

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grau en Ciències Ambientals

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

# “Classificació de la vegetació en el llit del Riu Palància mitjançant imatges Worldview-4 i Dron”

**TREBALL FINAL DE GRAU**

Autor/a:  
**Marc Miralles Ballester**

Tutor/s:  
**Javier Estornell Cremades**  
**Jesús Martí Gavilà**

**GANDIA, 2019**



## **AGRAIMENTS**

Aquest treball s'ha realitzat en el marc del projecte "Desarrollo de métodos de cuantificación de biomasa de vegetación riparia para la gestión de cauces de la Comunidad Valenciana" (AICO/2017/047), finançat per la Generalitat Valenciana. Voldria agrair als tutors Javier Estornell i Jesús Martí per haver-me donat l'oportunitat de col·laborar-hi , haver-me dirigit en aquest treball, i pels ànims per a poder-lo completar satisfactòriament.

## **RESUM**

La teledetecció s'ha convertit en les últimes dècades en una eina imprescindible en nombrosos àmbits de la nostra societat, i en concret, en l'estudi, investigació, gestió de la superfície terrestre. Per al cas que ens ocupa, amb l'adequat processament de les dades que ens aporta aquesta tecnologia, es fa possible estudiar tant la superfície terrestre com els objectes que en ella es disposen, de tal manera que es pot obtenir una gran i variada quantitat d'informació de extenses superfícies, el qual resultaria impossible aconseguir únicament amb treball de camp. Més concretament, en aquest treball s'han elaborat una sèrie de mapes temàtics on es classifiquen les diverses classes present al llit del Riu Palància (espècies vegetals, sòl nu i/o aigua) al seu pas pels municipis de Estivella i Albalat dels Tarongers (ambdós pertanyents a la Província de València), mitjançant imatges del satèl·lit Worldview-4 i Dron, així com dades 3D pertanyents a un núvol de punt d'alta densitat. Aquestes classificacions han sigut avaluades analíticament per tal de comprovar quina ha resultat ser més precisa i fidel a la realitat, així com quines espècies vegetals són les que millor es poden classificar amb les diferents metodologies aplicades.

**Paraules clau:** Teledetecció, classificació, satèl·lit, núvol de punts, MDSn

## **RESUMEN**

La teledetección se ha convertido en las últimas décadas en una herramienta imprescindible en numerosos ámbitos de nuestra sociedad, y en concreto, en el estudio, investigación, gestión de la superficie terrestre. Para el caso que nos ocupa, con el adecuado procesamiento de los datos que nos aporta esta tecnología, se hace posible estudiar tanto la superficie terrestre como los objetos que en ella se disponen, de tal manera que se puede obtener una gran y variada cantidad de información de extensas superficies, lo cual resultaría imposible conseguir únicamente con trabajo de campo. Más concretamente, en este trabajo se han elaborado una serie de mapas temáticos donde se clasifican las diversas clases presente en el lecho del Río Palancia (especies vegetales, suelo desnudo y/o agua) a su paso por los municipios de Estivella y Albalat dels Tarongers (ambos pertenecientes a la Provincia de Valencia), mediante imágenes del satélite Worldview-4 y Dron, así como datos 3D pertenecientes a una nube de punto de alta densidad. Estas clasificaciones han sido evaluadas analíticamente para comprobar cual ha resultado ser más precisa y fiel a la realidad, así como qué especies vegetales son las que mejor se pueden clasificar con las diferentes metodologías aplicadas.

**Palabras clave:** Teledetección, clasificación, satélite, nube de puntos 3D, MDSs

## **ABSTRACT**

In recent decades, remote sensing has become an essential tool in many areas of our society, specifically in the study, research and management of the earth's surface. For the case at hand, with the adequate processing of the data provided by this technology, it is possible to study both the earth's surface and the objects it contains, in such a way that a large and varied amount of information can be obtained from extensive surfaces, which would be impossible to achieve only with field work. More specifically, a series of thematic maps have been elaborated in this work, where the diverse classes presented in the bed of the Palancia River are classified (plant species, soil and/or water) as its way through the municipalities of Estivella and Albalat dels Tarongers (both belonging to the province of Valencia), by means of satellite images from the Worldview-4 and Dron images, as well as 3D data belonging to high-density point cloud. These classifications have been evaluated analytically to verify which has turned out to be more precise and faithful to reality, as well as which plant species can be best classified with the different methodologies applied.

**Keys words:** Remote sensing, classification, satellite, 3D point cloud, nDSM

# ÍNDEX

AGRAIMENTS

RESUM

RESUMEN

ABSTRACT

1.	INTRODUCCIÓ .....	1
2.	OBJECTIUS .....	1
3.	MATERIALS I DADES .....	2
3.1.	ZONA D'ESTUDI .....	2
3.1.1.	Canya comú (Arundo donax L.): .....	4
3.1.2.	Pi blanc (Pinus halepensis): .....	4
3.1.3.	Tamariu (Tamarix gallica): .....	5
3.2.	SOFTWARE .....	5
3.2.1.	ArcGIS .....	5
3.2.2.	Geomatica .....	6
3.3.	DADES .....	6
4.	METODOLOGIA .....	8
4.1.	TREBALL DE CAMP .....	8
4.2.	PROCESSAMENT DE LA IMATGE SATÈL·LIT .....	8
4.2.1.	Correcció geomètrica .....	9
4.2.2.	Correcció atmosfèrica .....	11
4.3.	PROCESSAMENT DE LES DADES 3D DEL NUVOL DE PUNTS .....	11
4.3.1.	MDE .....	12
4.3.2.	MDS .....	13
4.3.3.	MDSn .....	13
4.4.	CLASSIFICACIONS .....	14
4.4.1.	Presa de mostres: .....	15
4.4.2.	Crear signatures .....	16
4.4.3.	Classificació per màxima probabilitat .....	16

4.4.4.	Refinat dels límits.....	16
4.5.1.	Fiabilitat global.....	17
4.5.2.	Matriu de confusió.....	17
5.	RESULTATS I DISCUSSIÓ.....	18
5.1.	RESULTATS DELS MODELS DIGITALS.....	18
5.1.1.	MDE.....	19
5.1.2.	MDS.....	20
5.1.3.	MDSn.....	20
5.2.	RESULTATS DE LES CLASSIFICACIONS.....	21
5.2.1.	Classificació amb imatge satèl·lit.....	22
5.2.2.	Classificació amb MDSn.....	24
5.2.3.	Classificació combinant imatge satèl·lit i MDSn.....	25
5.3.	RESULTATS DE LES AVALUACIONS.....	26
5.3.1.	Fiabilitat global.....	26
5.3.2.	Matriu de confusió.....	28
6.	CONCLUSIONS.....	31
7.	REFERENCIES.....	33
7.1.	BIBLIOGRAFIA.....	33
7.2.	WEBGRAFIA.....	34



## 1. INTRODUCCIÓ

L'estat dels rius a la zona mediterrània, i especialment en la Comunitat Valenciana, és sempre un tema de controvèrsia i discussió, ja que són moltes i molt diverses les postures i solucions que es plantegen, però la problemàtica és complexa i difícil d'abastar. Alguns exemples són la presència de vegetació que dificulta la circulació de l'aigua pels barrancs i rius, traduïent-se en desbordaments, inundacions i en general, la possibilitat de danys per a la societat, així com les espècies vegetals exòtiques invasores de ràpida adaptació i expansió que desplacen a les autòctones i a més a més, afavoreixen la primera problemàtica anomenada. Més concretament, aquests exemples els trobem en espècies com la canya comú (*Arundo donax*). No obstant això, aquesta vegetació també propicia efectes beneficiosos com a fixació del sòl, fixació de CO<sub>2</sub>, nínxol d'espècies animals i funció paisatgística.

La gestió d'aquestes espècies per a aconseguir l'equilibri en el sistema implica el desenvolupament d'eines de quantificació de biomassa, definir les dimensions idònies dels rodals, i planificar la retirada selectiva de part de la vegetació d'acord a criteris ambientals, de risc i paisatgístics. En aquest sentit, pren importància la cartografia actualitzada dels cursos dels rius, ja que tenen la capacitat de mostrar-hi la superfície que està ocupada per vegetació, inclús en aquelles zones de difícil accés, i per tant es converteix en una eina fonamental a l'hora de gestionar-hi la problemàtica i prendre decisions al respecte. Aquestes cartografies s'elaboren a partir de dades obtingudes de manera remota, gràcies a la tecnologia de la teledetecció, la qual s'ha convertit en les últimes dècades en una eina imprescindible en nombrosos àmbits de la nostra societat (Labrador, 2012).

La teledetecció ens permet observar i realitzar mesuraments de la superfície terrestre i dels objectes presents en ella, mitjançant la utilització de dades recopilades per satèl·lits, avions, radars o drons, que en realitzen escanejos. En el present projecte es treballarà tant amb imatges registrades per satèl·lit (WorldView-4) com per Dron, així com amb núvols de punts tridimensionals d'alta densitat, i seran explicades en detall més endavant, en l'apartat de "Materials i dades".

## 2. OBJECTIUS

El present treball té com a objectiu general la classificació de la vegetació en el llit del Riu Palància, al seu pas pels municipis de Torres Torres, Sagunt, Estivella i Albalat dels Tarongers, mitjançant imatges satèl·lit (Worldview-4), Dron (fotografies aèries d'alta resolució) i dades 3D pertinents al núvol de punt d'alta densitat. Dintre d'aquest objectiu general s'engloben altres específics com són:

- Obtenció de mapes temàtics de les diferents classes representatives de la realitat del llit del riu: un per cada tipus d'imatge, un altre amb la combinació d'ambdós, i un general (vegetació/no vegetació).

- Processament precís de les dades de partida per tal de millorar els resultats de les classificacions.
- Avaluació dels resultats de cada classificació, tant visual com estadísticament, per tal de buscar la més fiable, precisa i fidel a la realitat.

### 3. MATERIALS I DADES

#### 3.1. ZONA D'ESTUDI

El Riu Palància és un riu que naix a la Serra del Toro, al sud-oest de la província de Castelló (Espanya), a 1618 metres d'altitud, i que desemboca al Mar Mediterrani, més concretament a la localitat de Sagunt (província de València). Presenta una longitud de 85 kilòmetres (km) i travessa principalment formacions rocoses de naturalesa calcària, ja que està flanquejat durant tot el seu recorregut per les serres de Calderona al sud i Espadà al nord.

S'engloba dins del sistema d'explotació Palància-Los Valles (Fig. 1) el qual compren la pròpia conca del riu Palància i les subconques litorals contingudes entre el límit provincial entre Castelló i València. La superfície total abastada per aquest sistema és de 1086 km<sup>2</sup>, mentre que la de la conca del riu Palància és de 910 km<sup>2</sup>.

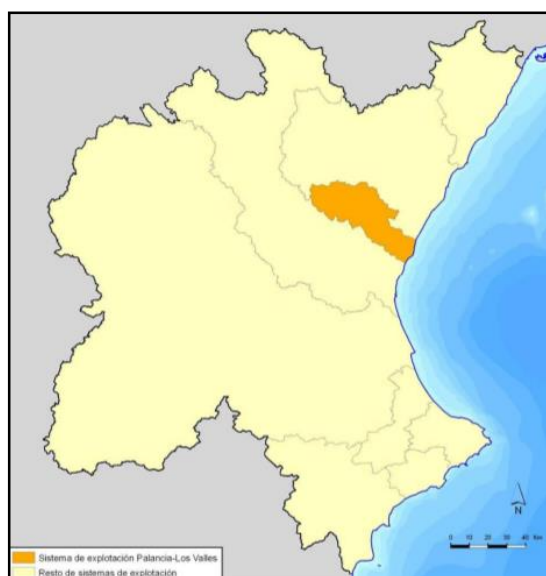


Figura 1. Sistema d'explotació Palància-Los Valles respecte al resto de sistemes d'explotació considerats en la Denominació Hidrogràfica del Xúquer. Font: Confederació Hidrogràfica del Xúquer.

El clima present en aquesta àrea és el mediterrani temperat, amb temperatura mitja anual d'uns 18°C i precipitacions anuals de 440mm, aproximadament. Els estius són secs i calorosos, mentre que els hiverns són freds i humits. Les majors precipitacions

tenen lloc als mesos de tardor, produint-se el fenomen meteorològic conegut com “gota freda”.

Per a aquest treball delimitarem una zona d'estudi pertanyent al curs baix del riu, més concretament el tram que recorre els termes municipals de les localitats d'Albalat dels Tarongers, Estivella, Torres Torres i Sagunt (part nord-oest del seu terme) (Fig. 2). Aquest tram es caracteritza per ser la plana al·luvial del Palància, que es prolonga fins a la seua desembocadura al Mar Mediterrani. Al seu pas per l'àrea d'estudi, el riu es troba sec la major part de l'any, degut a la climatologia i a que la seua aigua és aprofitada per a l'agricultura als trams superior, exceptuant els episodis de pluges moderades a intenses, les quals li suposen importants crescudes.

