

Àrea de Riscos Geològics

euroconsult

Estudi tècnic específic sobre l'afectació per processos torrencials del barranc des Artigues, sobre una parcel·la entre la C-28 i el camin Reiau, PMU-1 Arties.

Naut Aran



Empresa certificada

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
OHSAS 18001:2007

Partner de:

International Strategy
ISDR
for Disaster Reduction

C-2594-PT

Gener de 2019

INDEX

1.	SITUACIÓ, INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS.....	3
1.1.	INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS.....	3
1.2.	DESCRIPCIÓ GEOGRÀFICA DE LA ZONA D'ESTUDI	4
1.3.	METODOLOGIA DE TREBALL	5
2.	GEOMORFOLOGIA DE LA ZONA	6
2.1.	ANTECEDENTS	6
2.2.	GEOLOGIA I GEOMORFOLOGIA.....	6
2.2.1.	Definició de corrent d'arrossegalls.....	6
2.2.2.	Descripció de les característiques de l'àrea font.....	9
2.2.3.	Indicadors d'activitat	11
2.2.4.	Característiques cobertora vegetal.	22
2.2.5.	Punts de sortida	23
2.2.6.	Zona de trajecte:.....	24
2.2.7.	Zona d'arribada: zones amb menor pendent	25
2.2.8.	Reologia dels materials.....	25
3.	MODELITZACIÓ NUMÈRICA.....	26
3.2.	DESCRIPCIÓ MODEL UTILITZAT	26
3.3.	PARÀMETRES REOLÒGICS.....	26
3.3.1.	INTRODUCCIÓ A LA REOLOGIA	26
3.3.2.	BREU DESCRIPCIÓ DEL MODEL UTILITZAT: VOELLMY.....	28
3.3.3.	REOLOGIA ESPECIFICA DE LA ZONA D'ESTUDI	28
3.4.	CONDICIONS DE CONTORN I ESCENARIS SIMULATS.....	29
3.5.	INTERPRETACIÓ DELS RESULTATS DE LA SIMULACIÓ: ESCENARI 1.1	30
3.5.1.	Alçades de sediment.....	31
3.5.2.	Velocitats.....	32
3.5.3.	Pressions d'impacte.....	32
3.6.	INTERPRETACIÓ DELS RESULTATS DE LA SIMULACIÓ: ESCENARI 1.2	33
3.6.1.	Alçades de sediment.....	33
3.6.2.	Velocitats.....	34
3.6.3.	Pressions d'impacte.....	34
3.7.	INTERPRETACIÓ DELS RESULTATS DE LA SIMULACIÓ: ESCENARI 1.3	35
3.7.1.	Alçades de sediment.....	35
3.7.2.	Velocitats.....	36

3.7.3. Pressions d'impacte.....	37
3.8. LIMITACIONS DEL MODEL I DE LES SIMULACIONS.....	37
4. CONCLUSIONS I RECOMANACIONS.....	39
4.1. RESUM SIMULACIONS	39

ANNEXES

► ANNEX 1: PLANOLS I PRESENTACIONS

1. Situació.
2. Geològic
3. Pendants
4. Indicadors, Zones de Sortida
5. Resultats Escenari 1.1
6. Resultats Escenari 1.2
7. Resultats Escenari 1.3

► ANNEX 2: RECULL FOTOGRÀFIC CARTOGRAFIA CAMP

► ANNEX 3: TÍTOLS REDACTORS ESTUDI

► ANNEX 4: CERTIFICATS ISO

1. SITUACIÓ, INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS.

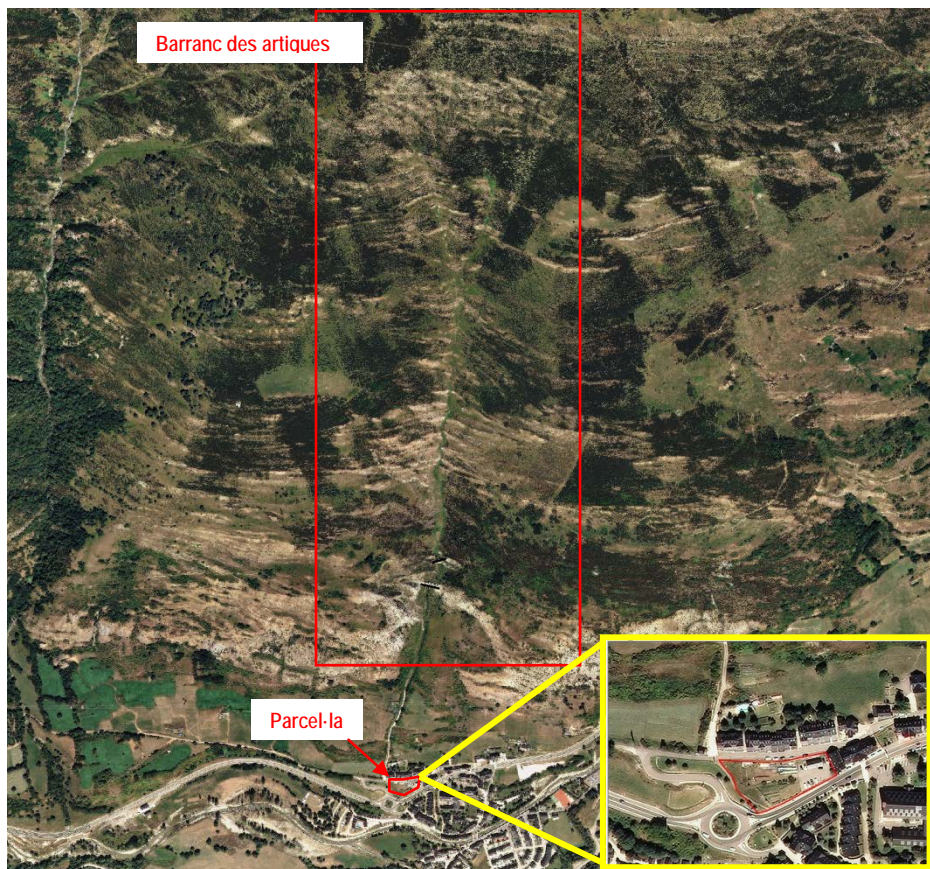
1.1.INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

El present estudi específic sobre la problemàtica torrencial (corrents d'arrossegalls) ha estat realitzat per l'empresa especialitzada en enginyeria del terreny i riscos naturals EUROCONSULT SAU, a petició de la societat Remillugues S.L., societat promotora de la PMU-1 Dd'Arties, (veure mapa 1).

