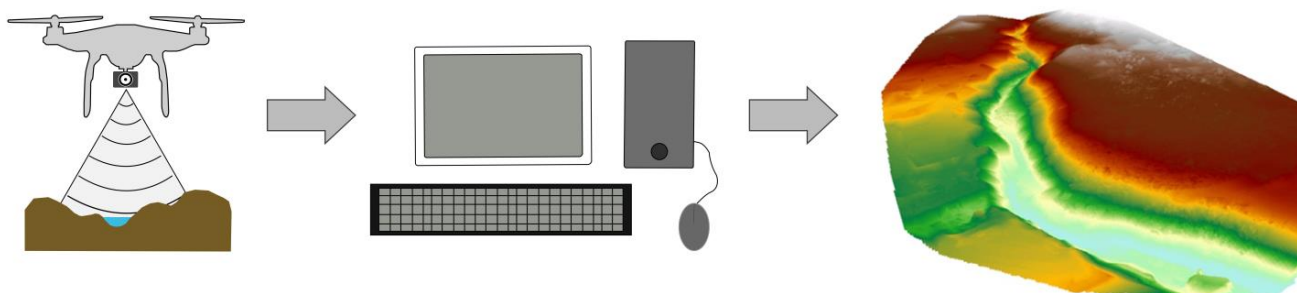


# ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON

*El cas del Còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella*

*(Alt Empordà)*



Treball Final de Grau  
Grau en Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Universitat de Girona  
Facultat de Lletres

Autor: William Morales Rios  
Tutor/a: Dra. Anna Ribas

Juliol de 2018

*Agraïments:*

*Dono gràcies a la meva tutora, l'Anna Ribas,  
per la seva dedicació i implicació en aquest treball.*

*Gràcies a tota la docència que m'ha format durant aquests quatre anys,  
sobretot a aquells que m'han fet veure el gran potencial del  
món dels SIG i les noves tecnologies aplicades a la Geografia.*

*Agraeixo a qui em va fer veure possible la realització d'aquest treball i sobretot,  
la seva ajuda i aportació de l'aeronau en l'execució del vol, en Nil Sicart.*

*Gràcies a ABM,  
per donar-me l'ajuda, el suport constant i la formació  
mínima per a la realització d'aquest treball.*

*Agraeixo a la meva família, en particular als meus pares,  
tota la paciència que han tingut amb mi i sobretot,  
gràcies a tu per aguantar-me i donar-me forces.*

## RESUM

El treball busca avaluar la precisió d'una topografia captada a vol de dron. Per tal de fer-ho es crea un MDT a partir d'altimetria extreta de fonts oficials i un altre MDT a partir de la combinació d'aquests arxius oficials i els arxius obtinguts amb el dron. Amb la caracterització dels dos models digitals, s'ha determinat que el nou MDT creat és més precís i fiable. A partir d'aquests dos MDT s'elaboren dues simulacions hidràuliques distintes amb l'objectiu d'apreciar certes diferències en els resultats d'inundabilitat. Amb aquests resultats s'ha portat a terme una anàlisi de les diferències en l'exposició al risc d'inundació entre ambdós models per tal de prendre consciència sobre la importància de la precisió i l'actualització d'aquests tipus d'arxius.

**Paraules clau:** Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG); dron; ortomosaic; Lidar; núvol de punts; Model Digital d'Elevació o Model Digital de Superfície; Model Digital del Terreny; topografia; estudi hidrològic; estudi hidràulic; inundabilitat; risc d'inundació.

## ABSTRACT

The project searches to evaluate the precision of a topography captured by drone. In order to do it, a DTM is created from a topography extracted from official web sources and, another DTM is created by the combination of these official files and the files obtained by the drone. With the characterization of the two digital models, it is determined that the DTM created is more accurate and reliable. Based on these two MDT's, two different hydraulic simulations are elaborated in order to appreciate the differences in flood results. With these results, it is analysed the differences in flood risk exposure between both models in order to become aware of the importance of the accuracy and updating of these files.

**Key words:** Geographic Information System (GIS); drone; orthomosaic; LIDAR; Point Cloud; Digital Elevation Model or Digital Surface Model; Digital Terrain Model, topography, Hydrological study; Hydraulic Study; floodiness; flood risk.

## ÍNDEX

1.	INTRODUCCIÓ .....	5
2.	OBJECTIUS .....	7
3.	ÀREA D'ESTUDI.....	8
4.	METODOLOGIA .....	10
4.1	Elecció de l'àmbit d'estudi .....	11
4.2	Esquema del procés a seguir .....	12
4.3	Pre-vol o planificació del vol de dron .....	13
4.3.1	Inspecció física i legal de l'àrea de vol .....	13
4.3.2	Elecció del dron a utilitzar .....	14
4.3.3	Planificació del vol.....	14
4.4	Execució del vol de dron.....	16
4.5	Processament d'imatges amb Pix4D Mapper .....	16
4.6	Comprovació i correcció dels arxius.....	18
4.7	Estudi hidrològic .....	20
4.7.1	Delimitació de la conca hidrogràfica.....	21
4.7.2	Càlcul de cabals a partir del mètode racional.....	21
4.7.3	Obtenció d'hidrogrames .....	26
4.8	Estudi hidràulic .....	27
4.8.1	Preparació d'arxius i processament amb Hec-Ras 5.0.3.....	27
4.8.2	Exportació dels arxius .....	29
4.9	Tractament dels resultats hidràulics .....	30
5.	RESULTATS .....	31
5.1	Caracterització dels arxius: ortofotomapa i MDT .....	31
5.2	Estudi hidrològic .....	35
a)	Càlcul de cabals a partir del mètode racional .....	35
b)	Obtenció dels hidrogrames.....	38
c)	Abstracció dels resultats hidrològics .....	39
5.3	Estudi hidràulic .....	40
5.4	Estudi d'inundabilitat .....	42
5.4.1	Superfície inundable .....	42

---

5.4.2	Superfície inundable: tram alt .....	43
5.4.3	Superfície inundable: tram mig.....	44
5.4.4	Superfície inundable: tram baix .....	45
5.5	Zonificació de l'Espai Fluvial .....	45
A.	<i>ZEF: tram alt</i> .....	46
B.	<i>ZEF: tram mig</i> .....	47
C.	<i>ZEF: tram baix</i> .....	47
5.6	Anàlisi del risc d'inundació .....	48
5.6.1	El risc d'inundació .....	48
5.6.2	El perill de la inundació .....	49
5.6.3	L'exposició al risc d'inundació.....	51
5.6.4	La vulnerabilitat al risc de la inundació.....	54
5.7	Valoració de l'impacte potencial del risc d'inundació.....	57
6.	DISCUSSIÓ .....	58
7.	CONCLUSIONS .....	60
8.	PROPOSTES DE MILLORA I APROFITABILITAT .....	62
9.	BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA .....	63
10.	ANNEXOS.....	66

## 1. INTRODUCCIÓ

Estem enfocant correctament els estudis ambientals d'àmbit local? En ple segle XXI potser caldria qüestionar-ho. Actualment l'avenç tecnològic ha dirigit el món cap a una era de la informació on l'intercanvi de dades, arxius i documents és diàriament infinit. L'actualització amb una periodicitat cada vegada més curta de dades també comença a ser molt rellevant, per la qual cosa calen avenços tecnològics constants que hi donin resposta. En alguns àmbits ja s'ha après a aprofitar tota aquesta tecnologia però, sempre en queden d'altres on encara cal potenciar-la més. Un d'aquests àmbits són els estudis ambientals d'àmbit local.

En el cas de Catalunya, a l'hora de realitzar un estudi ambiental es recorre als arxius base dels visors i pàgines web oficials. Actualment l'antiguitat dels arxius cartogràfics disponibles en aquestes fonts se situa entre els anys 2009 i 2016. L'actualització d'aquests arxius es podria qualificar de relativa, ja que si bé es pot considerar acceptable una actualització cada 5 o 10 anys en el cas que l'estudi sigui d'un àmbit supramunicipal, comarcal o major, serà indubtablement lògic que aquestes siguin les fonts d'informació principals. Però, en el cas que l'estudi sigui d'àmbit local, realment aquests arxius que fins ara es veien com a actualitzats, deixen de ser-ho. Alhora és així perquè es considera que a una escala major, també cal una major precisió i, per tant, també una actualització dels arxius base per a obtenir un resultat afí a la realitat actual. A més a més, no s'ha d'oblidar que avui dia l'actualització dels estudis ambientals és realment important davant els reptes que plantegen els impactes del canvi climàtic que estem vivint i que vindran. S'ha de combatre el canvi climàtic global a escala local, així doncs, cal un àmbit local estudiat de forma detallada i actualitzada.

Un element clau, per tant, és l'actualització continuada dels arxius de dades. Però això no vol dir que sigui l'únic avantatge. L'aparició i l'ús de nova instrumentació de presa de dades, com serien els drons, pot suposar una excel·lent oportunitat d'estalvi econòmic i temporal d'aquelles empreses que tinguin com a objecte de treball àmbits relativament locals. Un clar exemple el trobaríem en la tasca que suposa l'obtenció de topografia de detall. Mentre un treball de topografia pot suposar com a mínim un parell de dies de feina per a realitzar un aixecament topogràfic a escala micro, un dron pot obtenir el mateix tipus d'informació en tan sols uns minuts. Si aquesta és la diferència temporal, us imagineu la diferència econòmica?

Com a estudiant del Grau en Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient i com a interessat en el món dels Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG), de la seva aplicabilitat en temes ambientals, i dels drons, he volgut interrelacionar aquestes eines amb la meua experiència durant les pràctiques a ABM, Serveis d'Enginyeria i Consulting, a l'hora de formular aquest Treball Final de Grau (TFG).

Encara que l'estudi se centri en la petita conca fluvial del Còrrec dels Lladres del municipi de Garriguella, a l'Alt Empordà, el treball no busca estudiar un espai en concret, sinó utilitzar un

estudi de cas de reduïdes dimensions tan sols per a testar un nou mètode per a la realització d'estudis ambientals d'àmbit local.

Així doncs, davant el context tecnològic, informàtic o digital actual en què l'aprofitament dels SIG és cada cop major, es creu oportú anar més enllà i potenciar l'aplicabilitat del dron en estudis de caire geogràfic, a fi d'obtenir arxius cartogràfics propis i actualitzats a l'hora de realitzar estudis ambientals a escala local.

## 2. OBJECTIUS

La finalitat d'aquest treball és avaluar la millora que pot suposar per a l'elaboració d'estudis ambientals d'àmbit local, l'obtenció d'arxius propis a partir d'un vol de dron. En aquest cas l'estudi s'enfoca en la problemàtica de la inundabilitat. Amb l'ús d'una aeronau no tripulada es volen obtenir arxius cartogràfics actualitzats, a partir dels quals es pretén millorar el nivell de precisió dels arxius de fonts oficials.

L'àmbit d'estudi és la conca del Còrrec dels Lladres, al municipi de Garriguella. Els resultats que s'obtinguin es compararan amb els obtinguts en l'estudi paral·lel que es realitzarà a partir d'arxius oficials no modificats. Així doncs, l'objectiu últim persegueix experimentar les potencialitats i la viabilitat de l'actualització d'arxius cartogràfics a partir de l'ús d'aquesta nova tecnologia.

Els objectius específics d'aquest treball són els següents:

- Planificar un vol de dron i realitzar-lo segons les necessitats dels arxius resultants amb la intenció d'obtenir un model 3D de l'àmbit d'estudi.
- Identificar els processos i softwares necessaris per a fer el tractament d'arxius propis.
- Valorar l'òptim processament de les imatges resultants segons l'arxiu que es vulgui obtenir.
- Determinar la importància d'un ortomosaic actual en relació a un ortofotomapa d'una font oficial.
- Millorar el MDT obtingut amb les dades Lidar de l'ICGC a partir de la informació captada pel dron.
- Demostrar la utilitat dels arxius propis utilitzant-los en un cas pràctic real.
- En el cas pràctic: realitzar un estudi hidrològic de l'àrea d'estudi a fi d'obtenir els  $Q^1$  segons cada  $T^2$ .
- Avaluar si la utilització d'un MDT o altre (un procedent de fonts oficials i l'altre captat pel dron) provoca diferències significants en la superfície exposada al perill d'inundació per a cada T (T10, T100 i T500).

---

<sup>1</sup> Cabals. És la quantitat d'aigua en  $m^3/s$  que porta un corrent d'aigua.

<sup>2</sup> Període de retorn o interval de recurrència. Temps mig entre dues avingudes d'aigua amb cabals iguals o superiors a un de determinat.

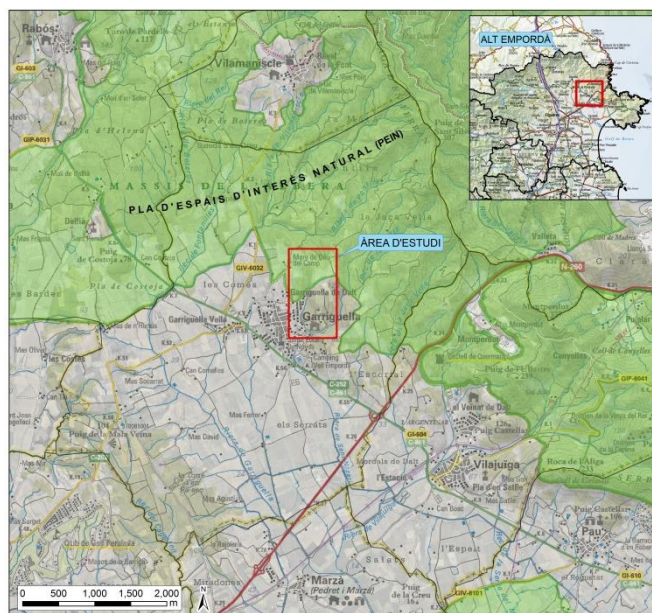


### 3. ÀREA D'ESTUDI

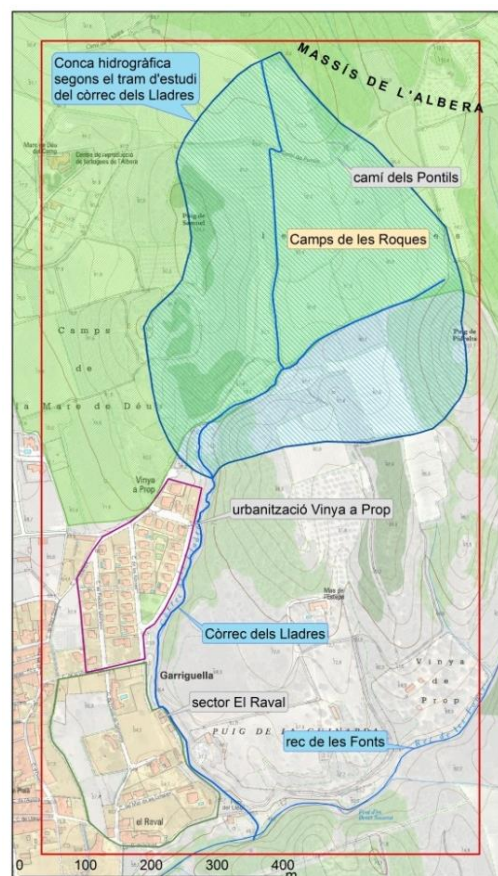
L'àrea d'estudi es troba al municipi de Garriguella, situat al nord-est de la comarca de l'Alt Empordà. El municipi se situa als peus del massís de l'Albera, que forma part del Pla d'Espais d'Interès Natural (PEIN), i per tant, representa part del límit entre la gran plana al·luvial alt-empordanesa al sud i els Pirineus catalans al nord. Aquest contrast morfològic entre les muntanyes, la gran plana i el litoral és el que caracteritza aquesta comarca i és també el que provoca que la conca hidrogràfica de la Muga, una de les principals de la comarca, compti amb rius curts i de gran irregularitat en el seu calat. En èpoques de fortes pluges es donen importants inundacions i, en altres èpoques ni tan sols discorre flux superficial, una clara característica del mediterrani.

Tot i la gran extensió del terme municipal de Garriguella, al municipi tan sols hi resideixen 851 habitants (IDESCAT, 2017). Dins el terme municipal, el nucli se situa en la part central i es troba notablement comunicat a través de la carretera C-252, nom que rep en passar per aquest municipi, que travessa la comarca de l'extrem est (Roses) fins a l'extrem oest (Maçanet de Cabrenys) resseguint el límit entre la plana i els Pirineus. L'àmbit d'estudi té lloc en la part nord-oriental d'aquest nucli, on es localitza el pas del Còrrec dels Lladres, el curs fluvial objecte d'estudi. Aquest curs fluvial es presenta com a límit oriental del nucli de nord a sud. L'àrea objecte d'estudi comprèn alhora part del sector urbanitzat de la part oriental del municipi: la urbanització Vinya a Prop al nord, i el sector El Raval, al sud.

**Figura 2.** Àrea d'estudi: curs fluvial, conca hidrogràfica i sectors urbanitzats. Font: elaboració pròpia a partir de cartografia de l'ICGC.



**Figura 1.** Situació de l'àrea d'estudi. Font: elaboració pròpia a partir d'arxius extrets de l'ICGC.



El Còrrec dels Lladres neix a 110 m, al nord del pas del camí de Pontils, i discorre 470 m pels camps de Les Roques fins a arribar al nucli. El curs fluvial delimita l'àmbit urbanitzat estudiat per l'extrem est durant 600 m fins a desembocar les seves aigües al Rec de les Fonts, en sortir del sector El Raval.

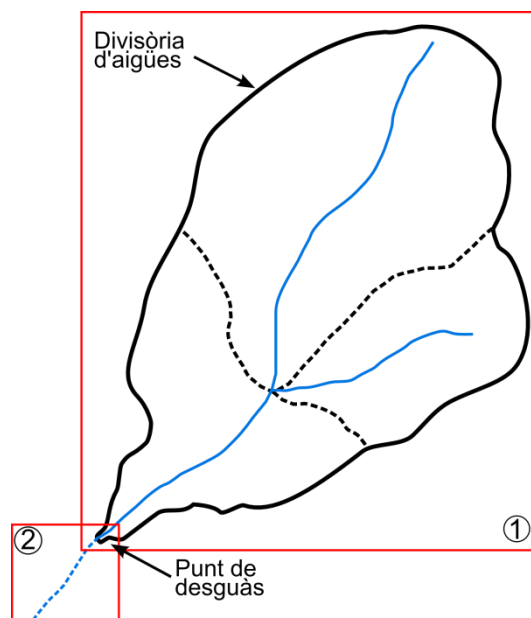
## 4. METODOLOGIA

Les possibilitats d'obtenir informació cartogràfica a partir del vol d'un dron són infinites. És imprescindible tenir en compte tant les característiques de l'àmbit d'estudi com les del dron abans de començar el procés.

En el cas d'aquest projecte, amb l'objectiu d'estudiar el risc d'inundabilitat d'algun espai, es tindrà per àmbit d'estudi tota una conca hidrogràfica i, sobretot, part de la llera on es dona el desguàs d'aquest flux superficial (veure figura 3). La superfície d'estudi és una variable primordial en la decisió de l'àmbit de vol. Així doncs, segons l'interès de l'investigador es pot realitzar el vol de dron en tota la conca d'estudi, sobretot per a estudis en què sigui necessària la detecció de la vegetació; o bé, al llarg del tram de llera estudiada, per exemple, per a l'obtenció d'una topografia de detall d'aquest terreny. Les finalitats són múltiples i aquestes influeixen en l'elecció del dron, la càmera i la superfície d'estudi. En tot cas, sigui quina sigui l'àrea de vol desitjada provisionalment, caldrà tenir en compte la superfície que suposa i posar-la en relació amb l'alçada en què es donarà el vol. El dron, per tant, permet un nombre infinit de possibilitats a l'hora de volar l'àmbit d'estudi.

En el cas d'aquest projecte s'ha realitzat el vol de dron en tota una conca hidrogràfica amb la intenció d'obtenir un ortofotomapa i garantir una actualització de la caracterització de la conca: Tot i això aquest vol no és imprescindible, en canvi, sí que ho és el vol en el tram de llera en què s'estudiarà la inundabilitat. Una conca hidrogràfica completa pot representar una superfície excessivament gran, per la qual cosa s'ha hagut de jugar amb les variables: superfície, alçada i precisió (veure apartat 4.3.3). A més d'aquestes variables, i per tal de facilitar aquest treball experimental, s'ha optat per la cerca d'un curs fluvial el més natural possible, sense estructures que interceptin el flux superficial d'aigua. S'ha intentat alhora estudiar una conca en què la seva llera no estigui molt coberta per vegetació, la qual podria fer distorsionar els resultats topogràfics aportats pel dron. En aquest sentit, cal tenir en compte les característiques del sensor o càmera que s'utilitzi.

Un altre requisit important en l'elecció de la conca per a aquest estudi ha estat el seu grau d'urbanització. L'àrea d'estudi ha de ser un espai mínimament urbanitzat per tal de poder



**Figura 3.** Representació de la conca hidrogràfica i de les dues àrees de vol. L'àrea 1 correspon al conjunt de la conca. L'àrea 2 correspon al tram de llera d'estudi on desguassen les aigües de la conca. Font: elaboració pròpia.

analitzar l'exposició al risc d'inundació. Per últim i imprescindible en l'elecció de qualsevol àrea de vol, la qüestió legal. És realment important conèixer el territori que se sobrevolarà, tant la seva morfologia com les normes que el regeixen. El vol d'una aeronau no tripulada dirigida per telecomandament ha de ser un procés estudiat amb rigorositat, la seva aplicació legal pot arribar a ser molt severa.

#### **4.1 Elecció de l'àmbit d'estudi**

Així doncs l'elecció de la conca d'estudi d'aquest projecte s'ha basat en les variables esmentades. La més important en aquest cas és la superfície, ja que es pretén sobrevolar tota una conca. Cal trobar una conca hidrogràfica de poca superfície. Per tal d'obtenir les millors opcions s'ha recorregut a una anàlisi de les conques fluvials de reduïdes dimensions mitjançant els SIG (amb el software ArcGis d'Esri). Amb la intenció d'estudiar una conca pròxima al meu lloc de residència i estudi, s'han determinat les conques hidrogràfiques en l'àmbit de les comarques de l'Alt Empordà, el Baix Empordà, la Garrotxa, el Pla de l'Estany, la Selva i el Gironès. Mitjançant la base de dades generada referent a les conques existents, es porta a terme un filtratge segons la superfície de cadascuna. A partir del filtratge s'eliminen totes aquelles conques superiors a 50 ha i inferiors a 20 ha. Les de menys de 20 ha tampoc interessaven, ja que normalment suposarien un flux superficial d'aigua gairebé inexistent. Per determinar les millors opcions entre les conques resultants es va recórrer a la simple visualització per valorar el grau d'urbanització i les condicions naturals de la llera. D'aquesta manera es va optar per la conca del Còrrec dels Lladres, al municipi de Garriguella, a l'Alt Empordà.

Amb un àmbit d'estudi definit, es dona pas al procés d'obtenció, processament i tractament de tota la informació desitjada a partir del vol de dron. Es presenta en la següent pàgina el model que se segueix per a l'obtenció dels resultats desitjats:

### 4.2 Esquema del procés a seguir

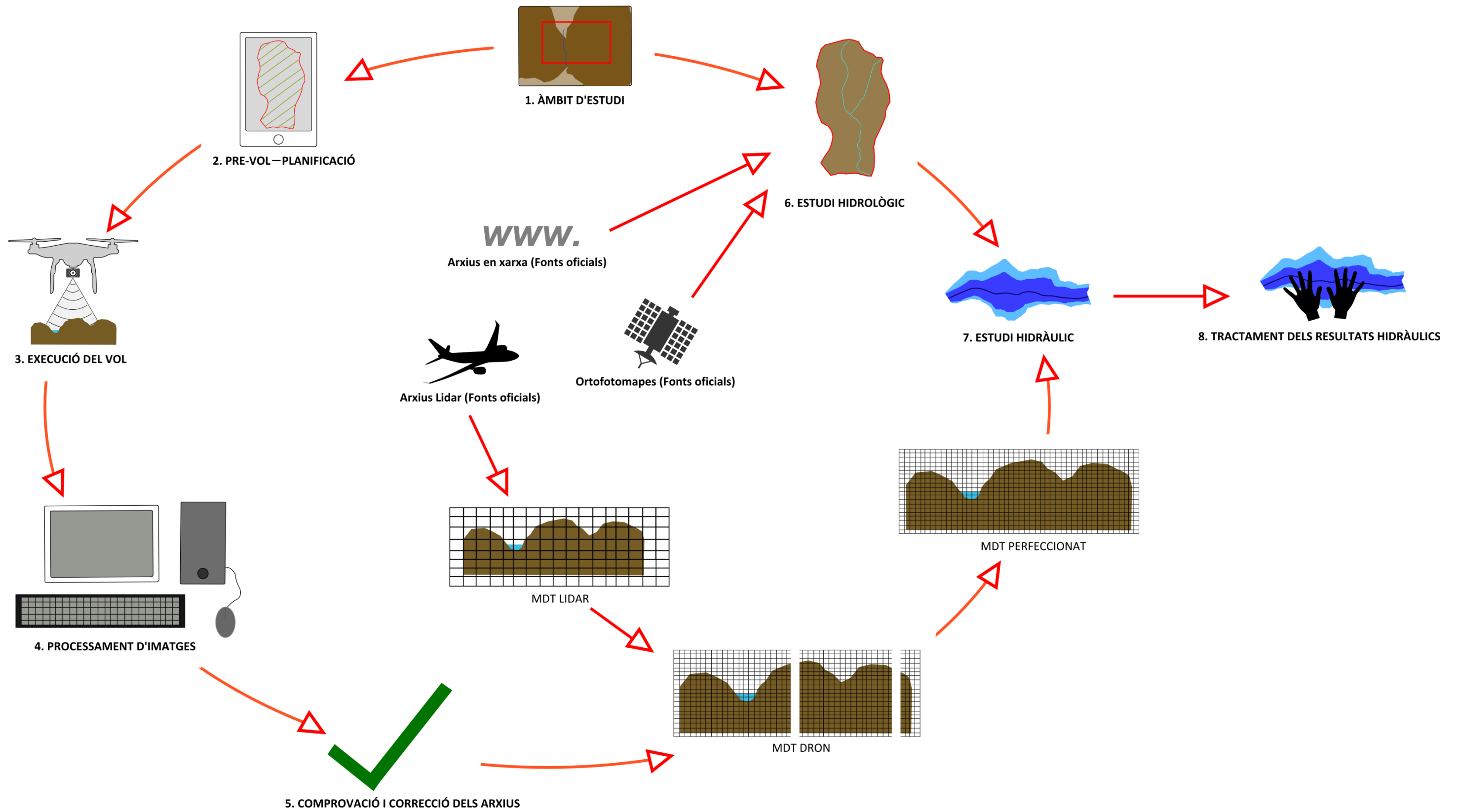


Figura 4. Representació esquemàtica de la metodologia a seguir per a portar a terme un estudi d'inundabilitat a partir dels arxius obtinguts a vol de dron. Font: elaboració pròpia.

## 4.3 Pre-vol o planificació del vol de dron

### 4.3.1 Inspecció física i legal de l'àrea de vol

La inspecció física i legal de l'àrea d'estudi abans del vol també forma part de la planificació. Cal analitzar l'espai amb la intenció d'assegurar un vol dins els termes legals. El *Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto* prohibeix explícitament el vol de dron en ciutats, pobles o llocs de reunions de persones a l'aire lliure sense autorització prèvia per part de l'AESA<sup>3</sup> i el Ministerio del Interior; també queda restringit el vol en els espais ZEPA<sup>4</sup>. Tot i que trobem més espais on cal demanar autorització per a volar, les restriccions que a simple vista podrien afectar el nostre àmbit d'estudi són les esmentades.

L'àrea d'estudi objecte del vol és majoritàriament agro-forestal. Tan sols comprèn una franja urbanitzada al marge dret de la part baixa del curs fluvial, la qual no suposa cap inconvenient, ja que la distància focal<sup>5</sup> de la càmera permetrà captar aquest espai sense necessitat de sobrevolar-lo. A més, pràcticament la meitat nord de la conca forma part del Pla d'Espais d'Interès Natural (PEIN), però no comprèn cap figura de protecció entre els nivells Ia i IV de la UICN<sup>6</sup> ni cap espai ZEPA. Així doncs, la realització del vol no necessita autorització prèvia.

A continuació, cal caracteritzar correctament el terreny d'interès per tal de tenir en compte el relleu i els elements físics capaços d'interrompre el vol de l'aeronau abans de començar amb la planificació. Inicialment es pot realitzar una anàlisi bàsica mitjançant els SIG, però sempre és convenient comprovar la morfologia de l'àmbit en persona. En aquest aspecte l'àrea d'estudi a volar se'ns presenta amb un relleu força brusc, en tan sols 1,2 km en línia recta descendeix dels 110 m a la seva capçalera fins a 46 m (m.s.n.m<sup>7</sup>) aigües avall. Quant a elements físics destorbadors, l'únic a tenir en compte és l'alçada de les edificacions i de la pròpia vegetació. Així doncs l'alçada de vol dependrà d'aquest factor i no superarà els 120 m sobre el terreny, tal com especifica la normativa vigent.

A efectes de la legislació i de la superfície que suposa l'àrea d'estudi, s'opta per efectuar un vol de tipus VLOS<sup>8</sup>, per tant, cal cercar un punt de vol des d'on es visualitzi la totalitat de l'àmbit d'estudi. Normalment el punt des d'on el pilot inicia el vol és una part elevada que assegura la visió total del vol complet. En un primer moment es va decidir com a punt de vol la part més elevada de tota la conca, el Puig de Pedralta, ja que a través de l'anàlisi d'un SIG semblava ser el punt òptim. Però el dia del vol, en el moment de realitzar la inspecció física de l'àrea d'estudi, es dona a conèixer la realitat d'aquest espai. El Puig de Pedralta està completament

<sup>3</sup> Agència Estatal de Seguretat Aèria.

<sup>4</sup> Zona d'Espacial Protecció per a les Aus.

<sup>5</sup> Distància entre el centre òptic d'una lent i el punt on la imatge queda projectada.

<sup>6</sup> Unió Internacional per a la Conservació de la Natura (de IUCN – International Union for Conservation of Nature).

<sup>7</sup> Metres sobre el nivell del mar.

<sup>8</sup> Visual Line of Sight. Tipus de vol en què el dron ha d'estar en tot moment dins del camp visual del pilot. Segons el *Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto* la distància màxima no ha de superar els 500 m de radi.

cobert per vegetació arbòria que impossibilita el camp visual de l'escenari d'estudi, així doncs cal cercar una alternativa. Amb una exhaustiva inspecció del terreny s'acaba determinant com a punt de vol l'extrem nord de la urbanització Vinya a Prop. No es tracta del punt més elevat (78 m.s.n.m), però sí el punt que ofereix un major camp visual de l'àrea a volar. Amb aquesta experiència es reflecteix la importància de la visita de camp i inspecció del terreny en la fase de pre-vol.

#### 4.3.2 Elecció del dron a utilitzar

L'aparell a utilitzar, o més ben dit, el sensor o càmera a utilitzar difereix enormement segons l'objectiu de l'estudi. Existeixen càmeres per a drons destinades a la fotografia i audiovisuals, càmeres i sensors destinats a la teledetecció i fotogrametria per a l'estudi d'agricultura de precisió (càmeres RGB, multiespectrals, hiperespectrals i tèrmiques) i altres sensors més enfocats en la topografia (Lidar). Aquest últim seria l'òptim per a la realització d'aquest projecte amb uns resultats de gran qualitat, però s'ha de reconèixer que resulta difícil disposar d'un sensor d'aquestes característiques a causa del seu elevat cost econòmic. Així i tot, afortunadament existeixen altres càmeres amb suficient capacitat per a crear una topografia del terreny suficientment fiable.

El dron utilitzat en aquest projecte és el DJI Phantom 4 Pro. Es tracta d'un quadcòpter<sup>9</sup> amb capacitat d'executar vols autònoms a través de coordenades georeferenciades via GPS<sup>10</sup>. Aquest dron incorpora una càmera fixa. Es tracta d'una aeronau de mida reduïda, ja que suposa 35 cm en diagonal (sense les hèlixs) i 1,38 kg. Arriba a una velocitat màxima de 72 km/h, pot contrarestar ràfegues de vent de fins a 36 km/h i presenta una autonomia de 30 minuts de vol. Quant a l'element més important per a portar a terme la teledetecció, la càmera, consta de 20 mpx i 60 fps<sup>11</sup>. Aquesta càmera, per les seves característiques i el seu bon geo-posicionament, permet crear models 3D a partir d'un conjunt d'imatges captades des de diferents perspectives. Així doncs, a partir d'aquest model 3D és possible obtenir una topografia.

#### 4.3.3 Planificació del vol

La mateixa causa que inspira aquest estudi, l'exploració de les possibilitats de l'avenç tecnològic, facilita el procés de planificació de vol. Actualment existeixen diversos softwares que fan possible una fàcil planificació de vol. Tot i així, el moment de vol és decisió únicament del pilot, que és qui ha de decidir un dia de vol en què les condicions meteorològiques siguin òptimes i un moment del dia en què la llum solar arribi a la superfície el més perpendicular possible per tal d'evitar un excés d'ombres. Aquest moment normalment es dona al migdia.

---

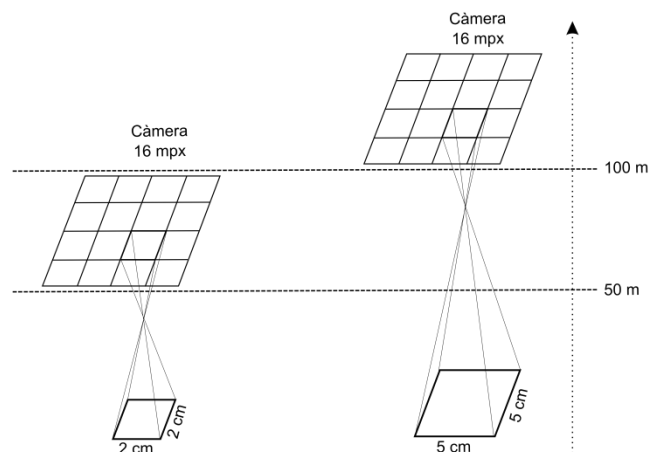
<sup>9</sup> Helicòpters de 4 hèlixs.

<sup>10</sup> *Global Positioning System* (Sistema de Posicionament Global).

<sup>11</sup> Fotogrames per segon.

El software utilitzat per a la planificació del vol és l'anomenat Pix4D Capture. Es tracta de l'aplicació per a dispositius mòbils amb més ressò en aquest àmbit actualment. L'ús d'aquest software és relativament senzill. El primer pas va ser delimitar la zona de vol sobre el mapa topogràfic o ortofotomapa que ofereix la mateixa aplicació; mentre s'ajusta l'àmbit, l'aplicació informa de la superfície de l'àrea escollida. Un cop dibuixat l'àmbit, s'anota l'alçada en què es vol realitzar el vol, que determinarà la distància focal<sup>12</sup>. Cal tenir molt en compte tots els elements capaços d'afectar la circulació de l'aparell abans de decidir l'alçada en què es treballarà. La velocitat en què circularà és un altre element que s'ha de notificar a aquest programa.

Ara bé, les variables de superfície, alçada i velocitat no són independents les unes de les altres. La relació entre les tres determina la precisió de la informació que s'obtindrà i el temps de vol. Així doncs, tenint en compte el nombre de bateries que es disposa, el temps de durada de cadascuna, i la precisió en què es desitja obtenir les imatges, s'haurà d'ajustar la planificació del vol. Es tracta simplement de valorar les diferents variables fins a trobar la solució que més satisfaci al pilot. Per a fer-ho el mateix software ho facilita, ja que combinant les tres variables esmentades s'observa com canvia la GSD<sup>13</sup>. Per tant, es pot planificar el vol segons la precisió de cm/px que es desitgi. Però s'ha de tenir en compte que la GSD inicial no correspon exactament a la resolució cm/px de la imatge final, ja que existeix un error que augmenta el cm/px entre una i tres vegades més la GSD. Un altre factor important que afecta en la precisió és el solapament entre imatges, Pix4D recomana una superposició frontal del 80% i un solapament lateral del 60%, ja que això permetrà crear punts comuns que augmentaran la precisió.



**Figura 5.** Influència de la distància focal en la GSD. Com a exemple: amb una càmera de 16 mpx, a 50 m d'alçada s'obté una GSD de 2 cm/px; a 100 m, en canvi, 5 cm/px. Font: elaboració pròpia.

El vol a la conca del Còrrec dels Lladres es va realitzar seguint els paràmetres següents:

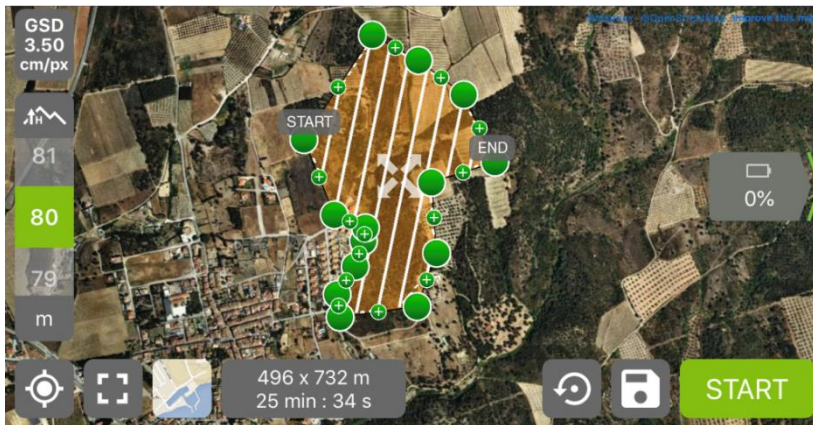
- Superfície àrea de vol: 0,401 km<sup>2</sup>
- Alçada de vol: 80 m
- Velocitat de circulació: Normal
- Solapament frontal o longitudinal: 80 %

<sup>12</sup> La distància focal o longitud focal és la distància entre el centre òptic de la lent i el punt focal.

<sup>13</sup> *Ground Sampling Distance*. Fa referència a la distància de mostreig, és a dir, a la mesura del píxel en la imatge final obtinguda, per tant, la resolució. La GSD es mesura en cm/px. Es considera bona resolució fins a 3 cm/px de GSD.



- Solapament lateral o transversal: 60 %
- GSD: 1,96 cm/px
- Temps total de vol: 16' 55''



**Figura 6.** Pla de vol des de l'aplicació Pix4D Capture per a dispositius mòbils. Es dibuixa l'àrea d'estudi objecte de vol i s'aprecien els paràmetres: alçada, superfície, temps i GSD. No es tracta del pla de vol original. Font: elaboració pròpia.

#### 4.4 Execució del vol de dron

El dia del vol, el 14 de març de 2018, en arribar al punt des d'on es portaria el control, s'assegura que les condicions meteorològiques siguin les esperades. Seguidament es comproven els nivells de bateria tant de l'aeronau com de l'emissora i el dispositiu mòbil a través del qual es visualitzarà la missió en temps real. A continuació, es calibra el dron i s'assegura la correcta connexió via *Wifi* entre els tres elements.

Un cop el pilot està segur i ha enllestit el pla de vol, envia la missió al dron a través de l'aplicació utilitzada, en aquest cas el Pix4D Capture. En la informació enviada a l'aparell s'inclou la trajectòria georeferenciada de cada punt pel qual el dron ha de sobrevolar. En iniciar el vol, el dron executa la seva missió de forma autònoma i el pilot pot supervisar el seu moviment en temps real mitjançant el mateix software.

El vol va tenir lloc entre les 12.00 i 13.00 hores amb una durada de 16 minuts. En finalitzar la missió, el dron torna al punt inicial de forma autònoma. En tractar-se d'un vol VLOS calia assegurar la visió del dron durant tota la missió.

#### 4.5 Processament d'imatges amb Pix4D Mapper

La informació captada pel dron s'emmagatzema en la targeta Micro SD que s'incorpora a la càmera. Els arxius emmagatzemats són simplement les imatges captades en format JPG. Per tal de processar les imatges es recorre al software Pix4DMapper, per tant, un altre software de Pix4D, però aquest últim es utilitzat per al processament d'arxius. Amb l'objectiu d'obtenir un bon processament, Pix4D especifica que com a mínim cal treballar amb un sistema operatiu Windows 7, 8, 10, Server 2012, de 64 bits; i, en el cas d'aquest projecte en concret, cal comptar

com a mínim amb 8GB RAM i 20 GB d'espai lliures<sup>14</sup>. En aquest projecte s'ha realitzat el processament amb un hardware de sistema operatiu Windows 10 Pro de 64 bits, 8 GB RAM i un CPU Intel Core i5.

Pix4DMapper és molt probablement el software número 1 en aquest aspecte, tot i que el major inconvenient rau en el preu del programa. El procés de tractament d'arxius amb aquest software es troba realment molt pausat.

En obrir el software i iniciar un nou projecte, se seleccionen les imatges d'interès i automàticament, el software busca punts característics comuns entre les imatges per tal d'intentar correlacionar-les. A partir d'aquests punts característics es fa una triangulació de la superfície tenint en compte tant les coordenades X i Y com Z per tal de posicionar les imatges. Un cop les imatges es troben georeferenciades es pot iniciar el processament.

El processament d'imatges amb Pix4D consta de tres blocs: processament inicial, núvol de punts i malla, i MDS, ortomosaic i índexs.

#### *a) Processament inicial*

Al processament inicial es permet definir la mida de la imatge en què es volen extreure els punts clau en comparació amb la mida inicial de les imatges. Aquest paràmetre es pot processar de manera completa, ràpida o personalitzada (de la mateixa mida de la imatge original, del doble de l'original o 1/8, 1/4, 1/2 de la mida de la imatge original). En aquest treball es realitza de forma completa per tal d'obtenir uns resultats amb una major precisió.

#### *b) Núvol de punts i malla*

En aquest segon bloc es poden determinar les característiques del núvol de punts i del mallat que es vol obtenir. Per al núvol de punts cal escollir l'escala de la imatge. Tal com s'ha fet al bloc anterior, es decideix realitzar l'operació en la mida original de les imatges, encara que el procés sigui més lent. La densitat de punts a escollir suposarà una major o menor precisió a l'hora de crear un MDT<sup>15</sup> i un ortomosaic, per tant, amb l'objectiu d'obtenir una topografia de qualitat es densifica el núvol de punts del model 3D de manera òptima. Així doncs, aquest pas suposarà el càlcul d'un punt 3D per cada píxel de l'escala de la imatge escollida. En aquest mateix apartat s'ha de decidir el número mínim d'emparellaments. Per a això, cal tenir en compte que el nombre mínim de coincidències per punt 3D representa el nombre mínim de re-projeccions vàlides d'aquest punt 3D. En aquest projecte s'emparellaran com a mínim 3 punts 3D, i per tant, suposarà un mínim de 3 re-projeccions<sup>16</sup>.

---

<sup>14</sup> Pix4D recomana unes característiques específiques de hardware per a cada projecte segons el número total d'imatges a processar.

<sup>15</sup> Model Digital del Terreny. Es tracta d'una estructura numèrica de dades que representa la cota del sòl nu sense cap objecte, com vegetació i edificis.

<sup>16</sup> La re-projecció ajusta la georeferenciació de la imatge.

Cal destacar que existeix l'opció d'obtenir el núvol de punts de manera classificada. Aquest paràmetre millora la generació del MDT, ja que permet distingir el terreny de la vegetació i les edificacions, la qual cosa pot fer possible la transformació de MDS<sup>17</sup> a MDT. Precisament per a l'obtenció del MDT, en l'apartat d'exportació d'arxius, se selecciona el format LAS, ja que és l'arxiu que accepta el software *FugroViewer*<sup>18</sup>, a partir del qual es farà el filtratge dels elements necessaris i innecessaris en el nostre MDT. En aquest mateix bloc també es dona la possibilitat de generar una malla 3D amb textura, la qual no serà necessària per a aquest estudi.

### c) MDS i ortomosaic

La resolució en què es vol obtenir tant el MDS com l'ortomosaic es pot personalitzar. Tot i així es decideix aplicar una resolució automàtica d'1 cm. Per a una major precisió del MDS es pot utilitzar el *Noise filtering* o filtratge de soroll, el qual corregeix l'altitud dels punts del núvol de punts amb l'altitud mitjana dels punts veïns. Un cop aplicat aquest filtre, la superfície pot contenir petites protuberàncies errònies. El paràmetre *Surface Smoothing* o suavització de superfícies corregeix aquestes àrees aplanant-les. Per tal d'exportar correctament aquest ràster, cal seleccionar l'arxiu GeoTIFF, el qual podrà ser visualitzat amb l'ArcMap (ArcGis) i s'haurà de crear el ràster mitjançant el mètode de triangulació, que és el que recomana el programa Pix4D per a l'estudi de superfícies territorials.

Pel que fa a l'ortomosaic, aquest també ha de ser exportat en format GeoTIFF i per tant, serà necessari fusionar les tesselles per tal de crear un únic ràster.