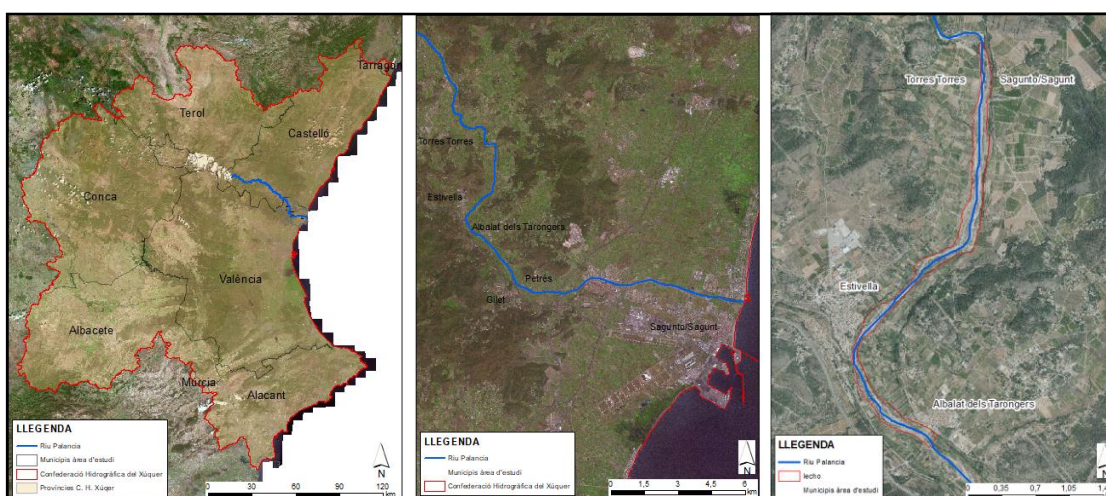


Figura 2. Situació geogràfica del Riu Palància; en la imatge de la dreta es delimita la zona d'estudi. La ortofoto es pertany al PNOA (Pla Nacional d'Ortofotografia Aèrea). Font: Elaboració pròpia.

Les classes temàtiques que es classificaran són aquelles que es troben dins del llit del riu. Aquest es caracteritza per la combinació de les zones d'herbassar sòl nu (on principalment discorre l'aigua quan baixa pel riu) que predominen, tacades per altres amb la presència de diferents espècies vegetals (Fig.3). Es tracta d'una vegetació de ribera de clima mediterrani. Aquest tipus de vegetació està condicionat a la presència d'aigua en el sòl (Costa, 1999). A continuació es procedeix a descriure amb més detall les principals espècies presents:



Figura 3. Vista general del llit del Riu Palància al seu pas pel municipi d'Albalat dels Tarongers. S'observa com les canyes ocupen els marges mentre que els tamaris es troben dispersos pel llit, principalment per la zona central. Es pot veure algun pi al fons, també al marge del llit. Font: Elaboració pròpia.

### 3.1.1. Canya comú (*Arundo donax* L.):

És una planta herbàcia que pertany a la família *Poaceae*. Presenta una tija gruixuda, buida i amb nodes, on de cada un d'ells surt una fulla lanceolada. La seua alçada oscil·la entre els 3 i 6 metres (Fig. 4). És una de les plantes exòtiques invasores més comunes en els medis riparis espanyols i està considerada com un dels 100 organismes més invasors del món (Lowe et al. 2000). S'ubica preferentment pels marges dels rius, des d'on s'expandeixen. El seu establiment en aquests ambients planteja problemes ecològics i de gestió dels recursos hídrics (Jiménez-Ruiz i Sánchez-Martínez, 2015):

- Competeix, redueix, altera i desplaça a la vegetació ripària nativa, arribant a substituir-la íntegrament i impedit la seva regeneració.
- Disminueix la capacitat de desguàs de rius i canals.
- És un factor de risc per als incendis a causa de l'elevada quantitat de biomassa que produeix.
- Té una elevada taxa de transpiració, reduint els recursos hídrics de les zones envaïdes.



Figura 4. Esquerre: Vista general de la distribució de les canyes al marge del llit del riu on es pot apreciar la seua alçada. Dreta: Detall d'una canya comú. Font: Elaboració pròpia.

### 3.1.2. Pi blanc (*Pinus halepensis*):

És un arbre autòcton de la regió mediterrània que pertany a la família *Pinaceae*. Presenta les següents característiques principals (Fig. 5): alçada de fins a 20 metres, tronc de colors grisencs o blanquinosos, fulles aciculars en grups de dos, pinyes petites i allargades. Necessita climes mediterranis, amb abundància de sol i sense excés de pluges o de fred. Creix bé en vessants secs, preferentment sobre terrenys calcaris o amb presència de guixos, i pròxims al litoral. Dins de la zona estudiada el podem trobar distribuït puntualment tant en els marges del llit del riu com en les parts més centrals.





Figura 5. Esquerre: Vista general de la distribució de pins al llit del riu on es pot apreciar la seua alçada diferencial respecte a les altres espècies (canyes a l'esquerre de la fotografia i tamariu a la dreta). Dreta: Individu de pi de menor alçada que la mitjana. Font: Elaboració pròpia.

### 3.1.3. Tamariu (*Tamarix gallica*):

Solen ser arbres o arbustos molt ramosos (Fig. 6), les fulles dels quals tenen forma d'escata i es disposen al voltant de les rames. A més, tenen la capacitat de secretar les sals del substrat per mitjà d'unes petites glàndules amb forma de papil·les. Les flors són petites, però són molt vistoses perquè surten en rams nombrosos i allargats, blancs, cremes o rosats. Es troba adaptat a altes concentracions de sal en el sòl. Es distribueixen dispersos per tot el llit encara que principalment per la zona central.



Figura 6. Esquerre: Vista general de la distribució de tamariu al llit del riu on es pot apreciar la seua presència al centre del llit i la seua alçada inferior mitjana. Dreta: Individu de tamariu; es pot apreciar com presenten una gran quantitat de rames. Font: Elaboració pròpia.

El gènere *Tamarix* és molt complex i la identificació de les espècies és difícil, fins i tot per als especialistes. S'ha optat per l'espècie *Tamarix gallica* degut a la seua inflorescència que es presentaven amb colors blanquinosos i lleugerament morats.

## 3.2. SOFTWARE

Per a la realització d'aquest treball s'ha requerit la utilització de dos softwares diferents:

### 3.2.1. ArcGIS

Més concretament les llicències ArcView, ArcEditor i ArcInfo en la versió 10.2 d'ArcGIS. Aquest és el nom que reben el conjunt de productes de software en el camp dels Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG) desenvolupat per l'empresa ESRI.

ArcMap s'ha fet servir per a processar les dades 3D del núvol de punts d'alta densitat, crear models digitals (d'elevació i superfícies), calcular el Model Digital de Superfícies Normalitzat (MDSn), realitzar anàlisis geoespacionals i per a la creació dels mapes temàtics. Per altra banda, ArcCatalog s'ha utilitzat per crear la base de dades, *feature datasets* i *feature classes* necessaris per a la creació de models digitals, així com per a organitzar i administrar la informació geogràfica treballada en ArcGIS (com per exemple arxius ràster i shapefile).

### 3.2.2. Geomatica

És un software de teledetecció desenvolupat per l'empresa *PCI Geomatics*, i que s'utilitza per al processament de dades d'observació de la superfície terrestre (imatges satèl·lit principalment). En concret, el processament d'aquest tipus de dades en aquest treball ha consistit en la realització de dos correccions de la imatge satèl·lit WorldView-4: correcció atmosfèrica i geomètrica (ortorrectificació). En l'apartat de metodologia s'explicaran en més detall el treball realitzades amb aquests softwares.

### 3.3. DADES

Per a la realització d'aquest treball foren necessaris una sèrie de fitxers a partir dels quals s'ha pogut dur a terme la realització del mateix, i més endavant en aquest apartat es descriuran les seues característiques principals.

La imatge satèl·lit utilitzada fos presa pel Worldview-4 (també conegut com GeoEye 2). Es tracta d'un satèl·lit d'observació de la Terra construït per *Lockheed Martin* per a l'empresa *DigitalGlobe*, la qual es l'encarregada de distribuir i comercialitzar-hi les imatges. WorldView-4 obté imatges de La Terra des d'una òrbita polar de 617 quilòmetres d'altura amb un període de 97 minuts. Utilitza un telescopi amb un mirall primari amb un diàmetre de 1,1 metres construït per *ITT Exelis* (Marín, 2016). La resolució màxima és de 31 centímetres per píxel en manera pancromàtica (blanc i negre) i 1,24 metres en manera multiespectral (tres longituds d'ona del visible i una en l'infraroig). En aquest cas s'ha utilitzat una imatge multiespectral, ja que es requereixen els valors espectrals de les bandes per a dos de les tres classificacions que es realitzaran (aquelles que es basen en aquesta imatge).

Per la seua part, la tecnologia Dron (també coneguts per les sigles UAS de "Unmanned Aircraft Sytems" en anglès, que es tradueix com a "sistemes aeris no tripulats", és a dir, aeronaus que tenen la capacitat de volar sense tripulació a bord i de manera autònoma (Mulero-Pázmány et al., 2015) ofereix una sèrie d'avantatges alhora de realitzar estudis com el present, de la vegetació d'una àrea concreta i reduïda (comparant-se amb les imatges satèl·lit, és a dir, a una escala menor), com són una alta resolució espacial, ja que el vol a baixa altura permet prendre imatges amb gran detall (Mandujano et al. 2017) i la possibilitat de prendre dades només de la superfície estudiada. El Dron que es va

fer servir per a la presa de dades era el model FV8 del fabricant *ATyges Ingeniería*, i estava equipat amb una càmera fotogràfica d'alta resolució i tecnologia "*Global Navigation Satellite System*" o GNSS (dos equips: GPS Leica Viva GS16 i GPS Topcon GR-5), traduït com sistema satèl·lit global de navegació.

És important senyalar que el núvol de punts 3D d'alta densitat no s'ha obtingut a partir de la tecnologia LiDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*), que n'és el principal mètode, sinó mitjançant la tècnica SfM (*Structure from Motion*), que utilitza algorismes basats en tècniques fotogramètriques i visió per ordinador (Wallace et al., 2016). Amb aquesta tècnica es generen núvols de punts 3D a partir de fotografies preses amb càmeres no calibrades i instal·lades en, per exemple, Drons. D'aquesta manera, el núvol de punts utilitzat en aquest treball ha estat generat a partir de les fotografies preses amb Dron. Aquesta tècnica es basa en la identificació de manera automàtica d'elements comuns en un conjunt d'imatges, calculant la posició i orientació de la càmera i de cada imatge amb solapi i ajustant en bloc de manera iterativa el conjunt d'imatges per a reconstruir les escenes en 3D. Situant i mesurant punts amb coordenades GNSS en les fotografies es pot obtenir un núvol de punts d'alta densitat escalada i en el sistema de referència ETRS89.

A continuació es citen les característiques més destacables de les dades de partida per a aquest treball:

a) Imatge del satèl·lit WorldView-4 pertanyent a la zona d'estudi amb les següents característiques:

- Versió: 28.0
- Data i hora de realització: 06/06/2017; 10:42:42
- Productor derivat: 18EUSI-2442-02\_I505862\_FL01-P822265
- Descripció de la imatge: ORStandard2A
- Banda: Multiespectral
- Nombre de files: 10750
- Nombre de columnes: 4893
- Nivells radiomètrics: corregits
- Tipus de producte: estàndard
- Bits per píxel: 16
- Format d'eixida: GeoTIFF

b) Conjunt d'imatges registrades per un Dron, pertanyents a la zona d'estudi, amb les següents característiques:

- Data de realització: 15/10/2018
- Dron octocòpter TOPODRON FV8, amb sensor de pressió, giroscopi i acceleròmetres integrats, i antena GNSS amb precisió mètrica
- Càmera: Sony ILCE-5000 amb resolució màxima de 24.3 megapíxels
- Grandària de píxel en el sensor de 0.0044 mil·límetres
- Distància focal: 16 mil·límetres
- Velocitat del obturador de 1/800
- Resolució vertical i horitzontal: 350 ppp

- Profunditat de bits: 24
  - Alçada mitjana del vol: 100 metres
  - Solapament longitudinal: 80%
  - Solapament transversal: 50%
- c) Dades 3D en forma de núvol de punts d'alta densitat, obtinguts mitjançant la tècnica SfM, basant-se amb les imatges registrades pel Dron.
- d) Arxius shapefile de punts que corresponen a una classificació de la vegetació prèvia realitzada amb un dispositiu GNNS.

Com es pot observar, la imatge satèl·lit i les imatges Dron no foren realitzades en les mateixes dates, sent la primera de juny del 2017 i la segona d'octubre de 2018. Durant aquest lapse de temps, la zona estudiada canvia, passant d'un llit del Riu Palància on circula aigua (imatge satèl·lit) a un totalment sec (imatges Dron). Aquest fet implica que no es podran utilitzar exactament les mateixes classes temàtiques en totes les classificacions, com es veurà en els pròxims apartats. No obstant això, les classes de vegetació, objecte d'estudi, no presenten canvis.

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1. TREBALL DE CAMP**

El treball de camp ha consistit en una única jornada, el dia 2 de juny del 2019, en la que es van prendre fotografies de la zona d'estudi i de les diferents classes que es fan servir en la classificació supervisada amb ArcGIS (Fotografies en l'apartat "3.1. Zona d'estudi") és a dir, les diferents espècies vegetals (pi, canya i tamariu), el sòl nu o el sòl amb espècies herbàcies. Va quedar pendent la presa de fotografies de la classe "aigua", ja que el riu es presentava sec en el tram estudiat.

Hi ha que fer menció, que previ a l'inici d'aquest projecte, ja havia hagut visites a la zona de camp (Setembre-Octubre del 2018) per part dels tutors Javier Estornell Cremades i Jesús Martí Gavilà, tots dos pertanyents al Departament d'Enginyeria Cartogràfica, Geodesia i Fotogrametria de l'Escola Politècnica Superior de Gandia de la Universitat Politècnica de València, per tal de recopilar informació GNNS de les diferents espècies vegetals. Aquesta informació s'ha fet servir per tal de validar la classificació de les imatges satèl·lit i Dron realitzades amb ArcGIS.

### **4.2. PROCESSAMENT DE LA IMATGE SATÈL·LIT**

Per tal de poder utilitzar una imatge satèl·lit multiespectral i realitzar una classificació supervisada de les diferents classes que es troben dins de la zona d'estudi és necessari processar-la per poder obtenir uns resultats el més fiables i propers a la realitat. El processament de la imatge consisteix en una sèrie de correccions que resulten imprescindibles, ja que tant les característiques de funcionament del propi sensor com



les del medi físic terrestre (topografia, atmosfera, il·luminació, etc.) condicionen els resultats que es poden obtenir de la imatge crua (sense processar), sent aquests menys fidels a la realitat. Per a la realització d'aquest treball, el processament de la imatge satèl·lit s'ha compost de dues correccions: correcció geomètrica i atmosfèrica.

