparcèl·laria de la qualitat del fruit (i com a conseqüència del vi) és un bon indicador per a la zonificació de les parcel·les.

Considerant tots els atributs químics junts, es pot diferenciar en les parcel·les una zona de baix rendiment, però que també pot ser caracteritzada com la de producció de fruita més adequada, amb baies més petites i una major concentració de color i de fenòlics. Així doncs, en zones d'alt rendiment on el vigor és alt, la qualitat del raïm és baixa; per contra, en zones de baix rendiment, els fruits són més petits, però la qualitat és major, ja que augmenta la concentració dels paràmetres de gust i de color (Paoli *et al.*, 2010).

Els resultats obtinguts donen suport a la idea d'un maneig zonal de la vinya ja que els paràmetres de qualitat presenten diferències significatives entre una zona i l'altra (Bramley, 2005). Donada la possibilitat d'una diferenciació de preus entre raïm de diferent qualitat, el maneig de la vinya cal que s'adeqüi a aquesta variabilitat espacial de la qualitat per tal de produir lots més homogenis (Lamb *et al.*, 2004).

Donada l'estabilitat temporal dels patrons de distribució de la verema, el maneig diferencial del cultiu en base a la delimitació de zones dins la parcel·la és una opció possible en viticultura (Arnó, 2008). S'ha demostrat una dependència bàsica de la collita de raïm a l'estat nutritiu dels ceps, la qual cosa permet plantejar la possibilitat d'una fertilització diferencial i, la covariació espacial existent entre la collita i els paràmetres que mesuren la seva qualitat planteja la possibilitat d'una verema selectiva.

### **2.2.2. Teledetecció i índexs de vigor**

La teledetecció permet adquirir informació del terreny i del cultiu a partir de les imatges aèries o satel·litàries utilitzant una o més longituds d'ona reflectides o emeses per la superfície terrestre.

En els últims anys s'ha estès l'ús de la teledetecció, i la disponibilitat d'imatges de satèl·lit d'alta resolució ha esdevingut per als agricultors una bona eina per a caracteritzar la producció i analitzar les variacions dins de les parcel·les. La informació procedent d'imatges satel·litàries s'utilitza en l'anàlisi del territori gràcies a la possibilitat de disposar d'informació periòdica i a gran escala d'extenses franges de la superfície terrestre. Els avenços en equips informàtics i software específic per al processament de la informació captada han permès aprofundir en les aplicacions de la teledetecció al mateix temps que ha anat augmentant el nombre d'usuaris d'aquesta tècnica.

A partir d'aquests sensors s'obtenen imatges multiespectrals amb una freqüència determinada per tal de calcular l'índex de vigor del cultiu. Els índexs de vegetació redueixen la informació de les bandes a un únic valor numèric que s'utilitza en molts casos per remarcar canvis en les condicions de la vegetació, ja sigui sobre l'estat nutritiu del cultiu, la possible incidència de plagues i malalties o l'estrès hídric.

La variació espacial de la biomassa fotosintèticament activa (PAB) a través dels sensors remots s'ha relacionat amb la variació espacial del rendiment de raïm i maduresa dels fruits (Bramley *et al.*, 2003a). Donades les relacions entre PAB i la qualitat del raïm (especialment en varietats negres) existeix un potencial per avaluar el color i el total de fenòlics (Lamb *et al.*, 2004). Així doncs, la informació obtinguda a través dels sensors remots esdevé una eina de maneig d'enorme potencial per a agricultors i enòlegs, ja que permet la divisió de la parcel·la en diferents blocs per facilitar el maneig selectiu.

Existeixen diferents índexs de vegetació, entre els quals el NDVI és un dels més utilitzats. Hi ha una correlació positiva entre aquests índexs de vigor i les característiques estructurals o fisiològiques de la vinya (Arnó *et al.*, 2009). Diversos estudis demostren la influència que el vigor de la vinya té sobre el rendiment i els paràmetres de qualitat. Vinyes amb un vigor major produeixen major quantitat de raïm, però de menor qualitat, en concordança amb una menor concentració de fenòlics i menys color. Els resultats confirmen que els sensors remots són una bona eina per determinar la variabilitat espacial i la composició del fruit i el rendiment (Hall *et al.*, 2011).

L'ús d'imatges de satèl·lit per predir les característiques al moment de collita dependrà de la fenologia del cultiu. El moment del verolat, +/- 2 setmanes, és el moment òptim per adquirir les imatges ja que les variacions que s'observen en les imatges obtingudes durant aquest període mostren una major concordança amb la predicció de la variació en el color del fruit i els fenols a la collita (Bramley *et al.*, 2003b).

Així doncs, la teledetecció ofereix un sistema de maneig de la vegetació que permet detectar la variabilitat existent en els cultius a partir de sensors. A partir d'aquí es poden identificar les causes de la variabilitat intraparcèl·laria i les diferències de maneig de diferents factors que permetin un balanç òptim entre rendiment, qualitat i àrea foliar. Un dels temes de màxim interès és la possibilitat de definir unes zones de maneig diferencial i la formulació d'un índex d'oportunitat, com en la línia proposada per Whelan *et al.*, 2000; o Pringle *et al.*, 2003, per avaluar la possibilitat d'un maneig específic (Arnó *et al.*, 2009).

Estudis realitzats a Lleida mostren variabilitat intraparcèl·laria de certs paràmetres de qualitat i, el que és més important, la possibilitat de dividir les parcel·les en zones de diferent qualitat en base a l'ús de la informació subministrada per una imatge de satèl·lit Quickbird-II (Agelet, 2007; Arnó *et al.*, 2009). Així doncs, el càlcul de l'índex de vegetació NDVI a partir d'una imatge de satèl·lit permet zonificar les parcel·les per fer una verema selectiva (Martínez - Casasnovas *et al.*, 2010).

### **2.2.3. Verema selectiva**

En base a les dades obtingudes, i donada la variació de collita dins d'una mateixa parcel·la, existeixen dues alternatives pel que fa al maneig selectiu: fer un maneig homogeni de la parcel·la i considerar una verema selectiva per manejar la variabilitat de qualitat en funció del vigor alt o baix; o fer un maneig diferencial de les diferents accions que es realitzen a la parcel·la en base al mapa de rendiment.

La verema selectiva és defineix com la separació del raïm en el moment de la collita, segons criteris de diferent relació rendiment/qualitat per tal d'aprofitar la variabilitat observada (Bramley *et al.*, 2004). Així, en lloc de centrar la gestió diferencial en les entrades, la verema selectiva consisteix en la recollida diferenciada dels productes, impulsada també per l'imperatiu de qualitat de les indústries del vi (Bramley, 2009).

Les dades de rendiment, juntament amb informació complementària sobre la topografia del terreny i imatges de sensors, s'utilitzen per fer una classificació de la parcel·la en diferents zones per fer un maneig específic (Bramley *et al.*, 2003b). Es construeixen classes de maneig segons paràmetres de qualitat, rendiment i condicions del terreny. Aquestes classes defineixen àrees per una collita selectiva per separar el fruit en funció de la qualitat i permetre als viticultors fer vins de diferents graus (Bramley, 2005). Els beneficis econòmics varien entre el 3% i el 70% del valor del raïm (Whelan, 2007).

En vinya s'aconsegueix un valor afegit en la diferenciació de criteris com l'acidesa, pH o contingut de sucres (McBratney *et al.*, 2005), ja que és important el valor afegit d'un producte de major qualitat. Per tant, una verema selectiva basada en la variació de vigor (relacionat amb la variació final de rendiment) i una diferenciació del producte final, tenen com a conseqüència un increment del valor final de la producció (Bramley *et al.*, 2003b).

En estudis anteriors on s'ha realitzat una verema selectiva a partir de la zonificació segons el càlcul de l'índex de vegetació, el raïm recol·lectat mostra una diferenciació en quant a paràmetres de qualitat com el pH, l'acidesa total, el contingut de fenols i el color (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2010).

### **2.2.4. Beneficis viticultura de precisió**

Coneguda la variabilitat existent en les parcel·les de vinya, i considerant les possibilitats que ofereix la viticultura de precisió a partir d'un maneig específic de les zones ja sigui a través d'aplicacions de taxa variable o amb la verema selectiva, cal saber si aquest maneig diferencial comporta un benefici econòmic davant un maneig uniforme (Bramley, 2009). Són diversos els estudis que s'han realitzat per tal d'avaluar

els beneficis econòmics que suposa la viticultura de precisió per als productors, i en tots ells es conclou que les tècniques de maneig específic són rendibles i que els beneficis que s'obtenen de més compensen les despeses extra derivades de les tècniques d'agricultura de precisió.

La viticultura de precisió millora l'ús de factors productius (aigua, fertilitzants, productes fitosanitaris), reduint costos i minimitzant l'impacte ambiental (Arnó *et al.*, 2009). Pel que fa a la importància mediambiental, les tecnologies d'aplicació variable (VRA – Variable Rate Application) permeten limitar l'aplicació en concordança amb el potencial productiu d'una zona i adaptar l'aplicació a la resposta, amb la conseqüent reducció de la contaminació degut a aplicacions excessives o possibles pèrdues de nitrogen (Bramley, 2009).

Un estudi realitzat sobre aplicació de dosi variable en fertilització nitrogenada conclou que els tractaments uniformes suposen unes pèrdues de \$A0,15/ha - \$A32/ha (dòlars australians/ha) degut a zones de la parcel·la que no responen al tractament o que responen negativament. L'agricultor pot haver perdut \$A8/ha d'haver aplicat la urea de forma uniforme a una dosi recomanada de 60 kg/ha. La taxa variable òptima pot haver generat uns beneficis mitjans de \$A17/ha, principalment, evitant pèrdues en àrees on no hi ha resposta. Aquest estudi suggereix que el benefici potencial d'una aplicació variable pot ser significatiu i suficient per tal de cobrir els costos addicionals dels mapes i del control de taxa variable, que estan sobre els \$A5-15/ha (Cook *et al.*, 1998).

Un estudi a Margaret River (Austràlia) mostra els beneficis econòmics derivats de la verema selectiva. El rendiment mitjà obtingut en una parcel·la de la varietat Cabernet Sauvignon va ser de 13t/ha, però les dades mostren una gran variació entre els màxims i mínims de rendiment, amb uns valors mitjans de 16 i 8 t/ha respectivament. Els raïms recol·lectats en la zona de major valor d'índex PCD (Plant Cell Density), major vigor i màxim rendiment, van ser d'una qualitat inferior, amb menys color, i finalment el producte final és va vendre a \$19/botella. En canvi, el vi obtingut del raïm de la zona de menor rendiment presentava unes característiques superiors. Com a conseqüència, el vi produït va ser d'una qualitat superior i es va vendre a \$30/botella. Si tota la parcel·la s'hagués veremat de forma unitària no s'haguessin diferenciat aquestes dues zones de qualitats diferents, i tota la producció hagués anat destinada a un vi de qualitat baixa. Com a resultat de la verema selectiva, el valor de venda de tota la producció es va incrementar en A\$102.000. Tot i considerar que en la viticultura de precisió hi ha un cost afegit, els beneficis obtinguts compensen aquest cost i permeten obtenir uns beneficis majors que en un maneig homogeni (Bramley *et al.*, 2003a).

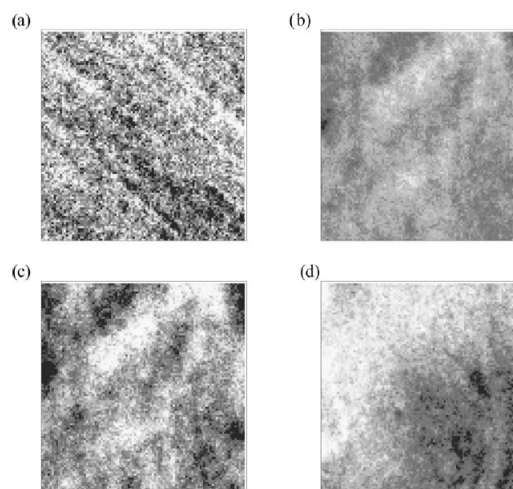
Un estudi realitzat a Austràlia sobre el cost que suposa l'adopció de la viticultura de precisió com a mètode de maneig de la vinya, conclou que el cost addicional d'adoptar la tecnologia de verema selectiva, per un període de 5 anys, suposa entre un 0,5 – 2% del valor del preu rebut pel raïm (Bramley *et al.*, 2003b). Per tant, la

viticultura de precisió ofereix als viticultors i als productors de vi la possibilitat d'adquirir informació valuosa sobre el seu sistema de producció, i el seu cost és compensat pels beneficis que se'n genera.

### **2.2.5. Índex d'oportunitat**

Coneguda la variabilitat intraparcèl·laria tant pel que fa al rendiment com a la qualitat del raïm, i després d'analitzar els beneficis econòmics que comporta un maneig selectiu, una de les línies importants d'investigació s'ha centrat en la possibilitat de crear un índex que permeti avaluar l'oportunitat d'un maneig diferencial de les diferents zones d'una parcel·la, i determinar en quines parcel·les l'oportunitat és major.

És evident que l'oportunitat d'un maneig diferencial, com ara la verema selectiva, dependrà de les característiques que presenti la parcel·la i de la variabilitat existent. Tal com es mostra en la Figura 1, l'oportunitat augmentarà en les parcel·les des d'(a) a (d). Es considera que l'oportunitat serà major en la parcel·la (d) on la variació de rendiment en termes de magnitud és gran i, a més a més, hi ha una forta estructura espacial.



**Figura 1: Mapes de rendiment hipotètics, amb una superfície total de parcel·la igual i el mateix rendiment mig (Pringle *et al.*, 2003).**

Així doncs, considerant les diferències existents entre parcel·les, són diversos els autors que han proposat un índex d'oportunitat per tal d'avaluar quines parcel·les presenten unes característiques òptimes per al maneig diferencial.

Whelan *et al.* (2000) conclouen que l'oportunitat d'un maneig selectiu implica una component econòmica (E), una component mediambiental (V) i una component de variació espacial (T).

Pringle *et al.* (2003), proposen un índex basat en l'ús d'eines geoestadístiques per tal d'estudiar la correlació espacial de les dades. En aquest cas, cal eines informàtiques i uns coneixements sobre SIG i geoestadística per tal de poder interpretar les dades. Aquest índex, anomenat  $O_i$ , correspon a un valor numèric que permet justificar la possibilitat d'un maneig específic.

L'índex  $O_i$  està basat en tres components: la magnitud de variació present en el mapa de rendiment en relació a un llindar determinat; l'àrea mitjana on aquest rendiment està autocorrelacionat en relació a l'àrea mínima on les màquines de dosi variable poden operar; i els beneficis tant econòmics com mediambientals que s'obtenen d'un maneig específic en relació a un maneig homogeni. [1]

$$O_i = f \left\{ \left( \frac{\text{Magnitud de variació del rendiment}}{\text{Llindar}} \right) \left( \frac{\text{Estructura espacial de la variació}}{\text{Llindar}} \right) \right\} \quad [1]$$

Substituint [1] pels paràmetres numèrics corresponents, l'índex d'oportunitat es calcula com: [2]

$$O_i = \sqrt{\left( \frac{CV_a}{q_{50}[CV_a]} \right) \left( \frac{S}{s} \right)} \quad [2]$$

On:

$CV_a$ : correspon al coeficient de variació de les dades de rendiment corregit geoestadísticament

$q_{50}[CV_a]$ : segon quartil  $CV_a$  (mediana) de totes les parcel·les, i que s'utilitza com a llindar per comparar la magnitud de la variació del rendiment

$S$ : estructura espacial de les dades del monitor de rendiment

$s$ : estimació de l'àrea mínima en què es pot operar amb un controlador de dosi variable, considerant l'amplada d'aplicació, la velocitat del vehicle, i el temps necessari per canviar la dosi d'aplicació

L'índex  $O_i$  es va calcular per a 20 parcel·les i diferents cultius a la zona d'Austràlia. Els resultats obtinguts mostren que existeix una bona oportunitat per tal de fer un maneig específic del cultiu quan el valor de  $O_i$  és superior a 20. Aquest índex  $O_i$  és interessant ja que ordena les parcel·les en funció de la major o menor oportunitat d'un maneig diferencial (Tisseyre *et al.*, 2008). Per contra, l'índex presenta una certa complexitat i no permet l'obtenció de mapes d'aplicació per mostrar com manejar la variabilitat (Paoli *et al.*, 2010).

Tisseyre *et al.* (2008), Paoli *et al.* (2010) i Roudier *et al.* (2011) proposen un índex d'oportunitat des d'una vessant més matemàtica. Es treballa amb un filtre matemàtic que té en consideració com opera la màquina i la mínima àrea en que pot operar de forma fiable, i també té en compte els errors d'aplicació. Pretén ser un índex fàcil de treballar ja que les dades es processen de forma automàtica i es basa en paràmetres fàcilment definibles per l'agricultor, com ara la velocitat i l'amplada de treball de la màquina o el temps necessari per canviar la dosi d'aplicació. Els resultats permeten determinar en quines parcel·les es pot fer un maneig diferencial des d'un punt de vista tècnic.

Tal i com és pot esperar d'un maneig diferencial, els resultats de Tisseyre *et al.* (2008) mostren que com menor sigui l'àrea operativa de la màquina i major sigui la dependència espacial de la variació, major serà el valor de l'índex d'oportunitat (TOi).

En el segon cas (Paoli *et al.*, 2010) consideren també la inexactitud de les dades d'ubicació i la capacitat de la màquina de realitzar diferents tractaments. Solucionen el problema de l'índex anterior (Tisseyre *et al.*, 2008), el qual requereix l'ús d'un mètode d'interpolació (kriging) i, a més, no considera la inexactitud de les dades en que es basa la decisió presa (tant del sistema de posicionament, com la derivada de l'acció de la màquina). També tracta l'error associat a realitzar un tractament equivocat en una zona determinada. Així doncs, l'índex proposat FTOi considera la possible inexactitud espacial de la màquina i l'habilitat del VRAC d'aplicar la dosi correcta.

En els casos anteriors, però, l'índex obtingut, limita l'estudi a dos tractaments diferents i no té en compte la magnitud de la variació dins la parcel·la. És per això que Roudier *et al.* (2011) proposen un índex (ZOi) basat en les característiques de la màquina, en que es considera les condicions en que es porta a terme la zonificació, juntament amb el risc associat. És mostra, lògicament, que com més estructurat espacialment estigui un camp, més adequat és per a un tractament zonal. El número i l'àrea de les zones depenen de l'estructura espacial de les dades i de les limitacions operacionals.

Pel que fa a l'avaluació d'un maneig específic del cultiu per tal de fer una verema selectiva, els diferents estudis realitzats analitzen l'oportunitat a partir de dades obtingudes amb un monitor de collita. Així doncs, es treballa amb dades de rendiment referents a campanyes anteriors.

D'acord amb els resultats obtinguts, i tenint en compte la relació existent entre les zones de NDVI establertes i la major part dels paràmetres qualitius del raïm, s'estableix un protocol per dur a terme una verema selectiva basada en la zonificació del NDVI en el moment del verolat (Martínez - Casanovas *et al.*, 2010). A partir d'aquí, neix la idea plasmada en aquest projecte final de carrera de crear un índex que permeti determinar l'oportunitat de la verema selectiva en base al càlcul de l'índex de vegetació NDVI i la interpretació de la seva variabilitat espacial a nivell de parcel·la.



### **2.2.6. Antecedents Lleida-Raimat**

L'empresa Codorníu S.A., que té les seves finques a Raïmat, en col·laboració amb els Departaments de Medi Ambient i Ciències del Sòl, Enginyeria Agroforestal i el Servei Científicotècnic de SIG i Teledetecció de la Universitat de Lleida, han realitzat diversos estudis sobre agricultura de precisió, encarats al maneig i gestió de la vinya. En la campanya 2001-2002 es va adquirir el primer monitor de collita Canlink 3000 de la firma Farmscan, i a partir d'aquí s'han realitzat diversos projectes de viticultura de precisió, centrats principalment en l'anàlisi de la variabilitat a través dels mapes de collita i els mapes de vigor i de les possibilitats que ofereix la verema selectiva.

En un dels primers projectes realitzats, "Obtenció de mapes de collita i anàlisi de la variabilitat intraparcèl·laria en vinya (*Vitis vinifera*) a Raïmat" (Bordes, 2004), s'estudia la variabilitat espacial mitjançant l'ús de mapes de collita i s'analitzen paràmetres relacionats amb les propietats físiques i químiques del sòl, amb la topografia de la parcel·la i amb l'estat nutritiu del cultiu.

Posteriorment, en el projecte "Anàlisi i maneig de la variabilitat intraparcèl·la de paràmetres de producció i qualitat en vinya" (Llopart, 2004) es va estudiar la variabilitat espacial i temporal de la parcel·la, i també d'aspectes relacionats amb la qualitat del raïm.

En l'estudi "Predicció del rendiment de vinya a partir d'imatges de satèl·lit d'alta resolució espacial (Quickbird-II) a Raïmat (D.O. Costers del Segre, Lleida)" (Muixach, 2005) es conclou que, dels paràmetres indicadors del rendiment de la vinya, l'NDVI és el que presenta una major significació en els models de predicció de collita i està relacionat positivament amb la collita obtinguda.

En el projecte "Predicció de paràmetres de qualitat en vinya a partir d'imatges de satèl·lit d'alta resolució i índexs de fertilitat del conreu" (Agelet, 2007) es volen determinar zones de maneig diferencial que permetin obtenir, mitjançant una verema selectiva, diferents qualitats de raïm destinades a productes finals diversos. Els resultats indiquen que la utilització del mapa NDVI per a la realització de conglomerats permet discriminar zones de qualitat diferent i de forma més efectiva que utilitzant el mapa de verema.

En un altre estudi s'analitza la variabilitat del vigor i el rendiment de la vinya i de les propietats del sòl, per poder identificar diferents zones dins la parcel·la i dissenyar els sectors de reg de tal manera que s'adaptin a la variabilitat existent. En aquest estudi "Anàlisi de la variabilitat del vigor i rendiment del cultiu i de les propietats del sòl, en una parcel·la de vinya de Raïmat, per a la reordenació dels sectors de reg" (Vallés, 2008) es comprova la relació que hi ha entre les variables collita, NDVI i contingut d'humitat del sòl.

En l'últim estudi realitzat a la zona, “Zonificació de la qualitat del raïm i verema selectiva en base a l'ús de mapes de vigor a Raïmat, Lleida” (Pastor, 2010), es relaciona el vigor dels ceps (índex PCD – Plant Cell Density) amb paràmetres de qualitat del vi, amb la finalitat de poder determinar zones de maneig diferencial en les parcel·les d'estudi que permetin obtenir diferents qualitats de raïm i dels vins elaborats mitjançant la verema selectiva. L'índex PCD es presenta com una bona eina per a la zonificació. El raïm de zones amb menys vigor proporciona vins amb millors característiques de color i sabor.

**OBJECTIUS**

### **3. OBJECTIUS**

En vista de la problemàtica i dels antecedents descrits, l'objectiu del present projecte final de carrera és analitzar les característiques de les parcel·les relacionades amb la variació de vigor per tal de poder diferenciar zones de maneig. Aquestes zones, tal com s'ha demostrat en estudis anteriors, podran permetre obtenir, mitjançant una verema selectiva, diferents qualitats de raïm destinades a productes finals diversos.

En els diferents índexs d'oportunitat proposats per altres autors (revisats a l'apartat d'antecedents) es treballa amb la informació proporcionada per mapes de collita. En canvi, en el present estudi, l'objectiu és estudiar la variabilitat a partir de l'anàlisi dels mapes d'índex de vigor. Així doncs, es pretén construir un índex en base a la informació proporcionada pels mapes d'índex de vigor (NDVI), per tal d'avaluar l'oportunitat de les diferents parcel·les per a una verema selectiva.

L'objectiu final és obtenir un valor de l'índex que ens permeti classificar cada una de les parcel·les segons tinguin una oportunitat alta, mitjana o baixa per a la verema selectiva, i poder determinar així quines són les parcel·les més adequades per a un maneig zonal.

## **MATERIALS I MÈTODES**

## 4. MATERIALS I MÈTODES

### 4.1. Localització i zona d'estudi

La zona d'estudi del present projecte es centra en un total de 36 parcel·les de l'empresa Codorní, S.A., situades a Raïmat (Lleida), a l'àrea de la Denominació d'Origen "Costers del Segre" (Figura 2).

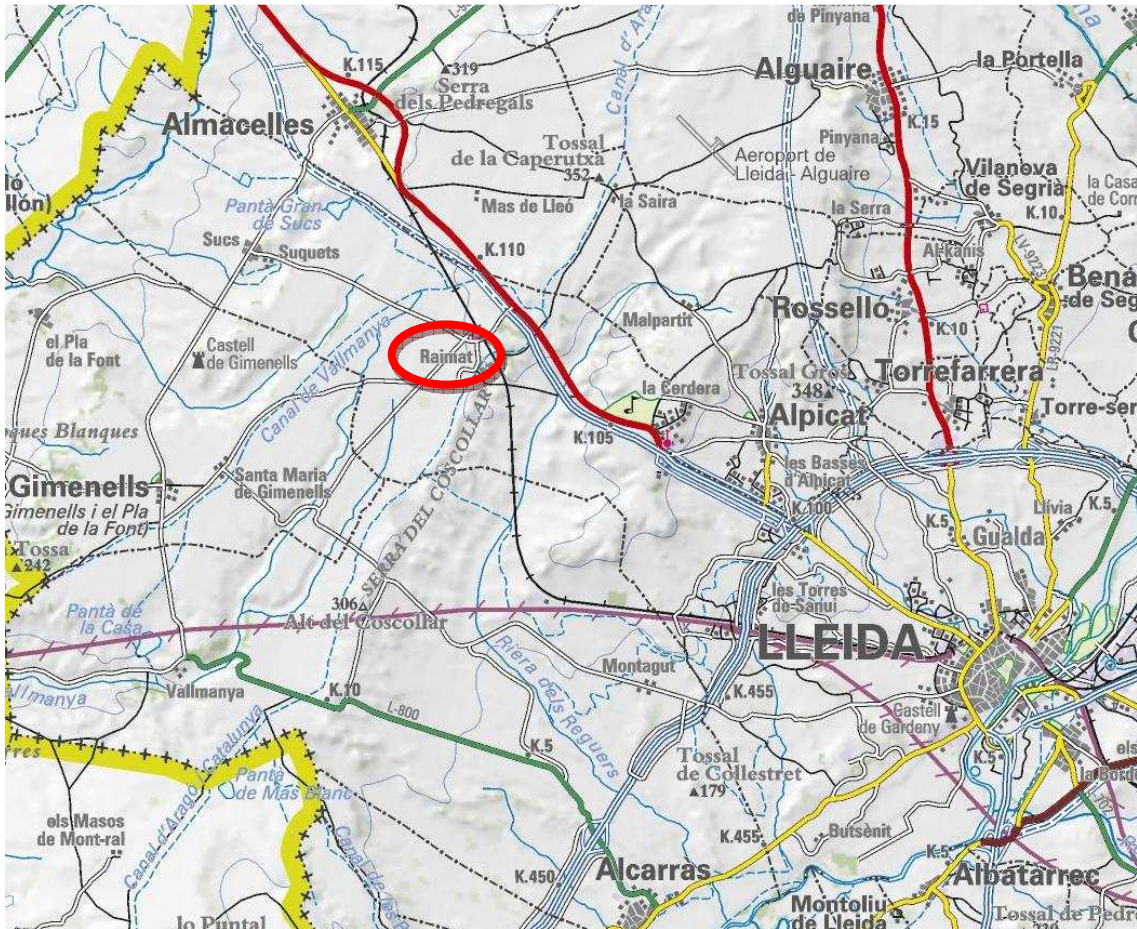


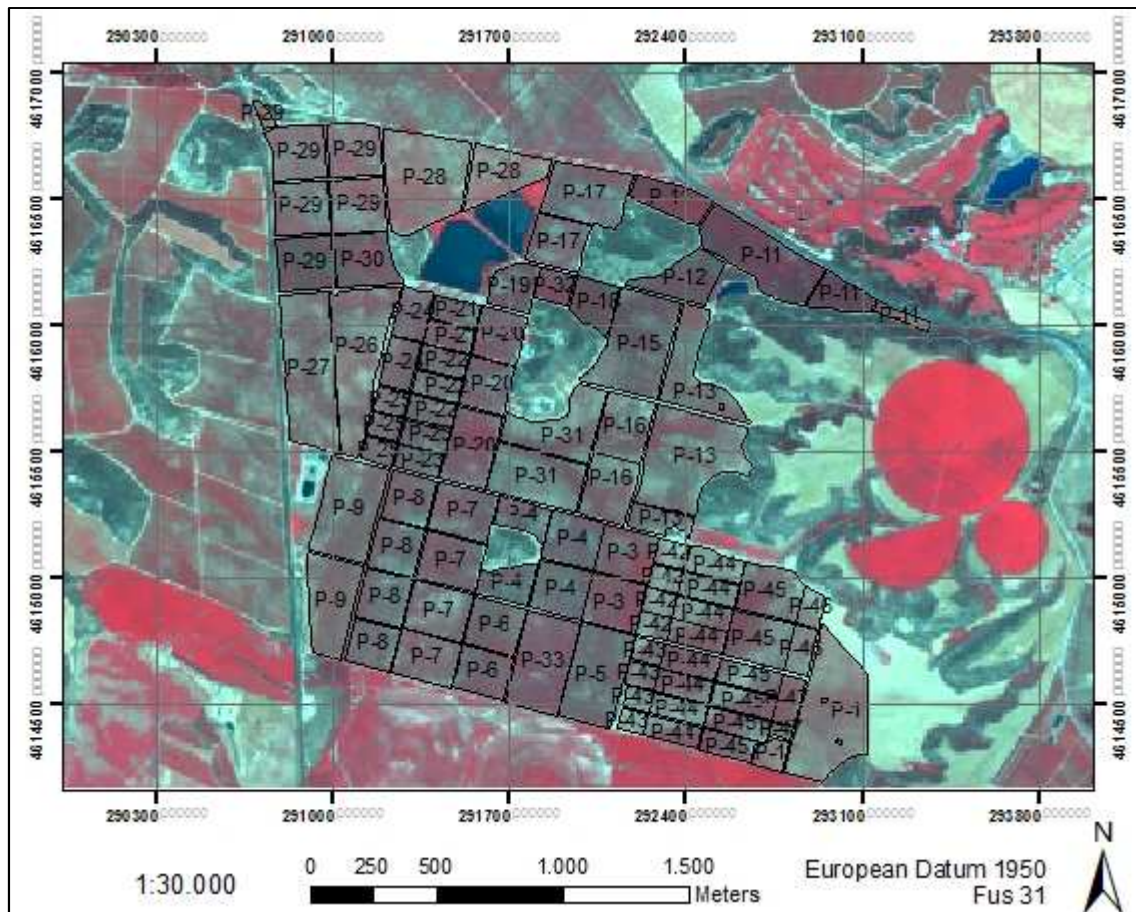
Figura 2: Mapa de situació de la zona d'estudi (Font: ICC)

La finca té una superfície total de gairebé 400 ha, distribuïdes en parcel·les de 3 a 25 ha. Aquest total de 36 parcel·les inclou varietats de raïm negre i blanc, sent les principals varietats Merlot, Chardonnay, Pinot Noir, Tempranillo, Cabernet Sauvignon, Malbec i Syrah (Figura 3).



Dins d'aquest grup de parcel·les s'hi inclouen totes les que formen part de la propietat de Codorníu, excepte aquelles de peus mare i tres finques de mostra que es troben prop de la bodega.

A la Taula 1 es presenta un quadre detallat de les diferents parcel·les objecte d'estudi amb les principals característiques de cada una d'elles.



**Figura 3: Mapa de situació de les parcel·les de la zona d'estudi**

**Taula 1: Informació general de les diferents parcel·les avaluades**

	<b>Varietat</b>	<b>Orientació</b>	<b>Sup. (ha)</b>	<b>Any plantació</b>	<b>Sistema formació</b>	<b>Marc plantació</b>	<b>Sistema reg</b>
<b>P01</b>	Merlot	E-O	15,26	1998	VSP	3 m x 2 m	Degoteig
<b>P03</b>	Chardonnay	N-S	8,99	1989	VSP	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P04</b>	Pinot Noir	N-S	14,83	1989	Ball	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P05</b>	Merlot	N-S	8,61	1990	VSP	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P06</b>	Tempranillo	N-S	8,36	1992	VSP	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P07</b>	Chardonnay	N-S	19,74	1988	VSP	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P08</b>	Merlot	N-S	14,98	1988	VSP	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P09</b>	Merlot	N-S	16,92	1998	VSP	3 m x 2 m	Degoteig
<b>P11</b>	Chardonnay	N-S	17,77	1989	NP	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P12</b>	Cabernet Sauvignon	N-S	5,00	1986	TT	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P13</b>	Chardonnay	N-S	23,58	2000	VSP	3 m x 2 m	PRD
<b>P15</b>	Pinot Noir	N-S	11,11	1991	Ball	3 m x 2 m	Degoteig
<b>P16</b>	Sauvignon blanc	N-S	10,25	2001	VSP	3 m x 2 m	PRD
<b>P17</b>	Cabernet Sauvignon	N-S	11,69	1984	TT	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P18</b>	Cabernet Sauvignon	N-S	3,38	1987	TT	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P19</b>	Merlot	N-S	3,42	1983	NP	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P20</b>	Tempranillo	N-S	13,56	1997	SD	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P21</b>	Cabernet Sauvignon	N-S	3,93	1982	TT	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P22</b>	Merlot	N-S	5,71	1982	TT	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P23</b>	Cabernet Sauvignon	N-S	3,85	1987	SD	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P24</b>	Albariño	N-S	5,21	1997	VSP	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P25</b>	Cabernet Sauvignon	N-S	3,96	1975	TT	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P26</b>	Pinot Noir	N-S	12,13	1990	VSP	3 m x 2 m	Degoteig
<b>P27</b>	Chardonnay	N-S	12,58	1990	VSP	3 m x 2 m	Degoteig
<b>P28</b>	Chardonnay	E-O	17,47	1991	VSP	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P29</b>	Cabernet Sauvignon	N-S	25,12	1985	VSP	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P30</b>	Pinot Noir	N-S	5,28	1985	VSP	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P31</b>	Tempranillo	N-S	15,00	1998	VSP	3 m x 2 m	Degoteig
<b>P32</b>	Cabernet Sauvignon	N-S	2,05	1992	NP	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P33</b>	Chardonnay	N-S	8,50	1993	Ball	3 m x 2 m	Aspersió
<b>P42</b>	Petit Verdot	N-S	4,97	2002	VSP	3 m x 2 m	PRD
<b>P43</b>	Malbec	N-S	4,54	2002	VSP	3 m x 2 m	PRD
<b>P44</b>	Syrah	N-S	17,74	2002	VSP	3 m x 2 m	PRD
<b>P45</b>	Albariño	N-S	19,37	2003	VSP	3 m x 2 m	PRD
<b>P46</b>	Godello	N-S	3,41	2003	VSP	3 m x 2 m	PRD
<b>P47</b>	Verdejo	N-S	2,57	2003	VSP	3 m x 2 m	PRD

TT: sistema de formació de la vinya on és manté la vegetació en una posició semi-ascendent, en forma de T (T Trellis).

SD: (Smart-Dyson) sistema de formació on mitjançant 4 filferros mòbils és manté la meitat de la vegetació en pla vertical ascendent i l'altra meitat en pla vertical descendent.

VSP: (Vertical Shoot Position) sistema de formació on mitjançant 2 filferros es manté la vegetació en el pla vertical ascendent.

PRD: (Partial Rootzone Drying) Sistema de reg deficitari.



## **4.2. Procés metodològic**

La metodologia del present projecte consta de dues parts diferenciades. Una primera part consisteix en el càlcul de l'índex de vegetació NDVI i l'elaboració del mapa de vigor per a les diferents parcel·les. La segona part es basa en l'anàlisi dels valors d'NDVI de cada una de les parcel·les i la posterior creació d'un Índex d'Oportunitat (IO) que permetrà determinar quines parcel·les són més idònies per a la verema selectiva.

En primer lloc, es calcula l'índex de vegetació NDVI a partir d'una imatge multispectral del satèl·lit Quickbird-II, i s'obtenen els diferents valors d'NDVI per a cada una de les parcel·les.

Posteriorment, per a la creació de l'índex d'oportunitat proposat cal fer tres tipus d'anàlisi. Primer, una anàlisi estadística descriptiva dels valors d'NDVI, per poder interpretar la variació existent dins de cada parcel·la. Per cada una de les parcel·les es calculen els estadístics descriptius més representatius com ara la mitjana, la mediana, els valors màxim i mínim, la desviació estàndard i el coeficient de variació. Després, es fa una anàlisi geoestadística dels valors de l'NDVI per a cada parcel·la a partir del càlcul del variograma en la direcció de les files del cultiu. Finalment, es porta a terme una classificació de cada una de les parcel·les mitjançant una anàlisi "cluster", diferenciant l'NDVI en dues classes diferents (NDVI o vigor alt i NDVI o vigor baix).

L'índex d'oportunitat per a la verema selectiva es construeix en base a tres factors que deriven, bàsicament, de les tres anàlisis anteriors. Aquests factors són la variabilitat intraparcèl·laria dels valors de l'NDVI, l'estructura de la variabilitat dins de la parcel·la, i la superfície resultant de cada una de les classes. Les diferents parcel·les han de presentar un valor mínim de cada un d'aquests factors per a que es considerin adequades per al maneig selectiu.

En base a la informació de l'anàlisi estadística i de la classificació, i segons els tres factors descrits anteriorment, es calcula l'índex d'oportunitat (IO). L'índex presenta un valor numèric que descriu una oportunitat major o menor en funció de les característiques de cada parcel·la. Així, aquelles parcel·les amb un valor d'índex d'oportunitat major són aquelles que presenten millors característiques per a la verema selectiva. Per contra, les parcel·les amb un índex d'oportunitat zero, tenen unes característiques poc adequades per al maneig selectiu, ja sigui perquè no compleixen el criteri de la variabilitat, el de l'estructura, la superfície mínima, o bé més d'un.