A l'apartat de resultats addicionals es presenten els formats en què es vol obtenir el MDS, tal com s'havia determinat al segon bloc. L'arxiu exportat serà un LAS. A part del MDS, també es pot obtenir un MDT, el qual s'exportarà per tal de veure la qualitat de l'arxiu. No obstant, no és estrictament necessari en aquest projecte, ja que el MDT serà creat a partir del MDS mitjançant un rigorós filtratge. En aquest mateix bloc, en cas que es desitgi, es pot determinar la resolució del MDT. Alhora s'ofereix l'exportació de corbes de nivell amb l'interval d'alçada desitjat i el format necessari, en aquest cas shp<sup>19</sup>. Un cop es finalitza la determinació dels diferents paràmetres, es pot iniciar el processament d'imatges, el qual pot arribar a perllongar-se diverses hores. Aquest cas en concret va suposar una durada total de 17 h 55' 51".

## 4.6 Comprovació i correcció dels arxius

Un cop completat el procés, en l'apartat *Raycloud*, es pot visualitzar el núvol de punts de manera conjunta o classificada i també la malla de triangles que genera el model 3D. Seleccionant de manera individual els *Keypoints* es poden apreciar les imatges en què apareix el *Keypoint* seleccionat. Aquest punt apareix localitzat en cadascuna de les imatges per tal de

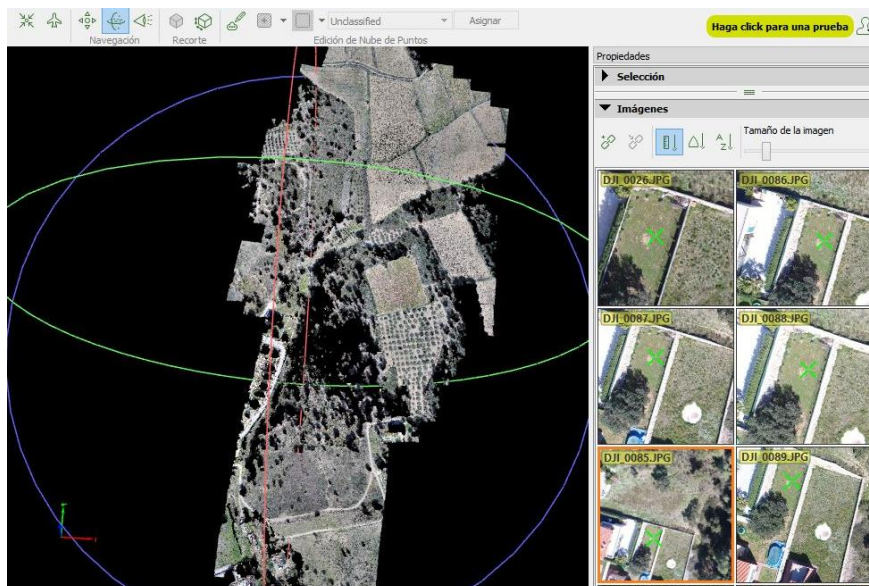
---

<sup>17</sup> Model Digital de Superfície o Model Digital d'Elevació. A diferència del MDT, el MDS o MDE és l'estructura numèrica de dades que representa la cota superficial, per tant, té en compte tots els elements existents en el territori.

<sup>18</sup> Software que permet la visualització i tractament d'arxius Lidar.

<sup>19</sup> Arxiu de dades espacials desenvolupat per ESRI, el creador d'ArcGis.

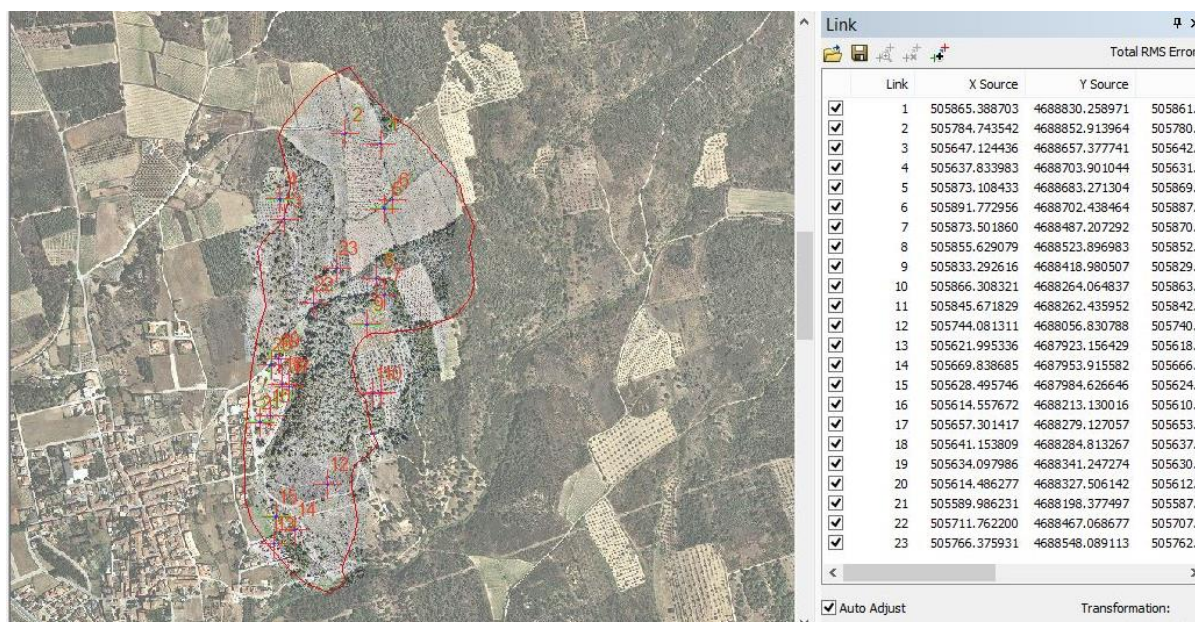
comprovar si apareix situat correctament. En cas de no estar correctament localitzat, manualment es pot corregir, i d'aquesta forma es precisa la localització dels *Keypoints* i, per tant, s'observa una correcta superposició de les imatges. Cal tenir en compte que com a mínim es recomana comprovar entre 8 i 10 *Keypoints*. Els arxius obtinguts (MDS i ortomosaic) poden ser importats directament a l'ArcMap per a la seva visualització i edició. En canvi, per a obtenir el MDT a través del núvol de punts (arxiu .LAS), caldrà portar a terme un filtratge d'aquest per tal d'eliminar els punts altimètrics dels elements superficials que no són pròpiament del terreny. A partir d'aquest pas, es podrà crear la modelització del terreny amb diverses eines SIG, procés que s'explicarà més endavant.



**Figura 7.** Visualització del núvol de punts al software Pix4D. A la dreta, les imatges en què apareix el "keypoint" seleccionat i la seva localització en cadascuna d'aquestes. Font: elaboració pròpia.

Tot i que els arxius han estat georeferenciats, a l'hora de superposar en un SIG altres arxius oficials i amb correcta georeferenciació s'observarà un petit error en els arxius obtinguts. S'apreciaran alguns punts desplaçats. Per tal d'evitar això i fer-ho de forma més professional, caldria deixar diversos punts de control en l'àrea d'estudi abans del vol i marcar la coordenada exacta de cadascun d'aquests punts. D'aquesta manera, en el moment de processar les imatges amb Pix4D, el mateix software permet introduir les coordenades dels diferents punts de control per tal d'obtenir una georeferenciació exacta. Això és útil sobretot quan l'àmbit d'estudi és molt homogeni i és complicat detectar punts característics dins la morfologia del terreny a partir de l'ortofotomapa. Però en aquest cas trobem un terreny molt heterogeni, per tant, es pot prescindir d'aquest procés i es pot optar per la correcció de georeferenciació més endavant de forma manual, tal com s'ha fet en aquest projecte.

Per tal d'optimitzar la georeferenciació s'ha optat per l'eina *Georeferencing* d'ArcMap (ArcGis). Amb aquesta eina s'han marcat un total de 23 punts de control en l'ortofotomapa E 1:5.000 de l'ICGC i seguidament, s'han localitzat en l'ortofotomapa generat pel vol. D'aquesta forma s'ha donat una correcció i s'ha precisat la situació.



**Figura 8.** Vista dels punts de control utilitzats per a la correcció de georeferenciació amb l'eina "Georeferencing" d'ArcMap (ArcGis). A la dreta els 23 punts de control i les respectives coordenades. Font: elaboració pròpia.

## 4.7 Estudi hidrològic

Una anàlisi hidrològica permet obtenir els cabals màxims per a cada període de retorn<sup>20</sup> de la conca seleccionada. En aquest cas, l'estudi se centra en cercar els cabals dels períodes de retorn: Tmco<sup>21</sup>, T10, T100 i T500 anys. Per a fer-ho efectiu, cal partir de les característiques fisiogràfiques de la conca estudiada i determinar el seu coeficient d'escorrentiu i temps de concentració, així com la precipitació diària màxima associada al període de retorn.

L'estudi hidrològic s'ha realitzat a partir del mètode racional de la guia tècnica "Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local" editada per l'Agència Catalana de l'Aigua al març de 2003, i per això ha estat imprescindible la utilització dels següents arxius:

- Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya (MCSC) en format vectorial (.shp) del CREAL (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals).
- Mapa geològic en format vectorial (.shp) de l'ICGC a escala 1:50.000 (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya).

<sup>20</sup> El període de retorn fa referència a la freqüència estadística amb la que es produeix la inundació. Es calcula en base a la probabilitat de què un esdeveniment d'un determinat període de retorn es pugui donar com a mínim una vegada en un interval de temps determinat. (ACA)

<sup>21</sup> Període de retorn corresponent a la màxima crescuda ordinària, aquest període de retorn varia entre els 2 i 3 anys.

- Mapa de les precipitacions màximes en format ràster (.tiff) de l'ACA (Agència Catalana de l'Aigua).
- Mapa del  $P_0$  o llinar d'escorrentiu en format ràster (.tiff) de l'ACA.

A més d'aquests, també s'han utilitzat altres arxius que han servit de suport durant el procés:

- Dades Lidar de l'ICGC.
- Mapa topogràfic 1:5.000 en format vectorial (.shp) i en format ràster (.sid) de l'ICGC.
- Ortofotomapa de 2,5 cm en format ràster (.sid) de l'ICGC.

#### 4.7.1 Delimitació de la conca hidrogràfica

L'estudi s'inicia amb el correcte traçat del curs fluvial objecte d'estudi fins a la seva capçalera. Per a realitzar-ho, és recomanable utilitzar els *shappfiles* de la topografia 1:5.000 corresponents a la hidrografia. En tenir el tram d'interès marcat, es comença amb la delimitació de la conca hidrogràfica<sup>22</sup> corresponent. Aquesta delimitació es determina mitjançant les corbes de nivell de la mateixa topografia 1:5.000. A l'hora de realitzar aquesta delimitació és molt important tenir en compte quin serà el tram de llera objecte d'estudi, ja que serà el punt superior d'aquest tram on s'introduirà el cabal obtingut. Així doncs, es delimita la conca tenint en compte aquest indret com a punt de desguàs.

Amb la conca delimitada i el curs principal traçat, es dona inici a la determinació del cabal d'aigua<sup>23</sup>.

#### 4.7.2 Càlcul de cabals a partir del mètode racional

L'obtenció de la informació requerida sobre la conca per a la determinació dels cabals s'ha donat a través d'un SIG i els processos matemàtics s'han realitzat mitjançant fulls de càlcul de Microsoft Excel. Aquesta determinació es calcula a partir d'un període de retorn de 500 anys, resultat del qual determina la resta de cabals.

##### a) Caracterització de la conca

##### I. Temps de concentració<sup>24</sup> de la conca ( $T_c$ ):

Per a l'obtenció del  $T_c$  cal determinar la longitud del curs principal, el pendent mig del traçat del curs fluvial i el grau d'urbanització d'aquesta conca.

---

<sup>22</sup> Àmbit territorial on es vessen les aigües superficials alimentant un riu principal que recorre l'anomenada conca. Una conca hidrogràfica es delimita per les carenes o divisòria d'aigües.

<sup>23</sup> Quantitat de flux d'aigua que passa per una secció concreta del seu recorregut per unitat de temps.

<sup>24</sup> El temps de concentració es defineix com el temps transcorregut des del final de la pluja fins al final de l'hidrograma.

La longitud del curs principal o  $L$  s'obté fàcilment amb un SIG. Per a obtenir el pendent mig tan sols cal aplicar la fórmula:

$$j = \frac{\text{Cota1} - \text{Cota2}}{L}$$

On:

$j$  = pendent mig

$\text{Cota1}$  = cota màxima (m)

$\text{Cota2}$  = cota mínima (m)

$L$  = longitud del curs principal (m)

La determinació del grau d'urbanització suposa un treball més complex que els anteriors i és necessari per a decidir quina fórmula caldrà aplicar<sup>25</sup>. Per al seu càlcul cal digitalitzar mitjançant un SIG tota la conca diferenciant entre sòl impermeable (vials, edificacions i qualsevol construcció) i sòl permeable (terrenys forestals o agrícoles, camps en desús, etc.) partint de la capa MCSC del CREAM. El sòl permeable rep el valor 0 i l'impermeable el valor 1. A partir d'aquesta digitalització en format ràster, mitjançant l'eina *Zonal Statistics as Table* de l'extensió *Spatial Analyst Tools* es fa la mitjana de la impermeabilitat de la conca. El resultat es multiplica per 100 i s'obté el grau d'urbanització.

En consonància amb la guia tècnica esmentada anteriorment, segons el grau d'urbanització de la conca s'aplicarà una fórmula diferent per a l'obtenció del  $T_c$ :

Conca rural amb grau d'urbanització no superior al 4%:

$$T_c = 0,3 \cdot \left( \frac{L}{j^{0,25}} \right)^{0,76}$$

Conca urbanitzada amb grau d'urbanització superior al 4%:

$$T_c = \frac{0,3}{1 + \sqrt{\mu \cdot (2 - \mu)}} \cdot \left( \frac{L}{j^{0,25}} \right)^{0,76}$$

Conca urbana amb grau d'urbanització superior al 4%:

$$T_c = \frac{0,3}{1 + 3 \cdot \sqrt{\mu \cdot (2 - \mu)}} \cdot \left( \frac{L}{j^{0,25}} \right)^{0,76}$$

El  $T_c$  obtingut és mesurat en hores. Per tant, es multiplica per 60 per a adquirir el temps de concentració en minuts.

<sup>25</sup> Existeixen 4 fórmules diferents per a l'obtenció del  $T_c$  segons el grau d'urbanització de la conca.

$$T_c \text{ (hores)} \cdot 60 = T_c \text{ (minuts)}$$

## II. Llindar d'escorrentiu ( $P_0$ ) i Nombre de corba (NC):

Per a l'obtenció del llindar d'escorrentiu<sup>26</sup> o  $P_0$  de la conca es recorre a la cartografia oberta de l'ACA. Aquesta entitat ofereix aquesta variable en format ràster, de la qual es busca la mitjana en la conca estudiada amb la mateixa eina emprada anteriorment (*Zonal Statistics as Table*). Al valor obtingut cal aplicar-li el factor regional de correcció o coeficient de correcció<sup>27</sup> ( $r$ ) que a Catalunya, segons l'ACA, és d'1,30:

$$P'_0 = \frac{r \cdot P_0 \text{Inicial} \cdot 10}{10}$$

Amb el llindar d'escorrentiu corregit o  $P'_0$  es pot obtenir el nombre de corba (NC)<sup>28</sup>. Generalment i tal com ho transmet la guia tècnica, primer es determina el NC i a partir d'aquest s'obté el  $P_0$ . En aquest cas i, seguint la metodologia apresada a ABM, es fa a la inversa. Així doncs, un cop es té el  $P_0$  amb la seva respectiva correcció, es pot obtenir el NC:

$$NC = \frac{5000}{P'_0 + 50}$$

## III. Precipitació diària màxima associada al període de retorn (T)

Per a la determinació del valor mig de la conca de la precipitació diària màxima o  $P_{\text{mig}}$  (mm) cal treballar la capa de precipitacions màximes de què disposa l'ACA. Aquesta capa ràster ha estat elaborada per l'ACA a partir d'antics mapes del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento. Es pot obtenir la precipitació màxima dels diferents períodes de retorn, però únicament cal utilitzar la precipitació màxima per la  $T_{\text{mco}}$ <sup>29</sup>. La mitjana de la conca d'aquesta variable s'obté, una vegada més, a partir de l'eina *Zonal Statistics as Table* del software ArcMap (ArcGis).

<sup>26</sup> Paràmetre que permet calcular la pluja neta a partir d'una determinada precipitació, per la qual cosa engloba la intercepció per vegetació, l'emmagatzematge en petites depressions de la superfície del terreny i la infiltració.

<sup>27</sup> L'aplicació d'aquest coeficient suposa un augment del  $P_0$  o llindar d'escorrentiu. Aquest factor o coeficient reflecteix la variació regional d'humitat habitual en el sòl al començament de les pluges significatives. L'ACA recomana adoptar un factor regional d'1,30 a Catalunya.

<sup>28</sup> El NC pot variar entre 0 i 100 i s'estableix que l'NC=100 correspon a una superfície totalment impermeable, és a dir, amb  $P_0$  nul. Aquests NC han estat tabulats pel *Soil Conservation Service* (SCS) a partir dels usos del sòl, el pendent, les característiques hidrològiques i el grup de sòl. (ACA)

<sup>29</sup> Període de retorn corresponent a la màxima crescuda ordinària (mco), que varia entre els 2 i 3 anys.



Com que aquesta precipitació no cau de manera equitativa en tota la conca sinó que existeixen diferències, cal aplicar el coeficient de variació de Pearson ( $C_V$ )<sup>30</sup>. Per saber quin  $C_V$  pertoca a l'àrea d'estudi, es recorre a la figura *Fig. 3.2 – Isolínies del valor regional del coeficiente de variación  $C_V$*  del document “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular (Ministerio de Fomento, 1999)”, la qual apareix en l'Annex 10.1.2.

Seguidament, per continuar amb el càlcul de la precipitació diària màxima associada al període de retorn ( $P'd, T$ ), cal cercar quin és el factor d'amplificació ( $K_T$ ) per a cada període de retorn segons el  $C_V$  obtingut a la taula *Tabla 7.1 – Cuantiles  $Y_T$ , de la Ley SQRT-ET max, también demoninados Factores de Amplificación  $K_T$ , en el “Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular” (1997)* del mateix document anterior (veure Annex 10.1.3). Amb això es pot obtenir la  $P_d, T$  amb la següent fórmula:

$$P_{d,T} = K_T \cdot P_{mig} \text{ (mm)}$$

No obstant, les  $P_{d,T}$  són uns resultats obtinguts a partir d'uns valors inicials enregistrats per estacions en punts concrets, en comptes de en àrees extenses pel territori. La realitat és que el valor enregistrat no representa sempre el valor màxim, ja que no existeix una homogeneïtat en l'espai d'aquesta variable, i és per aquest motiu que cal aplicar el coeficient de simultaneïtat o factor  $K_A$ . Aquest factor permet tenir en compte que els valors enregistrats algunes vegades formen part del centre de l'aiguat, altres dels límits exteriors i en algunes ocasions de punts entremetjats. Per a determinar el factor  $K_A$  corresponent a l'àrea d'estudi es presenta la fórmula:

$$K_A = 1 - \frac{\log S}{15}$$

I l'aplicació del factor  $K_A$  és:

$$P'd,T = P_{d,T} \cdot K_A$$

### b) *Mètode Racional*

Un cop s'ha obtingut el temps de concentració ( $T_C$ ), el llinar d'escorrentiu ( $P_0$ ) i la precipitació diària màxima associada al període de retorn ( $P'd,T$ ) es dona pas al Mètode Racional, amb el qual es calcula la intensitat mitjana d'un aiguat de durada ( $I_{D,T}$ ), el coeficient d'escorrentiu ( $C_T$ ), el coeficient d'uniformitat del mètode racional ( $k$ ) i per últim, el cabal de desguàs ( $Q_T$ ).

<sup>30</sup> El  $C_V$  s'aplica per a representar variabilitat d'un valor. Com major sigui el  $C_V$ , major serà la heterogeneïtat de la variable i, com menor sigui, major homogeneïtat tindrà. El seu valor varia de 0 a 1.

### I. Intensitat mitjana d'un aiguat de durada ( $I_{D,T}$ )

En aquest pas, primerament caldrà obtenir la  $I_{D,T}$  inicial a partir de la fórmula:

$$I_{D,T} = \frac{P'_d \cdot T}{24}$$

Però aquesta  $I_{D,T}$  no representa realment la intensitat diària en 24h. Per tal d'obtenir aquest valor respecte a les 24h, tenint en compte el  $T_C$ , cal aplicar la següent fórmula:

$$I_{D,T} = I_{D,T} \cdot 11 \frac{(28^{0,1} - T_C^{0,1})}{(28^{0,1} - 1)}$$

\*El valor 11 representa la relació intensitat horària – intensitat diària, aquest valor varia entre 8 i 12 però, l'ACA recomana utilitzar un valor mitjà d'11 a Catalunya.

### II. Coeficient d'escorrentiu ( $C_T$ )

Per tal de tenir en compte les pèrdues d'aigua que es donen per l'evapotranspiració i infiltració, s'aplica el coeficient d'escorrentiu per cada període de retorn ( $C_T$ ). Per saber quin  $C_T$  s'ha d'aplicar a cada període de retorn es presenta la fórmula:

$$C_T = \frac{(P'_d - P'_0) \cdot (P'_d + 23 \cdot P'_0)}{(P'_d + 11 \cdot P'_0)^2}$$

### III. Coeficient d'uniformitat del mètode racional (K)

La intensitat de la pluja neta realment no és constant, ja que existeixen variacions d'aquesta intensitat en el temps que poden augmentar el cabal punta. Per corregir aquest error s'aplica el coeficient d'uniformitat o coeficient de majoració K. Aquest coeficient és un únic valor per a tots els períodes de retorn. La fórmula per a l'obtenció d'aquest coeficient és la següent:

$$K = 1 + \frac{T_C^{1,25}}{T_C^{1,25} + 14}$$

### IV. Cabal de desguàs ( $Q_T$ )

Per a culminar el mètode racional, es calcula el cabal punta per cada període de retorn a partir dels resultats de la intensitat mitjana d'un aiguat ( $I_{D,T}$ ), del coeficient d'escorrentiu ( $C_T$ ) i del coeficient d'uniformitat del mètode racional (K), amb la fórmula següent:

$$Q_T = K \cdot \frac{C_T \cdot I_{D,T} \cdot S}{3,6}$$

### 4.7.3 Obtenció d'hidrogrames

Tal i com s'ha fet fins ara, l'obtenció dels hidrogrames es porta a terme mitjançant l'aplicació de fulls de càlcul Microsoft Excel. Per a l'obtenció de l'hidrograma unitari primerament cal obtenir el temps de pic ( $T_p$ ) a partir de la següent operació:

$$T_p = T_c \cdot 0,31$$

El segon pas és plasmar la taula de l'hidrograma adimensional de l'SCS<sup>31</sup> que apareix en la *Figura 3.4. Hidrograma adimensional de l'SCS* (veure Annex 10.1.4) de la guia tècnica "Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local". Aquest hidrograma consta de dues columnes:  $t/T_p$  (temps de pic) i  $Q/Q_p$  (cabal punta). A partir de les dades obtingudes ( $Q_T$ ,  $T_p$  i  $T_c$ ) i aquest hidrograma adimensional, es crea l'hidrograma unitari segons l'SCS. L'hidrograma unitari consta de sis columnes: tres d'aquestes són exactament iguals i representen el temps en hores, i les altres tres representen el  $Q_T$  en  $m^3/s$ .

Per a obtenir la columna de  $T(h)$  s'aplica la fórmula:

$$T(h) = t/T_p \cdot T_p$$

I per a obtenir els diferents  $Q_T$  ( $m^3/s$ ) s'aplica:

$$Q_{10} = Q/Q_p \cdot Q_{T10}$$

$$Q_{100} = Q/Q_p \cdot Q_{T100}$$

$$Q_{500} = Q/Q_p \cdot Q_{T500}$$

D'aquesta manera s'obté una taula on es representen els cabals dels diferents períodes de retorn ( $T_{mco}$ ,  $T_{10}$ ,  $T_{100}$  i  $T_{500}$ ) en una evolució temporal des de l'inici fins al final de l'avinguda.

Per tal d'obtenir una taula on es presenti el cabal de cada període de retorn per cada minut, cal elaborar una taula de 6 columnes amb l'ordre següent: Temps (h:min), Temps ( $n^{\circ}$  absoluts),  $Q_{mco}$  ( $m^3/s$ ),  $Q_{10}$  ( $m^3/s$ ),  $Q_{100}$  ( $m^3/s$ ) i  $Q_{500}$  ( $m^3/s$ ).

Columna 2 – Temps ( $n^{\circ}$  absoluts): es comença pel 0 en la primera fila i a partir d'aquest es segueix la fórmula:

$$\text{Temps} = \text{Temps anterior} + 1/50$$

Columna 1 – Temps (hores i minuts):

$$\text{Temps (h: min)} = \text{Temps (n}^{\circ}\text{ absoluts)}/24$$

<sup>31</sup>El SCS (*Soil Conservation Service*) és una empresa consultora en temes ambientals i de conservació del sòl especialitzada en la rehabilitació d'aquest, el control de l'erosió, la gestió de projectes i la protecció de recursos.

Columnes 3, 4, 5 i 6 ( $Q_T$  en  $m^3/s$ ) – s'executa una interpolació de les columnes  $T(h)$  i  $Q_T$  per tal d'obtenir una evolució temporal del cabal de l'avinguda de cada període de retorn per cada minut. Obtenim així l'evolució del cabal de cada període de retorn en tota l'avinguda.

En addició, per a veure les taules necessàries per a l'obtenció de l'hidrograma vegeu l'Annex 10.1.6.

## 4.8 Estudi hidràulic

### 4.8.1 Preparació d'arxius i processament amb Hec-Ras 5.0.3

És en l'estudi hidràulic on s'analitza de manera diferent la situació amb arxius oficials i la situació amb arxius propis obtinguts a partir del vol de dron. Tot i que l'única diferència rau en la topografia, aquesta és la base de l'estudi hidràulic i per tant, és la capa més important. La realització d'aquest estudi s'ha portat a terme a partir del software Hec-Ras 5.0.3<sup>32</sup>, un programari que permet obtenir les zones inundables segons les característiques que s'apliquen tant al terreny com al tipus d'avinguda. Abans del processament ha estat necessari preparar els següents arxius:

- Model Digital del Terreny (MDT)
- Mapa de coeficient de rugositat de Manning<sup>33</sup>

#### a) Model Digital del Terreny (MDT)

Tot i que al visor de descàrregues de l'ICGC es troba disponible la topografia a escala 1:1000 en format *shp* de l'àmbit d'estudi, la qual permet adquirir un MDT molt precís de la llera, en aquest treball es decideix prescindir d'aquesta informació. La topografia a aquest nivell de precisió no interessa, ja que l'objectiu és comparar el MDT de major detall obtingut a partir de fonts oficials i el MDT obtingut a partir d'un vol de dron.

#### I. MDT a partir de les dades Lidar de l'ICGC

Els arxius Lidar descarregats de l'ICGC apareixen a l'ordinador com a arxius LAZ. Cal transformar aquests arxius LAZ a LAS mitjançant alguna aplicació en línia. Seguidament, cal transformar els arxius LAS a *shp*. Aquesta conversió es fa mitjançant el software *FugroViewer*, el qual alhora permet realitzar el filtratge dels arxius Lidar amb l'objectiu d'eliminar tota la informació altimètrica innecessària (construccions, vegetació,...). El *shp* obtingut pot ser visualitzat i tractat mitjançant un SIG. Aquest *shp* correspon a un núvol de punts amb una base de dades plena

<sup>32</sup> El software Hec-Ras (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) ha estat desenvolupat pel cos d'enginyers de l'Exèrcit dels Estats Units. L'Hec-Ras permet simular càlculs unidimensionals de flux constant, càlculs uni i bidimensionals de flux inestable i càlculs de transport de sediments i qualitat de l'aigua.

<sup>33</sup> El coeficient de rugositat de Manning permet diferenciar la rugositat del terreny segons l'ús del sòl. El número de Manning pot fer variar la velocitat en què circula el flux superficial.

d'informació altimètrica, a aquest núvol de punts se li aplica una triangulació i seguidament es converteix a format ràster. El resultat és un MDT. Tot i que anteriorment s'havien eliminat les construccions, aquestes són molt importants en el MDT a utilitzar.

Així doncs, per tal d'afegir les edificacions, es recorre a la topografia 1:5000. D'aquesta topografia tan sols interessen les edificacions. Els polígons corresponents als edificis es converteixen a ràster a partir de la variable ZM (alçada). Aquest nou ràster d'edificacions se superposa sobre el MDT anterior i d'aquesta manera s'obté el MDT necessari.

## II. MDT a partir del vol de dron

Com a resultat del processament de les imatges preses amb el dron (explicat en l'apartat 4.5), s'obté uns arxius LAS. Cal doncs, tal com s'ha fet anteriorment, transformar aquest arxiu a shp i alhora aplicar-li el filtratge corresponent per tal d'eliminar la vegetació i les edificacions amb el mateix programari. L'arxiu resultant és un shp de núvol de punts aparentment idèntic a l'anterior.

Abans de crear el MDT, amb l'objectiu de millorar tan sols la topografia de la llera d'interès, es dibuixa l'àmbit de la llera amb la intenció de crear el MDT en aquest espai. Finalment en tenir el MDT, aquest se superposa amb el MDT anterior donant-li preferència a la nova topografia. D'aquesta manera s'obté un nou MDT que es diferencia tan sols de la llera que interessa.

### *b) Mapa de coeficient de rugositat de Manning*

Per a l'obtenció d'aquest mapa són necessaris els arxius:

- Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya (MCSC) del CREAF.
- Vials del Mapa Urbanístic de Catalunya (MUC) de l'àmbit d'estudi obtingut del Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya.
- Taula dels diferents coeficients de rugositat de Manning segons els usos del sòl. Aquesta informació es pot obtenir fàcilment a internet en diferents nivells de precisió. En aquest cas s'ha treballat amb la classificació utilitzada a ABM.

Tot i que no és imprescindible, per tal d'augmentar la precisió de la cartografia, s'ha modificat el MCSC de l'àmbit a partir de la visualització de l'ortofotomapa de 25 cm de precisió de l'ICGC. En aquest MCSC no apareixen ni els vials ni la llera, i per aquest motiu és necessari plasmar-hi els vials que s'extremen del MUC i delimitar-hi la llera del còrrec objecte d'estudi a partir del MDT creat anteriorment. Amb el nou mapa d'usos del sòl es porta a terme una connexió amb la taula dels coeficients de Manning amb l'objectiu d'atribuir a cada ús del sòl el seu valor de rugositat corresponent.

Amb els corresponents MDT i el mapa de coeficient de Mannings preparats, s'inicia el treball amb el software Hec-Ras. Aquest programari consta d'una finestra principal des d'on s'accedirà a les diferents eines necessàries.

El primer pas, després d'haver creat el nou projecte, és carregar el terreny o MDT desitjat des del visor *Ras Mapper*, des d'aquí també s'importa en format vectorial el mapa de coeficient de Manning.

Amb el terreny visualitzat, cal accedir a la finestra *Geometric Data* des d'on es dibuixa l'àmbit objecte d'estudi hidràulic amb l'eina *2D Flow Area*; es delimiten les *break lines* o línies de trencament<sup>34</sup> amb l'eina *2D Area Break Lines*, les quals precisaran la simulació notificant al software l'existència d'un marcat desnivell; i es dibuixen les dues línies de condicions de vora (una aigües avall i una aigües amunt) que es disposen de manera transversal a la llera i que determinen la direcció del flux. Per a aquestes últimes línies s'utilitza l'eina *BC Lines*.

Arribats a aquest punt, s'haurà d'introduir la informació resultant de l'estudi hidrològic anterior, és a dir, els cabals ( $m^3/s$ ) per cada període de retorn. És important recordar que, tot i que l'estudi hidrològic és únic, es realitzen dues simulacions hidràuliques amb un MDT diferent. Per tal d'introduir els cabals, s'accedeix a l'apartat *Unsteady Flow Data*, des d'on s'assigna un cabal normal en condicions aigües avall i l'hidrograma del període de retorn desitjat en condicions d'aigües amunt. Aquest hidrograma s'ha d'emplenar manualment i a més, cal emplenar tants com períodes de retorn es vulguin simular.

Finalment, amb tota la informació importada es determinen les característiques del còmput de simulació que es pretén generar en l'apartat *Unsteady Flow Analysis*. En el cas d'aquest treball s'ha volgut executar el preprocessador de geometria, el post processador i la generació de cartografia de zones inundables amb un interval de computació d'un segon, i per tant, amb una computació força precisa.

#### 4.8.2 Exportació dels arxius

Els resultats obtinguts per cada període de retorn són tres arxius que visualment inunden el mateix espai però que contenen una informació totalment diferent: calats<sup>35</sup>, velocitats<sup>36</sup> i nivells<sup>37</sup>. Aquests resultats es poden visualitzar en la finestra *Ras Mapper*, des d'on es poden exportar en format tiff. Aquests arxius poden ser llegits per un SIG i fins i tot editats.

---

<sup>34</sup> Les *break lines* o línies de trencament representen la divisòria entre dos espais de gran desnivell. Aquestes línies delimiten, per exemple, el final d'un terraplè i l'inici d'un contrastat pendent.

<sup>35</sup> El calat és la distància en metres entre la superfície terrestre (MDT) i la cota absoluta del flux superficial.

<sup>36</sup> La velocitat es mesura en  $m^3/s$ .

<sup>37</sup> Els nivells o cotes absolutes fan referència a la cota m.s.n.m (metres sobre el nivell del mar) del flux superficial.

## 4.9 Tractament dels resultats hidràulics

Amb els resultats obtinguts, a partir de la metodologia de l'ACA, es pot determinar el perill d'inundació i es pot zonificar l'espai fluvial del tram de curs estudiat.

Per al perill d'inundació se segueix la classificació del perill d'inundació de l'ACA. Aquesta entitat diferencia tres zones:

	ZIL	ZIM	ZIG
<b>Calat (m)</b>	< 0,4	0,4 - 1	> 1
<b>Velocitat (m/s)</b>	< 0,5	0,4 - 2	> 2
<b>Calat + velocitat (m<sup>2</sup>/s)</b>	< 0,08	0,08 - 0,5	> 0,5

**Taula 1.** Classificació del perill d'inundació segons l'ACA a partir del calat, la velocitat o ambdues variables. Font: elaboració pròpia.

Tot i que es pot classificar tenint en compte les dues variables (calat i velocitat), la variable utilitzada per a la definició del perill ha estat la del calat.

La zonificació fluvial també s'ha tingut en compte i ha estat determinada segons la Zonificació de l'espai fluvial d'acord al Reglament de Domini Públic Hidràulic:

Zonificació	Delimitació
Domini Públic Hidràulic (DPH)	Màximes crescudes ordinàries
Zona de Servitud (ZS)	5 m des del DPH
Zona de Policia (ZP)	Mínim de 100 m des del DPH
Zona de Flux Preferent (ZFP)	Zona d'inundació greu (T100)
Zona Inundable (ZI)	Zona inundable de T500

**Taula 2.** Zonificació de l'espai fluvial d'acord al Reglament de Domini Públic Hidràulic. Font: elaboració pròpia a partir de la zonificació fluvial de l'Agència Catalana de l'Aigua ([www.aca-web.gencat.cat](http://www.aca-web.gencat.cat).)

D'aquestes 5 figures de zonificació, la Zona de Policia no ha estat considerada, ja que suposa una extensió molt ample i seria més lògic aplicar-ho en cursos fluvials de cabal i regularitat més important.

Tant la determinació del perill d'inundació com la zonificació de l'espai fluvial s'ha portat a terme amb la utilització del software SIG ArcMap (ArcGis).

## 5. RESULTATS

### 5.1 Caracterització dels arxius: ortofotomapa i MDT

A partir del processament d'imatges s'obtenen els resultats següents:

Finalització del processament	27 març 2018
Durada del processament	17h 55' 51"
GSD (cm/px)	1,96
Precisió real (cm/px)	1,98
Àrea sobrevolada (Km <sup>2</sup> )	0,39
Imatges a processar	435
Imatges calibrades	434
Mitjana de <i>Keypoints</i> per imatge	10000
Mitjana de coincidències per imatge	2565

**Taula 3.** Caracterització del processament de les imatges.  
Font: elaboració pròpia.

L'alçada de vol o distància focal influeix en el resultat final de precisió, que és d'1,98 cm/px. Es tracta d'una precisió alta. A més, el 80% de solapament longitudinal i el 60% transversal han fet possible una mitjana molt alta tant de *keypoints* com de coincidències entre imatges. En la figura 4 de l'Annex 10.2 apareix una figura on s'aprecia l'alt solapament que es dona en pràcticament la totalitat de l'àrea sobrevolada.

Com a resultat del processament i de la darrera correcció d'arxius s'ha obtingut un ortofotomapa de l'àrea d'estudi correctament georeferenciat i amb una precisió d'1,98 cm/px. Per tal de veure la diferència, cal saber que l'ortofotomapa a escala 1:5000 del qual disposa l'ICGC és de 25 cm/px. La diferència, per tant, és realment considerable.

Així doncs, el que realment importa d'aquest ortofotomapa no és la simple visualització amb més qualitat, sinó l'augment de precisió que es pot donar a través d'aquest resultat a altres arxius com els usos i cobertes del sòl. També és de gran importància a l'hora de delimitar, per exemple, la llera del curs fluvial estudiat, ja que l'ortofotomapa serveix de suport per a la detecció d'espais sedimentats.

**Figura 9.** Ortofotomapa obtingut de l'àrea d'estudi a partir del vol de dron (1,98 cm/px) superposat sobre l'ortofotomapa 1:5.000 de l'ICGC (25 cm/px). Font: elaboració pròpia.





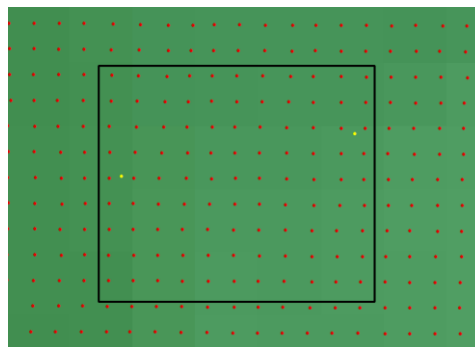


**Figura 10.** Comparació entre l'ortofotomapa amb precisió 25 cm/px de l'ICGC a l'esquerra, i l'ortofotomapa obtingut a partir del vol de dron amb precisió 1,98 cm/px a la dreta. Vista de part de camps de conreu i part de coberta forestal. Font: elaboració pròpia.



**Figura 11.** Comparació entre l'ortofotomapa amb precisió 25 cm/px de l'ICGC a l'esquerra, i l'ortofotomapa obtingut a partir del vol de dron amb precisió 1,98 cm/px a la dreta. Vista d'un habitatge amb piscina, un vial i part de conreu i matollars. Al centre de la rotonda en la imatge presa pel dron, en Nil Sicart, el pilot del dron, i jo mateix, l'autor d'aquest treball. Font: elaboració pròpia.

Respecte als MDT, també s'ha apreciat diferència tot i que no és tan contrastada com ho és en l'ortofotomapa. Això no vol dir que la topografia obtinguda amb el dron no sigui bona, sinó que les dades Lidar ja són força precises. Determinar si el MDT obtingut a vol de dron és més precís o no, és complicat. Per tal d'analitzar amb seguretat el resultat s'ha intentat visualitzar o tractar els núvols de punts i els MDT de diferents formes.

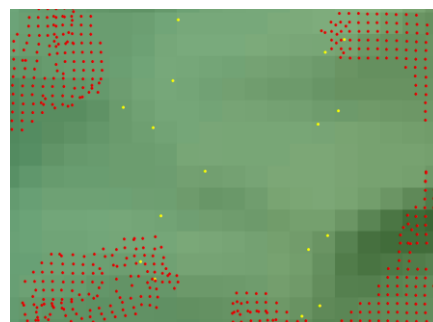


**Figura 12.** Densitat de punts Lidar i punts obtinguts a partir del vol de dron en  $1 \text{ m}^2$ . Els punts vermells representen els punts del dron, els grocs els punts del sensor Lidar (Escala 1:10). Font: elaboració pròpia.

En realitat els dos MDT són de gran precisió, però no ho són en termes de captació d'informació sinó en termes de tractament d'aquests arxius, ja que els dos MDT han estat creats amb una precisió de 25 cm/px.

Malauradament, tot i ser una alta resolució, aquesta característica no especifica res, ja que es pot realitzar un arxiu ràster d'aquesta resolució amb milions de punts o tan sols amb centenars. Així doncs, una característica més important que aquesta és la densitat de punts d'informació altimètrica captada. Per tal de comprovar això, apropant els núvols de punts d'ambdós casos a escala 1:10, es pot arribar a determinar una densitat de punts estimada (veure figura 12). Aproximadament per cada  $\text{m}^2$  s'hi localitzen dos punts amb informació altimètrica del sensor Lidar i, en canvi, 99 punts obtinguts a partir del vol de dron. Amb aquesta informació semblaria obvi determinar que la topografia obtinguda amb el dron és, amb molta diferència, més precís.

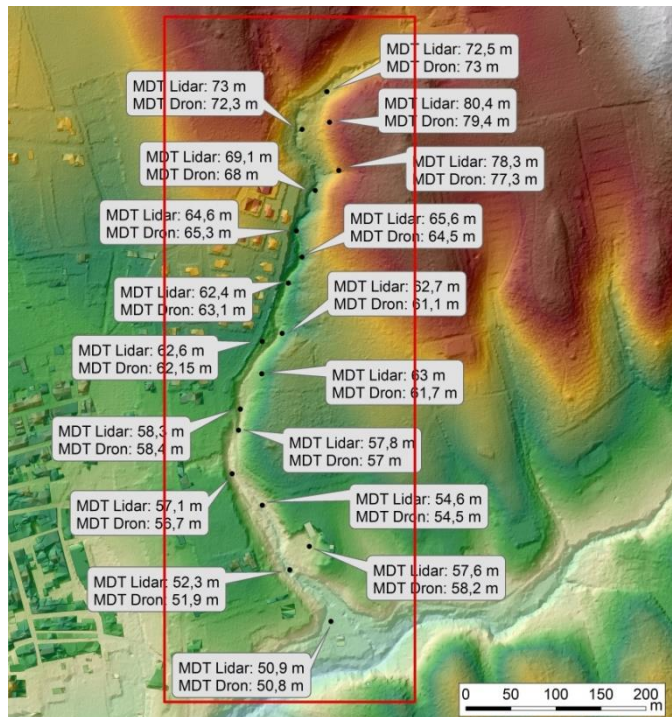
Ara bé, cal fixar-se en tot l'àmbit d'estudi ja que aquesta densitat no es dona de d'igual forma en l'espai (veure figura 13). Es troben algunes zones força grans sense informació i això és degut al filtratge que es fa per tal d'eliminar la vegetació. A l'hora de realitzar un MDT aquests espais s'omplirien d'informació a partir d'una interpolació, per tant, no seria del tot real. Cal recordar però, que el nou MDT només cobreix l'àmbit de la llera i no es genera de manera independent, sinó que es solapa amb la informació Lidar, la qual cosa vol dir que els espais buits queden mitjanament coberts per informació Lidar i la precisió d'aquest model augmenta considerablement. La gran diferència, per tant, es troba on s'hi localitzen grans densitats de punts, on la precisió és major.



**Figura 13.** Espais sense informació del terreny per part de l'arxiu obtingut a vol de dron (Escala 1:25). Font: elaboració pròpia.

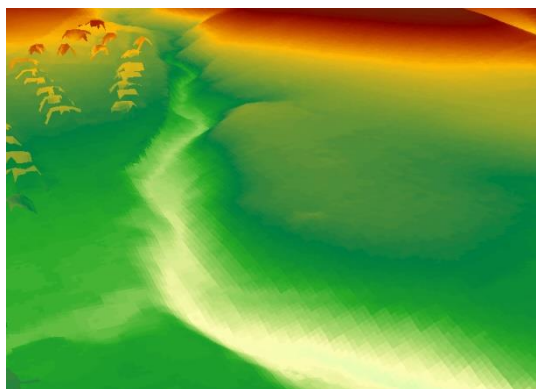
A part dels existents buits d'informació també existeixen algunes diferències importants en l'altimetria entre ambdós arxius. Els punts amb les mateixes coordenades varien la seva cota. En alguns casos pot ser important aquesta diferència.

**Figura 14.** Diferències altimètriques entre el MDT obtingut a vol de dron i el MDT de dades Lidar. A grosso modo el marc vermell representa l'àmbit en què es solapa la informació del dron amb la informació Lidar. Font: elaboració pròpia.