#### 4.2.1. Correcció geomètrica

El procés de ortorectificació o correcció geomètrica consisteix bàsicament en la restauració de la geometria i perspectiva d'una imatge de satèl·lit per a simular l'aparença i geometria natural de la superfície que representa, degut a que les variacions topogràfiques en la superfície terrestre i la inclinació del sensor de satèl·lit afecten la distància amb la qual es mostren les característiques de la imatge de satèl·lit (Al Dousai i Uddin, 2010). En la Figura 7 podem observar clarament aquest fenomen, i com els desplaçaments en els terrenys accidentats són majors que en les planícies.

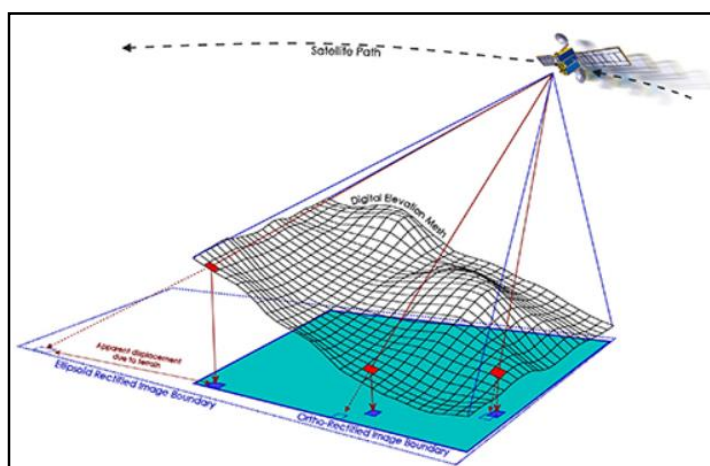


Figura 7. Esquema dels fonaments de la correcció geomètrica, on es restaura la geometria i perspectiva d'una imatge de satèl·lit per a simular l'aparença i geometria natural de la superfície que representa. Font: geoimage.com.au

Per tal de poder realitzar una correcció geomètrica són necessaris tant un model matemàtic rigorós com un model digital d'elevació (MDE). Els models matemàtics rigorosos proporcionen un mètode per calcular la posició i l'orientació del sensor en el moment en què es va prendre la imatge. Per altra banda, el MDE consisteix en una imatge ràster on els píxels contenen informació de l'elevació de la superfície del terreny en cada punt determinat. D'aquesta manera, la qualitat de la imatge ortorectificada estarà directament relacionada amb la qualitat del model matemàtic rigorós i el MDE.

La correcció geomètrica es va realitzar amb el software *PCI Geomatics*, i més concretament amb la ferramenta *OrthoEngine*, la qual ens ofereix diferents mètodes de modelatge matemàtic. Es va fer servir el Modelatge de Satèl·lit Òptic amb l'opció de Funció Racional, degut a que aquesta és la que es requereix per a les imatges de satèl·lits WorldView (Fig. 8). Pel que fa al MDE, es va adquirir des de la pàgina web de l'Institut Cartogràfic Valencià (ICV) el Model Digital del Terreny en format ràster de 5 metres de resolució de la Comunitat València en el sistema de referència ETRS89 Fus 30, generat a partir de dades del projecte PNOA LIDAR dels anys 2009 i 2015, actualitzats a partir del vol fotogramètric de 22 centímetres del ICV de 2017.

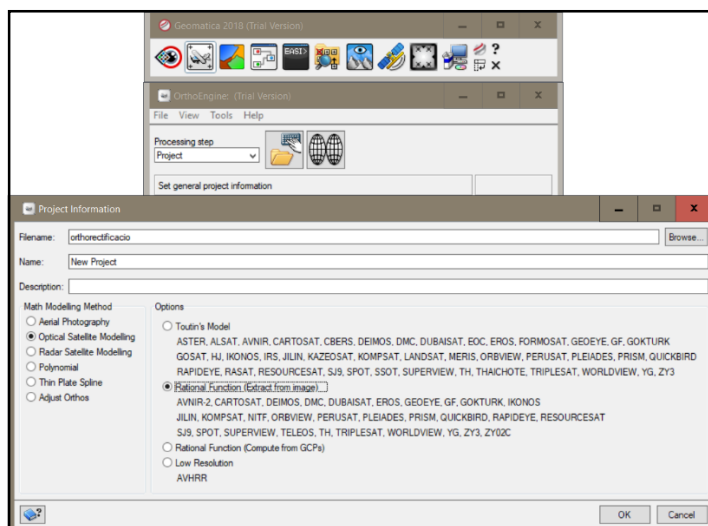


Figura 8. Model matemàtic utilitzat per a la correcció geomètrica (Modelatge de Satèl·lit Òptic amb l'opció de Funció Racional). Font: Elaboració pròpia.

Els millors resultats que es van aconseguir amb l'ortorrectificació amb *PCI Geomatics* foren amb un error d'entre 4 i 5 metres de desplaçament cap al sud. Aquesta verificació es va dur a terme comparant la imatge satèl·lit ortorrectificada amb la imatge registrada amb Dron utilitzant *ArcGIS* (Fig. 9).

Per tal de millorar aquest resultat es va fer servir la ferramenta de Georeferenciació d' *ArcGIS*. Amb ella es seleccionen punts de control de la imatge a rectificar (punts clarament identificables per la seva geometria, com per exemple creuaments de camins o carrers, límits de parcel·les o edificis, etc.), i s'agreguen a la de referència (imatge dron). En total es van seleccionar 4 punts de control distribuïts uniformement per tota la imatge satèl·lit, i els resultats finals milloraren la precisió, amb un error inferior a 1 metre de desplaçament (Fig. 9).

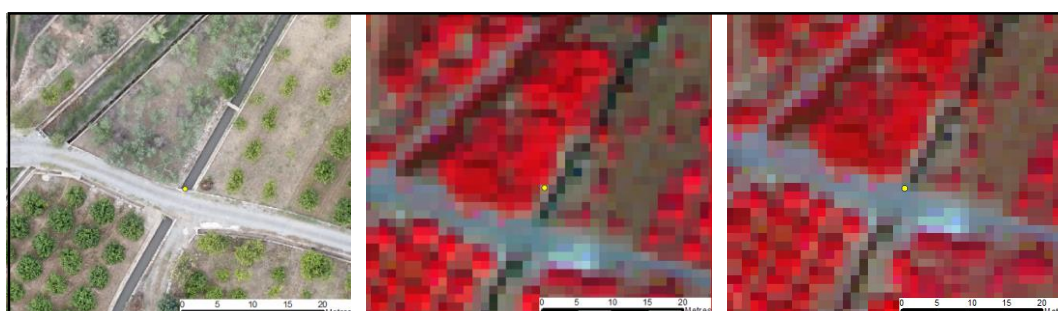


Figura 9. El punt groc en les tres imatges es la referència per comprovar la georeferenciació. Esquerre: Detall de la imatge registrada pel Dron. Centre: Imatge satèl·lit (composició 4 (R) 3 (G) 2 (B)) ortocorregida amb PCI però prèvia a la georeferenciació amb ArcGIS; es pot veure com es troba desplaçada uns 4/5 metres al sud. Dreta: Imatge satèl·lit (composició falsa R(B4), G(B3), B(B2)) ortocorregida amb PCI i georeferenciada amb ArcGIS; es pot apreciar la millora, trobant-se un error de desplaçament inferior a 1 metre. Font: Elaboració pròpia amb ArcGIS.

#### 4.2.2. Correcció atmosfèrica

L'atmosfera pot afectar la naturalesa de les imatges de sensors remots. La radiació electromagnètica captada pels sensors dels satèl·lits travessa l'atmosfera i és modificada per efecte de la dispersió (dispersió Rayleigh) a causa de la interacció amb les molècules i partícules de l'atmosfera (Brizuela et. al). Aquest fet acaba generant un disminució del contrast de la imatge. Al aplicar la correcció, i eliminar aquest efectes, es recuperen paràmetres clau com la reflectància espectral de la superfície.

Per a realitzar la correcció atmosfèrica de la imatge multispectral del satèl·lit WorldView-4 pertanyent a la zona d'estudi s'ha fet servir el software *PCI Geomatics*, que alhora, utilitza el software *ATCOR* (de *ReSe Applications LLC*) per tal de fer aquesta rectificació. Més en concret, es fa servir la correcció atmosfèrica "ATCOR Ground Reflectance", la qual acaba generant una imatge de reflectància a nivell del sòl, corregida per efectes atmosfèrics (tipus aerosol i vapor d'aigua) i del terreny. El seu flux de treball consta dels següents processos:

- a) Especificació de la configuració del sensor i de la imatge.
- b) Especificació de la configuració d'emascament de núvols i boira.
- c) Especificació de les condicions d'elevació i il·luminació (es necessita un MDE, i es fa servir el mateix que per a la ortorectificació).
- d) Especificació de la visibilitat i la reflectància del sòl.
- e) Execució del flux de treball de ATCOR Ground Reflectance.

#### 4.3. PROCESSAMENT DE LES DADES 3D DEL NUVOL DE PUNTS

Amb les dades 3D del núvol de punt d'alta densitat es pretén realitzar una classificació de les classes presents en la zona d'estudi en funció de la seua alçada. Per a això s'han de processar aquestes dades fins obtenir un MDSn o Canopy Height Model (CHM), pel que es fa necessari calcular primer un MDE i un MDS.

Les dades 3D del núvol de punts d'alta densitat se'ns presenten en arxius de format LAS., el qual emmagatzemen aquesta informació. Amb el software ArcGIS, els fitxers LAS només es poden visualitzar, no treballar amb ells per realitzar anàlisis espacials, com en el cas que ens ocupa.

El primer pas per a processar aquestes dades és el de convertir l'arxiu LAS a "Multipunt" d'ArcGIS, el qual és un tipus de geometria utilitzada per a administra conjunts de punts de grandàries elevades, com és el cas dels núvols de punts on podem tenir informació de milers de milions d'aquests, agrupant-los per facilitar el treballar amb ells mitjançant una Geodatabase.

El següent pas, per tant, és importar el "Multipunt" a una Geodatabase per tal de poder generar "Terrain" o dataset de terreny, que són la base per obtenir tant el MDE com el MDS. Un "Terrain" és una superfície basada en TIN (arxiu vectorial que representa superfícies mitjançant una xarxa triangular irregular) de resolució múltiple creada a partir de mesuraments emmagatzemats com entitats en una Geodatabase.

A l'hora de generar els "Terrains" s'han de seleccionar una sèrie de característiques per al model digital, en funció de si és d'elevacions (MDE) o de superfícies (MDS). Primerament s'elegeix el "Multipunt" a partir del qual es vol generar (l'anomenat anteriorment) i l'espaiat entre punts (s'ha elegit 0,5 per ambdós "Terrains"). A continuació s'elegeix el mètode de selecció de punts, és a dir, quin punt es selecciona dins de cada finestra (el que té la Z mínima, Z màxima, la mitja de la Z...). I finalment, els nivells de piràmides (nivells de representació), que es componen per la grandària de la finestra ("Window Size"), que és la longitud de cada costat de cada quadrat que defineix la subdivisió que es crea, i la màxima escala de representació per cada finestra. En línies generals, sense cap nivell de piràmide es treballa amb la màxima resolució, i quan major sigui la grandària de finestra resultarà en menys àrees de les quals seleccionar punts pel que es produeix una major generalització en la representació de la superfície (Fig. 10). Una vegada generats els "Terrains" i, analitzat i seleccionat el nivell de piràmide que representa millor la zona d'interès, es finalitza transformant-lo a format d'imatge Ràster (per poder utilitzar-los per al càlcul del Model Digital de Superfícies Normalitzat), seleccionant el nivell de piràmide elegit i la mesura de píxel (per a aquest treball s'ha optat sempre per 0,5 metres de píxel).

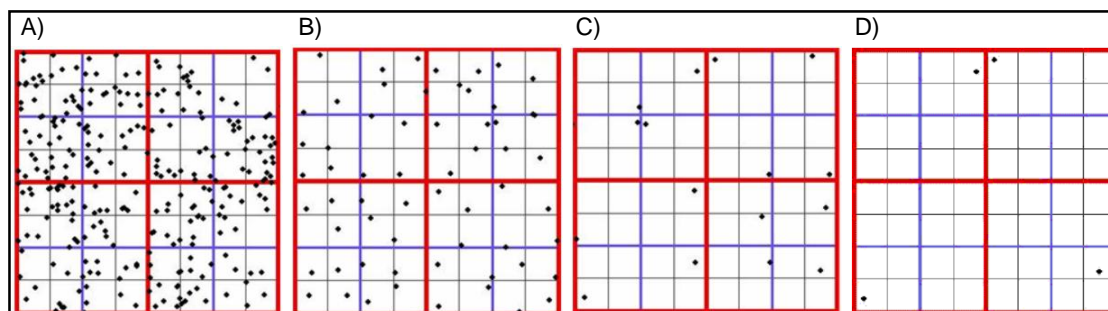


Figura 10. Diferents nivells de piràmide. D'esquerre a dreta les imatges es succeeixen de major a menor resolució. A) Màxima resolució, sense finestres de nivell de piràmide. B) Nivell de piràmide 1: selecciona 1 punt per cada quadrat negre. C) Nivell de piràmide 2: selecciona 1 punt per cada quadrat blau. D) Nivell de piràmide 3: selecciona 1 punt per cada quadrat roig. Font: desktop/arcgis.com.