Euroconsult ha redactat recentment l'estudi intitulat: "Estudi d'Identificació de Riscos Geològics (EIRG), sobre una parcel·la entre la C-28 i el Camin Reiaú, PMU-1 Arties" que va permetre identificar les possibles situacions de perillositat geològica natural que puguin donar lloc a situacions de risc que convingui evitar o considerar, donant compliment a allò que disposa Llei 2/2002 en matèria de riscos geològics. En el citat estudi s'ha considerat necessari, vista l'ubicació de la parcel·la d'estudi molt propera al barranc des Artigues, realitzar un estudi específic de detall en relació al risc associat als fluxos torrencials (torrentades)".

El present informe té com a propòsit l'estudi específic de detall sobre la possible problemàtica torrencial del barranc des Artigues sobre la parcel·la d'estudi i es basa en la identificació, anàlisi i avaluació del risc torrencial (corrents d'arrossegalls), provinents del citat barranc que podria afectar a la parcel·la. Proposant si fos convenient l'execució de proteccions per aquests fenòmens.

A continuació es mostra la situació de la zona d'estudi:



Mapa 1: ortoimatge de la zona d'estudi.

S'estudiarà la possible incidència de processos torrencials a la zona d'estudi. Aquest estudi es realitzarà a partir de les dades subministrades pel client, així com de les dades obtingudes en treball de camp (geologia, cicatrius identificades, volums mobilitzables en fons de canal etc.) existents a la conca i torrent d'estudi. S'utilitzaran tots els mapes disponibles i oficials referents a usos del sòl, geologia, topografia altimètrica etc.

S'analitzaran també les fotografies aèries disponibles a la zona d'estudi i pels següents anys: 1946, 1956, 1993, 2003, 2007, 2012, 2013 i 2016. Aquesta anàlisi es realitza amb la finalitat d'estudiar el comportament i l'evolució del vessant, identificació de cicatrius antigues en relació als fenòmens d'inestabilitat i propagació ocorreguts durant aquest període de temps.

Finalment s'aplicarà el model numèric RAMMS DEBRIS FLOW de la SLF / WSL Suïssa, mitjançant els complements i la capacitat per interactuar amb el software Arc GIS 10.4.2. La simulació amb RAMMS s'efectua un cop establerts models representatius de possible comportament del terreny a la vista dels estudis de camp, fotointerpretació i valoracions geotècniques de l'equip de treballs. Del model numèric se n'obtindran els respectius valors d'acumulació de sediment parcial i permanent, velocitats totals, i pressions d'impacte dinàmic, que serviran de base per determinar les possibles afeccions sobre la zona d'estudi i pel disseny d'eventuals sistemes de defensa.

1.2.DESCRIPCIÓ GEOGRÀFICA DE LA ZONA D'ESTUDI

La zona d'estudi, s'ubica al vessant Sud de la Sèrra de sant Martin, a la zona coneguda com a les Pales de Laspan d'Arties, que són drenades per la conca que forma el **Barranc des Artigues**, al marge dret del riu Garona, al vessant solell. Es tracta d'un torrent força encaixat i delimitat entre dues crestes, que arriba als afores de la població d'Arties abans de desembocar al riu Garona, (veure mapa 2), a través d'un pas soterrat per sota la carretera.

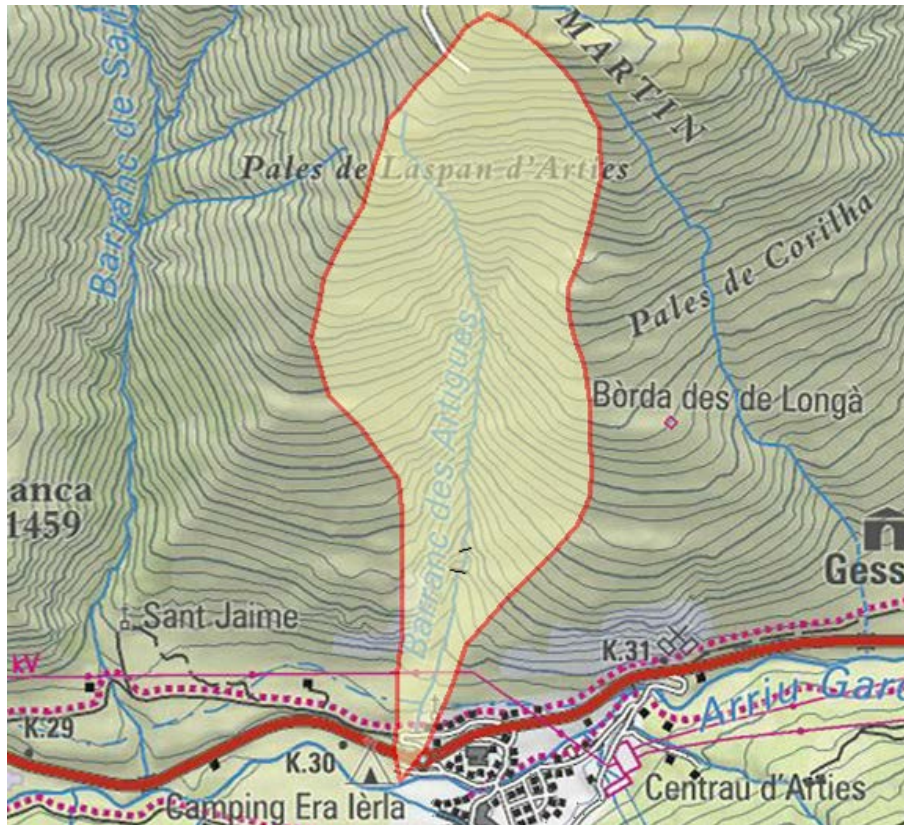


Mapa 2: Situació geogràfica general.