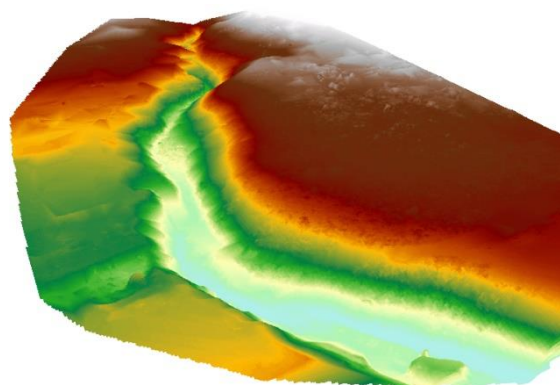


Amb la intenció d'apreciar amb més claredat els resultats altimètrics obtinguts, es recorre al software ArcScene d'ArcGis, a partir del qual es poden visualitzar els arxius en 3D. Aquest tipus de visualització és el que s'agraeix més en aquest treball, ja que, sens dubte, s'aprecia una considerable diferència entre els arxius generats a partir de les dades Lidar i els nous arxius generats a partir del vol de dron.

Amb la visualització 3D dels MDT (Figura 15 i Figura 16) queda palès la diferència entre una densitat de 99 punts/m<sup>2</sup> i una densitat de 2 punts/m<sup>2</sup>. Tot i que ambdós presenten la mateixa resolució (25 cm/px), tal com s'ha especificat anteriorment, és evident que la densitat de punts provoca una major suavitat en el resultat del nou MDT vers el generat a partir de dades Lidar. Aparentment el MDT del Lidar presenta una menor resolució (cm/px) però, en realitat, no és així. El motiu pel qual els píxels semblen majors és perquè en tenir menys densitat de punts, en els espais buits es genera una interpolació que acaba determinant a diferents píxels el mateix valor.

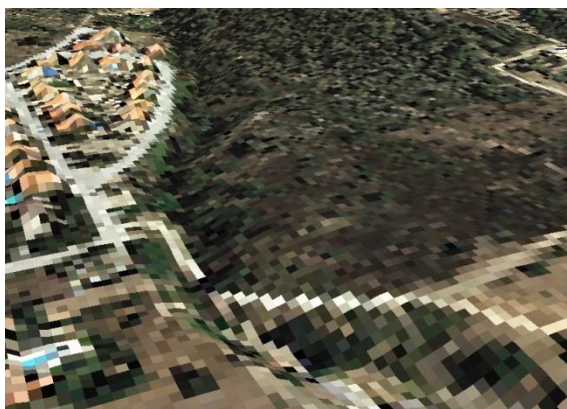


**Figura 15.** Model 3D del MDT obtingut a partir de les dades Lidar de l'ICGC d'un tram mig de la llera del Còrrec dels Lladres. Font: elaboració pròpia.



**Figura 16.** Model 3D del MDT obtingut a partir del vol de dron d'un tram mig de la llera del Còrrec dels Lladres. Font: elaboració pròpia.

Vistes les diferències tant en els ortofotomapes com en els MDT, es combinen ambdós arxius i s'obté el model 3D en fotografia (MDT + ortofotomapa) tant de les dades Lidar (Figura 17) com del resultat del vol de dron (Figura 18). S'aprecia en aquestes figures una diferència molt major que les anteriors, ja que els models són el resultat de la precisió de l'ortofotomapa (cm/px) i de la densitat de punts del núvol de punts (punts/m<sup>2</sup>).



**Figura 17.** Model 3D del MDT obtingut a partir de les dades Lidar i l'ortofotomapa de 25 cm/px de l'ICGC d'un tram mig de la llera del Còrrec dels Lladres. Font: elaboració pròpia.



**Figura 18.** Model 3D del MDT i ortofotomapa obtinguts a partir del vol de dron d'un tram mig de la llera del Còrrec dels Lladres. Font: elaboració pròpia.

## 5.2 Estudi hidrològic<sup>38</sup>

### a) Càlcul de cabals a partir del mètode racional

#### i. Caracterització de la conca

La conca d'estudi es presenta amb una cota màxima de 110 m i una mínima de 68,8 m. La longitud del tram del Còrrec dels Lladres objecte d'estudi hidrològic comprèn 0,738 km. Així, amb l'aplicació de la fórmula corresponent al càlcul de pendent, s'obté un resultat de 0,056 m/m (56%).

$$j(0,056) = \frac{\text{Cota1 (110 m)} - \text{Cota2(68,8 m)}}{L (0,738 \text{ km})}$$

El grau d'urbanització de la conca és de 0,01%, per tant, es decideix recórrer a la fórmula de *Témez I* per al càlcul del temps de concentració, ja que la conca comprèn un grau d'urbanització inferior al 4%. El temps de concentració resultant és de 0,412 hores, per tant, 24,73 minuts.

$$T_c = 0,3 \cdot \left( \frac{L}{j^{0,25}} \right)^{0,76} \rightarrow T_c = 0,3 \cdot \left( \frac{0,738}{0,056^{0,25}} \right)^{0,76} = 0,412$$

<sup>38</sup> L'estudi hidrològic és únic en ambdós models. No es realitza de manera separada.

El  $P_0$  o llinzar d'escorrentiu inicial de la conca, definit segons la cartografia proporcionada per l'ACA, és de 17,2. Amb la corresponent correcció, a partir de l'aplicació del factor regional  $r$ , aquest valor augmenta a 22,4.

$$P'_0 = \frac{r \cdot P_0 \text{Inicial} \cdot 10}{10} \rightarrow P'_0 = \frac{1,30 \cdot 17,2 \cdot 10}{10} = 22,4$$

A partir d'aquest valor s'obté el nombre de corba (NC) de 69,06.

$$NC = \frac{5000}{P'_0 + 50} \rightarrow NC = \frac{5000}{22,4 + 50} = 69,06$$

Una altra variable obtinguda a partir de la cartografia de l'ACA corresponent a la precipitació diària màxima associada al període de retorn (T) és la precipitació mitjana de la conca, la qual és de 82 mm. El  $C_V$  corresponent, segons la figura Fig. 3.2 – *Isolínies del valor regional del coeficient de variación  $C_V$*  del document “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular (Ministerio de Fomento, 1999)” és de 0,46; i a partir de la taula *Tabla 7.1 – Cuantiles  $Y_t$  de la Ley SQRT-ET max, también demoninados Factores de Amplificación  $K_t$ , en el “Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular” (1997)* es determinen els diferents factors K segons cada període de retorn:

<b>T (anys)</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
<b><math>K_T</math></b>	0,89	1,56	2,63	3,49

Amb tots aquest valors s'obté la precipitació diària màxima segons cada període de retorn ( $P_{d,T}$ ) a partir de:

$$P_{d,T} = K_t \cdot P_{mig} \text{ (mm)}$$

Així s'obté:

<b>T (anys)</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
<b><math>P_{d,T}</math> (mm)</b>	73	128,24	215,82	286,51

Però l'heterogeneïtat de la precipitació en el territori obliga a aplicar com a correcció, el coeficient de simultaneïtat o factor  $K_A$ . Per trobar el valor d'aquest factor s'aplica:

$$K_A = 1 - \frac{\log S}{15} \rightarrow K_A = 1 - \frac{\log 0,214872}{15} = 1,045$$

Així, el factor  $K_A$  correspon a 1,045, el qual s'aplica de la següent manera:

$$P'_{d,T} = P_{d,T} \cdot K_A$$

I per tant, s'obté la següent taula:

<b>T (anys)</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
<b>P<sub>d,T</sub> (mm)</b>	73	128,24	215,82	286,51
<b>P'<sub>d,T</sub> (mm)</b>	<b>77</b>	<b>134</b>	<b>225</b>	<b>299</b>

## II. Mètode racional

La intensitat mitjana d'un aiguat de durada ( $I_{D,T}$ ) es troba a partir de la fórmula:

$$I_{d,T} = \frac{P'_{d,T}}{24}$$

I obtenim:

<b>T (anys)</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
<b>P<sub>d,T</sub> (mm)</b>	76,57	133,96	225,43	299,26
<b>I<sub>d,T</sub> (mm/h)</b>	3,19	5,58	9,39	12,47

Per tal d'obtenir aquesta intensitat diària per períodes de retorn respecte a les 24 hores, s'aplica:

$$I_{D,T} = I_{d,T} \cdot 11 \frac{(28^{0,1} - T_C^{0,1})}{(28^{0,1} - 1)}$$

El resultat de la  $I_{D,T}$  és:

<b>T (anys)</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
<b>I<sub>d,T</sub> (mm/h)</b>	3,19	5,58	9,39	12,47
<b>I<sub>D,T</sub> (mm/h)</b>	58,69	102,67	172,79	229,38

El coeficient d'escorrentiu ( $C_T$ ) s'obté a partir de la fórmula:

$$C_T = \frac{(P'_d - P'_0) \cdot (P'_d + 23 \cdot P'_0)}{(P'_d + 11 \cdot P'_0)^2}$$

I els resultats obtinguts són:

<b>T (anys)</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
<b>C<sub>T</sub></b>	0,31	0,50	0,67	0,75

L'obtenció del valor del coeficient d'uniformitat o coeficient de majoració K es dona a partir de la següent fórmula:

$$K = 1 + \frac{T_C^{1,25}}{T_C^{1,25} + 14} \rightarrow K = 1 + \frac{0,412^{1,25}}{0,412^{1,25} + 14} = 1,02$$

Finalment, per a l'obtenció dels cabals de desguàs per cada període de retorn ( $Q_T$ ) s'aplica:

$$Q_T = K \cdot \frac{C_T \cdot I_{D,T} \cdot S}{3,6}$$

D'aquesta manera s'obtenen els cabals següents:

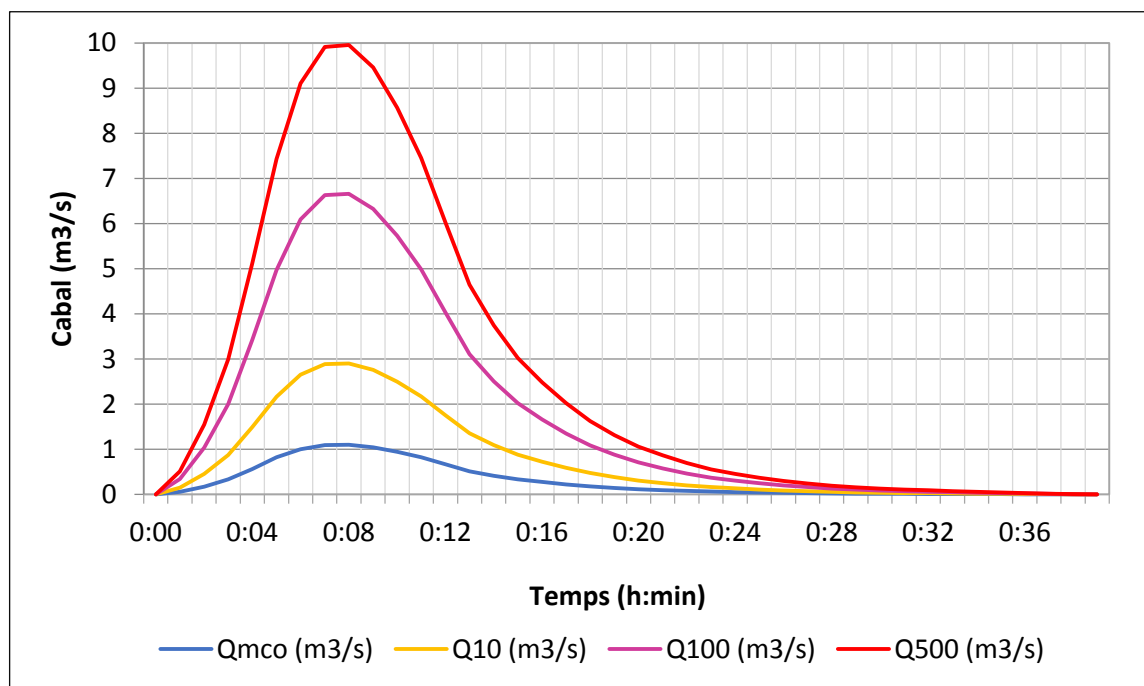
T (anys)	2	10	100	500
$Q_T$ (m <sup>3</sup> /s)	1,10	3,14	7,12	10,60

### b) Obtenció dels hidrogrames

Per a l'obtenció dels hidrogrames se cerca el temps de pic ( $T_p$ ):

$$T_p = T_c \cdot 0,31 \rightarrow T_p = 0,41 \cdot 0,31 = 0,13$$

A partir de l'hidrograma adimensional de l'SCS<sup>39</sup> i el temps de pic obtingut, es crea l'hidrograma unitari corresponent (veure Annex 10.1.5). Aquest hidrograma mostra l'evolució del cabal segons el temps en hores, per tant, per aconseguir aquesta evolució per minuts cal una interpolació entre els valors de temps i cabals. El resultat és una evolució del cabal minut per minut des del seu inici d'avinguda fins al seu final. D'aquesta manera s'aprecia que les avingudes del Còrrrec dels Lladres augmenten el seu cabal de forma dràstica des del segon 0 fins al segon 7. Al segon 8 es produeix el cabal punta o cabal màxim de cadascun dels períodes de retorn, a partir d'aquí el cabal es redueix progressivament fins a tornar al seu cabal inicial al minut 39.



Gràfic 1. Evolució temporal del cabal per cada període de retorn . Font: elaboració pròpia.

<sup>39</sup> Aquest hidrograma ("Figura 3.4. Hidrograma adimensional de l'SCS") es troba a l'Annex 10.1.4.

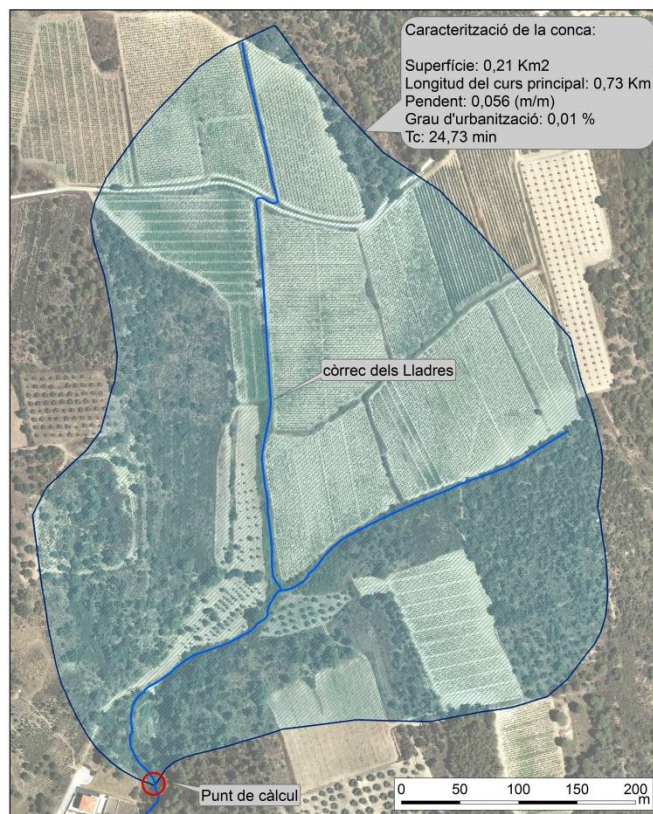
### c) Abstracció dels resultats hidrològics

El tram estudiat del Còrrec dels Lladres drena les seves aigües en sentit sud des de la part baixa del Massís de l'Albera fins a la seva confluència amb el rec de les Fonts, després d'haver passat pel costat dret de la part urbanitzada d'estudi. Aquesta conca es presenta amb un caràcter totalment agro-forestal i recull les aigües d'un segon flux superficial gairebé imperceptible que arriba pel seu marge esquerre en direcció aigües avall. Tant aquest curs secundari com el curs fluvial estudiat són fluxos aprofitats com a regadiu per al conreu.

La conca estudiada es presenta amb una superfície total de 0,21 km<sup>2</sup> i el tram del seu curs principal objecte d'estudi hidrològic comprèn una longitud de 0,73 km des dels 110 m al seu naixement, fins els 68 m en el seu punt culminant. Això suposa un pendent de 0.056 m/m (5,6%) de mitjana de tot l'àmbit. Amb l'esmentada caracterització de la conca s'obté un temps de concentració de 0,412 hores (24,73 minuts). Per tant, en acabar l'aiguat, l'acumulació d'aigua suposadament restaria per sobre de la normalitat durant 24,73 minuts.

Quant als usos del sòl (veure plànol "Usos del sòl" de l'Annex 10.3.1), dels 0,21 km<sup>2</sup> de superfície que comprèn la conca, més del 50% estan destinats a conreus de vinya, la major part dels quals es troben entre els dos cursos fluvials. El 20% de la superfície es troba coberta per matollars, el 15% per terrenys forestals densos i el 15% restant és destinat a prats i herbassars, conreus herbacis i conreus llenyosos.

El substrat geològic de la conca (veure plànol "Litologia" de l'Annex 10.3.1) és en la seva pràctica totalitat (97,5 %) un compost de grauvaques<sup>40</sup>; amb un percentatge mínim (2,5%) trobem graves<sup>41</sup> al centre de la conca. En relació a aquest substrat, es presenta la capacitat d'infiltració del sòl: les grauvaques es presenten amb una infiltració molt lenta en canvi, les graves, amb una infiltració ràpida. Així doncs, la conca suposa generalment una infiltració molt



**Figura 19.** Caracterització de la conca objecte d'estudi.  
Font: elaboració pròpia a partir de cartografia de l'ICGC.

<sup>40</sup> Roca sedimentària de color grisós, caracteritzada per l'abundància de minerals inestables, i fragments de roques dins una matriu argilosa. Estan ben estratificades i són típiques del Paleozoic. ([www.encyclopedia.cat](http://www.encyclopedia.cat))

<sup>41</sup> En geologia aquest terme s'utilitza per a fer referència a la grandària del gra i no implica una escassa compactació d'un sediment. En general s'utilitza per a designar grans majors de 2 mm i més petits de 4 mm.



lenta (97,5 %). A diferència d'aquesta variable, la permeabilitat és un factor que important en la conca. El grau d'urbanització és de 0,01 %, això implica una permeabilitat del 99,9 %, la qual cosa pot compensar en certa manera la lenta infiltració.

Tota la precipitació no afecta de manera directa en el flux superficial, una certa quantitat d'aquesta aigua queda interceptada per la vegetació, emmagatzemada o infiltrada en la superfície del terreny. En aquesta conca les pèrdues no són molt importants, ja que en el 91,5% de la conca trobem uns valors de  $P_0$  entre 10 i 20 mm de flux superficial que es pot arribar a escolar<sup>42</sup>; en un 5% de la superfície és dona un llinar d'escorrentiu d'entre 20 i 35 mm i en tan sols un 3% de la conca, més de 35 mm.

Tot això comporta un cabal no molt important, però sí un temps de concentració molt curt. Tal com s'ha apreciat en el "Gràfic 1. *Evolució temporal del cabal per cada període de retorn*", el cabal punta es dona de manera molt sobtada.

### 5.3 Estudi hidràulic

Amb la modelització hidràulica del tram del Còrrec dels Lladres s'han obtingut els resultats de calat, velocitat i nivells per les avingudes de períodes de retorn  $T_{mco}$ , T10, T100 i T500 anys. Els resultats obtinguts són d'alta precisió per haver-se computat en un interval d'un segon. És d'alta precisió, tenint en compte els arxius que s'han introduït, ja que la modelització es pot afinar bastant més per obtenir un resultat més realista. L'estudi hidràulic, per tant, s'ha portat a terme *a grosso modo* utilitzant tan sols els arxius i les caracteritzacions més importants i imprescindibles.

#### a) Calats:

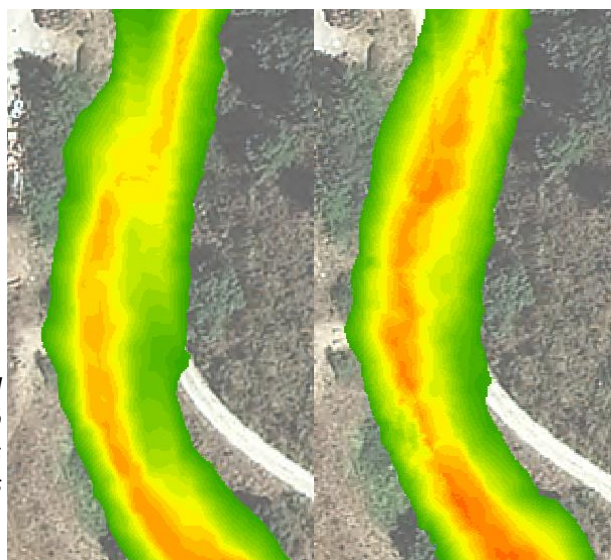
Període de retorn	CALATS (m)					
	LIDAR			DRON		
	Mínim	Màxim	Mig	Mínim	Màxim	Mig
$T_{mco}$	0	1,74	0,43	0	1,9	0,32
T10	0	3,30	0,89	0	2,50	0,65
T100	0	4,5	1,44	0	3,63	1,20
T500	0	5,13	1,74	0	4,33	1,51

**Taula 4.** Taula dels valors dels calats obtinguts. Font: elaboració pròpia.

Es troben importants diferències tant en els calats màxims com en la mitjana del calat de tot el tram d'estudi per a cada període de retorn. Els calats obtinguts pels arxius a vol de dron són més baixos que els del Lidar. Aparentment els calats corresponents al període de retorn  $T_{mco}$ , T10 i T100 de les dades Lidar semblen més reals que els del dron, això és així perquè en el primer s'aprecia un continu d'aigües amunt a aigües avall en què el fons de llera posseeix un major calat, la qual cosa és totalment lògic. En els calats obtinguts per part del dron, en canvi,

<sup>42</sup> Els valors de  $P_0$  es mesuren en mm. Aquests mm representen la quantitat de flux superficial que es pot arribar a infiltrar i que, per tant, no s'escorre superficialment.

observem uns resultats que difereixen poc des del fons de llera als seus marges. Ara bé, quant als calats del període de retorn T500, semblen ser més reals els obtinguts a partir del dron, ja que en aquest cas són aquests els que presenten un continu d'aigües amunt a aigües avall més ben definit.



**Figura 20.** Diferenciació dels dos calats obtinguts en el tram de llera localitzat a l'alçada entre la urbanització Vinya a Prop i el sector El Raval. A l'esquerra els calats T500 obtinguts amb les dades Lidar i, a la dreta, els calats T500 obtinguts a partir del vol de dron. Font: elaboració pròpia.

#### b) Velocitats:

Període de retorn	VELOCITATS (m/s)					
	LIDAR			DRON		
	Mínim	Màxim	Mig	Mínim	Màxim	Mig
Tmco	0	26,30	1,93	0	23,73	1,40
T10	0	46,05	3,32	0	31,82	2,81
T100	0	52,17	4,12	0	35,90	3,77
T500	0	41,36	4,48	0	35,92	4,22

**Taula 5.** Taula dels valors de velocitats obtinguts. Font: elaboració pròpia.

En les velocitats trobem encara diferències majors. Les velocitats obtingudes amb els arxius del vol de dron són considerablement inferiors a les obtingudes a partir de les dades Lidar.

En la figura 21 s'aprecien les velocitats d'ambdós models en la part baixa del tram de curs fluvial objecte d'estudi. En la imatge de la dreta, les velocitats a partir de les dades Lidar i a l'esquerra, les obtingudes amb els arxius del vol de dron. S'aprecia, per les tonalitats de blau, la gran diferència de velocitats entre un model i altre.



**Figura 21.** Velocitats (m/s) d'ambdós models. A la dreta el model del MDT Lidar i, a l'esquerra, el model del MDT obtingut amb les dades del dron. Es tracta d'una vista captada a escala 1:600 que correspon al tram baix de la llera estudiada. Font: elaboració pròpia.

## c) Nivells

Període de retorn	NIVELLS (m)					
	LIDAR			DRON		
	Mínim	Màxim	Mig	Mínim	Màxim	Mig
Tmco	48,70	72,09	57,63	48,70	71,82	58,35
T10	49,25	72,26	57,15	49,19	71,92	57,38
T100	49,28	72,47	58	49,25	72,08	57,75
T500	49,34	72,60	58,54	49,28	72,19	58,28

Taula 6. Taula dels valors de nivells obtinguts. Font: elaboració pròpia.

Potser els resultats més semblants es donen en els nivells d'aigua, aquí les diferències són mínimes tant en els valors mínims com els màxims i mitjos. Aigües amunt els valors dels nivells corresponen als més alts, a partir d'aquí els nivells es redueixen progressivament en direcció aigües avall. Aquest fet es dona perquè els nivells són les cotes absolutes en què arriba el flux superficial tenint en compte l'alçada del terreny<sup>43</sup>, per tant, tal com l'altimetria es va reduint aigües avall els nivells també ho fan.



Figura 22. Nivells o cotes absolutes obtinguts (m). Els nivells de l'esquerra corresponen als obtinguts amb les dades Lidar, els de la dreta, els obtinguts a partir dels arxius de dron. Es tracta d'una vista captada a escala 1:4000. Font: elaboració pròpia.

## 5.4 Estudi d'inundabilitat

### 5.4.1 Superfície inundable

A simple vista, la llera del Còrrec dels Lladres es caracteritza com profunda i ben encaixada, s'aprecia molt bé com això es deu a la força en què flueix l'escorrentiu superficial quan aquest existeix a causa del destacat pendent que es presenta. Pot resultar difícil imaginar com aquest flux superficial podria sobresortir de la seva llera i inundés la part urbanitzada. Amb els resultats que es presenten es deixa constància d'aquest fet, les zones inundables es presenten amb una morfologia continua i encaixada aigües avall sense deixar masses d'aigua estancada.

<sup>43</sup> Els nivells o cotes absolutes representen l'alçada en què arriba el flux superficial tenint en compte l'alçada del terreny. Els nivells, per tant, són el resultat de la suma entre el MDT i els calats.

SUPERFÍCIE INUNDABLE (ha)			
Període de retorn (T)	Amb MDT Lidar	Amb MDT Dron	Diferència (Lidar - Dron)
Tmco	0.378	0.375	0.003
T10	0.714	0.667	0.047
T100	0.962	0.95	0.012
T500	1.074	1.094	-0.020

**Taula 7.** Ha de superfície inundable del tram estudiat del Còrrec dels Lladres pels períodes de retorn: Tmco, T10, T100 i T500. Font: elaboració pròpia.

Les diferències entre ambdós models quant a superfície inundable de tot el tram d'estudi són mínimes. La variació més notable recau en el període de retorn de 10 anys, on es dona una diferència de 0.047 ha, per tant, 470 m<sup>2</sup> menys que resten inundables en el model realitzat a partir dels arxius del dron. En els períodes de retorn Tmco i T100 també es redueix la superfície en el model més innovador, tot i que en petites quantitats. En el període de retorn T500, en canvi, el model amb el MDT del dron augmenta la superfície inundable en 200 m<sup>2</sup>.

Per tal d'apreciar els resultats amb més profunditat es presenten les ha de superfície inundable dels mateixos períodes de retorn dividides en tres trams: tram alt, tram mig i tram baix.

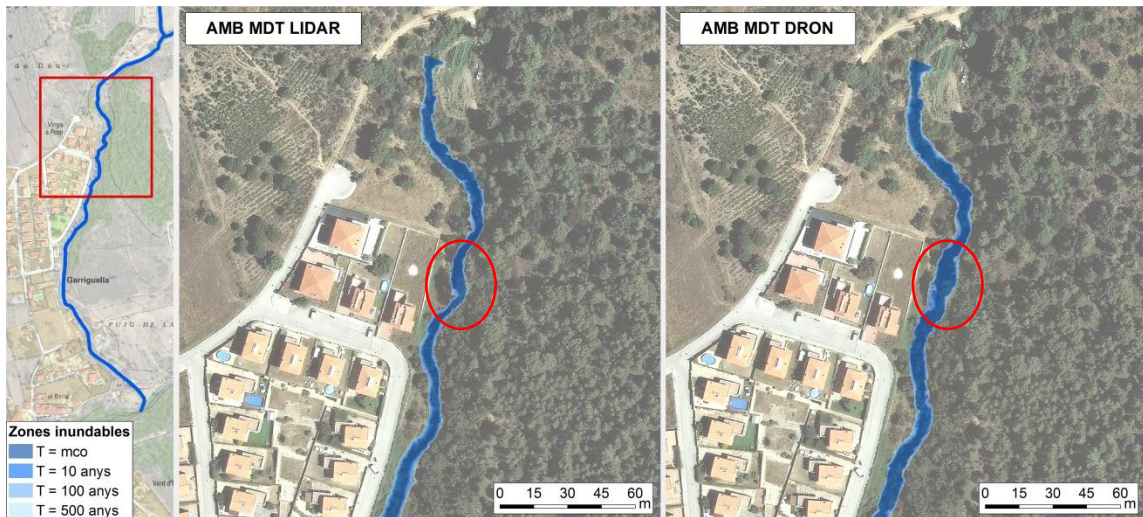
#### 5.4.2 Superfície inundable: tram alt

SUPERFÍCIE INUNDABLE: TRAM ALT (ha)			
Període de retorn (T)	Amb MDT Lidar	Amb MDT Dron	Diferència (Lidar - Dron)
Tmco	0.072	0.098	-0.026
T10	0.09	0.117	-0.027
T100	0.114	0.143	-0.029
T500	0.129	0.158	-0.029

**Taula 8.** Ha de superfície inundable del tram alt del Còrrec dels Lladres pels períodes de retorn: Tmco, T10, T100 i T500. Font: elaboració pròpia.

La inundació d'aquest tram és imperceptible, pràcticament la totalitat de la zona inundable en els quatre períodes de retorn es presenten en l'interior de la llera. El tram alt del còrrec estudiat és l'únic en què, per tots els períodes de retorn, la superfície inundable és major en el model del MDT del dron que en el dels arxius oficials. És també el tram en què generalment es donen majors diferències en comparació als resultats obtinguts aigües avall.

Aquest mateix tram és també l'únic en què es dona una diferència de superfície inundable considerable. En la figura 23 s'aprecia una part d'aquest tram on la inundabilitat és escassa, ja que el flux circula de forma continuada en el primer model mentre; en el segon, aquest flux sembla estancar-se mínimament en aquest espai augmentant la zona inundable per tots els períodes de retorn.



**Figura 23.** Superfície inundable del tram alt del Còrrec dels Lladres pels períodes de retorn: Tmco, T10, T100 i T500 del model obtingut amb el MDT de les dades Lidar a l'esquerra i, a la dreta, el model a partir del MDT del dron. Font: elaboració pròpia.

### 5.4.3 Superfície inundable: tram mig

SUPERFÍCIE INUNDABLE: TRAM MIG (ha)			
Període de retorn (T)	Amb MDT Lidar	Amb MDT Dron	Diferència (Lidar - Dron)
Tmco	0.117	0.109	0.008
T10	0.201	0.183	0.018
T100	0.280	0.261	0.019
T500	0.315	0.315	0

**Taula 9.** Ha de superfície inundable del tram mig del Còrrec dels Lladres pels períodes de retorn: Tmco, T10, T100 i T500. Font: elaboració pròpia.

A diferència del tram anterior, en aquest es comença a generar una inundació més perceptible sobresortint de la llera en algun punt en concret. El tram mig correspon al més semblant quant als resultats d'ambdós models. Les diferències en aquest tram són mínimes respecte als períodes de retorn Tmco, T10 i T100. Quant al T500, el resultat en ha és exactament el mateix tot i que geogràficament els espais inundables difereixen de manera mínima.



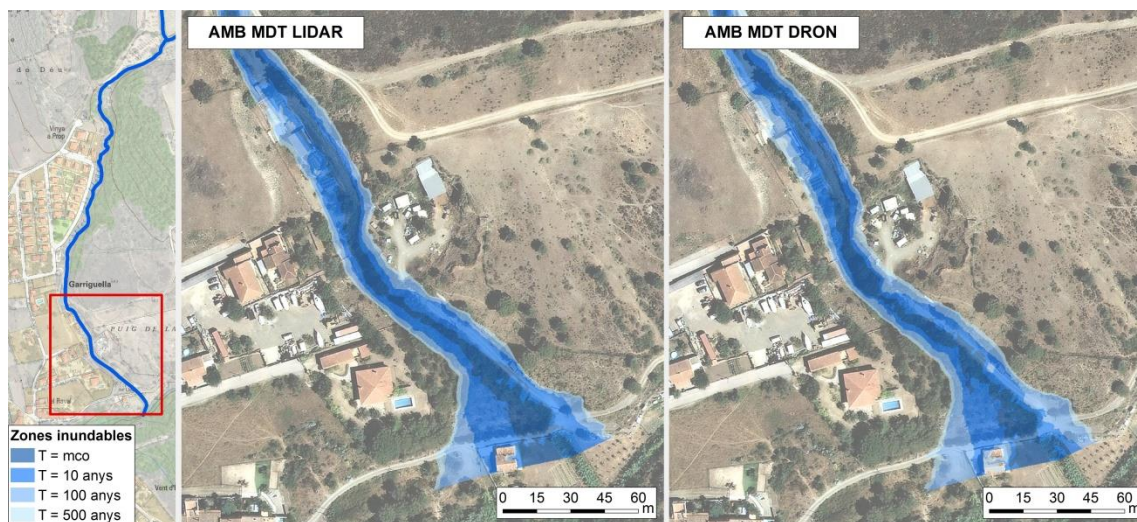
**Figura 24.** Superfície inundable del tram mig del Còrrec dels Lladres pels períodes de retorn: Tmco, T10, T100 i T500 del model obtingut amb el MDT de les dades Lidar a l'esquerra i, a la dreta, el model a partir del MDT del dron. Font: elaboració pròpia.

#### 5.4.4 Superfície inundable: tram baix

SUPERFÍCIE INUNDABLE: TRAM BAIX (ha)			
Període de retorn (T)	Amb MDT Lidar	Amb MDT Dron	Diferència (Lidar - Dron)
Tmco	0.189	0.168	0.021
T10	0.423	0.367	0.056
T100	0.568	0.546	0.022
T500	0.63	0.621	0.009

**Taula 10.** Ha de superfície inundable del tram baix del Còrrec dels Lladres pels períodes de retorn: Tmco, T10, T100 i T500. Font: elaboració pròpia.

Finalment al tram baix, on el pendent comença a disminuir i la llera ja no es presenta tan encaixada, es dona la major superfície inundable. Pràcticament la inundabilitat es dobla en cada període de retorn en comparació al tram anterior tant en un com altre model, excepte en el cas del Tmco. Les diferències en superfície entre els models també són reduïdes en el cas dels períodes de retorn Tmco i T100; en el cas del T500 la superfície inundable és gairebé la mateixa. En el període de retorn T10, en canvi, es dona la major diferència en superfície de tots els resultats obtinguts i de tots tres trams. El model obtingut a partir dels arxius del dron permeten comptabilitzar 560 m<sup>2</sup> més de zona inundable per aquest període de retorn.



**Figura 25.** Superfície inundable del tram baix del còrrec dels Lladres pels períodes de retorn: Tmco, T10, T100 i T500 del model obtingut amb el MDT de les dades Lidar a l'esquerra i, a la dreta, el model a partir del MDT del dron. Font: elaboració pròpia.

### 5.5 Zonificació de l'Espai Fluvial<sup>44</sup>

La zonificació de l'espai fluvial (ZEF) d'acord al Reglament de Domini Públic Hidràulic integra 5 figures de zonificació de l'espai: Domini Públic Hidràulic (DPH), Zona de Servitud (ZS), Zona de Policia (ZP), Zona de Flux Preferent (ZFP) i Zona Inundable (ZI). La Zona de Policia no és

<sup>44</sup> Zona ocupada per la llera pública (el riu) i els terrenys de titularitat privada o pública que l'envolten i que integren el corredor biològic associat al riu, la vegetació de ribera i la zona inundable (ACA).

contemplada en la zonificació elaborada en aquest treball, ja que suposa una superfície molt extensa i és útil sobretot per a cursos fluvials de més importància.

Zonificació	Objectiu	Usos
<b>Domini Públic Hidràulic</b>	Preservació de DPH, prevenció del deteriorament dels ecosistemes aquàtics i protecció del règim de corrents.	En general no es permet cap ús llevat dels associats a la preservació ambiental i del règim de corrent.
<b>Zona de Servitud</b>	Protecció i vigilància del DPH.	Protecció de l'ecosistema i del DPH. Accés i vigilància fluvial, pas vianants, amarratge o varat.
<b>Zona de Flux Preferent</b>	Evitar greus danys per a béns i persones.	Usos no vulnerables davant d'inundacions que no redueixin la capacitat de desguàs.
<b>Zona Inundable</b>	Definir zones inundables per a episodis extraordinaris de baixa probabilitat.	Possible construcció i edificació amb condicions però no serveis o equipaments sensibles.

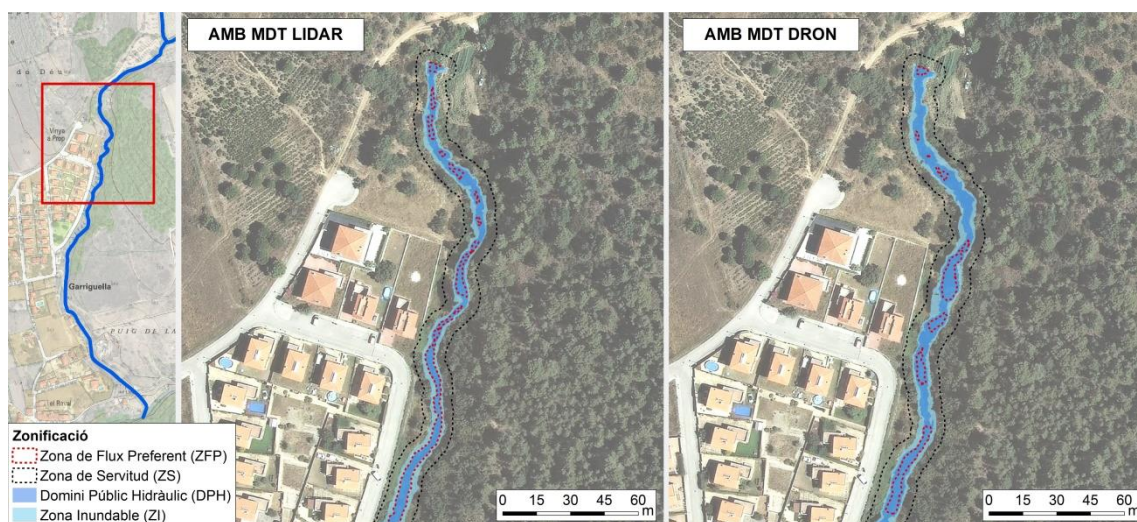
**Taula 11.** Objectius i usos de les figures de la Zonificació de l'Espai Fluvial d'acord al RDPH. Font: elaboració pròpia a partir de la zonificació fluvial de l'ACA ([www.aca-web.gencat.cat](http://www.aca-web.gencat.cat).)

Tot seguit es presenta aquesta zonificació pels 3 trams del còrrec estudiat, mentre s'analitza si l'ús de cada figura es compleix en ambdós models o no:

#### A. ZEF: tram alt

Entre les figures tractades de la zonificació, l'única amb una diferència notable en el tram alt és la Zona de Flux Preferent. Dins d'aquest tram, en la part més alta s'aprecia una ZFP quasi continua en el model del MDT de dades Lidar, mentre que en el segon model, la ZFP és pràcticament inexistent en aquest espai. Al sud, aquesta figura es troba més marcada tant en un model com en l'altre, tot i així segueix tenint més continuïtat el primer model.

En els dos models totes les figures compleixen el seu ús.

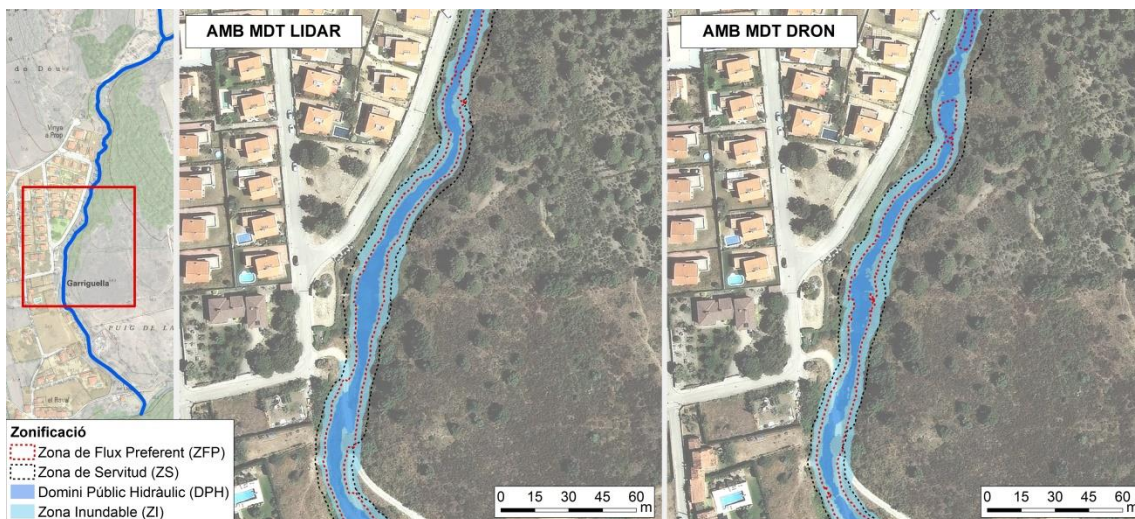


**Figura 26.** Zonificació de l'Espai Fluvial d'acord al RDPH del tram alt del Còrrec dels Lladres del model obtingut amb el MDT de les dades Lidar, a l'esquerra i; a la dreta, el model a partir del MDT del dron. Font: elaboració pròpia.

### B. ZEF: tram mig

La Zona de Flux Preferent torna a ser la figura que mínimament varia en aquest tram entre un model i l'altre. Aquestes diferències, tal com es pot veure a la figura 27, es donen tant a la part septentrional del tram, on es dóna una continuïtat en el model del MDT de dades Lidar i tot el contrari en l'altre model, com a l'alçada del camí de terra que travessa la llera del còrrec. Aquests petits canvis també es donen allà mateix amb la Zona de Servitud.

En el tram mig, les figures de la zonificació tornen a complir el seu ús.



**Figura 27.** Zonificació de l'Espai Fluvial d'acord al RDPH del tram mig del Còrrec dels Lladres del model obtingut amb el MDT de les dades Lidar, a l'esquerra i; a la dreta, el model a partir del MDT del dron. Font: elaboració pròpia.

### C. ZEF: tram baix

El tram baix és sens dubte on més diferències de zonificació trobem. Tot i que en el model del MDT Lidar, a la part meridional del tram, el Domini Públic Hidràulic apareix més ample que en el model del MDT Dron, aquesta diferència és mínima. La importància en aquest tram recau en la Zona de Servitud i la Zona de Flux Preferent. En aquest cas l'ús de les figures de la zonificació no es compleix correctament.

En l'àmbit de la Zona de Servitud s'hi localitza una construcció segons el model elaborat a partir de dades Lidar mentre en el model obtingut a partir dels arxius del dron, l'edificació no forma part d'aquesta figura de zonificació.



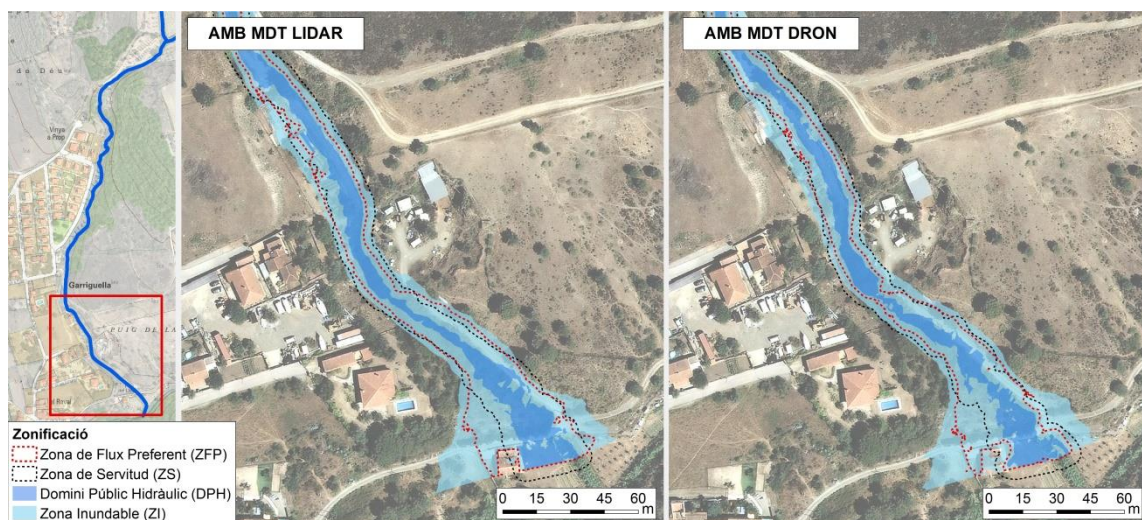
**Figura 28.** Edificació dins la ZS del model MDT Lidar. En negre la delimitació de la ZS del MDT Lidar i, en blau, la ZS del model dels arxius del dron. Font: elaboració pròpia.