#### 4.3.1. MDE

Un MDE és una representació digital de la distribució espacial d'elevacions d'una superfície topogràfica, és a dir, una modelització de l'elevació del terreny (Gil, 2019). Per al present treball s'han generat varis, amb diferents grandàries de finestra, per tal de seleccionar el que millor representa la realitat la zona d'estudi. Al tractar-se del llit d'un riu en el seu tram mitjà, aquesta representació es complica, sobretot en els marges degut a la gran diferència d'alçada en poc espai, i per la presència de canyes (*Arundo donax*) tant pel que mesuren com per la gran superfície que ocupen, com s'explicarà més endavant en aquest apartat.

Com s'ha comentat anteriorment, la millor representació de la realitat, és a dir el model més precís, estarà lligat a la grandària de finestra que es seleccione. En aquest sentit, es varen realitzar MDE amb 6, 7, 8, 9 i 10 metres de grandària de finestra, per a posteriorment realitzar validacions de la precisió, utilitzant les dades de punts GNNS com a capa de referència (es seleccionaren 60 punts). Per a cada punt es van anotar els valors d'alçada del terreny, per després calcular-hi la diferència respecte al GNNS.

Finalment es calcula la mitjana de totes les diferències a cada MDE i la desviació estàndard. En la *Taula 1* es pot observar com el model amb un resultat més òptim, tant per una mitjana que mostra una menor diferència amb les dades GNNS com per una menor desviació estàndard, és el MDE de 7 metres de grandària de finestra. El fet que els resultats de les mitjanes siguin positius i no negatius significa que l'alçada de la superfície en la realitat està més baixa que les dades 3D del núvol de punts d'alta densitat derivat de les imatges registrades pel Dron, en concret, entre 0.1477 metres (m) i uns 0.24 m.

**Taula 1.** Verificació dels resultats dels diferents MDE.

	MDE 10	MDE 9	MDE 8	MDE 7	MDE 6
Mitjana (m)	0,24983333	0,16408333	0,17253333	0,14775	0,15288333
Desviació estàndard	0,25325864	0,26347233	0,25930588	0,23958882	0,24868025

La problemàtica lligada a la generació del MDE més precís ve lligat al fet que, per una banda, quan major sigui la grandària de finestra, la superfície topogràfica es veurà més suavitzada, arribant-se a perdre els marges del llit del riu. Per altra banda, una menor grandària de finestra corre el perill de generar un model amb superfícies topogràfiques més elevades que la realitat, principalment per culpa de les canyes, que com s'ha comentat anteriorment, ocupen una gran àrea, que fàcilment pot abastar tota la de la finestra, sent el punt de Z mínima d'aquesta un punt de la mateixa canya. És per aquests arguments que el model més precís que s'ha obtingut es troba amb una grandària de finestra intermedi (MDE de 7 metres), on aquests factors contraris influïen en una menor importància.

#### 4.3.2. MDS

Un MDS plasma la superfície de la terra representant tots els objectes que es troben sobre ella, com per exemple arbres o edificis (Gil, 2019). Per tant, el present treball només ha estat necessari generar-ne un, amb una grandària de finestra de 0,5 metres, amb la qual es representen amb precisió tots els objectes de la superfície que presenten un àrea considerable (de més de 0,5 m<sup>2</sup>). És per aquest motiu que aquest model no suposa massa complicacions per a la seua generació, en comparació amb el MDE, i no es fa necessari realitzar-ne varis i dur-hi a terme validacions.

#### 4.3.3. MDS<sub>n</sub>

Un MDS<sub>n</sub> o CHM representa el valor absolut d'elevació dels objectes que es troben sobre la superfície terrestre (com per exemple arbres i edificis), és a dir, la seua alçada.

Aquest model es pot calcular també en ArcGIS, però no com a un "Terrain" dins d'una Geodatabase, sinó realitzant un càlcul amb arxius d'imatge Ràster. Per a això es faran servir els Ràster dels MDE i MDS generats anteriorment. El MDS<sub>n</sub> és el resultat de restar el MDE del MDS, és a dir: CHM = MDS – MDE (Fig. 11).



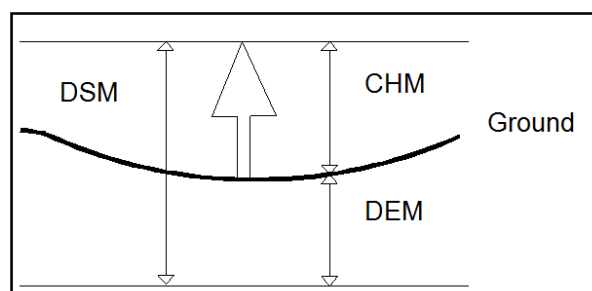


Figura 11. Definició gràfica de MDE (DEM), MDS (DSM) i CHM o MDSn. El MDS i el MDE utilitzen de referència el nivell del mar mesurat a la ciutat d'Alacant (línia contínua inferior), mentre que el CHM el nivell de la superfície ("ground" en l'esquema). Font: Apunts de l'assignatura de Tècniques Avancades en SIG. Universitat Politècnica de València.

Una vegada calculat aquest últim model, tindrem l'arxiu necessari per poder realitzar la classificació de les classes presents al llit del riu en funció de la seua alçada, a partir del processament del núvol de punts d'alta densitat.

#### 4.4. CLASSIFICACIONS

El mètode emprat ha estat la classificació supervisada. En ella es parteix d'un conjunt d'elements descrits per un conjunt de característiques i es coneix la classe al qual pertany, és a dir, que les classes estan prèviament definides. Posteriorment s'obtenen les seves signatures espectrals per poder realitzar-hi la classificació, com veurem en aquest apartat.

S'han dut a terme tres classificacions supervisades de les classes presents al llit del riu Palància al seu pas per la zona estudiada. Cada una d'elles està basada en diferents fonts de dades imatges, ja que la informació que s'obté de cada una d'elles és totalment diferent. Aquestes són dues i han estat processades prèviament: Imatge satèl·lit multispectral WorldView-4 i dades 3D del núvol de punts d'alta densitat derivats de les imatges registrades pel Dron. D'aquesta manera, en funció de la font de dades utilitzada, la classificació estarà basada en unes característiques de les classes o en altres, i per tant, els resultats finals (imatge temàtica de la zona d'estudi) poden diferir entre ells. Per a la imatge satèl·lit la classificació es basa en les diferents classes espectrals, mentre que amb les dades 3D núvol de punts d'alta densitat, i més en concret amb el MDSn), la classificació està basada en l'alçada dels elements. Es realitza una tercera classificació, combinant ambdós fonts de dades, per tal d'avaluar si es produeix una millora dels resultats.

La metodologia que s'ha seguit per a la realització de les diferents classificacions supervisades ha estat extreta del llibre "de Javier Estornell Cremades (tutor del present treball). A continuació s'enumeraran els passos seguits:

Els passos seguits per a dur a terme les classificacions supervisades han sigut els següents (Estornell, 2010):

#### 4.4.1. Preses de mostres:

Consisteix en crear un arxiu *shapefile* de tipus polígon. Es tracta d'un quadrat de 4x4 metres que contindrà la informació de cada mostra (Fig. 12) realitzaran 20 mostres per cada classe per a la classificació, i 10 més per a validar-la (un total de 30 mostres per classe). Aquest és un nombre significatiu de mostres que és representatiu de la variabilitat de cada classe (Estornell, 2010). Les mostres han d'incloure un codi d'identificació per a que el software pugui identificar-les, diferenciar-les i realitzar la classificació.

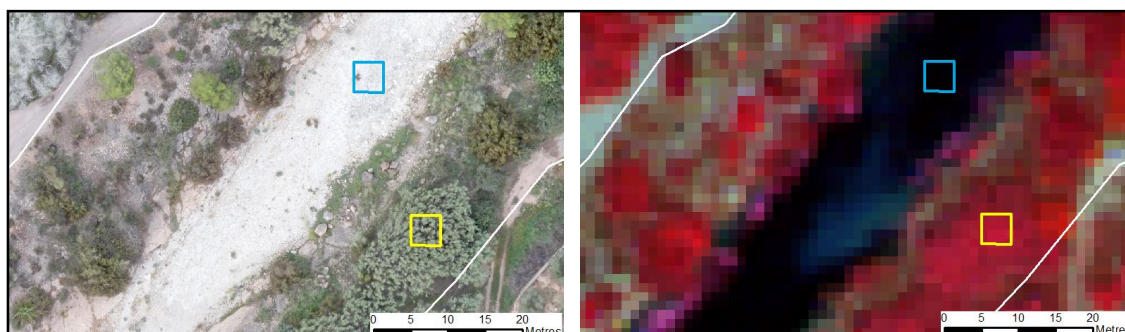


Figura 12. Comparació entre la imatge registrada pel Dron (esquerre) i satèl·lit amb composició falsa de color (R(B4), G(B3), B (B2)) (dreta). Es poden observar dos mostres de classificació o validació (quadrats de 4x4 m), una per a la classe temàtica "aigua" (color blau) i l'altra per a la classe "canya". El llit del riu apareix delimitat per una línia de color blanc. Font: Elaboració pròpia amb ArcGIS.

Aquesta fase presenta una gran importància ja que en funció de la qualitat de les mostres elegides, els resultats poden variar la seua precisió i validesa. La majoria de les classes no suposen cap mena de dubte al elegir les mostres basant-se amb les imatges satèl·lit i Dron. Tant les canyes com els pins es reconeixen amb facilitat i a simple vista, degut a les seues característiques morfològiques i espectrals, així com aigua, sòl nu i herbassar. La problemàtica apareix amb els exemplars de tamaríu, on la diferenciació de vegades no és tan evident podent-se confondre amb altres espècies vegetals complementaries, i per tal d'evitar-la s'han pres les mostres en aquells individus que estaven verificats amb les dades GNNS (Fig. 13).

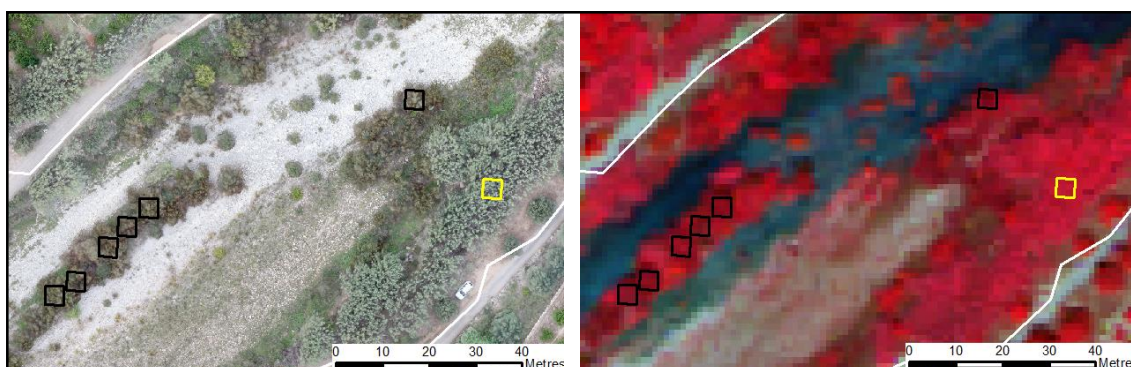


Figura 13. Comparació entre la imatge registrada pel Dron (esquerre) i satèl·lit amb composició falsa de color (R(B4), G(B3), B (B2)) (dreta). Es poden observar els punts que són dades GNNS que pertanyen a individus de tamaríu (verificats en camp), així com les mostres de validació de tamaríu en color negre i en groc una de canya. El llit del riu apareix delimitat per una línia de color blanc. Font: Elaboració pròpia amb ArcGIS.

#### 4.4.2. Crear signatures

Aquesta ferramenta d'ArcGIS (*Create Signatures*) associa el valor dels píxels de les imatges (el valor de les diferents bandes espectrals per a la imatge satèl·lit i el valor de l'alçada dels elements per al MDSn) amb el polígon de la mostra que els engloba. Es genera un arxiu de tipus ASCII que serà utilitzat posteriorment per a completar la classificació.

#### 4.4.3. Classificació per màxima probabilitat

Es el nom que rep el mètode de classificació utilitzat amb ArcGIS (*Maximum Likelihood Classification*), el qual, mitjançant els arxius dels polígons de les mostres, les imatges Ràster de referència i les signatures, genera una nova imatge en la qual el valor de cada píxel ja no correspon a les bandes espectrals o l'alçada dels elements, sinó que correspon a una classe temàtica. D'aquesta manera s'obté una imatge amb la classificació de les diferents classes que es troben en la zona estudiada.

Per a la imatge satèl·lit es fan servir 6 classes diferents: tamariu, pi, canya, herbassar, sòl nu i aigua; però per a la classificació amb el MDSn, només 4 classes, degut a que les imatges a partir de les quals s'ha calculat el núvol de punts tridimensional d'alta densitat foren registrades en un període en el qual pel riu no circulava aigua. Per això s'han unificat les classes aigua, sòl nu i herbassar, ja que a més a més el model no mostraria diferències rellevants per l'alçada. Finalment, per a la classificació amb la combinació d'imatges, també s'han definit únicament 4 classes.

L'algoritme que utilitza aquesta ferramenta es basa en dos principis: les cel·les (píxels) en cada mostra de classes de l'espai multidimensional que es distribueixen normalment, i el teorema de Bayes de presa de decisions. L'eina té en compte les variàncies i covariàncies de les signatures de classes quan assigna cada cel·la a una de les classes representades en l'arxiu de signatura. Si s'assumeix que la distribució d'una mostra de classes és normal, una classe pot estar caracteritzada pel vector del valor mitjà i la matriu de covariància. Donades aquestes dues característiques per a cada valor de píxel, es calcula la probabilitat estadística per a cada classe a fi de determinar la pertinença de les cel·les a la classe. Quan s'especifica l'opció Ponderació de la probabilitat a priori "EQUAL", cada píxel s'assigna a la classe a la qual té major probabilitat de pertànyer (opció utilitzada).