### **4.3. Material utilitzat**

Per al present projecte es treballa amb les dades corresponents a l'any 2006. Així, la informació utilitzada en el projecte és:

- Imatge de satèl·lit Quickbird-II corregida de l'any 2006
- Informació i delimitació de les parcel·les de la finca de Codorníu

Per a l'anàlisi de les dades s'han utilitzat els següents programes:

- Programa ArcGIS 9.3.1 (ESRI) que permet emmagatzemar, visualitzar i gestionar les dades obtingudes de l'índex de vegetació.
- Programa ERDAS IMAGINE 9.0 per a la classificació de les parcel·les en diferents zones.
- Programa EXCEL que permet analitzar i emmagatzemar les dades en fulls de càlcul.

### **4.4. Càlcul índex de vegetació NDVI**

L'interès de l'estimació del vigor de la vinya mitjançant l'ús de sensors remots es deu a la influència que té sobre el rendiment i la qualitat del raïm. S'ha demostrat que les vinyes amb major vigor i/o densitat de fulla produeixen més raïm però de més baixa qualitat global degut entre altres, a la baixa concentració de components fenòlics i de color a la polpa.

Donada la correlació que existeix entre el rendiment i alguns paràmetres de qualitat del raïm amb el vigor (Arnó *et al.*, 2009), en el present projecte es treballa amb l'índex de vegetació NDVI per tal de determinar la possibilitat d'una verema selectiva.

Per al càlcul de l'índex NDVI s'ha utilitzat el programa ArcGIS, que permet analitzar la imatge de satèl·lit i obtenir els mapes de vigor.

#### **4.4.1. Espectre electromagnètic**

L'adquisició de dades mitjançant la teledetecció es basa en la mesura de l'energia electromagnètica que quan arriba a la superfície terrestre és reflectida o emesa. L'energia electromagnètica viatja per l'espai en forma d'ones electromagnètiques, les quals es diferencien entre sí per la seva longitud d'ona ( $\lambda$ ). El conjunt de totes les radiacions electromagnètiques ordenades segons el valor de la longitud d'ona formen l'espectre electromagnètic continu, el qual es pot dividir en diverses zones o bandes.

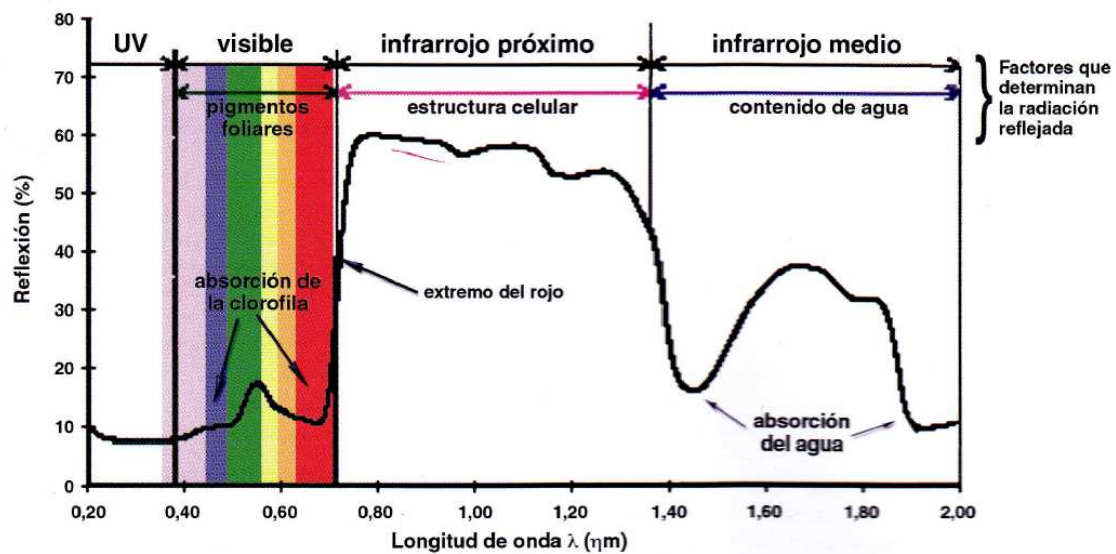


Figura 4: Signatura espectral típica de la vegetació (Basso *et al.*, 2006).

Les bandes que interessen en teledetecció són només una petita porció de tot l'espectre electromagnètic (Figura 4). Pel que fa a les aplicacions agrícoles, les bandes de major interès són les que es troben entre l'ultraviolat i l'infraroig, sent la regió de l'infraroig pròxim la més útil en l'adquisició d'informació relativa a l'estat del cultiu.

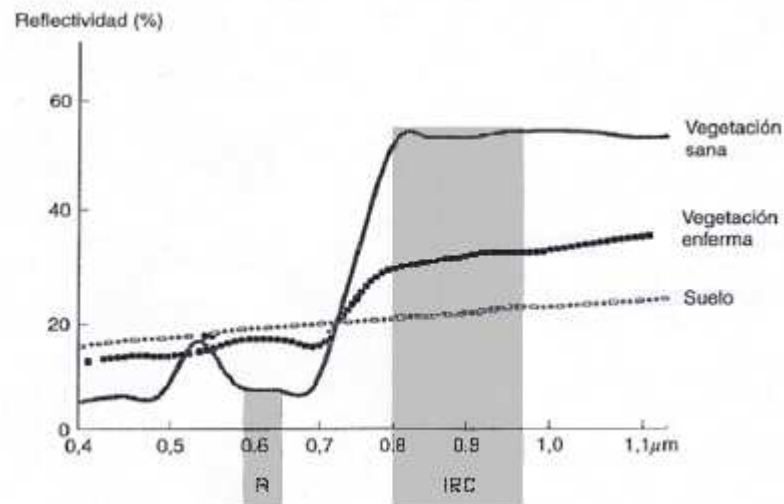
La forma com interacciona la radiació electromagnètica amb un objecte depèn principalment de les característiques de l'objecte i de la longitud d'ona de la radiació incident. Les principals cobertes que poden ser analitzades mitjançant l'adquisició de dades a distància són la coberta vegetal, el sòl i l'aigua. Algunes cobertes tendeixen a presentar una resposta uniforme en diferents longituds d'ona, mentre que d'altres tenen un comportament molt més selectiu.

Les fulles de les vinyes (igual que en la majoria de vegetals) reflecteixen en un major grau la porció verda de l'espectre electromagnètic. Les corbes espectrals resultants varien en relació al tipus de fulla, si bé es poden establir uns patrons generals marcats per la baixa reflexió al visible i l'alta reflexió a l'infraroig proper.

La baixa reflexió en la porció visible de l'espectre es deu a l'efecte absorbent dels pigments de la fulla, principalment les clorofil·les, xantofil·les i carotens. Les ones corresponents al vermell i al blau presenten una menor reflectància degut a l'absorció d'aquestes per part de pigments (principalment la clorofil·la) per a la realització de la funció fotosintètica. A conseqüència d'això, les fulles es veuen de color verd en la porció visible de l'espectre electromagnètic.

L'elevada reflexió a l'infraroig proper es deu a la baixa absorció de les clorofil·les i a l'estructura interna de les fulles. La fulla presenta cavitats internes d'aire que dispersen la major part de la radiació incident en aquesta banda, per això, ofereix una alta reflexió en l'infraroig proper, en clar contrast amb la que presenta en l'espectre visible.

Així doncs, la vegetació té un comportament molt cromàtic, amb valors baixos de reflexió a l'espectre visible, més elevats a l'infraroig proper i menors al mitjà. Aquest fet permet estimar el vigor vegetatiu de la vinya, així com la incidència de plagues, malalties o deficiències de nutrients que poden afectar a la biomassa de la vinya i per tant a la resposta espectral. A continuació, és presenta una gràfica on es mostren les diferències entre la vegetació sana i malalta, en comparació amb el sòl (Figura 5).



**Figura 5: Contrast espectral de la vegetació sana entre les bandes del roig i l'infraroig de l'espectre (Chuvieco, 2002).**

#### **4.4.2. Imatge de satèl·lit**

Per al càlcul de l'índex de vegetació es necessita una imatge que permeti analitzar el comportament de la coberta vegetal en les diferents bandes de l'espectre. Aquesta imatge es pot obtenir a través d'un satèl·lit o bé des de plataformes terrestres o aèries.

En aquest cas, la informació de partida per al càlcul de l'índex de vegetació és una imatge del satèl·lit Quickbird-II, obtinguda l'any 2006 en el moment del verolat, que es considera el moment òptim per tal d'establir relacions entre el vigor del cultiu, el rendiment i la qualitat en el moment de collita.

Quickbird-II és un satèl·lit comercial d'observació de la terra d'alta resolució, propietat de Digital Globe, que va ser llançat a l'octubre del 2001. Les imatges obtingudes amb el satèl·lit Quickbird poden ser de tipus multiespectral o pancromàtiques, i són utilitzades en l'àmbit de l'agricultura per tal d'obtenir informació relativa al cultiu. En la Taula 2 es presenten les principals característiques del satèl·lit Quickbird-II.

**Taula 2: Característiques tècniques del satèl·lit Quickbird-II.**

<b>Sensors</b>	<b>Pancromàtic</b>	<b>Multiespectral</b>	
<b>Resolució espacial</b>	0,61m/píxel (nadir)	2,44m/píxel (nadir)	
	0,72m/píxel (25° off-nadir)	2,88m/píxel (25° off-nadir)	
<b>Resolució espectral</b>	450-900 nm	BLAU	450-520 nm
		VERD	520-600 nm
		VERMELL	625-695 nm
		IR PROPER	760-900 nm
<b>Resolució radiomètrica</b>	11 bits/píxel		
<b>Ample d'escombrament</b>	16,5 x 16,5 km (nadir)		
<b>Revisita</b>	de 1 a 3,5 dies en funció de l'altitud (30° off-nadir)		
<b>Altitud</b>	450 km		
<b>Temps d'òrbita</b>	93,5 minuts		
<b>Llançament</b>	18 d'octubre del 2001		

#### **4.4.3. Índex NDVI**

Com s'ha comentat anteriorment, la signatura espectral característica de la vegetació sana mostra un clar contrast entre les bandes del visible – especialment la banda del vermell (0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) – i l'infraroig proper (0,7 a 1,4  $\mu\text{m}$ ). Mentre en el visible els pigments de la fulla absorbeixen la major part de l'energia que reben, aquestes substàncies afecten molt poc a l'infraroig proper. Per aquest motiu, es dona un gran contrast espectral entre la baixa reflexió de la banda del vermell i l'alta de la banda de l'infraroig proper; fet que permet separar, amb relativa claredat, la vegetació sana d'altres cobertes. Quan la vegetació ha sofert algun tipus d'estrès (plagues, malalties, sequera), la seva reflexió serà inferior en l'IR proper, augmentant paral·lelament en el vermell (al tenir menys absorció clorofil·lica), i per tant el contrast entre les bandes serà menor.

En aquest principi es basen la major part dels índexs de vegetació, entre els que trobem el NDVI (*Índex de Vegetació de Diferència Normalitzada*), que és un dels més comuns, i és el que s'utilitza en el present projecte.

L'índex de vegetació de diferència normalitzada (NDVI) [3] relaciona la banda de l'infraroig pròxim amb la del roig, i crea una imatge en què els valors d'intensitat es relacionen directament amb la biomassa i/o vigor vegetatiu de la superfície corresponent a cada píxel (Rouse *et al.*, 1973).

$$NDVI = \frac{(IR - R)}{IR + R} \quad [3]$$

On,

IR és la reflectància en l'infraroig proper

R és la reflectància en el vermell

El NDVI pren valors entre -1.0 i +1.0. En les àrees d'alt vigor es dona una major reflectància a l'IR proper i menor reflectància al vermell, per tant, els valors de l'índex són majors.

El càlcul de l'índex NDVI permet determinar el vigor de la vinya en les diferents zones de la parcel·la, i a partir d'aquí es pot establir una relació entre el vigor del cultiu i els aspectes qualitius i de rendiment, per tal de fer una zonificació de les parcel·les per a un maneig selectiu.

L'índex de vegetació s'ha calculat per a tota la zona d'estudi i s'ha obtingut un mapa ràster del vigor de la vinya en les diferents parcel·les (Figura 6). A partir d'aquest mapa de vegetació, i amb la capa que inclou les diferents parcel·les, s'ha pogut calcular l'índex NDVI per a cada una de les parcel·les per separat. S'ha utilitzat l'eina *Extract by mask* de l'ArcMap.

Pel que fa a la informació de la capa que inclou les diferents parcel·les cal definir prèviament els límits de les parcel·les. En alguns casos, en la delimitació de les diferents parcel·les s'hi inclouen camins principals de separació o edificacions que hi ha en alguna de les parcel·les. Aquests píxels no corresponen a la zona cultivable de la parcel·la, i poden donar errors en l'anàlisi de la variació dels valors d'NDVI dins de cada parcel·la. Així doncs, utilitzant l'eina *Cut polygon features* de la barra de menú edició, es va portar a terme una nova delimitació de les parcel·les per eliminar aquells píxels que no corresponen a la zona cultivable, per considerar només aquells punts corresponents als ceps o a la separació de les files. Aquesta nova delimitació és la que es va utilitzar en el càlcul de l'índex de vegetació.

En base a l'anàlisi dels valors d'NDVI obtinguts per cada una de les parcel·les, es va construir posteriorment l'índex proposat (IO), per determinar les parcel·les més adequades per a un maneig selectiu de la verema.

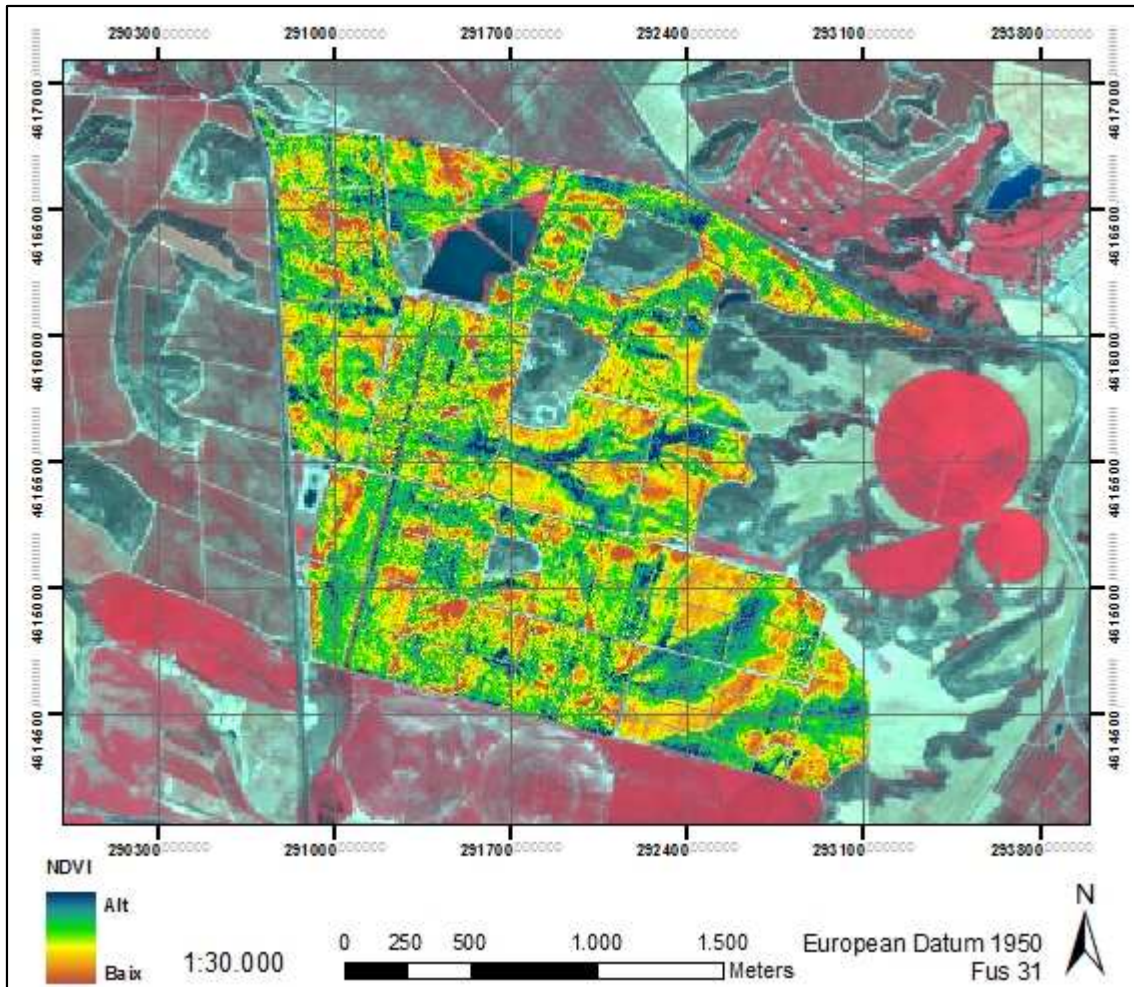


Figura 6: Mapa de l'índex de vegetació (NDVI) de cada una de les parcel·les.

#### 4.5. Anàlisi de les dades

Un cop calculat l'índex de vegetació, es va realitzar una anàlisi dels valors per obtenir una visió més detallada de les característiques de cada una de les parcel·les. Així doncs, a partir dels mapes de vigor, s'extreia el valor de l'índex NDVI per a cada píxel de les parcel·les. En primer lloc es va fer una anàlisi estadística descriptiva, i posteriorment, una classificació dels valors de NDVI en dues classes diferents.

##### 4.5.1. Anàlisi estadística descriptiva

En primer lloc, es va realitzar una anàlisi descriptiva dels valors de NDVI, per tenir una primera impressió de les diferències que presenten les parcel·les. Així, per a les diferents parcel·les es calculà el valor de la mitjana, la mediana, els valors màxim i mínim i la desviació estàndard.

Aquests paràmetres ens proporcionaven la informació bàsica de les diferents parcel·les, que posteriorment es va considerar en el càlcul de l'índex d'oportunitat proposat.

#### **4.5.2. Anàlisi geoestadística**

Amb els valors d'NDVI es va realitzar, a més a més, una anàlisi geoestadística per tal d'avaluar la correlació espacial dels diferents punts.

La geoestadística és un mètode probabilístic d'interpolació espacial. La diferència fonamental amb el procediment estadístic clàssic consisteix en suposar que existeix una correlació espacial entre les mostres i que les relacions poden ser expressades en termes de distància relativa entre els punts i no en funció de les posicions absolutes. Per dependència espacial s'entén que es dona per bona la hipòtesi de que és molt probable que llocs pròxims siguin més semblants que altres més allunyats, o se suposa que els valors de les característiques estudiades no estan distribuïts a l'atzar, sinó que tenen una correlació espacial.

En geoestadística, l'estudi de la variabilitat de la variable analitzada en l'interior d'una finca es realitza mitjançant l'anàlisi de la semivariància, que es calcula per a totes les possibles parelles de punts de la finca en els quals s'ha establert una determinada característica i proporciona una mesura de quina és la diferència de valor entre dos punts qualsevol. Per a simplificar el càlcul d'aquests valors, totes les parelles de punts de la base de dades s'agrupen en intervals de distància, anomenats "lag", escollint els intervals segons criteris variables en funció de les condicions de treball i de la variable en qüestió.

La representació gràfica de totes aquestes semivariàncies en funció de la distància que separa les mostres és el semivariograma, i el càlcul de la semivariància ( $\gamma$ ) entre parells separats per intervals de distància es realitza utilitzant l'expressió [4] (Gallardo, 2006)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (z(x) - z(x+h))^2 \quad [4]$$

On,

$\gamma(h)$  és la semivariància per totes les mostres localitzades a l'espai separades per l'interval de distància  $h$

$N(h)$  és el número total de parells de mostres separades per un interval de distància  $h$ ;

$z(x)$  és el valor de la mostra en una localització  $x$ .

$z(x+h)$  és el valor de la mostra a una distància  $h$  d' $x$ .



El semivariograma representa en ordenades la semivariància i en abscisses la distància de separació, obtenint així el variograma experimental (Figura 7). Sota la hipòtesi d'estacionarietat, la semivariància augmenta a mesura que augmenta la distància que separa les mostres fins arribar a un interval de distància a partir de la qual arriba a un màxim i no augmenta més. Aquest nivell màxim de semivariància ha de coincidir amb la variància de la població. El variograma construït a partir de les mesures experimentals pot tenir diverses formes, en funció del conjunt de dades i de la distància entre punts mostrejats.

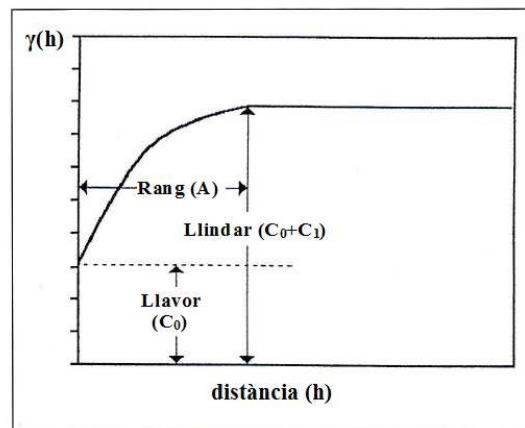


Figura 7: Representació esquemàtica de la forma d'un variograma teòric (Basso et al, 2006).

De l'anàlisi d'un variograma es pot obtenir informació important sobre la variació espacial de la característica estudiada. A continuació es descriuen els diferents paràmetres que defineixen el variograma:

**Llavor o palleta (nugget, pepita) (C<sub>0</sub>):** valor del variograma a l'origen. Representa la variabilitat en distàncies més petites que la distància de mostreig, incloent errors de mesura.

**Llímitar parcial (partial sill) (C<sub>1</sub>):** correspon a la variància estructural, és a dir, la part de la variància que és explicada per la correlació espacial.

**Llímitar (sill, umbral o meseta) (C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>):** valor d'estabilització del variograma per a distàncies grans, i que correspon a la variància.

**Rang (range, rango) (A):** representa la distància a partir de la qual els valors de la variable deixen d'estar correlacionats. És la distància a partir de la qual el variograma s'estabilitza o arribem al 95% del seu valor i correspon al valor en l'eix de les X entre l'origen i el límitar.

Per a cada parcel·la, es va calcular el variograma experimental a partir dels valors d'NDVI. Així doncs, es representa en un gràfic cada parella de punts (ordenada) respecte la distància entre ells (abscissa), i s'obté un núvol de punts que forma el variograma empíric.

Un cop obtingut el variograma empíric per a cada una de les parcel·les, cal ajustar a un model teòric per poder quantificar el grau i l'escala de la variació espacial. Existeixen diferents models que s'utilitzen en geoestadística, entre els quals trobem el model esfèric, el model exponencial, el model gaussià o el model lineal. En aquest cas s'ha treballat amb el model esfèric, ja que és el que s'ajusta millor als valors d'NDVI de les diferents parcel·les. En el model esfèric, la semivariància augmenta conforme ho fa la separació de punts fins arribar a un valor llindar, on la semivariància es manté constant, independentment de la separació entre punts. Per a cada una de les parcel·les, els paràmetres que descriuen el variograma seran utilitzats per al càlcul de l'índex d'oportunitat.

D'altra banda, en l'anàlisi geoestadística dels mapes de vigor s'ha calculat el "nugget ratio" [5] i el MCD (*Mean Correlation Distance*) [6].

$$\text{nugget ratio} = \frac{C_o}{C_o + C_1} \cdot 100 \quad [5]$$

$$\text{MCD} = \frac{3}{8} \left( \frac{C_1}{C_o + C_1} \right) \cdot A \quad [6]$$

On,

$C_1$ : variància estructural

$C_o + C_1$ : valor del llindar (sill) que correspon a la variància total

A: rang.

Segons Cambardella *et al.*, (1999) un valor del nugget ratio inferior al 25% és indicatiu d'una forta dependència espacial ens els valors d'NDVI dins de la parcel·la (és a dir, d'una estructura espacial de variació molt consistent), entre el 25 i el 75%, la dependència és moderada, i finalment, els valors superiors al 75% denoten una dependència espacial molt poc probable donat l'acusat efecte llavor que es produeix, podent considerar com a pràcticament aleatòria la distribució dels valors d'NDVI dins de la parcel·la.

El valor MCD (*Mean Correlation Distance*), proposat per Han *et al.* (1994), sorgeix de la suposició que punts separats per una distància igual al rang no guarden cap relació espacial, i suggereixen que una distància menor a l'abast seria més apropiada per definir la regió que conté mesures relacionades entre sí. Aquest valor s'utilitza en els variogrames ajustats segons el model esfèric per tal de calcular la distància mitjana de correlació. Té un significat similar al rang, però en un sentit més restrictiu, considerant que només una part del rang es correspon a la distància en que els valors estan correlacionats.

El valor MCD, a l'integrar en la mateixa fórmula el rang (A) del variograma ajustat i el possible efecte llavor ( $C_0$ ), proporciona una idea molt interessant de l'extensió o distància en que té lloc una alta dependència espacial a nivell de parcel·la. De fet, es va desenvolupar aquest índex per a l'estimació de la superfície màxima de cel·la (o zona dins de la parcel·la) susceptible de rebre un maneig específic o diferencial.

Per a l'anàlisi geoestadística s'ha treballat amb el programa ArcGIS, utilitzant les eines de la barra *Geostatistical Analyst*. Com a fitxer d'entrada s'ha utilitzat la capa ràster dels valors d'NDVI de cada una de les parcel·les i ha calgut seleccionar el model teòric al que volíem ajustar els punts. També, ha calgut definir el número de "lags" per al càlcul del variograma. En aquest cas, s'ha treballat amb el valor de 12 "lags", que es considera l'adequat per als diferents valors de que es disposa.

Tal com es mostra en la Figura 8, s'obtenia el núvol de punts dels valors d'NDVI, així com la corba ajustada segons el model esfèric. El programa calculava els valors del rang (*major range*), de la palleta (*nugget*) i de la variància estructural (*partial sill*). Així doncs, per cada una de les parcel·les s'obtingué el variograma global i els valors dels paràmetres que el formen. En l'exemple de la Figura 8 es mostra el resultat obtingut del càlcul del variograma per a la parcel·la P44:

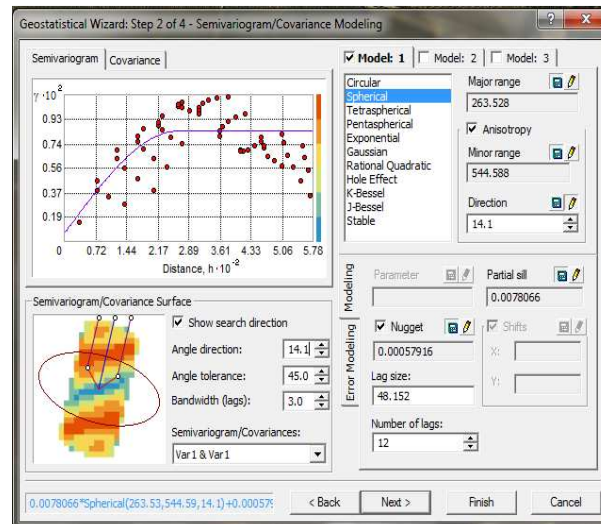


Figura 8: Exemple de semivariograma.

D'altra banda, el programa permetia el càlcul del semivariograma direccional, orientat en una direcció concreta. En el cas del present projecte, per tal d'avaluar la correlació entre els diferents valors d'NDVI, calia considerar que els ceps estan distribuïts en files i, per tant, la verema es realitza en la direcció d'aquestes files.

El càlcul del variograma serveix per trobar la distància màxima de correlació entre els diferents valors d'NDVI, però interessa que aquesta correlació estigui calculada en la direcció de les files, ja que és la direcció en que tindrà lloc la verema. És per això, que per al càlcul del variograma es tingué en compte l'orientació. Per tal de tenir en consideració aquest fet, es treballa amb el concepte d'anisotropia.

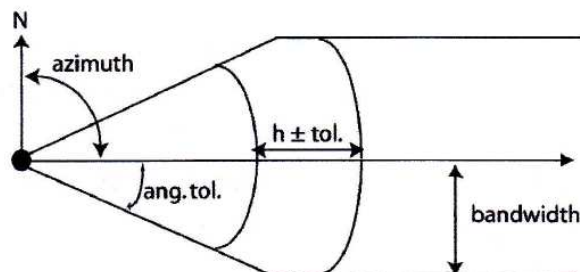
#### 4.5.2.1. Anisotropia

Normalment, en el càlcul dels semivariogrames es considera que la variació del valor de la variable en l'espai és igual en totes les direccions (semivariograma omnidireccional), o dit d'una altra manera, que la variable té un comportament d'isotropia. Però això no és sempre així, i pot ser que la variació sigui diferent en les diferents direccions de l'espai (anisotropia).

Així doncs, l'anisotropia és característica d'un procés aleatori que mostra una correlació més alta en una direcció que en una altra. Aquest concepte d'anisotropia serà utilitzat per al càlcul dels variogrames dels valors d'NDVI per tal d'orientar els variogrames segons la direcció de les files, i poder determinar així, la distància màxima de correlació segons la direcció en que es dona la verema.

Per al càlcul del variograma direccional cal considerar diferents paràmetres (Figura 9).

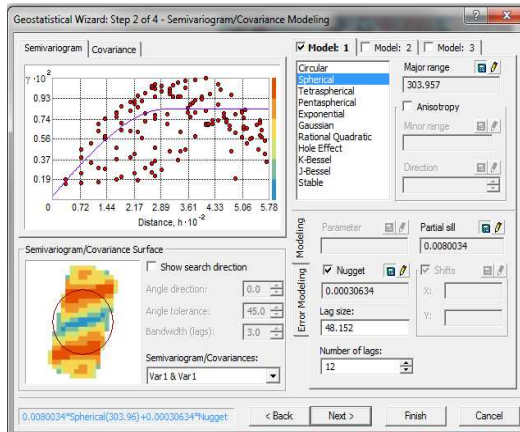
- Direcció: el valor de la direcció correspon a l'orientació en que es calcula el variograma. Per a cada una de les parcel·les s'introdueix el valor de la direcció de les files.
- Angle de tolerància: determina l'angle en que els punts més propers seran inclosos o exclosos fins que aconseguixin l'ample de banda.
- Ample de banda: especifica quan d'ample es considera per determinar quins parells de punts seran dibuixats al semivariograma.



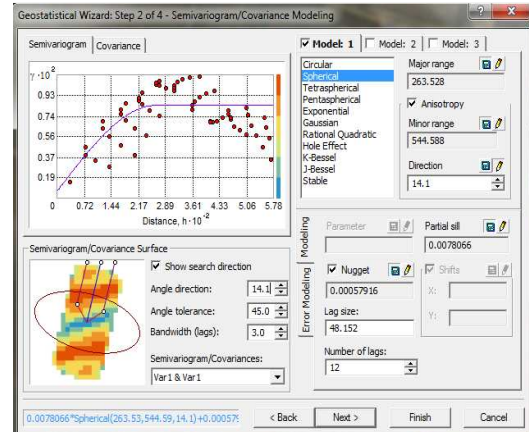
**Figura 9: Criteris a considerar per al càlcul del variograma direccional (Bohling, 2005).**

En les figures següents es pot veure dues captures de pantalla del càlcul del variograma per a la parcel·la P44. En la figura de l'esquerra (Figura 10) es mostra el semivariograma omnidireccional (isotropia), i en la de la dreta (Figura 11) el direccional (anisotropia). Tal i com es pot observar, en el primer cas, el semivariograma es calcula en totes les direccions, i la distància de correlació (rang) pren un valor de 304 metres.

En el segon cas, es pot veure que el variograma es calcula en una direcció concreta, considerant l'orientació de les files. En aquest cas, el valor del rang és de 264 metres. Per tant, els diferents valors del rang mostren la diferència d'un càlcul omnidireccional o direccional del variograma.



**Figura 10: Variograma omnidireccional P44 (isotropia).**



**Figura 11: Variograma direccional P44 (anisotropia)**

### 4.5.3. Anàlisi “cluster”

El següent pas en l'anàlisi dels valors d'NDVI consisteix en l'elaboració de mapes classificats de vigor. A partir dels valors de cada píxel, es realitza una classificació en diferents zones segons el valor d'NDVI. La classificació esmentada s'obtingué mitjançant una anàlisi de conglomerats. Aquesta anàlisi es coneix en anglès com “cluster analysis”, que implica la identificació de zones amb algun o varis trets diferencials anomenats conglomerats o bé en anglès, “clusters”.

La classificació és el procés d'agrupar els píxels en un nombre finit de classes individuals o de categories de dades. Si un píxel satisfà cert criteri, llavors el píxel és assignat a la classe que correspongui a aquest criteri.

El fet de zonificar la parcel·la mitjançant conglomerats permet discriminar zones amb diferent vigor dels ceps i també amb diferent qualitat del raïm. Amb aquesta classificació es divideix la parcel·la en dues classes diferenciades segons l'índex de vegetació, però indirectament també estan lligades a una diferència en el rendiment mitjà i en els aspectes qualitius del raïm.

#### 4.5.3.1. Classificació no supervisada

L'anàlisi de conglomerats consisteix en la determinació d'aquells punts que posseeixen valors similars entre ells respecte una o diverses variables. Una vegada mesurada la seva similitud s'agrupen i es classifiquen en zones homogènies internament i diferents entre sí.

Existeixen dos mètodes per generar classes:

- classificació supervisada: partir d'una sèrie de classes prèviament definides i obtenir les seves signatures espectrals.

- classificació no supervisada: no establir classes a priori, encara que és necessari determinar el número de classes que volem establir i deixar que les defineixi un procediment automàtic.

En aquest cas, es realitzà una classificació no supervisada utilitzant el programa *ERDAS IMAGINE 9.0*. i escollint l'opció *Unsupervised classification*.

Els estudis proposen delimitar entre 2 i 5 zones com a recomanació general (Bramley *et al.*, 2004). En aquest cas, les parcel·les es varen classificar en dues zones diferents, corresponents a un nivell alt o baix de l'índex de vegetació.

ERDAS IMAGINE utilitza l'algorisme ISODATA per executar una classificació no supervisada. El mètode "isodata clustering" utilitza la fórmula de la distància espectral mínima per formar els conglomerats. El mètode comença amb un conglomerat promig arbitrari o amb el promig d'un conjunt de firmes espectrals existents. Cada vegada que es repeteix el procés de formació de conglomerats, el promig d'aquests conglomerats es modifica. El nou promig dels conglomerats s'utilitza per a la següent iteració.

L'algorisme ISODATA repeteix l'agrupament de la imatge fins que s'executa el número màxim d'iteracions o s'arriba al màxim percentatge d'assignacions de píxels no canviats entre dues iteracions.

Com a arxiu de sortida, s'obté un nou arxiu ràster amb una classificació no supervisada de les dades de la variable indicada on el número de conglomerats de sortida es troba en funció del que se li hagi sol·licitat al programa anteriorment. L'execució d'una classificació no supervisada és més simple que una classificació supervisada, ja que les firmes són automàticament generades per l'algorisme ISODATA.

Així, per cada una de les parcel·les es va obtenir un mapa amb dues classes segons el valor d'NDVI. Amb el programa ArcMap s'analitzà el mapa resultant per tal de calcular la superfície de la classe d'NDVI baix ( $S_B$ ) i NDVI alt ( $S_A$ ). A la taula d'atributs es pot trobar el total de píxels que hi ha en cada zona  $i$ , com que es coneix que les dimensions dels píxels són de 2,8 x 2,8 m, es podia calcular finalment la superfície total de cada una de les classes.

#### **4.6. Índex d'oportunitat (IO)**

L'índex creat en aquest projecte té com a objectiu poder classificar les parcel·les segons l'oportunitat de verema selectiva que presentin. Així doncs, a partir de la informació dels mapes de vigor es classifiquen les diferents parcel·les de la zona d'estudi segons la capacitat de poder fer un maneig selectiu de la collita.

En el present projecte, l'índex s'ha utilitzat per classificar un total de 36 parcel·les de la zona de Raïmat, però la fórmula es podria utilitzar en altres llocs, variant alguns dels límits segons les pràctiques habituals de cada zona.

La verema selectiva té interès per la possibilitat que ofereix de poder separar el raïm en dues o més classes diferents per tal d'obtenir un producte diferenciat amb un valor afegit. Com ja s'ha comentat en l'apartat 2.2.5., s'han proposat diversos índexs d'oportunitat per avaluar la possibilitat d'un maneig selectiu de la parcel·la però en tots els casos en base a dades de rendiment. En aquest cas, però, l'índex proposat parteix de la informació de l'índex de vegetació NDVI i dels mapes de vigor.

Diversos estudis demostren que el vigor del cultiu està relacionat amb el rendiment final de la collita i amb diversos paràmetres de qualitat (Whelan, 2007; Bramley *et al.*, 2004; Bramley, 2005). Així doncs, una classificació en funció del vigor del cultiu està relacionada també amb la producció i la qualitat. Per a la construcció de l'índex cal plantejar quins són els paràmetres que influeixen més en la possibilitat d'una verema selectiva, per tal de que quedin reflectits en aquest índex i puguin ser avaluats.

En primer lloc, la possibilitat d'una verema selectiva augmenta si hi ha una gran variabilitat en el vigor del cultiu. Així, si dins d'una parcel·la trobem zones d'un vigor molt superior a unes altres, les possibilitats d'obtenir uns lots de producte diferenciat són majors.