A continuació es mostren les principals dades de la conca:

Conca	Àrea (Km2)	Perímetre (m)	longitud (m)	cota màxima	cota mínima	Desnivell
Artigues	1,065	5.000	2.212	2.186	1.130	1.056

Taula 1: característica de la conca.



Mapa 4: Mapa general de la conca d'estudi.

1.3.METODOLOGIA DE TREBALL

Per l'estudi de processos torrencials del barranc des Artigues s'ha seguit la següent metodologia de treball:

1. **Recull de l'informació disponible**, cartografia geològica, cartografia geomorfològica, fotografies aèries antigues,...
2. **Treball de camp de cartografia geològica**, completant l'existent i perfilant les zones amb material potencialment remobilitzable.
3. **Anàlisi de sensibilitat del terreny** (susceptibilitat) amb model digital de malla 2x2, en les zones amb disponibilitat de material, en base a paràmetres de cohesió, granulometria i angle de fregament intern estimats, en base a anàlisis granulomètrics bibliogràfics dels materials semblants, d'arxiu propi d'Euroconsult.
4. **Anàlisi d'indicadors**: cartografia d'antecedents històrics, mitjançant cartografia de camp, foto interpretació, i creuant-la amb el mapa de sensibilitat del terreny.
5. **Establiment dels escenaris representatius** a simular en base als punts anteriors.
6. **Modelització dels escenaris** mitjançant el programari RAMMS:DEBRISFLOW
7. **Anàlisi de resultats, conclusions i proposta d'eventuals proteccions** en cas de ser necessàries.

2. GEOMORFOLOGIA DE LA ZONA

2.1. ANTECEDENTS

S'ha consultat les dades del ICGC i les imatges aèries disponible de la zona i se'n extreu que les grans riuades que han afectat a la Val d'Aran des de finals del segle XIX van ser els anys 1875, 1907, 1937, 1963, 1982 i 2013. És a dir, aproximadament cada 25-30 anys té lloc un d'aquests episodis.

Tot i això, **no s'han trobat antecedents bibliogràfics relacionats amb possibles torrentades concretament al barranc des Artigues**. Els fenòmens documentats corresponen en tots els casos a crescudes del riu Garona.

2.2. GEOLOGIA I GEOMORFOLOGIA

2.2.1. Definició de corrent d'arrossegalls.

Els corrents d'arrossegalls estan formats per una barreja d'aigua i sòlids amb un comportament similar al formigó líquid. Entre els corrents d'arrossegalls i les riuades hi ha una transició de processos anomenats fluxos hiperconcentrats. Aquests fenòmens són generalment els més importants pel que fa magnitud dins d'un règim torrencial, on es donen fluxos estacionaris i/o eventuais.

Com a definició sintetitzada, podem dir que una riuada és un flux turbulent amb un contingut de sediment menor al 40% amb densitats compreses 1 i 1,3 gr/cm³. Mentrestant, els corrents d'arrossegalls són una massa de sòlids i aigua que es mou com en un medi homogeni amb un comportament hidràulic viscos, similar al formigó líquid, el seu contingut de sediment es troba entre el 60% i el 90% amb densitats compreses entre 1,8 i 2,6 gr/cm³.



Figura 1: Flux Hiperconcentrat Montaup, Andorra, 2010 ;Debris Flow 2014 Illgarben, Suïsa. Font pròpia i SLF.

	Riuada	Flux hiperconcentrat	Corrents d'arrossegalls
Contingut de sediment (%)	1 – 40	40 – 70	70 - 100
Densitat (g/cm ³)	1.0 – 1.3	1.3 – 1.8	1.8 – 2.6
Tipus de flux	turbulent	↔	turbulent - viscos

Taula 2: Classificació simplificada dels processos geodinàmics presents en un torrent. Font Marcel Hürlimann.

La perillositat generada pels tres processos riuades i corrents d'arrossegalls, és diferent. Mentre un corrent d'arrossegalls presenta una important massa composta per aigua i material sòlid que

s'atura en els sectors superiors del con, la riuada composta principalment per aigua sol ocupar una major àrea d'afecció en el con de dejecció i per tant el seu abast i afecció en superfície és major. Per altra part, els corrents d'arrossegalls presenten majors magnituds amb dipòsits de gran volum, mentre que les riudes tot i presentar un major abast presenten una menor magnitud donada la seva baixa proporció de sediment en transport. Els fluxos hiperconcentrats estarien a mig camí entre els dos fenòmens.

Tots dos processos, riudes i corrents d'arrossegalls, es generen per importants aiguats, tot i que els corrents d'arrossegalls també es poden relacionar amb precipitacions sobtades d'alta intensitat en algun punt de la conca de referència. Poden esdevenir conjuntament o per separat, o bé una riuada pot esdevenir un corrent d'arrossegalls. Tanmateix, dins d'un mateix aiguat, una riuada pot erosionar part del dipòsit generat pel corrent d'arrossegalls i dipositar-lo per damunt del con de dejecció. Per aquest motiu, sovint és difícil diferenciar tots dos processos.

Els Corrents d'Arrossegalls són moviments ràpids de materials detrítics, on predominen les fraccions gruixudes com les sorres, les graves i els blocs. Aquests corrents tenen poca cohesió i acostumen a baixar canalitzades per les depressions del terreny. Aquests fluxos en la fase d'acomodació solen generar cons de dejecció.