#### 4.4.4. Refinat dels límits

Aquest és el pas final, i s'ha aplicat a totes les classificacions. Consisteix en una suavització dels límits de cada zona, mitjançant la expansió o contracció dels mateixos. La ferramenta d'ArcGIS s'anomena *Boundary Clean* i se li aplica l'opció *Descend*, amb la qual s'ordenen les zones en ordre descendent per grandària, és a dir, les zones amb àrees totals més grans tenen una major prioritat per a expandir-se a zones amb àrees totals més petites. En la Figura 4 es mostra un exemple per tal de facilitar la comprensió; en definitiva, s'obté una millora dels resultats generats en el pas anterior,



ja que hi havia una gran quantitat de soroll, és a dir, de píxels aïllats als que se'ls havia assignat una classe que no li corresponia en relació als píxels que l'envolten.

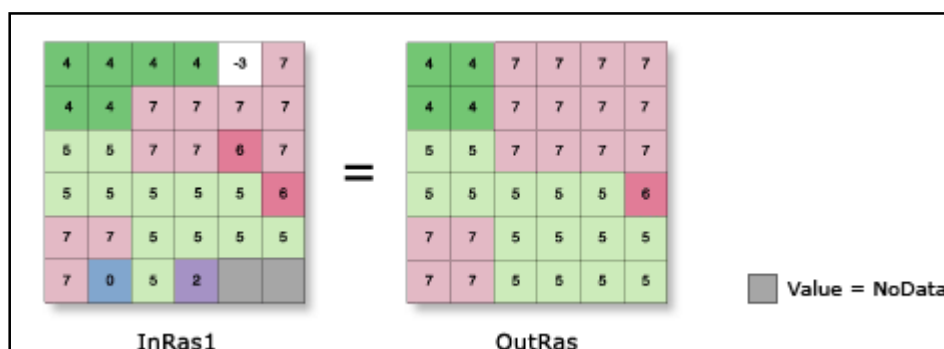


Figura 14. Esquema explicatiu de la ferramenta de refinat dels límits (*Boundary Clean*).  
Font: desktop/arcgis.com

## 4.5. AVALUACIÓ DE LES CLASSIFICACIONS

El pas final de tota la metodologia aplicada en aquest treball és el d'avaluar si els resultats obtinguts amb les classificacions realitzades són fiables, precisos i vàlids, i en quina mesura ho són. Per aquesta avaluació a terme s'aplicaran dues metodologies estadístiques: la fiabilitat global i les matrius de confusió.

### 4.5.1. Fiabilitat global

La fiabilitat global és un mètode d'avaluació estadística que mostra el grau d'ajust entre la classificació duta a terme en l'elaboració dels mapes temàtics i la realitat. D'aquesta manera, es realitza un anàlisi de les mostres (un total de 10 superfícies de 16 metres quadrats cada un) de cada classe, comprovant si aquestes han estat classificades correctament (Si) o no (No). S'ha optat per una tercera solució, entesa com a classificació regular (R), per tal d'obtenir uns resultats més precisos.

El criteri seguit per adjudicar un resultat o un altre ha estat el següent:

- Si: Les mostres amb menys d'un 25% de la superfície mal classificada. Tenen un valor de 10 sobre 100 (10%).
- R: Les mostres amb un 25-50% de la superfície mal classificada. Tenen un valor de 5 sobre 100 (15%).
- No: Les mostres amb més d'un 50% de la superfície mal classificada. Tenen un valor de 0 sobre 100 (0%).

### 4.5.2. Matriu de confusió

Les matrius de confusió contenen informació sobre els valors reals i les classificacions realitzades per un sistema de classificació. Es tracta d'una eina estadística d'avaluació de resultats amb molta utilitat per a treballs com el present, on es realitza una cartografia temàtica, ja que facilita la detecció d'errors així com una visió general de les assignacions correctes o equivocades, i a més a més permet fer-hi un l'anàlisi descriptiu

i analític dels resultats obtinguts. Consisteix en una taula on en les columnes es representen les classes reals i en les files les classes classificades en el mapa temàtic (classificació del mètode). Els elements que apareixen en diagonal indiquen el nombre de classificacions realitzades correctament, i aquells que apareixen fora suposen migracions o fugues (Sánchez, 2016). Per tal d'interpretar els resultats, existeixen dos punts de vista en funció de la fiabilitat:

- a) Fiabilitat del productor: relaciona les classes classificades amb les reals, mostrant el percentatge d'encert de la classificació (mostres ben classificades d'una classe dividit el total de mostres d'aquesta).
- b) Fiabilitat de l'usuari: relaciona el total de mostres classificades com a una classe amb les que realment pertanyen a aquesta (mostres ben classificades d'una classe dividit el total de mostres classificades per a aquesta classe).

En altres paraules, la fiabilitat del productor classifica per defecte, mentre que la fiabilitat d'usuari classifica per excés, és a dir, es classifiquen més valors d'una classe dels que realment són (sobredimensiona).

Per altra banda, el criteri que s'ha seguit per adjudicar els valors de cada classe ha estat en funció de la superfície d'ocupació de cada classe dins d'una mateixa mostra de validació, calculat de manera aproximada a simple vista. D'aquesta manera, si tota la mostra estava ocupada per una mateixa classe se li adjudica un 1 a la classe pertinent, mentre que si la mitat d'aquesta superfície, o més, estava ocupada per una altra classe, se li adjudicaria l'1 a la classe incorrectament classificada.

## **5. RESULTATS I DISCUSSIÓ**

### **5.1. RESULTATS DELS MODELS DIGITALS**

El processament de les dades 3D del núvol de punts d'alta densitat ha resultat amb l'obtenció de dos models digitals de format Ràster: un representant la distribució espacial d'elevacions de la superfície topogràfica (MDE) i l'altre les superfícies així com tots els objectes que es troben sobre ella (MDS). Realitzant una operació matemàtica amb aquests dos models (Calculadora Ràster del Software ArcGIS), més concretament realitzant-hi una diferència, s'obté un MDSn, també conegut com CHM.

A continuació es realitza una comparativa entre els tres models i una imatge Dron de la realitat. Les quatre instantànies mostren la mateixa àrea de la zona d'estudi, delimitada als marges per una línia roja que marca el límit del llit del riu. A més, en totes les imatges s'han representat els punts GNNS, els quals mostren a diferents individus de les classes vegetals que es classificaran, a fi de facilitar la comparació.

### 5.1.1. MDE

Aquest model fou el més difícil d'obtenir, com ja s'ha explicat en l'apartat de metodologia corresponent, degut a que ha necessitat una verificació estadística per tal de seleccionar el més òptim. Com s'ha comentat amb anterioritat, aquest model realitzat per a una superfície com la de la zona d'estudi, presenta dificultats per obtenir-ne una alta fidelitat amb la realitat, degut a la seua naturalesa, és a dir, a la presència dels marges del llit del riu, que suposen una gran diferència d'alçada en poc espai. A més, la presència de canyes (*Arundo donax*), que poden ocupar una gran superfície i es troben sobretot als marges del riu, també afecta al resultat del model, falsificant els resultats.

En la Figura 15 es mostra el resultat obtingut. Els colors groguencs mostren la via preferent de circulació de l'aigua i per tant de menor elevació, mentre que els verds una major elevació, que alhora es relaciona amb les àrees preferentment ocupades per les espècies vegetals.

Per altra banda, els verds més obscurs i de tonalitats blavoses representen tant els marges del llit del riu, com en les zones amb gran aglomeració de canyes. Ambdós resultats no es corresponen totalment amb la realitat. Per al cas dels marges del riu, l'elevació topogràfica pot ser inferior a la real, degut a la metodologia emprada per a l'obtenció del model, que consistia en utilitzar el punt de menor elevació dins de cada finestra (grandària de finestra de 7x7 metres). Com la diferència d'alçada en aquesta part és gran en poc espai, pot estar obviada, suavitzant els marges. Aquest cas el podem observar en els marges representats amb colors de tonalitat groguenca en compte de verds.

L'efecte contrari el podem observar alhora en les canyes, on alguns resultats poden resultar erronis degut a que tota la superfície de la grandària de finestra (49 m<sup>2</sup>) registra els valors d'alçada d'aquesta espècie vegetal, donant com a resultat una elevació del terreny major a la real.

En definitiva, els resultats del MDE són més precisos al centre del llit del riu, mentre que la problemàtica apareix al marge d'aquest.

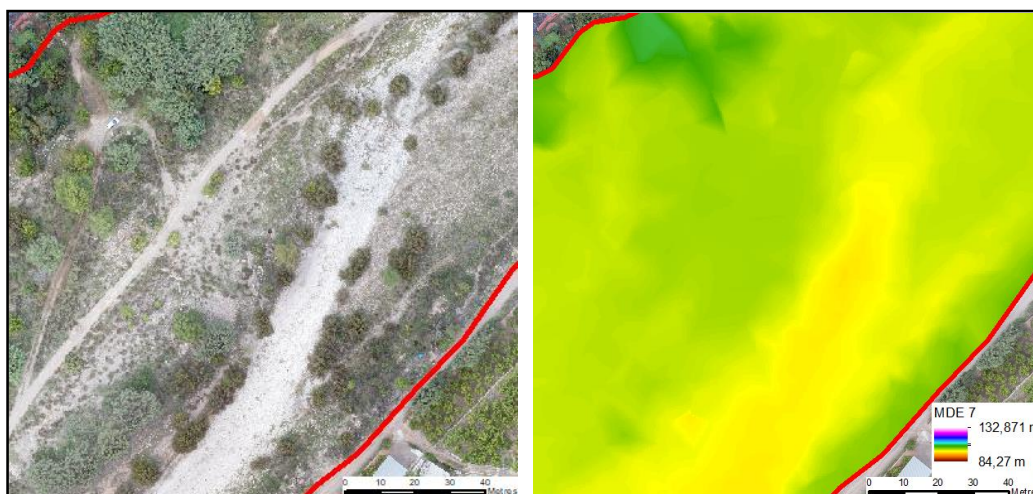


Figura 15. Comparació entre la imatge registrada pel Dron (esquerra) i el MDE (dreta). Les línies roques marquen els límits dels llit del riu. Font: Elaboració pròpia amb ArcGIS.

### 5.1.2. MDS

Al contrari que l'anterior, aquest model fou molt senzill de calcular i obtenir un resultat precís i fidel a la realitat. En la Figura 16 s'observa com es mostren amb claredat tant la superfície com els objectes presents en ella.

D'aquesta manera, els colors de tonalitat taronja i groguenca representen la superfície, sent els taronja el curs preferent del riu i els grocs zones lleugerament més elevades amb presència d'herbassar. La resta de colors mostren espècies vegetals, sent els verds de menor alçada i els blaus de major. En concret, tots els tamarius es mostren verds clars, mentre que les canyes verds més obscurs. Els pins es troben amb colors blaus.

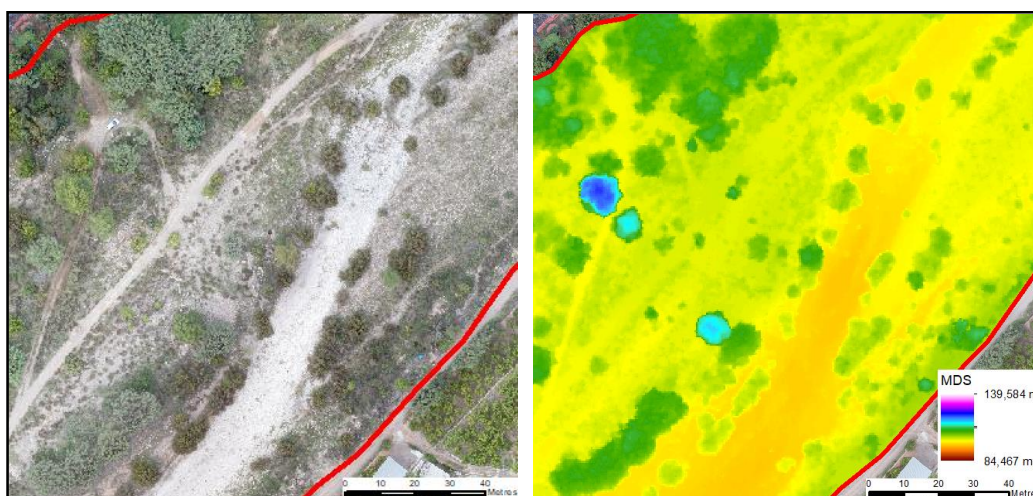


Figura 16. Comparació entre la imatge registrada pel Dron (esquerre) i el MDS (dreta). Les línies roges marquen els límits dels llit del riu. Font: Elaboració pròpia amb ArcGIS.

### 5.1.3. MDSn

Aquest model mostra, a priori, una fidelitat a la realitat relativa, degut a que s'obté a partir dels anterior i, mentre que el MDS mostra uns resultats precisos, el MDE no tant. És per això que en les zones on el MDE mostra resultats falsos, el MDSn no podrà ser tot el precís possible. En el cas de les zones amb molta superfície de canyes, el MDSn mostrarà resultats d'alçades inferiors a les reals, mentre que per als marges suavitzats, es mostraran objectes amb una alçada superior a la seua.

Els resultats del model es poden observar en la Figura 17. Les tonalitats vermelles representen la superfície de referència, a partir de la qual es calculen les alçades dels objectes. L'alçada dels objectes està representada en funció dels següents colors, de menor a major: grocs, verds, blaus, morats i blancs. D'aquesta manera, els tamarius es veuen representats de colors verds, les canyes blaus (majoritàriament) i verds, i els pins de blanc.

En la imatge, els colors blancs i morats mostren espècies d'arbres de gran alçada que Al comparar els resultats del MDS i del MDSn s'observa com el primer representa tant l'elevació de la superfície topogràfica com la dels objectes presents en ella, mentre que



el segon sols l'alçada d'aquests objectes, fent servir la superfície topogràfica de referència.