D'altra banda, és necessària una certa estructura d'aquesta variació del vigor per tal de garantir unes zones suficientment grans i homogènies. És interessant que aquesta variació del vigor es doni en distàncies llargues, ja que no és tècnicament viable fer una collita selectiva si els valors d'NDVI varien molt en una distància de pocs metres. La màquina veremadora realitza la verema de forma contínua, i va separant el raïm en funció de la zona, però no resulta viable que la classe canviï constantment, ja que suposa una pèrdua de temps i de capacitat de treball. Així, un altre dels factors que interessin és una certa estructura en els valors del vigor per a que no calgui canviar constantment de classe.

L'adopció de les tècniques de viticultura de precisió suposa una despesa extra per als productors, ja que hi ha uns costos derivats del maneig diferencial i de l'adquisició i processament de les dades. Per tant, cal que els beneficis obtinguts d'un maneig selectiu compensin aquests costos.



Una major variació del vigor implica un producte final molt més diferenciat, i per tant, amb major valor afegit. Així doncs, aquelles parcel·les més variables presenten major oportunitat. D'altra banda, però, cal considerar que es necessària una superfície mínima de la zona que faci rendible la verema selectiva.

És per això que per a que es pugui donar una verema selectiva cal un mínim de superfície que garanteixi que els beneficis obtinguts derivats d'una diferenciació del producte final compensin les despeses extra que suposa el maneig selectiu. Per tant, l'índex proposat ha de considerar també una component econòmica que va lligada a una superfície mínima de la parcel·la, per compensar els costos addicionals. Així, el tercer paràmetre a considerar en l'índex proposat és la superfície mínima associada al raïm de millor qualitat.

D'acord amb els aspectes comentats anteriorment, l'índex queda definit per tres factors que són la variabilitat (V), l'estructura (E) i la superfície (S), i cal que es compleixin tots. Per cada un d'aquests factors, s'estableix un valor mínim llindar que s'ha d'assolir per a que sigui rendible fer una verema selectiva. Els llindars de cada un dels factors es defineixen en funció de la informació disponible sobre l'anàlisi de la variabilitat i considerant també aspectes de maneig de Raïmat, tant de les finques com de la bodega.

Per tal d'avaluar que s'arriba al valor límit exigit, cada un dels paràmetres porta associat un valor lambda que determina si es compleix o no amb el llindar. Aquest valor lambda multiplica a cada un dels paràmetres i pren els valors 1 o 0 segons si s'aconsegueix o no el valor límit establert.

En cas de que el factor superi aquest llindar establert, el valor de la lambda és u. Per contra, si no s'assoleix el llindar, el valor de la lambda passa a ser zero, i com que aquest valor lambda es troba multiplicant, fa que per aquella parcel·la el valor de l'índex d'oportunitat sigui nul.

A continuació, es descriuen els diferents factors que formen l'índex, així com els llindars establerts per cada un dels factors.

### **Variabilitat (V)**

Estudiar la variabilitat dins la parcel·la es pot fer de diferents maneres, una d'elles és mitjançant el coeficient de variació (CV). Aquest s'obté a través del quocient entre la desviació estàndard i la mitjana, expressat en tant per cent. El coeficient de variació mesura la dispersió d'una mostra o població, i permet saber si les dades estan molt properes o molt allunyades entre elles, independentment de l'escala que fem servir.

En aquest cas, però, en lloc de treballar amb la desviació estàndard, s'agafa el valor del "partial sill" ( $C_1$ ), que correspon a la variància estructural, és a dir, la variància que pot ser explicada per la dependència espacial de les dades. Així doncs, el coeficient de variació corregit ( $CV_c$ ) considera només la part de la variància que es pot explicar, i no té en compte l'efecte llavor [7].

$$CV_c = \frac{\sqrt{C_1}}{\bar{X}} \cdot 100 \quad [7]$$

A major valor de  $CV_c$  major heterogeneïtat dels valors de la variable, per tant, com més alt sigui aquest percentatge, més alta serà la variabilitat dins la parcel·la.

En el cas de la variabilitat, s'ha utilitzat com a llindar de variació el valor de la mediana dels coeficients de variació calculats per a les 36 parcel·les de Raïmat [8]. Així, es considera que la meitat de les parcel·les de la zona d'estudi presenten suficient variabilitat per a una verema selectiva. Aquest mateix criteri va ser proposat en l'índex d'oportunitat ( $O_i$ ) descrit anteriorment en l'estudi de Pringle et al. (2003).

$$V = \frac{\left( \frac{\sqrt{C_1}}{\bar{X}} \right) \cdot 100}{q_{50} [CV_c]} \quad [8]$$

Finalment es considerarà que aquelles parcel·les més adequades per al maneig selectiu de la collita eren aquelles que presentaven un coeficient de variació superior al valor de la mediana, així doncs:

- Si  $CV_c > q_{50} [CV_c]$ , llavors  $\lambda_v = 1$
- Si  $CV_c < q_{50} [CV_c]$ , llavors  $\lambda_v = 0$

### **Estructura (E)**

Com ja s'ha comentat, és necessària una certa estructuració en la variació del vigor. Encara que una parcel·la presenti una gran variabilitat en els seus valors d'NDVI, si aquests no segueixen una certa estructura, l'oportunitat d'una verema selectiva disminueix.

És necessari poder definir unes zones diferenciades les unes de les altres, però amb poca variació dins d'una mateixa zona, per tal d'aconseguir uns lots de producte diferenciats el més uniformes possible. Des d'un punt de vista operatiu de la màquina, cal una distància mínima de correlació en els valors d'NDVI que permeti a la màquina veremadora fer la verema selectiva, però no haver de canviar de classe constantment, ja que no seria tècnicament viable.

Aquesta distància mínima ve definida per les característiques de la màquina veremadora i pel sistema de maneig propi de cada explotació. Segons les pràctiques de maneig de Raïmat, és necessària una distància de 50 metres entre les diferents zones per tal de que sigui viable la verema selectiva. Així doncs, s'ha prè a aquest valor de 50 metres com a valor de la distància mínima de correlació en els valors d'NDVI per a que es pugui donar el maneig selectiu.

Pel que fa a l'índex d'oportunitat, el valor que descriu aquesta distància mínima d'estructuració necessària es desprèn del càlcul dels variogrames. El rang (A) és un paràmetre del variograma que descriu la distància a partir de la qual els valors del variograma deixen d'estar correlacionats. Com ja s'ha comentat en l'apartat 4.4.2., en lloc de treballar amb el valor del rang, es treballà amb l'MCD, ja que donava un càlcul més ajustat de la distància mitjana d'autocorrelació.

Així doncs, el valor del paràmetre estructura vindrà determinat pel valor de l'MCD calculat a partir del variograma direccional de cada una de les parcel·les. Per tant, considerant una distància mínima d'estructuració definida en 50 m, s'obté que per a que es doni l'estructura necessària cal:

$$MCD \geq 50m$$

A partir d'aquí vindran determinats els valors de la lambda corresponent:

- Si  $MCD > 50m$ , llavors  $\lambda_E=1$
- Si  $MCD < 50m$ , llavors  $\lambda_E=0$

### **Superfície (S)**

L'altre factor a considerar és la superfície, ja que és necessària una superfície mínima per poder fer la verema selectiva. Aquest valor mínim de superfície ha de ser suficient per compensar les despeses extra que suposa un maneig selectiu de la collita. El fet de fer una verema selectiva suposa un cost afegit però també se'n deriven uns beneficis extra d'obtenir un producte diferenciat i de major qualitat.

Encara que sigui una parcel·la amb gran variabilitat i una forta estructura espacial, si la zona resultant de millor qualitat és molt petita, l'oportunitat de verema selectiva d'aquesta parcel·la disminueix. En aquest cas, interessa una superfície mínima pel que fa a les zones de la classe de NDVI baix ( $S_B$ ), que són les que generalment presenten un rendiment menor, però d'una qualitat major.

Aquesta superfície mínima ve determinada per una component econòmica i pel sistema de maneig i funcionament de Raïmat. D'acord amb el maneig que es fa del raïm en la bodega, es considera que la producció mínima que ha de tenir una zona de raïm de

diferent qualitat ha de ser suficient per emplenar el dipòsit més petit que hi ha, ja que així es facilita la fermentació, i que té una capacitat de 30.000 l. Considerant una producció mitjana de 10.000 kg/ha, es determina que la superfície mínima de la classe de vigor baix ha de ser d'unes tres hectàrees. Així, es considera que aquesta superfície mínima de tres hectàrees és suficient per compensar les despeses del maneig diferencial. Aquest valor ve determinat per les condicions de logística de la bodega de Raïmat i, per tant, es pot variar en cas de que siguin diferents.

De l'anàlisi de conglomerats, s'obtenia la classificació dels mapes de vigor en dues classes diferents, segons presentessin un vigor alt o baix. Un cop definides les dues classes, es podia calcular la superfície total de la zona de vigor baix ( $S_B$ ) que era la que interessava, ja que era la que anava lligada a un menor rendiment i uns paràmetres de qualitat millors.

Per a que es pogués donar una verema selectiva, el paràmetre superfície quedava doncs definit com que la superfície total de la classe NDVI baix havia de ser superior a 3 hectàrees:

$$S_B > 3ha$$

Per tant,

- Si  $S_B > 3ha$ , llavors  $\lambda_S=1$
- Si  $S_B < 3 ha$ , llavors  $\lambda_S=0$

Finalment, un cop descrits els diferents paràmetres i els valors llinars ( $\lambda$ ) considerats en cada cas, es podia calcular l'índex d'oportunitat.

L'índex en qüestió ve determinat per l'anàlisi de la variació, de l'estructura i de la superfície, lligats als diferents valors de lambda. La fórmula resultant per a l'avaluació de l'oportunitat de verema selectiva és la següent [9]:

$$IO = \sqrt{(V \cdot \lambda_V) \cdot (E \cdot \lambda_E) \cdot (S \cdot \lambda_S)} \quad [9]$$

Per a cada una de les parcel·les, l'índex d'oportunitat presentava un valor numèric determinat pels diferents paràmetres. En aquelles parcel·les en que algun dels factors no arribava al límit establert i, per tant, el valor lambda valia zero ( $\lambda_x=0$ ), directament el valor de l'índex passava a ser zero. Així, totes aquelles parcel·les que no

arribaven al valor límit considerat per als diferents factors, es considerava que tenien una oportunitat nul·la per a la verema selectiva.

Les parcel·les que sí arribaven als llindars establerts, presentaven uns valors de  $\lambda$  igual a  $u_i$ , per tant, un valor numèric final de l'índex. A major valor de l'índex calculat, major oportunitat de verema selectiva de la parcel·la.

En la Figura 12, es presenta un esquema del procés seguit i dels diferents paràmetres que intervenen en el càlcul de l'índex d'oportunitat.

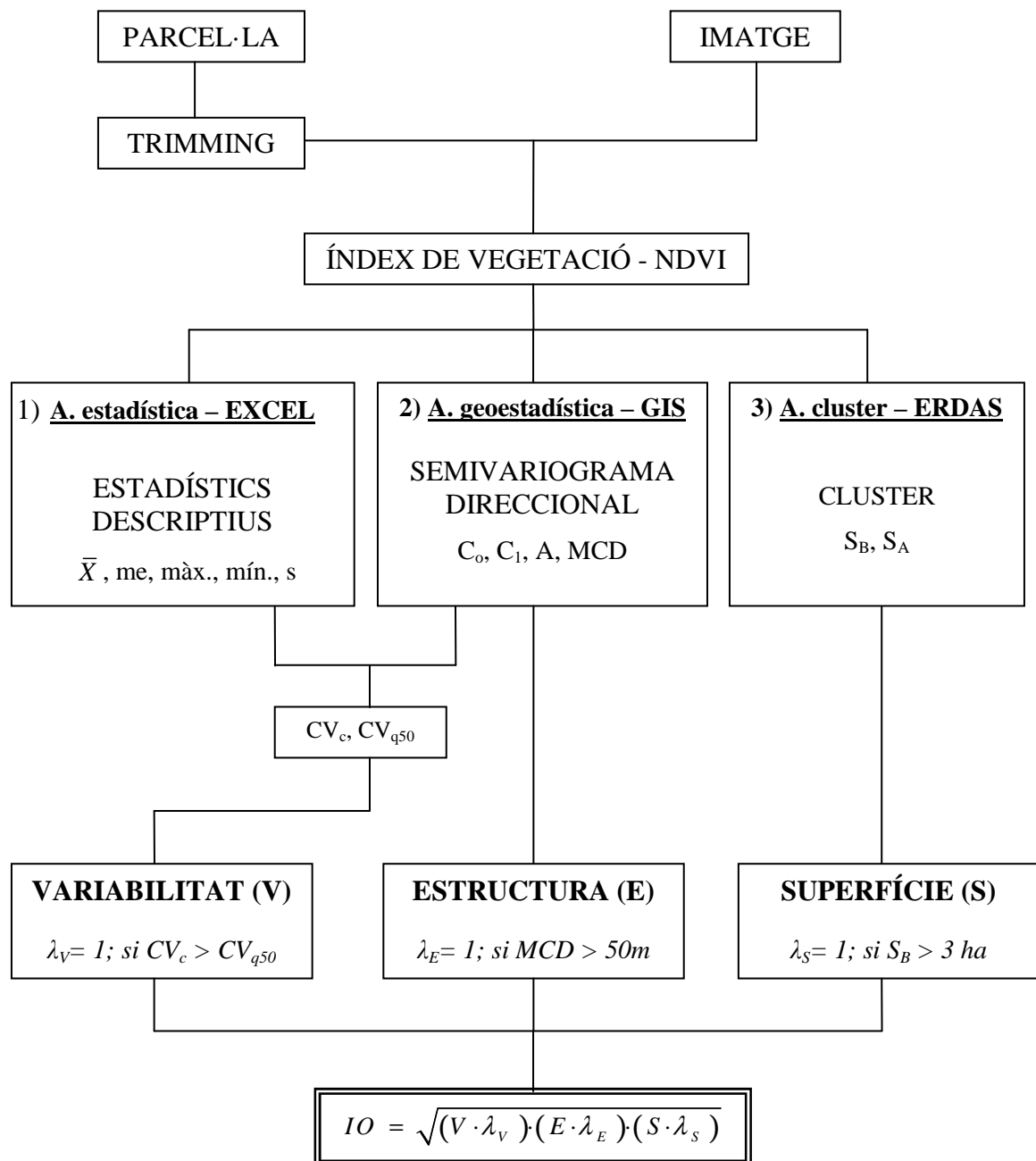


Figura 12: Esquema del procés seguit per al càlcul de l'índex d'oportunitat

#### **4.6.1. Variació dels valors llindar**

Els resultats de l'índex mostren en quines parcel·les es pot fer la verema selectiva. Les parcel·les amb oportunitat són aquelles en que tots els paràmetres assoleixen el llindar determinat i, per tant, l'índex final presenta un valor numèric superior a zero.

En aquelles parcel·les en que un dels factors descrits anteriorment, ja sigui la variabilitat, l'estructura o la superfície, no arriba al llindar, el valor de la lambda per aquell paràmetre és zero i, per tant, el valor final de l'índex també serà zero. Així, en totes aquelles parcel·les que no s'assoleixi un o més factors l'índex esdevé zero.

Analitzant els primers resultats obtinguts, s'observà que seguint aquest procediment podia sorgir l'error que algunes parcel·les amb característiques adequades per al maneig selectiu, que presentaven uns valors superiors als llindars en tots els paràmetres excepte en un en que el valor era molt proper al llindar però per sota, fossin descartades per a la verema selectiva, ja que al no assolir algun dels factors, el seu valor de l'índex era zero i, per tant, no eren considerades.

Per evitar aquest tipus d'error, es considerà oportú fer una revisió dels resultats per validar que totes les parcel·les que presentessin un índex d'oportunitat zero tinguessin unes característiques poc favorables per al maneig selectiu, i comprovar que no s'eliminassin aquelles parcel·les que presentaven un valor molt proper al seu llindar.

Segons la classificació de les parcel·les d'acord amb l'índex proposat, es podien trobar diferents situacions pel que feia als valors de la lambda:

- Parcel·les en que totes les lambda són diferents de zero ( $\lambda_V, \lambda_E, \lambda_S \neq 0$ ).

En aquest cas, totes les lambda són diferents de zero, per tant, tots els paràmetres arriben al llindar proposat i les parcel·les presenten un índex d'oportunitat determinat per a la verema selectiva. Aquestes parcel·les no són objecte d'estudi en aquest apartat.

- Parcel·les en que la lambda d'un dels paràmetres és zero, mentre que per als altres dos paràmetres considerats la lambda és u ( $\lambda_V$  o  $\lambda_E$  o  $\lambda_S = 0$ ).

Si tots els paràmetres assoleixen el llindar determinat menys un, llavors l'índex presenta el valor d'una lambda igual a zero i, per tant, el seu valor final és nul. En aquest cas, hi ha la possibilitat de que aquest paràmetre amb valor lambda igual a zero que no arriba al llindar determinat estigui molt proper a aquest i que, per tant, s'elimini aquesta parcel·la, tot i que presenti uns valors molt bons per als altres dos paràmetres

considerats a l'índex, i un valor molt proper al llindar, tot i que per sota, en l'altre dels factors. Aquest és un dels casos que es tenen en compte en aquest apartat.

- Parcel·les en que dues de les lambda dels paràmetres considerats són zero, i només una pren valor d'u ( $\lambda_V$  o  $\lambda_E = 0$ ,  $\lambda_V$  o  $\lambda_S = 0$ ,  $\lambda_E$  o  $\lambda_S = 0$ ).

Si només un dels paràmetres assoleix el llindar, es podria cometre el mateix error comentat en l'anterior cas, tot i que les possibilitats són molt més baixes ja que en aquest cas, són dos els paràmetres que no arriben al valor determinat. Però tot i això, es podria donar el cas, que els dos paràmetres que presenten la lambda igual a zero tinguin un valor molt proper al seu llindar i que, per tant, s'elimini tot i presentar unes característiques adequades per al maneig selectiu. Així doncs, aquest és l'altre cas objecte d'estudi en aquest apartat.

- Parcel·les en que totes les lambda són igual a zero ( $\lambda_V, \lambda_E, \lambda_S = 0$ ).

Aquelles parcel·les en que totes les lambda són igual a zero, vol dir que cap dels paràmetres estudiats arriba al llindar determinat. Es considera que aquestes parcel·les no presenten cap oportunitat de verema selectiva i no són avaluades en aquest apartat.

Així doncs, en aquest apartat es consideraven només aquelles parcel·les amb un o dos dels valors lambda igual a zero, per tal de validar que realment aquestes parcel·les no presentaven oportunitat per a la verema selectiva.

El sistema utilitzat ara per a la variació dels llindars consistia en una reducció del valor límit exigít per a cada un dels paràmetres que presentaven lambda zero. Els paràmetres que superaven el llindar establert, no es modificaven i, per tant, mantenien el mateix valor. En el cas d'una lambda igual a zero, es considerava una disminució del 20% en el llindar del paràmetre que presentava el valor de lambda zero, i en el cas de les parcel·les que presentaven dos valors de lambda igual a zero, es considerava una disminució del 10% en cada un dels llindars.

D'aquesta manera, al disminuir els llindars algunes de les parcel·les que presentaven un valor lleugerament inferior al límit establert podien ara superar-lo i, per tant, presentar un valor d'índex d'oportunitat que tingués en consideració aquelles parcel·les com a adequades per al maneig selectiu. Calia tenir en compte que aquestes noves parcel·les que presentaven oportunitat al fer una rebaixa en els llindars, en un inici no havien estat incloses, amb la qual cosa la seva oportunitat era inferior al calculat per les primeres parcel·les.



És important destacar que aquest procediment només es portava a terme per aquelles parcel·les que presentaven un o dos valors lambda igual a zero, i que la rebaixa del llindar només s'aplicava per aquells paràmetres que presentaven la lambda zero.

#### **4.6.2. Mapa reclassificat de zones de verema**

Per al càlcul de l'índex d'oportunitat, el mapa de conglomerats obtingut a partir de la classificació no supervisada permetia calcular la superfície total de cada una de les classes. Però aquest no podia ser el mapa final de collita selectiva ja que presentava molts píxels aïllats que quedaven solts enmig de l'altra classe i, per tant, el mapa presentava unes característiques geomètriques de les zones no massa regulars i definides.

Calia reclassificar tots aquells píxels i petites zones que apareixien solts per obtenir un mapa més simplificat i amb unes zones més concretes, i evitar així, un canvi massa seguit de les tolves de recepció que pogués alentir el procés de verema.

Per a totes aquelles parcel·les proposades per a la verema selectiva segons els resultats obtinguts del càlcul de l'índex d'oportunitat és realitzà aquesta reclassificació del mapa de conglomerats.

El procediment va consistir en aplicar un filtre per eliminar les agrupacions petites que haguessin quedat al realitzar la zonificació i integrar-les en l'agrupació del seu voltant.

Un primer pas fou aplicar un filtre de majoria per tal d'incloure aquells grups més petits dins de la classe majoritària que els envolta. Per realitzar aquest pas s'utilitzà l'eina *Majority filter* de l'ArcToolbox. El funcionament d'aquesta eina es basa en reemplaçar les cel·les d'un mapa ràster en base a la majoria de cel·les veïnes. El nombre de cel·les veïnes que es podien utilitzar en el filtre podien ser quatre o vuit. En aquest cas es treballà amb l'opció de vuit, que corresponia a una finestra de 3x3 de la pròpia cel·la. Així, aplicant el filtre de majoria, cinc dels vuit punts veïns havien de tenir el mateix valor per a que es donés el reemplaçament.

Després d'aplicar el filtre de majoria, molts dels petits grups de píxels s'havien reclassificat a la classe majoritària del voltant, però tot i això seguien quedant molts grups petits. És per això que es va fer un nou depurat de les dades utilitzant l'eina *Eliminate*. Per tal d'utilitzar aquesta eina s'havia de passar el mapa ràster a vectorial. A partir d'aquí calia determinar un criteri i seleccionar tots els polígons que volien ser eliminats. En aquest cas, els polígons més petits de 1000 m<sup>2</sup> es varen reclassificar a l'altra classe majoritària que els envoltava. Aquest és un valor arbitrari, però s'ha considerat que aquells grups de píxels amb una superfície inferior als 1000 m<sup>2</sup> són massa petits com per considerar-los una zona de maneig diferencial.

Després d'aplicar l'eina *Eliminate*, el mapa resultant ja no és veu tant atomitzat, i s'ha aconseguit reclassificar aquells petits grups de píxels que abans quedaven solts, i ara han passat a formar part de la classe que els envoltava. Així doncs, es considera que aquest és el mapa resultant de la classificació. L'últim pas però, es tornar a passar el mapa vectorial a ràster, utilitzant l'eina *Convert features to raster*.

Aquest mapa és un mapa final de les dues classes, molt més depurat que el mapa inicial de conglomerats, però no és el mapa final de verema, ja que les línies que separen les dues classes no són traçats rectes i la delimitació de les zones podria ser encara més simple. Així doncs, per aconseguir el mapa final de verema selectiva, caldria fer una delimitació manual de les diferents zones, per tal d'aconseguir uns límits molt més rectes o bé intentar que la zonificació obtinguda mitjançant l'ArcMap derivi fins a formes més senzilles, de manera que al moment de la collita sigui fàcil per al maquinista anar separant la producció de les dues zones. Aquest pas, però, ja no es realitza en el projecte, ja que l'objectiu final no és aconseguir el mapa de collita, sinó determinar quines són les parcel·les en que es pot fer una verema selectiva.

#### **4.7. Contrast dels resultats**

Finalment, per tal de contrastar la validesa de l'índex creat, es varen comparar els resultats de les parcel·les que presentaven oportunitat de verema selectiva segons l'índex amb la pràctica realitzada a Raïmat en la campanya 2006. Per tal de poder comparar els resultats i contrastar les similituds de l'índex proposat amb la pràctica de Raïmat, es realitzà una anàlisi de concordança.

Aquesta anàlisi de concordança es fa només per a les varietats negres, ja que en l'any 2006 la verema selectiva a Raïmat només es feia per les varietats negres. Per contra, l'índex d'oportunitat s'ha calculat pel total de les 36 parcel·les, tant per a les varietats de raïm blanques com negres, ja que actualment la verema sí que es realitza tant en varietats blanques com negres. Així doncs, per al contrast dels resultats no es considera el total de les parcel·les estudiades, sinó que només es tenen en compte les varietats negres.

Per a l'anàlisi de concordança es fa una taula de contingència que s'utilitza per registrar i analitzar la relació entre dues o més variables i avaluar les similituds o diferències que presenten els dos sistemes. Amb els resultats de la taula, es calculava l'índex kappa que permetia determinar el grau d'acord entre els dos sistemes.

L'índex kappa és un dels més comuns per avaluar el nivell de concordança entre dues variables, i es calcula segons la fórmula: [10]

$$k = \frac{\pi_0 - \pi_e}{1 - \pi_e} \quad [10]$$

On,

$\pi_0$  representa la proporció de concordança observada

$\pi_e$  la proporció de concordança esperada per atzar.

A partir dels resultats de la taula de contingència i de l'índex kappa calculat es podia avaluar la validesa de l'índex proposat en contrast amb la pràctica habitual en les parcel·les de Raimat.

## **RESULTATS I DISCUSSIÓ**

## **5. RESULTATS I DISCUSSIÓ**

A continuació, es presenten els resultats de l'anàlisi dels valors de l'índex de vigor, així com els resultats del càlcul de l'índex d'oportunitat i la classificació de les parcel·les.

### **5.1. Anàlisi dels valors de l'índex de vegetació**

L'anàlisi dels valors d'NDVI consisteix en un primer càlcul dels estadístics descriptius, per tenir una visió general de les diferències entre parcel·les, i posteriorment, una anàlisi geoestadística per tal d'avaluar les variacions en l'espai.

A partir dels resultats obtinguts és construeix la base dels tres paràmetres descrits anteriorment que formen l'índex d'oportunitat, que són la variabilitat, l'estructura i la superfície.

#### **5.1.1. Anàlisi estadística descriptiva**

En l'anàlisi descriptiva es calcula el valor de la mitjana aritmètica per poder fer comparacions entre parcel·les, el valor màxim i mínim del conjunt de valors i la desviació típica.

Els resultats del càlcul dels estadístics descriptius per als diferents valors de NDVI de cada una de les parcel·les es presenten a la Taula 3. Tal i com es pot observar les diferents parcel·les presenten uns valors similars entre elles, amb un valor mínim d'NDVI de 0,279 i un valor màxim de 0,625.

Taula 3: Estadístics descriptius dels valors de NDVI per cada una de les parcel·les

	Estadístics descriptius					
	Mitjana	Mediana	Màxim	Mínim	màx - mín	Desviació
<b>P01</b>	0,332	0,334	0,524	0,151	0,373	0,042
<b>P03</b>	0,427	0,432	0,590	0,205	0,385	0,062
<b>P04</b>	0,330	0,331	0,528	0,139	0,390	0,058
<b>P05</b>	0,343	0,346	0,494	0,203	0,291	0,046
<b>P06</b>	0,379	0,377	0,569	0,202	0,368	0,052
<b>P07</b>	0,367	0,374	0,498	0,150	0,348	0,054
<b>P08</b>	0,346	0,352	0,593	0,145	0,448	0,057
<b>P09</b>	0,340	0,350	0,475	0,128	0,347	0,044
<b>P11</b>	0,442	0,448	0,590	0,218	0,372	0,053
<b>P12</b>	0,372	0,379	0,501	0,166	0,335	0,056
<b>P13</b>	0,317	0,311	0,507	0,139	0,367	0,067
<b>P15</b>	0,341	0,337	0,497	0,147	0,350	0,044
<b>P16</b>	0,329	0,328	0,468	0,123	0,345	0,063
<b>P17</b>	0,339	0,342	0,542	0,175	0,367	0,057
<b>P18</b>	0,387	0,397	0,508	0,144	0,364	0,057
<b>P19</b>	0,369	0,382	0,485	0,176	0,309	0,059
<b>P20</b>	0,397	0,398	0,570	0,144	0,426	0,065
<b>P21</b>	0,365	0,378	0,550	0,158	0,392	0,061
<b>P22</b>	0,347	0,350	0,553	0,148	0,405	0,041
<b>P23</b>	0,351	0,354	0,517	0,194	0,323	0,042
<b>P24</b>	0,381	0,384	0,575	0,189	0,386	0,034
<b>P25</b>	0,363	0,367	0,547	0,198	0,349	0,044
<b>P26</b>	0,334	0,331	0,556	0,182	0,374	0,056
<b>P27</b>	0,325	0,324	0,501	0,156	0,346	0,047
<b>P28</b>	0,345	0,349	0,625	0,174	0,451	0,058
<b>P29</b>	0,360	0,365	0,569	0,170	0,399	0,058
<b>P30</b>	0,406	0,406	0,571	0,220	0,351	0,051
<b>P31</b>	0,297	0,279	0,482	0,154	0,328	0,058
<b>P32</b>	0,444	0,448	0,556	0,247	0,309	0,054
<b>P33</b>	0,411	0,414	0,525	0,226	0,299	0,036
<b>P42</b>	0,282	0,278	0,444	0,120	0,325	0,046
<b>P43</b>	0,309	0,298	0,454	0,131	0,322	0,057
<b>P44</b>	0,338	0,304	0,521	0,171	0,350	0,081
<b>P45</b>	0,361	0,369	0,526	0,160	0,365	0,073
<b>P46</b>	0,298	0,303	0,440	0,181	0,260	0,047
<b>P47</b>	0,410	0,427	0,505	0,248	0,256	0,054

### 5.1.2. Anàlisi geoestadística

En l'anàlisi geoestadística s'avaluen les diferències en els valors d'NDVI en funció de la distància que separa els punts. Així, l'anàlisi permet determinar si existeix una correlació en la variació del vigor entre els diferents punts de la parcel·la.

Per cada una de les parcel·les es calcula el variograma direccional en funció de l'orientació de les files i s'obtenen els valors dels paràmetres que descriuen el variograma com són el rang, la variància estructural i l'efecte llavor. A partir d'aquests valors es calcula també el valor llindar, l'MCD i el "nugget ratio" (Taula 4). En aquest cas, s'observen diferències entre les parcel·les, especialment en els valors del rang. Tal i com es pot observar, algunes parcel·les presenten una gran distància de correlació mentre que en d'altres aquesta distància és molt petita.

En l'Annex 1 es presenten els diferents variogrames de cada una de les parcel·les. En tots els casos es treballa amb un model estacionari simple, ajustant el núvol de punts al model esfèric. Així, es suposa que els punts arriben a un llindar on el variograma s'estabilitza, que correspon al valor  $C_0+C$ . El model esfèric és un model molt utilitzat i té un especial interès ja que permet la possibilitat de calcular l'MCD, que dóna una visió més ajustada de la distància mitjana de correlació que no el valor del rang. La parcel·la P27, per exemple, presenta un variograma típic en que el model utilitzat s'ajusta perfectament al núvol de punts.

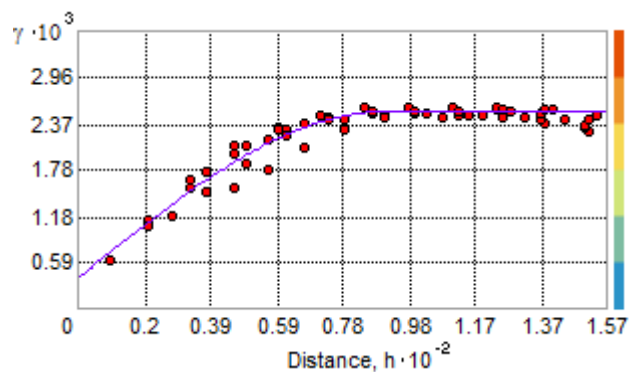


Figura 13: Variograma parcel·la P27.

En alguns casos, però, s'observa una certa deriva en els valors dels variogrames, especialment quan augmenta la distància, i potser algun altre model s'ajustaria millor al núvol de punts, però es treballa en tots els casos amb el model esfèric ja que el que es pretén és calcular els variogrames d'una forma pràctica i senzilla per tenir una visió ràpida de la correlació dels punts.

En cas de voler obtenir un variograma molt més ajustat seria interessant fer un filtrat dels punts, per eliminar algun valor anòmal, però en aquest cas no s'ha fet, ja que es tracta d'una anàlisi ràpida.

A partir dels resultats dels variogrames s'obtenen els valors necessaris per al càlcul de dos dels paràmetres que formen l'índex d'oportunitat proposat, que són la variabilitat i l'estructura.

Així, amb els valors del llindar parcial ( $C_1$ ), que correspon a la variabilitat estructural, i amb els valors de la mitjana, es pot calcular el coeficient de variació de cada una de les parcel·les ( $CV_c$ ).



Taula 4: Paràmetres dels variogrames dels valors de NDVI per a cada una de les parcel·les

Variograma - ArcGIS						
	Llavor Co	Llindar parcial C <sub>i</sub> =C	Llindar Co+C	Rang A	MCD	nugget ratio
P01	0,00045	0,00160	0,00206	250	73	22,06
P03	0,00130	0,00401	0,00531	431	122	24,50
P04	0,00207	0,00150	0,00357	506	80	58,01
P05	0,00067	0,00167	0,00234	88	24	28,57
P06	0,00087	0,00211	0,00298	124	33	29,27
P07	0,00101	0,00243	0,00343	129	34	29,28
P08	0,00089	0,00304	0,00393	294	85	22,57
P09	0,00029	0,00174	0,00203	236	76	14,06
P11	0,00182	0,00189	0,00371	390	75	48,93
P12	0,00059	0,00328	0,00386	123	39	15,15
P13	0,00073	0,00419	0,00492	102	33	14,85
P15	0,00127	0,00084	0,00211	235	35	60,17
P16	0,00104	0,00345	0,00450	120	35	23,19
P17	0,00186	0,00155	0,00340	67	11	54,57
P18	0,00053	0,00396	0,00449	132	44	11,90
P19	0,00033	0,00355	0,00389	45	16	8,60
P20	0,00138	0,00364	0,00503	177	48	27,52
P21	0,00064	0,00427	0,00492	227	74	13,08
P22	0,00050	0,00119	0,00169	55	14	29,77
P23	0,00068	0,00164	0,00232	166	44	29,32
P24	0,00041	0,00095	0,00136	235	62	29,98
P25	0,00081	0,00110	0,00191	77	17	42,58
P26	0,00073	0,00293	0,00365	101	30	19,85
P27	0,00039	0,00213	0,00252	91	29	15,44
P28	0,00109	0,00286	0,00395	233	63	27,63
P29	0,00117	0,00255	0,00372	175	45	31,52
P30	0,00094	0,00183	0,00277	72	18	33,91
P31	0,00010	0,00390	0,00400	126	46	2,39
P32	0,00038	0,00372	0,00410	102	35	9,26
P33	0,00105	0,00041	0,00146	412	43	72,13
P42	0,00070	0,00234	0,00304	374	108	22,96
P43	0,00067	0,00407	0,00474	277	89	14,08
P44	0,00058	0,00781	0,00839	264	92	6,91
P45	0,00031	0,00597	0,00628	238	85	4,99
P46	0,00076	0,00201	0,00276	171	47	27,42
P47	0,00006	0,00413	0,00419	137	51	1,52

### **5.1.3. Anàlisi “cluster”**

Tal i com s'ha explicat en l'apartat 4.4.3., la classificació de l'índex de vegetació NDVI mitjançant l'anàlisi de conglomerats (cluster) permet classificar el mapa de vigor i identificar zones que puguin rebre un maneig diferencial, com per exemple, poder veremar selectivament cada zona per a elaborar vins potencials de diferents qualitats.

Així, per a cada una de les parcel·les s'obté un mapa de classificació d'NDVI en dues classes diferents segons presentin un vigor alt o baix. En l'Annex 2 es presenta per a cada parcel·la el mapa d'NDVI i el mapa “cluster”.

Amb el mapa de zones es calcula la superfície total de cada una de les zones de la parcel·la. Fent un recompte del total de píxels que formen cada una de les zones i considerant que les dimensions de cada un d'aquests píxels són de 2,8 x 2,8, i que per tant la superfície total de cada píxel és de 7,84 m<sup>2</sup>, es calcula la superfície de cada una de les classes. A la Taula 5, es presenta la superfície de la classe de NDVI baix ( $S_B$ ) i NDVI alt ( $S_A$ ) de cada una de les parcel·les.

Els valors de superfície de la classe de NDVI baix ( $S_B$ ) són els que interessin per al càlcul de l'índex d'oportunitat, ja que és en les zones de vigor baix on generalment la qualitat del raïm és superior. És en aquestes zones, doncs, on es poden obtenir uns vins potencialment millors, d'una qualitat superior, i a partir dels quals s'obtenen uns majors beneficis que compensen les despeses extra que suposa la verema selectiva.

Taula 5: Quadre resum del càlcul de la superfície de cada una de les classes de vigor.

	NDVI baix		NDVI alt	
	núm. píxels	S <sub>B</sub> (ha)	núm. píxels	S <sub>A</sub> (ha)
<b>P01</b>	10821	8,5	7222	5,7
<b>P03</b>	6027	4,7	4769	3,7
<b>P04</b>	10800	8,5	6532	5,1
<b>P05</b>	5980	4,7	4663	3,7
<b>P06</b>	6672	5,2	3222	2,5
<b>P07</b>	11004	8,6	12457	9,8
<b>P08</b>	10520	8,2	7489	5,9
<b>P09</b>	6525	5,1	13326	10,4
<b>P11</b>	12083	9,5	8508	6,7
<b>P12</b>	2941	2,3	2706	2,1
<b>P13</b>	18051	14,2	9219	7,2
<b>P15</b>	8693	6,8	4352	3,4
<b>P16</b>	7101	5,6	5143	4,0
<b>P17</b>	7724	6,1	6285	4,9
<b>P18</b>	1707	1,3	2177	1,7
<b>P19</b>	1633	1,3	2227	1,7
<b>P20</b>	10039	7,9	6074	4,8
<b>P21</b>	1915	1,5	2520	2,0
<b>P22</b>	3964	3,1	2715	2,1
<b>P23</b>	2327	1,8	2025	1,6
<b>P24</b>	3223	2,5	3070	2,4
<b>P25</b>	2287	1,8	2188	1,7
<b>P26</b>	9906	7,8	4398	3,4
<b>P27</b>	9160	7,2	5929	4,6
<b>P28</b>	11131	8,7	9942	7,8
<b>P29</b>	15183	11,9	13995	11,0
<b>P30</b>	3531	2,8	2641	2,1
<b>P31</b>	12117	9,5	5238	4,1
<b>P32</b>	1139	0,9	1071	0,8
<b>P33</b>	5556	4,4	4855	3,8
<b>P42</b>	4188	3,3	1669	1,3
<b>P43</b>	3194	2,5	1863	1,5
<b>P44</b>	12147	9,5	8681	6,8
<b>P45</b>	11238	8,8	11676	9,2
<b>P46</b>	2005	1,6	1963	1,5
<b>P47</b>	1072	0,8	1810	1,4

## 5.2. Índex d'oportunitat

El valor final de l'índex es construeix a partir dels tres criteris descrits anteriorment, que són la variabilitat, l'estructura i la superfície. En base als resultats obtinguts de l'anàlisi dels valors de NDVI es calcula l'índex d'oportunitat proposat.