Quant a la Zona de Flux Preferent, succeeix el mateix i en el mateix indret. Aquesta mateixa edificació resta dins la ZFP obtinguda pel model del MDT Lidar mentre en l'altre model se situa fora d'aquesta figura de zonificació.



**Figura 29.** Edificació dins la ZFP del model MDT Lidar. En taronja la delimitació de la ZFP del MDT Lidar i, en negre, la ZFP del model dels arxius del dron. Font: elaboració pròpia.



**Figura 30.** Zonificació de l'Espai Fluvial d'acord al RDPH del tram baix del Còrrec dels Lladres del model obtingut amb el MDT de les dades Lidar, a l'esquerra i; a la dreta, el model a partir del MDT del dron. Font: elaboració pròpia.

## 5.6 Anàlisi del risc d'inundació

### 5.6.1 El risc d'inundació

Per entendre aquesta anàlisi cal primer tenir molt present el correcte significat del concepte risc d'inundació. Aquest risc no fa referència únicament al fenomen físic de la inundació, sinó a una combinació d'aquest amb l'exposició i vulnerabilitat a aquest fenomen. Així doncs, el fenomen físic provoca el perill d'inundació; els elements que es troben dins la delimitació de la zona inundable comprenen l'exposició a aquest perill; i, segons la magnitud de la inundació i les característiques de l'element (si és una escola, si és un camp de conreu, etc.), aquest serà molt o poc vulnerable al perill físic. El risc és el resultat d'aquesta triple combinació.

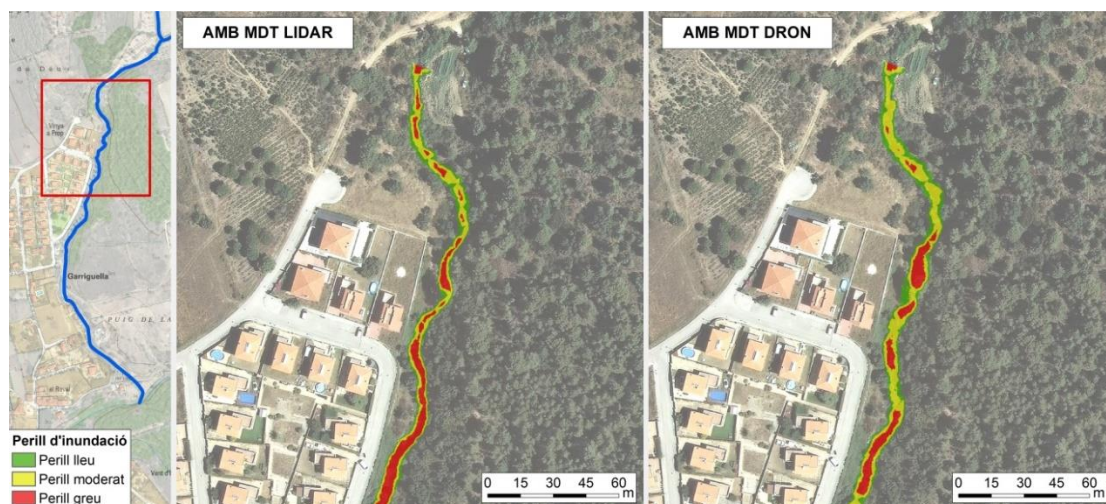
$$\text{RISC} = \text{PERILL} + \text{EXPOSICIÓ} + \text{VULNERABILITAT}$$

### 5.6.2 El perill de la inundació

Per a tractar el perill d'inundació, tal com s'ha aclarit a l'apartat 4.9 *Tractament dels resultats hidràulics*, se segueix la classificació del perill d'inundació de l'ACA.

#### A. El perill: tram alt

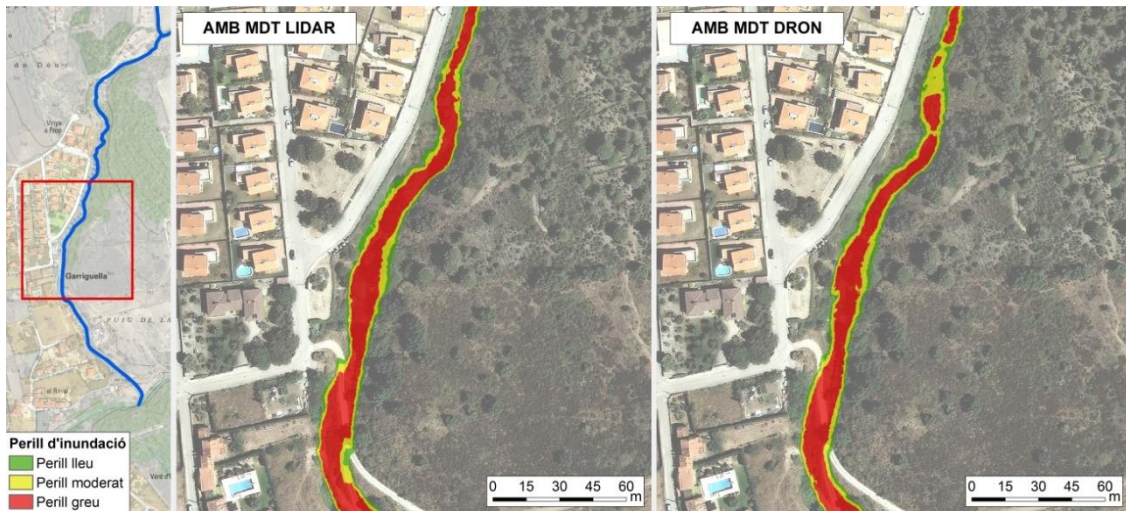
En el primer tram trobem dues diferències molt generals i no molt importants: tenint en compte els tres nivells de perillositat, el resultat del model del Dron implica més superfície respecte al model de dades Lidar; alhora, el model Lidar genera un perill greu d'inundació que és continu en la part central de la llera d'aigües amunt a aigües avall, en canvi en l'altre model aquest nivell de perill és discontinu.



**Figura 31.** Perill d'inundació a partir de la classificació del perill d'inundació de l'ACA del tram alt del Còrrec dels Lladres. El perill del model obtingut amb el MDT de les dades Lidar, a l'esquerra i; a la dreta, el model a partir del MDT del dron. Font: elaboració pròpia.

#### B. El perill: tram mig

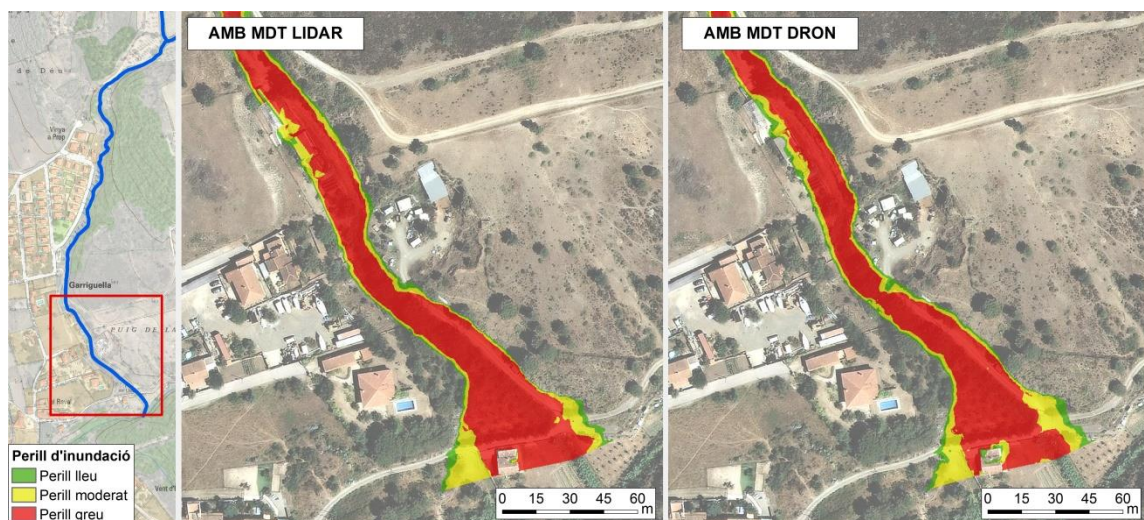
A diferència del primer tram, en aquest la superfície exposada al risc incrementa en ambdós models i, gran part d'aquest risc comprèn el nivell de perillositat greu. Tanmateix, igual que en el tram anterior, aquest risc greu es presenta totalment continu d'aigües amunt a aigües avall pel model de dades Lidar, tot el contrari succeeix amb el model obtingut a partir dels arxius del dron.



**Figura 32.** Perill d'inundació a partir de la classificació del perill d'inundació de l'ACA del tram mig del Còrrec dels Lladres. El perill del model obtingut amb el MDT de les dades Lidar, a l'esquerra i; a la dreta, el model a partir del MDT del dron. Font: elaboració pròpia.

### C. El perill: tram baix

La superfície afectada pel perill d'inundació augmenta considerablement en aquest tram, tot i que es continua amb la mateixa característica: la perillositat greu és la més extensa per la llera del còrrec, la lleu i la moderada tenen una extensió mínima. Les diferències entre ambdós casos són pràcticament imperceptibles, però és veritat que en el resultat obtingut a partir del model de les dades Lidar el perill greu comprèn major part de les edificacions que es presenten al centre d'aquest tram i al marge dret de la llera en direcció aigües avall. Aquesta diferència però, suposa uns pocs metres.



**Figura 33.** Perill d'inundació a partir de la classificació del perill d'inundació de l'ACA del tram baix del Còrrec dels Lladres. El perill del model obtingut amb el MDT de les dades Lidar, a l'esquerra i; a la dreta, el model a partir del MDT del dron. Font: elaboració pròpia.

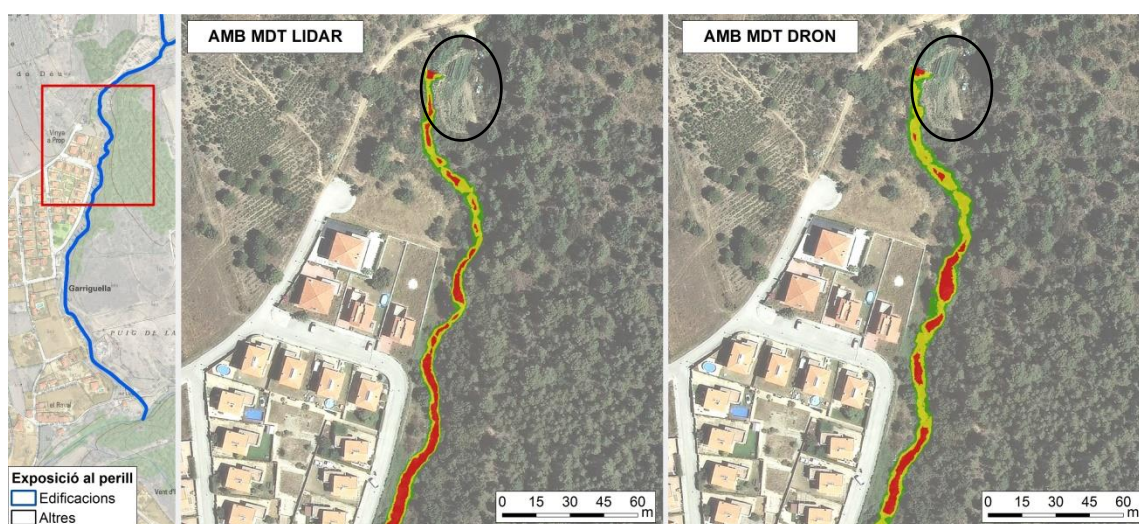
### 5.6.3 L'exposició al risc d'inundació

Com ja s'ha deixat constància, la superfície exposada al perill d'inundació del Còrrec dels Lladres és mínima i això és degut principalment a la fondària de la seva llera, a la seva morfologia encaixada per on circula el flux de manera continuada aigües avall. D'aquesta manera trobem que l'exposició al fenomen físic estudiat és mínima i comprèn majoritàriament espais forestals que pertanyen als propis marges de la llera. Com s'ha vist anteriorment amb tots els resultats, el tram final del còrrec és l'espai més complex i és aquí on es podrà apreciar una exposició més variada.

#### A. L'exposició: tram alt

En l'extrem septentrional d'aquest tram i, per tant, de tot el tram d'estudi del còrrec, s'aprecia com el risc d'inundació entra mínimament en una finca de conreu situada al marge esquerre de la llera en direcció aigües avall. Aquest petit camp de conreu es troba al límit de formar part de la zona del perill d'inundació. D'aquí en direcció aigües avall l'únic element exposat al perill és la pròpia llera del còrrec i els seus marges, que es troben coberts d'una massa forestal densa.

Les diferències entre ambdós models quant a elements exposats al perill són inexistents.

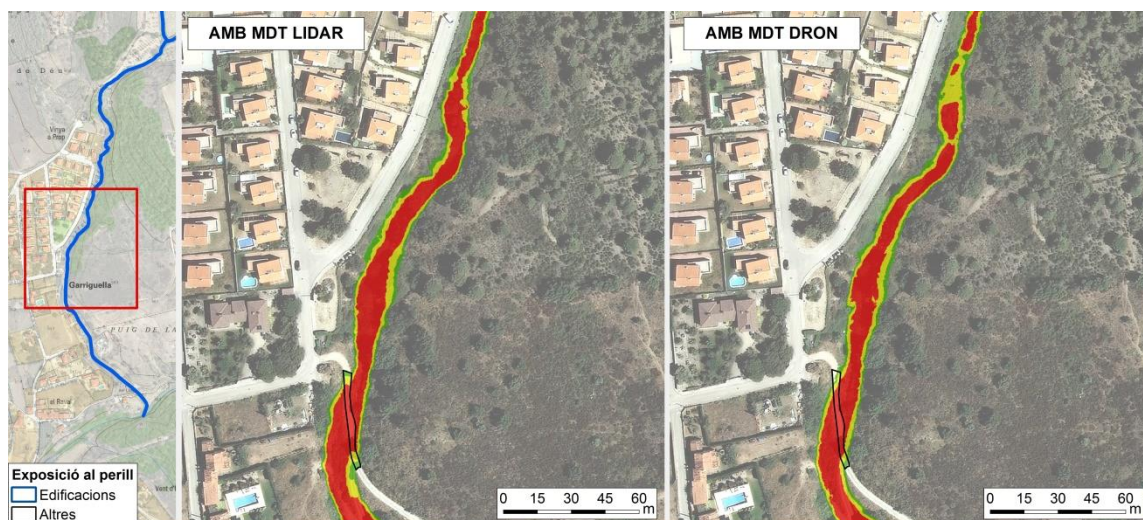


**Figura 34.** Exposició al perill d'inundació del tram alt del Còrrec dels Lladres. El model amb el MDT de les dades Lidar, a l'esquerra i; a la dreta, el model amb el MDT del dron. Font: elaboració pròpia.

#### B. L'exposició: tram mig

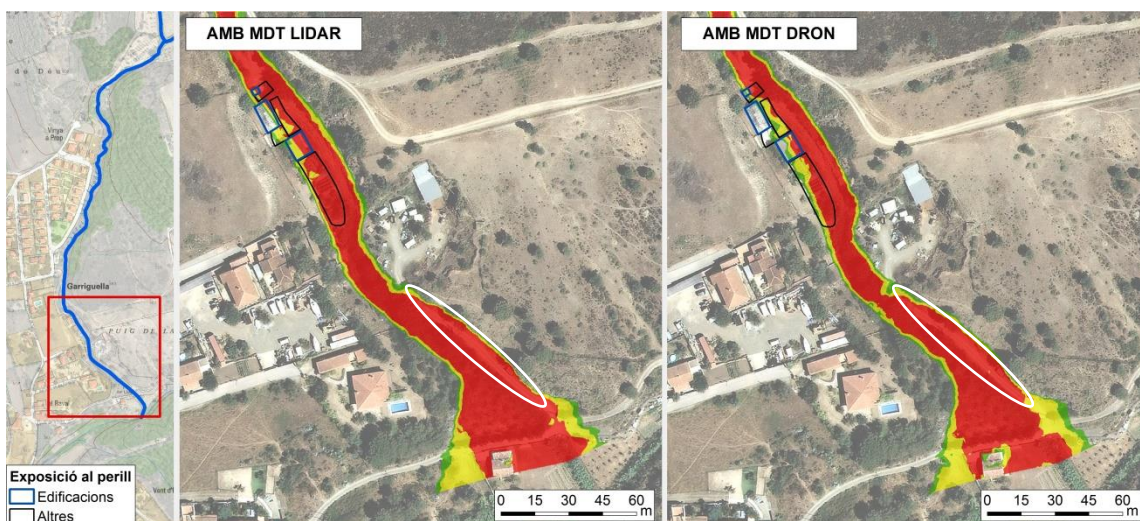
Tal com en la totalitat del tram anterior, només existeix exposició per part de coberta forestal, la qual cosa continua d'igual manera fins a trobar l'element marcat en la figura 35. Trobem doncs que en aquest tram existeix un element exposat al perill d'inundació amb una mínima importància. Es tracta d'un camí rural per on circulen fins i tot vehicles de motor que connecta el nucli de Garriguella amb alguns masos situats a uns 250 m en direcció est. Tot i que la possible inhabilitació d'aquest camí no provocaria un aïllament dels masos esmentats, sí que provocaria un canvi de ruta més llarga per tal d'accedir d'un lloc a l'altre.

L'exposició al perill d'aquest element i de tota la massa forestal situada en la llera i els seus marges d'aquest tram, no varia amb importància entre un model i l'altre.



**Figura 35.** Exposició al perill d'inundació del tram mig del Còrrec dels Lladres. El model amb el MDT de les dades Lidar, a l'esquerra i; a la dreta, el model amb el MDT del dron. Font: elaboració pròpia.

Una vegada més, el tram baix és el que permet analitzar millor la situació. En la part septentrional del mateix tram es localitza el conjunt d'elements exposats al perill d'inundació més important de tot l'àmbit. Aigües avall d'aquests elements, un altre cop, l'element que es troba en perill d'inundació és la llera i els seus marges que es troben coberts per vegetació, tot i que amb menys densitat que en el primer i segon tram. Alhora es troba exposat al perill un tram de carretera (marcada en blanc en la figura 36) que connecta l'explotació existent amb el nucli de Garriguella. Aquesta carretera comprèn una perillositat greu.



**Figura 36.** Exposició al perill d'inundació del tram baix del Còrrec dels Lladres. El model amb el MDT de les dades Lidar, a l'esquerra i; a la dreta, el model amb el MDT del dron. Font: elaboració pròpia.

Per tal d'analitzar millor l'exposició en la part alta d'aquest tram, es presenta la figura 37, la qual mostra un zoom dels elements exposats més importants del tram baix. S'observen tant edificacions exposades com altres tipus d'elements (petits horts, sòls asfaltats de propietat

privada, etc.). Per agilitzar la comprensió de l'anàlisi es comenta per separat cadascun dels elements:

### *Edificacions*

Element 1: en el model del Lidar es troba completament dins la zona de perill. La meitat de la seva superfície comprèn el perill greu i la resta és de perill moderat, encara que una mínima part es troba en perill lleu. En canvi, en el model del dron tan sols la meitat de la superfície es troba dins la zona de perill: pràcticament tot el perill és moderat, una petita superfície comprèn perill lleu i una mínima àrea, gairebé inexistent, un perill de nivell greu.

Element 2: aquesta edificació comprèn, en el primer model, part del perill d'inundació en els tres nivells existents. En el model del dron, en canvi, tan sols comprèn una franja que suposa un perill lleu.

Element 3: en el model de dades Lidar, aquesta edificació es troba completament dins la zona de perill. La meitat de la seva superfície rep un perill greu i la resta un perill moderat. En el segon model, en canvi, no es troba tota l'edificació dins aquesta zona de perill. De la superfície que rep perillositat, la meitat correspon al nivell greu i la resta al lleu i moderat.

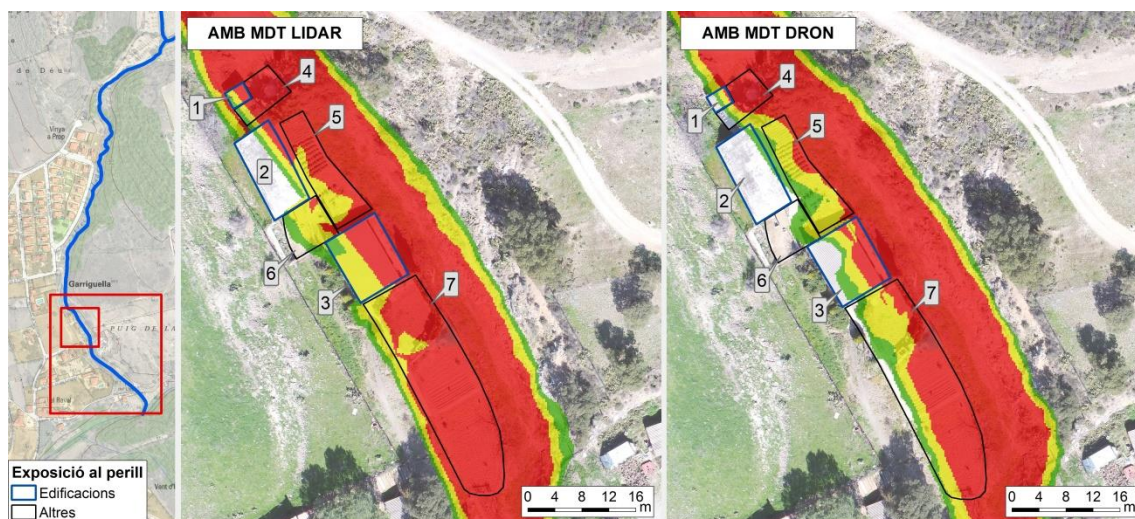
### *Altres elements*

Element 4: es tracta d'un tros de parcel·la asfaltada de propietat privada que forma part de l'edificació que correspon a l'element 1. Tant en un com en l'altre model es troba altament exposat al perill d'inundació i en gran mesura pel nivell greu. Existeix una mínima diferència entre els dos models: en el model del dron, la franja de l'extrem occidental no rep perillositat, mentre que en el primer model rep un nivell de perill moderat.

Element 5: aquest element exposat correspon a un hort de propietat privada. En el model de les dades Lidar, aproximadament el 70% de la superfície es troba influenciat per una perillositat de nivell greu, mentre que la superfície restant rep un perill moderat. En el segon model el nivell de perillositat dominant és el moderat, una mínima part rep perill greu i una petita franja a l'extrem occidental comprèn perill lleu.

Element 6: correspon a un terreny asfaltat que forma part de l'element 2. En el primer model, més de la meitat de la seva superfície rep un perill d'inundació moderat i una franja de perill lleu. A l'extrem oriental es donen dues petites influències de perill greu. En el segon model la perillositat és molt més reduïda, tan sols una tercera part de la seva superfície es troba en perill i la major part correspon al grau de perill moderat.

Element 7: es tracta d'una extensió d'hort que forma part de l'element 3. En el primer model, aproximadament el 80% de la seva superfície rep influència del perill greu i el 20% restant comprèn un perill moderat. En el segon model, el nivell de perillositat es redueix considerablement. El 50% de la superfície es troba en perill greu, el 30% en perill moderat, el 10% en perill lleu i el 10% restant no rep cap nivell de perillositat.



**Figura 37.** Aproximació a l'exposició del perill d'inundació del tram baix del Còrrec dels Lladres. El model amb el MDT de les dades Lidar, a l'esquerra i; a la dreta, el model del MDT dron. Font: elaboració pròpia.

#### 5.6.4 La vulnerabilitat al risc de la inundació

En el primer tram, l'exposició al perill d'inundació era poc important. Els elements exposats eren molt homogenis: la llera i part dels seus marges i, a l'extrem septentrional, un petit hort. Aquest hort rebia una part mínima d'aquest perill, però caldria valorar la seva importància. Molt segurament es tracta d'un terreny privat que és utilitzat per a la producció de consum propi. Aigües avall d'aquest terreny, fins a arribar a la meitat del segon tram, tota l'àrea afectada comprèn únicament la llera i marges d'aquesta. Aquesta llera es presenta amb una densa coberta forestal. El perill d'inundació no suposa cap risc en l'àmbit social en tot aquest tram esmentat. Suposa quelcom difícil pel flux superficial superar la cota en què es troba la part urbanitzada en el seu marge dret (la urbanització Vinya a Prop). Tal com s'aprecia en la imatge 2, tot aquest marge es troba delimitat per un fort pendent i un mur de contenció.

**Imatge 2.** Vista aèria de la llera corresponent al tram alt del còrrec. S'aprecia la densa coberta forestal que cobreix el pas del curs fluvial. Font: elaboració pròpia.



**Imatge 1.** Vista aèria de l'hort que es troba en el límit de la zona de perill d'inundació. Font: elaboració pròpia.



En la part baixa del tram mig, l'exposició al perill d'inundació comença a generar complicacions. Tal com s'ha vist en l'apartat anterior, en aquest espai es dóna un risc greu en un camí ramader que suposa una important connexió, tot i que no és imprescindible. L'afecció d'aquest vial pot comportar un malestar social per a aquells individus que necessitin o desitgin creuar d'una part a l'altre del còrrec. Tot i que es tracta d'un tipus d'exposició que no genera danys materials propis, pot generar aquests conflictes socials.



**Imatge 3.** Vial d'accés que creua el còrrec transversalment. Font: elaboració pròpia.

Finalment, al tram baix del còrrec es troba el conjunt d'elements esmentats en l'apartat anterior:

L'element 1 i 4 comprenen una parcel·la composta per una petita edificació i un terreny asfaltat. Aquest àmbit rep un grau alt de perill d'inundació. A més a més, tan sols per la morfologia del còrrec en passar per aquest emplaçament, queda clar que el perill és molt alt. El còrrec arriba en direcció cap a aquest element i en arribar-hi, es desvia lleugerament cap a l'est i continua el seu recorregut vorejant aquest edifici per un dels seus costats. La cota de diferència entre la llera i aquest element és mínima i a més, no disposa de cap mur que el protegeixi mínimament. El tipus de construcció és antic i aparenta poca rigidesa. L'ús d'aquesta edificació és desconegut, però molt probablement hi resideix algú. És un exemple clar del que s'hauria de rectificar en relació al planejament urbanístic.



**Imatge 4.** Parcel·la situada al marge dret del còrrec. Aquest emplaçament rep un perill d'inundació greu. Font: elaboració pròpia.

En passar per l'element esmentat, el còrrec té pas pels elements 2, 5 i 6. Aquesta parcel·la comprèn un petit terreny asfaltat, un hort i una edificació de dimensions més importants que l'edifici anterior. El terreny asfaltat rep una perillositat moderada, però realment no és important, ja que no provoca danys. L'hort rep una perillositat més elevada, tot i que també depèn del model d'inundació que observem. Com en l'hort esmentat al principi d'aquest apartat, el perill d'inundació en aquest espai podria generar danys únicament al seu propietari, a qui li podria



**Imatge 5.** Parcel·la situada al marge dret del còrrec. Aquest emplaçament rep un baix perill d'inundació. Font: elaboració pròpia.



afectar econòmicament. L'edifici és l'element menys exposat d'aquesta parcel·la. A més, l'ús que se li dona no és quotidià, pel moviment que es va notar durant la visita de camp semblava més un magatzem. Per tant, difícilment podria generar un risc humà; molt probablement sí que es podria considerar un risc per la producció.

Aigües avall, enganxada a la parcel·la esmentada, s'hi troba una tercera parcel·la que correspon a l'element 3. En aquesta parcel·la existeix una edificació considerable que, sens dubte, és utilitzada com a residència quotidiana. Aquesta edificació rep un grau de perill molt elevat en la major part de la seva superfície. Molt segurament aquest és el motiu pel qual trobem aquest alt mur de contenció protegint l'edificació. Cal tenir en compte que en els models d'inundabilitat realitzats no s'ha tingut en compte aquest tipus de mur, tan sols el terreny aportat pels MDT; així doncs molt segurament aquest espai deixaria de rebre perillositat gràcies a aquest mur. A la imatge 6 s'aprecia amb claredat com, fins i tot, s'ha volgut enlairar més aquest mur. És una clara prova del que succeeix en tot aquest tram baix del còrrec.



**Imatge 6.** Mur d'una parcel·la situada al marge dret del còrrec. Aquest emplaçament rep un baix perill d'inundació. Font: elaboració pròpia.



**Imatge 7.** Parcel·la situada al marge dret del còrrec. S'aprecia la morfologia de l'edificació, totalment residencial. Aquest emplaçament rep un baix perill d'inundació. Font: elaboració pròpia.

En la mateixa parcel·la d'aquesta edificació residencial, en direcció aigües avall, hi apareix un petit hort de producció clarament per a consum propi amb un continu d'extensió de terreny. Es tracta de l'element 7. Aquest espai rep un perill greu però no suposa cap afectació realment important. Un altre cop, la conseqüència que es podria donar seria un cost econòmic per al propietari del terreny.



**Imatge 8.** Parcel·la situada al marge dret del còrrec. Aquest emplaçament rep un alt perill d'inundació. Font: elaboració pròpia.

## 5.7 Valoració de l'impacte potencial del risc d'inundació

Generalment, la morfologia de la zona amb risc d'inundació en l'àmbit d'estudi és la típica corresponent a un torrent: en la seva capçalera es troba la conca de recepció on s'acumulen les aigües, tot seguit el flux circula pel canal de desaigüe fins a arribar a la part baixa, on es dona el con de dejecció. Aquesta morfologia explica el fet que durant el tram alt i mig, la llera estigui considerablement encaixada i el flux sigui incapaç de sobrepassar el seu desnivell; i en canvi, a la part baixa, on el pendent es redueix i la cota s'uniformitza, la zona amb perill d'inundació s'expandeix.

El fet que en aquest tram baix s'aplani mínimament el terreny, comporta que la societat trobi aquest indret com a òptim per a l'assentament sense tenir en compte que també serà l'ideal per a l'expansió de la zona inundable. Com a resultat es dona un conjunt d'edificacions i parcel·les molt exposades al perill en general, però amb poc risc. La reducció del risc enfront al perill es deu pel tipus d'ús de sòl que s'exposa, ja que òbviament no es considerarà de gran rellevància els petits conreus exposats. A més a més, aquesta reducció del risc es deu també per l'autoprotecció portada a terme per alguns individus, com és el mur de contenció que es troba al marge dret de la llera (veure imatge 6). Aquest tipus d'autoprotecció deixa constància de la mínima conscienciació social d'aquests individus pel que succeeix o pot arribar a succeir en aquest àmbit.

Altres àmbits exposats altament al perill però amb un reduït risc són els horts en aquest conjunt esmentat, l'hort situat a la capçalera del tram de còrrec estudiat i el recorregut de tota la llera i els seus marges. També pren la mateixa consideració el camí ramader utilitzat de pas per a vehicles de motor que travessa el còrrec, ja que tot i poder provocar una molèstia social pels veïns que utilitzen quotidianament aquest pas, la inhabilitació d'aquest element no impossibilita la connexió entre els masos i el nucli de Garriguella.

## 6. DISCUSSIÓ

MODEL FONTS OFICIALS (ICGC)		MODEL DRON	
<b>ORTOFOTOMAPA</b>			
Punts forts	Punts febles	Punts forts	Punts febles
Correcta georeferenciació	Resolució de 25 cm/px	Resolució segons conveniència (influenciarà en la planificació del vol)	Cal una correcció en la georeferenciació
	Màxima actualització: 2016	Actualització constant	
<b>MDT</b>			
Punts forts	Punts febles	Punts forts	Punts febles
Informació gratuïta	Baixa densitat de punts (2 punts/m <sup>2</sup> )	Alta densitat de punts (99 punts/m <sup>2</sup> )	Preu del dron i del software necessari
Descàrrega d'arxius llestos per a tractar-los	Dades Lidar poc actualitzades (2008 – 2011)	Dades altimètriques totalment actualitzades	Dedicació de temps per la planificació i l'execució del vol i possibles problemes tècnics durant el procés
Informació altimètrica regular espacialment	Mateixa precisió en tot el territori	Es pot atorgar més precisió als petits àmbits de més interès	Espais buits d'informació en realitzar el filtratge (de MDS a MDT)
Correcta georeferenciació de l'arxiu			Cal una correcció en la georeferenciació
Disponible per a tot Catalunya			S'ha de planejar el vol i moltes vegades hi ha llocs on no es permet volar
Ús professional sense autorització			Ús professional amb necessitat d'autorització si existeix algun benefici econòmic

**Taula 12.** Anàlisi DAFO dels punts forts i punts febles dels dos mètodes tractats: models a partir de fons oficials i models a partir de vols de dron. Font: elaboració pròpia.

La decisió d'utilitzar un mètode o altre depèn de l'investigador. Les diferències són clares i segons cada estudi es prioritzaran uns aspectes o altres. En uns casos seran aspectes com l'accés ràpid i econòmic per sobre de la qualitat de l'estudi; en altres casos es prioritzaran els aspectes de qualitat i nivell d'actualització de les dades i, per tant, s'optarà per un procés llarg i complex.

Un bon ús del model a partir del dron implicarà uns resultats fiables i sobretot actualitzats que garantiran la seguretat de què el model no sigui diferent del terreny real. En el cas de les dades oficials, es pot donar el cas que el terreny hagi canviat en els últims temps de manera sobtada per l'acció antròpica: extraccions d'àrids, canvis en els usos del sòl, aplanaments del terreny o aparició de turons i amuntegaments de runes, etc.

Aquesta seria la qüestió més important a tenir en compte a l'hora d'elegir entre les fonts oficials o l'ús del dron. Ara bé, tot i que no s'ha tractat en aquest treball, un dron té capacitat per a realitzar una topografia de detall a nivell de topògraf. Si analitzem els punts forts i punts febles entre el dron en aquest àmbit i l'expert topògraf, molt segurament es deixaria palès que la majoria de punts forts es decantarien en favor del dron. Es troba doncs que entre l'elecció de l'ús del dron o de fonts oficials, el cost econòmic major ve donat per l'ús de l'aparell; però entre un topògraf i l'ús del dron, a la llarga el major cost econòmic repercutiria en la contractació de l'expert topògraf.

En definitiva, és l'empresa o l'investigador qui ha d'avaluar què és el que el pot beneficiar més a l'hora de decidir.

## 7. CONCLUSIONS

Els objectius plantejats a l'inici del treball han estat complerts: s'ha planificat i executat un vol de dron segons el tipus de resultat desitjat, s'ha realitzat el correcte processament i correcció de les imatges obtingudes i, sobretot s'ha pogut determinar les diferències entre un model d'inundabilitat elaborat amb tan sols un MDT de fonts oficials i un MDT que combina la topografia de fonts oficials amb l'obtinguda amb el vol de dron. Cal recordar que l'única diferència entre un model d'inundabilitat i altre és el MDT utilitzat.

Tan sols amb l'obtenció del MDT que combina les dades Lidar amb les dades obtingudes amb el dron, s'aprecia la gran diferència. La topografia obtinguda amb el dron és de gran precisió (compta amb una densitat de núvol de punts de 99 punts/m<sup>2</sup>) però suposa alguns buits d'informació, això podria generar un MDT molt precís en alguns punts i, en canvi, grans errors en altres espais. La topografia del Lidar, en canvi, aporta una informació regular en el territori però amb menys densitat de punts (2 punts/m<sup>2</sup>). La combinació d'aquests dos arxius genera un MDT que és indiscutiblement més precís que l'obtingut amb tan sols el Lidar de l'ICGC, tal com s'aprecia en els models 3D de les figures 15 i 16 d'aquest treball o en el plànol "Models 3D" de l'Annex 10.3.2.

L'elecció d'un estudi d'inundabilitat com a prova per a analitzar les diferències entre el MDT de dades Lidar i el MDT que combina aquestes dades Lidar amb les obtingudes a vol de dron, ha estat satisfactòria. La utilització d'un MDT diferent en cadascun dels models ha permès veure quins són els resultats que difereixen tan sols per la diferència en la topografia. Amb els resultats obtinguts i el tractament d'aquests s'ha analitzat les diferències entre ambdós models de: calats, nivells, velocitats i superfície inundable per cada període de retorn; zonificació fluvial i risc d'inundació.

Els calats obtinguts tenen una diferència màxima d'un metre, les velocitats difereixen fins a 15 m/s i els nivells, en canvi, no presenten pràcticament diferències. El fet que es produeixi fins a un metre de diferència entre calats i que els nivells siguin molt semblants, determina que també es dona fins a un metre de diferència en els MDT. Aquesta diferència en les dades topogràfiques queda representada en la figura 14.

Quant a la superfície inundable, segons en quin tram del còrrec i quin període de retorn, es poden donar grans disparitats. En el tram baix, per exemple, es dona una diferència de fins a 560 m<sup>2</sup> quant a la superfície inundable. Aquest contrast visualitzat a una escala petita no presenta grans variacions però en el moment en què l'observador s'aproxima troba elements importants que són o no inundables depenent del model que es visualitzi. Tal com s'ha pogut veure en l'apartat 5.6 *Anàlisi del risc d'inundació*, existeixen contrastos molt importants en l'àmbit de l'assentament humà localitzat al sector El Raval, al marge dret del còrrec. Algunes de les edificacions presents comprenen un risc d'inundació molt diferent segons el model i, fins i

tot, es presenta algun punt que pot rebre un risc d'inundació greu en un model i en l'altre ni tan sols comprèn risc lleu.

En definitiva, a partir de la caracterització dels dos MDT obtinguts es pot confirmar la fiabilitat i la major precisió del MDT creat a partir de la combinació de dades Lidar amb les dades del vol. Així doncs, pel que fa al MDT, l'estudi d'inundabilitat és més precís a partir del nou MDT generat. Per tant, que en estudis d'inundabilitat la utilització del dron permeti generar una millor topografia que la disponible amb les dades Lidar, podria comportar rectificacions en la zonificació de l'espai fluvial i per tant, en la ordenació i planificació urbanística.

Dit això, és cert que en estudis d'inundabilitat moltes vegades l'empresa contracta un topògraf per a realitzar un aixecament topogràfic de detall d'algun tram de la llera. La precisió d'aquesta topografia de detall no pot ser millorada per un dron com el que s'ha utilitzat en aquest treball. Tot i això, és cert que existeixen altres drons especialitzats en la captació de topografia de detall amb un cost econòmic molt elevat. Per tant, si el dron utilitzat aquí té la capacitat de generar un MDT tan precís i diferent de l'obtingut amb les dades Lidar, no dubto que un dron destinat a la topografia pugui realitzar el treball del topògraf en un parell de minuts i a un cost 0 en l'obtenció de la topografia per a l'empresa. D'aquesta manera és de preveure que el temps d'amortització de la despesa econòmica derivada de l'adquisició del dron i programari seria curt.

## 8. PROPOSTES DE MILLORA I APROFITABILITAT

- El processament d'imatges obtingudes a partir del vol de dron, portat a terme amb el software Pix4D, s'ha donat amb una alta qualitat però encara es podria augmentar la resolució i precisió d'aquest processament. Per tant, amb un hardware amb major capacitat (més de 8 GB RAM) es podria realitzar un millor processament.
- El vol s'ha planificat amb una sola passada, és a dir, s'ha realitzat un vol en forma de *zig-zag*. Si en comptes d'aquest tipus de vol s'hagués realitzat una doble passada, els resultats en el processament haurien donat un model 3D molt més precís. Això suposaria l'obtenció del doble d'imatges o més a processar, per tant, seria necessària una major capacitat en el hardware per al processament de les dades, tal com s'explica al punt anterior.
- L'estudi hidràulic s'ha realitzat de manera aproximada sense tenir en compte alguns paràmetres importants. Tot i així, ha estat suficient per a poder analitzar les diferències en els resultats obtinguts entre un MDT i l'altre, ja que aquest era l'objectiu. Els resultats d'inundabilitat, per tant, poden tenir un marge d'error que obligaria a detallar i precisar més i millor el model hidràulic.
- El dron utilitzat no és l'òptim per a la captació de topografia. Es tracta d'un dron que no ha estat dissenyat amb aquest objectiu i el seu funcionament no és el més adequat per a obtenir la topografia a través de la triangulació de punts coincidents en imatges. La utilització d'un dron especialitzat en obtenció de topografia podria millorar considerablement els models obtinguts en aquest treball. En relació a això, es podria realitzar aquest mateix treball comparant la topografia obtinguda a través d'un dron especialitzat amb la topografia de detall elaborada per un topògraf per tal de veure el potencial dels arxius obtinguts i l'eficàcia del dron. Aquesta proposta d'investigació suposaria un pas més al treball presentat.

## 9. BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA

Agència Catalana de l'Aigua. Departament de Medi Ambient. (2000). *Descàrrega cartogràfica*. Recuperat de <http://aca.gencat.cat/ca/laigua/consulta-de-dades/descarrega-cartografica/>

Agència Catalana de l'Aigua. Departament de Medi Ambient. (2013). *Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local*. Recuperat de [http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/publicacions/espais\\_fluvials/inundabilitat/acarecomanacionstecniquestudisinundabilitatv1.pdf](http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/publicacions/espais_fluvials/inundabilitat/acarecomanacionstecniquestudisinundabilitatv1.pdf)

Agència Catalana de l'Aigua. Departament de Medi Ambient. (2015). *Estudis de l'espai fluvial a la conca del Foix: diagnosi de la inundabilitat de l'espai fluvial*. Recuperat de [http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/publicacions/espais\\_fluvials/estudis/070P0001/aca\\_pef2015I\\_02A\\_diag\\_inundabilitat\\_v2.pdf](http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/publicacions/espais_fluvials/estudis/070P0001/aca_pef2015I_02A_diag_inundabilitat_v2.pdf)

Agència Catalana de l'Aigua. Departament de Medi Ambient. (2017). *Inundabilitat*. Recuperat de [http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/publicacions/espais\\_fluvials/inundabilitat/inundabilitat.htm#fragment-37](http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/publicacions/espais_fluvials/inundabilitat/inundabilitat.htm#fragment-37)

Asociación OpenCAE Perú. (2017). WEBINAR: Modelización Hidráulica 2D con HEC-RAS [Vídeo]. Recuperat de <https://www.youtube.com/watch?v=qtqMhOjCVnl>

Autonomous Aeronautics Peru. (2016). Tutorial Pix4D en espanyol [Vídeo]. Recuperat de <https://www.youtube.com/watch?v=T-udub8ns4w>

Bosque, J. (1992). *Sistemas de Información Geográfica* (1a ed.). Madrid: Ediciones Rialp, S.A.

CREAF. (2016). *Mapa de cobertes del sòl de Catalunya*. Recuperat de <https://www.creaf.uab.es/mcsc/>

Departament de Territori i Sostenibilitat. (2018). Format Shapefile (SHP). Recuperat de [http://territori.gencat.cat/ca/06\\_territori\\_i\\_urbanisme/observatori\\_territori/mapa\\_urbanistic\\_de\\_catalunya/serveis\\_web\\_i\\_dades\\_obertes/descarrega-de-dades/format-shapefile-shp/](http://territori.gencat.cat/ca/06_territori_i_urbanisme/observatori_territori/mapa_urbanistic_de_catalunya/serveis_web_i_dades_obertes/descarrega-de-dades/format-shapefile-shp/)

Fugro. (2018). FugroViewer. Recuperat de <https://www.fugro.com/about-fugro/our-expertise/technology/fugroviewer>

Geomatica IA. (2017). Creación de un modelo ráster a partir de una nube de puntos LAS [Vídeo]. Recuperat de <https://www.youtube.com/watch?v=L2uIfolDqIU>



Gidahatari. (2017). Taller de simulación dinámica de inundaciones con HEC-RAS 5.0 [Vídeo]. Recuperat de <https://www.youtube.com/watch?v=8AeMfiVxh4o>

Gurnell, A. M., Montgomery, D. R. (2000). *Hydrological applications of GIS* (1a ed.). Chichester: Wiley.

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (2014). *Cartografia topogràfica*. Recuperat de <http://www.icgc.cat/ca/Administracio-i-empresa/Descarregues/Cartografia-topografica>

Institut d'Estadística de Catalunya. IDESCAT. (2018). *Xifres de població*. Recuperat de <https://www.idescat.cat/tema/xifpo>

Institut Geològic de Catalunya. (2008). *Estudi de la perillositat d'avingudes torrencials al barranc de la Canal, al seu pas pel nucli urbà de Cornellana (La Vansa i Fòrnols)*. Recuperat de <http://ptop.gencat.cat/rpucportal/inici/ca/index.html>

Josedrones y tecnologia. (2017). Normativa drones 2018 Real Decreto [Vídeo]. Recuperat de <https://www.youtube.com/watch?v=iJzZg8SJ4UA>

Josedrones y tecnologia. (2018). Normativa drones 2018 explicada visualmente [Vídeo]. Recuperat de [https://www.youtube.com/watch?v=xuFle\\_gK7ng](https://www.youtube.com/watch?v=xuFle_gK7ng)

Laín, L. (1999). *Los sistemas de información geográfica en los riesgos naturales y en el medio ambiente* (1a ed.). Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España, Ministerio de Medio Ambiente.