S'han succeït diferents definicions dels Debris Flow o corrents d'arrossegalls. Johnson (1970) va definir els corrents d'arrossegalls com un moviment de massa induït per la gravetat, amb un comportament dinàmic entre les esllavissades i les avingudes fluvials i amb característiques mecàniques que les diferencien d'aquests processos. Varnes (1978) els va definir com un moviment de massa ràpid d'un cos de sòlids granulars, aigua i aire, que es mou com un flux viscos. Johnson & Rodine (1984) van afegir que la argila està present només en quantitats menors.

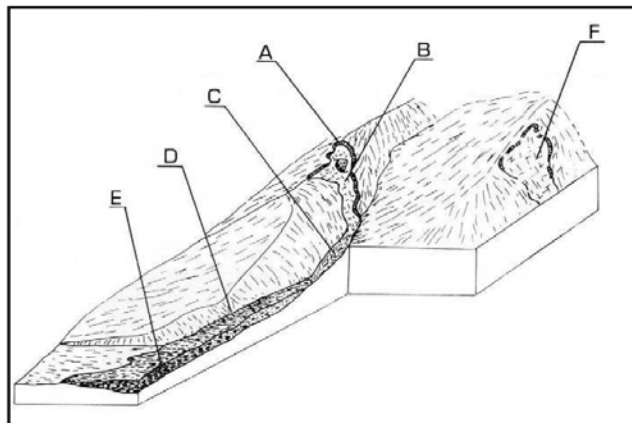


Figura 2: Bloc diagrama interpretatiu de les característiques morfològiques dels corrents d'arrossegalls. A: cicatriu principal; B i F: superfícies de trencament; C: canal erosiu; D: dic lateral; E: dipòsit principal.

Els corrents d'arrossegalls (Figura 2) presenten diferents morfologies però en general la seva longitud és molt major al seu ample i la seva proporció arriba a ser de 10:1 o, fins i tot, més de 50:1 (Van Steijn, 1989). A un corrent d'arrossegalls es distingeixen tres zones amb diferent morfologia: l'àrea font o zona de sortida, la zona de canal (essencialment de trànsit) i la zona d'acumulació. La **zona de sortida** acostuma a ser escarpada i poc vegetada, on hi abunden els sòls detrítics o existeix un sòl de meteorització del substrat. El pendent d'aquesta zona és

sempre elevat i varia generalment entre els 25° i 40°, uns valors els quals la majoria d'autors hi coincideixen.

Els corrents d'arrossegalls solen fluir per barrancs preexistents, on es situa la zona de canal, però també poden avançar vessant avall sense confinament i salvar obstacles en gairebé qualsevol direcció. El canal és un solc erosiu que està limitat generalment per dics laterals. Els dics són resultat de l'abandó per part del material transportat als marges laterals del corrent, on dominen els elements grollers (grava grollera i blocs). A la part més alta del canal la secció transversal típica és la el·líptica o en forma de V i el seu fons es troba lliure de dipòsits, mentre que a la part baixa del canal el fons està ocupat pels dipòsits corresponents a la cua del corrent.

La velocitat dels corrents d'arrossegalls abasta un ampli rang de valors, des dels 0,5 m/s als 20 m/s, en funció del material que forma el corrent (granulometria, concentració de sòlids i classificació dels grans) i de les característiques de la zona de propagació (topografia, confinament, rugositat), entre d'altres factors.

Els dipòsits que formen els corrents d'arrossegalls, solen ser molt caòtics, sense una estructura interna definida. Morfològicament, (figura 3), en aquests dipòsits hi podem distingir tres zones, (Moya, J 2001-2002):

- **L'àrea font:** que es defineix com la zona on s'origina el moviment
- **La zona de canal:** paral·lelament al torrent per on es mobilitza la massa s'observen dics laterals
- **La zona d'acumulació:** aquestes zones tenen una morfologia de ventall. En el cas d'un corrent d'arrossegall fortament viscos s'observa una única llengua lobular, amb fortes pendents, mentre en el cas de tenir viscositats menors trobem ventalls formats per diversos lòbuls, "digitals".

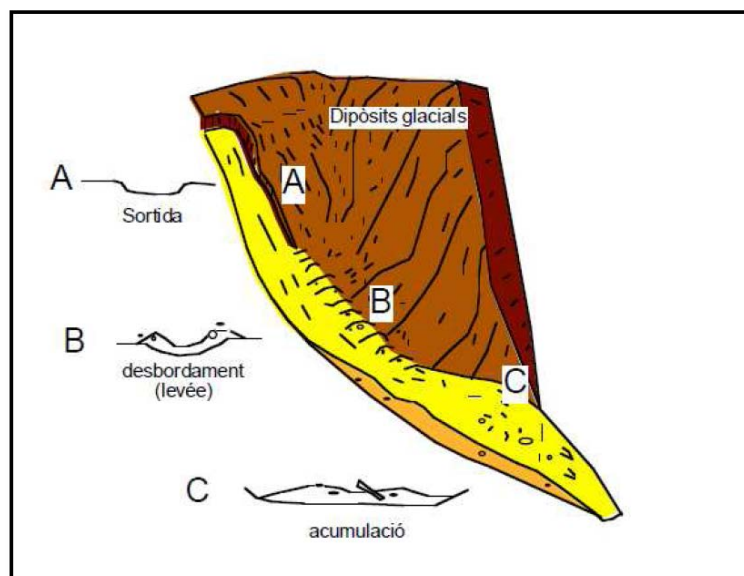


Figura 3: Morfologia d'un corrent d'arrossegalls

Es pot trobar l'àrea font d'un corrent d'arrossegalls en dos punts molt diferents, (Hurlimann, 2001):

- **En l'interior d'un canal** de la xarxa hidràulica de la conca: l'origen d'aquest corrents d'arrossegalls està en una riuada que degut a l'erosió per part de l'aigua, produeix un augment del contingut de sediments fins que la riuada es converteix en un flux amb alta

concentració de sediments. Si el contingut en aigua és elevat podem parlar de fluxos hiperconcentrats. La disponibilitat de material en el fons del canal pot tenir el seu origen en l'erosió i en la meteorització dels materials rocosos que configuren la conca i les parets laterals del canal.