A continuació, es presenten els resultats del càlcul de l'índex d'oportunitat (Taula 6):

### - Variabilitat

Per a cada una de les parcel·les es calcula el coeficient de variació ( $CV_c$ ) a partir del valor de la variància estructural i el valor de la mitjana.

El valor del  $CV_c$  en la majoria de parcel·les oscil·la entre els valors 10 i 20, però també trobem parcel·les molt homogènies i que presenten un coeficient de variació molt baix (P33), o bé parcel·les molt més variables amb un coeficient de variació superior (P44).

Cal tenir present que les parcel·les amb una major oportunitat de verema selectiva pel que fa al paràmetre de la variabilitat són aquelles més variables i que per tant tenen un coeficient de variació més gran.

En el cas de la variabilitat, s'ha determinat que el llindar de variació sigui el valor de la mediana. Aquest és el valor considerat també en l'article de Pringle *et al.* (2003), i es considera així, que la meitat de les parcel·les són adequades per al maneig selectiu. D'acord als càlculs realitzats, el llindar per al paràmetre de variació, que correspon al valor de la mediana ( $q_{50}CV_c$ ) és de 14,52. Així, des d'un punt de vista de la variabilitat, aquelles parcel·les amb oportunitat de verema selectiva són aquelles que presenten un coeficient de variació superior a aquest llindar.

### - Estructura

Els valors d'MCD deriven del rang calculat a partir dels variogrames, i corresponen a la màxima distància en que els punts estan correlacionats. Els valors d'MCD són molt variables, i es pot trobar parcel·les amb molt poca estructura que presenten un valor molt baix d'MCD (P17), o bé d'altres amb una gran estructura que presenten un valor d'MCD molt gran (P03).

El llindar per al paràmetre de l'estructura s'ha determinat en 50 metres, considerant aspectes de maneig de Raïmat, i per tant aquelles parcel·les amb oportunitat de verema selectiva han de presentar un valor d'MCD superior a 50 m.

- **Superfície**

En el cas de la superfície, es considera la superfície total de la classe de NDVI baix que correspon a una qualitat del raïm superior. En l'índex d'oportunitat creat interessa que aquest valor de superfície ( $S_B$ ) sigui el més gran possible, ja que al tractar-se d'un raïm de qualitat superior, a més superfície total d'aquesta classe, majors seran els beneficis obtinguts.

En aquest cas, el llindar establert per al paràmetre de superfície són 3 ha, que es considera la superfície mínima necessària per tal de que sigui rendible fer la verema selectiva. Així, les parcel·les amb oportunitat de verema selectiva han de presentar una superfície de NDVI baix ( $S_B$ ) superior a 3 ha.

Taula 6: Càlcul dels paràmetres i valor final de l'índex d'oportunitat per a les diferents parcel·les

	Variació (V)			Estructura (E)		Superfície (S)		IO
	CV <sub>c</sub>	CV <sub>c</sub> /q <sub>50</sub> [CV <sub>c</sub> ]	CV <sub>c</sub> >q <sub>50</sub> [CV <sub>c</sub> ]	MCD	MCD>50	S <sub>B</sub>	S <sub>B</sub> >3	
	V	λ <sub>V</sub>	E	λ <sub>E</sub>	S	λ <sub>S</sub>		
<b>P01</b>	12,05	0,83	0	73	1	8,48	1	<b>0</b>
<b>P03</b>	14,83	1,02	1	122	1	4,73	1	<b>24</b>
<b>P04</b>	11,73	0,81	0	80	1	8,47	1	<b>0</b>
<b>P05</b>	11,90	0,82	0	24	0	4,69	1	<b>0</b>
<b>P06</b>	12,11	0,83	0	33	0	5,23	1	<b>0</b>
<b>P07</b>	13,44	0,93	0	34	0	8,63	1	<b>0</b>
<b>P08</b>	15,94	1,10	1	85	1	8,25	1	<b>28</b>
<b>P09</b>	12,30	0,85	0	76	1	5,12	1	<b>0</b>
<b>P11</b>	9,85	0,68	0	75	1	9,47	1	<b>0</b>
<b>P12</b>	15,37	1,06	1	39	0	2,31	0	<b>0</b>
<b>P13</b>	20,41	1,41	1	33	0	14,15	1	<b>0</b>
<b>P15</b>	8,49	0,58	0	35	0	6,82	1	<b>0</b>
<b>P16</b>	17,89	1,23	1	35	0	5,57	1	<b>0</b>
<b>P17</b>	11,59	0,80	0	11	0	6,06	1	<b>0</b>
<b>P18</b>	16,25	1,12	1	44	0	1,34	0	<b>0</b>
<b>P19</b>	16,16	1,11	1	16	0	1,28	0	<b>0</b>
<b>P20</b>	15,21	1,05	1	48	0	7,87	1	<b>0</b>
<b>P21</b>	17,88	1,23	1	74	1	1,50	0	<b>0</b>
<b>P22</b>	9,94	0,68	0	14	0	3,11	1	<b>0</b>
<b>P23</b>	11,52	0,79	0	44	0	1,82	0	<b>0</b>
<b>P24</b>	8,09	0,56	0	62	1	2,53	0	<b>0</b>
<b>P25</b>	9,13	0,63	0	17	0	1,79	0	<b>0</b>
<b>P26</b>	16,18	1,11	1	30	0	7,77	1	<b>0</b>
<b>P27</b>	14,20	0,98	0	29	0	7,18	1	<b>0</b>
<b>P28</b>	15,49	1,07	1	63	1	8,73	1	<b>24</b>
<b>P29</b>	14,02	0,97	0	45	0	11,90	1	<b>0</b>
<b>P30</b>	10,53	0,73	0	18	0	2,77	0	<b>0</b>
<b>P31</b>	21,03	1,45	1	46	0	9,50	1	<b>0</b>
<b>P32</b>	13,75	0,95	0	35	0	0,89	0	<b>0</b>
<b>P33</b>	4,91	0,34	0	43	0	4,36	1	<b>0</b>
<b>P42</b>	17,19	1,18	1	108	1	3,28	1	<b>20</b>
<b>P43</b>	20,62	1,42	1	89	1	2,50	0	<b>0</b>
<b>P44</b>	26,13	1,80	1	92	1	9,52	1	<b>40</b>
<b>P45</b>	21,38	1,47	1	85	1	8,81	1	<b>33</b>
<b>P46</b>	15,04	1,04	1	47	0	1,57	0	<b>0</b>
<b>P47</b>	15,68	1,08	1	51	1	0,84	0	<b>0</b>
<b>q50</b>	14,52							

(CV<sub>c</sub>: Coeficient Variació corregit, MCD: Mean Correlation Distance, S<sub>B</sub>: Superfície classe NDVI baix)

Les parcel·les amb oportunitat de verema selectiva són aquelles que presenten els tres valors  $\lambda=1$ . Tal com es pot comprovar en la Taula 6, aquelles parcel·les en que un dels factors no arriba al llindar determinat, el seu valor de lambda és zero i per tant, el valor final de l'índex passa a ser directament zero.

Segons els resultats de l'índex calculat les parcel·les òptimes per a un maneig selectiu i el seu índex d'oportunitat són la P03(24), P08(28), P28(24), P42(20), P44(40), P45(33). Tal i com es pot observar són un total de sis parcel·les i presenten uns valors de l'índex d'oportunitat que varien del 20 al 40. Així doncs, el rang d'oportunitat queda definit en aquest cas, entre el 20 i el 40, i les parcel·les considerades òptimes per una verema selectiva són aquelles que presenten un valor de l'índex d'oportunitat major que 20.

Analitzant els resultats es pot veure que la parcel·la que presenta un major valor d'índex d'oportunitat és la parcel·la P44. Es tracta d'una parcel·la amb una alta variabilitat (la més gran de tots), una bona estructura, ja que la distància d'autocorrelació calculada és gran (92 metres), i la superfície total corresponent a la classe de vigor baix també és gran (9,5 ha), per tant, és tracta d'una parcel·la amb unes característiques òptimes per al maneig selectiu de la verema. Si es compara el valor de l'índex amb la resta de parcel·les, es pot veure que la P44 presenta un valor molt superior a les altres parcel·les.

### 5.2.1. Variació dels valors llindar

Observant els resultats obtinguts en la Taula 6, es pot considerar que algunes parcel·les presenten un valor d'índex d'oportunitat 0, perquè un dels factors no arriba al llindar establert per molt poc, tot i que els altres dos paràmetres presenten unes característiques molt bones per al maneig selectiu.

La P01 o la P04, per exemple, presenten uns valors molt bons pel que fa a l'estructura i la superfície, però en el cas de la variabilitat no s'arriba al llindar tot i presentar uns valors molt propers (0,83 i 0.81 respectivament). En el cas de la P20, el valor d'MCD és de 48, i el llindar considerat és de 50. Aquesta distància de dos metres no és significativa i, per tant, s'estaria cometent un error si no es considera aquesta parcel·la per al maneig selectiu.

Aquesta consideració ha fet replantejar el resultat de l'índex i és per això que s'ha cregut necessari fer una variació dels valors llindar de cada factor. En aquelles parcel·les en que una lambda és igual a 0, es rebaixa el llindar per aquest factor un 20%.

Així doncs, amb una rebaixa del 20% en el llindar, els valors considerats queden:

Llindar variació = 11,62%

Llindar estructura = 40 m

Llindar superfície = 2,4 ha

En aquest cas, la rebaixa en els llindars es fa només en aquelles parcel·les que presenten una lambda igual a zero.

A la Taula 7 es presenten els resultats obtinguts a partir de la variació d'aquests llindars. Tal i com es pot observar, apareixen unes noves parcel·les amb oportunitat de verema selectiva (color blau) al tornar a calcular l'índex d'oportunitat amb una rebaixa en els llindars.

Com s'ha comentat anteriorment, l'índex d'oportunitat ha quedat definit en un primer terme en valors de 20 a 40, i per tant només seran incloses aquelles parcel·les que presentin un valor superior a 20. La parcel·la P43, que abans no presentava oportunitat, al fer una rebaixa en el llindar el nou valor de l'índex és 18, però no es pot incloure dins del grup de parcel·les amb oportunitat de verema selectiva ja que el seu valor és inferior al límit fixat anteriorment.

Així doncs, amb la rebaixa del 20 % en el llindar considerat, són 5 les noves parcel·les que presenten oportunitat d'acord amb els resultats de l'índex, i són la P01(25) , P04(26), P09(20), P20(20) i P31(25).



Taula 7: Càlcul dels paràmetres i valor final de l'índex d'oportunitat considerant una disminució del 20% en el llindar per aquelles parcel·les amb una lambda igual a zero.

1 $\lambda=0$ ; -20%								
	Variació (V)			Estructura (E)		Superfície (S)		IO
	CV <sub>c</sub>	CV <sub>c</sub> /llindar	CV <sub>c</sub> >llindar	MCD	MCD>40	S <sub>B</sub>	S <sub>B</sub> >2,4	
	V	$\lambda_V$	E	$\lambda_E$	S	$\lambda_S$		
<b>P01</b>	12,05	1,04	1	73	1	8,48	1	<b>25</b>
<b>P03</b>	14,83	1,02	1	122	1	4,73	1	<b>24</b>
<b>P04</b>	11,73	1,01	1	80	1	8,47	1	<b>26</b>
<b>P05</b>	11,90	0,82	0	24	0	4,69	1	<b>0</b>
<b>P06</b>	12,11	0,83	0	33	0	5,23	1	<b>0</b>
<b>P07</b>	13,44	0,93	0	34	0	8,63	1	<b>0</b>
<b>P08</b>	15,94	1,10	1	85	1	8,25	1	<b>28</b>
<b>P09</b>	12,30	1,06	1	76	1	5,12	1	<b>20</b>
<b>P11</b>	9,85	0,85	0	75	1	9,47	1	<b>0</b>
<b>P12</b>	15,37	1,06	1	39	0	2,31	0	<b>0</b>
<b>P13</b>	20,41	1,41	1	33	0	14,15	1	<b>0</b>
<b>P15</b>	8,49	0,58	0	35	0	6,82	1	<b>0</b>
<b>P16</b>	17,89	1,23	1	35	0	5,57	1	<b>0</b>
<b>P17</b>	11,59	0,80	0	11	0	6,06	1	<b>0</b>
<b>P18</b>	16,25	1,12	1	44	0	1,34	0	<b>0</b>
<b>P19</b>	16,16	1,11	1	16	0	1,28	0	<b>0</b>
<b>P20</b>	15,21	1,05	1	48	1	7,87	1	<b>20</b>
<b>P21</b>	17,88	1,23	1	74	1	1,50	0	<b>0</b>
<b>P22</b>	9,94	0,68	0	14	0	3,11	1	<b>0</b>
<b>P23</b>	11,52	0,79	0	44	0	1,82	0	<b>0</b>
<b>P24</b>	8,09	0,56	0	62	1	2,53	0	<b>0</b>
<b>P25</b>	9,13	0,63	0	17	0	1,79	0	<b>0</b>
<b>P26</b>	16,18	1,11	1	30	0	7,77	1	<b>0</b>
<b>P27</b>	14,20	0,98	0	29	0	7,18	1	<b>0</b>
<b>P28</b>	15,49	1,07	1	63	1	8,73	1	<b>24</b>
<b>P29</b>	14,02	0,97	0	45	0	11,90	1	<b>0</b>
<b>P30</b>	10,53	0,73	0	18	0	2,77	0	<b>0</b>
<b>P31</b>	21,03	1,45	1	46	1	9,50	1	<b>25</b>
<b>P32</b>	13,75	0,95	0	35	0	0,89	0	<b>0</b>
<b>P33</b>	4,91	0,34	0	43	0	4,36	1	<b>0</b>
<b>P42</b>	17,19	1,18	1	108	1	3,28	1	<b>20</b>
<b>P43</b>	20,62	1,42	1	89	1	2,50	1	<b>18</b>
<b>P44</b>	26,13	1,80	1	92	1	9,52	1	<b>40</b>
<b>P45</b>	21,38	1,47	1	85	1	8,81	1	<b>33</b>
<b>P46</b>	15,04	1,04	1	47	0	1,57	0	<b>0</b>
<b>P47</b>	15,68	1,08	1	51	1	0,84	0	<b>0</b>
<b>llindar</b>	11,62							

(CV<sub>c</sub>: Coeficient Variació corregit, MCD: Mean Correlation Distance, S<sub>B</sub>: Superfície classe NDVI baix)

D'altra banda, en aquelles parcel·les que hi ha dues lambda igual a zero, es fa una rebaixa del 10% en cada un dels llindars de la lambda igual a zero. Per tant, els llindars queden establerts com:

Llindar variació = 13,07%

Llindar estructura = 45 m

Llindar superfície = 2,7 m

A la Taula 8 es presenten els resultats finals d'aquelles parcel·les en que s'ha fet una rebaixa del 10% en cada un dels llindars que presentaven una lambda igual a 0. Els resultats mostren que només una parcel·la s'inclou al total de parcel·les que presenten oportunitat de verema selectiva. Tal i com ja s'esperava, en aquest cas, es molt més difícil d'incloure noves parcel·les ja que són dos els paràmetres que no arribaven al llindar, i per tant, només poden ser parcel·les que presentessin uns valors molt propers als límits establerts. Aquest és el cas de la parcel·la P29, que és l'única que s'ha inclòs i que presentava uns valors per als paràmetres de variabilitat i estructura molt propers al llindar.

Les parcel·les en que s'ha recalculat el valor de l'índex a partir d'una rebaixa del 10% en dos dels llindars es presenten amb color vermell. Pel que fa a la resta de parcel·les, el color negre correspon a les parcel·les amb oportunitat considerades des d'un inici, i les parcel·les de color blau, aquelles en que s'ha fet una rebaixa del 20%.

Taula 8: Càlcul dels paràmetres i valor final de l'índex d'oportunitat considerant una disminució del 10% en els llindars per aquelles parcel·les amb dues lambdes iguals a zero.

2λ=0; -10% -10%								
	Variació (V)			Estructura (E)		Superfície (S)		IO
	CV <sub>c</sub>	CV <sub>c</sub> /llindar	CV <sub>c</sub> >llindar	MCD	MCD>45	SB	S <sub>B&gt;2,7</sub>	
	V	λ <sub>V</sub>	E	λ <sub>E</sub>	S	λ <sub>S</sub>		
<b>P01</b>	12,05	1,04	1	73	1	8,48	1	<b>25</b>
<b>P03</b>	14,83	1,02	1	122	1	4,73	1	<b>24</b>
<b>P04</b>	11,73	1,01	1	80	1	8,47	1	<b>26</b>
<b>P05</b>	11,90	0,91	0	24	0	4,69	1	<b>0</b>
<b>P06</b>	12,11	0,93	0	33	0	5,23	1	<b>0</b>
<b>P07</b>	13,44	1,03	1	34	0	8,63	1	<b>0</b>
<b>P08</b>	15,94	1,10	1	85	1	8,25	1	<b>28</b>
<b>P09</b>	12,30	1,06	1	76	1	5,12	1	<b>20</b>
<b>P11</b>	9,85	0,85	0	75	1	9,47	1	<b>0</b>
<b>P12</b>	15,37	1,06	1	39	0	2,31	0	<b>0</b>
<b>P13</b>	20,41	1,41	1	33	0	14,15	1	<b>0</b>
<b>P15</b>	8,49	0,65	0	35	0	6,82	1	<b>0</b>
<b>P16</b>	17,89	1,23	1	35	0	5,57	1	<b>0</b>
<b>P17</b>	11,59	0,89	0	11	0	6,06	1	<b>0</b>
<b>P18</b>	16,25	1,12	1	44	0	1,34	0	<b>0</b>
<b>P19</b>	16,16	1,11	1	16	0	1,28	0	<b>0</b>
<b>P20</b>	15,21	1,05	1	48	1	7,87	1	<b>20</b>
<b>P21</b>	17,88	1,23	1	74	1	1,50	0	<b>0</b>
<b>P22</b>	9,94	0,76	0	14	0	3,11	1	<b>0</b>
<b>P23</b>	11,52	0,79	0	44	0	1,82	0	<b>0</b>
<b>P24</b>	8,09	0,62	0	62	1	2,53	0	<b>0</b>
<b>P25</b>	9,13	0,63	0	17	0	1,79	0	<b>0</b>
<b>P26</b>	16,18	1,11	1	30	0	7,77	1	<b>0</b>
<b>P27</b>	14,20	1,09	1	29	0	7,18	1	<b>0</b>
<b>P28</b>	15,49	1,07	1	63	1	8,73	1	<b>24</b>
<b>P29</b>	14,02	1,07	1	45	1	11,90	1	<b>24</b>
<b>P30</b>	10,53	0,73	0	18	0	2,77	0	<b>0</b>
<b>P31</b>	21,03	1,45	1	46	1	9,50	1	<b>25</b>
<b>P32</b>	13,75	0,95	0	35	0	0,89	0	<b>0</b>
<b>P33</b>	4,91	0,38	0	43	0	4,36	1	<b>0</b>
<b>P42</b>	17,19	1,18	1	108	1	3,28	1	<b>20</b>
<b>P43</b>	20,62	1,42	1	89	1	2,50	1	<b>18</b>
<b>P44</b>	26,13	1,80	1	92	1	9,52	1	<b>40</b>
<b>P45</b>	21,38	1,47	1	85	1	8,81	1	<b>33</b>
<b>P46</b>	15,04	1,04	1	47	1	1,57	0	<b>0</b>
<b>P47</b>	15,68	1,08	1	51	1	0,84	0	<b>0</b>
<b>llindar</b>	13,07							

(CV<sub>c</sub>: Coeficient Variació corregit, MCD: Mean Correlation Distance, S<sub>B</sub>: Superfície classe NDVI baix)

### 5.2.2. Classificació de les parcel·les

Finalment, després dels càlculs realitzats hi ha un total de dotze parcel·les que presenten un índex d'oportunitat major de 20, i que per tant, és considera que tenen unes característiques adequades per a la verema selectiva. Aquest total de dotze parcel·les inclou les sis primeres parcel·les que presentaven oportunitat en el càlcul inicial, les cinc parcel·les que s'inclouen al fer una rebaixa del 20% en un dels llandars, i una única parcel·la que s'inclou al fer una rebaixa del 10% en dos dels llandars que presentaven uns valors de lambda zero.

Aquestes parcel·les que tenen unes característiques adequades per al maneig selectiu és poden classificar segons tinguin una oportunitat alta, mitjana o baixa per a la verema selectiva. A continuació es presenta la classificació de les diferents parcel·les i el valor de l'índex d'oportunitat.

- Parcel·les amb oportunitat alta: P44(40).
- Parcel·les amb oportunitat mitjana: P08(28), P45(33).
- Parcel·les amb oportunitat baixa: P01(25), P03(24), P04(26), P09(20), P20(20), P28(24), P29(24), P31(25), P42(20).

Cal destacar que aquestes noves parcel·les que s'han inclòs després de fer una rebaixa en els llandars presenten totes una oportunitat baixa de verema selectiva, i que en tots els casos, aquesta oportunitat és inferior a la d'aquelles parcel·les que han estat seleccionades en un principi.

Cal interpretar bé els resultats, i considerar que aquestes parcel·les que s'han inclòs finalment al modificar els llandars, en un principi no presentaven oportunitat, i que per tant el seu valor final ha estat modificat i no es pot comparar amb les parcel·les seleccionades en un inici.

A la Taula 9 es presenta un quadre resum de les dotze parcel·les que presenten oportunitat de verema selectiva i el seu valor final de l'índex.

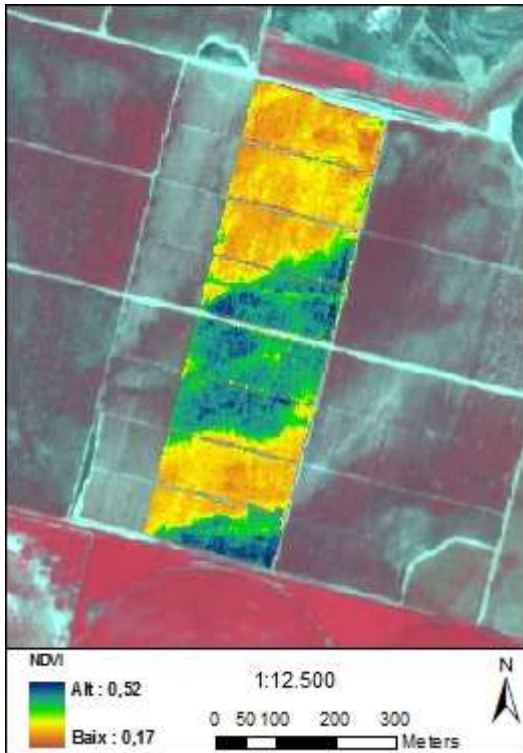
Taula 9: Resum de les parcel·les amb oportunitat de verema selectiva segons l'índex proposat

	Variació (V)		Estructura (E)		Superfície (S)		IO
	CV <sub>c</sub>	$\lambda_V$	MCD	$\lambda_E$	S <sub>B</sub>	$\lambda_S$	
<b>P01</b>	1,04	1	73	1	8,5	1	<b>25</b>
<b>P03</b>	1,02	1	122	1	4,7	1	<b>24</b>
<b>P04</b>	1,01	1	80	1	8,5	1	<b>26</b>
<b>P08</b>	1,10	1	85	1	8,2	1	<b>28</b>
<b>P09</b>	1,06	1	76	1	5,1	1	<b>20</b>
<b>P20</b>	1,05	1	48	1	7,9	1	<b>20</b>
<b>P28</b>	1,07	1	63	1	8,7	1	<b>24</b>
<b>P29</b>	1,07	1	45	1	11,9	1	<b>24</b>
<b>P31</b>	1,45	1	46	1	9,5	1	<b>25</b>
<b>P42</b>	1,18	1	108	1	3,3	1	<b>20</b>
<b>P44</b>	1,80	1	92	1	9,5	1	<b>40</b>
<b>P45</b>	1,47	1	85	1	8,8	1	<b>33</b>

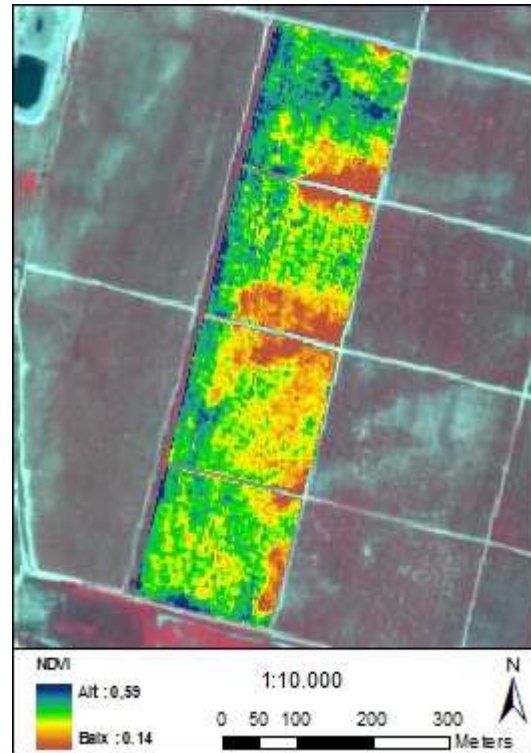
(CV<sub>c</sub>: Coeficient Variació corregit, MCD: Mean Correlation Distance, S<sub>B</sub>: Superfície classe NDVI baix)

A continuació es presenta una figura amb el mapa NDVI de les diferents parcel·les segons presentin una oportunitat de verema selectiva alta, mitjana, baixa, o bé oportunitat nul·la (Figura 14). En una mateixa figura es poden veure les quatre parcel·les, i es poden observar les diferències en la variació del vigor de cada una d'elles.

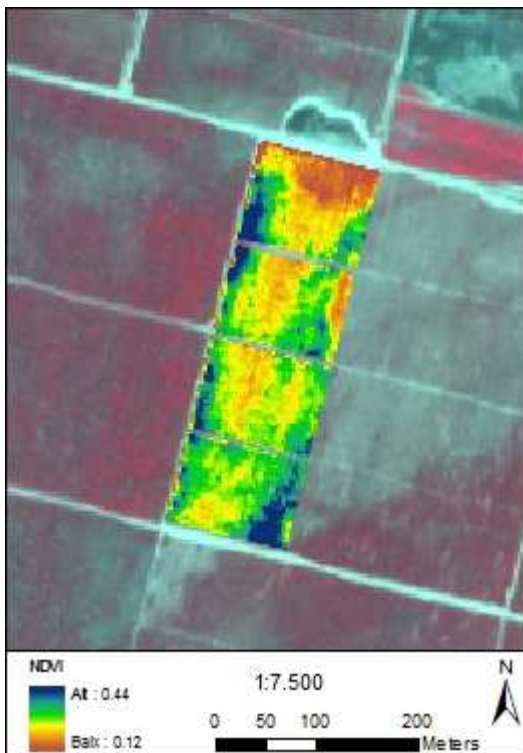
P44: Oportunitat alta



P08: Oportunitat mitjana



P42: Oportunitat baixa



P25: Sense oportunitat

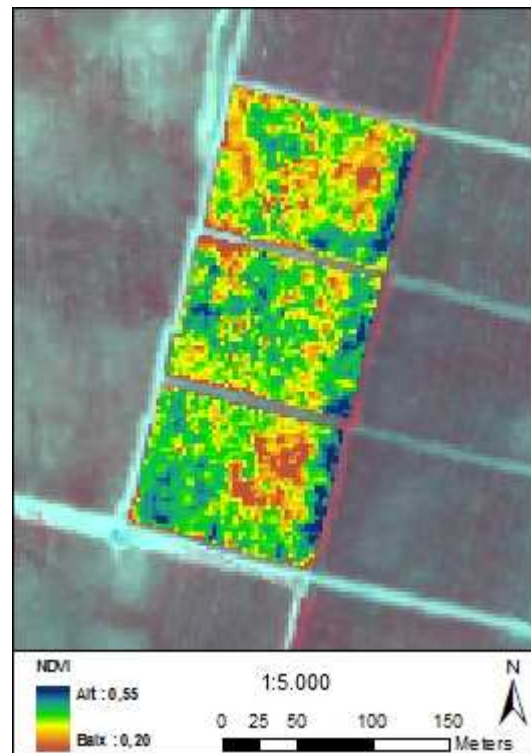


Figura 14: Mapes de vigor de diferents parcel·les segons l'oportunitat de verema selectiva.

### **5.2.3. Mapa reclassificat de les zones de verema**

El mapa de classes obtingut separa la parcel·la en dues zones segons tinguin un NDVI alt o baix. Com que en aquests mapes hi ha presents algunes zones petites i queden alguns píxels solts, s'aplica el filtre *Majority* i *Eliminate* per tal d'obtenir un mapa més regular i homogeni.

Així, per a les 12 parcel·les que l'índex d'oportunitat ha seleccionat per a una possible verema selectiva, es calcula el mapa reclassificat de zones de verema.

A continuació, es presenten els mapes de vigor de les diferents parcel·les amb oportunitat de verema selectiva, juntament amb el mapa reclassificat de zones, ordenats segons el valor de l'índex d'oportunitat (Figura 15 a Figura 38).



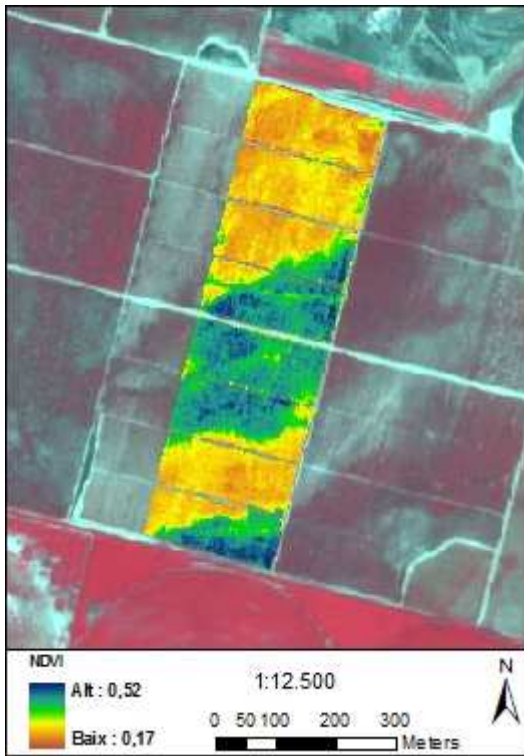


Figura 15: Mapa vigor P44 (IO=40)

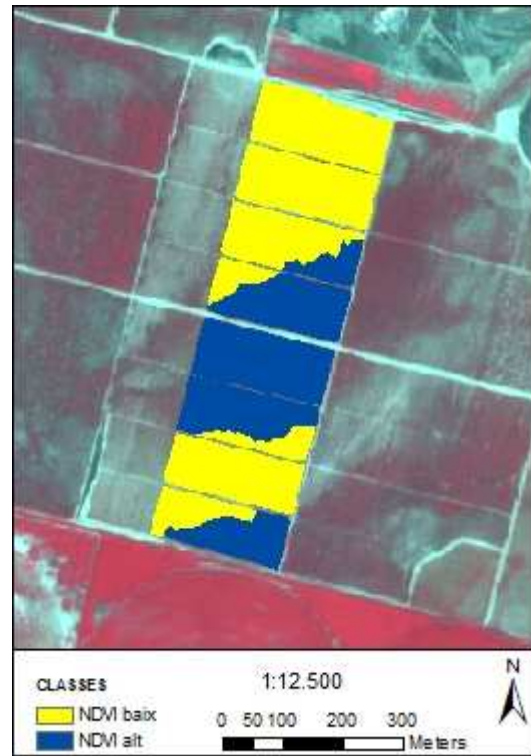


Figura 16: Mapa classes P44

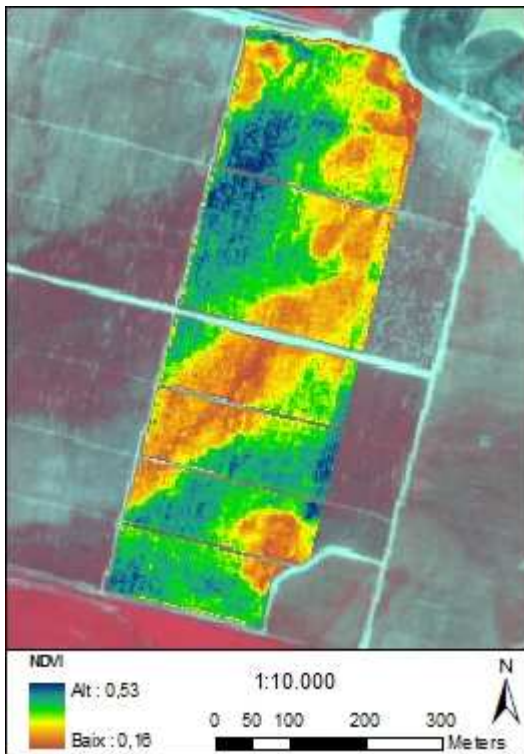


Figura 17: Mapa NDVI P45 (IO=33)



Figura 18: Mapa classes P45



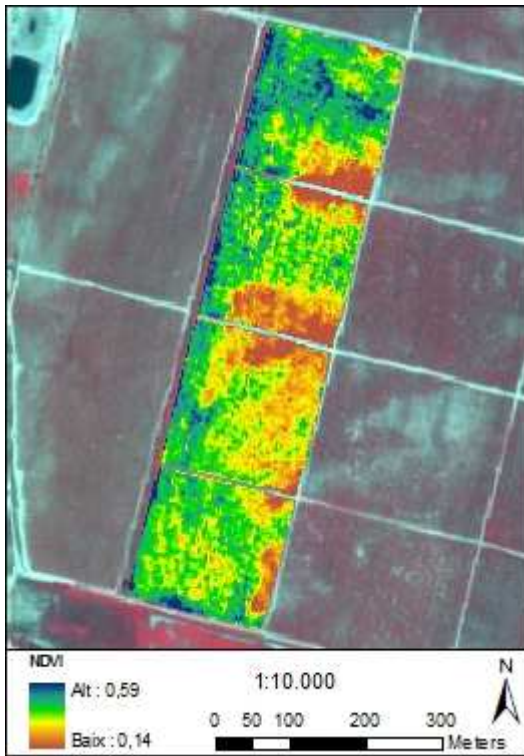


Figura 19: Mapa NDVI P08 (IO=28)

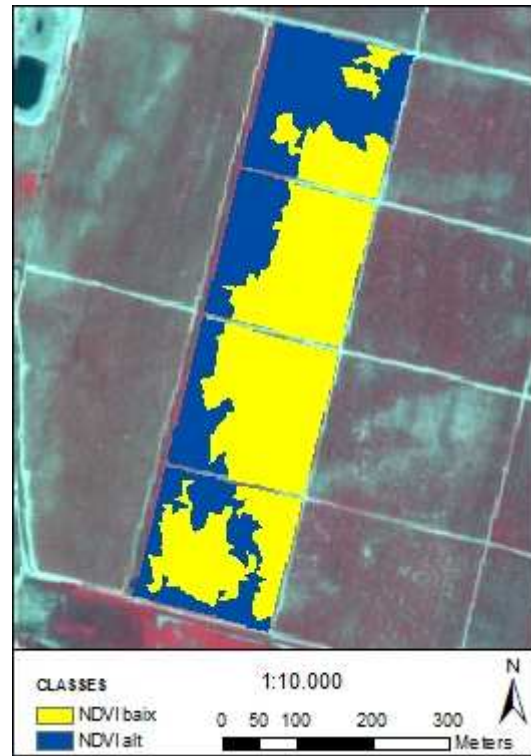


Figura 20: Mapa classes P08

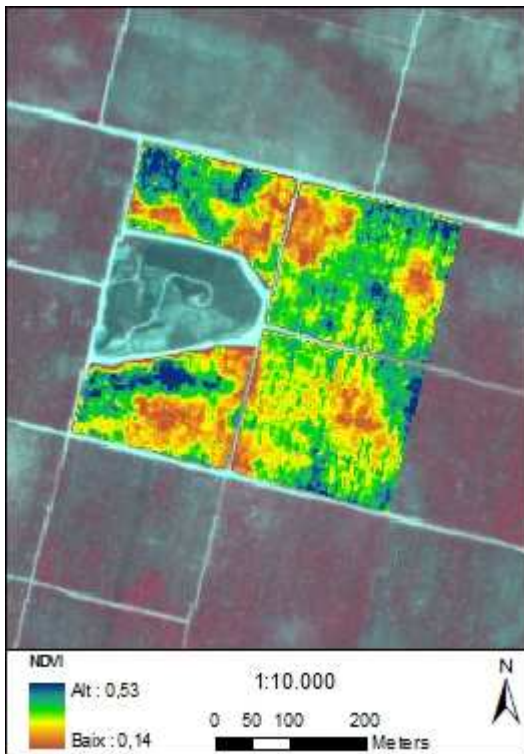


Figura 21: Mapa NDVI P04 (IO=26)