Martinez, Q. (2015). Generación de Mapas de Alta Resolución con Drones. *SG Software Guru*, 47, 42-44

Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras. (1999). *Máximas llovias diarias en la España Peninsular*. Recuperat de [http://www.fomento.gob.es/mfom/lang\\_castellano/direcciones\\_generales/carreteras/normativa\\_tecnica/drenaje/0610300.htm](http://www.fomento.gob.es/mfom/lang_castellano/direcciones_generales/carreteras/normativa_tecnica/drenaje/0610300.htm)

Moldes, F. J. (1995). *Tecnología de los Sistemas de Información Geográfica* (1a ed.). Madrid: RA-MA Editorial.

PIX4D. (2011). Professional drone mapping and photogrammetry software. Recuperat de <https://pix4d.com/>

Pou i Planas, A. (1994). *Cronologia de les inundacions alt-empordaneses documentades per la premsa local*. Recuperat de <https://www.raco.cat/index.php/AnnalsEmpordanesos/article/view/93178/164871>

Soil Conservation Service. (2014). *Environmental Assessment and Audits*. Recuperat de <http://www.scs.nsw.gov.au/environmental-consulting/environmental-assessment-and-audits>

Stafford, D. B. (1991). *Civil engineering applications of remote sensing and geographic information systems* (1a ed.). New York: American Society of Civil Engineers.

Testa, A. (2016). Pix4Dmapper Proceso inicial [Vídeo]. Recuperat de [https://www.youtube.com/watch?v=ZyVwxku\\_97E](https://www.youtube.com/watch?v=ZyVwxku_97E)

US Army Corps of Engineers. (2018). *Hydrologic Engineering Center*. Recuperat de <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

## 10. ANNEXOS

**ÍNDEX D'ANNEXOS:**

10.1	ANNEX: Estudi hidrològic.....	68
10.1.1	Full de càlcul automatitzat utilitzat de suport per al càlcul de cabals .....	69
10.1.2	Isolínies del valor regional del coeficient de variació $C_V$ .....	70
10.1.3	Factors d'amplificació ( $K_T$ ) per cada període de retorn segons el $C_V$ .....	71
10.1.4	Hidrograma adimensional del SCS (Soil Conservation Service) .....	72
10.1.5	Hidrograma unitari a partir de l'hidrograma adimensional (SCS).....	73
10.1.6	Evolució minut per minut de l'hidrograma a partir de la interpolació de l'hidrograma unitari obtingut.....	74
10.2	ANNEX: Informe de qualitat del processament d'imatges amb Pix4D.....	75
10.3	ANNEX: Plànols .....	84
10.3.1	Plànols Estudi Hidrològic .....	85
	Situació de la conca estudiada .....	86
	Conca del Còrrec dels Lladres .....	87
	Usos del sòl.....	88
	Litologia .....	89
	Tipus de sòl. Capacitat d'infiltració .....	90
	Impermeabilitat. Grau d'urbanització.....	91
	Llindar d'escorrentiu. $P_0$ .....	92
	Precipitació Màxima Diària .....	93
10.3.2	Plànols Inundabilitat.....	94
	Àmbit objecte d'estudi de simulació hidràulica.....	95
	Sectors de l'àmbit.....	96
	Model Digital del Terreny (MDT) .....	97
	Calats (T = 100 anys).....	100
	Velocitats (T = 100 anys) .....	101
	Nivells o cotes absolutes (T = 100 anys) .....	102
	Zones inundables .....	103
	Zonificació Espai Fluvial.....	106
	Risc d'inundació .....	109
	Models en 3D (MDT i ZI T100 anys) .....	112

## **10.1. ANNEX: Estudi hidrològic**

### 10.1.1 Full de càlcul automatitzat utilitzat de suport per al càlcul de cabals

#### A - HIDROLOGIA: Determinació del cabal d'aigua a desaiguar

##### A.1 - Dades inicials: T, S

T (anys) = **500** Període Retorn  
 S (km2) = 0.214872 Superfície Conca

##### A.2 - Caracterització de la Conca (Tc : P0)

###### A.2.1 - Temps de concentració de la conca, Tc

$$T_c^{Témez_I} = 0.3 \cdot \left(\frac{L}{j^{0.25}}\right)^{0.76}$$

$$T_c^{Témez_{II}} = \frac{0.3}{1 + \sqrt{\mu(2-\mu)}} \cdot \left(\frac{L}{j^{0.25}}\right)^{0.76}$$

$$T_c^{Témez_{III}} = \frac{0.3}{1 + 3\sqrt{\mu(2-\mu)}} \cdot \left(\frac{L}{j^{0.25}}\right)^{0.76}$$

Cas: **1**

- 1 - Conca rural amb grau d'urbanització no superior al 4% ---> Témez\_I
- 2 - Conca urbanitzada amb grau d'urbanització superior al 4% ---> Témez\_II
- 3 - Conca urbana amb grau d'urbanització superior al 4% ---> Témez\_III
- 4 - Plataformes pavimentades i talussos, amb recorreguts d'aigua de 30 a 150 m
- 5 - Plataformes cobertes de vegetació, amb recorreguts d'aigua de 30 a 150 m
- 6 - Conca urbana amb grau d'urbanització superior al 10% ---> Califòrnia

Lcurs pral. (km) = **0.738** <<< 1,2,3  
 pendent mitja, j (m/m) = **0.056** <<< 1,2,3  
 Grau urbanitz., μ = **0.01%**  
 Tc (h) = **0.412** <<< 1,2,3

Lrecorregut (m) =  
 Tc (h) =

1 - Conca rural amb grau d'urbanització no superior al 4% ---> Témez\_I

Tc = **0.412** hores = **24.73** min

$$T_c^{Califòrnia} = \left(\frac{L^2}{H}\right)^{0.385}$$

Lmàxima (km) =  
 desnivell, H (m) =  
 Tc =

###### A.2.2 - Llindar d'escorrentiu, P0 i nombre de corba NC

r = **1.30** Factor regional de correcció de P0

P0 = **22.4**  
 NC = **69.06** Humitat Tipus II

##### A.3 - Precipitació diària màxima associada al període de retorn, T

\* Màximes lluvies diàries en la Espanya peninsular\* (Ministerio de Fomento, 2001)

Pmig (mm) = **82**  
 Cv = **0.460**  
 KA = **1.045** Coef. Simultaneïtat  
 Aplica KA? **Si** (Si/No)  
 P'd,T = **#N/A** mm

T (anys)	2	3	4	5	6
Kr	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281
Pd,T (mm)	73	105	128	161	187
P'd,T (mm)	<b>77</b>	<b>109</b>	<b>134</b>	<b>168</b>	<b>195</b>

#### ABM, Serveis d'Enginyeria i Consulting

#### MÈTODE RACIONAL

##### MR.1 - Intensitat mitjana d'un aiguat de durada D=Tc, Id,T

I1 / Id = **11** Intens. Horaria / Intens. Diària

$$\frac{I_{D,T}}{I_{d,T}} = \left(\frac{I_1}{I_{d,T}}\right)^{\frac{28^{D,T}-1}{28^{D,T}-1}} \quad I_{d,T} = \frac{P_{d,T} \text{ (mm)}}{24 \text{ (h)}}$$

Id,T = **#N/A** mm/h

T (anys)	2	5	10	25	50
Id,T (mm/h)	<b>3.19</b>	<b>4.56</b>	<b>5.58</b>	<b>7.00</b>	<b>8.14</b>
ID,T (mm/h)	<b>58.69</b>	<b>83.90</b>	<b>102.68</b>	<b>128.74</b>	<b>149.75</b>

##### MR.2 - Coeficient d'escorrentiu, C

Cr min = **0.30** 0.30732518

$$C_T = \max\left\{C_{T,min}; \frac{(P_{d,T} - P_0)(P_{d,T} + 2P_0)}{(P_{d,T} + P_0)^2}\right\}$$

Cr = **#N/A**

T (anys)	2	5	10	25	50
Pd,T/P0	<b>3.42</b>	<b>4.89</b>	<b>5.98</b>	<b>7.50</b>	<b>8.72</b>
Cr	<b>0.31</b>	<b>0.43</b>	<b>0.50</b>	<b>0.58</b>	<b>0.63</b>

##### MR.3 - Coeficient d'uniformitat del mètode racional, K

K = **1.02**

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$$

##### MR.4 - Cabal de desguàs, QT (Fórmula Racional)

$$Q_T = K \cdot \frac{C_T \cdot I_{D,T} \cdot S}{3.6}$$

QT = **#N/A** m3/s

T (anys)	2	5	10	25	50
QT (m3/s)	<b>1.10</b>	<b>2.20</b>	<b>3.14</b>	<b>4.55</b>	<b>5.76</b>
QE (m3/s/km2)	5.13	10.24	14.61	21.19	26.80

### 10.1.2 Isolínies del valor regional del coeficient de variació $C_v$

#### Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular

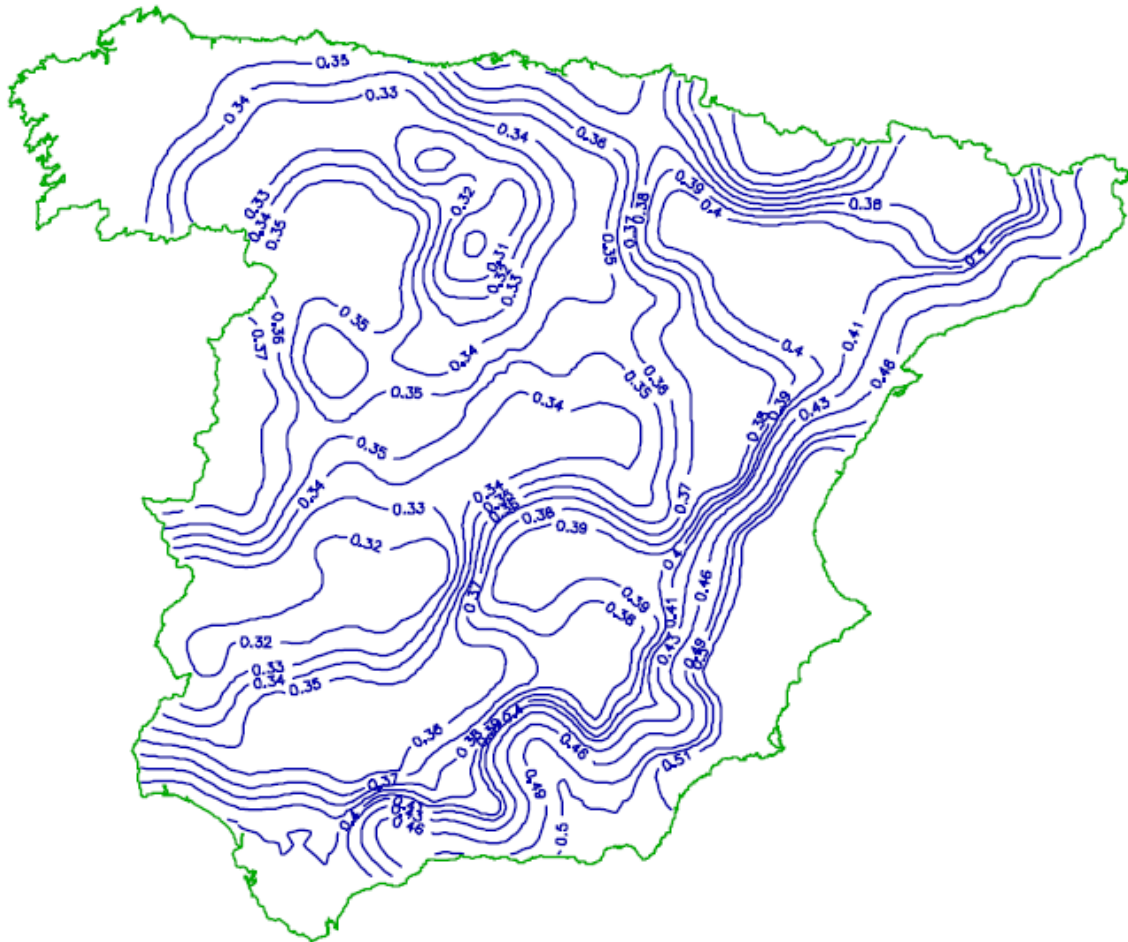


Fig. 3.2 – Isolínies del valor regional del coeficiente de variación  $C_v$

Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras. (1999). *Máximas luvias diarias en la España Peninsular*.

### 10.1.3 Factors d'amplificació ( $K_T$ ) per cada període de retorn segons el $C_v$

#### Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular

$C_v$	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.480	2.800	3.250
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860

Tabla 7.1 - Cuantiles  $Y_t$  de la Ley SQRT-ET max, también denominados Factores de Amplificación  $K_T$ , en el "Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular" (1997).

Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras. (1999). *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*.



### 10.1.4 Hidrograma adimensional del SCS (Soil Conservation Service)

Hidrograma adimensional de l'SCS	
$t/T_p$	$Q/Q_p$
0,0	0,000
0,1	0,030
0,2	0,100
0,3	0,190
0,4	0,310
0,5	0,470
0,6	0,660
0,7	0,820
0,8	0,930
0,9	0,990
1,0	1,000
1,1	0,990
1,2	0,930
1,3	0,860
1,4	0,780
1,5	0,680
1,6	0,560
1,7	0,460
1,8	0,390
1,9	0,330
2,0	0,280
2,2	0,207
2,4	0,147
2,6	0,107
2,8	0,077
3,0	0,055
3,2	0,040
3,4	0,029
3,6	0,021
3,8	0,015
4,0	0,011
4,5	0,005
5,0	0,000

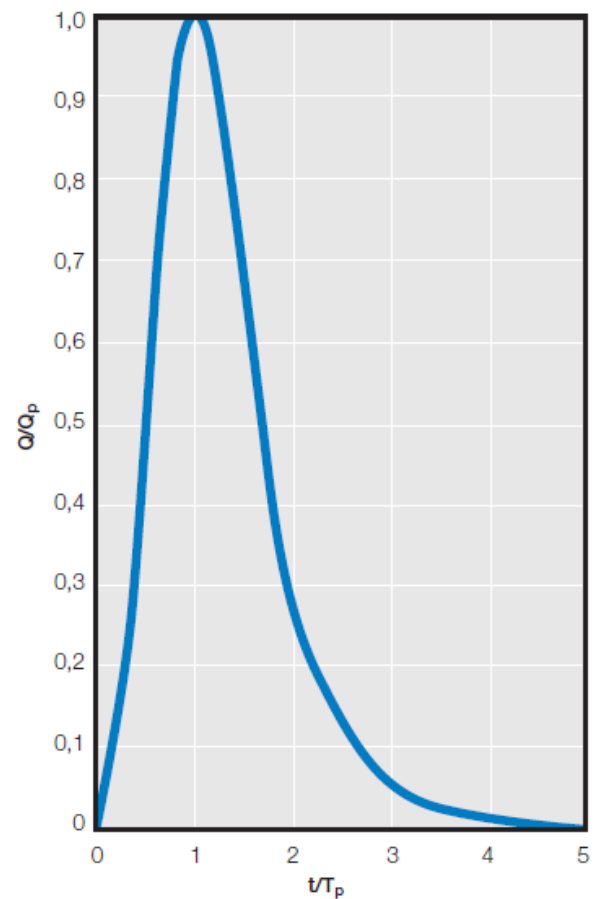


Figura 3.4. Hidrograma adimensional de l'SCS.

Agència Catalana de l'Aigua. Departament de Medi Ambient. (2013). *Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local*.

**10.1.5 Hidrograma unitari obtingut a partir de l'hidrograma adimensional del SCS**

<i>Hidrograma Unitari SCS</i>							
T (h)	Q <sub>10</sub> (m3/s)	T (h)	Q <sub>100</sub> (m3/s)	T (h)	Q <sub>500</sub> (m3/s)	T (h)	Q <sub>mco</sub> (m3/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.01	0.09	0.01	0.20	0.01	0.30	0.01	0.03
0.03	0.29	0.03	0.67	0.03	1.00	0.03	0.11
0.04	0.55	0.04	1.27	0.04	1.90	0.04	0.21
0.05	0.90	0.05	2.07	0.05	3.10	0.05	0.34
0.06	1.37	0.06	3.14	0.06	4.70	0.06	0.52
0.08	1.92	0.08	4.41	0.08	6.60	0.08	0.73
0.09	2.39	0.09	5.48	0.09	8.20	0.09	0.90
0.10	2.71	0.10	6.22	0.10	9.30	0.10	1.02
0.12	2.88	0.12	6.62	0.12	9.90	0.12	1.09
0.13	2.91	0.13	6.69	0.13	10.00	0.13	1.10
0.14	2.88	0.14	6.62	0.14	9.90	0.14	1.09
0.15	2.71	0.15	6.22	0.15	9.30	0.15	1.02
0.17	2.50	0.17	5.75	0.17	8.60	0.17	0.95
0.18	2.27	0.18	5.21	0.18	7.80	0.18	0.86
0.19	1.98	0.19	4.55	0.19	6.80	0.19	0.75
0.20	1.63	0.20	3.74	0.20	5.60	0.20	0.62
0.22	1.34	0.22	3.08	0.22	4.60	0.22	0.51
0.23	1.14	0.23	2.61	0.23	3.90	0.23	0.43
0.24	0.96	0.24	2.21	0.24	3.30	0.24	0.36
0.26	0.82	0.26	1.87	0.26	2.80	0.26	0.31
0.28	0.60	0.28	1.38	0.28	2.07	0.28	0.23
0.31	0.43	0.31	0.98	0.31	1.47	0.31	0.16
0.33	0.31	0.33	0.72	0.33	1.07	0.33	0.12
0.36	0.22	0.36	0.51	0.36	0.77	0.36	0.08
0.38	0.16	0.38	0.37	0.38	0.55	0.38	0.06
0.41	0.12	0.41	0.27	0.41	0.40	0.41	0.04
0.43	0.08	0.43	0.19	0.43	0.29	0.43	0.03
0.46	0.06	0.46	0.14	0.46	0.21	0.46	0.02
0.49	0.04	0.49	0.10	0.49	0.15	0.49	0.02
0.51	0.03	0.51	0.07	0.51	0.11	0.51	0.01
0.58	0.01	0.58	0.03	0.58	0.05	0.58	0.01
0.64	0.00	0.64	0.00	0.64	0.00	0.64	0.00

### 10.1.6 Evolució minut per minut de l'hidrograma a partir de la interpolació de l'hidrograma unitari obtingut

Temps (h:min)	Temps (h)	Qmco (m3/s)	Q10 (m3/s)	Q100 (m3/s)	Q500 (m3/s)
0:00	0	0	0	0	0
0:01	0.017	0.056	0.149	0.343	0.513
0:02	0.033	0.17	0.451	1.035	1.547
0:03	0.05	0.33	0.872	2.002	2.994
0:04	0.067	0.563	1.489	3.417	5.111
0:05	0.083	0.819	2.165	4.97	7.432
0:06	0.1	1.003	2.653	6.089	9.106
0:07	0.117	1.092	2.887	6.627	9.911
0:08	0.133	1.097	2.9	6.656	9.955
0:09	0.15	1.042	2.755	6.322	9.455
0:10	0.167	0.944	2.495	5.727	8.565
0:11	0.183	0.821	2.171	4.983	7.452
0:12	0.2	0.663	1.753	4.024	6.018
0:13	0.217	0.512	1.353	3.106	4.644
0:14	0.233	0.412	1.091	2.503	3.744
0:15	0.25	0.332	0.879	2.018	3.018
0:16	0.267	0.274	0.723	1.66	2.483
0:17	0.283	0.222	0.588	1.349	2.018
0:18	0.3	0.179	0.474	1.088	1.627
0:19	0.317	0.145	0.383	0.878	1.314
0:20	0.333	0.116	0.308	0.707	1.057
0:21	0.35	0.095	0.251	0.576	0.862
0:22	0.367	0.076	0.202	0.464	0.694
0:23	0.383	0.061	0.16	0.368	0.55
0:24	0.4	0.05	0.132	0.302	0.452
0:25	0.417	0.04	0.107	0.245	0.367
0:26	0.433	0.032	0.086	0.197	0.295
0:27	0.45	0.027	0.07	0.161	0.241
0:28	0.467	0.021	0.057	0.13	0.194
0:29	0.483	0.017	0.045	0.104	0.155
0:30	0.5	0.014	0.037	0.085	0.127
0:31	0.517	0.012	0.031	0.07	0.105
0:32	0.533	0.01	0.026	0.06	0.089
0:33	0.55	0.008	0.021	0.049	0.074
0:34	0.567	0.006	0.017	0.039	0.058
0:35	0.583	0.005	0.013	0.029	0.044
0:36	0.6	0.003	0.009	0.02	0.03
0:37	0.617	0.002	0.005	0.012	0.017
0:38	0.633	0	0.001	0.003	0.004
0:39	0.65	0	0	0	0

## **10.2 .      ANNEX: Informe de qualitat del processament d'imatges amb Pix4D**

# Quality Report



Generated with Pix4Ddiscovery version 4.2.27



**Important:** Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

## Summary



Project	informeee
Processed	2018-06-20 20:07:29
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.94 cm / 0.76 in
Area Covered	0.401 km <sup>2</sup> / 40.0738 ha / 0.15 sq. mi. / 99.0758 acres
Time for Initial Processing (without report)	16m:55s

## Quality Check



<b>Images</b>	median of 5529 keypoints per image	
<b>Dataset</b>	432 out of 435 images calibrated (99%), all images enabled	
<b>Camera Optimization</b>	3.4% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
<b>Matching</b>	median of 1975.17 matches per calibrated image	
<b>Georeferencing</b>	yes, no 3D GCP	

## Preview

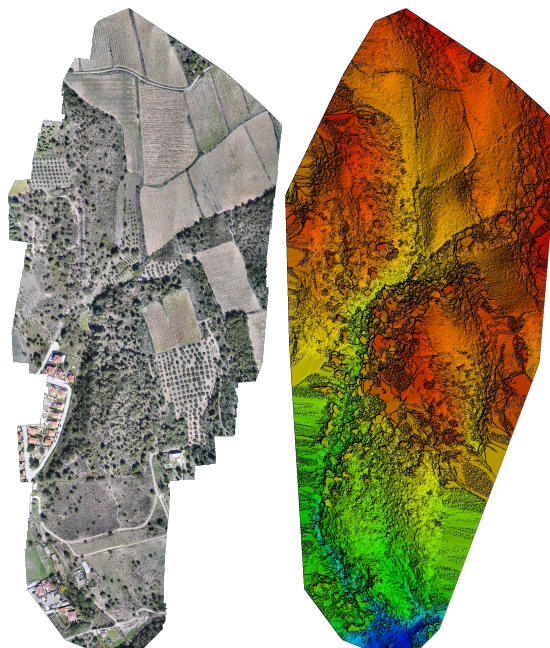


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

# Calibration Details



Number of Calibrated Images	432 out of 435
Number of Geolocated Images	435 out of 435

## Initial Image Positions

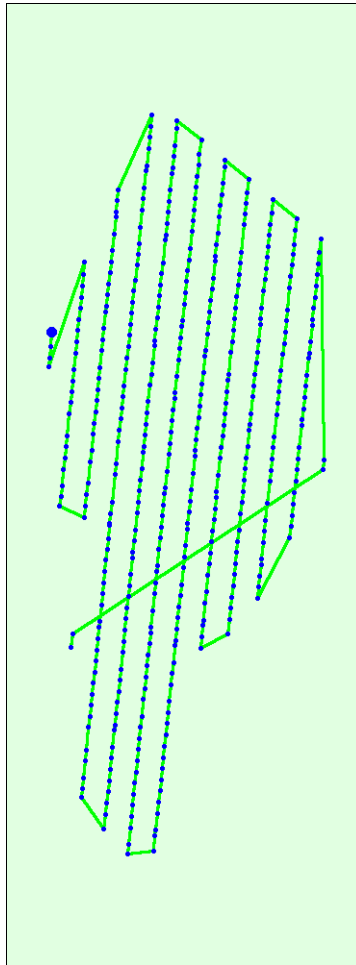
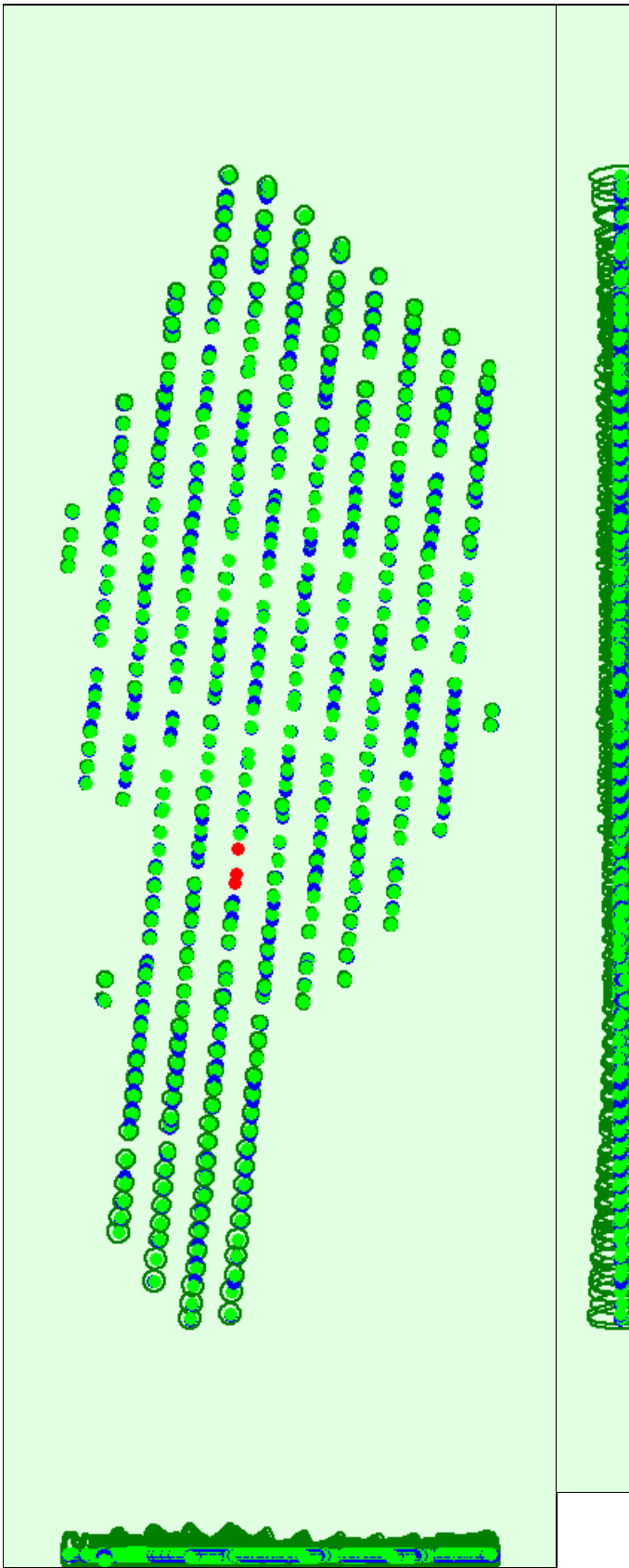


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

## Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 50x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

### 🔍 Absolute camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.122	0.124	0.316	0.074	0.102	0.021
Sigma	0.027	0.027	0.079	0.025	0.004	0.002

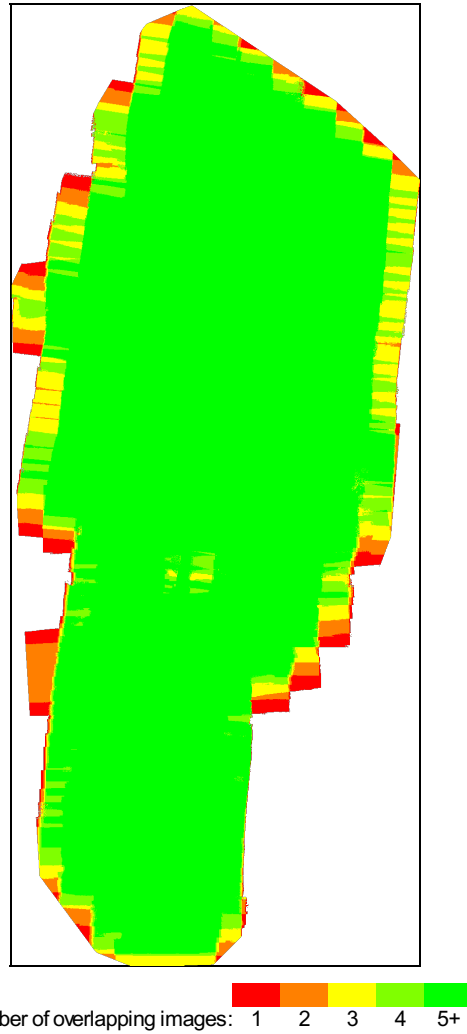


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

## Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	843576
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	313531
Mean Reprojection Error [pixels]	0.099

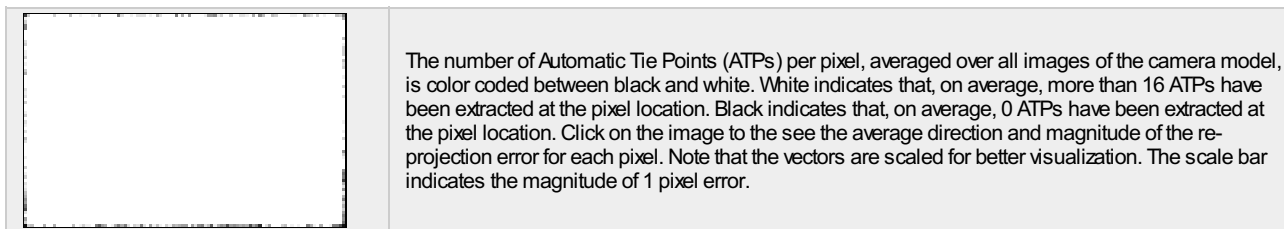
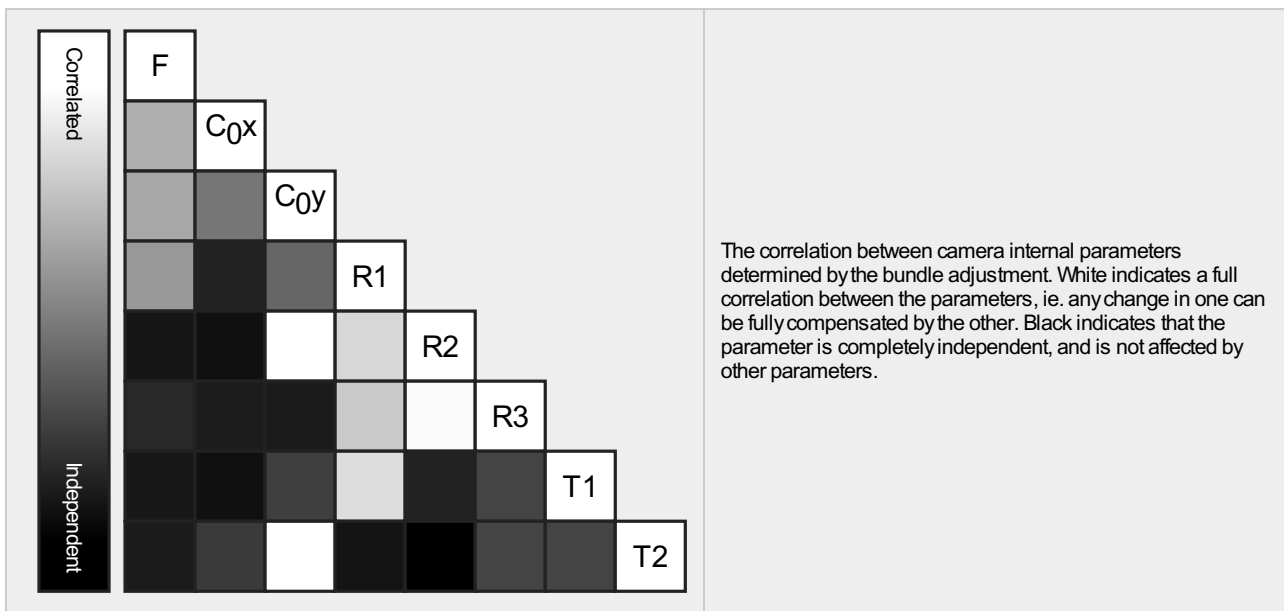
### Internal Camera Parameters

FC6310\_8.8\_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]

EXIF ID: FC6310\_8.8\_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	3543.904 [pixel] 8.311 [mm]	2724.171 [pixel] 6.389 [mm]	1830.291 [pixel] 4.293 [mm]	-0.002	-0.005	0.005	-0.000	-0.001
Uncertainties (Sigma)	11.246 [pixel] 0.026 [mm]	0.514 [pixel] 0.001 [mm]	0.431 [pixel] 0.001 [mm]	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000



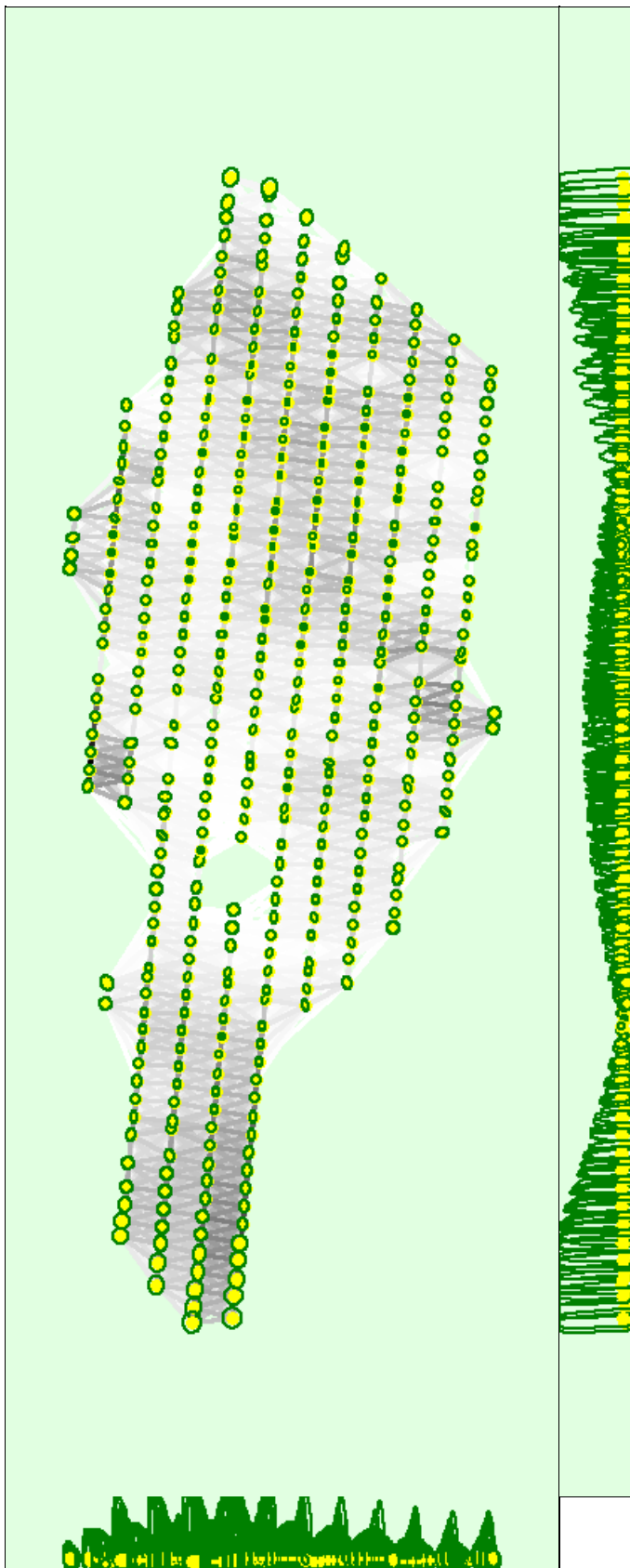


### 2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	5529	1975
Min	2933	171
Max	8358	4314
Mean	5504	1953

### 3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	217581
In 3 Images	48689
In 4 Images	20197
In 5 Images	10418
In 6 Images	5916
In 7 Images	3750
In 8 Images	2405
In 9 Images	1547
In 10 Images	1213
In 11 Images	839
In 12 Images	408
In 13 Images	174
In 14 Images	152
In 15 Images	111
In 16 Images	58
In 17 Images	30
In 18 Images	16
In 19 Images	19
In 20 Images	5
In 21 Images	3



Uncertainty ellipses 100x magnified

Number of matches

25 192 385 578 770 963 1156 1348 1541 1734

Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

## Relative camera position and orientation uncertainties



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.040	0.047	0.263	0.117	0.053	0.013
Sigma	0.011	0.012	0.181	0.066	0.027	0.004

## Geolocation Details



### Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	6.94	0.00
-6.00	-3.00	0.00	16.90	0.00
-3.00	0.00	48.15	28.24	54.17
0.00	3.00	51.85	24.77	45.37
3.00	6.00	0.00	15.74	0.46
6.00	9.00	0.00	7.41	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
<b>Mean [m]</b>		0.000000	0.000000	0.000000
<b>Sigma [m]</b>		0.439988	3.817578	1.109923
<b>RMS Error [m]</b>		0.439988	3.817578	1.109923

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

### Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	75.23	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
<b>Mean of Geolocation Accuracy [m]</b>	5.000000	5.000000	10.000000
<b>Sigma of Geolocation Accuracy [m]</b>	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	1.066
Phi	1.464
Kappa	61.803

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

## Initial Processing Details



## System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i5-3210M CPU @ 2.50GHz RAM: 6GB GPU: AMD Radeon HD 7500M/7600M Series (Driver: 13.251.9001.1001)
Operating System	Windows 8.1, 64-bit

## Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS84 (egm96)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 31N (egm96)

## Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Rapid, Image Scale: 0.25
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

## **10.3. ANNEX: Plànols**

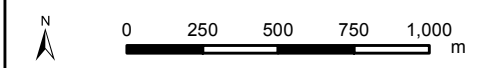
### **10.3.1 Plànols Estudi Hidrològic**



Treball Final de Grau:  
**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**  
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:  
**SITUACIÓ DE LA CONCA ESTUDIADA**

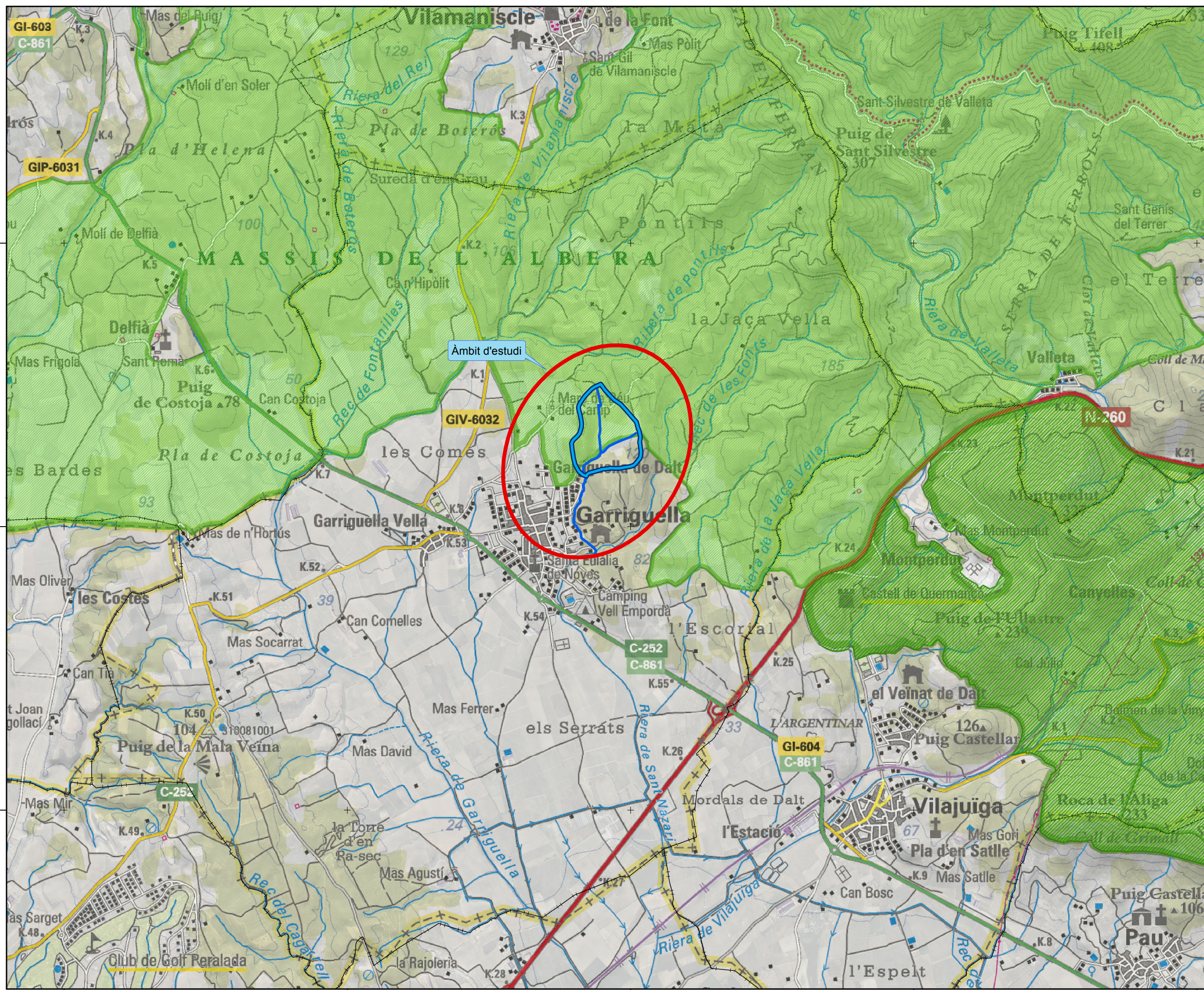
- Llegenda:
- Conca objecte d'estudi
  - Còrrec dels Lladres
  - ENPE
  - PEIN
  - Delimitació municipal



Grau:  
 Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
 Facultat de Lletres, Universitat de Girona

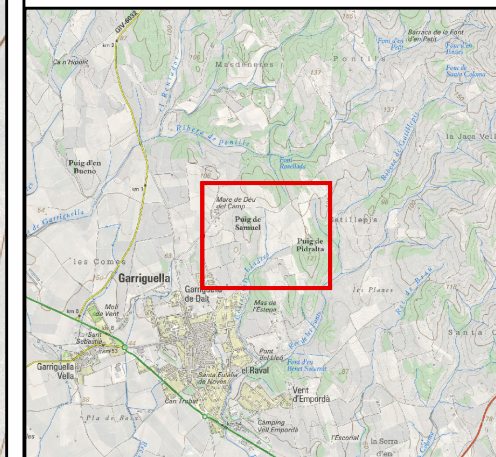
Data: 27 de juliol de 2018  
 Autoria: William Morales Rios  
 Font: cartografia de l'ICC

10.3.1  
 Plànols Estudi Hidrològic  
 Pàgina: 86





502000      504000      506000      508000      510000

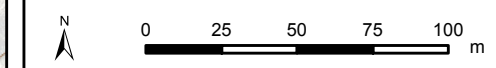
4690000  
4688000  
4686000



Treball Final de Grau:  
**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**  
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