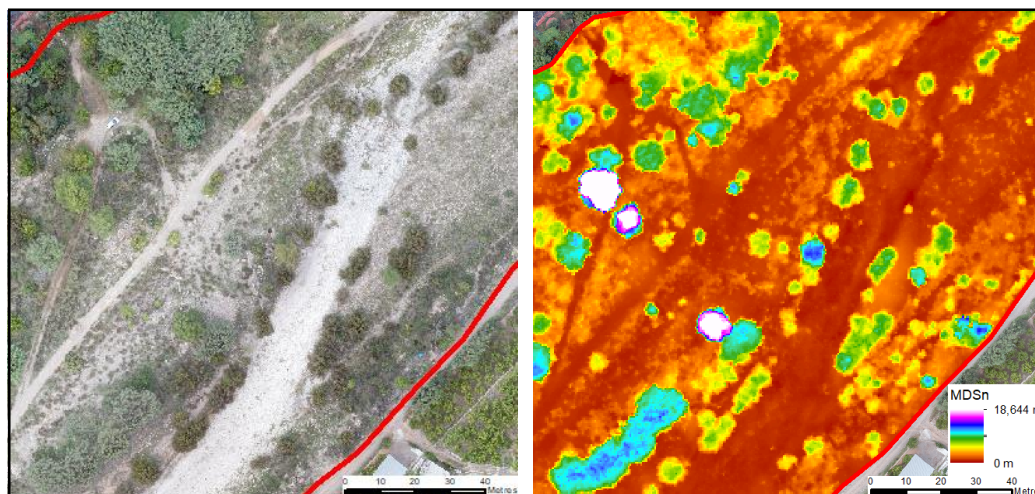


Figura 17. Comparació entre la imatge registrada pel Dron (esquerre) i el MDSn (dreta). Les línies roges marquen els límits dels llit del riu. Font: Elaboració pròpia amb ArcGIS.

## 5.2. RESULTATS DE LES CLASSIFICACIONS

Els resultats d'aquest treball són una sèrie de mapes temàtics i bases de dades de la zona d'estudi, on a cada píxel de la imatge li pertany un valor temàtic, és a dir, se li adjudica una classe de la classificació pertinent. D'aquesta manera s'obté una imatge on es troben distribuïdes les superfícies ocupades per cada classe dins del llit del riu Palància, permetent una visió ràpida i senzilla de la seva distribució.

Prèviament a passar a discutir els resultats obtinguts en les diferents classificacions, es mostrarà una visió general mitjançant un mapa temàtic on es classifica la zona estudiada d'un manera simplificada (Fig. 18), amb només dues classes: àrees amb vegetació o sense. Així ens permet observar la quantitat de vegetació present dins del llit del riu, independentment de les espècies vegetals que siguin, introduint, per tant, la problemàtica.

Per a la representació dels resultats de la classificació s'ha optat per mostrar dos àrees de detall de cada una, acompanyada d'una imatge de referència. Aquestes àrees s'han seleccionat perquè es consideren representants del conjunt de classes temàtiques de les classificacions.

A continuació es discutiran els resultats de les diferents classificacions, és a dir, la fidelitat d'aquestes en comparació amb la realitat, realitzant un anàlisi visual. L'anàlisi analític es realitzarà en el següent apartat, discutint els resultats de les avaluacions.



Figura 18. Comparació entre la imatge registrada pel Dron (dalt) i la classificació general(baix). Els colors verds mostren zones amb vegetació, mentre que els grocs les zones sense. Les línies roges marquen els límits dels llit del riu. Font: Elaboració pròpia amb ArcGIS.

### 5.2.1. Classificació amb imatge satèl·lit

Aquesta classificació es realitza a partir dels valors espectrals de cada píxel de la imatge satèl·lit i distribueix la superfície del llit del riu en sis classes temàtiques: aigua, sòl nu, herbassar, canya, pi i tamariu. És la única que inclou la classe aigua, degut a que en la data de realització de la imatge (06/06/2017) circulava aigua per el riu Palància a la seu pas per Estivella i Albalat dels Tarongers. Per tant, per fer l'anàlisi visual el millor és comparar el mapa obtingut amb aquesta imatge (Fig. 19). Es pot fer servir la imatge registrada pel Dron de suport (Fig. 18).

Els resultats per a les classes temàtiques aigua, sòl nu i herbassar s'ajusten considerablement a la realitat. Els problemes amb la classe "aigua" apareixen en les zones on aquesta té molt poca profunditat, i la classificació les confon amb la sòl nu. Pel que fa a la classe "sòl nu", la problemàtica surt en alguns camins, que es classifiquen com a herbassar. Aquests inconvenients seran irrellevants en la classificació combinada (imatge satèl·lit i MDSn), on les tres s'agruparan en una única classe temàtica (sòl nu).

Pel que fa a les canyes, la superfície real que ocupen es troba, majoritàriament, ben representada. Els problemes destacables detectats són: presència de taques corresponents a la classe tamariu on no correspon (es pot apreciar al sud de la Figura 19, detall "b"); se li adjudica aquesta classe a algunes espècies vegetals que no es troben incloses dins de la classificació i també en zones de connexió entre dos canyars aïllats, augmentant així la superfície ocupada per les canyes en el mapa temàtic.

Els pins es troben lleugerament pitjor classificats que les canyes. La seua presència es reflexada en línies generals en la classificació, però no es mostra la superfície real que ocupen degut a que es troben envoltats, a mode d'aureola (total o parcial), de píxels corresponents a la classe tamariu (majoritàriament) o canya (es pot apreciar al sud de la Figura 19, detall "a"). Alguns individus han sigut obviats per la classificació, possiblement per motius relacionats amb les seues dimensions reduïdes, interpretant-se segons la classe predominant en l'àrea immediatament confrontant.

La classe temàtica que es mostra menys afí a la realitat en aquesta és el tamariu. Aquest fet possiblement siga degut a la seua naturalesa espectral. El resultat mostra una major superfície que la que realment ocupa aquesta espècie vegetal, ja que espècies vegetals que no es troben representades en les classes temàtiques (degut a que la seua presència no es representativa en el conjunt del llit del riu) són interpretades com a tamariu. Per altra banda, com ja s'ha comentat anteriorment, apareixen píxels de la classe tamariu que realment pertanyen a pi o canya, o viceversa.

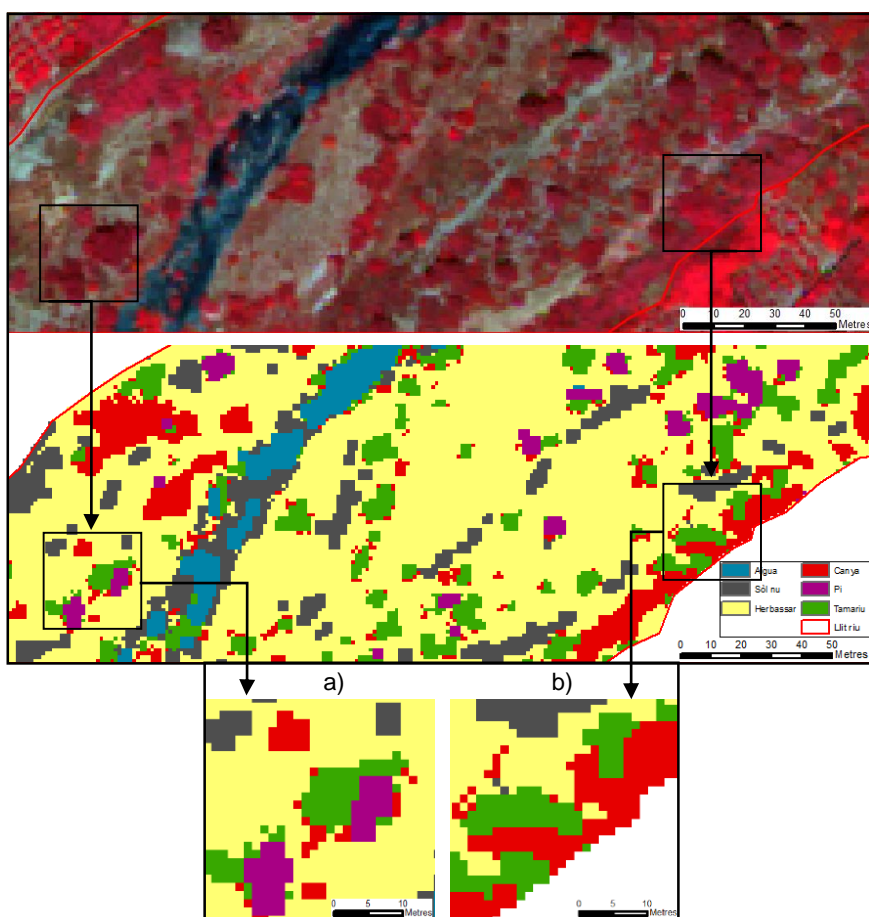


Figura 19. Comparació entre la imatge registrada pel satèl·lit (dalt) i la classificació amb satèl·lit (baix). El detall "a" mostra com el pi apareix classificat envoltat de tamariu i canya que li resten superfície total. El detall "b" mostra la presència de píxels de tamariu on realment correspon a canya. Font: Elaboració pròpia amb ArcGIS.

### 5.2.2. Classificació amb MDSn

Aquesta classificació es realitza a partir dels valors d'alçada dels diferents objectes (arbres) i distribueix la superfície en quatre classes temàtiques: sòl nu, canya, pi i tamariu. La reducció de dos classes temàtiques és motiu, principalment, de les condicions del riu el dia que es van enregistrar les dades i imatges Dron, ja que no hi circulava aigua. D'aquesta manera s'han unificat les classes aigua, sòl nu i herbassar (presentes en l'anterior classificació) en una única classe que s'ha anomenat "sòl nu". Per tal de fer l'anàlisi visual el millor és comparar el mapa obtingut (Fig. 20) amb la imatge registrada pel satèl·lit (Fig. 19) i el MDSn com a suport (Fig. 17).

No s'han obtingut resultats fidels a la realitat, ja que sols s'ha classificat en funció de l'alçada de les diferents classes temàtiques. La única classe que ha estat ben definida és la de "sòl nu", degut a que majoritàriament es correspon amb el nivell del sòl. La problemàtica apareix amb els diferents objectes presents sobre la superfície topogràfica, en aquest cas, les espècies vegetals.

El tamariu es veu representat amb una superfície considerablement major a la real, tot el contrari que la canya, que veu minvar la seva superfície a favor del primer. Aquest fet és degut a que molts individus d'aquestes espècies presenten una alçada semblant, i l'algoritme de la classificació ha donat major importància per algun motiu al tamariu. Les canyes de major alçada si s'han representat bé.

Per al cas dels pins, es troben millor representats que en la classificació anterior, degut a la seua alçada diferencial, excepte aquells individus en estats juvenils. Igual que passava adés, la superfície classificada com a pi es veu envoltada de fines aureoles de canya, primerament, i tamariu, que en la realitat es corresponen en les branques de menor alçada dels pins.

Altres errors detectats en aquesta classificació són: les espècies no presents en les classes temàtiques, com per exemple arbres de gran alçada que s'han classificat erròniament com a pins (no apareix en la imatge mostrada); i la presència de ponts i/o viaductes que creuen el riu, als quals se'ls ha classificat majoritàriament com a pi o canya (aquesta errata no la teníem en la classificació anterior).



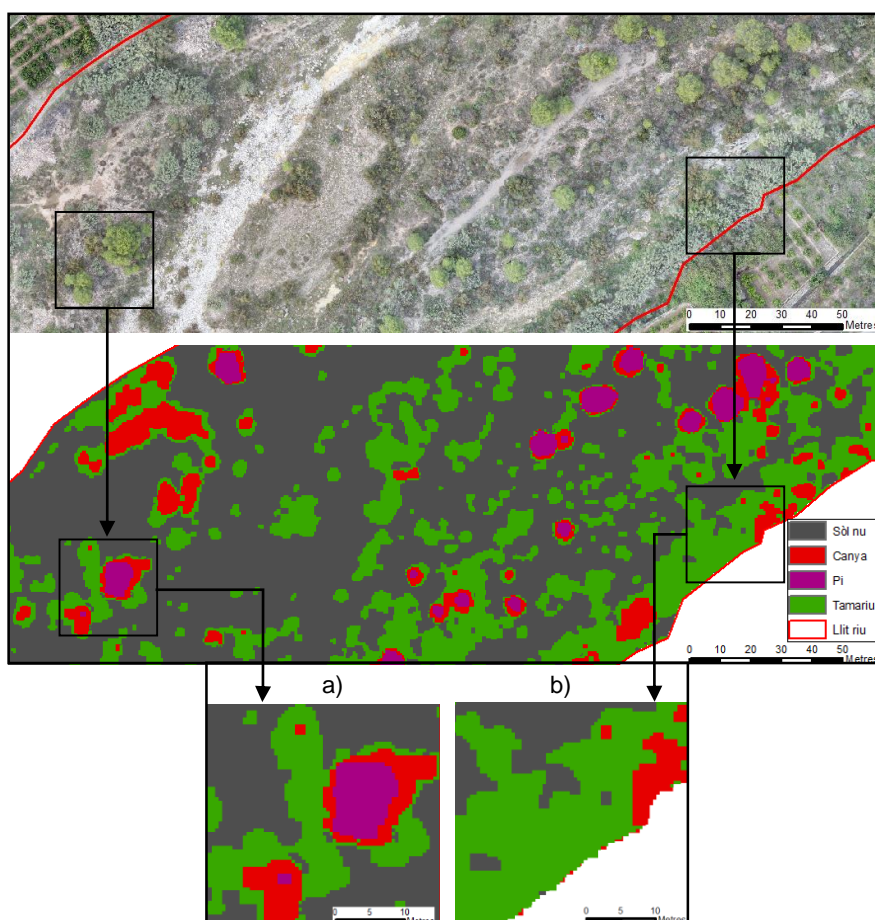


Figura 20. Comparació entre la imatge registrada pel Dron (dalt) i la classificació amb MDSn (baix). El detall “a” mostra com el pi apareix classificat envoltat de tamarriu i canya que li resten superfície total. El detall “b” mostra com s’ha classificat erròniament com a tamarriu quasi tota la superfície d’un canyar. Font: Elaboració pròpia amb ArcGIS.