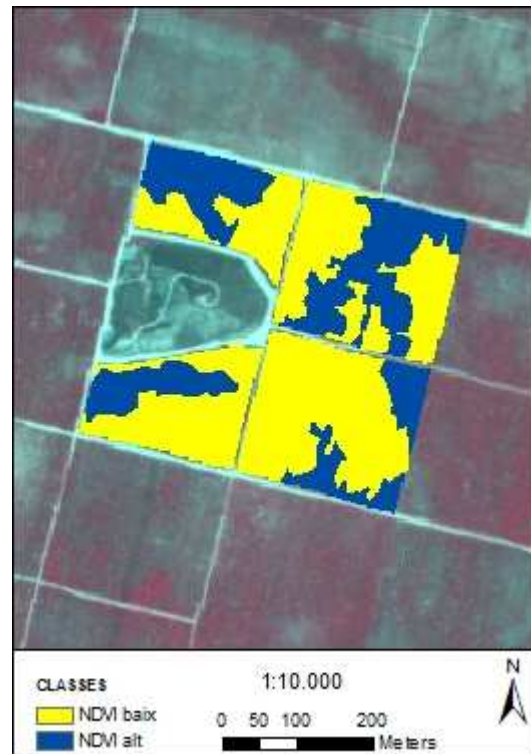


Figura 22: Mapa classes P04

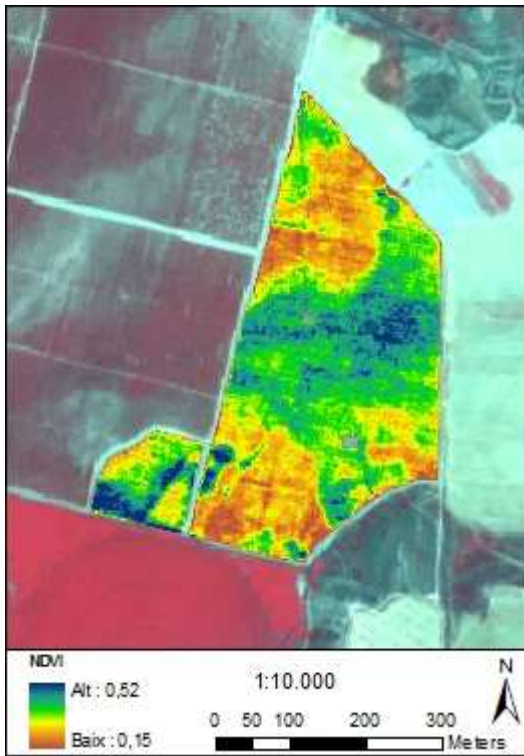


Figura 23: Mapa NDVI P01 (IO=25)



Figura 24: Mapa classes P01

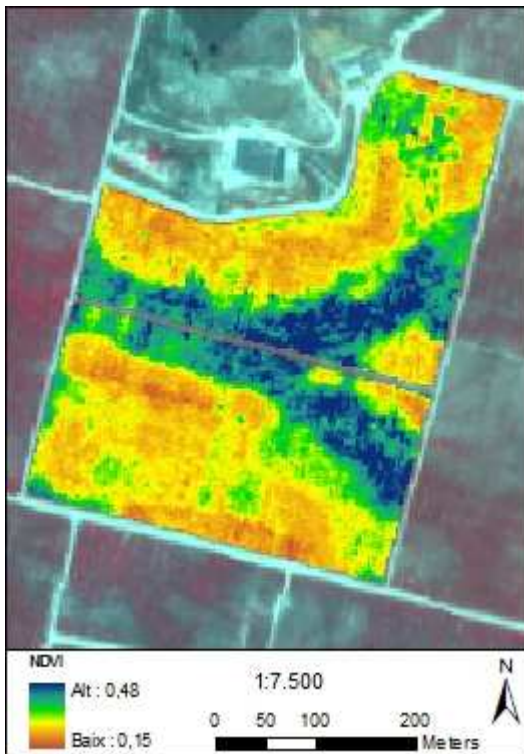


Figura 25: Mapa NDVI P31 (IO=25)



Figura 26: Mapa classes P31

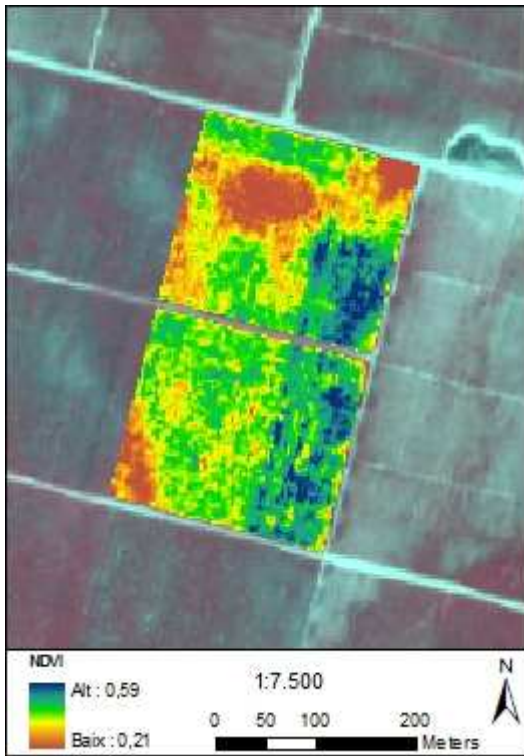


Figura 27: Mapa NDVI P03 (IO=24)

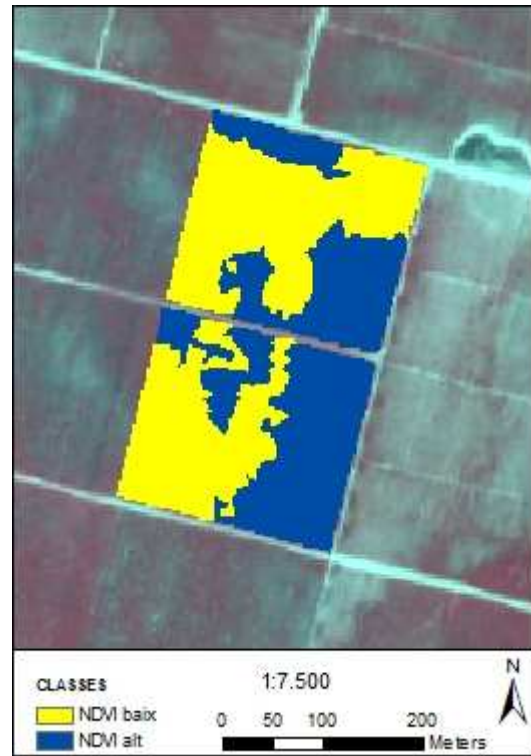


Figura 28: Mapa classes P03

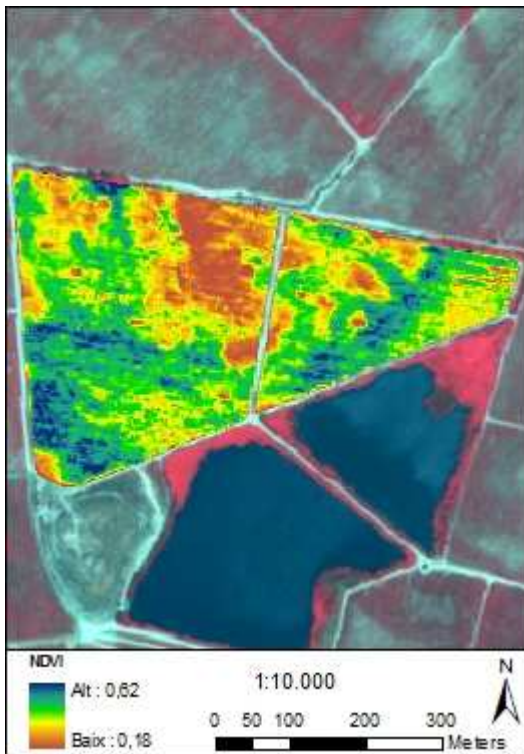


Figura 29: Mapa NDVI P28 (IO=24)



Figura 30: Mapa classes P28



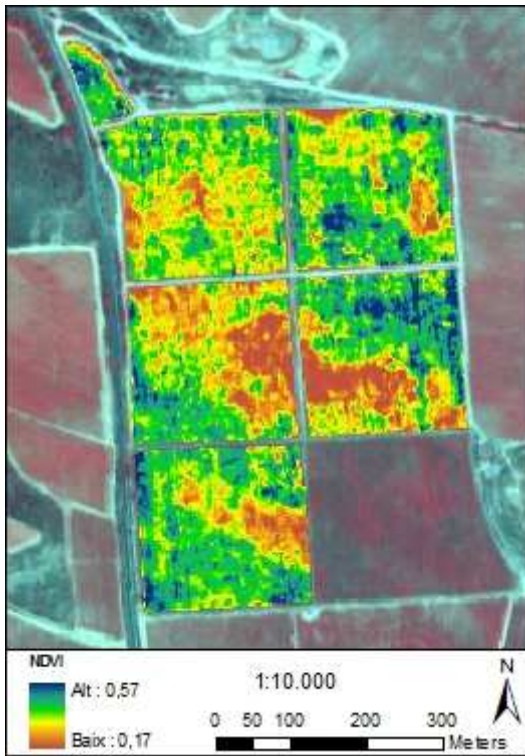


Figura 31: Mapa NDVI P29 (IO=24)

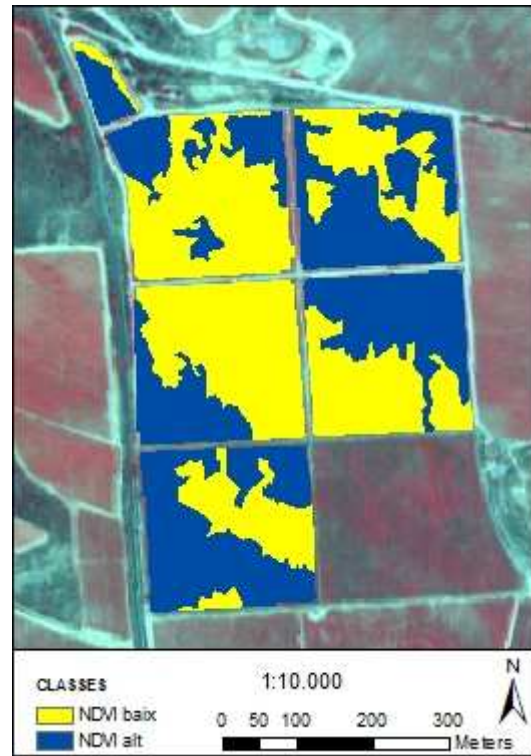


Figura 32: Mapa classes P29

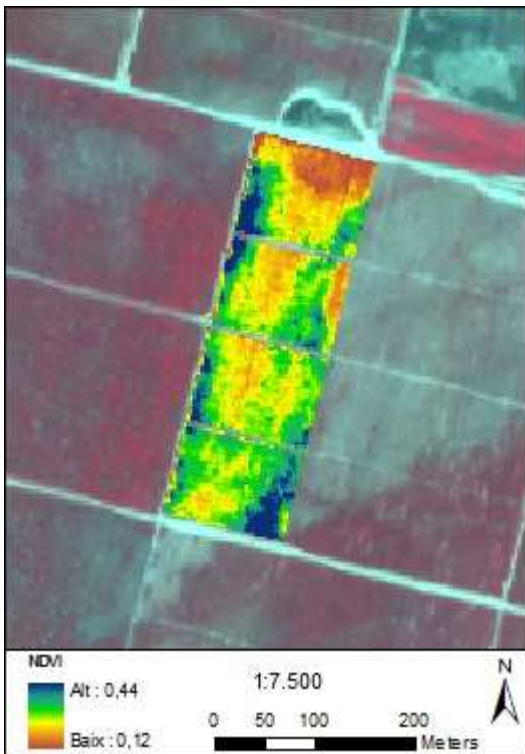


Figura 33: Mapa NDVI P42 (IO=20)

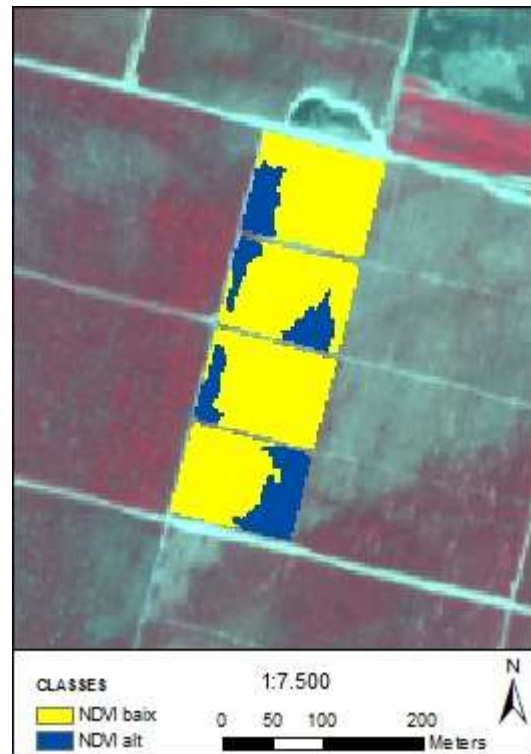


Figura 34: Mapa classes P42

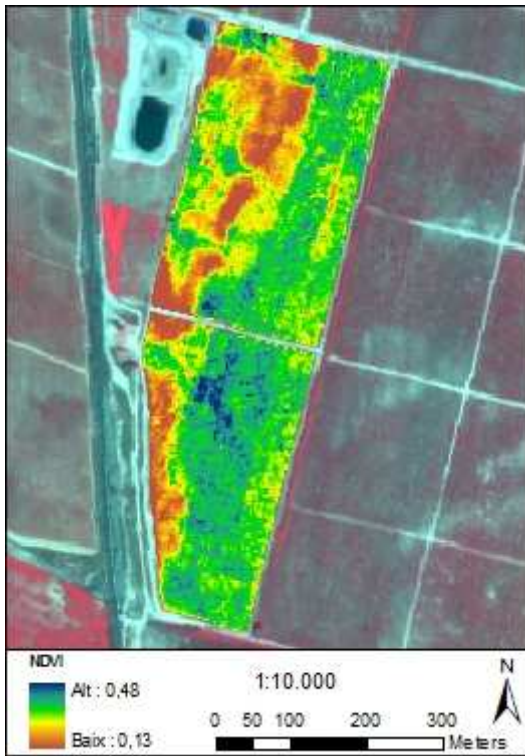


Figura 35: Mapa NDVI P09 (IO=20)



Figura 36: Mapa classes P09

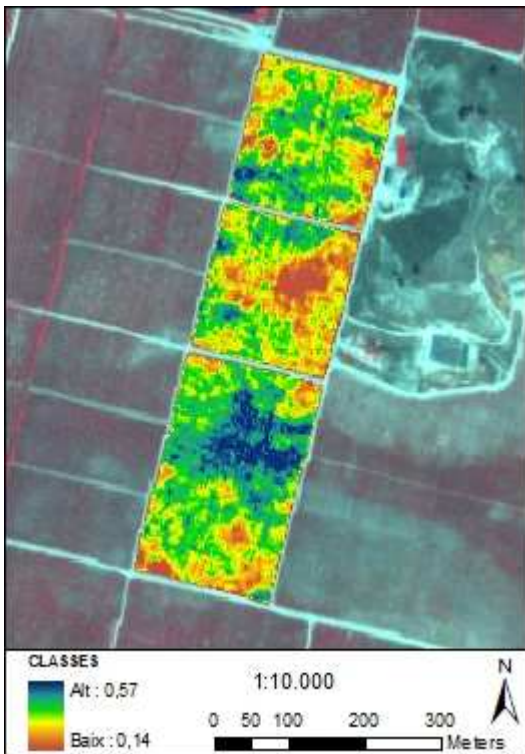


Figura 37: Mapa NDVI P20 (IO=20)

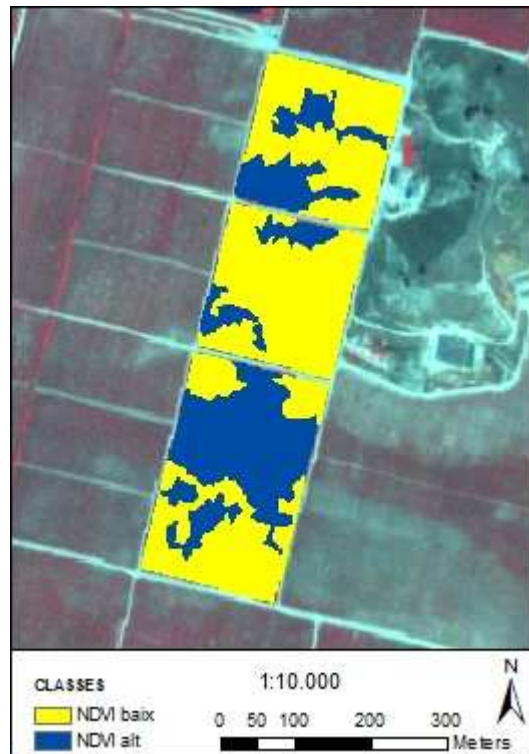


Figura 38: Mapa classes P20

**5.3. Contrast dels resultats**

Finalment, per tal de contrastar els resultats obtinguts a partir del càlcul de l'índex d'oportunitat, es comparen les parcel·les seleccionades per a la verema selectiva segons l'índex amb la pràctica realitzada a Raïmat. Tal i com s'ha comentat, es consideren només les varietats negres, ja que en la campanya 2006 a Raïmat, només es feia verema selectiva en les varietats negres.

A continuació és presenten aquelles parcel·les en que es va fer verema selectiva a Raïmat, i els resultats de l'índex proposat (Taula 10).

**Taula 10: Oportunitat de verema selectiva de les diferents parcel·les segons Raïmat o segons l'índex proposat.**

<b>PARCEL·LA</b>	<b>VS RAÏMAT</b>	<b>VS ÍNDEX</b>
<b>P01</b>	SÍ	SÍ
<b>P04</b>	NO	SÍ
<b>P05</b>	NO	NO
<b>P06</b>	NO	NO
<b>P08</b>	SÍ	SÍ
<b>P09</b>	NO	SÍ
<b>P12</b>	NO	NO
<b>P15</b>	NO	NO
<b>P17</b>	SÍ	NO
<b>P18</b>	NO	NO
<b>P19</b>	NO	NO
<b>P20</b>	NO	SÍ
<b>P21</b>	NO	NO
<b>P22</b>	NO	NO
<b>P23</b>	NO	NO
<b>P25</b>	NO	NO
<b>P26</b>	NO	NO
<b>P29</b>	SÍ	SÍ
<b>P30</b>	NO	NO
<b>P31</b>	NO	SÍ
<b>P32</b>	NO	NO
<b>P42</b>	NO	SÍ
<b>P43</b>	NO	NO
<b>P44</b>	SÍ	SÍ

D'acord amb els resultats de la Taula 10, es fa una anàlisi de correlacions, per tal de contrastar l'índex amb la pràctica de Raïmat, i es construeix la taula de contingència per analitzar la concordança (Taula 11).

**Taula 11: Taula de contingència dels resultats de Raïmat i de l'índex proposat.**

		RAÏMAT		TOTAL
		NO	SÍ	
IO	NO	14	1	15
	SÍ	5	4	9
TOTAL		19	5	24

Després de construir la taula de contingència, es calcula el coeficient kappa, que permet mesurar el grau d'acord entre les dues opcions.

Càlcul del coeficient kappa:

$$k = \frac{\pi_o - \pi_e}{1 - \pi_e} = \frac{0,75 - 0,5729}{1 - 0,5729} = \frac{0,1771}{0,4271} = 0,4146$$

$$\pi_o = \frac{14}{24} + \frac{4}{24} = 0,75$$

$$\pi_e = \frac{15}{24} \cdot \frac{19}{24} + \frac{9}{24} \cdot \frac{5}{24} = 0,4948 + 0,0781 = 0,5729$$

Segons els càlculs anteriors, el valor del coeficient kappa és de 0,4146.

Per interpretar orientativament el significat del valor del coeficient kappa, es proposa la següent classificació:

~ 0,4: grau d'acord moderat

> 0,8: grau d'acord alt

Així doncs, es pot considerar que la concordança entre l'índex d'oportunitat proposat i les pràctiques de Raïmat és moderada. Aquest nivell de concordança podria ser més alt, però s'ha de destacar que l'índex proposat presenta un total de nou parcel·les en les que es pot fer verema selectiva mentre que a la pràctica de Raïmat només es va fer en cinc. Aquesta diferència fa que no hi hagi una concordança major.

Si s'analitzen els resultats amb més detall, es pot veure que en 18 de les 24 parcel·les ((14+4)/24), es coincideix en el criteri entre l'índex d'oportunitat i la pràctica de Raïmat. Aquest total, que representa un 75% dels casos es pot considerar molt bo, ja que representa que en un 75% dels casos es coincideix en l'opció escollida.

D'altra banda, pel que fa a les parcel·les en que es fa verema selectiva a Raïmat, que són un total de 5, en 4 d'elles es pot fer verema selectiva segons els resultats de l'índex d'oportunitat proposat, el que suposa una coincidència del 80%.

Cal destacar també que l'índex creat proposa un total de 9 parcel·les per a una verema selectiva, mentre que en la pràctica de Raïmat només se'n va considerar 5. D'aquest fet se'n podria deduir que l'índex creat pot ser més acurat i més precís en la discriminació de l'oportunitat de maneig selectiu que no el sistema utilitzat a Raïmat. Per tant, amb l'índex d'oportunitat es poden detectar característiques que no es poden observar a simple vista, i per això, algunes parcel·les que amb una mera observació no semblen adequades per al maneig selectiu, si es calcula l'índex d'oportunitat, es pot avaluar millor les possibilitats que presenta la parcel·la.

Així doncs, comparant els resultats obtinguts a partir de l'índex amb la pràctica habitual realitzada a Raïmat, es pot concloure que l'índex proposat és un bon indicador de l'oportunitat de verema selectiva de les diferents parcel·les.

Un fet important és que l'índex proposat considera els tres paràmetres conjuntament, i per tant s'avaluen d'una forma global les possibilitats de maneig selectiu. Els valors obtinguts de cada un dels paràmetres i el valor final de l'índex permeten percebre millor petites diferències que hi puguin haver entre parcel·les, que difícilment podrien ser avaluades a simple vista.

Donats els resultats obtinguts de l'aplicació de l'índex d'oportunitat creat es pot considerar l'índex IO es un bon estimador per avaluar l'oportunitat de verema selectiva a partir dels mapes de vigor. Els resultats mostren que permet diferenciar de forma correcta i eficaç aquelles parcel·les que presenten unes característiques més adequades per al maneig selectiu de la collita.



## **CONCLUSIONS**

## **6. CONCLUSIONS**

En el present projecte es proposa un índex d'oportunitat (IO) per avaluar la possibilitat de verema selectiva. A diferència d'altres índexs descrits anteriorment, que es basen en la informació dels mapes de rendiment, aquest és un índex construït a partir de la informació proporcionada pels mapes de vigor. És tracta d'un índex simple i, per tant, pot ser fàcilment calculat pels viticultors.

L'índex avalua quins són aquells paràmetres que determinen les parcel·les òptimes per a la verema selectiva. En primer lloc, cal una variabilitat en els valors d'NDVI, per poder separar la collita en dues classes clarament diferenciades. En segon lloc, cal una forta estructura espacial dels valors d'NDVI, per tal de que sigui tècnicament viable per a la màquina veremadora fer una verema selectiva.

Finalment, cal considerar també, que és necessària una superfície mínima per tal de compensar les despeses extra que suposa la verema selectiva. Per cada un d'aquests paràmetres es té en compte un valor llindar mínim que s'ha de complir en cada cas, per a que l'índex presenti un valor positiu. Aquests valors llindars han estat considerats segons les pràctiques de Raïmat, però poden ser modificats en cas de que es cregui oportú.

El càlcul de l'índex permet obtenir un valor numèric d'oportunitat de verema selectiva per a cada una de les parcel·les, i a partir d'aquí es poden classificar segons presentin una oportunitat alta, mitjana o baixa per a la verema selectiva.

Les conclusions de l'aplicació de l'índex d'oportunitat IO a les diferents parcel·les són les següents:

Els resultats de l'aplicació de l'índex a l'àrea d'estudi mostren un total de 12 parcel·les on és recomanable fer una verema selectiva (valors entre 20 i 40). Així, queda definit que aquelles parcel·les amb oportunitat de verema selectiva són aquelles que presenten un valor numèric superior a 20.

Si es contrasten els resultats de l'índex proposat amb la pràctica de Raïmat, els resultats són molt satisfactoris. Es coincideix en un total de 18 parcel·les de 24, el que suposa un 75% dels casos. Pel que fa a les parcel·les en que es fa verema selectiva a Raïmat, en quatre de les cinc l'índex proposat també considera l'opció d'una verema selectiva (el que suposa un 80% de coincidència).

D'altra banda, de les nou possibles parcel·les que l'índex d'oportunitat presenta com a adequades per al maneig selectiu, només en quatre es va fer verema selectiva. D'aquí se'n pot deduir que l'índex proposat és més precís, permet detectar millor les variacions i ponderar la variabilitat de la parcel·la, i que per tant es poden seleccionar parcel·les amb oportunitat que potser no s'haguessin trobat utilitzant el mètode tradicional de Raïmat.

Donats els resultats obtinguts, és pot considerar que la fórmula utilitzada per calcular l'oportunitat de verema selectiva de les parcel·les és adequada i permet obtenir uns resultats molt satisfactoris. El fet de que es ponderin els tres factors conjuntament fa que es pugui tenir una visió molt més general de les possibilitats que ofereix cada una de les parcel·les. També és interessant que el valor final de l'índex sigui un valor numèric, perquè així és poden ordenar les diferents parcel·les segons el valor que presenten.

En comparació amb els diferents índexs d'oportunitat ja existents, el present índex d'oportunitat (IO) permet avaluar la possibilitat d'una verema selectiva a partir de l'anàlisi de la informació proporcionada pels mapes de vigor. En aquest cas, es tracta d'un índex simple i fàcil de calcular, que avalua l'oportunitat en funció dels tres paràmetres descrits, que són la variabilitat, l'estructura i la superfície, d'una forma clara i senzilla.

## **BIBLIOGRAFIA**

## 7. BIBLIOGRAFIA

- AGELET, J. (2007). Predicció de paràmetres de qualitat en vinya a partir d'imatges de satèl·lit d'alta resolució i índexs de fertilitat del conreu. J.A. Martínez-Casasnovas (tut.). Projecte de final de carrera. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària.
- ARNÓ, J. (2008). Variabilidad intraparcelsaria en viña y el uso de sensores láser viticultura de precisión. Rosell, J.; Ribes, M. (tut.). Tesi Doctoral. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària.
- ARNÓ, J.; MARTÍNEZ-CASANOVAS, J.A.; RIBES-DASI, M.; ROSELL, J.R. (2009). *Review. Precision Viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management*. Spanish Journal of Agricultural Research, núm. 7: p. 779-790.
- BASSO, B.; SARTORI, L.; BERTOCCO, M. (2006). *Manual de agricultura de precisión*. 1a edició. Madrid: Eumedía, S.A. y Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ISBN 978-84-930738-7-9.
- BLACKMORE, B.S. (1999). *Developing the principles of precision farming*. Proceedings of Agrotech 99. Brazil: Barretos Institute of Technology, p. 15-19.
- BOHLING, G. (2005). *Introduction to geostatistics and variogram analysis*. Kansas Geological Survey.
- BORDES, X. (2004) Obtenció de mapes de collita i anàlisi de la variabilitat intraparcelsària en vinya (*Vitis vinifera*) a Raïmat. Manel Ribes i Dasí (tut.) Projecte de final de carrera. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària.
- BRAMLEY, R.; PROFFITT, T. (1999). *Managing variability in viticultural production*. The Australian Grapegrower & Winemaker, núm. 427: p. 11-16.
- BRAMLEY, R.; PEARSE, B.; CHAMBERLAIN, P. (2003a). *Being profitable precisely - a case study of precision viticulture from Margaret River*. The Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker, núm 473a: p. 84-87.
- BRAMLEY, R.G.V.; LAMB, D.W. (2003b). *Making sense of vineyard variability in Australia*. Proc IX Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología. Santiago, Chile. p.35-54.
- BRAMLEY, R.G.V.; HAMILTON, R.P. (2004). *Understanding variability in winegrape production systems. 1. Within vineyard variation in yield over several vintages*. Australian Journal of Grape and Wine Research, núm. 10: p.32-45.

- BRAMLEY, R.G.V. (2005). *Understanding variability in winegrape production systems. 2. Within vineyard variation in quality over several vintages*. Australian Journal of Grape and Wine Research, núm. 11: p.33-42.
- BRAMLEY, R.G.V. (2009). *Lessons from nearly 20 years of Precision Agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application*. Crop & Pasture Science, núm. 60: p. 197-217.
- CAMBARDELLA, C.A.; KARLEN, D.L. (1999). *Spatial analysis of soil fertility parameters*. Precision Agriculture, núm 1: p. 5-14.
- CHUVIECO, E. (2002). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. 1a edició. Barcelona: Editorial Ariel, S.A. ISBN 84-344-8047-6.
- COOK, S.E.; BRAMLEY, R.G.V. (1998). *Precision agriculture – opportunities, benefits and pitfalls of site-specific crop management in Australia*. Australian Journal of Experimental Agriculture, núm 38: p. 753-763.
- GALLARDO, A. (2006). *Geoestadística*. Ecosistemas, Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente, núm 15: p. 48-58.
- HALL, A.; LAMB, D.W.; HOLZAPFEL, B.P.; LOUIS, J.P. (2011). *Within-season temporal variation in correlations between vineyard canopy and winegrape composition and yield*. Precision Agriculture, núm. 12: p. 103-117.
- HAN, S., HUMMEL, J.W., GOERING, C.E., CAHN, M.D. (1994). *Cell size selection for site-specific crop management*. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, vol. 37, núm. 1: p. 19-26.
- LAMB, D.W.; WEEDON, M.M.; BRAMLEY, R.G.V. (2004). *Using remote sensing to predict grape 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, núm. 10: p. 46-54.
- LLOPART, M. (2004). *Anàlisi i maneig de la variabilitat intraparcelsa de paràmetres de producció i qualitat en vinya*. J. Arnó i Satorra (tut.) Projecte de final de carrera. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària.
- MARTÍNEZ-CASANOVAS, J.A.; AGELET, J.; ARNÓ, J.; BORDES, X.; RAMOS, M.C. (2010). *Protocolo para la zonificación intraparcelsaria de la viña para vendimia selectiva a partir de imágenes multispectrales*. Revista de Teledetección, núm. 33: p. 47-52.
- McBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T. (2005). *Future Directions of Precision Agriculture*. Precision Agriculture, núm. 6: p. 7-23.

- MUIXACH, E. (2006). Predicció del rendiment en vinya a partir de imatges de satèl·lit d'alta resolució espacial (Quickbird II) a Raïmat (D.O. Costers del Segre, Lleida). J.A. Martínez-Casasnovas (tut.) Projecte de final de carrera. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària.
- PAOLI, J.N.; TISSEYRE, B.; STRAUSS, O.; McBRATNEY, A.B. (2010). *A technical opportunity index based on the fuzzy footprint of a machine for site-specific management: an application to viticulture*. Precision Agriculture, núm 11: p.379-396.
- PASTOR, M. (2010). Zonificació de la qualitat del raïm i verema selectiva en base a l'ús de mapes de vigor a Raïmat, Lleida. J. Arnó i Satorra (tut.). Projecte de final de carrera. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària.
- PRINGLE, M.J.; McBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M.; TAYLOR, J.A. (2003). *A preliminary approach to assessing the opportunity for site-specific crop management in a field, using yield monitor data*. Agricultural Systems, núm. 76: p. 273-292.
- ROUDIER, P.; TISSEYRE, B.; PILVÉ, H.; ROGER, J.M. (2011). *A technical opportunity index adapted to zone-specific management*. Precision Agriculture, núm. 12: p. 130-145.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; DEERING, D.W.; SCHELL, J.A. (1973). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*. Texas A&M University Remote Sensing Center, College Station, Texas.
- TISSEYRE, B.; McBRATNEY, A.B. (2008). *A technical opportunity index based on mathematical morphology for site-specific management: an application to viticulture*. Precision Agriculture, núm. 9: p.101-113.
- VALLÉS, D. (2008). Anàlisi de la variabilitat del vigor i rendiment del cultiu i de les propietats del sòl, en una parcel·la de vinya de Raïmat, per a la reordenació dels sectors de reg. J.A. Martínez-Casasnovas (tut). Projecte de final de carrera. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària.
- WHELAN, B.M; McBRATNEY, A.B. (2000). *The "null hypothesis" of precision agriculture management*. Precision agriculture, núm 2: p. 265-279.
- WHELAN, B.M. (2007). *Current status and future directions of PA in Australia*. Proceedings of the 2nd Asian Conference of Precision Agriculture. Pyeongtaek, Korea, p. 60-71.

**ANNEX**



**ANNEX 1:**

A continuació es presenten els diferents variogrames direccionals calculats amb l'ArcGIS, de cada una de les parcel·les (Figura 39 a Figura 43).