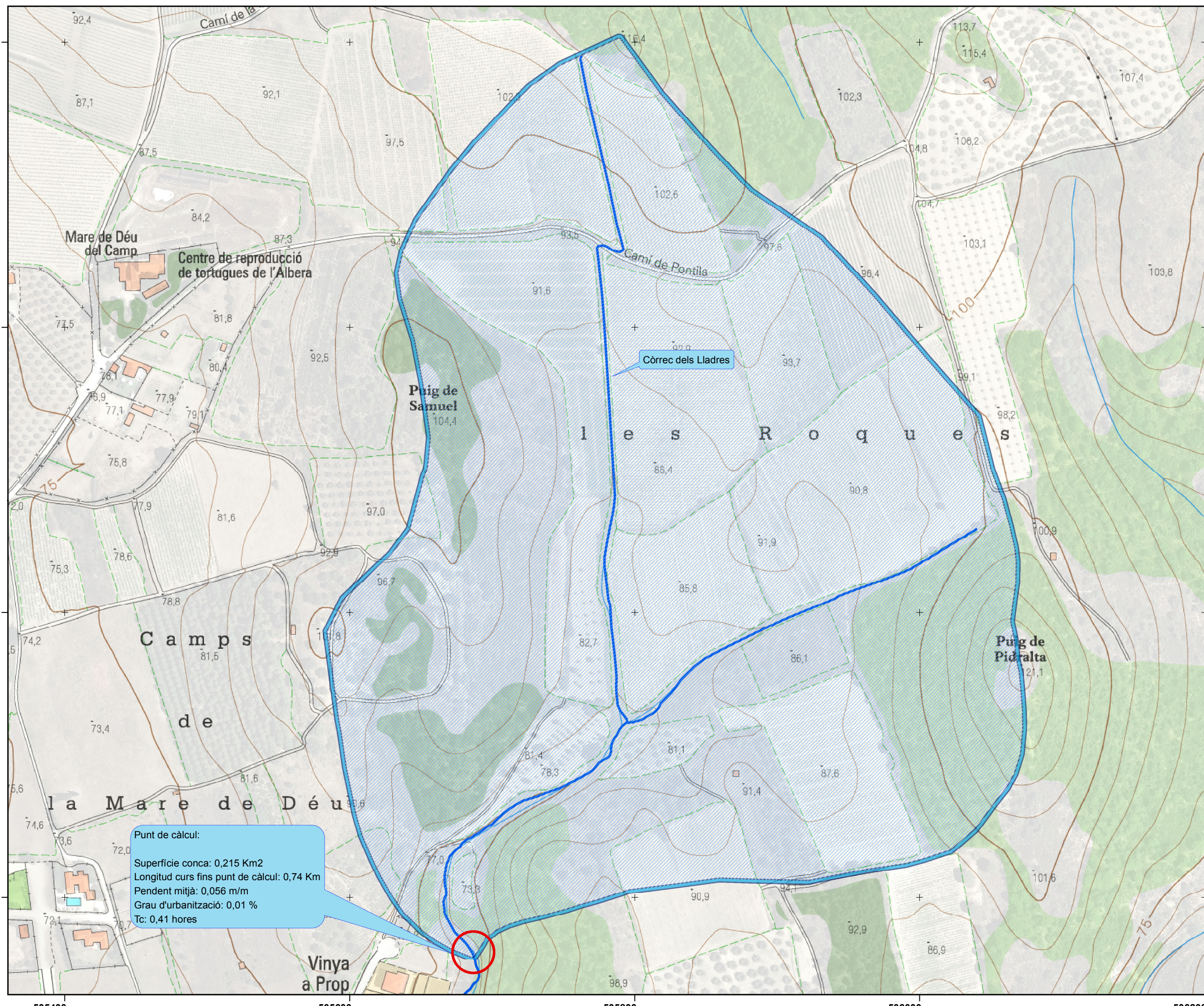
Plànol:  
**CONCA DEL CÒRREC DELS LLADRES**

- Llegenda:
-  Conca objecte d'estudi
  -  Còrrec dels Lladres



Grau:  
 Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
 Facultat de Lletres, Universitat de Girona

Data: 27 de juliol de 2018	10.3.1
Autoria: William Morales Rios	Plànols Estudi Hidrològic
Font: cartografia de l'ICC	Pàgina: 87

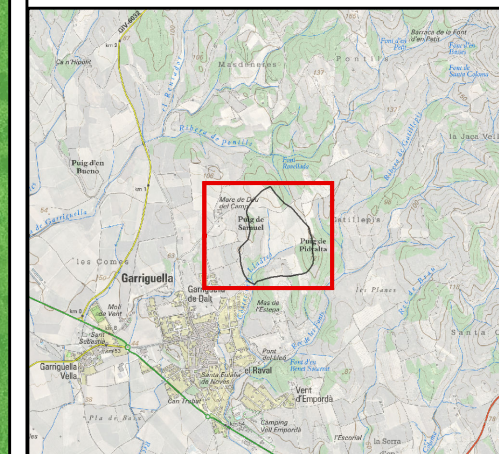


Punt de càlcul:  
 Superfície conca: 0,215 Km<sup>2</sup>  
 Longitud curs fins punt de càlcul: 0,74 Km  
 Pendent mitjà: 0,056 m/m  
 Grau d'urbanització: 0,01 %  
 Tc: 0,41 hores

4689000  
4688800  
4688600  
4688400

505400 505600 505800 506000 506200





Treball Final de Grau:

**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**

*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**USOS DEL SÒL**

Llegenda:

- Espai urbà
- Boscos clars (no de ribera)
- Boscos densos (no de ribera)
- Conreus abandonats - prats
- Conreus en transformació
- Conreus herbacis (no arrossars)
- Conreus llenyosos (no vinyes)
- Grans vials i zones d'aparcament
- Matollars
- Prats i herbassars
- Sòls nus forestals
- Sòls nus urbans
- Vinyes



0 25 50 75 100 m

Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

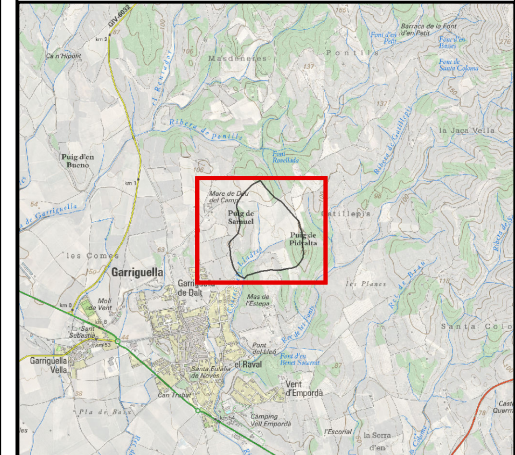
Data: 27 de juliol de 2018	10.3.1
Autoria: William Morales Rios	Plànols Estudi Hidrològic
Font: cartografia de l'ICC i CREAM	Pàgina: 88



Còrrec dels Lladres

505400 505600 505800 506000

4688400 4688600 4688800 4689000



Treball Final de Grau:

**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**

*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**LITOLOGIA**

Llegenda:

- Grauvaques
- Bretxes
- Graves
- Pòrfirs leucocròtics

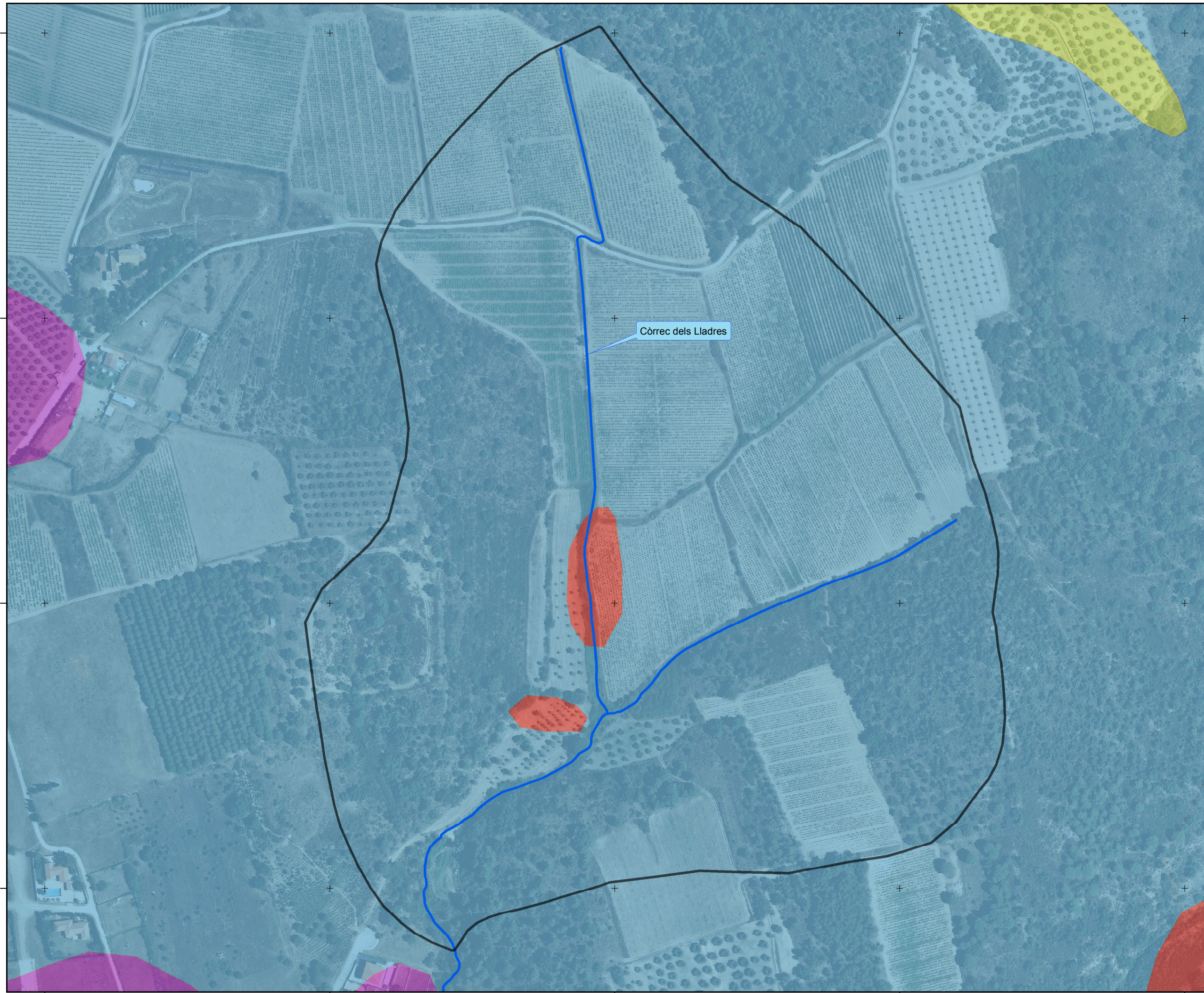


0 25 50 75 100 m

Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

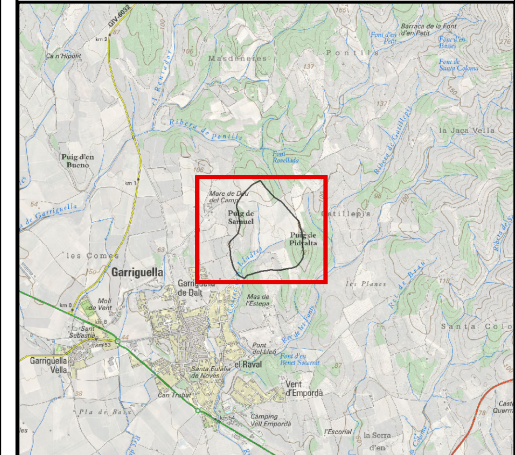
Data: 27 de juliol de 2018  
Autoria: William Morales Rios  
Font: cartografia de l'ICC

10.3.1  
Plànols Estudi Hidrològic  
Pàgina: 89



4689000  
4688800  
4688600  
4688400

505400 505600 505800 506000 506200



Treball Final de Grau:

**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**

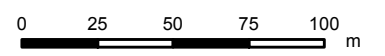
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**Tipus de sòl  
(Capacitat d'infiltració del sòl)**

Llegenda:

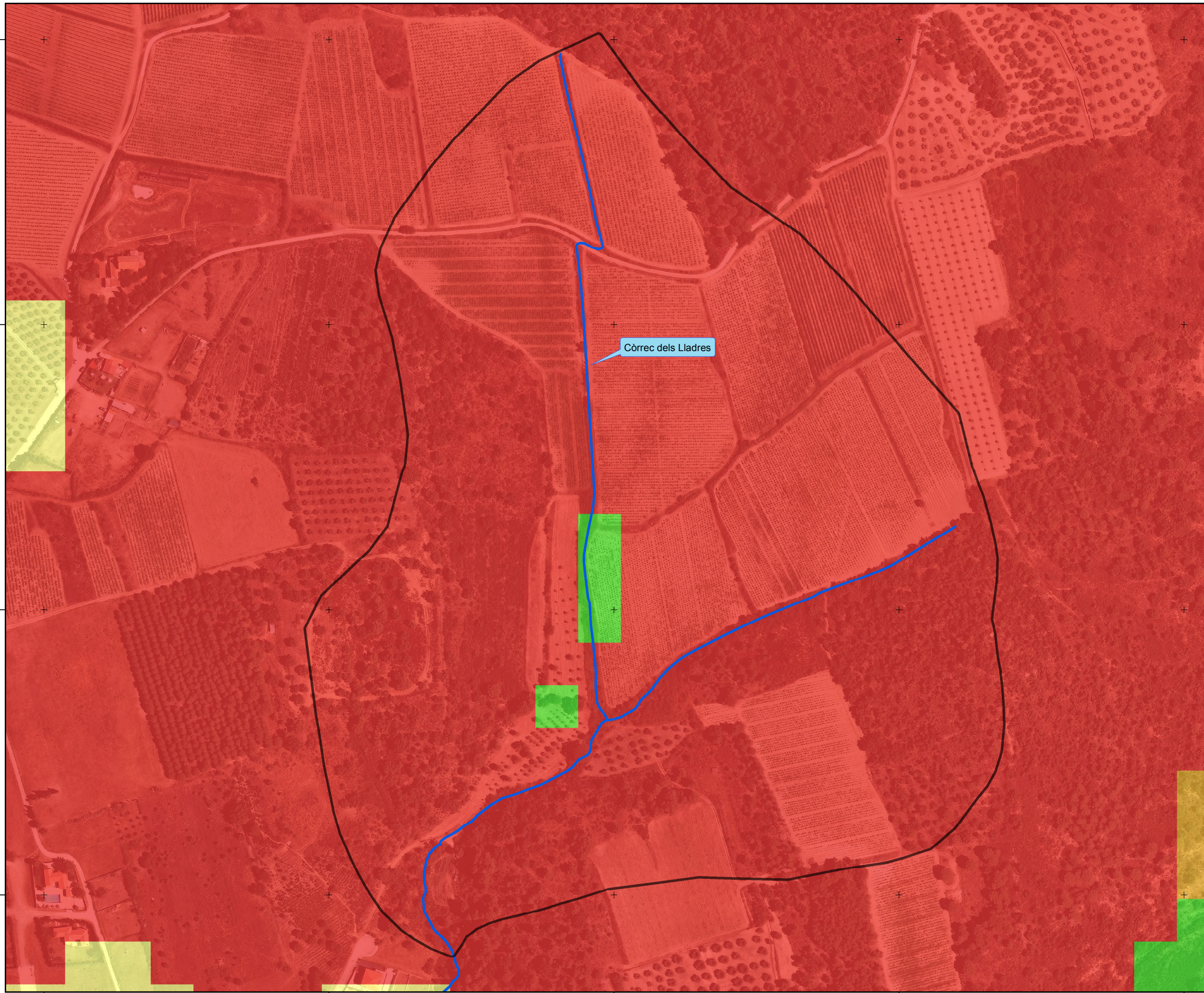
- Infiltració ràpida
- Infiltració moderada
- Infiltració lenta
- Infiltració molt lenta

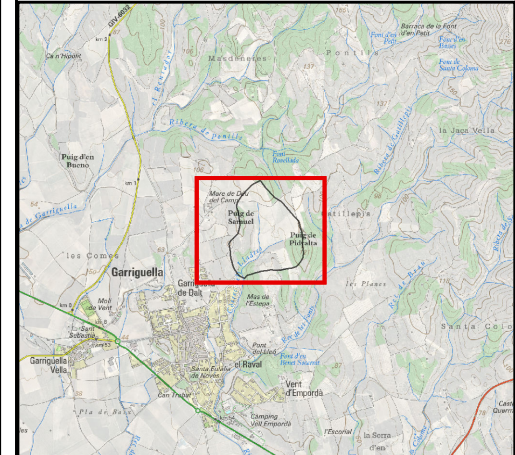


Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

Data: 27 de juliol de 2018  
Autoria: William Morales Rios  
Font: cartografia de l'ICC

10.3.1  
Plànols Estudi Hidrològic  
Pàgina: 90





Treball Final de Grau:

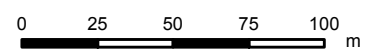
**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**  
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**Impermeabilitat. Grau d'urbanització**

Llegenda:

- Sòl impermeable
- Sòl permeable

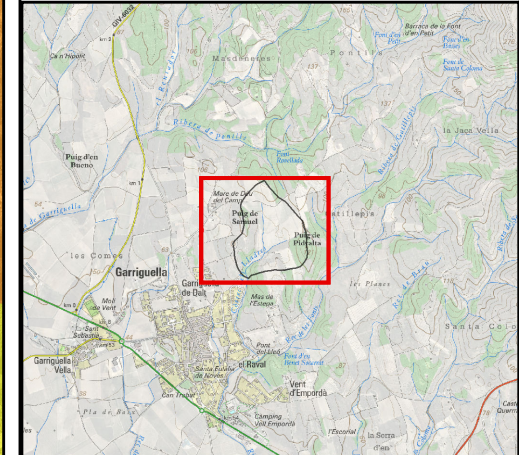


Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

Data: 27 de juliol de 2018  
Autoria: William Morales Rios  
Font: cartografia de l'ICC

10.3.1  
Plànols Estudi Hidrològic  
Pàgina: 91





Treball Final de Grau:

**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**

*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**Llindar d'escorrentiu (P0)**

Llegenda:

- 1 - 4
- 4 - 10
- 10 - 21
- 21 - 35
- 35 - 78

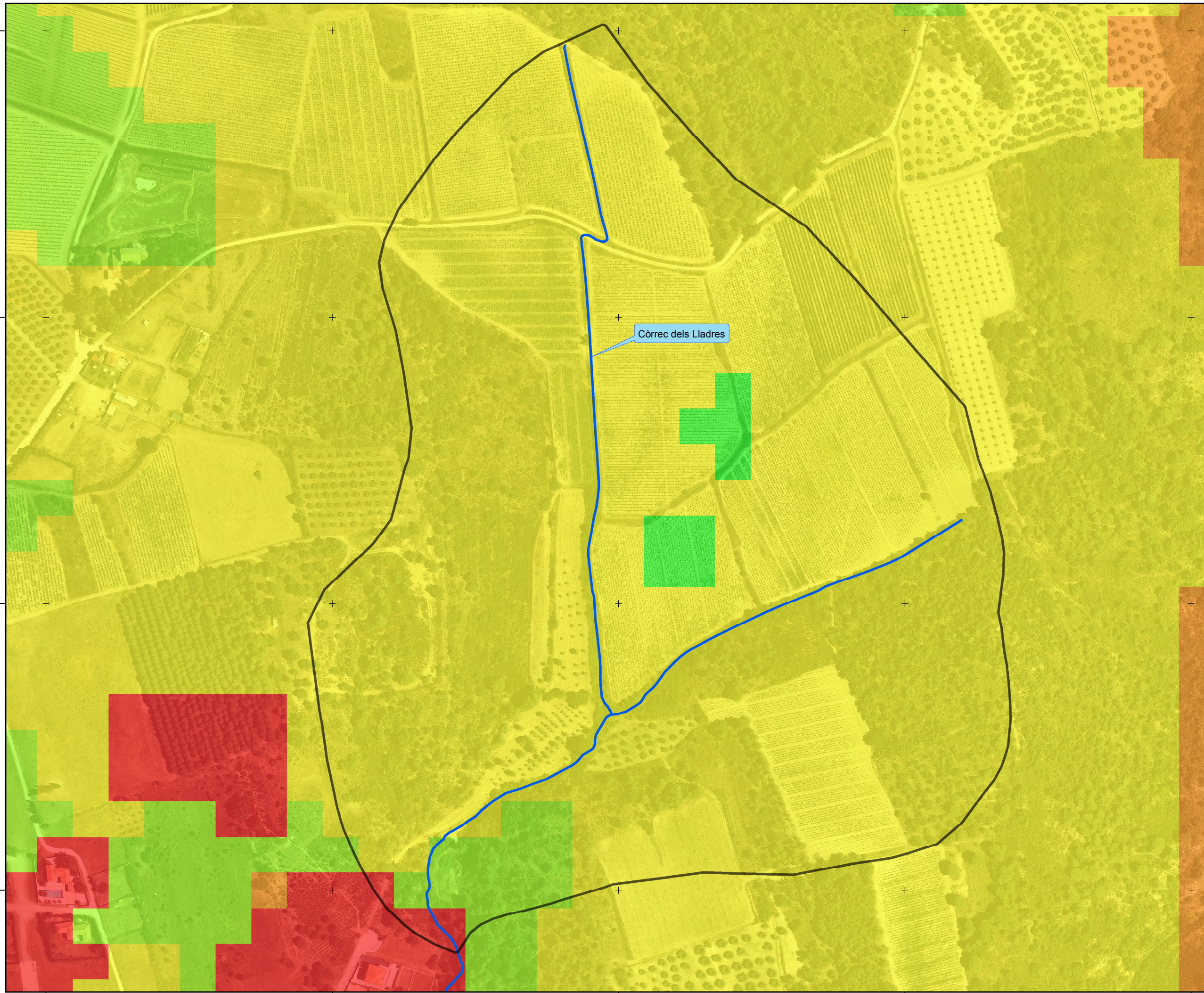


0 25 50 75 100 m

Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

Data: 27 de juliol de 2018  
Autoria: William Morales Rios  
Font: cartografia de l'ICC i ACA

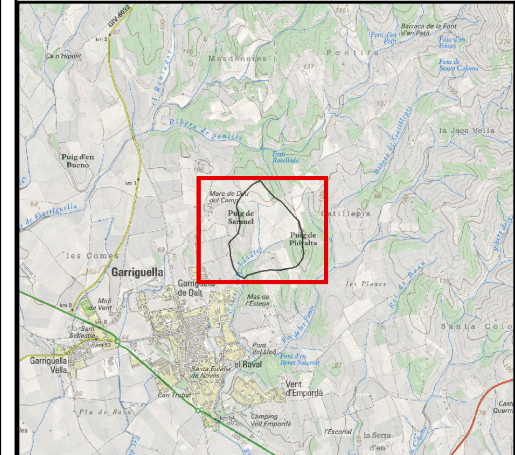
10.3.1  
Plànols Estudi Hidrològic  
Pàgina: 92



Còrrec dels Lladres

505400 505600 505800 506000 506200

4688400 4688600 4688800 4689000



Treball Final de Grau:

**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**

*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**Precipitació Màxima Dirària**

Llegenda:

82



0 25 50 75 100 m

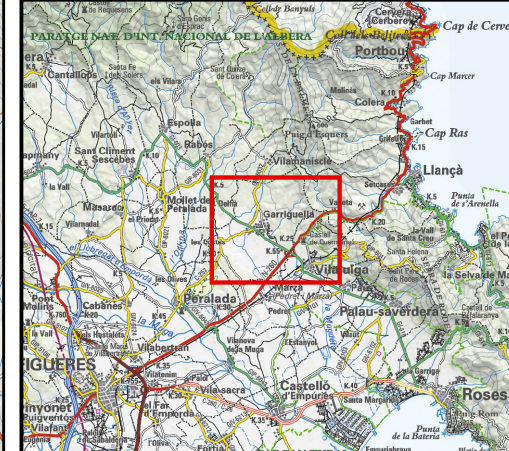
Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

Data: 27 de juliol de 2018  
Autoria: William Morales Rios  
Font: cartografia de l'ICC i ACA

10.3.1  
Plànols Estudi Hidrològic  
Pàgina: 93



## **10.3.2 Plànols Inundabilitat**




Treball Final de Grau:

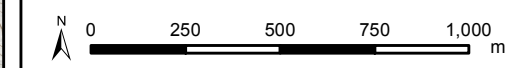
**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**

*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

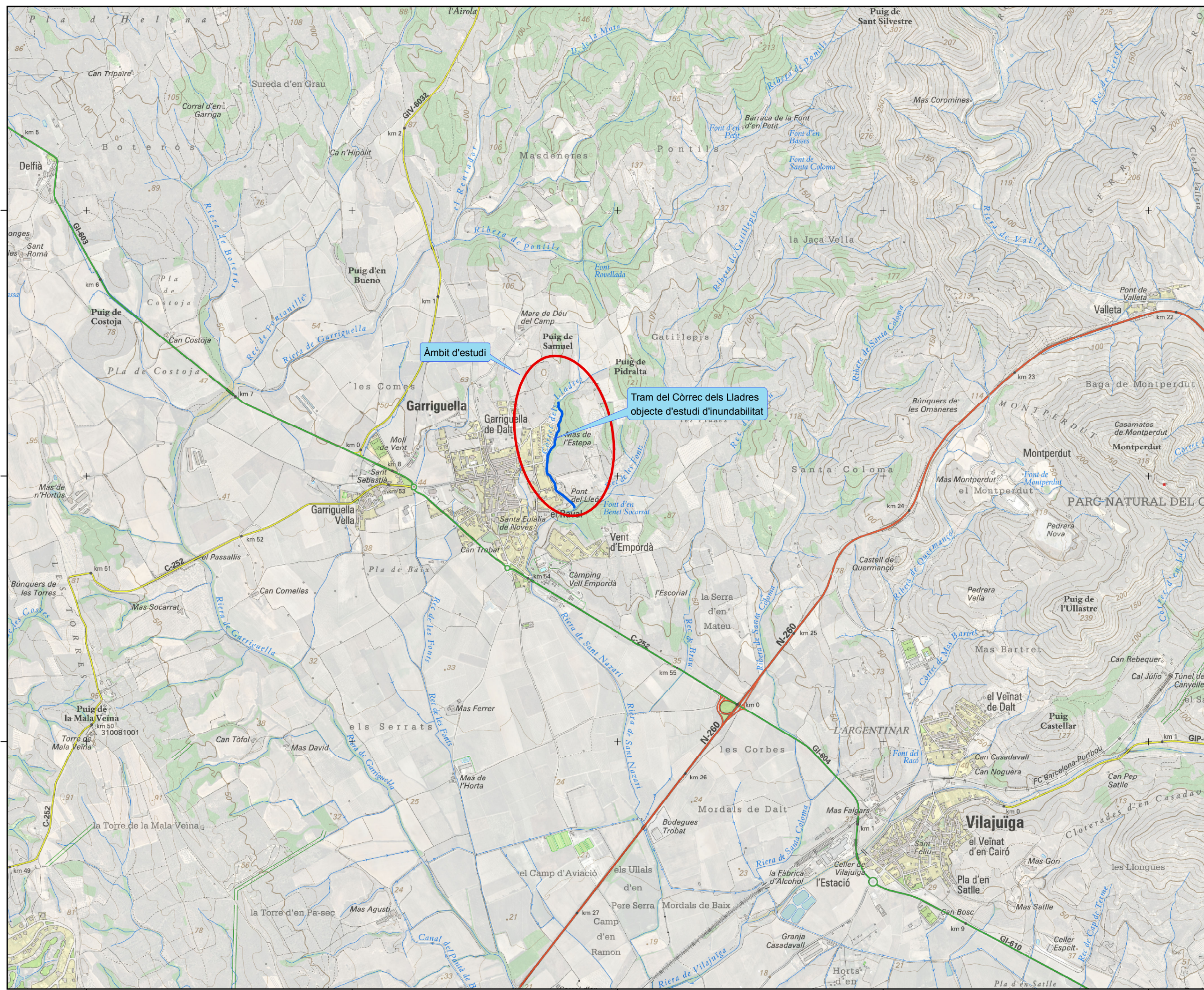
Plànol: **Àmbit objecte d'estudi de simulació hidràulica**

Llegenda:

 Tram d'estudi del curs fluvial

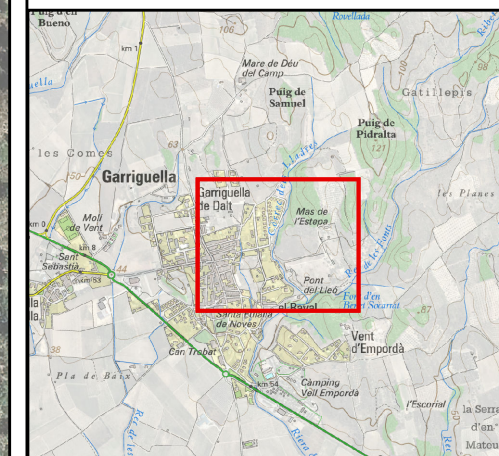


Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona



503000      504500      506000      507500      509000





Treball Final de Grau:





**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**

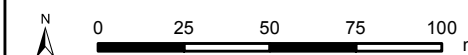
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**Sectors de l'àmbit d'estudi**

Llegenda:

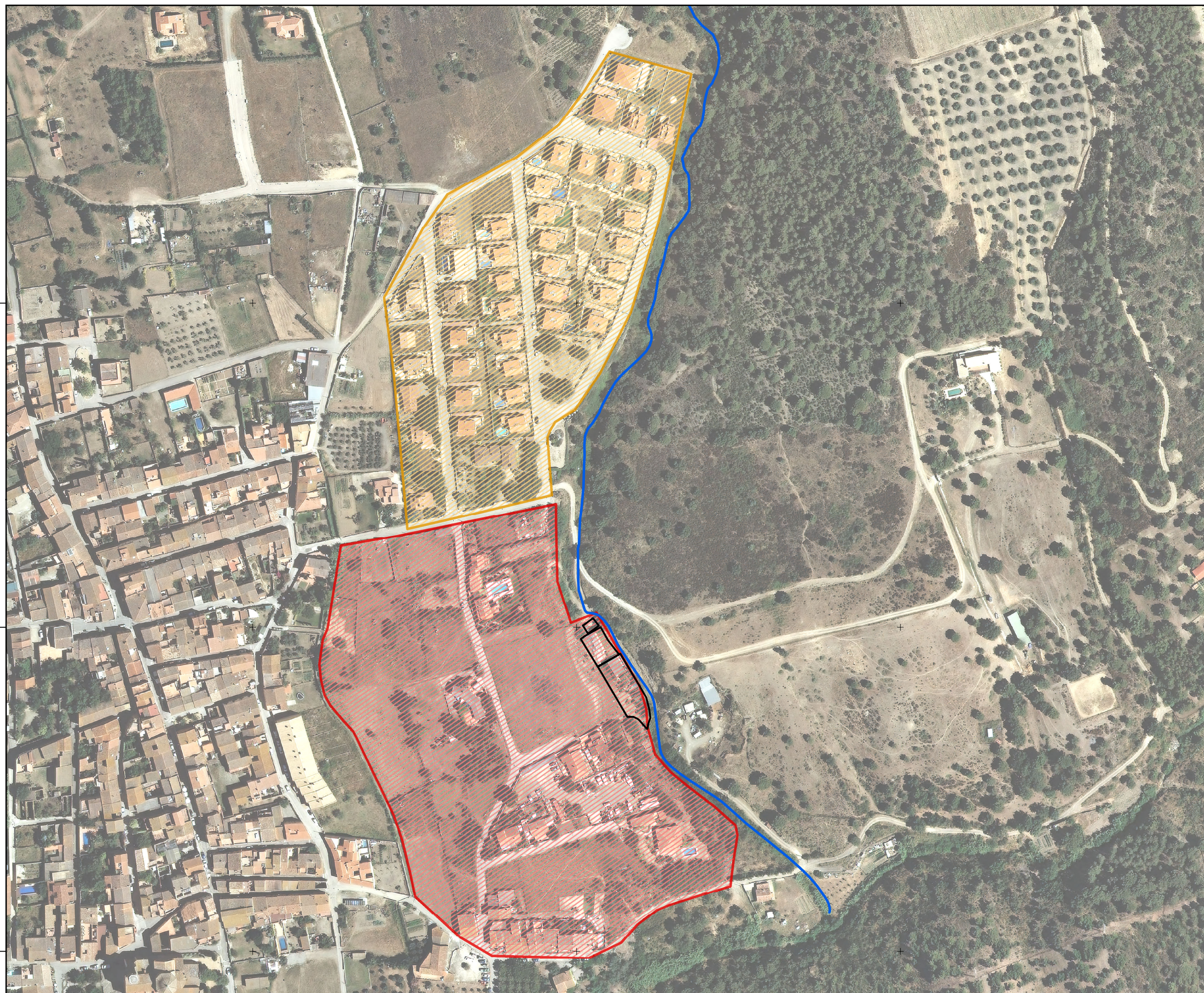
-  Parcel·les d'interès
-  Sector El Raval
-  Urbanització Vinya a Prop
-  Tram d'estudi del curs fluvial

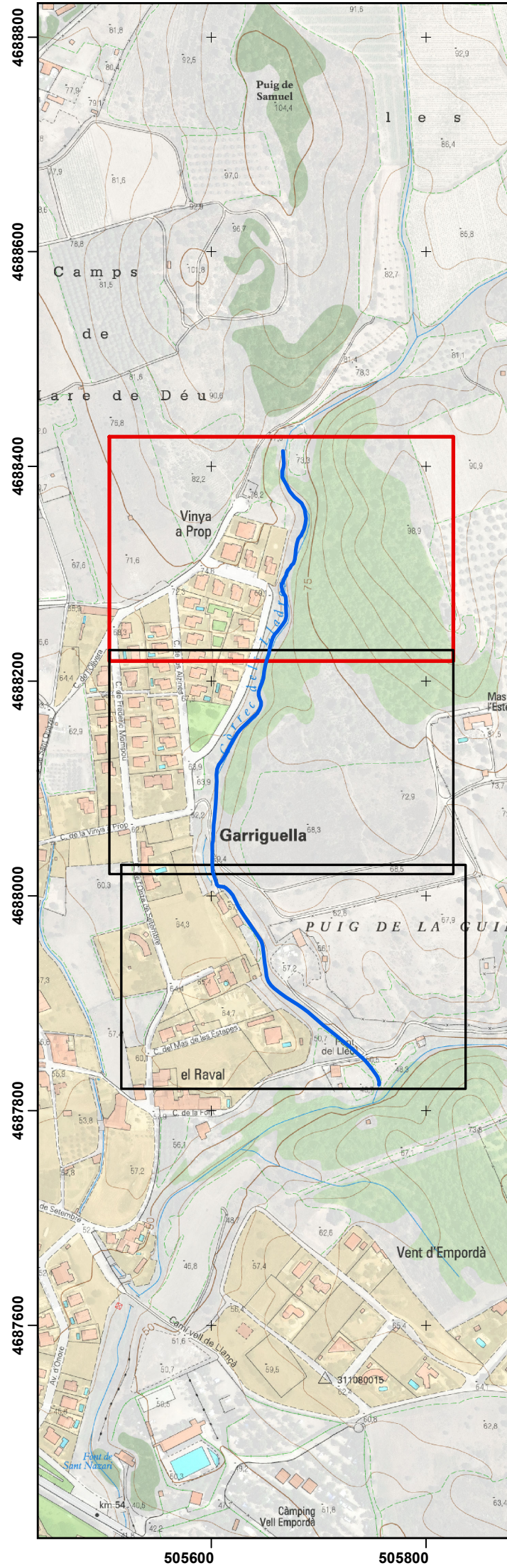


Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

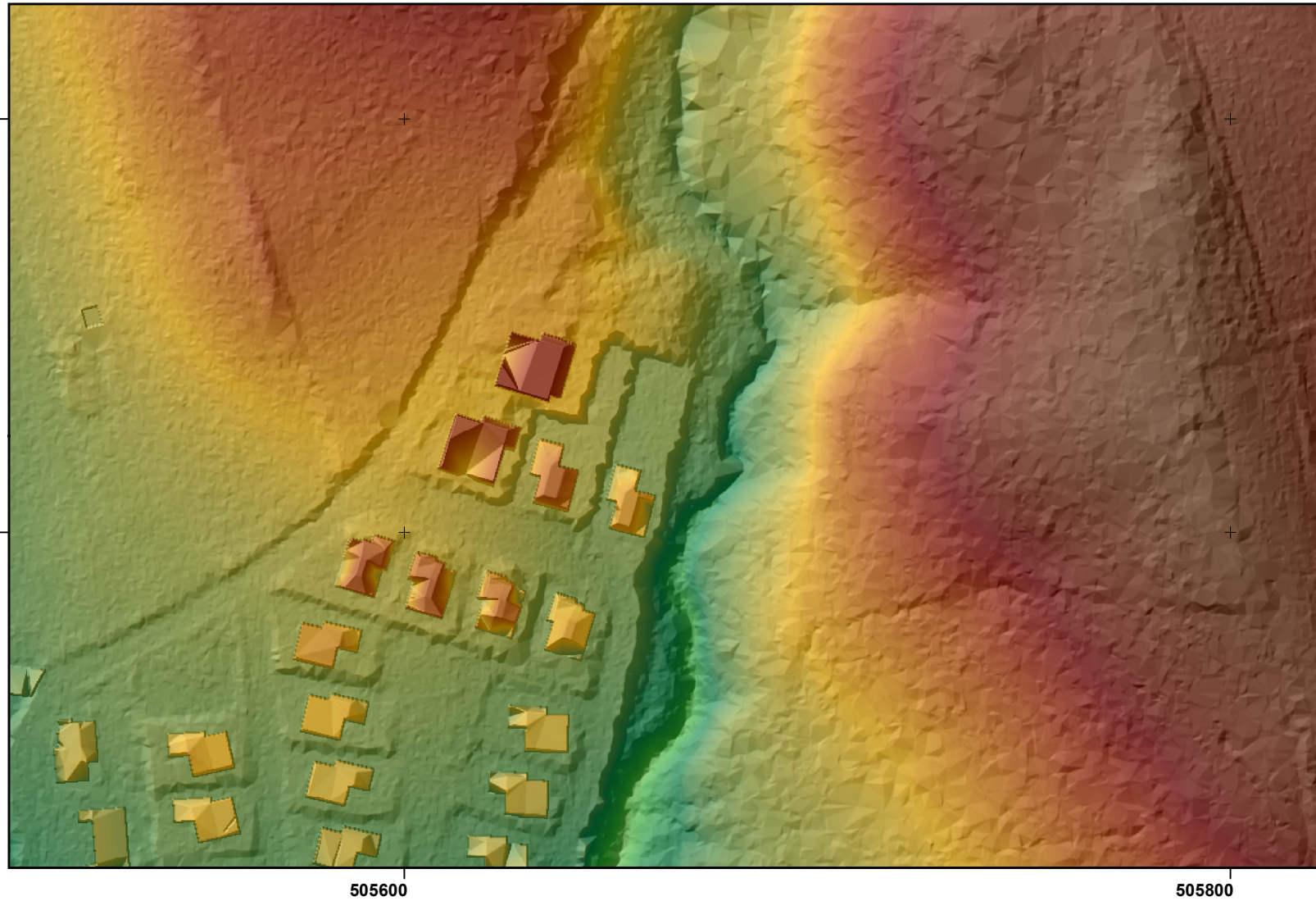
Data: 27 de juliol de 2018  
Autoria: William Morales Rios  
Font: cartografia de l'ICC

10.3.2  
Plànols Estudi Inundabilitat  
Pàgina: 96

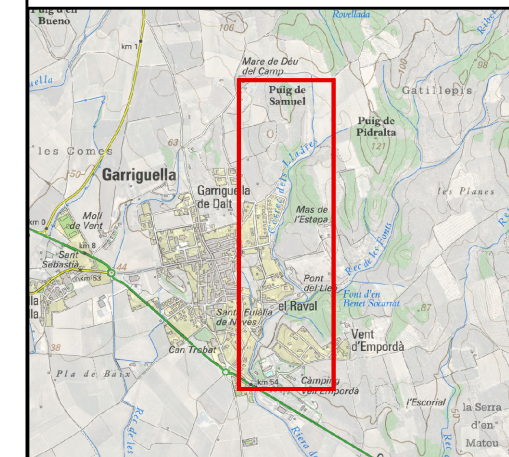
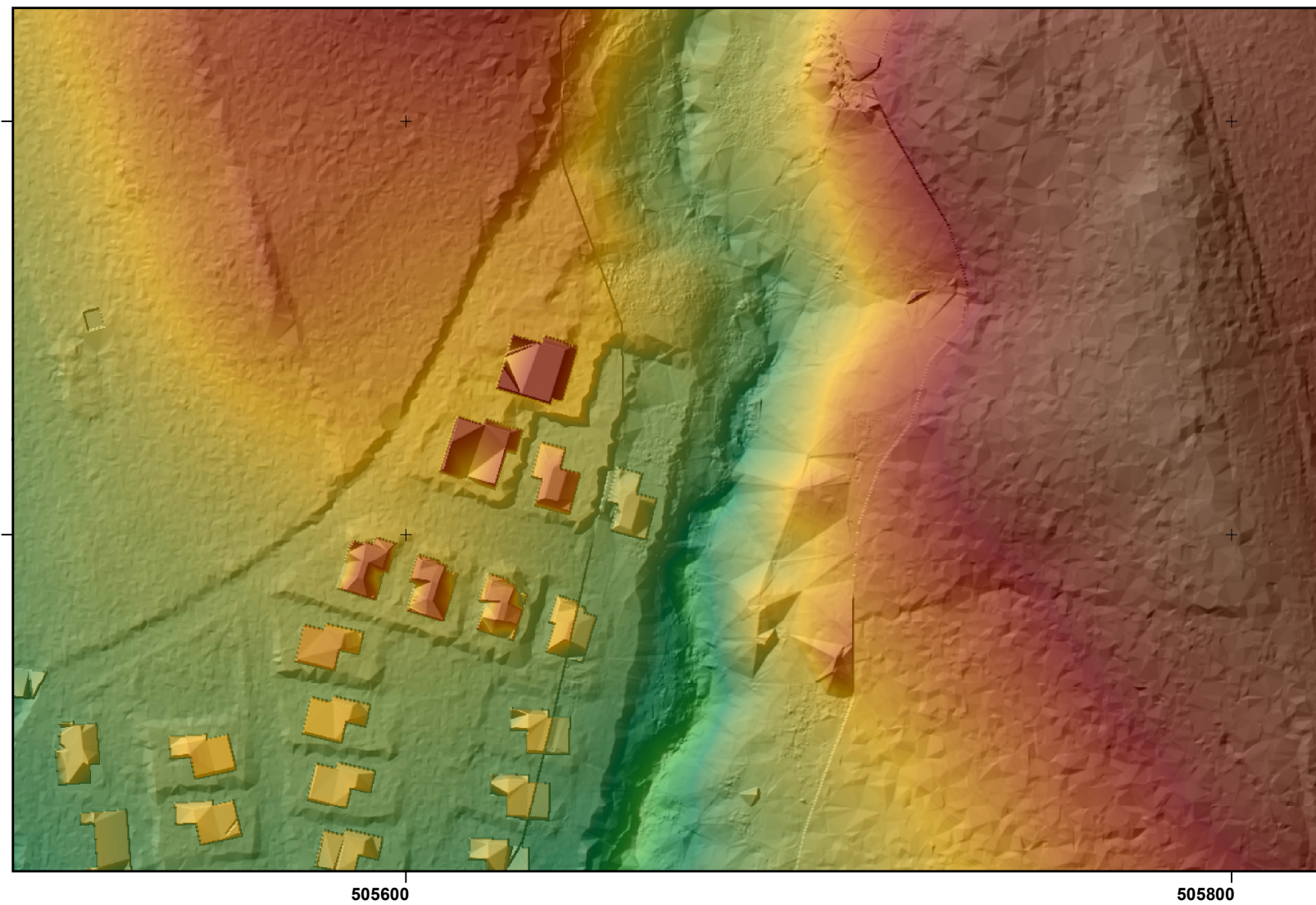




**MDT LIDAR**



**MDT DRON**



Treball Final de Grau:

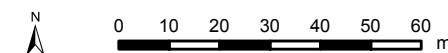
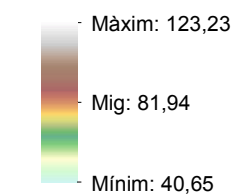
**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**

*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**MODEL DIGITAL DEL TERRENY (MDT)**

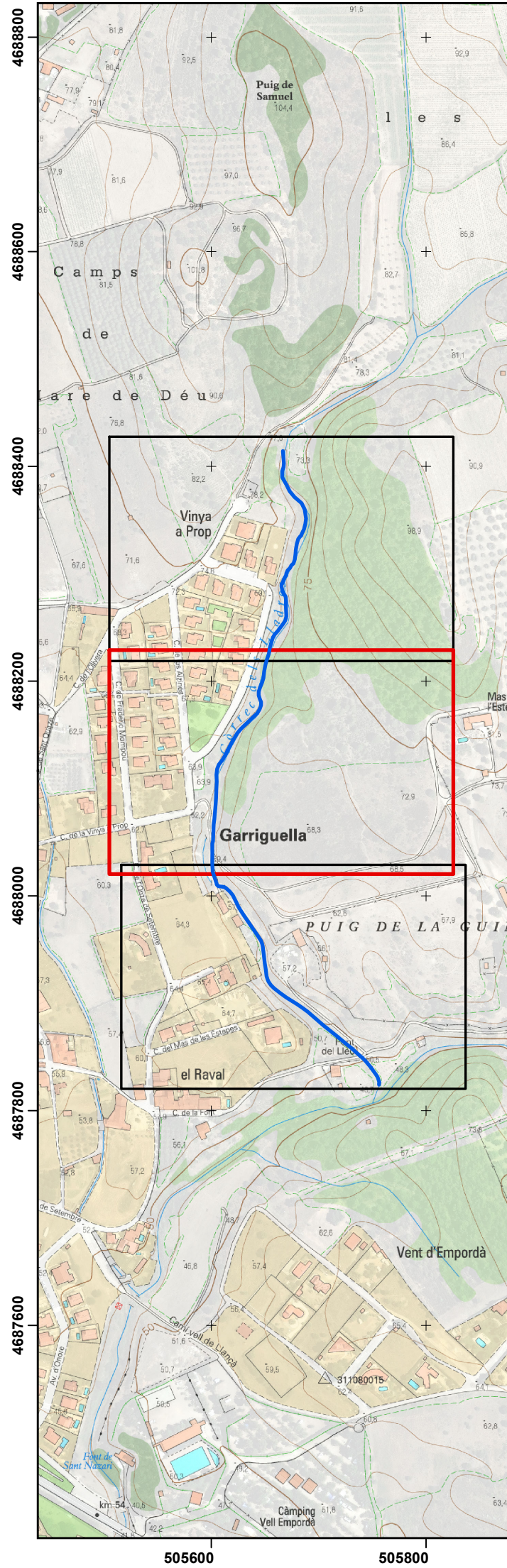
Llegenda:



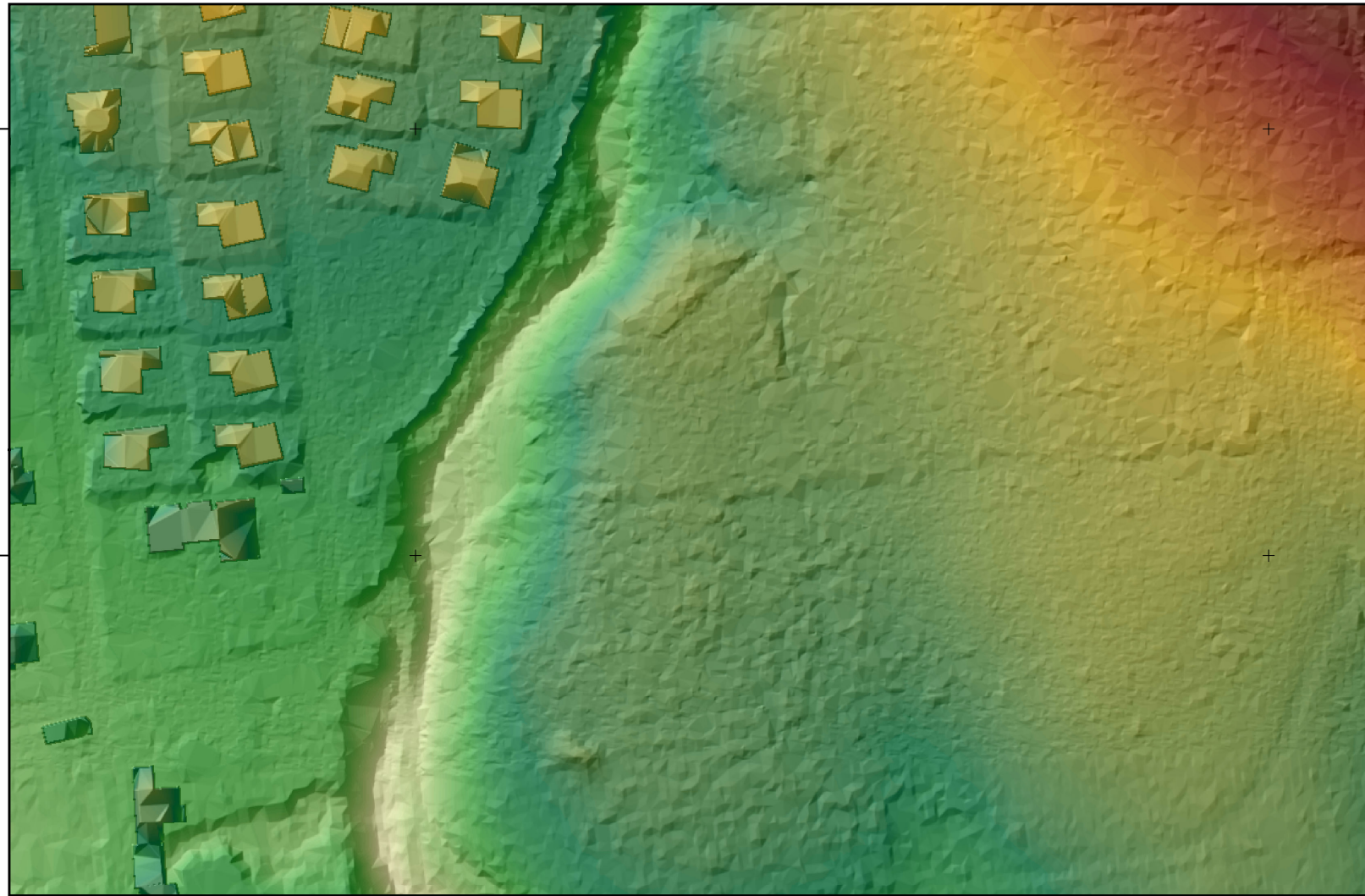
Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

Data: 27 de juliol de 2018  
Autoria: William Morales Rios  
Font: cartografia de l'ICC

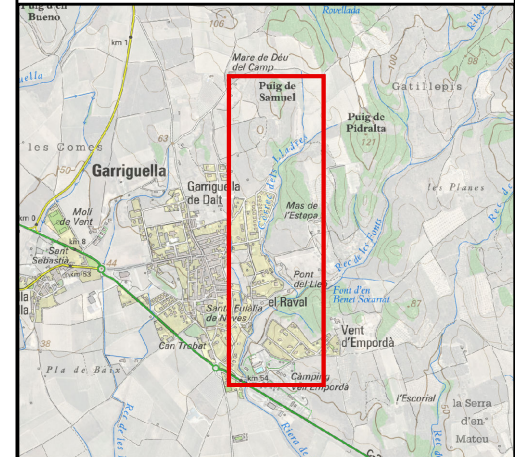
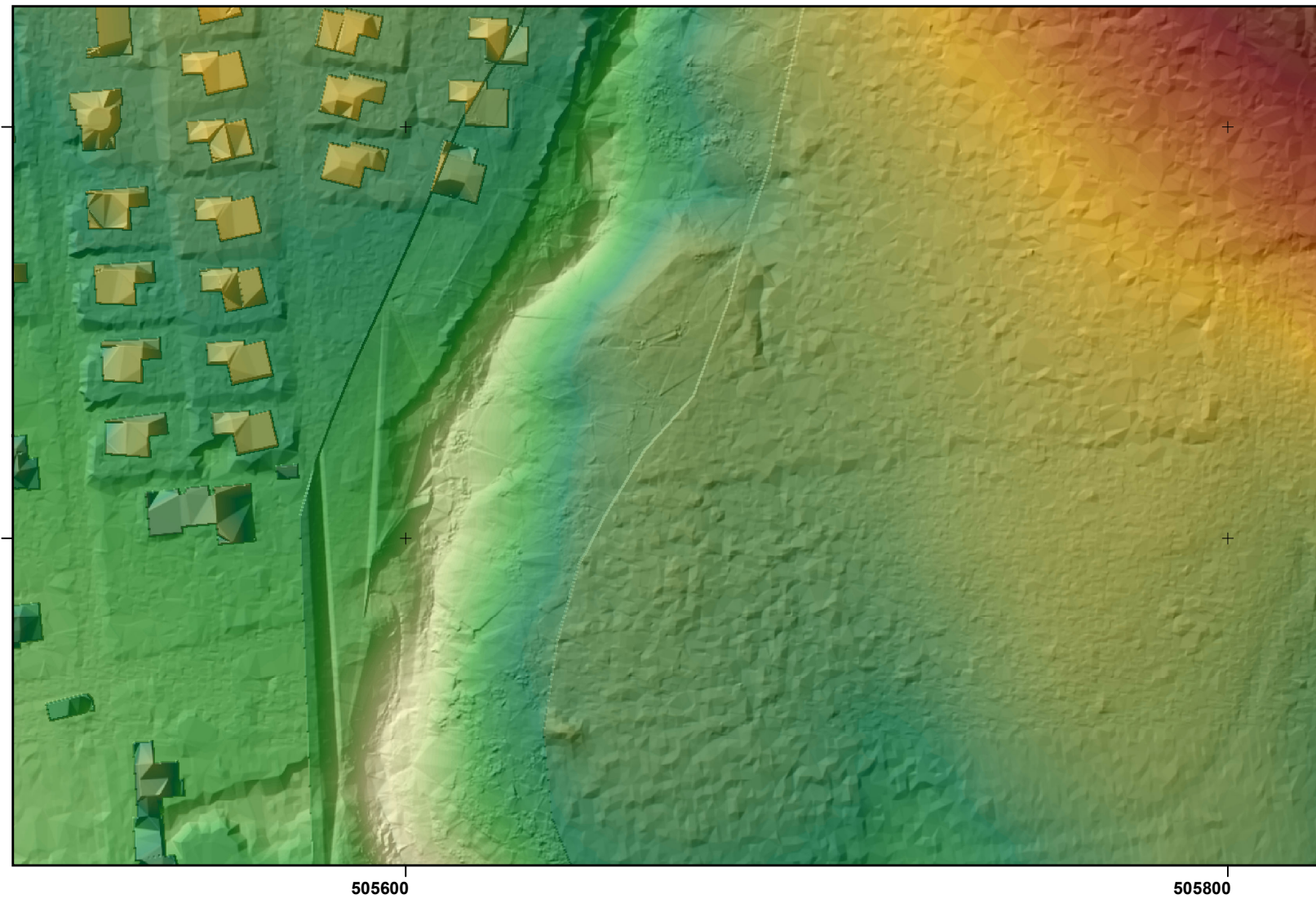
10.3.2  
Plànols Estudi Inundabilitat  
Pàgina: 97



**MDT LIDAR**



**MDT DRON**



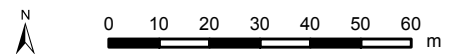
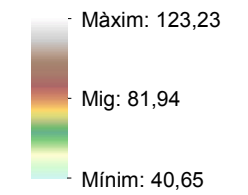
Treball Final de Grau:

**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**  
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**MODEL DIGITAL DEL TERRENY (MDT)**

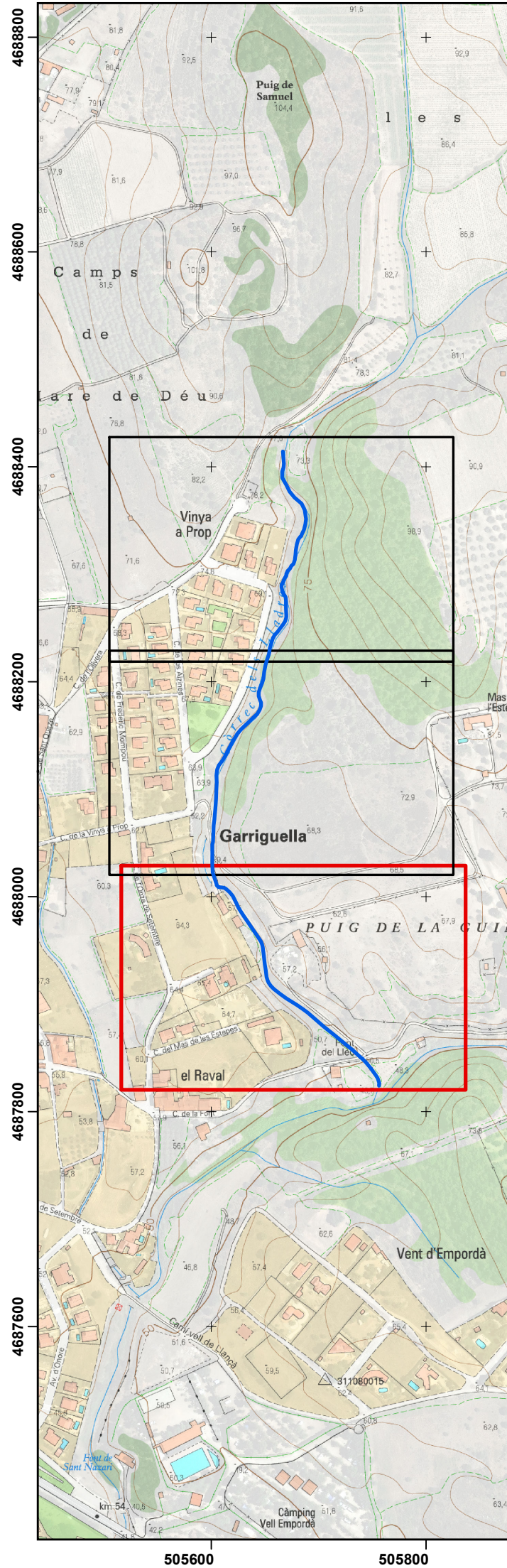
Llegenda:



Grau:  
 Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
 Facultat de Lletres, Universitat de Girona

Data: 27 de juliol de 2018  
 Autoria: William Morales Rios  
 Font: cartografia de l'ICC

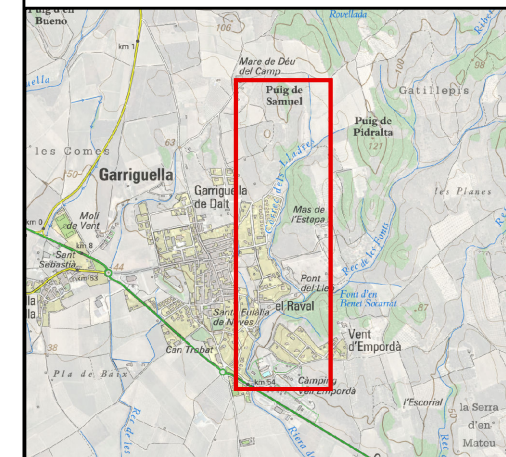
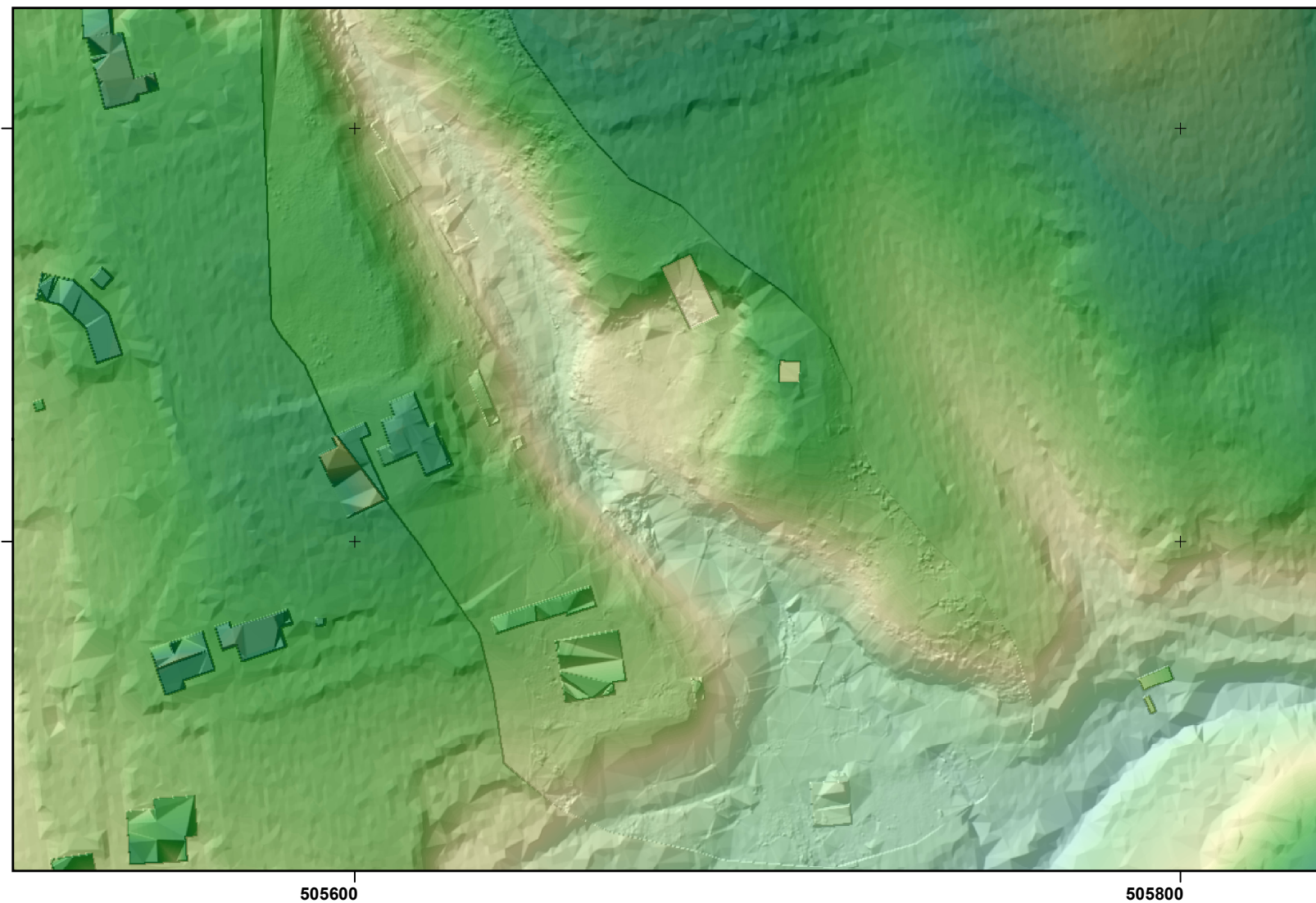
10.3.2  
 Plànols Estudi Inundabilitat  
 Pàgina: 98



**MDT LIDAR**



**MDT DRON**



Treball Final de Grau:

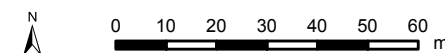
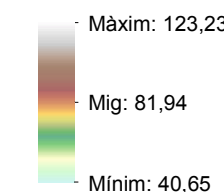
**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**

*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**MODEL DIGITAL DEL TERRENY (MDT)**

Llegenda:

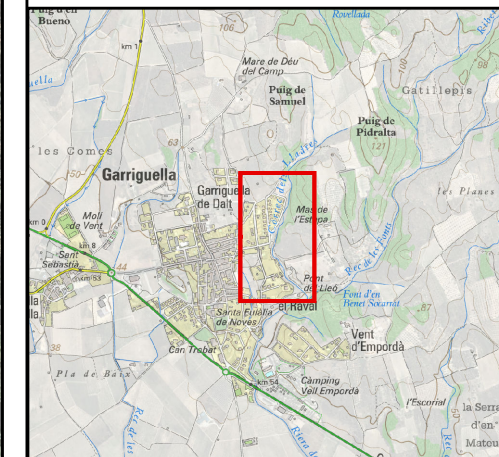


Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

# MDT LIDAR



# MDT DRON



Treball Final de Grau:

## ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON

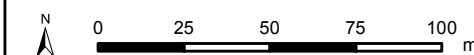
El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)

Plànol:

Calats (T 100 anys)

Llegenda:

0 - 0.21	2.18 - 2.39
0.21 - 0.44	2.39 - 2.60
0.44 - 0.66	2.60 - 2.81
0.66 - 0.89	2.81 - 3.02
0.89 - 1.11	3.02 - 3.24
1.11 - 1.32	3.24 - 3.45
1.32 - 1.53	3.45 - 3.66
1.53 - 1.74	3.66 - 3.87
1.74 - 1.95	3.87 - 4.10
1.95 - 2.18	4.10 - 4.49



Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

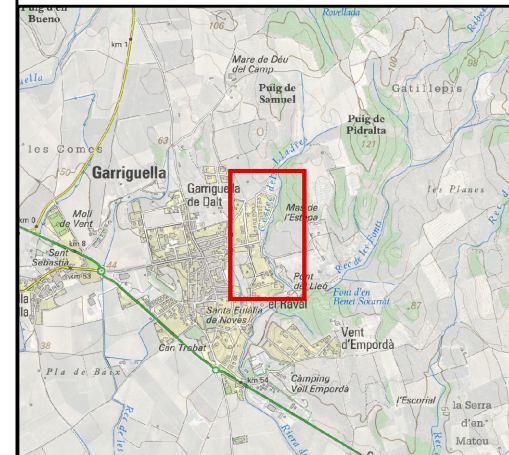
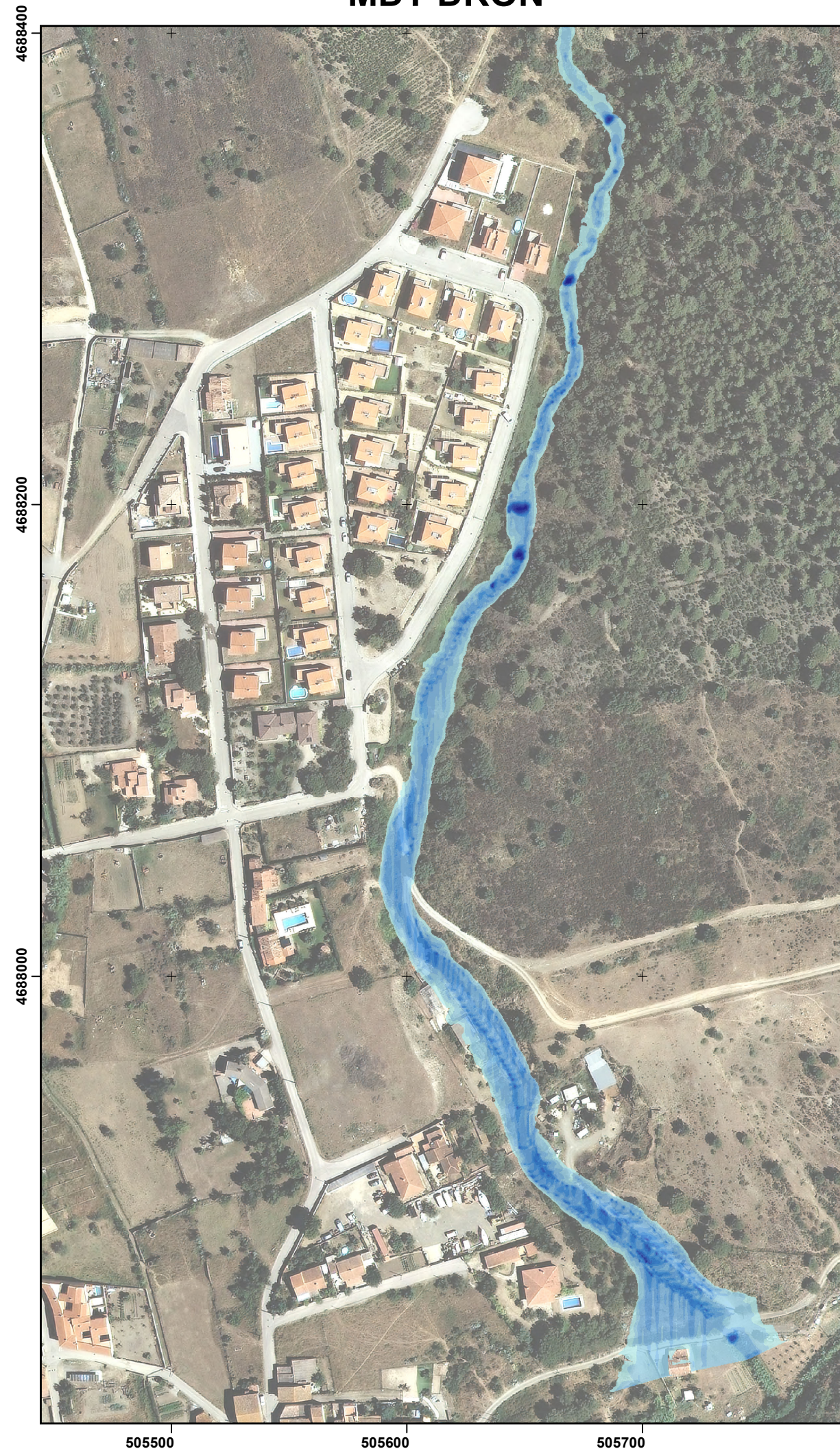
Data: 27 de juliol de 2018  
Autoria: William Morales Rios  
Font: cartografia de l'ICC

10.3.2  
Plànols Estudi Inundabilitat  
Pàgina: 100

# MDT LIDAR



# MDT DRON



Treball Final de Grau:

## ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON

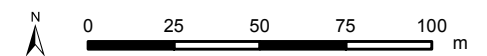
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**Velocitats (T 100 anys)**

Llegenda:

0 - 2.06	8.60 - 11.26
2.06 - 3.70	11.26 - 15.35
3.70 - 5.13	15.35 - 23.12
5.13 - 6.76	23.12 - 33.96
6.76 - 8.60	33.96 - 52.16



Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

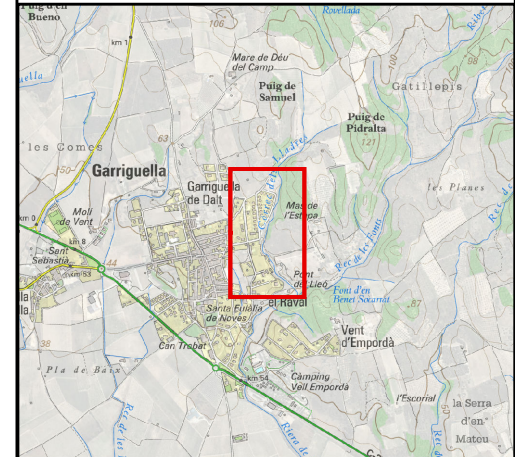
Data: 27 de juliol de 2018  
Autoria: William Morales Rios  
Font: cartografia de l'ICC

10.3.2  
Plànols Estudi Inundabilitat  
Pàgina: 101

# MDT LIDAR



# MDT DRON



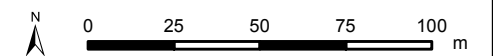
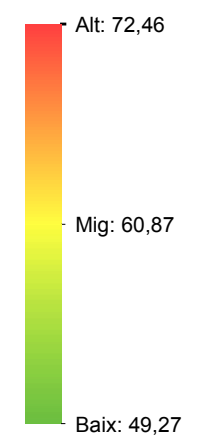
Treball Final de Grau:

**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**  
 El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)

Plànol:

**Nivells (T 100 anys)**

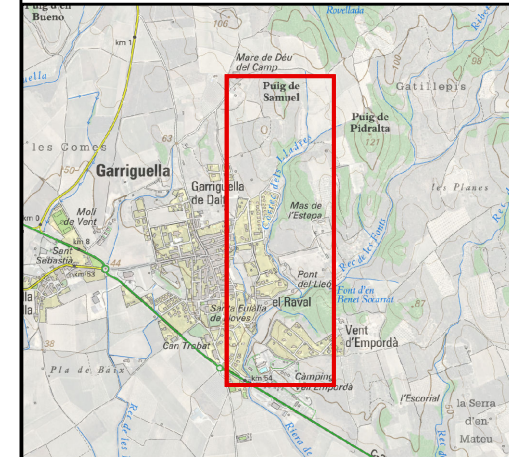
Llegenda:



Grau:  
 Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
 Facultat de Lletres, Universitat de Girona

Data: 27 de juliol de 2018  
 Autoria: William Morales Rios  
 Font: cartografia de l'ICC

10.3.2  
 Plànols Estudi Inundabilitat  
 Pàgina: 102



Treball Final de Grau:

## ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON

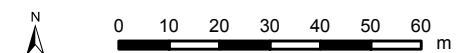
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**Zones Inundables**

Llegenda:

- ZI T = mco
- ZI T = 10 anys
- ZI T = 100 anys
- ZI T = 500 anys



Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

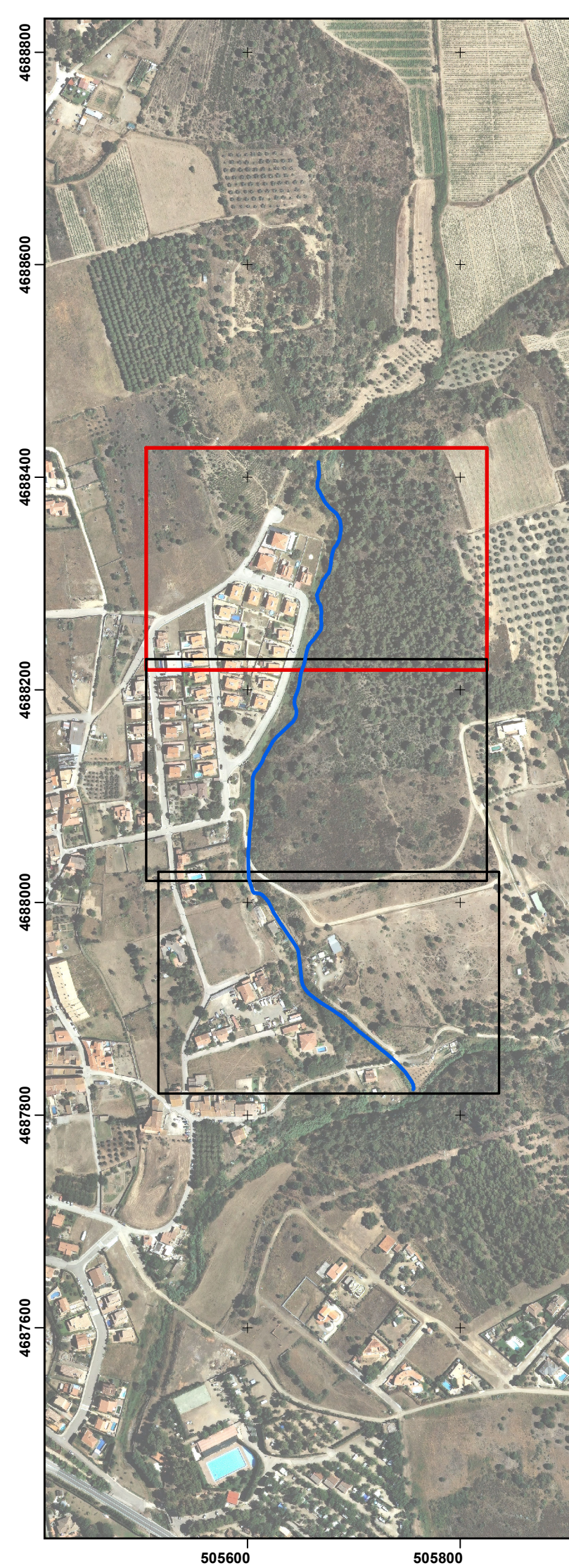
Data: 27 de juliol de 2018  
Autoria: William Morales Rios  
Font: cartografia de l'ICC

10.3.2  
Plànols Estudi Inundabilitat  
Pàgina: 103

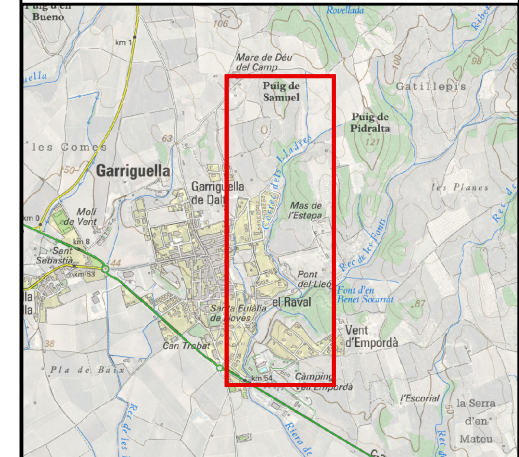
**MDT LIDAR**



**MDT DRON**







Treball Final de Grau:

## ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON

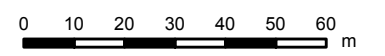
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**Zones Inundables**

Llegenda:

- ZI T = mco
- ZI T = 10 anys
- ZI T = 100 anys
- ZI T = 500 anys



Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

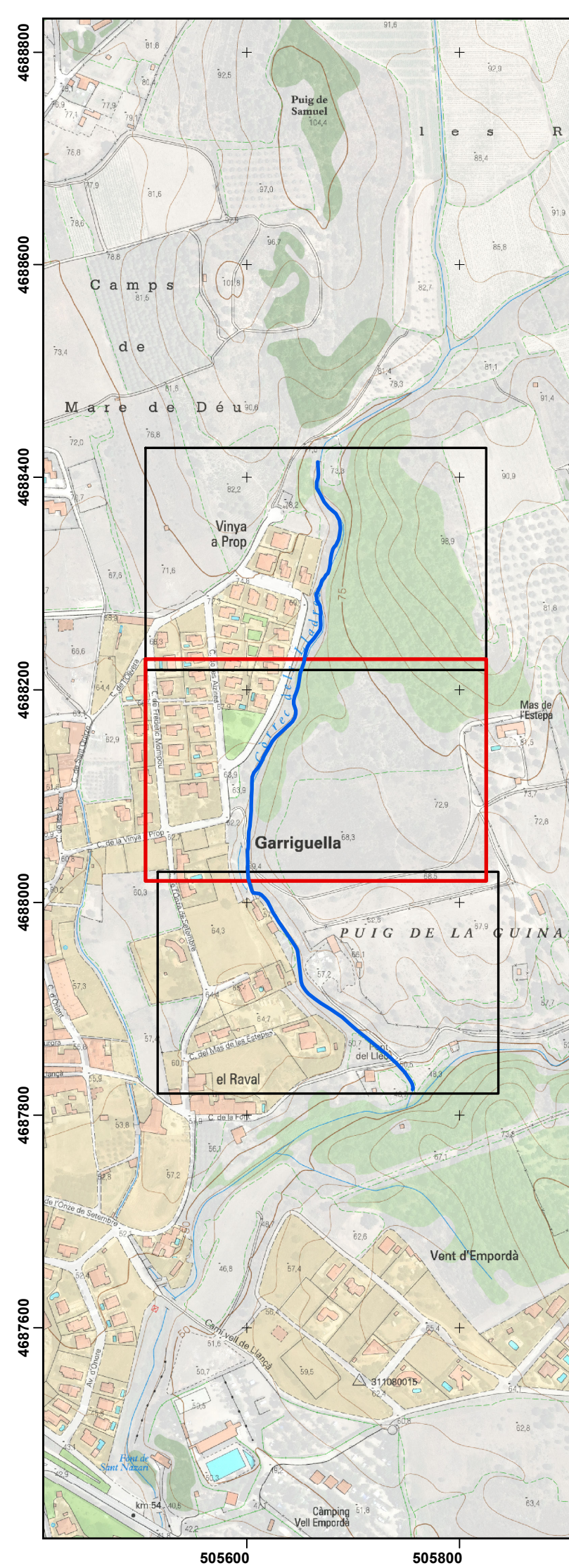
Data: 27 de juliol de 2018  
Autoria: William Morales Rios  
Font: cartografia de l'ICC

10.3.2  
Plànols Estudi Inundabilitat  
Pàgina: 104

**MDT LIDAR**



**MDT DRON**



4688200

4688100

4688200

4688100

505600

505800

505600

505800

505600

505800

4688800

4688600

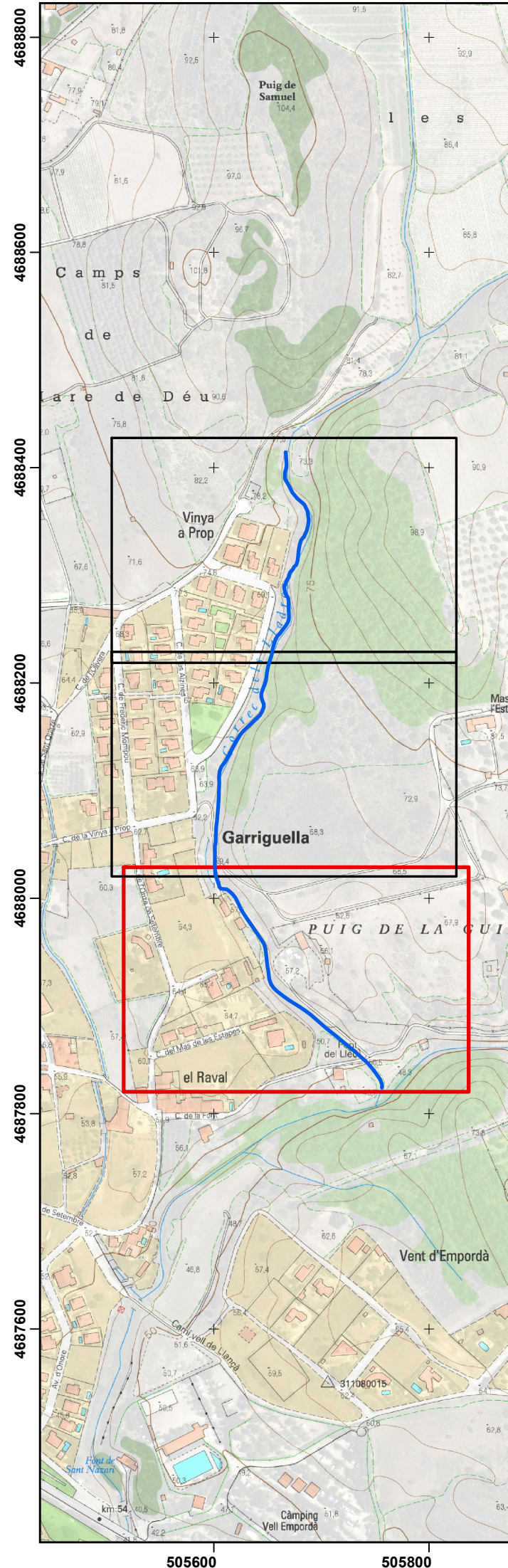
4688400

4688200

4688000

4687800

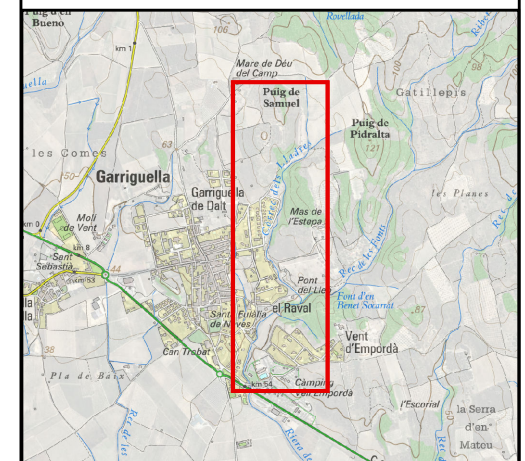
4687600



MDT LIDAR



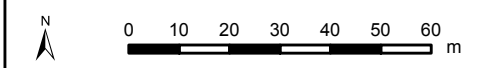
MDT DRON



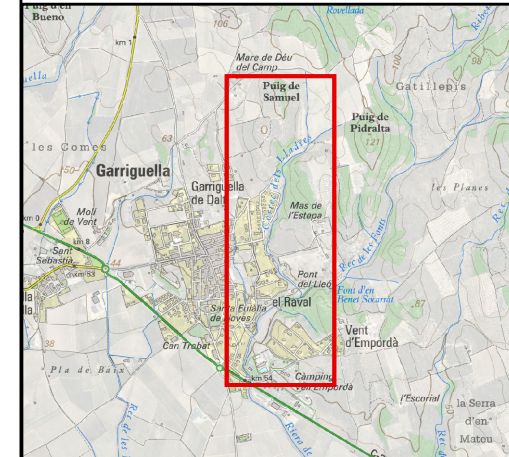
Treball Final de Grau:  
**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**  
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:  
**Zones Inundables**

- Llegenda:
- ZI T = mco
  - ZI T = 10 anys
  - ZI T = 100 anys
  - ZI T = 500 anys



Grau:  
 Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
 Facultat de Lletres, Universitat de Girona



Treball Final de Grau:





## ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON

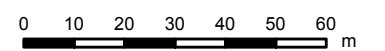
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**Zonificació de l'Espai Fluvial (Reglament de Domini Públic Hidràulic)**

Llegenda:

-  Zona de Flux Preferent (ZFP)
-  Zona de Servitud (ZS)
-  Domini Públic Hidràulic (DPH)
-  Zona Inundable (ZI)



Grau:

Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

Data: 27 de juliol de 2018

Autoria: William Morales Rios

Font: cartografia de l'ICC

10.3.2

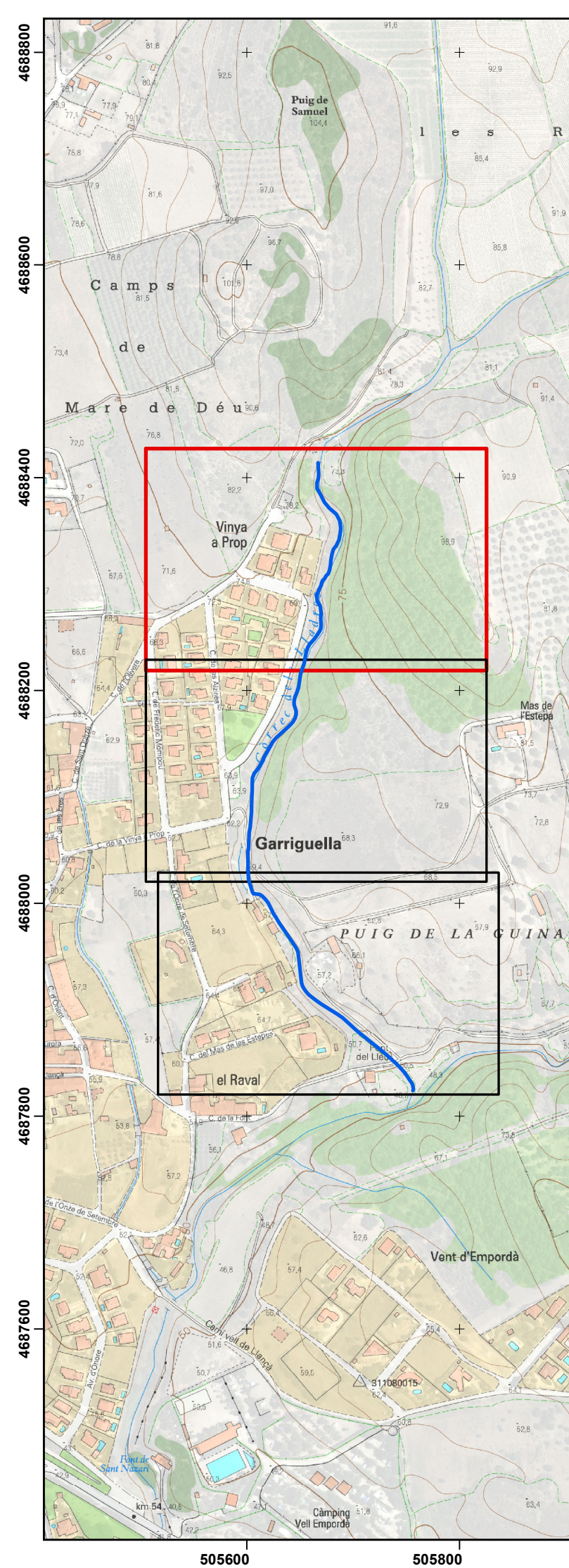
Plànols Estudi Inundabilitat

Pàgina: 106

**MDT LIDAR**



**MDT DRON**



505600

505800

505600

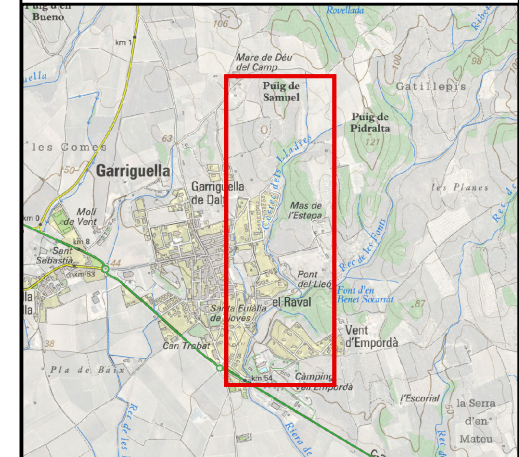
505800

4688400

4688300

4688400

4688300



Treball Final de Grau:





## ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON

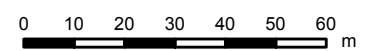
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**Zonificació de l'Espai Fluvial (Reglament de Domini Públic Hidràulic)**

Llegenda:

-  Zona de Flux Preferent (ZFP)
-  Zona de Servitud (ZS)
-  Domini Públic Hidràulic (DPH)
-  Zona Inundable (ZI)



Grau:

Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

Data: 27 de juliol de 2018

Autoria: William Morales Rios

Font: cartografia de l'ICC

10.3.2

Plànols Estudi Inundabilitat

Pàgina: 107

**MDT LIDAR**



505600

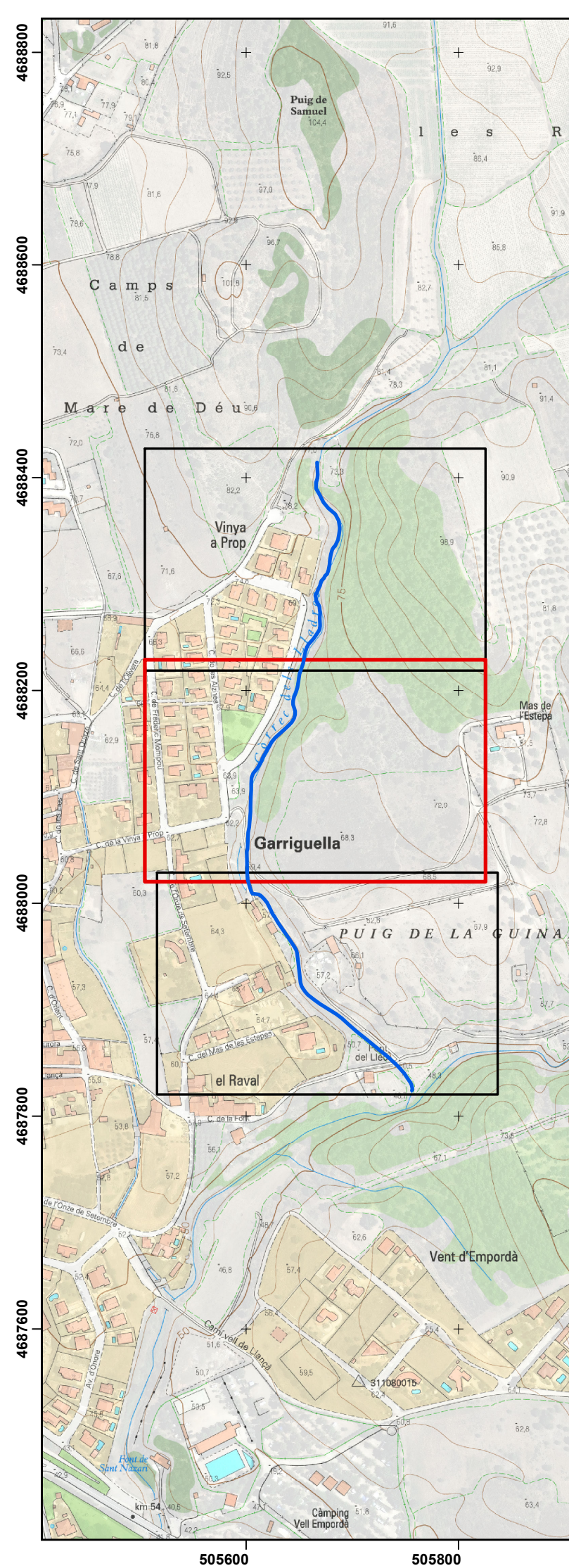
505800

**MDT DRON**



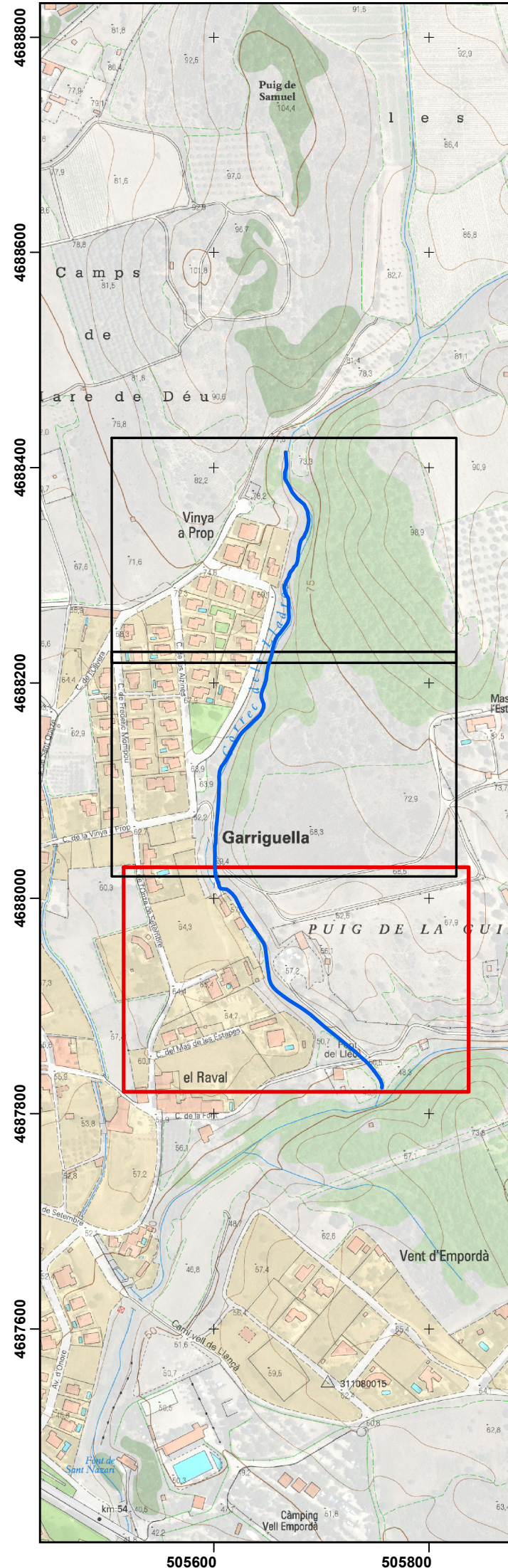
505600

505800

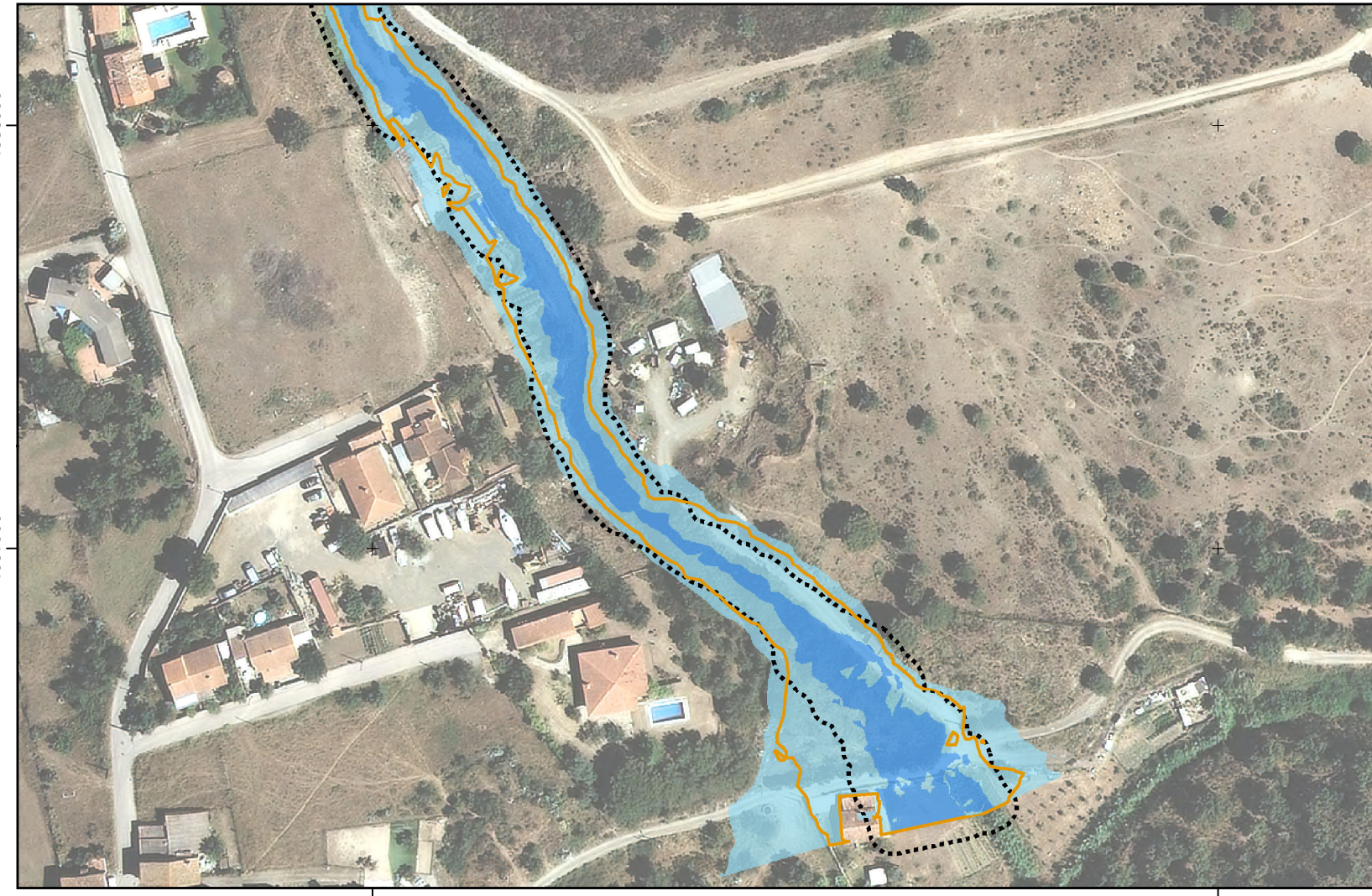


505600

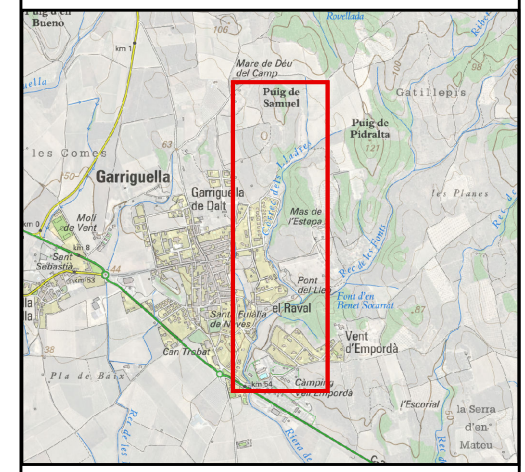
505800



**MDT LIDAR**



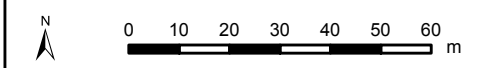
**MDT DRON**



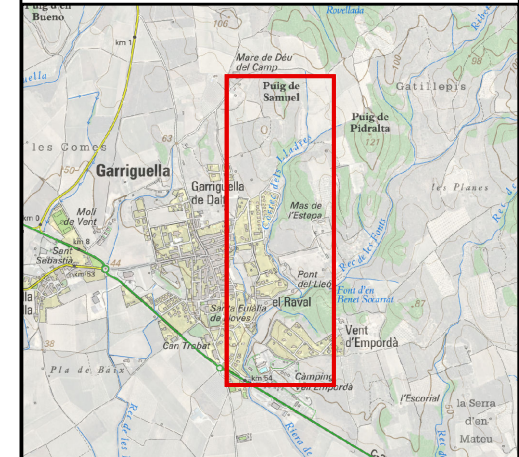
Treball Final de Grau:  
**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**  
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:  
**Zonificació de l'Espai Fluvial (Reglament de Domini Públic Hidràulic)**

- Llegenda:
- Zona de Flux Preferent (ZFP)
  - Zona de Servitud (ZS)
  - Domini Públic Hidràulic (DPH)
  - Zona Inundable (ZI)



Grau:  
 Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
 Facultat de Lletres, Universitat de Girona



Treball Final de Grau:

## ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON

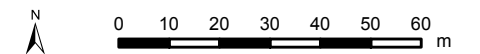
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**RISC D'INUNDACIÓ**

Llegenda:

- Risc baix
- Risc moderat
- Risc alt

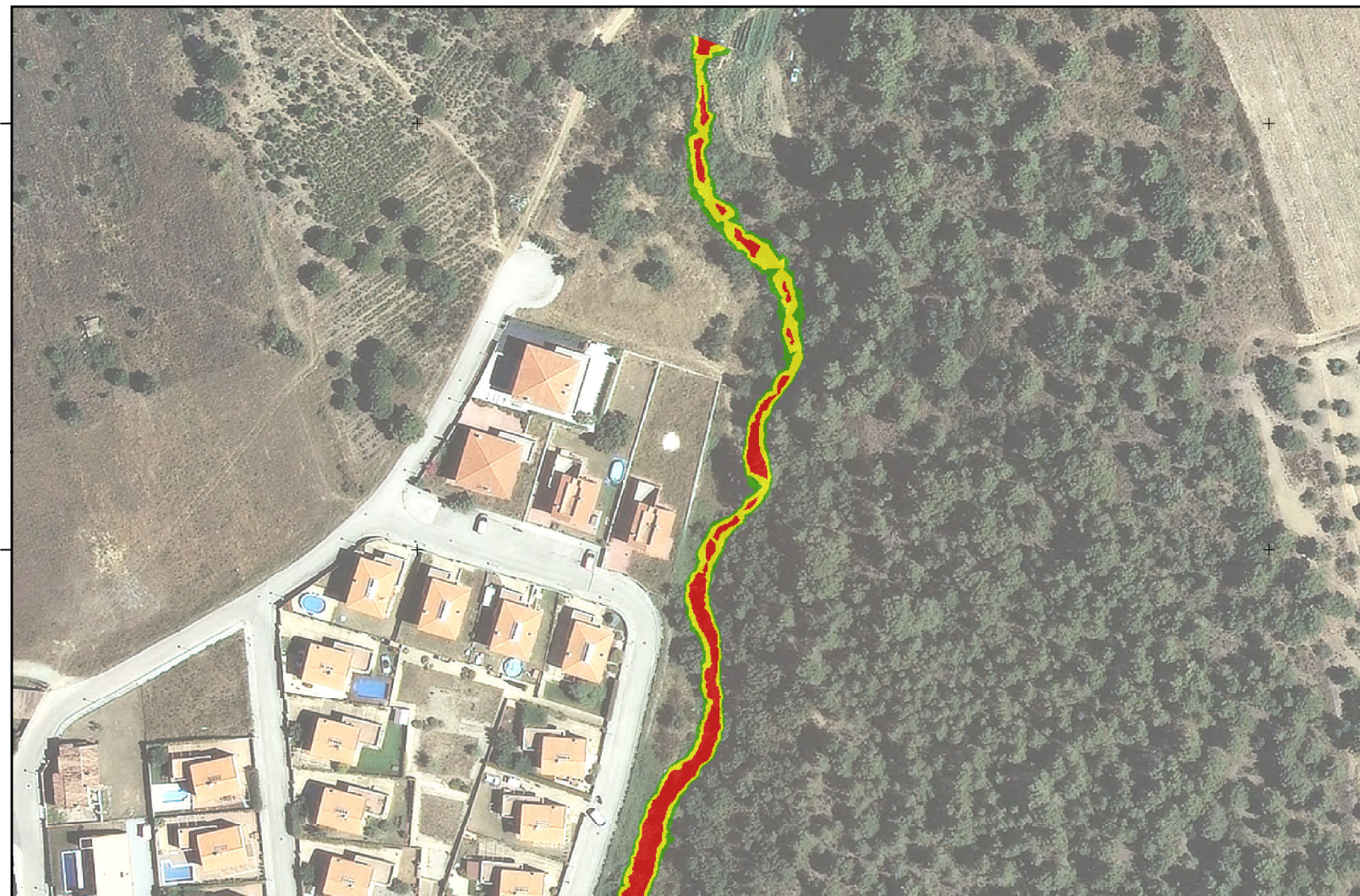


Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

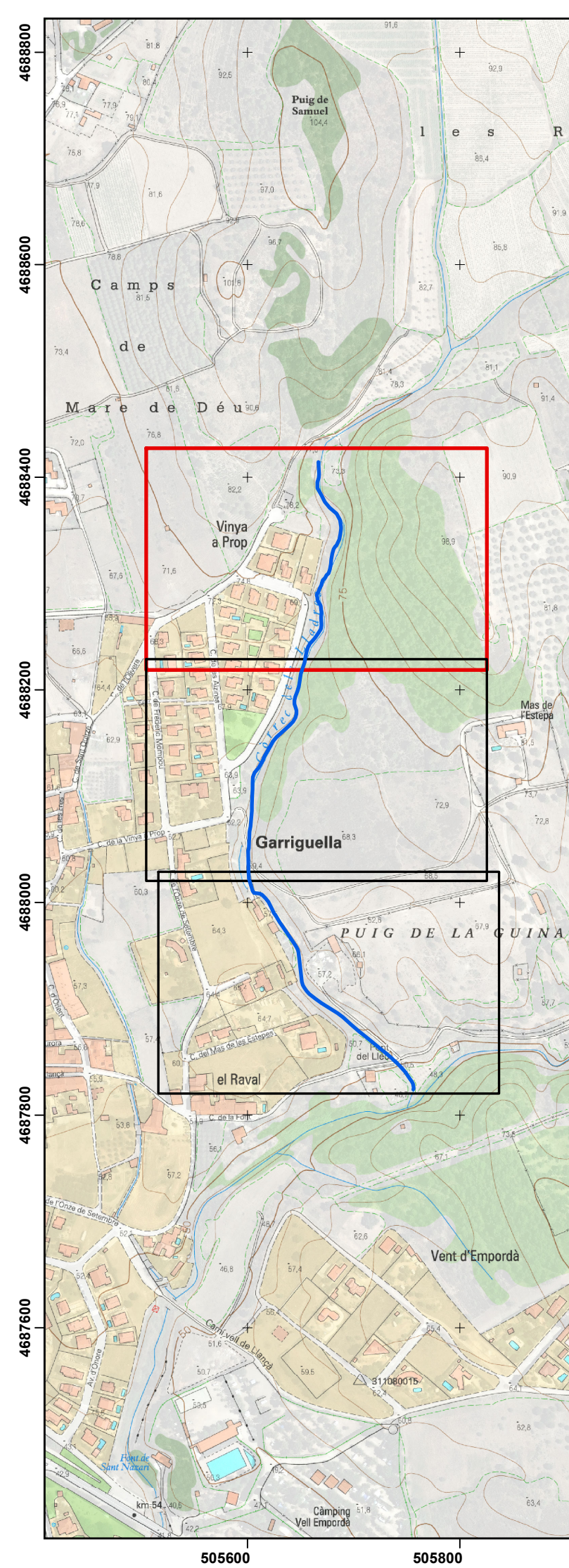
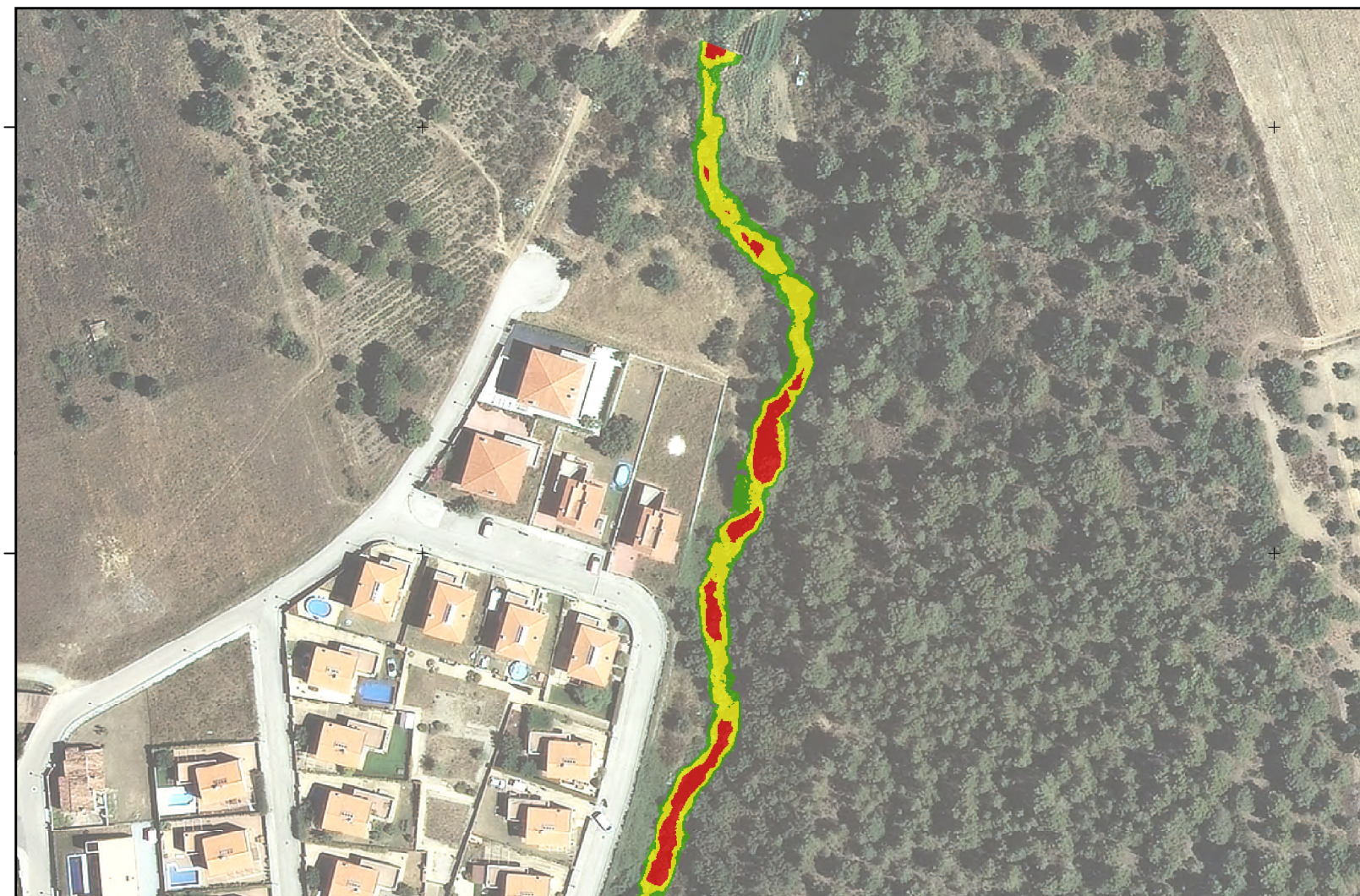
Data: 27 de juliol de 2018  
Autoria: William Morales Rios  
Font: cartografia de l'ICC

10.3.2  
Plànols Estudi Inundabilitat  
Pàgina: 109

**MDT LIDAR**



**MDT DRON**



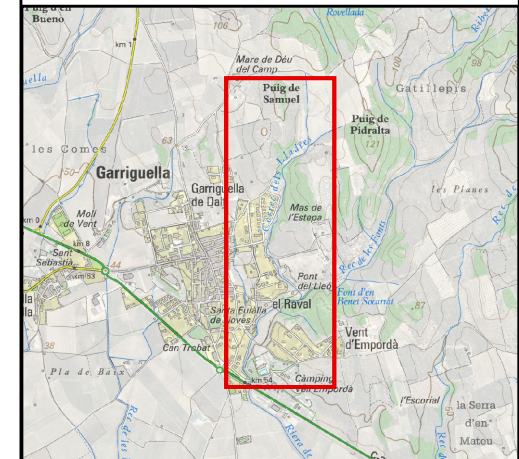
505600 505800

505600 505800

505600 505800

4688800  
4688600  
4688400  
4688200  
4688000  
4687800  
4687600

4688400  
4688300  
4688400  
4688300



Treball Final de Grau:

## ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON

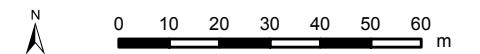
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**RISC D'INUNDACIÓ**

Llegenda:

- Risc baix
- Risc moderat
- Risc alt



Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

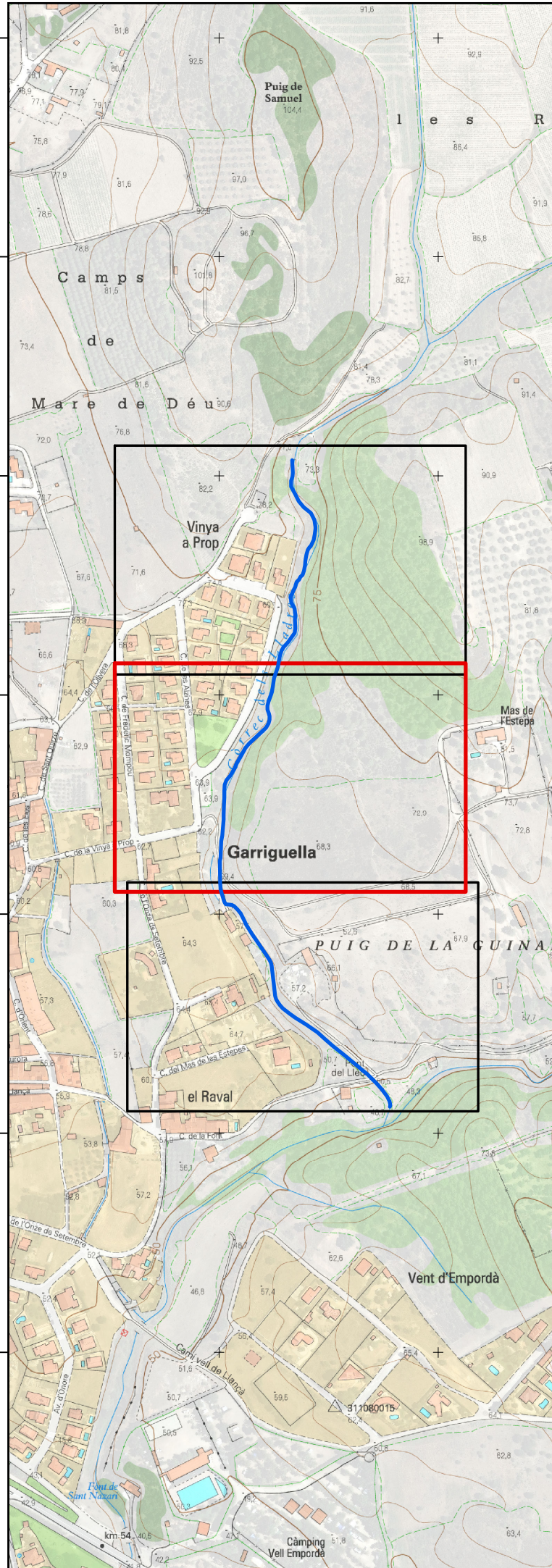
Data: 27 de juliol de 2018  
Autoria: William Morales Rios  
Font: cartografia de l'ICC

10.3.2  
Plànols Estudi Inundabilitat  
Pàgina: 110

**MDT LIDAR**



**MDT DRON**

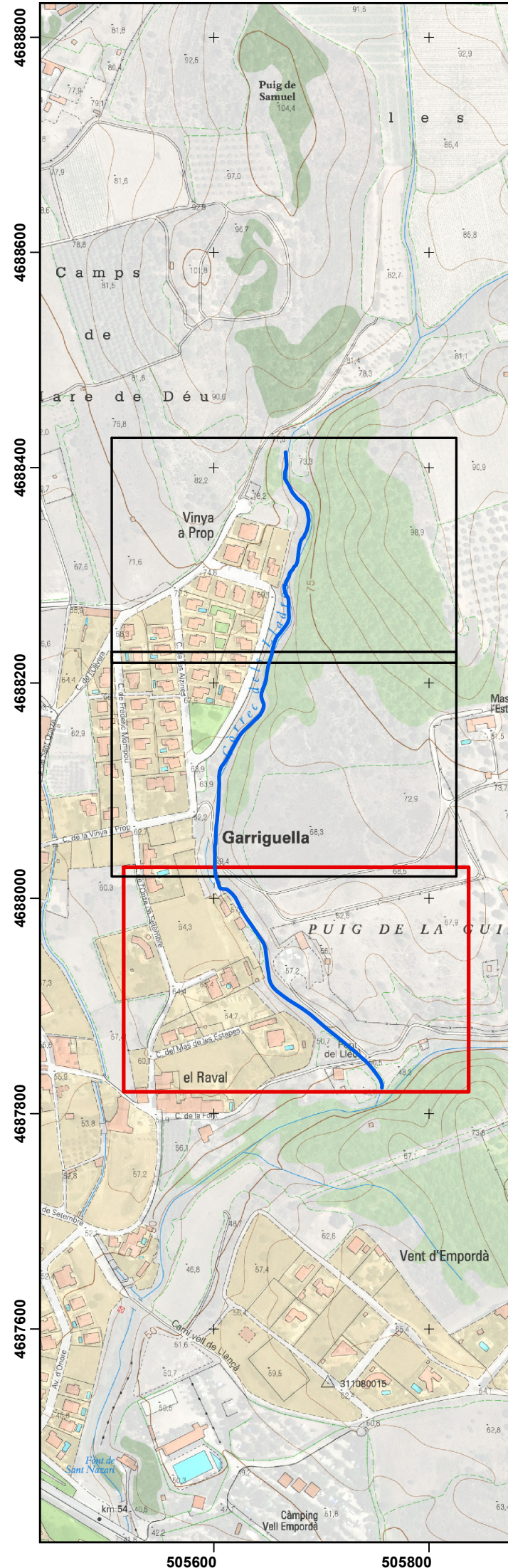


505600 505800

505600 505800

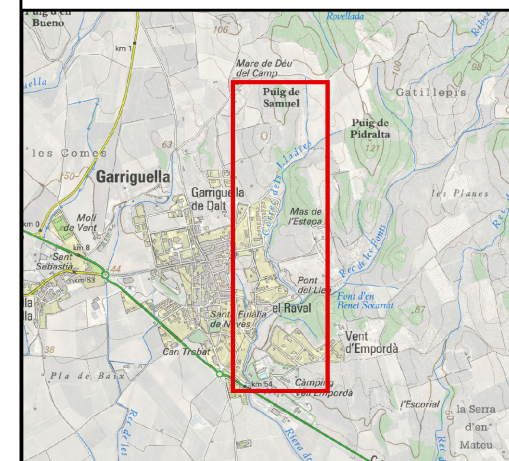
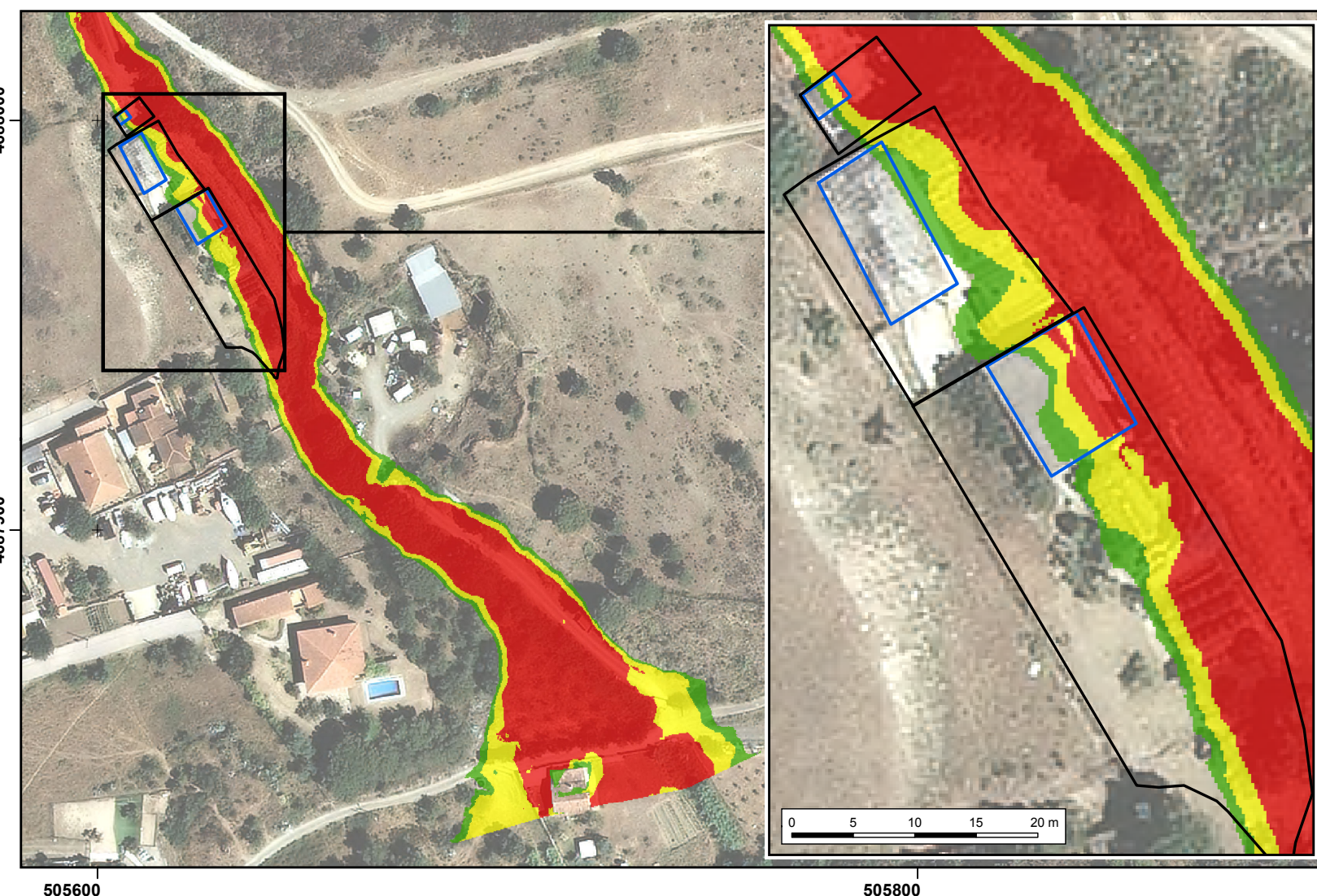
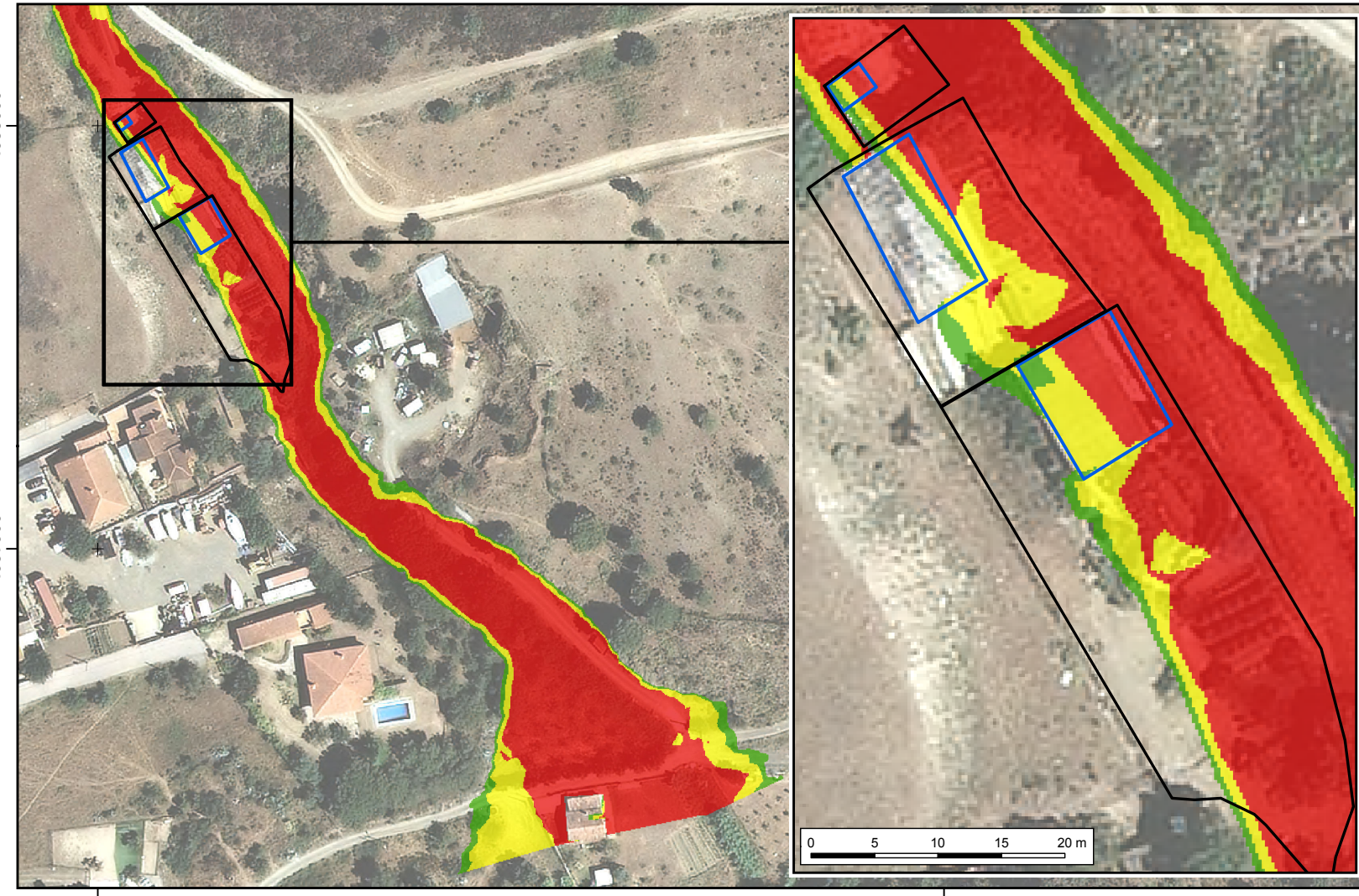
4688800  
4688600  
4688400  
4688200  
4688000  
4687800  
4687600

4688200  
4688100  
4688200  
4688100



MDT LIDAR

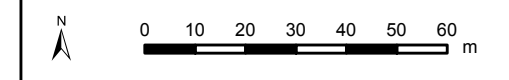
MDT DRON



Treball Final de Grau:  
**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**  
*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:  
**RISC D'INUNDACIÓ**

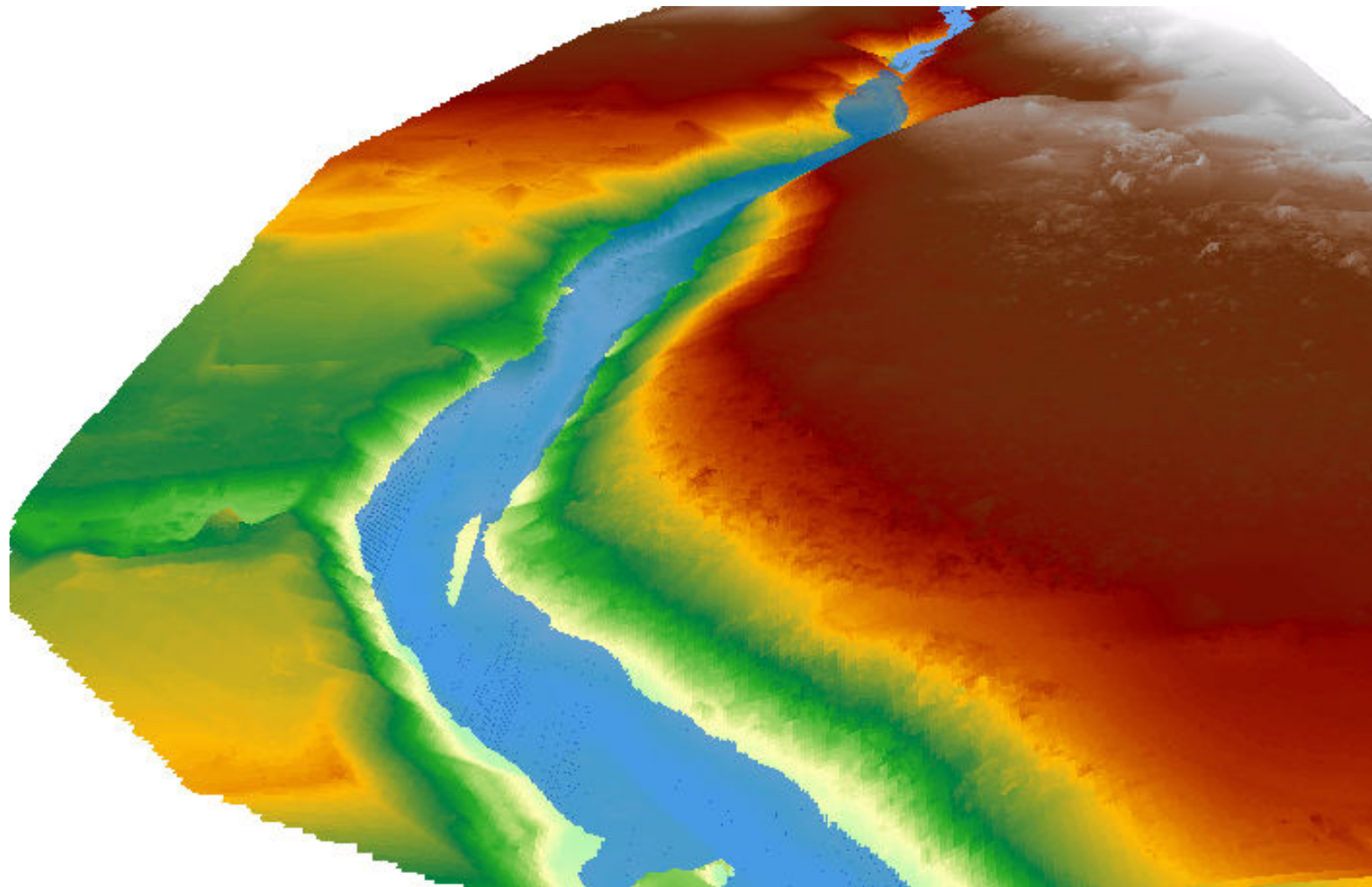
- Llegenda:
- Risc baix
  - Risc moderat
  - Risc alt
  - Edificacions
  - Parcel·les



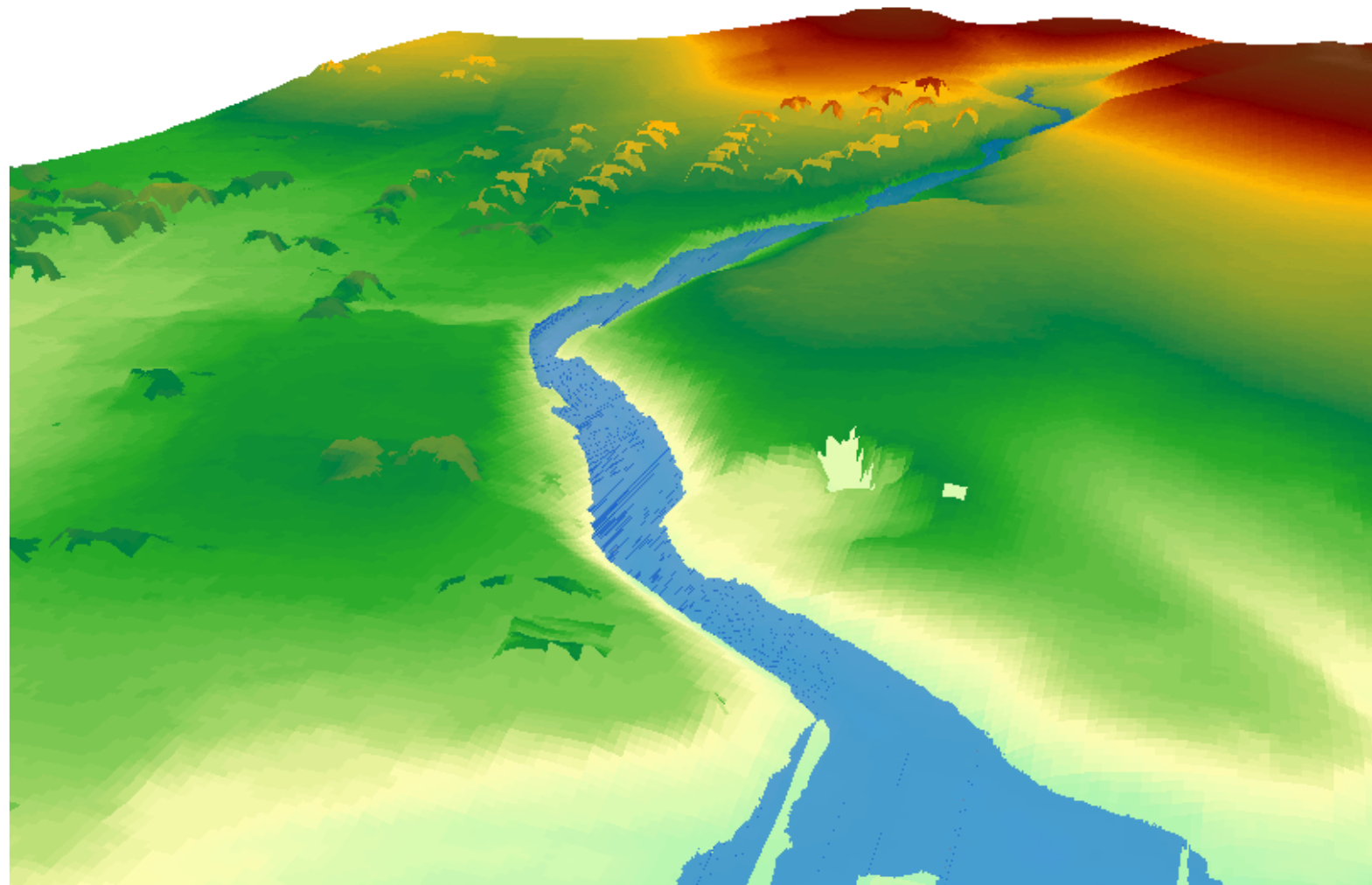
Grau:  
 Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
 Facultat de Lletres, Universitat de Girona



MDT DRON



MDT LIDAR



Treball Final de Grau:

**ESTUDIS D'INUNDABILITAT D'ÀMBIT LOCAL A PARTIR D'UN VOL DE DRON**

*El cas del còrrec dels Lladres al municipi de Garriguella (Alt Empordà)*

Plànol:

**MODELS EN 3D**

Llegenda:

MDT I ZONES INUNDABLES DE T100 ANYS SEGONS EL MODEL

Grau:  
Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient  
Facultat de Lletres, Universitat de Girona

Data: 27 de juliol de 2018  
Autoria: William Morales Rios  
Font: cartografia de l'ICC

10.3.2  
Plànols Estudi Inundabilitat  
Pàgina: 112