- **Fora dels canals de la conca de drenatge:** aquests corrents en canvi tenen el seu origen en una **esllavissada superficial** dels dipòsits situats a mig vessant, els quals arribaran a assolir la torrentera per on continuaran el seu recorregut. A major proximitat d'una eventual esllavissada superficial respecte el canal, major probabilitat que es pugui propagar com a corrent d'arrossegalls.

La barreja, de sòlids i aigua que forma els corrents d'arrossegalls, es mou com un únic medi homogeni. La composició teòrica d'aquest medi és de sediments entre el 60% i el 90% del total i la resta aigua. Les densitats habituals que solen tenir estan compreses entre **1,8 i un 2,6gr/cm³**.

Aquest material mostra un ampli ventall de mides de gra que va des d'argila fins a grava grollera i blocs d'ordre mètric. La principal àrea on es poden generar corrents d'arrossegalls dins d'una conca, està associada amb dipòsits mobles (sediments glacials, regolit i col·luvions). Veritablement, la gran majoria dels corrents d'arrossegalls es mobilitzen a partir de lliscaments de masses de sediments carregades d'aigua. Quan té lloc el lliscament, la mescla de sediment i aigua es transforma en un flux que, durant la deposició, es transforma en un cos quasi rígid.

La concentració de sòlids varia entre el 25% i el 86% (en volum), i entre el 35% i el 90% en pes. El contingut en aigua esta comprès generalment entre el 10% i el 30% en pes, tot i que pot esser superior. **En general, només una petita fracció del material consisteix en fins, concretament llims i argiles (aproximadament entre el 10% i el 20%);** dins d'aquest percentatge de fins l'argila pot arribar a ser inexistent, no superant, generalment el 5% (Costa, 1984). Aquest ampli rang granulomètric permet que els corrents d'arrossegalls continguin grans concentracions de sòlids i, per tant, elevades densitats.

A efectes de la modelització, el corrent d'arrossegalls consisteix en una massa de material que adquireix una velocitat i, per tant, una energia cinètica i una alçada o gruix variable al llarg del temps.

2.2.2. Descripció de les característiques de l'àrea font.

La descripció de les característiques de l'àrea font que es detallen a continuació s'ha realitzat en base el mapa de caracterització del terreny i complementat amb observacions efectuades en el treball de camp.

Les característiques de la conca avaluada es mostren al quadre següent:

Conca	Àrea (Km2)	Perímetre (m)	longitud (m)	cota màxima	cota mínima	Desnivell
Artigues	1,065	5.000	2.212	2.186	1.130	1.056

Taula 3: Característica de la conca.

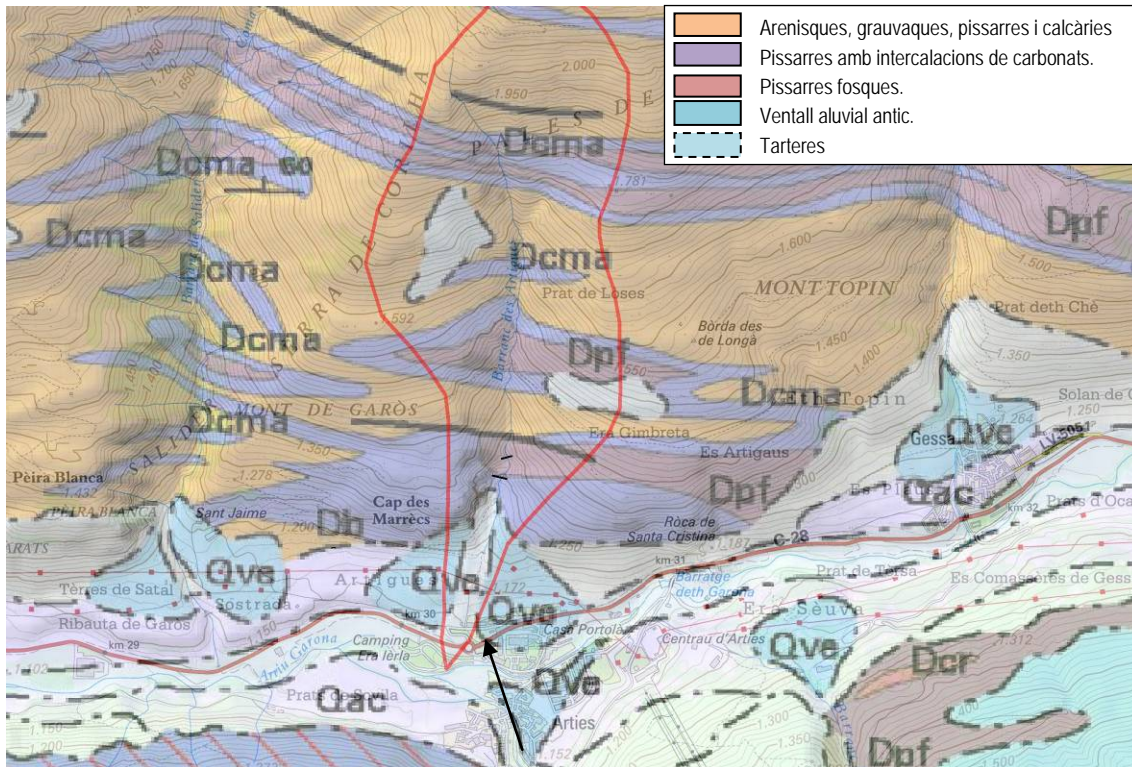
En general la conca presenta vegetació herbàcia i arbustiva abundant en capçalera, amb alguns arbres aïllats en la zona mitja. En la zona més baixa presenta camps de conreus i pastures.