### 5.2.3. Classificació combinant imatge satèl·lit i MDSn

Aquesta classificació es realitza a partir dels valors espectrals de cada píxel de la imatge satèl·lit i dels d’alçada dels diferents objectes (arbres). La superfície es distribueix en quatre classes temàtiques, com en el cas anterior. D’aquesta manera es tracta d’una combinació de les dos classificacions discutides adés, en la qual, en principi, sembla que es milloren els resultats anteriors. Per tal de fer l’anàlisi visual el millor és comparar el mapa obtingut (Fig. 21) amb la imatge registrada pel satèl·lit (Fig. 19) i el MDSn (Fig. 17) com a suport.

En línies generals, sembla que l’algorisme de classificació li ha donat una major rellevància a la imatge satèl·lit, ja que aquesta classificació és semblant a la primera (obviant el fet que les classes aigua i herbassar s’han hagut d’unificar a sòl nu); però, alhora, amb aquesta s’aprecia una millora en la definició de les superfícies ocupades per les diferents espècies vegetals, que s’intueix que ha de ser deguda a la consideració de les alçades.

Igualment, les errates que s'aprecien en aquesta classificació són majoritàriament les comentades per a la de la imatge satèl·lit, encara que amb menor presència. D'altra banda, es repeteix l'errata descrita per a la classificació amb el MDSn, on els ponts i viaductes que creuen el riu es classifiquen com a canya (en aquest cas).

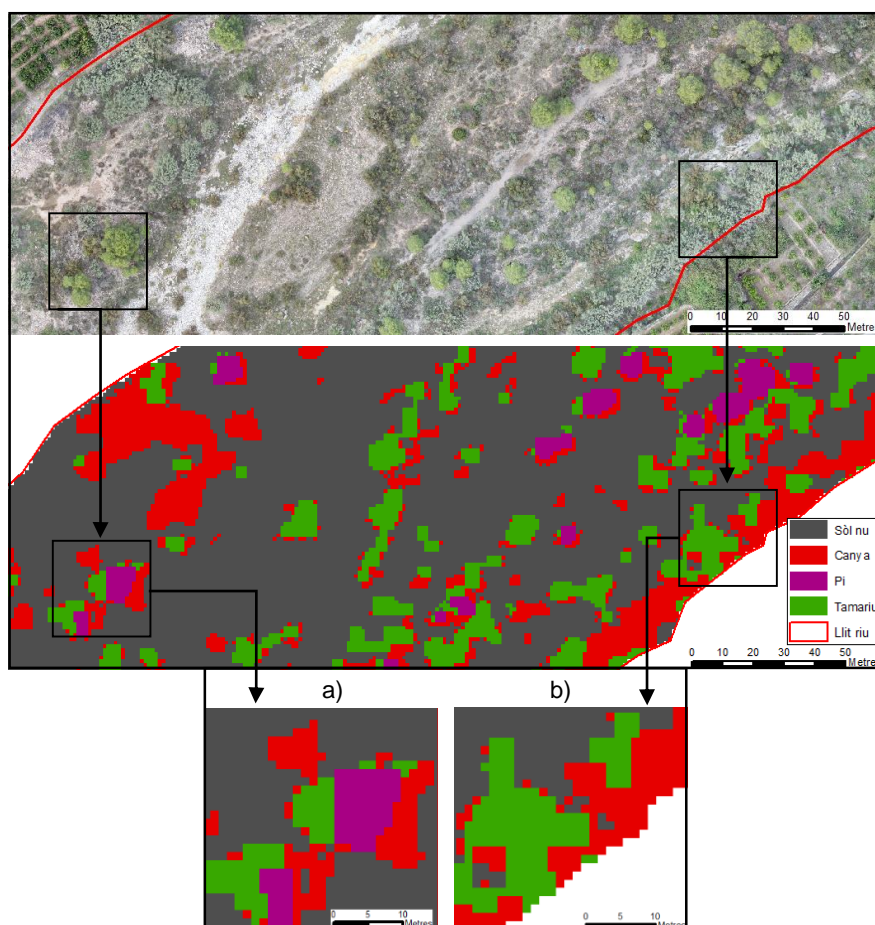


Figura 21. Comparació entre la imatge registrada pel Dron (dalt) i la classificació combinant la imatge satèl·lit i el MDSn (baix). El detall "a" mostra com el pi apareix classificat envoltat de tamariu i canya que li resten superfície total, encara que menys que en les anteriors classificacions. El detall "b" mostra com s'ha classificat com a tamariu més que en la realitat, encara que en aquesta ocasió la classificació és més precisa que les anteriors. Font: Elaboració pròpia amb ArcGIS.

### 5.3. RESULTATS DE LES AVALUACIONS

Finalment, es procedeix a mostrar i discutir els resultats de les avaluacions estadístiques (fiabilitat global i matriu de confusió) de les diferents classificacions, i analitzar analíticament quina classificació és la més vàlida i fiable per la seua fidelitat a la realitat.

#### 5.3.1. *Fiabilitat global*

##### a) Classificació amb imatge satèl·lit

La fiabilitat global per a la classificació amb imatge satèl·lit (*Taula 2*) mostra uns resultats que s'ajusten als comentats durant l'anàlisi visual, en l'apartat anterior. És per aquest

motiu que les classes temàtiques aigua, sòl nu i herbassar presenten un 100% de fiabilitat, és a dir, totes les mostres per a validar cada una d'aquestes classes, han resultat positives.

Pel que fa a la resta de classes, la canya presenta un 90% de fiabilitat (ja que sols una mostra de validació ha resultat incorrecta), el pi un 85% (una mostra incorrecta i una regular) i el tamariu 80% (una mostra incorrecta i dues regulars). Com s'ha vist anteriorment, durant l'anàlisi visual i comparatiu ja es podia interpretar que la classe tamariu era la pitjor representada, mentre que la canya es troba significativament millor.

**Taula 2.** Resultats de la Fiabilitat Global per a la classificació amb imatge satèl·lit.

	Aigua		Sòl nu		Herbassar		Canya		Pi		Tamariu	
	A1	Si	S1	Si	H1	Si	C1	Si	P1	No	T1	R
	A2	Si	S2	Si	H2	Si	C2	Si	P2	R	T2	R
	A3	Si	S3	Si	H3	Si	C3	Si	P3	Si	T3	Si
	A4	Si	S4	Si	H4	Si	C4	Si	P4	Si	T4	No
	A5	Si	S5	Si	H5	Si	C5	Si	P5	Si	T5	Si
	A6	Si	S6	Si	H6	Si	C6	Si	P6	Si	T6	Si
	A7	Si	S7	Si	H7	Si	C7	Si	P7	Si	T7	Si
	A8	Si	S8	Si	H8	Si	C8	Si	P8	Si	T8	Si
	A9	Si	S9	Si	H9	Si	C9	Si	P9	Si	T9	Si
	A10	Si	S10	Si	H10	Si	C10	No	P10	Si	T10	Si
<b>Percentatge (%)</b>	100		100		100		90		85		80	

#### b) Classificació amb el MDSn

La fiabilitat global per a la classificació amb el MDSn (*Taula 3*) també mostra uns resultats que s'ajusten als comentats durant l'anàlisi visual, en l'apartat anterior. Al igual que ocorre amb la classificació amb imatge satèl·lit, la classe temàtica "sòl nu" (que per a aquesta classificació unifica les classes aigua, sòl nu i herbassar) presenta un 100% de fiabilitat global.

Pel que fa a la classe temàtica "canya", mostra un 55% de fiabilitat, empitjorant considerablement els resultats de l'anterior classificació. Aquests ja s'estaven interpretant durant l'anàlisi visual, on s'apreciava el fet que moltes canyes s'havien classificat com a tamariu, degut a la similitud en l'alçada de molts dels seus individus. Per altra banda el tamariu presenta un percentatge semblant a l'anterior amb un 75%. S'intueix que no el millora degut a la mateixa problemàtica que pateix la canya, però afectant-li en menor mesura.

L'única classe que millora el seu percentatge de fiabilitat és el pi, obtenint un 95%. Aquest fet és degut presumiblement a la seua alçada, que li permet una distinció notable de la resta de classes, exceptuant els individus juvenils.

**Taula 3.** Resultats de la Fiabilitat Global per a la classificació amb el MDSn.

	Sòl nu		Canya		Pi		Tamaríu	
	<b>S1</b>	Si	<b>C1</b>	No	<b>P1</b>	R	<b>T1</b>	Si
	<b>S2</b>	Si	<b>C2</b>	No	<b>P2</b>	Si	<b>T2</b>	Si
	<b>S3</b>	Si	<b>C3</b>	No	<b>P3</b>	Si	<b>T3</b>	Si
	<b>S4</b>	Si	<b>C4</b>	Si	<b>P4</b>	Si	<b>T4</b>	Si
	<b>S5</b>	Si	<b>C5</b>	Si	<b>P5</b>	Si	<b>T5</b>	Si
	<b>S6</b>	Si	<b>C6</b>	Si	<b>P6</b>	Si	<b>T6</b>	R
	<b>S7</b>	Si	<b>C7</b>	Si	<b>P7</b>	Si	<b>T7</b>	Si
	<b>S8</b>	Si	<b>C8</b>	No	<b>P8</b>	Si	<b>T8</b>	Si
	<b>S9</b>	Si	<b>C9</b>	R	<b>P9</b>	Si	<b>T9</b>	No
	<b>S10</b>	Si	<b>C10</b>	Si	<b>P10</b>	Si	<b>T10</b>	No
<b>Percentatge (%)</b>	100		55		95		75	

c) Classificació combinant imatge satèl·lit i MDSn

La fiabilitat global per a la classificació mitjançant la combinació de la imatge satèl·lit i el MDSn (*Taula 4*) també mostra uns resultats que s'ajusten als comentats durant l'anàlisi visual, en l'apartat anterior. Al igual que ocorre amb les classificacions ja discutides, la classe temàtica "sòl nu" (que per a aquesta classificació torna a unificar les classes aigua, sòl nu i herbassar) presenta un 100% de fiabilitat global. La resta de classes milloren els resultats de la resta de classificacions, sent el tamaríu el que mostra una millora més destacable, obtenint un 100%; el mateix resultat que les canyes. Els pins mantenen els resultats obtinguts amb l'anterior classificació amb un 95% (sent la mateixa mostra de validació la que no resulta correcta), reforçant l'argument de la seua alçada com a característica distintiva per facilitar la seua classificació.

**Taula 4.** Resultats de la Fiabilitat Global per a la classificació combinant imatge satèl·lit i MDSn.

	Sòl nu		Canya		Pi		Tamaríu	
	<b>S1</b>	Si	<b>C1</b>	Si	<b>P1</b>	R	<b>T1</b>	Si
	<b>S2</b>	Si	<b>C2</b>	Si	<b>P2</b>	Si	<b>T2</b>	Si
	<b>S3</b>	Si	<b>C3</b>	Si	<b>P3</b>	Si	<b>T3</b>	Si
	<b>S4</b>	Si	<b>C4</b>	Si	<b>P4</b>	Si	<b>T4</b>	Si
	<b>S5</b>	Si	<b>C5</b>	Si	<b>P5</b>	Si	<b>T5</b>	Si
	<b>S6</b>	Si	<b>C6</b>	Si	<b>P6</b>	Si	<b>T6</b>	Si
	<b>S7</b>	Si	<b>C7</b>	Si	<b>P7</b>	Si	<b>T7</b>	Si
	<b>S8</b>	Si	<b>C8</b>	Si	<b>P8</b>	Si	<b>T8</b>	Si
	<b>S9</b>	Si	<b>C9</b>	Si	<b>P9</b>	Si	<b>T9</b>	Si
	<b>S10</b>	Si	<b>C10</b>	Si	<b>P10</b>	Si	<b>T10</b>	Si
<b>Percentatge (%)</b>	100		100		95		100	

5.3.2. Matriu de confusió

Amb la intenció de facilitar la comprensió dels resultats mostrats per les matrius de confusió, es recorda que la fiabilitat del productor mostra el percentatge d'encert de la classificació (mostres ben classificades d'una classe dividit el total de mostres d'aquesta), mentre que la fiabilitat de l'usuari mostra la relació entre el total de mostres classificades com a una classe amb les que realment pertanyen a aquesta (mostres ben classificades d'una classe dividit el total de mostres classificades per a aquesta classe), dit amb altres paraules, mostra el percentatge de fiabilitat que pot tenir la persona que interpreti el mapa temàtic al veure un píxel de cada classe pertinent.

a) Classificació amb imatge satèl·lit

La matriu de confusió per a la classificació la imatge satèl·lit (*Taula 5*) mostra uns resultats que s'ajusten als comentats durant l'anàlisi visual i als de la fiabilitat global. És per aquest motiu que les classes temàtiques aigua, sòl nu i herbassar presenten un 100% de fiabilitat del productor, així com un 100% de fiabilitat de l'usuari, exceptuant la classe "herbassar", que per a aquesta obté un 91%. El que ocorre en el cas d'aquesta classe és que totes les mostres que s'han classificat com a herbassar, corresponien a aquesta classe en la realitat, però a més, s'han classificat com a tal alguns píxels pertanyents a mostres de la classe "tamariu".

La classe temàtica "canya", la fiabilitat del productor és d'un 90%, mentre que la de l'usuari del 100%. S'aprecia que en una de les seues mostres de validació la mitat de la superfície ha estat classificada erròniament com a tamariu, i per tant, es comptabilitza com a que s'ha classificat sencera com a tal, considerant-se una errata. No apareix classificat com a canya en cap mostra d'altres classes temàtiques.

Per al pi, tant la fiabilitat del productor com la de l'usuari són del 90%. Ha mostrat errors en algunes mostres de validació, confonent-se amb tamariu (principalment). A més a més, apareix classificat com a pi en una de les mostres de tamariu.