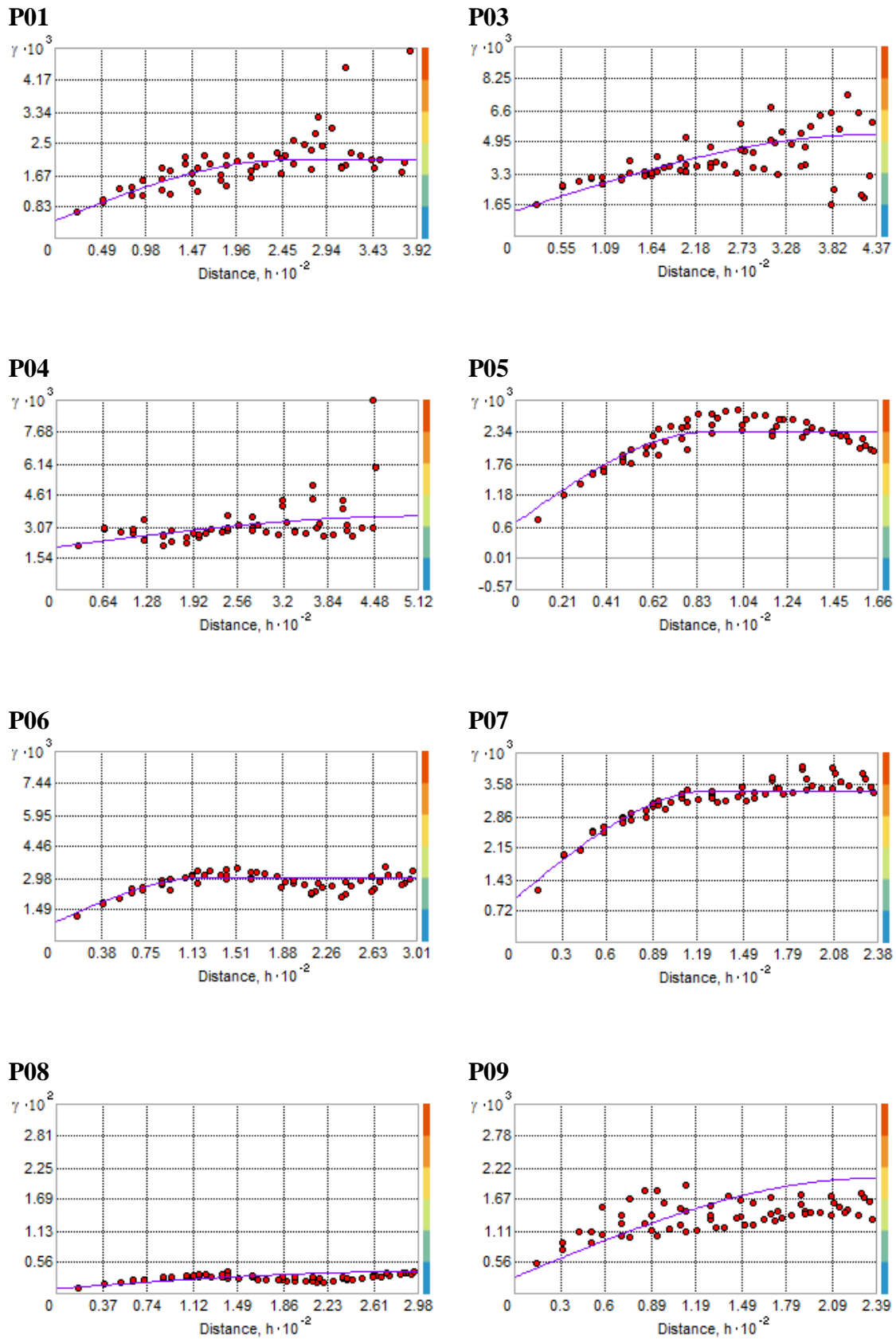
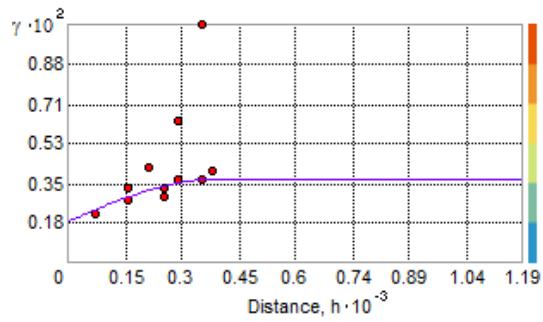
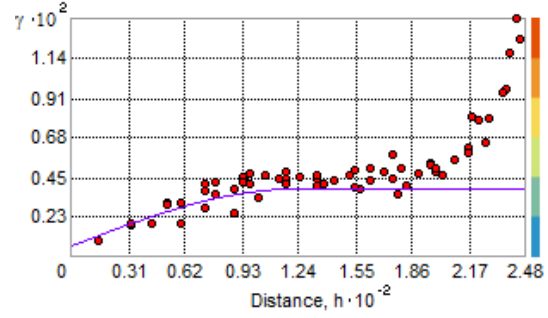
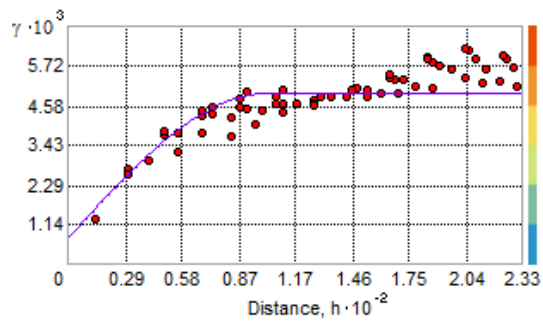
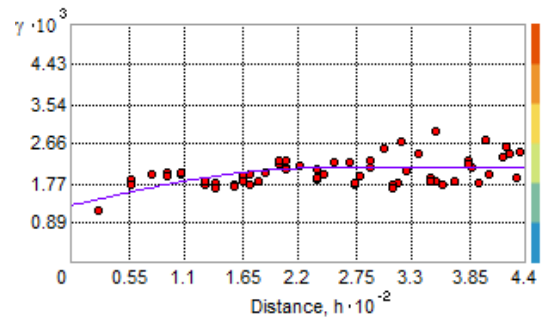
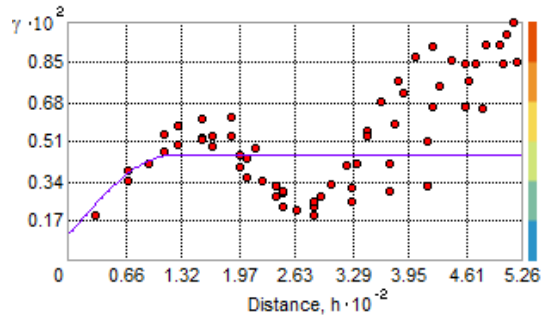
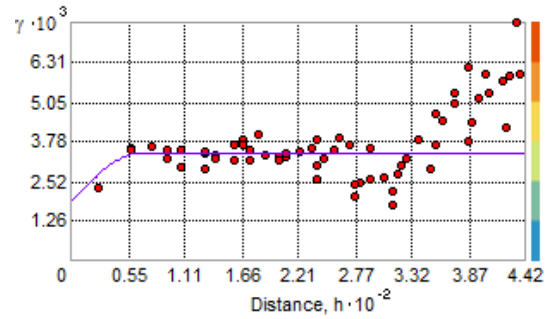
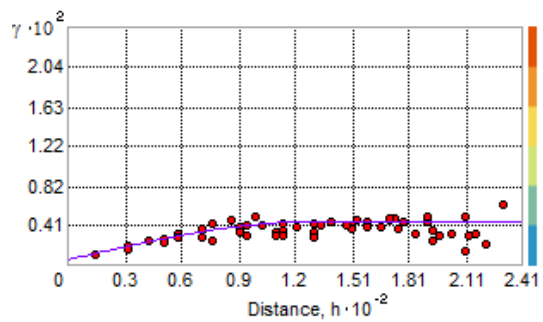
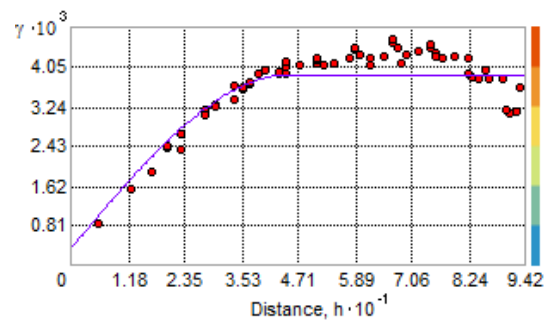
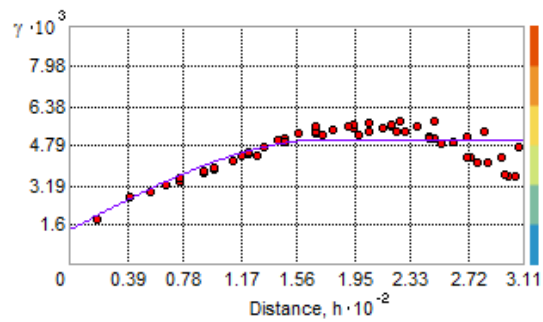
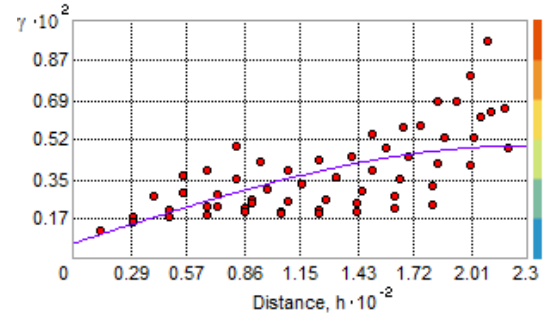
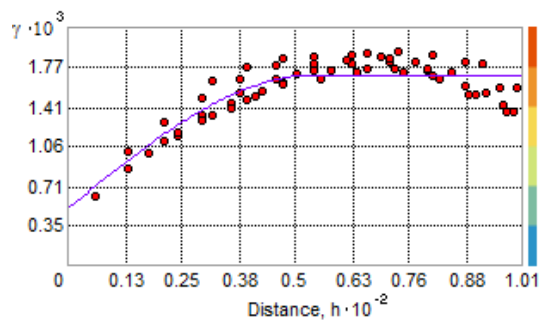
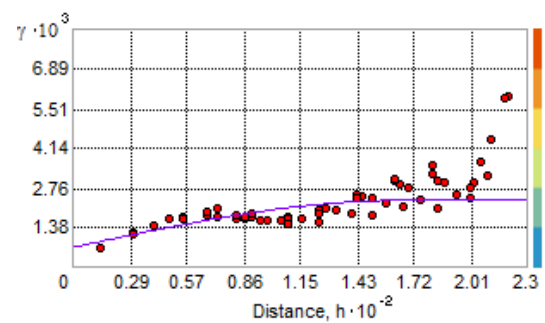
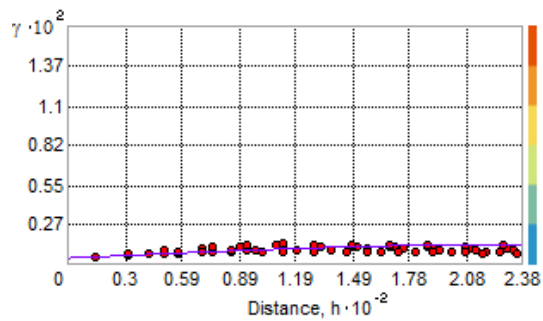
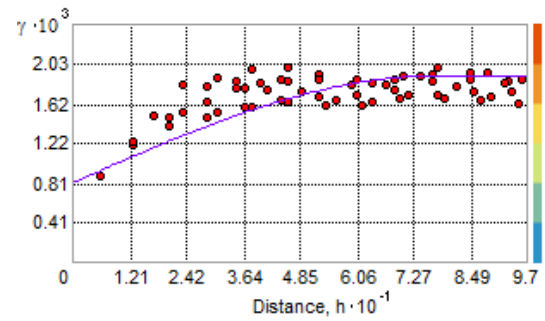
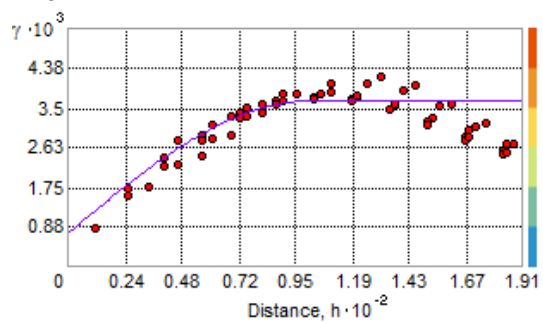
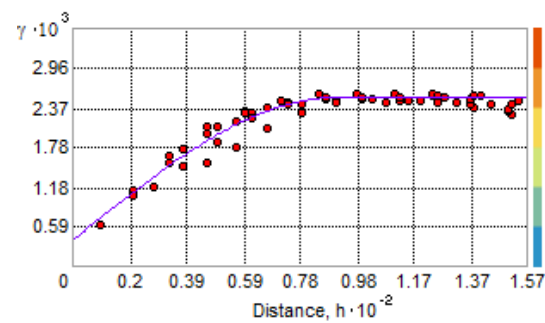


Figura 39: Variograma de cada una de les parcel·les (P01 a P09).

**P11****P12****P13****P15****P16****P17****P18****P19****Figura 40: Variograma de cada una de les parcel·les (P11 a P19).**

**P20****P21****P22****P23****P24****P25****P26****P27****Figura 41: Variograma de cada una de les parcel·les (P20 a P27).**

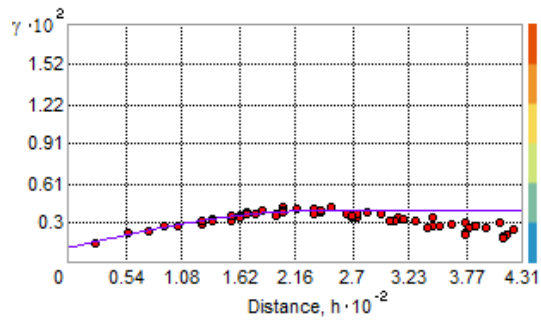
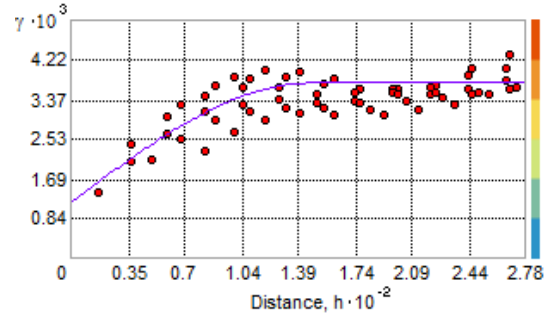
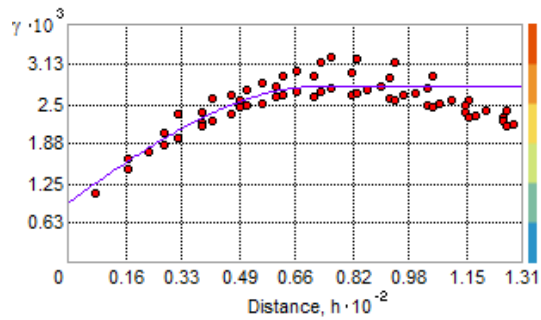
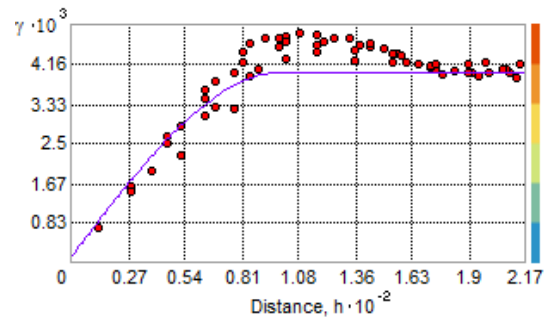
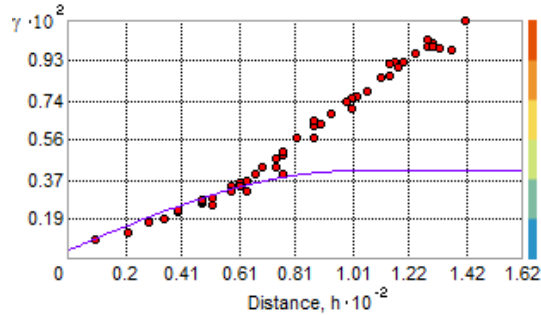
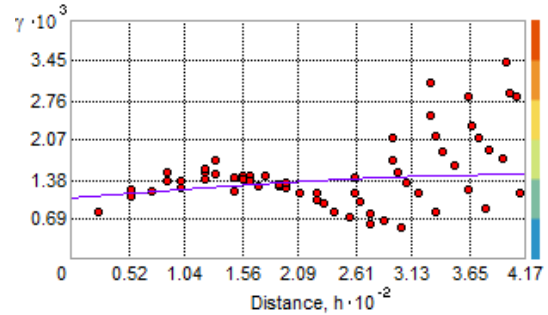
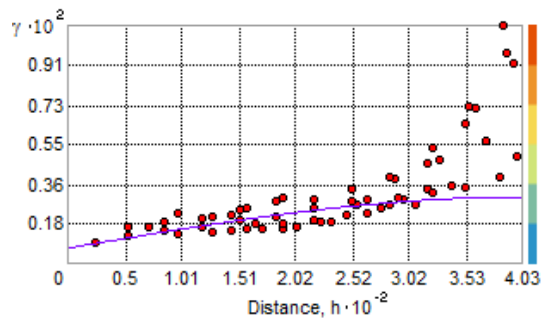
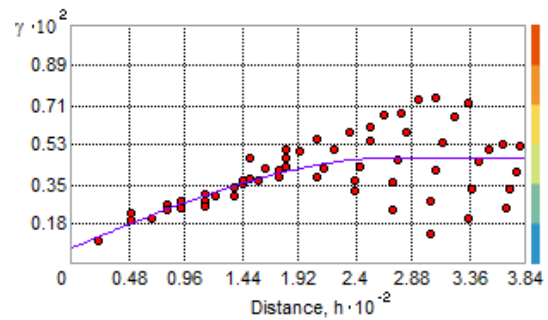
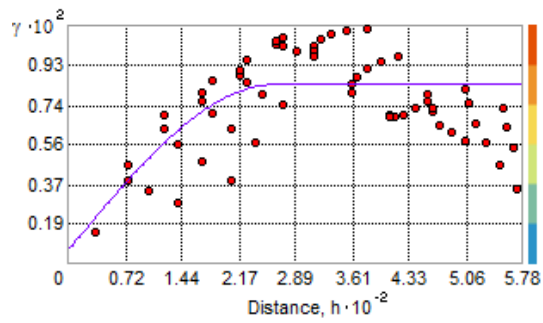
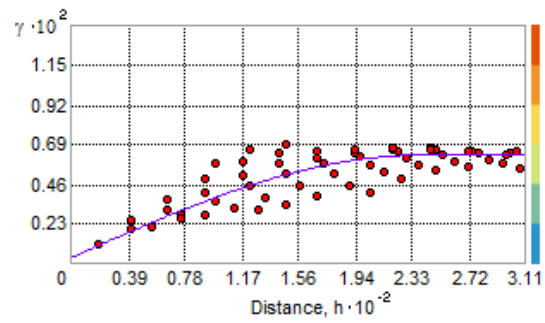
**P28****P29****P30****P31****P32****P33****P42****P43**

Figura 42: Variograma de cada una de les parcel·les (P28 a P43).

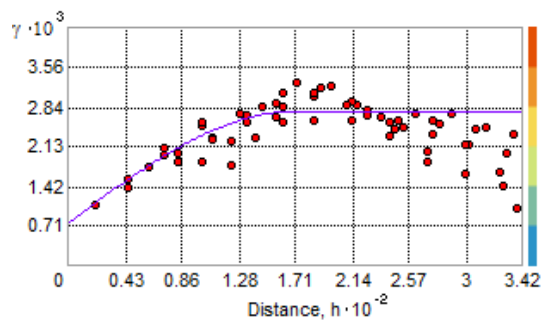
P44



P45



P46



P47

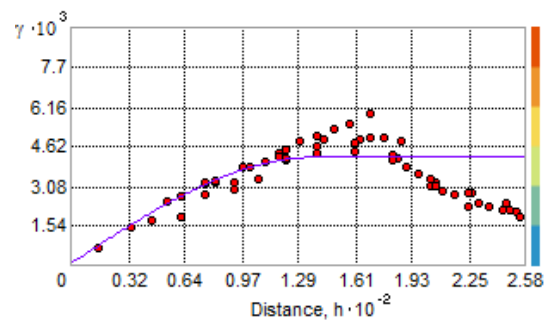


Figura 43: Variograma de cada una de les parcel·les (P44 a P47).

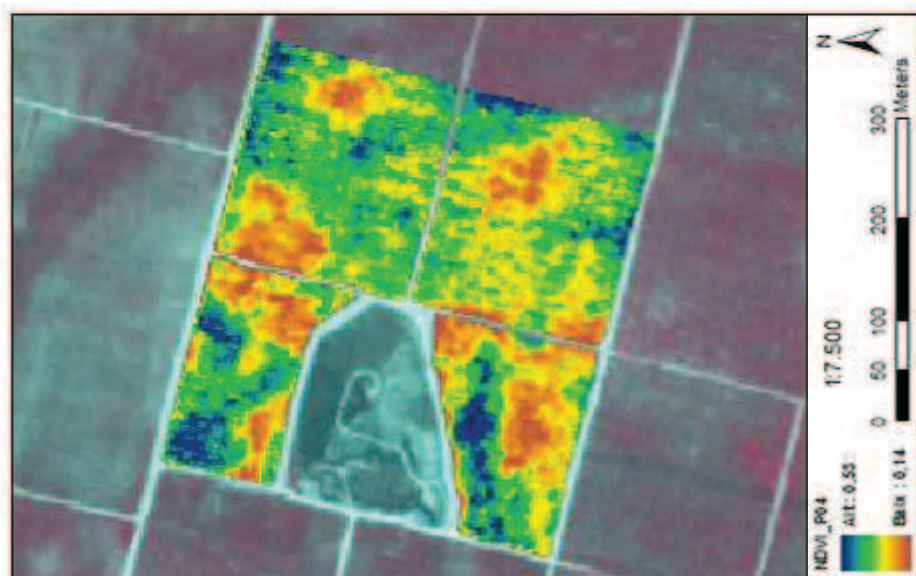
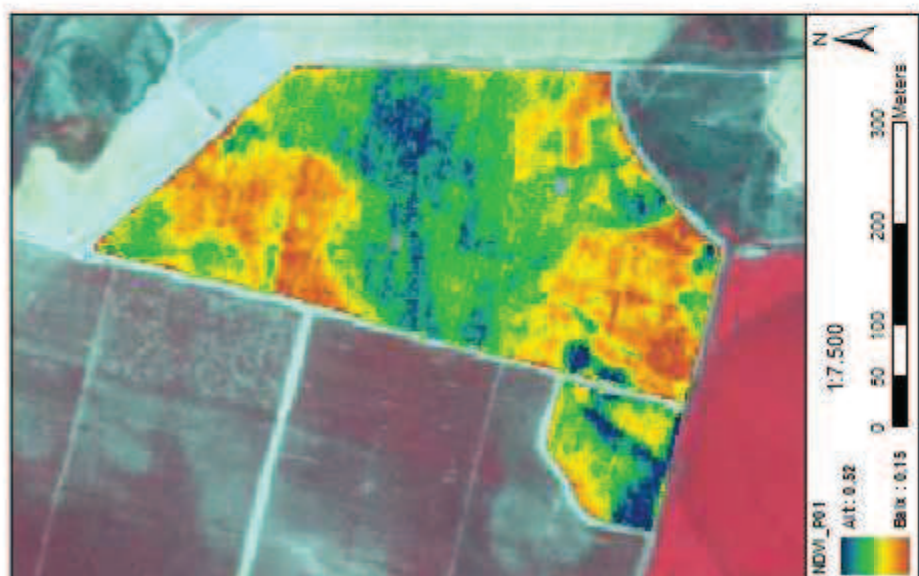
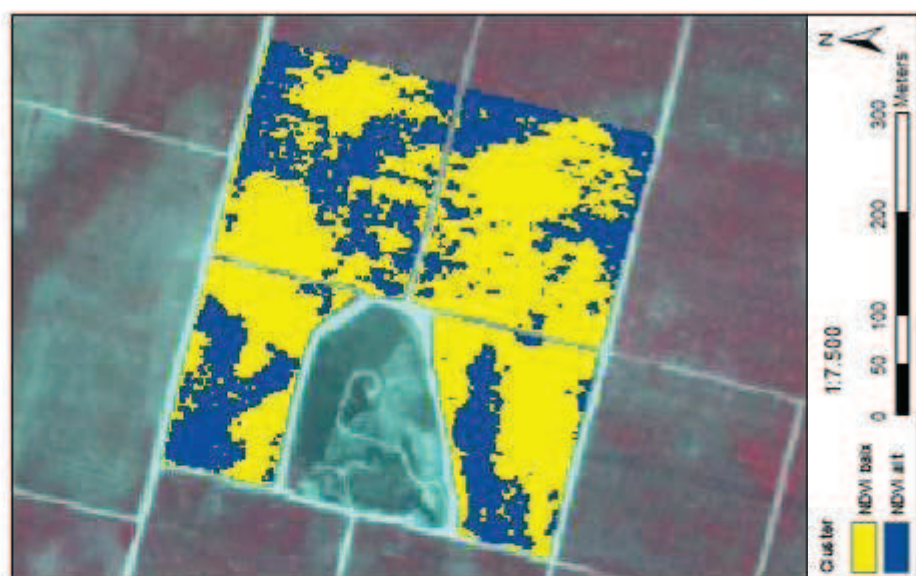
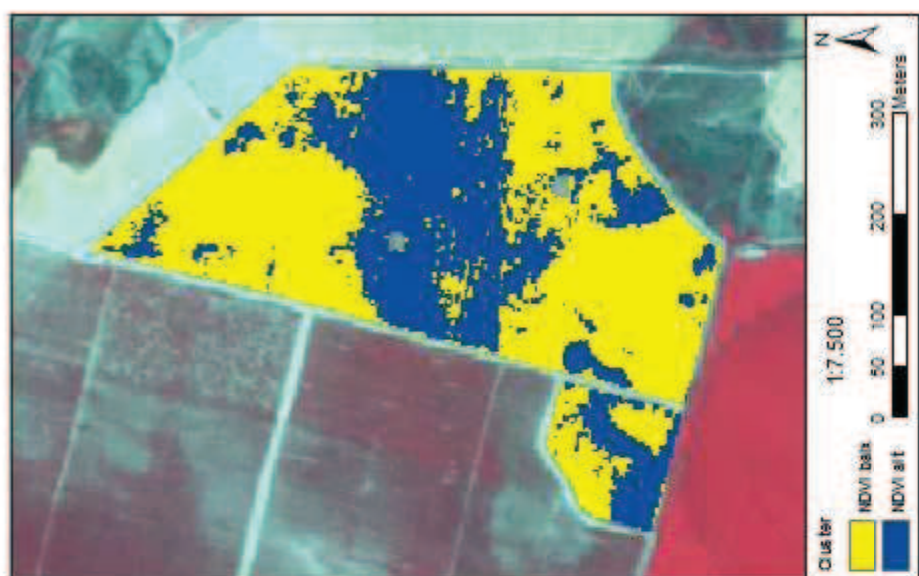
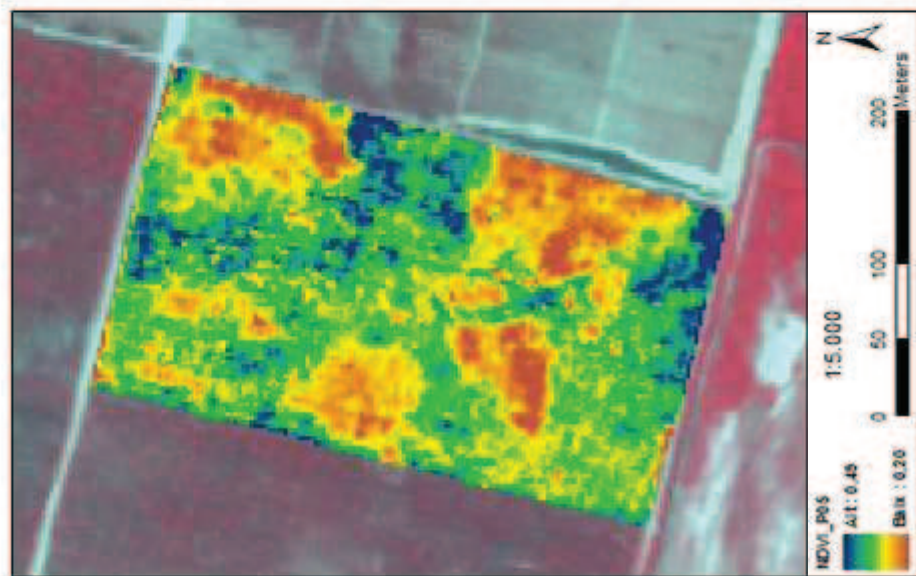
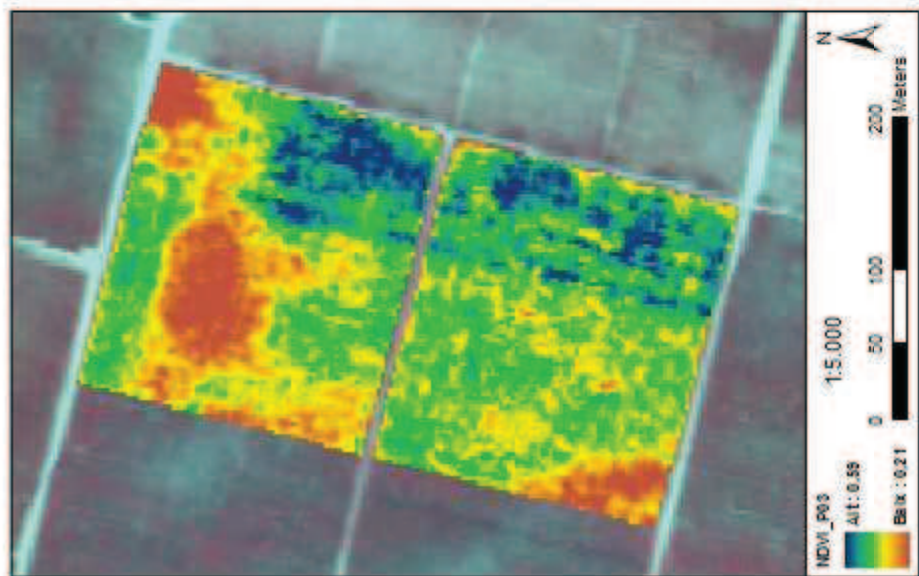
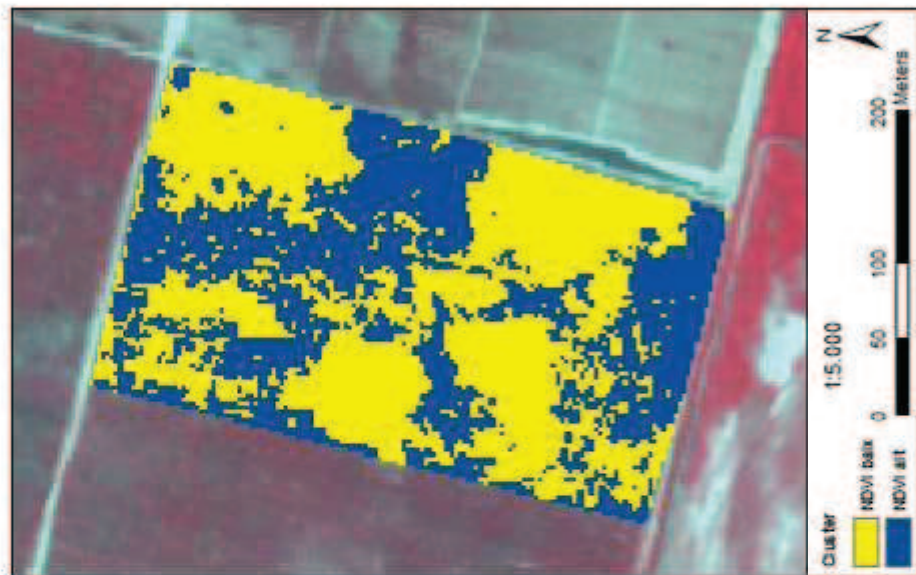
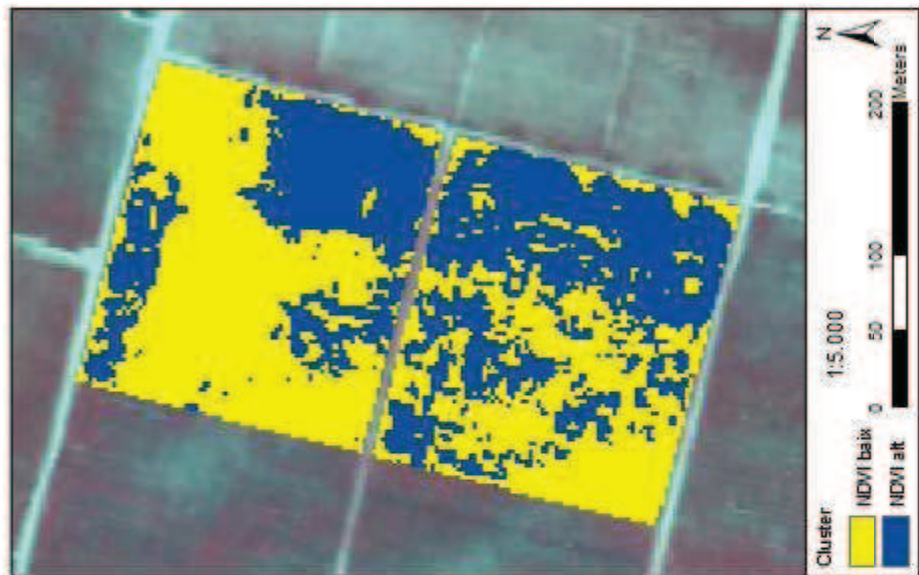
**ANNEX 2:**

A continuació es presenta el mapa de vigor i el mapa “cluster” de cada una de les parcel·les.



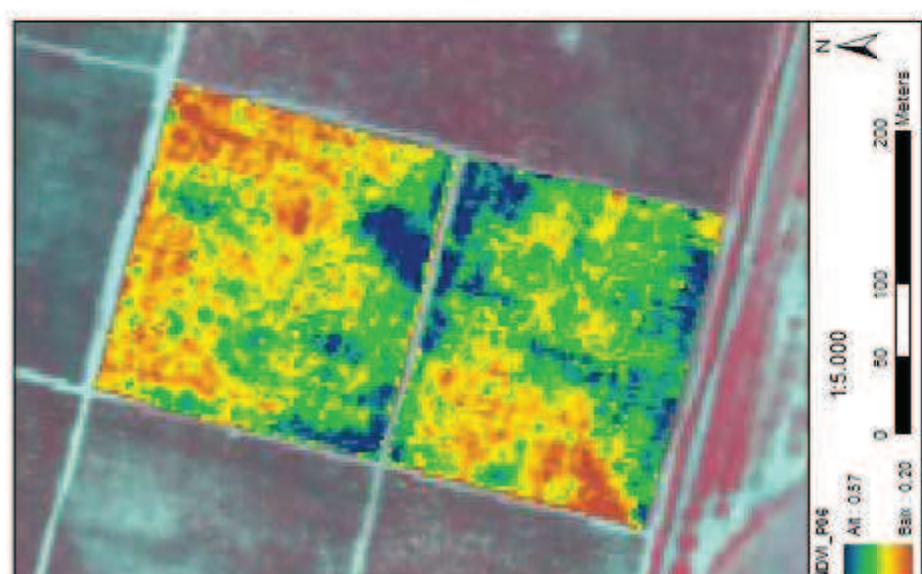
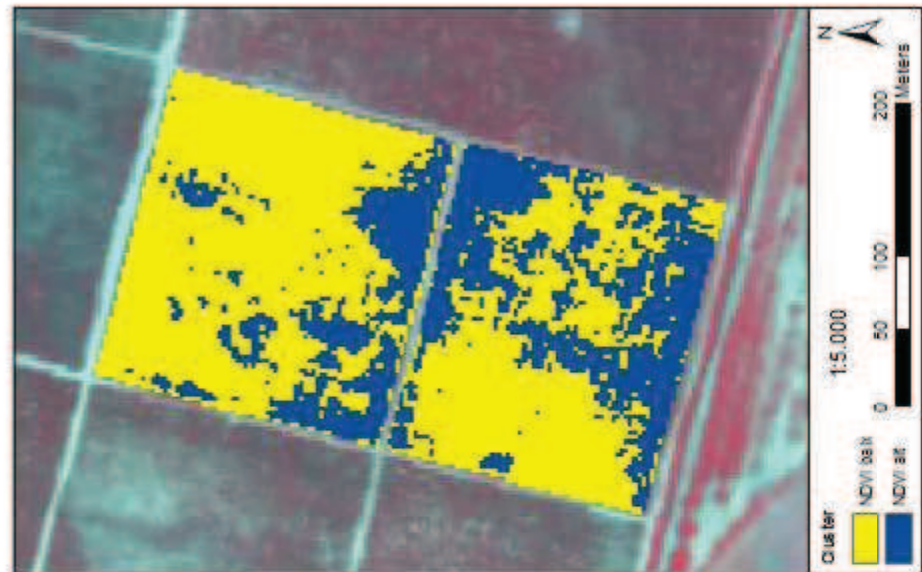
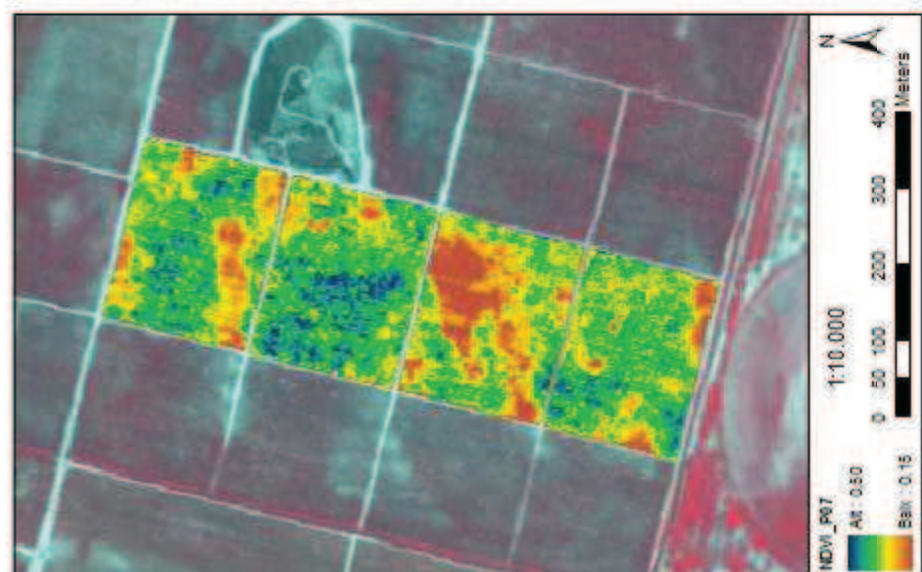
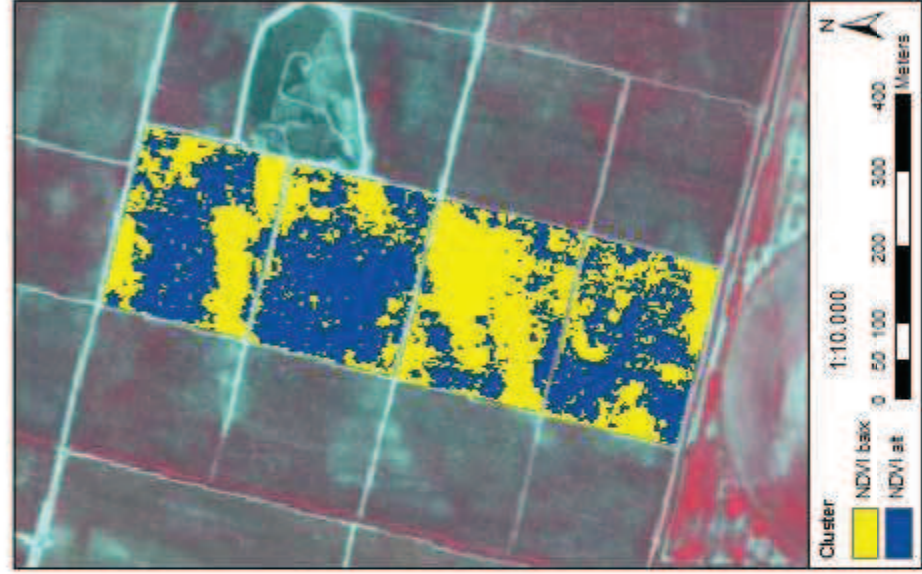
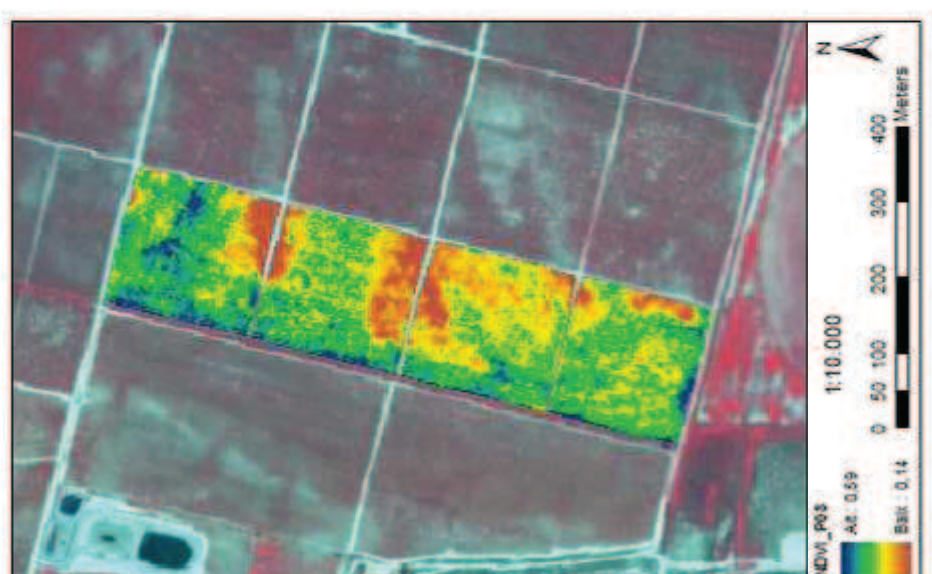
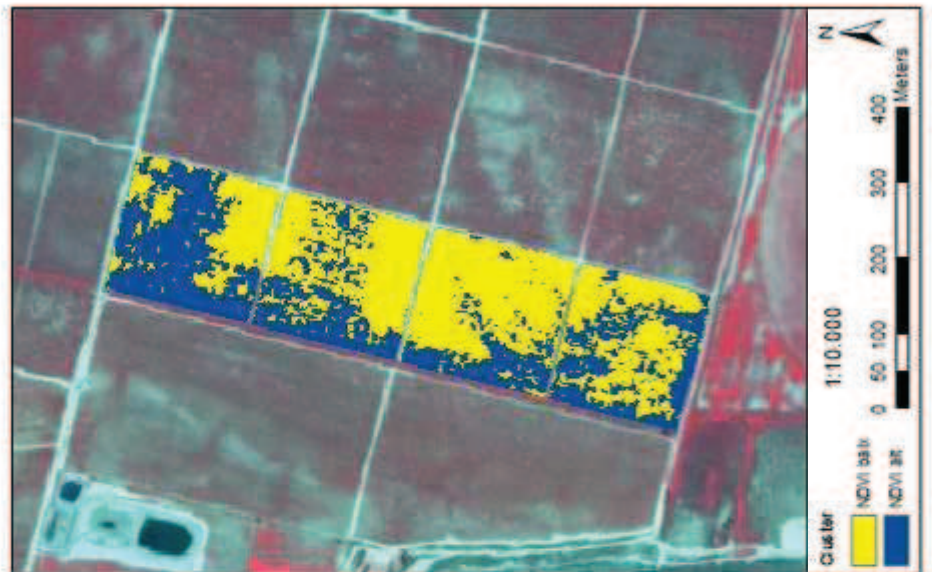
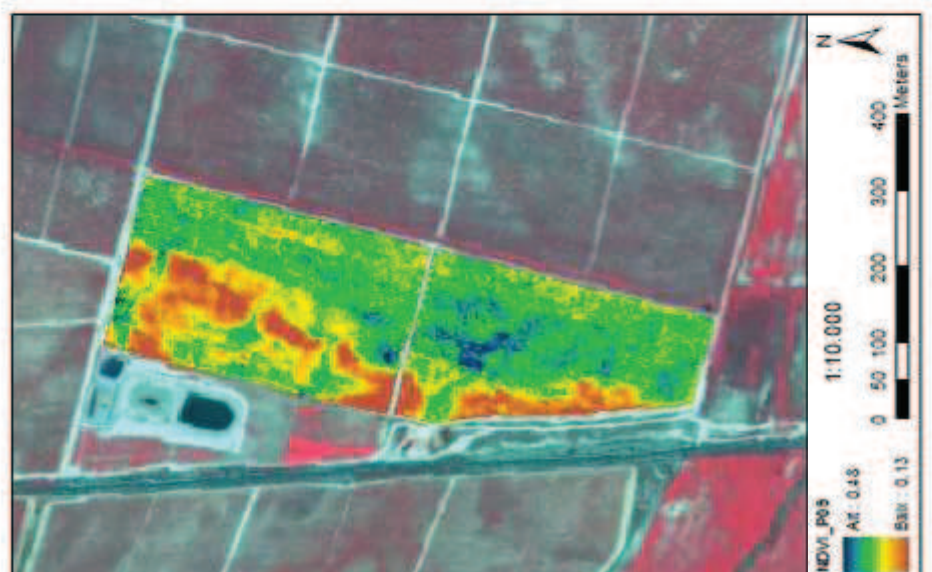
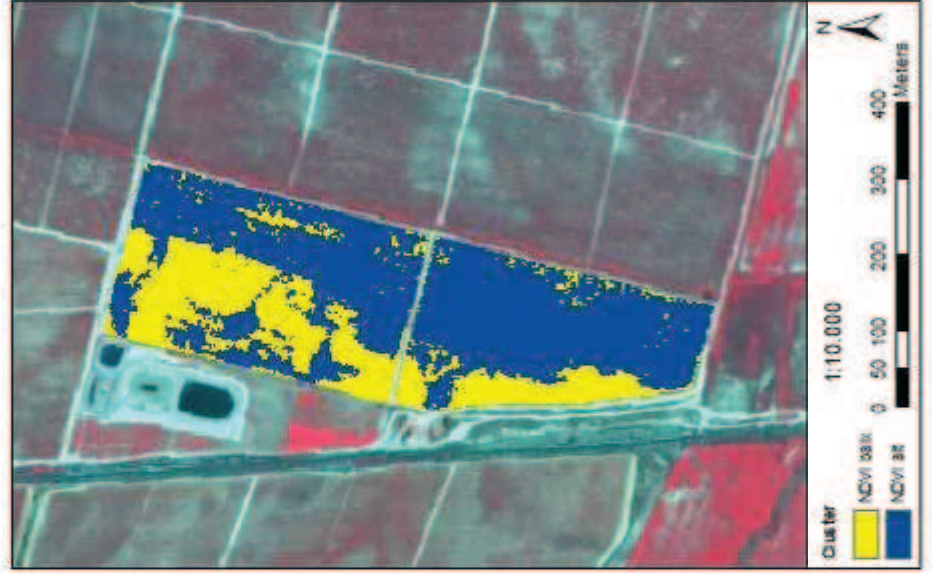