Tal i com es pot observar en el mapa geològic de la conca (mapa nº5), el substrat rocós de la zona són materials del devonià, compost per **arenisques, grauvaques, calcàries massives i**

pissarres fosques. Aquest substrat es troba aflorant o subaflorant en la major part de la conca, per la qual cosa hi ha pocs dipòsits mobilitzables disponibles.

Existeixen dues zones de tartera a la zona mitja dels vessants sota d'on afloren les calcàries i pissarres carbonoses, actualment aquests dos dipòsits es troben força col·lonitzats per la vegetació.

A la zona baixa de la conca, a uns 500 metres de la desembocadura, el llit del torrent s'eixampla i es on existeix un **antic ventall al·luvial (Qve)** que en l'actualitat el torrent s'ha encaixat uns **4 metres**, fins arribar al dipòsit al·luvial de la plana d'inundació del riu Garona.

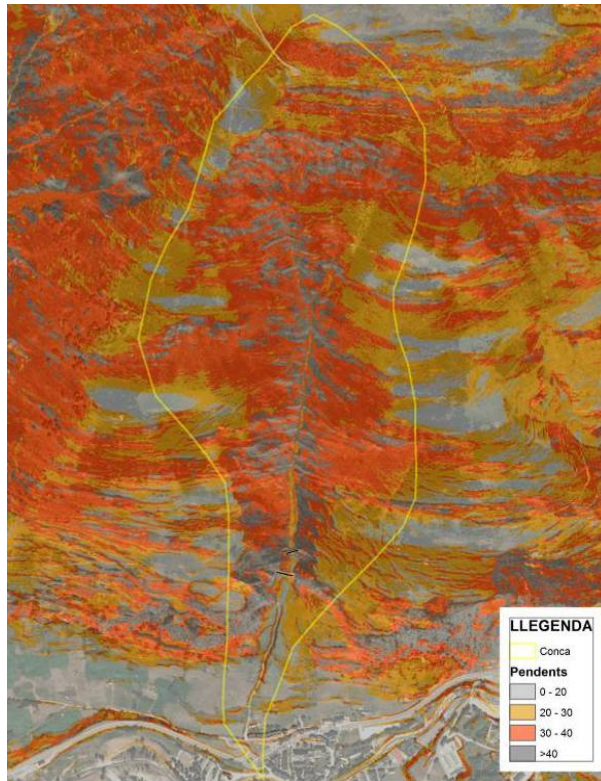


Mapa 5 Cartografia Geològica, font ICGC, 1:50.000. La fletxa s'indica la parcel·la d'estudi.

En capçalera i en la **part mitja** s'observen **afloraments de substrat rocós discontinus alternats amb dipòsits de col·luvió poc potents del orde 0.5 a 1,5 metres de potencia.** En la zona de vall, on s'encaixa el torrent de l'Artiga, **existeixen dipòsits de fons de canal aparentment poc potents (1-2 metres) al llarg del seu trajecte, amb un dipòsit més potent d'uns 3-4 metres just abans dels dics antiallaus, construïts prop del àpex del torrent.**

La parcel·la d'estudi es troba dins de lòbul Est del antic con al·luvial, on està bastit la **part més moderna de la població d'Arties**, aquesta ocupa part de les zones de conreu al costat solell de la vall que s'han anat abandonant i han donat pas al creixement de la població.

Pel desencadenament dels corrents d'arrossegalls o fluxos hiperconcentrats deguts a un gran aport d'aigua, es requereix material disponible, i pendents elevades (entre els 25 i el 40°). En el següent mapa de pendents es pot observar en grocs i taronges, les **zones amb pendents susceptibles d'originar corrents d'arrossegalls sempre i quan hi hagi material disponible.**



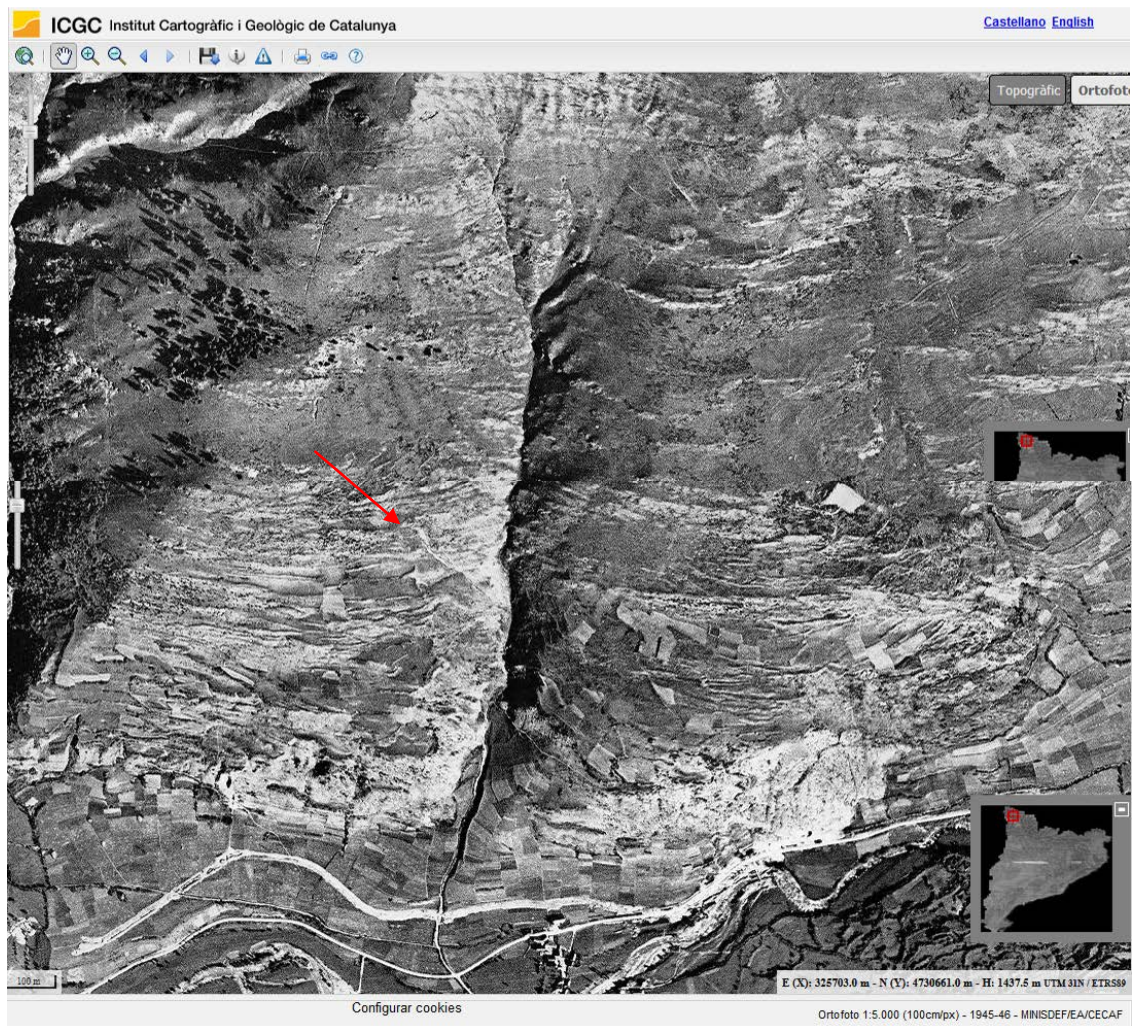
Mapa 6 Pendents, en colors taronges i vermells les zones amb pendents favorables a desencadenaments de corrents d'arrossegalls.