El tamariu mostra resultats més adversos, com s'ha pogut observar amb la fiabilitat global. Presenta una fiabilitat del productor i d'usuari de 80%. S'han obtingut errors en algunes mostres de validació, confonent-se amb pi i herbassar. Per altra banda, apareix classificat com a tamariu en una mostra de la classes "canya" i en altra de "pi".

Com a anàlisi final podem veure que per a 60 possibles encerts positius (10 per classe temàtica), s'han obtingut un total de 56 (si es suma la diagonal de les classes temàtiques), el qual suposa un 93% d'encert per a la classificació amb imatge satèl·lit.

**Taula 5.** Resultats de la Matriu de Confusió per a la classificació amb imatge satèl·lit.

		CLASSE REAL						Fiabilitat de l'usuari		
		Aigua	Sòl nu	Herbassar	Canya	Pi	Tamariu			Σ
CLASSIFICACIÓ DEL MÈTODE	Aigua	10	0	0	0	0	0	10	10/10	100%
	Sòl nu	0	10	0	0	0	0	10	10/10	100%
	Herbassar	0	0	10	0	0	1	11	10/11	91%
	Canya	0	0	0	9	0	0	9	1	100%
	Pi	0	0	0	0	9	1	10	9/10	90%
	Tamariu	0	0	0	1	1	8	10	8/10	80%
	Σ	10	10	10	10	10	10	60		
Fiabilitat del productor		10/10	10/10	10/10	9/10	9/10	8/10			
		100%	100%	100%	90%	90%	80%			

b) Classificació amb MDSn

La matriu de confusió per a la classificació amb MDSn (*Taula 6*) també mostra uns resultats que s'ajusten als comentats durant l'anàlisi visual i als de la fiabilitat global. Al igual que ocorre amb la classificació amb imatge satèl·lit, la classe temàtica "sòl nu" (que



per a aquesta classificació unifica les classes aigua, sòl nu i herbassar) presenta un 100% tant de fiabilitat del productor com de l'usuari.

Pel que fa a la classe temàtica "canya", mostra un 60% de fiabilitat del productor i 67% de l'usuari, empitjorant considerablement els resultats de l'anterior classificació, com ja s'ha vist durant la discussió de la fiabilitat global. S'aprecia que gran part de les mostres de canya s'han classificat erròniament com a tamariu (el 40% restant) i que, a més, apareix classificat com a canya en dos de les mostres de validació de tamariu i en una de pi, mostrant una confusió a l'hora de classificar aquestes classes.

El tamariu per la seua part presenta un 80% de fiabilitat del productor (el 20% restant s'ha classificat erròniament com a canya, com ja s'ha vist anteriorment), i un 67% de fiabilitat d'usuari (el 33% restant ha estat classificat com a tamariu dintre de les mostres de canya, un total de 4 mostres).

La classe temàtica "pi" mostra uns resultats considerablement millors per a aquesta classificació que les altres espècies vegetals, amb una fiabilitat del productor del 90% (una mostra ha estat classificada com a canya) i 100% per a la fiabilitat d'usuari (no s'ha classificat com a pi cap píxel de les mostres d'altres classes temàtiques). Aquests resultats ja els observem amb la fiabilitat global, intuïnt-se l'elevada alçada d'aquesta espècie com a característica distintiva.

A mena d'anàlisi final podem veure que per a 40 possibles encerts positius (10 per classe temàtica), s'han obtingut un total de 33, el qual suposa un 83% d'encert per a la classificació amb MDSn, resultats clarament inferiors als de la classificació anterior.

**Taula 6.** Resultats de la Fiabilitat Global per a la classificació amb MDSn.

		CLASSE REAL					Fiabilitat de l'usuari	
		Sòl nu	Canya	Pi	Tamariu	Σ		
CLASSIFICACIÓ DEL MÈTODE	Sòl nu	10	0	0	0	10	10/10	100%
	Canya	0	6	1	2	9	6/9	67%
	Pi	0	0	9	0	9	9/9	100%
	Tamariu	0	4	0	8	12	8/12	67%
	Σ	10	10	10	10	40		
Fiabilitat del productor		10/10	6/10	9/10	8/10			
		100%	60%	90%	80%			

c) Classificació combinant imatge satèl·lit i MDSn

La matriu de confusió per a la classificació combinant imatge satèl·lit i MDSn (Taula 7) torna a mostrar uns resultats que s'ajusten als comentats durant l'anàlisi visual i als de la fiabilitat global. Al igual que ocorre amb la classificació amb imatge satèl·lit, la classe temàtica "sòl nu" (que per a aquesta classificació també unifica les classes aigua, sòl nu i herbassar) presenta un 100% tant de fiabilitat del productor com de l'usuari.

En aquest cas, la classe temàtica "canya" millora els resultats de les anteriors classificacions i obté un 100% de la fiabilitat del productor, és a dir, totes les seues mostres de validació han sigut ben classificades; mentre que per a la fiabilitat de l'usuari

mostra un 91%, ja que una mostra de validació de la classe “pi” ha estat classificada com a “canya”.

El pi mostra uns resultats semblants a les anteriors classificacions, amb un 90% de fiabilitat del productor (el 10% restant, o el que és el mateix, una mostra d’avaluació, ha estat classificat com ha canya, com s’ha comentat anteriorment) i un 100% de fiabilitat de l’usuari.

La última espècie vegetal millora considerablement els seus resultats. D’aquesta manera el tamariu destaca amb un 100% per a ambdós fiabilitats.

Finalment, com a anàlisi final d’aquesta classificació on es combina la imatge satèl·lit i el MDSn, podem veure que per a 40 possibles encerts positius (10 per classe temàtica), s’han obtingut un total de 39, el qual suposa un 98% d’encert, sent la classificació amb millors resultats, com ja passava amb la fiabilitat global, i s’apreciava amb l’anàlisi visual comparatiu.

**Taula 7.** Resultats de la Fiabilitat Global per a la classificació combinant imatge satèl·lit i MDSn.

		CLASSE REAL					Fiabilitat de l'usuari	
		Sòl nu	Canya	Pi	Tamariu	Σ		
CLASSIFICACIÓ DEL MÈTODE	Sòl nu	10	0	0	0	10	1	100%
	Canya	0	10	1	0	11	10/11	91%
	Pi	0	0	9	0	9	1	100%
	Tamariu	0	0	0	10	10	1	100%
	Σ	10	10	10	10	40		
Fiabilitat del productor		1	1	9/10	1			
		100%	100%	90%	100%			

## 6. CONCLUSIONS

En aquest últim apartat del treball s’exposaran les consideracions finals d’aquest estudi, seguint un recorregut per les diferents fases.

La fase prèvia a l’elaboració de les classificacions és de vital importància. Realitzar un processament precís de totes les dades que s’utilitzaran marcarà la qualitat i fiabilitat dels resultats. Per a la imatge satèl·lit, sense la correcció atmosfèrica, els valors espectrals haurien estat distorsionats; i sense l’ortorrectificació, el desplaçament de la imatge hauria dificultat l’adjudicació de les mostres de les diferents classes temàtiques (i per tant les avaluacions posteriors) així com la classificació combinada, ja que es perdria la correlació espacial entre la imatge satèl·lit i els models digitals. Cal assenyalar que les imatges del satèl·lit Worldview-4 només recullen dades en quatre bandes espectrals (blau, verd, roig i infraroig), i que per tant els resultats es podrien millorar utilitzant altres que presenten més bandes.

Per al cas del processament del núvol de punts aquesta importància s’evidencia sobretot per al cas del MDE, ja que degut a la naturalesa topològica de la zona estudiada,

l'elaboració d'aquest tipus de model es veu dificultat, requerint l'elaboració de varis d'aquests models amb diverses grandàries de finestra per tal de poder verificar estadísticament el que més s'ajusta a la realitat, i per tant, millors resultats donarà a l'hora de calcular el MDSn, que serà la base de dues de les classificacions objectiu. Hi ha altres algoritmes per a l'extracció del MDE a partir de dades LiDAR i que convindria analitzar per tal de millorar els resultats obtinguts en el present estudi.

També té una gran importància la selecció de les mostres que s'utilitzaran tant per a classificar com per avaluar els resultats. Les primeres perquè marcaran la referència que seguirà el software per tal de dur a terme la classificació de cada classe temàtica en concret, i les segones perquè seran les que es reflectiran en les avaluacions estadístiques dels resultats.

Pel que fa als resultats, és important senyalar que tots els mètodes utilitzats per avaluar-los (anàlisis estadístics i visuals comparatius) presenten una correlació. Aquest fet ens permet treure conclusions sobre la qualitat de les classificacions d'una manera més senzilla i fiable. En general s'aprecien bons resultats alhora de diferenciar les zones amb vegetació de les que no en tenen, presentant-se les majors dificultats amb la diferenciació i classificació de les espècies vegetals. La classificació que ha presentat uns millors resultats ha estat la combinació de la imatge satèl·lit i el MDSn, ja que millora clarament a les altres dues. Per altra banda amb la que s'ha fet servir només el MDSn els resultats són menys fiables i fidels a la realitat, degut al fet que únicament utilitza les alçades de les espècies vegetals, i entre tamarius i canyes es donaven confusions. Per a la classificació amb només la imatge satèl·lit, els resultats són, en línies generals, lleugerament menys precisos que amb la de la combinació amb el MDSn, exceptuant per a la classe temàtica "tamariu", on només combinant ambdues fonts de dades s'ha pogut classificar satisfactòriament.

Es conclou que amb aquest treball s'ha verificat com, seguint la metodologia descrita, és possible classificar la vegetació predominant del llit d'un riu d'una manera precisa mitjançant la combinació de dades tractades amb SIG per tal d'elaborar-hi mapes temàtics i bases de dades on es pugui reflectir la realitat, facilitant la seua comprensió i estudi.

Per finalitzar, comentar que els resultats obtinguts tant en les classificacions com en la realització dels models es podrien haver millorat, cercant i aplicant altres metodologies, però al tractar-se d'un treball final de grau, no s'ha considerat oportú ampliar-hi tant les dimensions del mateix, ni s'ha disposat del temps necessari per a realitzar-ho.



## 7. REFERENCIES

### 7.1. BIBLIOGRAFIA

- Al Dousai, A. i Uddin, S. (2010). Cost Effective Digital Elevation Model using ASTER Stereo Data. *European Journal of Scientific Research*, 41(4), 526-542.
- Brizuela, A.B., Aguirre, C.A., Velasco, I. (2007). Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal. *Teledetección - Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional*.
- Costa, M. (1999). *La vegetación y el paisaje en las tierras valencianas*. Madrid, España. Editorial-Rueda.S.L.
- Estornell, J. (2010). *Teledetección Aplicada a las Ciencias Ambientales: Prácticas con ArcGIS y gvSIG*. Valencia, España. Editorial UPV.
- Gil, J. B. (2019). Estudio de abandono de parcelas agrícolas mediante datos LiDAR (trabajo de fin de grado). Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Politécnica Superior de Gandía, Gandía.
- Jiménez-Ruiz, Sánchez-Martínez, F.J. 2015. I+D+i aplicada al control de especies invasoras en ecosistemas fluviales mediterráneos. El caso de la caña común (*Arundo donax* L.). *Ecosistemas* 24(1): 32-35. Doi.: 10.7818/ECOS.2015.24-1.06.
- Labrador, M., Évora, J.A., Arbelo, M. (2012). *Satélites de Teledetección para la gestión del territorio*. Tenerife, España. Edita: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias.
- Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., De Poorter, M. 2000. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species: A selection from the Global Invasive Species Database. The Invasive Species Specialist Group (ISSG), a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN).
- Mandujano, S., Mulero Pazmany, M.C. and Rísquez-Valdepeña, A. (2017) Drones: una nueva tecnología para el estudio y monitoreo de fauna y hábitats. *Agroproductividad*. 2017; 10: 79–84., 10 (10). pp. 79-84.
- Mulero-Pázmány M., Barasona J. A., Acevedo P., Vicente J., Negro J.J. (2015). Unmanned Aircraft Systems complement biologging in spatial ecology studies. *Ecology and Evolution*, 5, 4808-4818.
- Sánchez, J.M. (2016). Análisis de Calidad Cartográfica mediante el uso de Matriz de Confusión. *Pensament Matemàtic*, 6(2), 009-026.

- Wallace, L., Lucieer, A., Malenovsky, Z., Turner, D., Vopenka, P. 2016. Assessment of Forest Structure Using Two UAV Techniques: A Comparison of Airborne Laser Scanning and Structure from Motion (SfM) Point Clouds. *Forests*, 7 (62).

## 7.2. WEBGRAFIA

- Confederación Hidrográfica del Júcar (2013). *Memoria - Anejo 6: Sistemas de explotación y balances*. València: Confederación Hidrográfica del Xúquer. Recuperat el 3 de Juliol de 2019, de: [https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/Anejos/PHJ\\_Anejo06\\_SE-Balances.pdf](https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/Anejos/PHJ_Anejo06_SE-Balances.pdf)
- Marín, D. (2016). *Lanzamiento del WorldView 4 (Atlas V 401)*. Naukas. Recuperat el 2 de Setembre de 2019, de: <https://danielmarin.naukas.com/2016/11/13/lanzamiento-del-worldview-4-atlas-v-401/>

La informació sobre les característiques de les espècies vegetals *Pinus halepensis* i *Tamarix gallica* ha estat recuperada, el dia 4 de setembre de 2019, de: <http://www.arbolapp.es>. Es tracta d'una pàgina web elaborada per "Real Jardín Botánico" i "CSIC" amb el recolzament de la "FECYT".

Les figures 10 i 14 han estat extretes, el dia 26 de Juliol de 2019, de: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/>. Es tracta de la pàgina web oficial del software utilitzat.

La figura 7 ha estat extreta, el dia 7 de Juliol de 2019, de: <https://www.geoimage.com.au/services/imageprocessing>.