# Mapa 1 : NDVI ! cluster P01 , P03 , P04 ! P05.



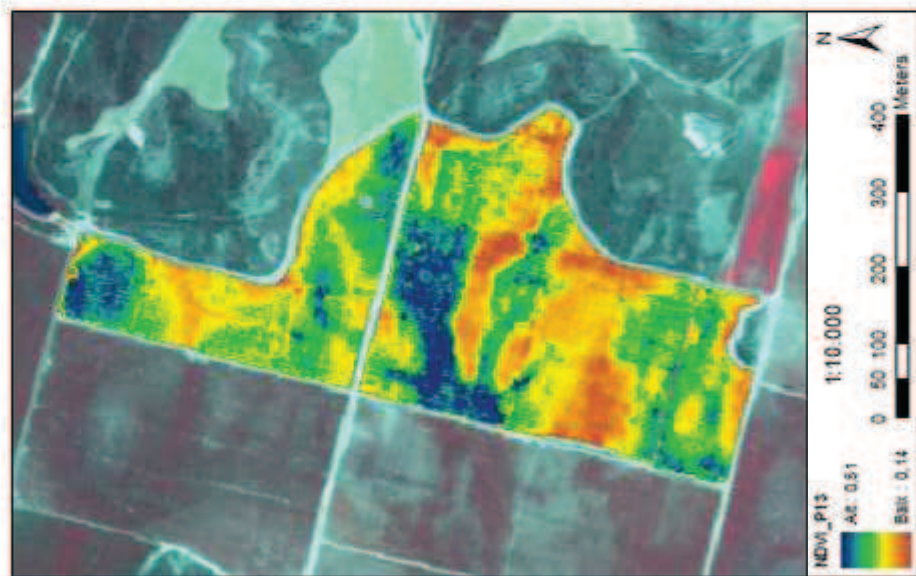
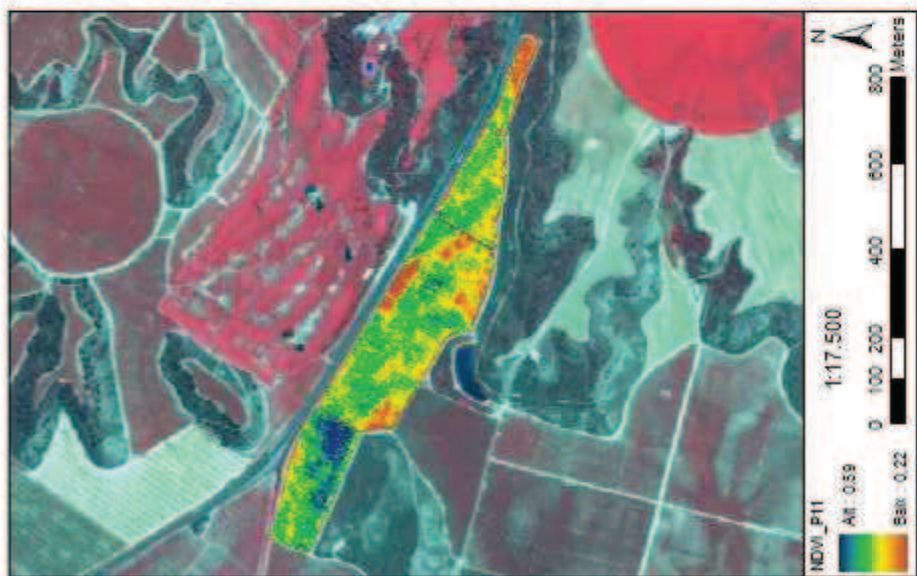
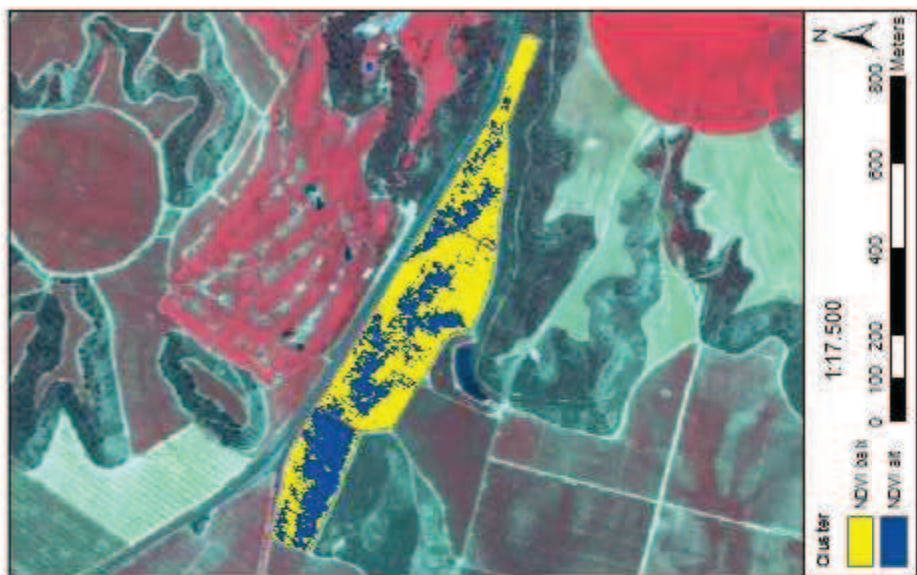
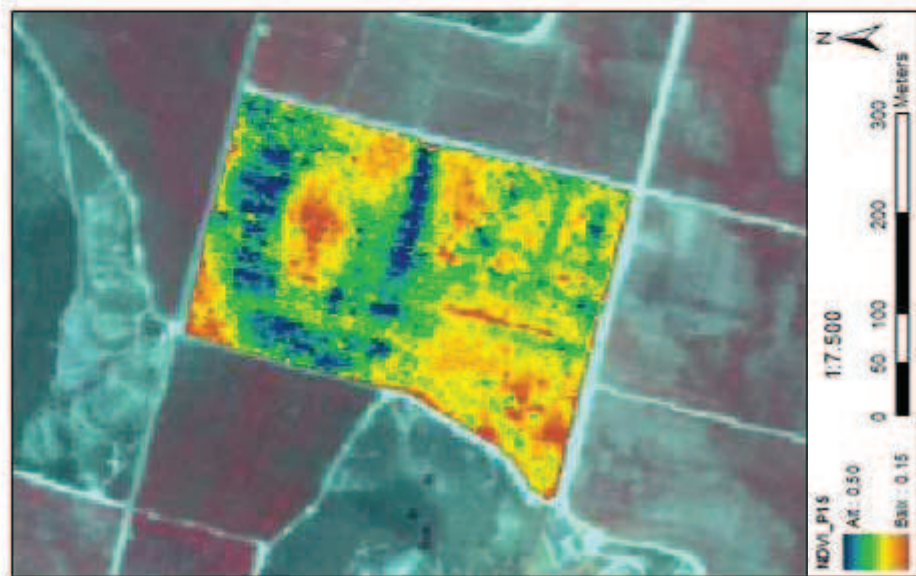
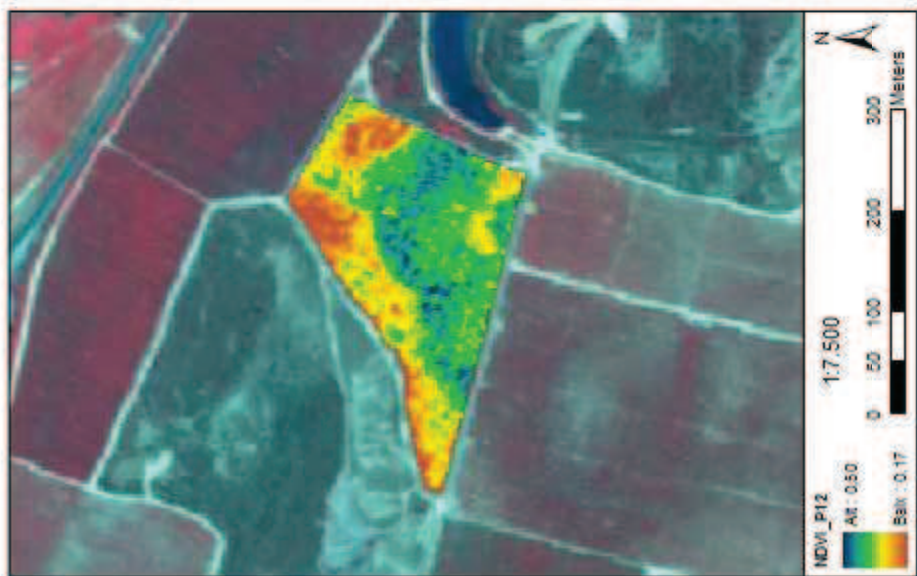
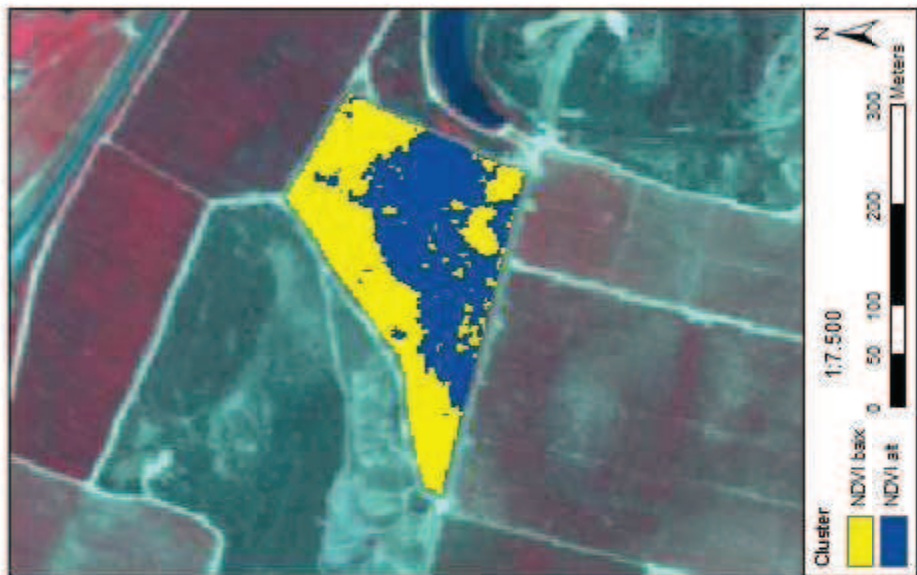


# Mapa 2: NDVI ! cluster P06, P07, P08 ! P09.



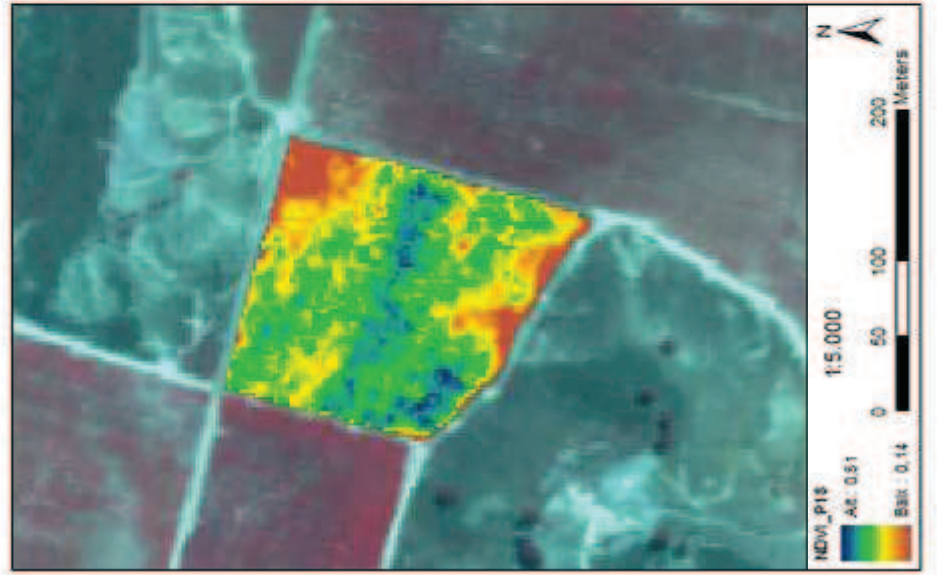
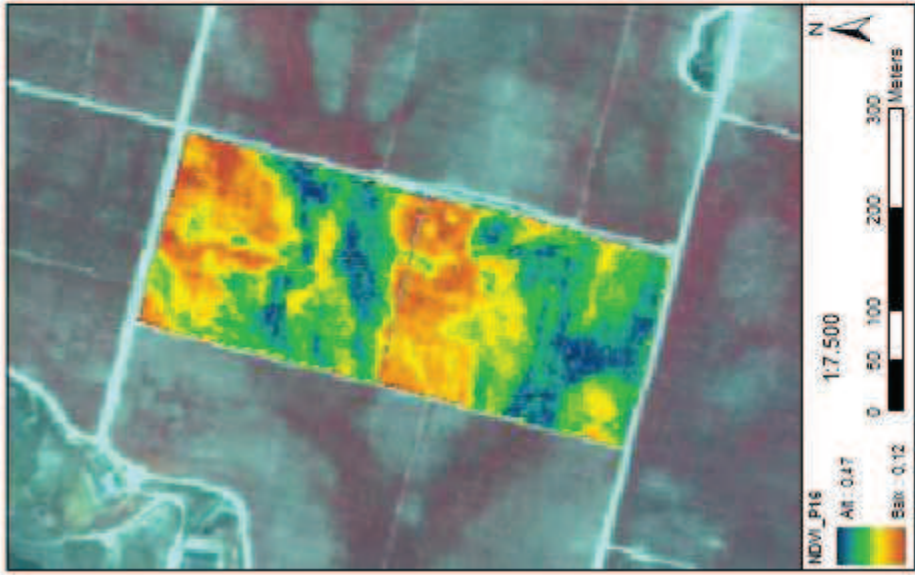
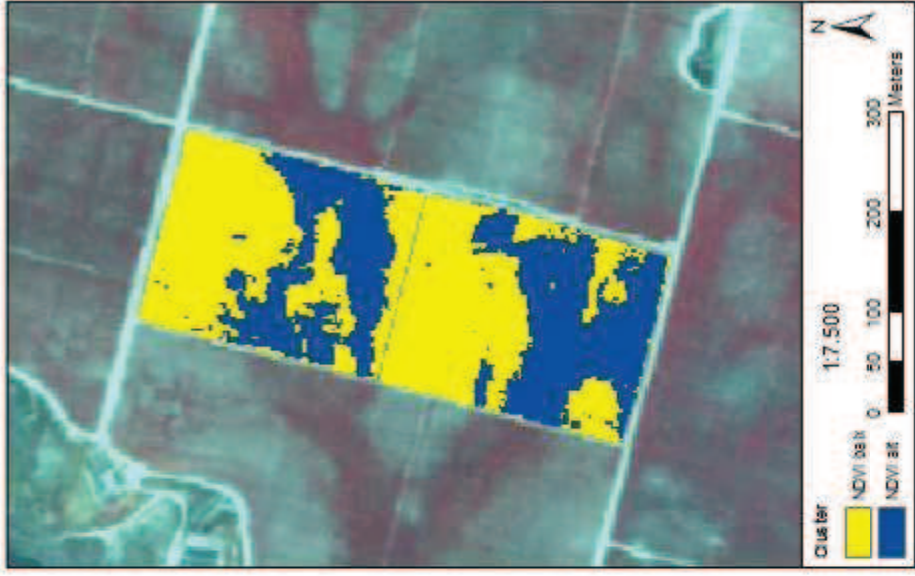
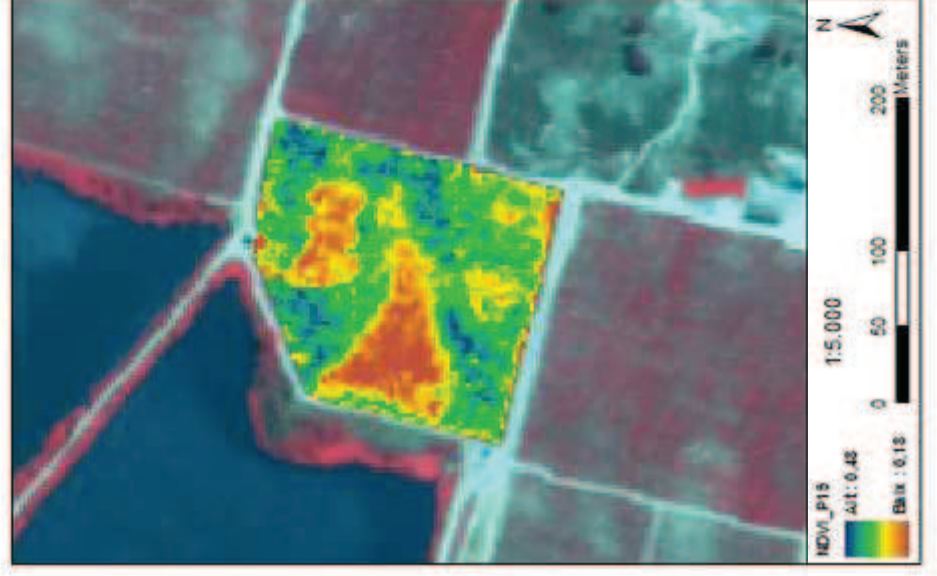
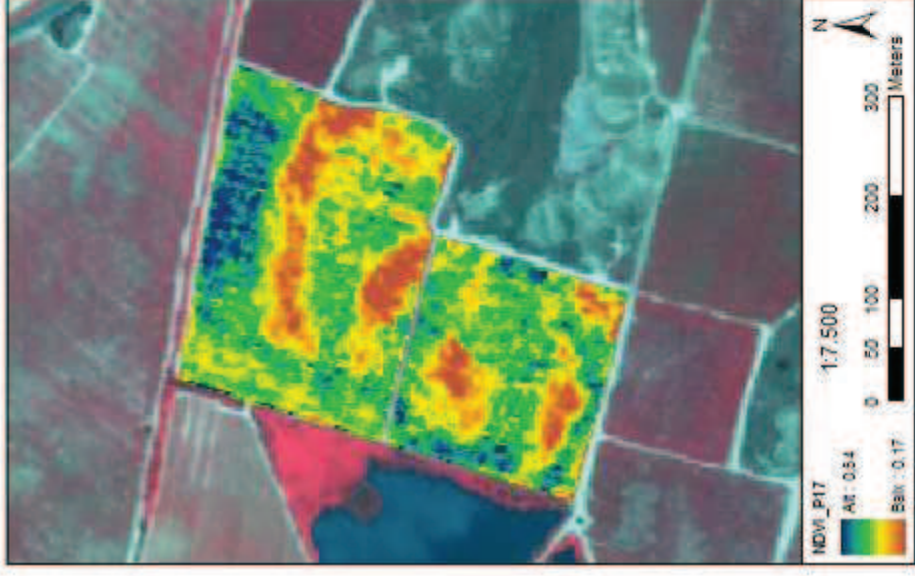
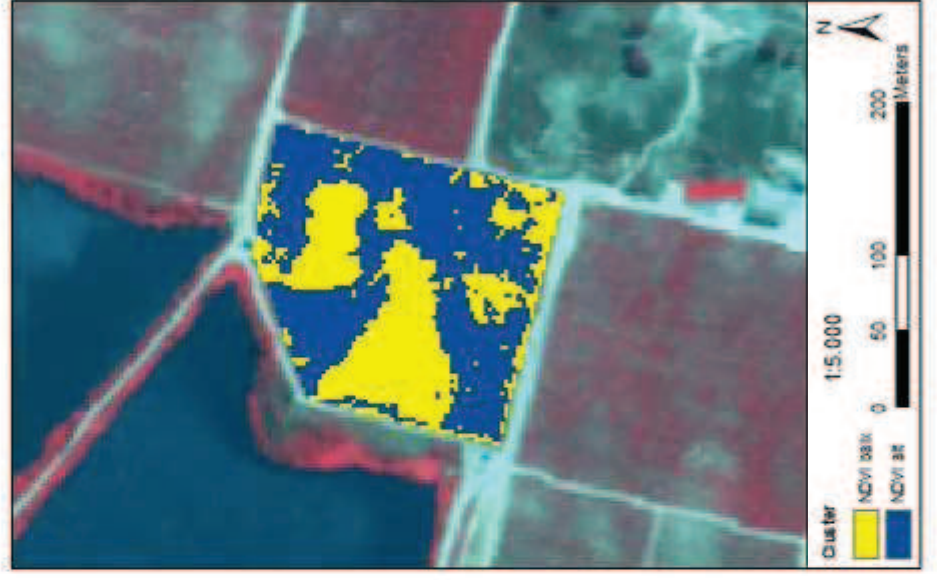
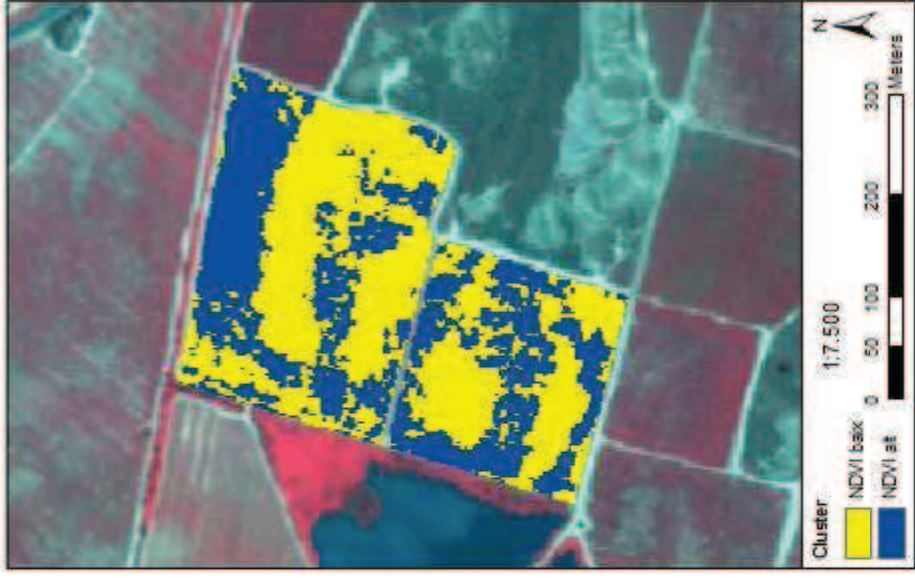


# Mapa 3: NDVI ! cluster P11, P12, P13 ! P15.



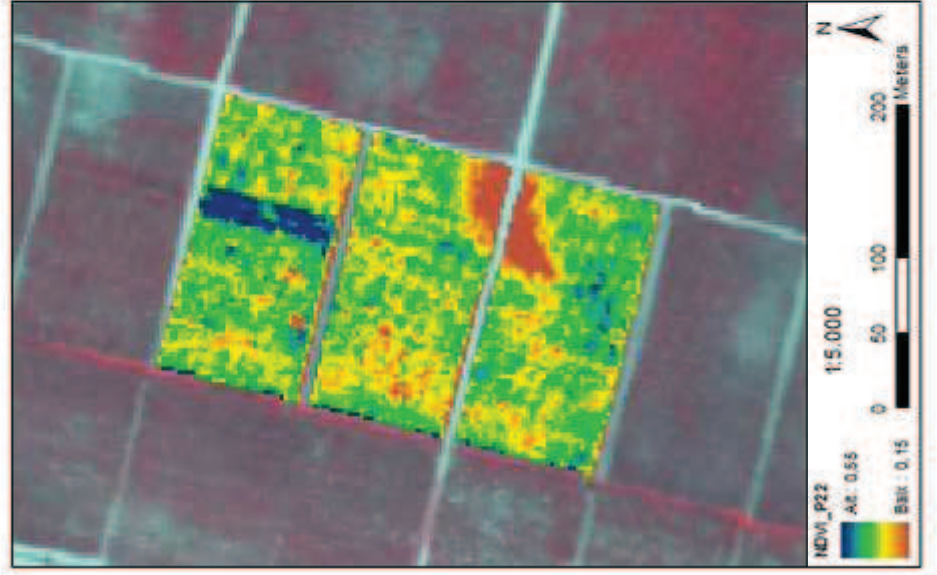
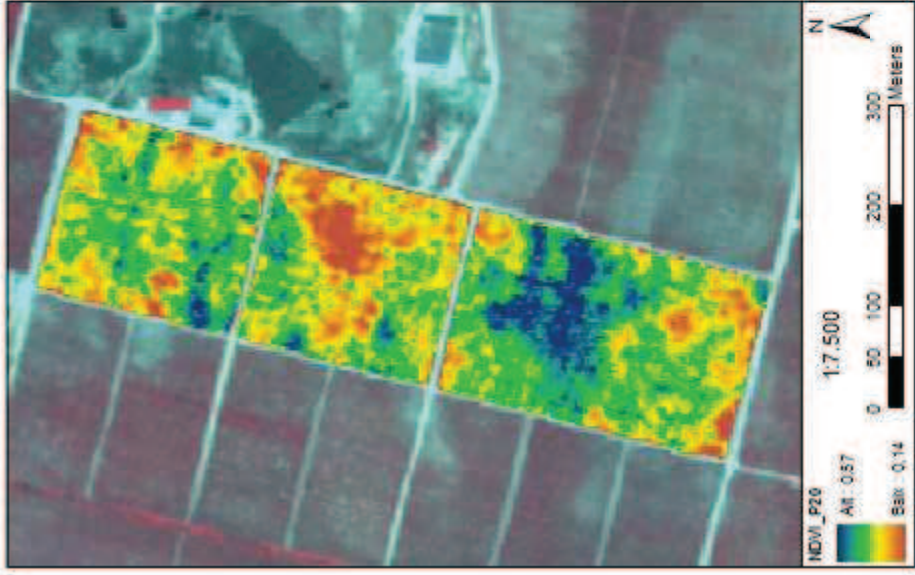
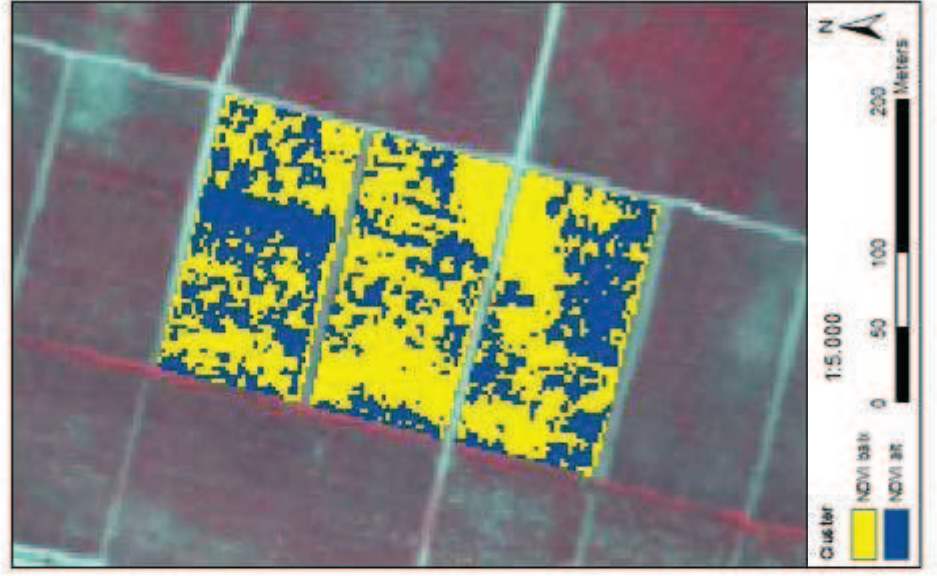
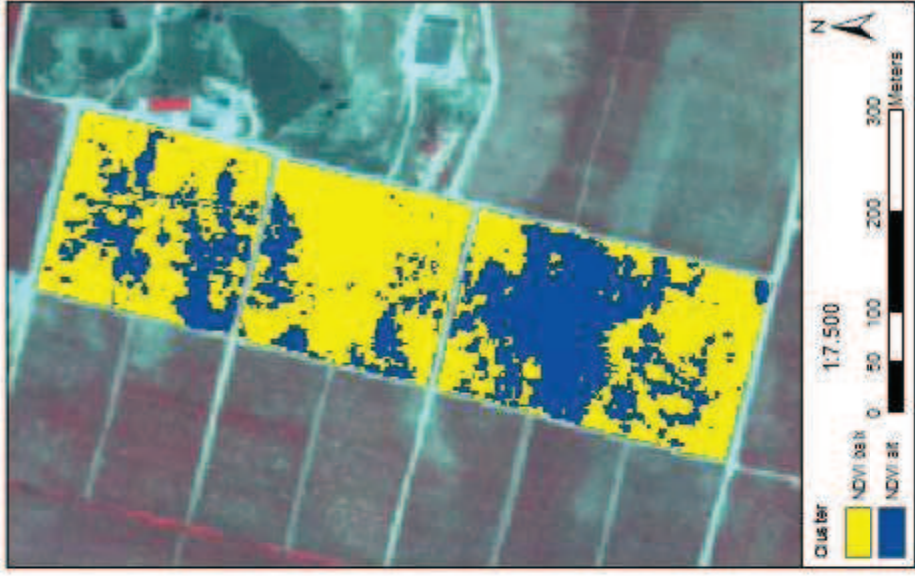
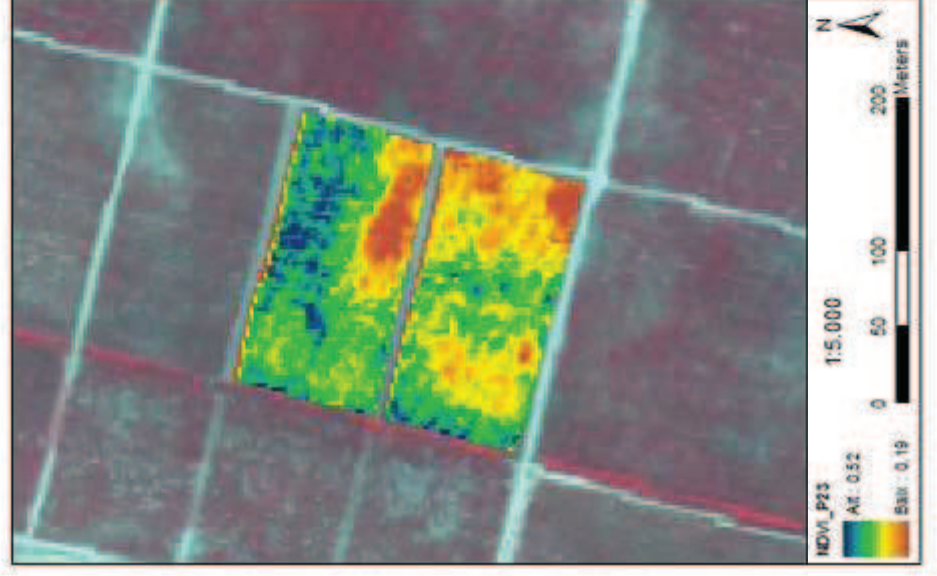
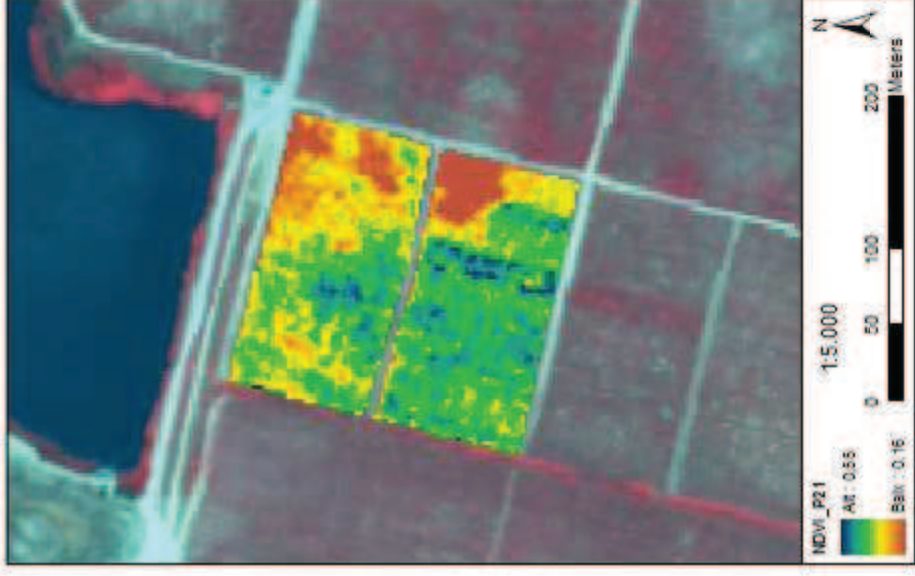
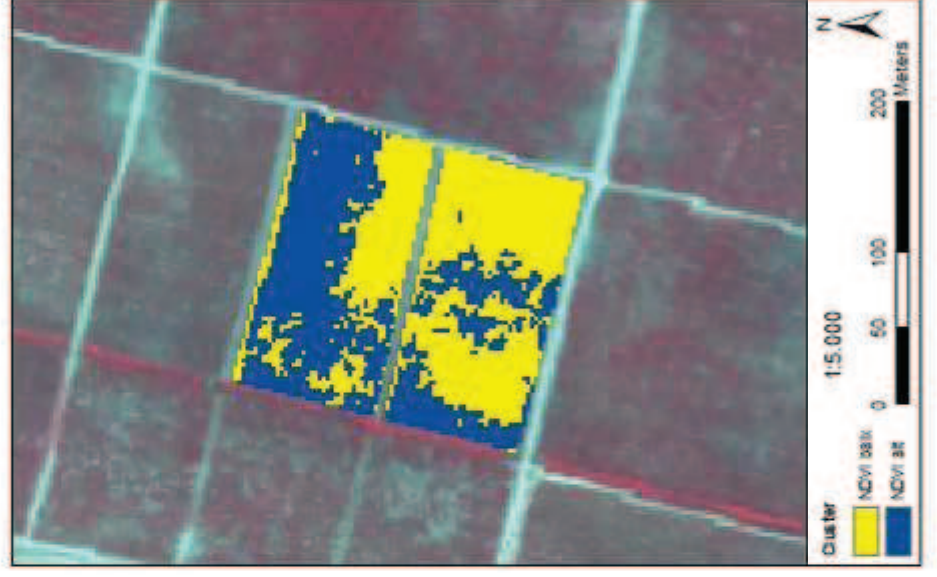
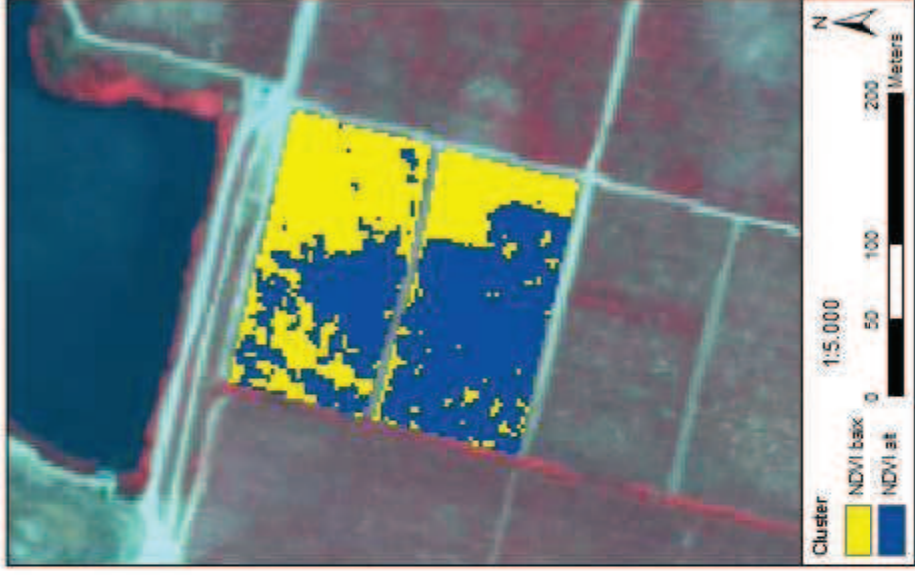