En la superposició de plànols i de la cartografia de camp de les zones amb material disponible, es pot concloure que els possibles corrents d'arrossegalls o fluxos torrencials al barranc des Artigues han de tenir el seu punt de sortida més probable en canal (in chanel) o per l'erosió lateral del col·luvió on s'encaixa a la zona anterior als dics de protecció d'allaus. Aquest criteri s'ha utilitzat per establir els models representatius d'anàlisi.

2.2.3. Indicadors d'activitat

Per la cartografia dels indicadors d'activitat, s'ha realitzat la foto interpretació de les imatges aèries i ortoimatges dels anys 1946, 1956, 1993, 2003, 2007, 2012, 2013 i 2016 a més de cartografia actual de camp. A continuació es mostra un part representativa de documentació consultada i els resultats obtinguts:

FOTOGRAFIES AÈRIES 1946



En les imatges aèries del any 1946 s'observa una petita cicatriu (senyalada amb la fletxa), que correspon a un despreniment de roques. En la cartografia de detall s'observa que no arriba a la llera del torrent. Pel que respecta al torrent es veu força incidit en tot el seu traçat i fortament incidit en l'antic con al·luvial existent en la zona baixa. Aparentment no s'observen cicatrius en fons de canal o en zones de la superfície de la conca susceptibles d'ésser indicis de possibles corrents d'arrossegalls o torrentades de magnituds destacables. De totes maneres cal tenir en compte que la foto aèria es posterior en 9 anys als aiguats de l'any 1937.

FOTOGRAFIES AÈRIES 1956

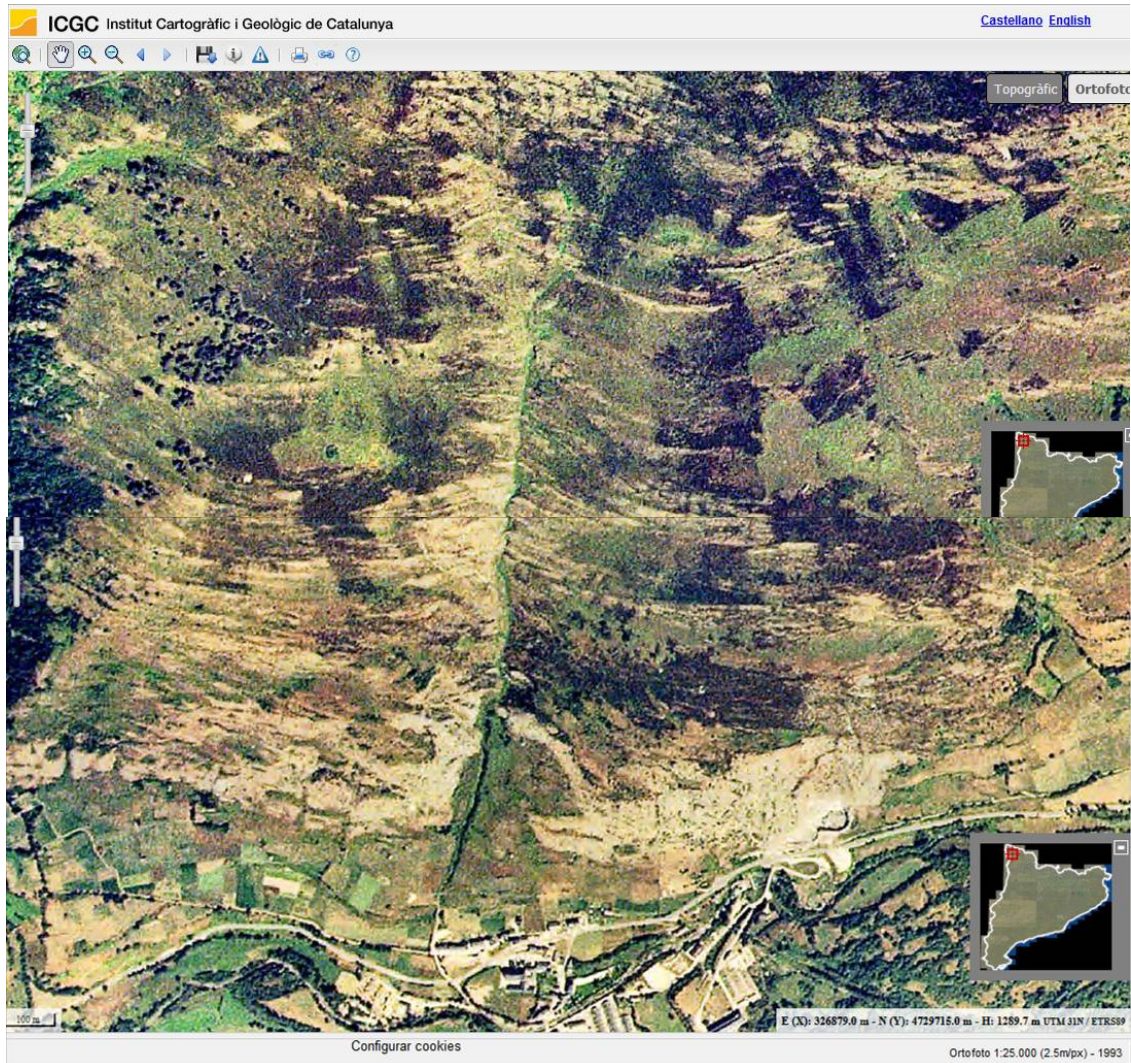
A continuació es fa la foto interpretació de les fotografies aèries del 1956 .