# Mapa 4: NDVI ! cluster P16, P17, P18 ! P19.



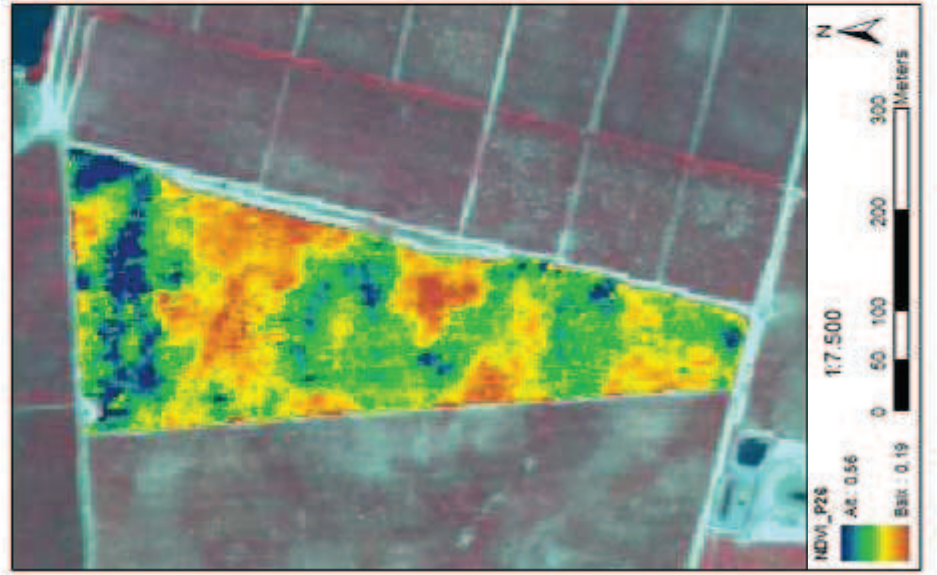
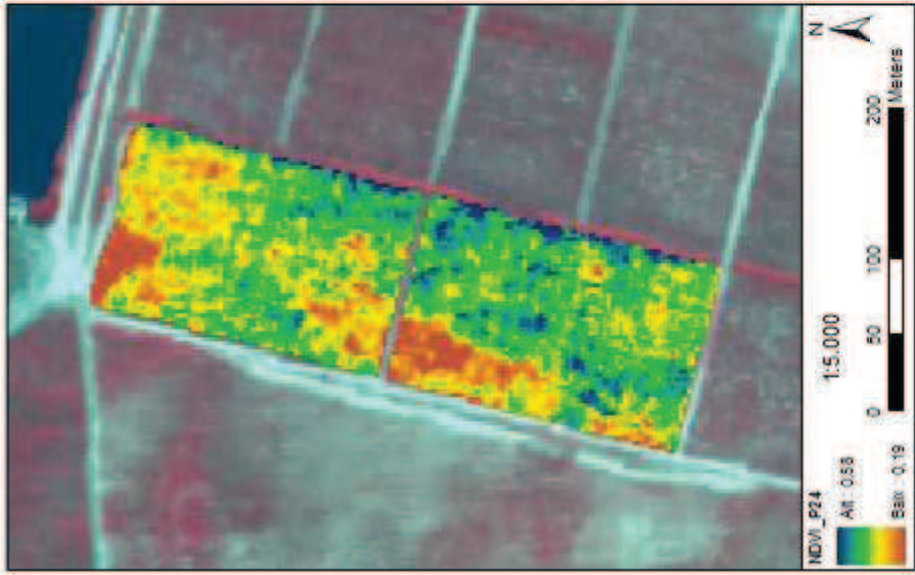
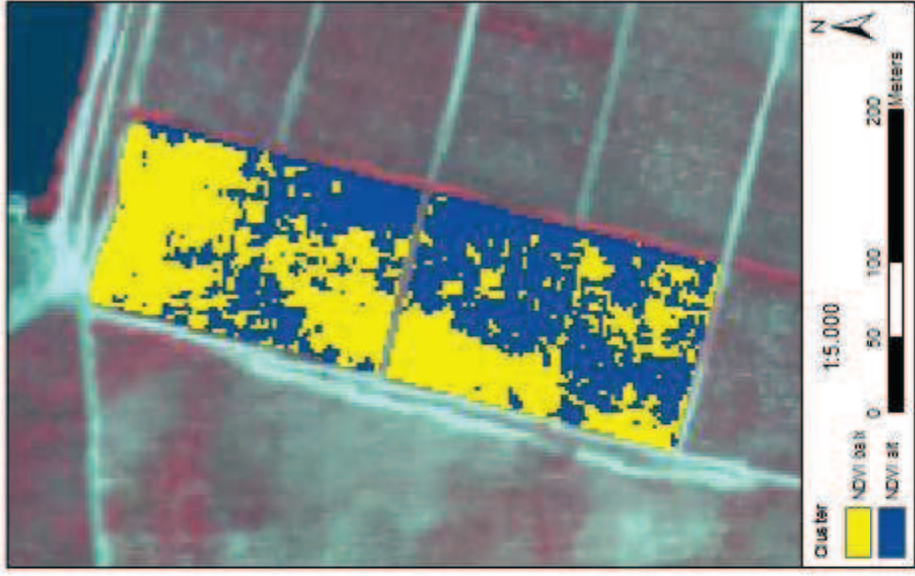
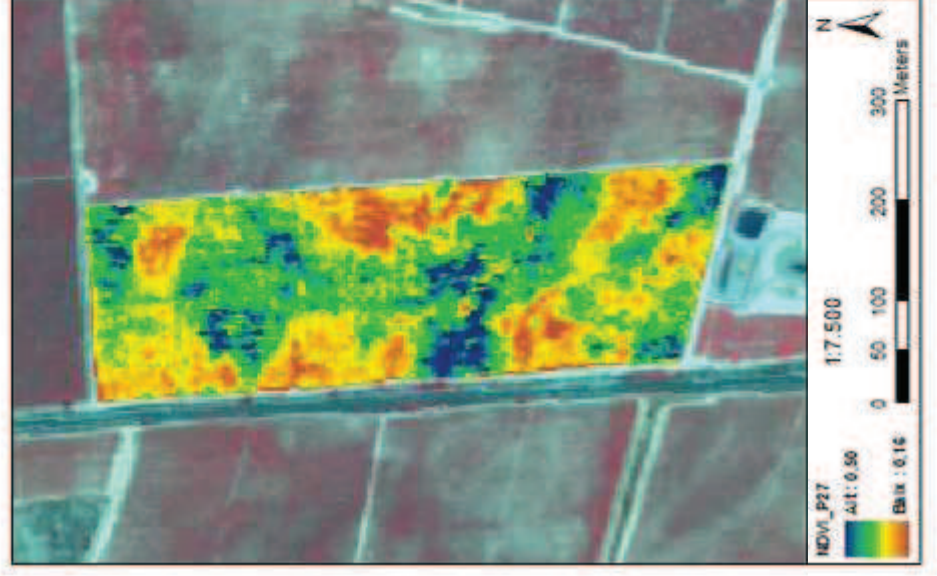
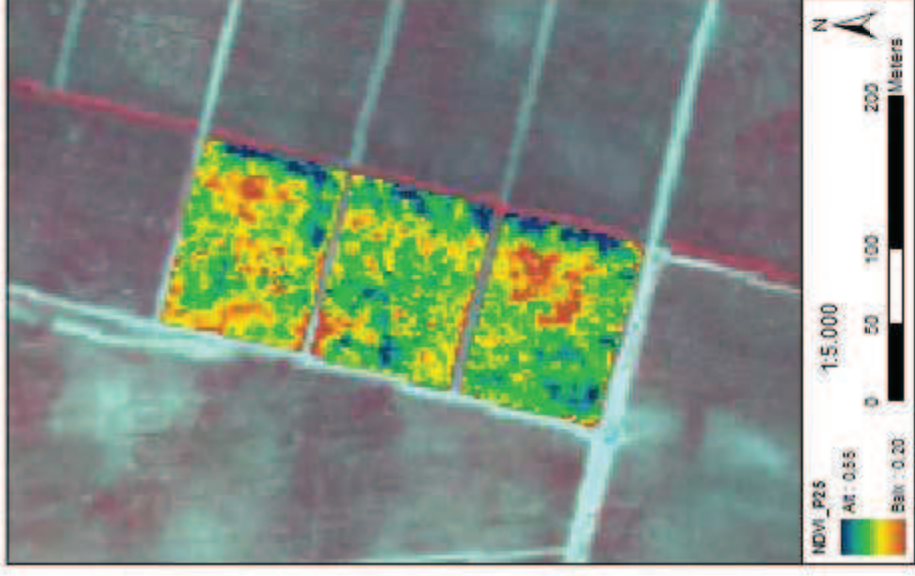
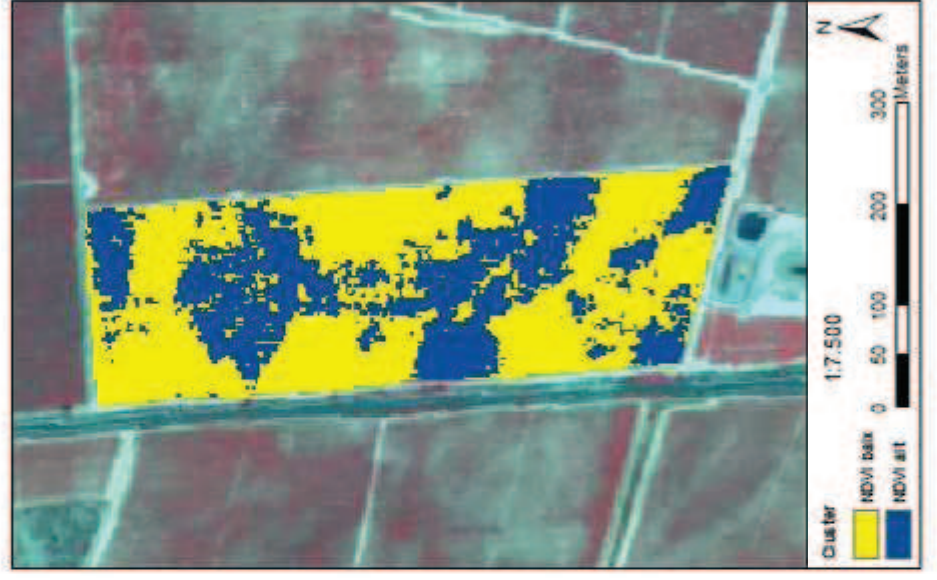
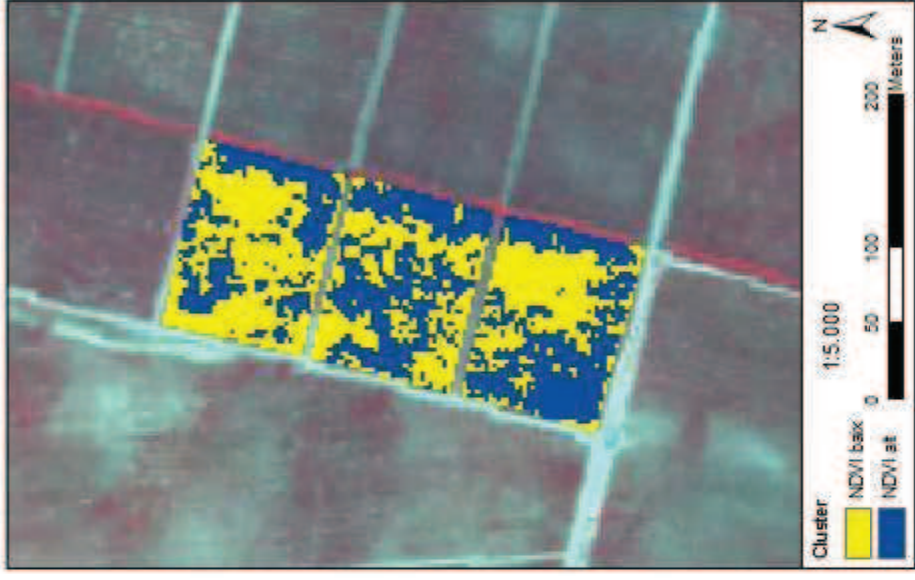


# Mapa 5: NDVI ! cluster P20, P21, P22 ! P23.



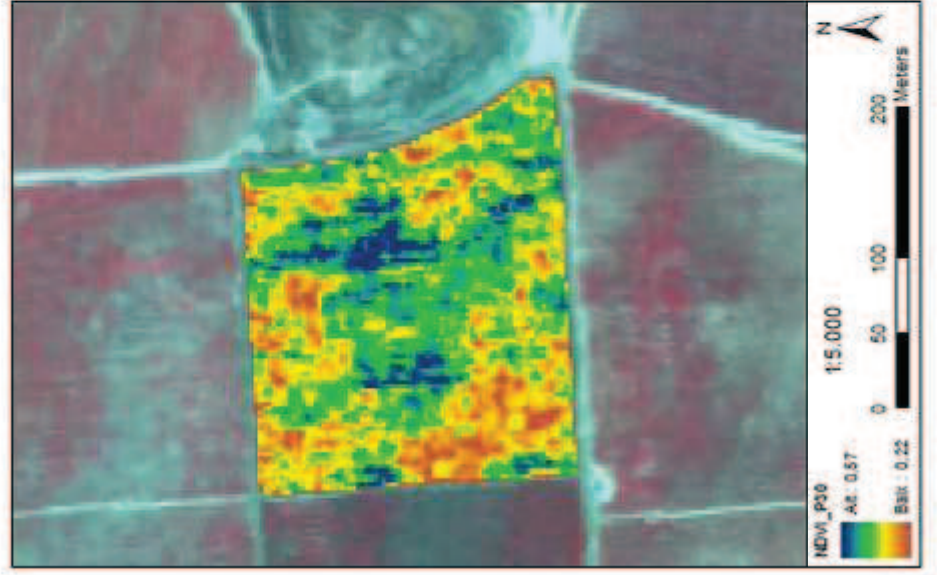
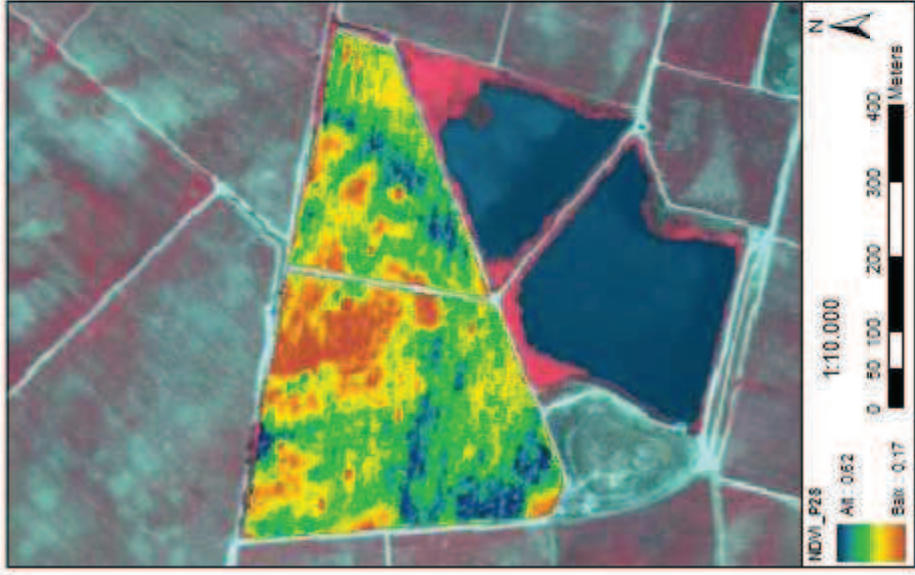
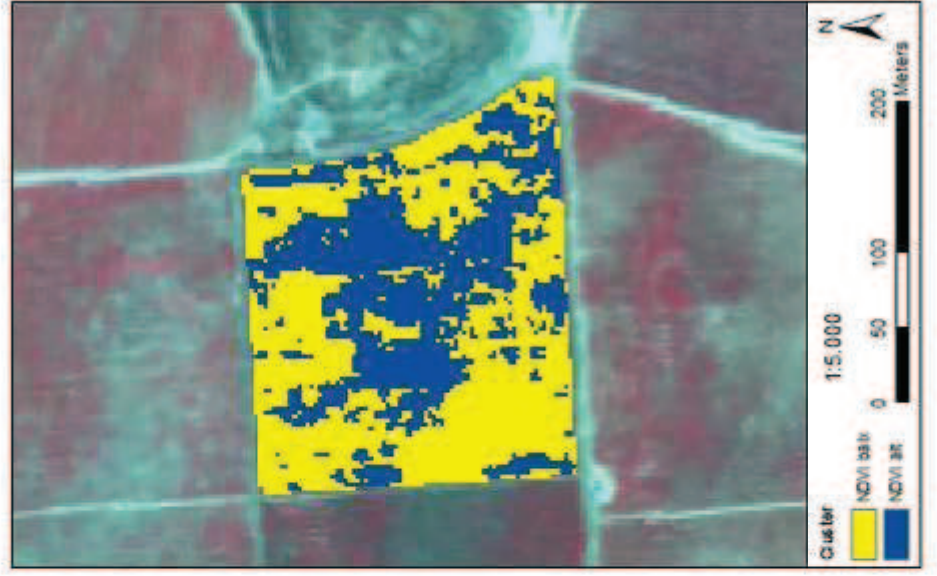
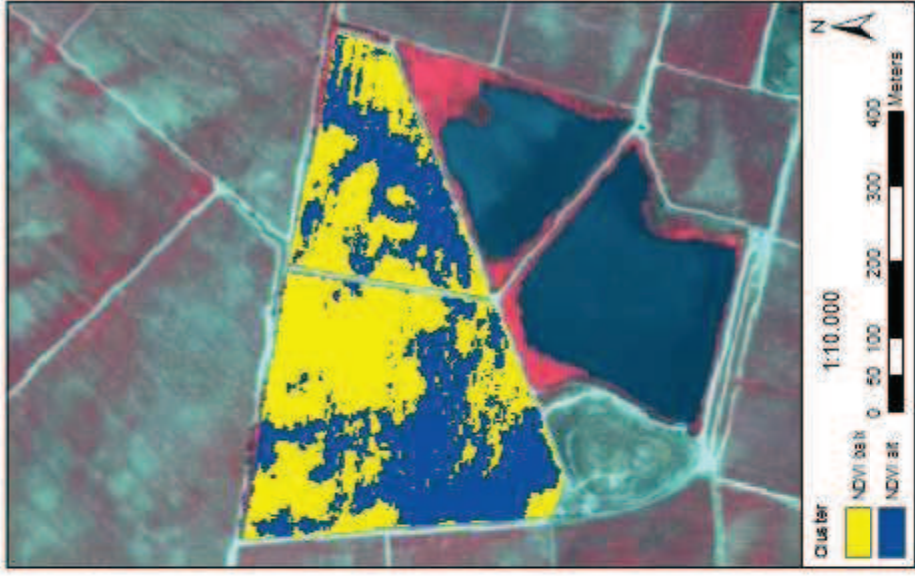
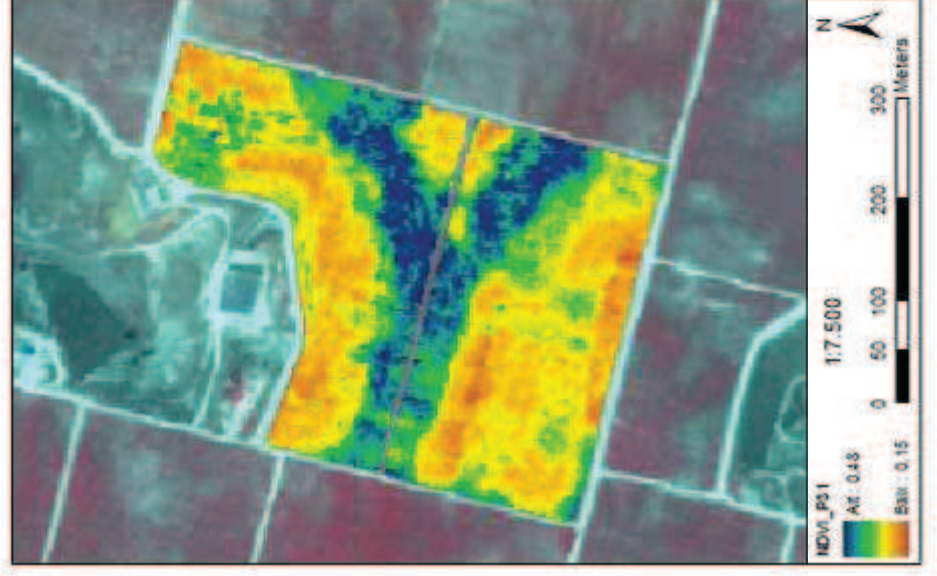
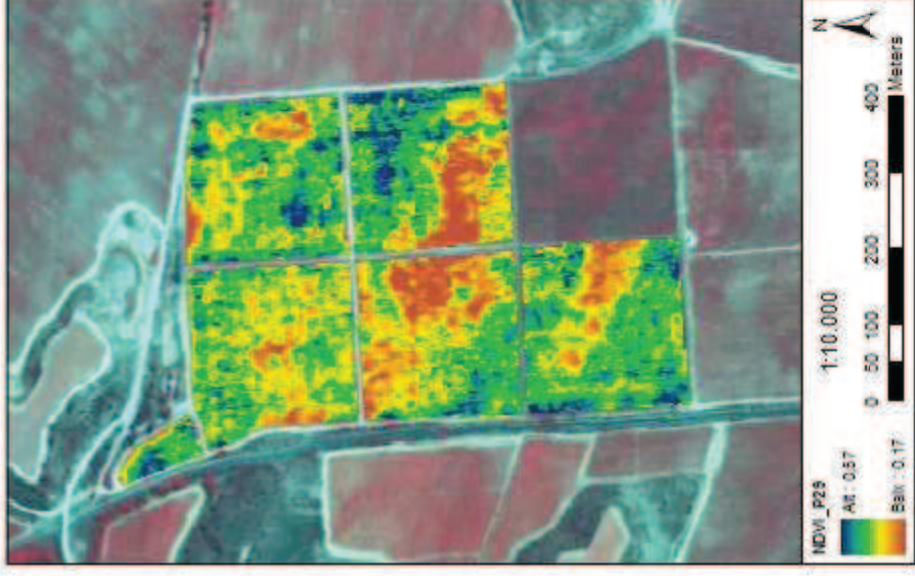


# Mapa 6: NDVI ! cluster P24, P25, P26 ! P27.



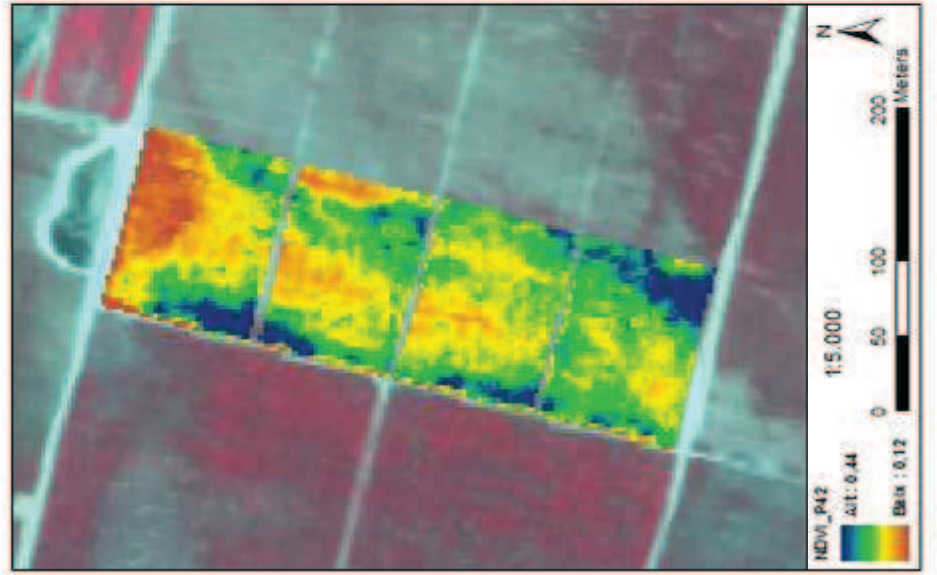
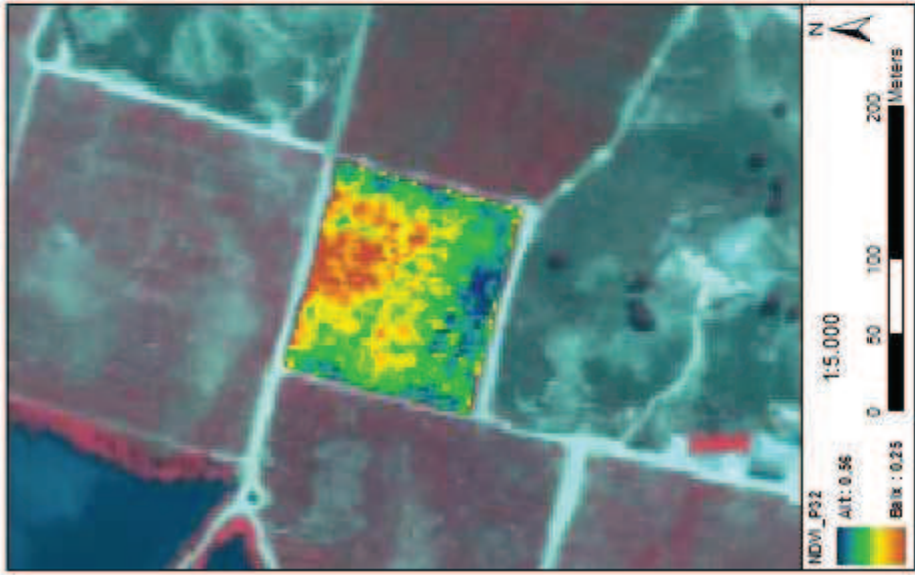
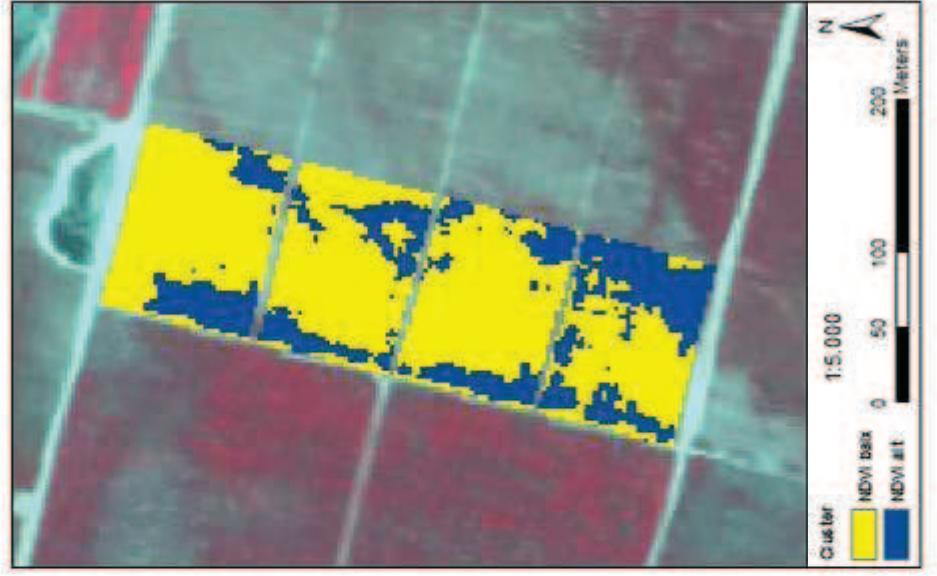
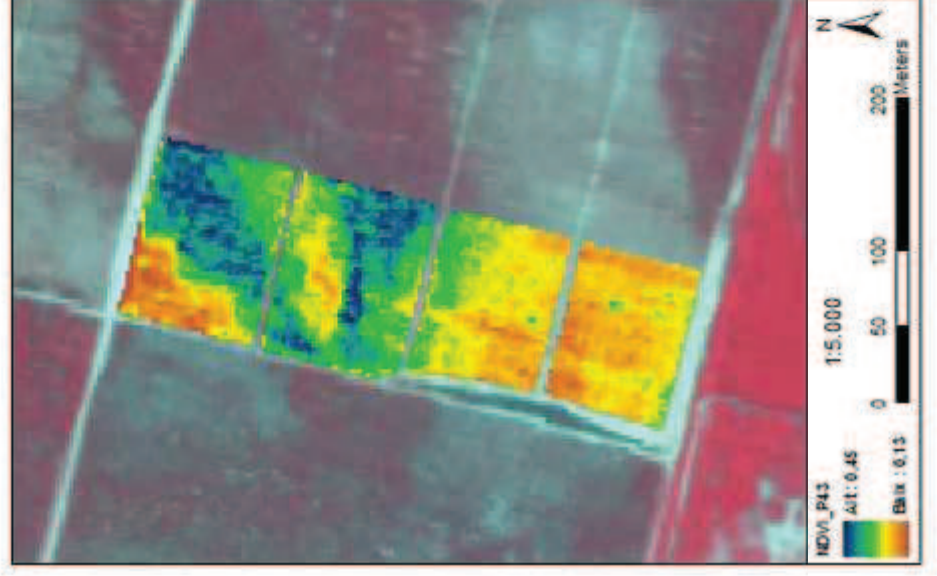
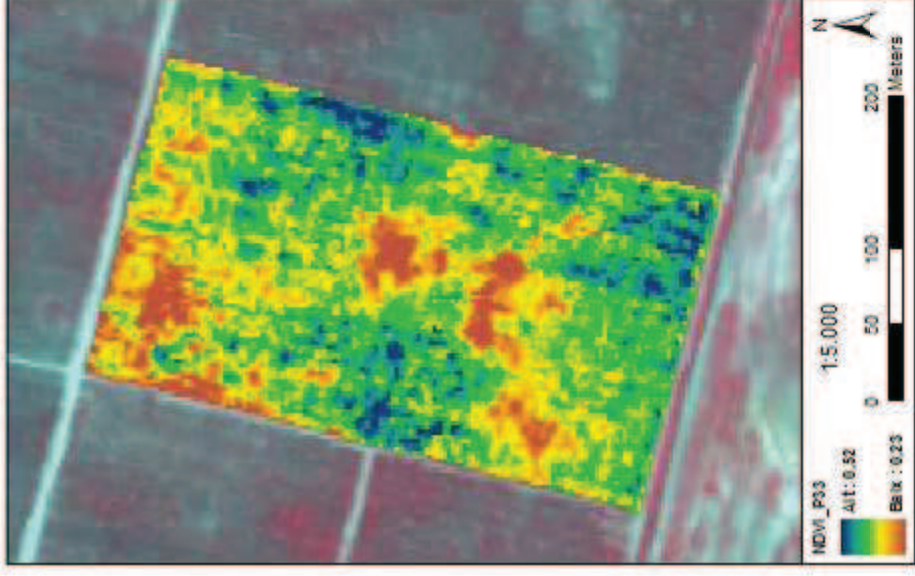
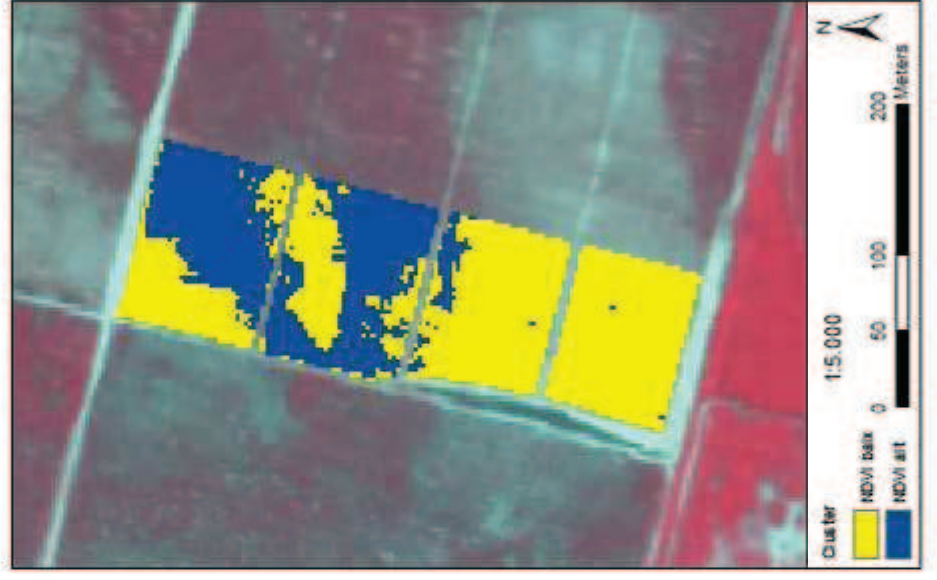
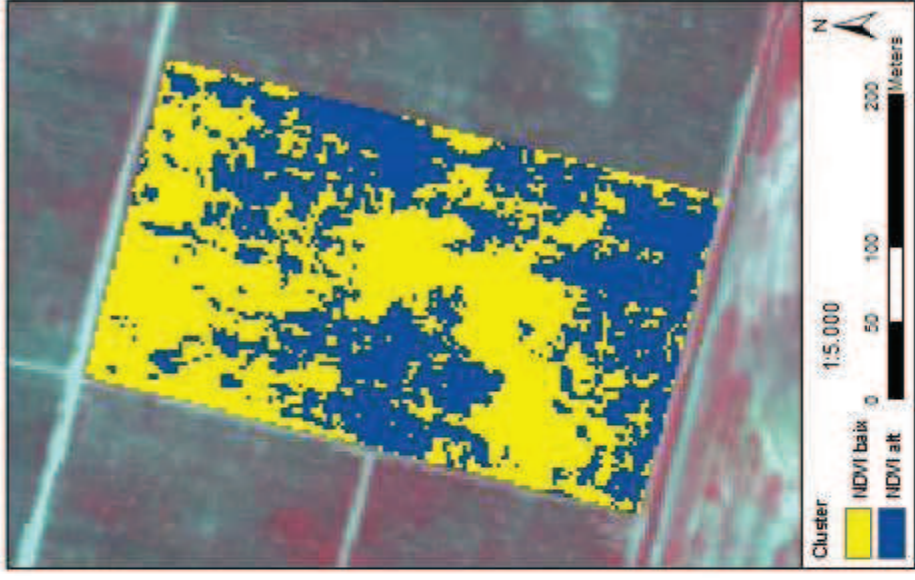


# Mapa 7: NDVI ! cluster P28, P29, P30 ! P31.





# Mapa 8: NDVI ! cluster P32, P33, P42 ! P43.





Mapa 9: NDVI ! cluster P44, P45, P46 ! P47.