En la imatge general no s'observen cicatrius evidents en vessant o zones de capçalera, més que la morfologia ja detectada en la imatge del 1946. S'observa una forta incisió del torrent a la zona del ventall aluvial. La imatge es molt similar a la de 1946. El darrer aiguat ja tenia 19 anys d'antiguitat en el moment de fer la foto.

FOTOGRAFIES AÈRIES 1993

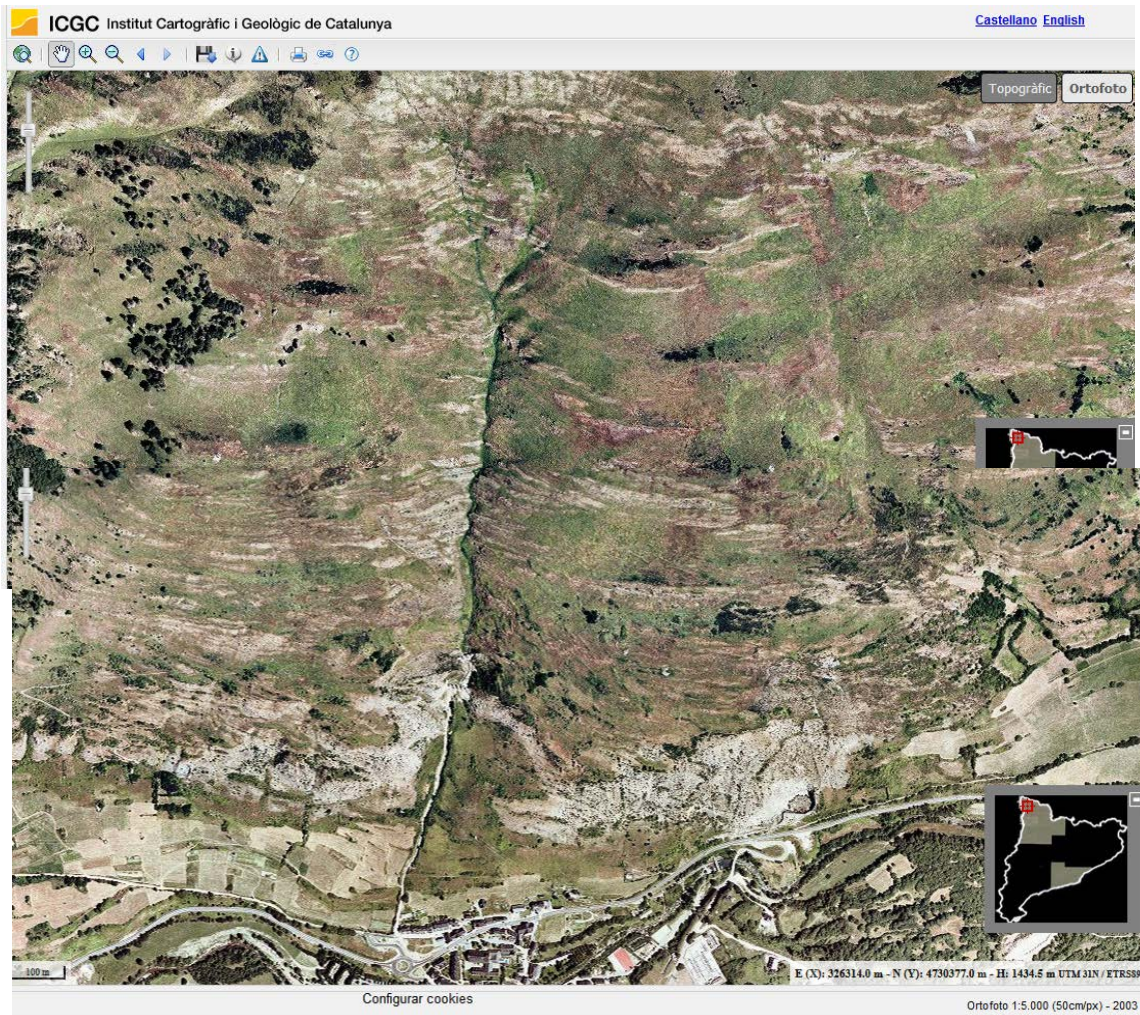
En la foto interpretació de les imatges aèries del 1993, no s'observen indicis evidents de torrentades, 11 anys després dels aiguats del 1982. Tampoc s'observen altres cicatrius evidents en vessant:



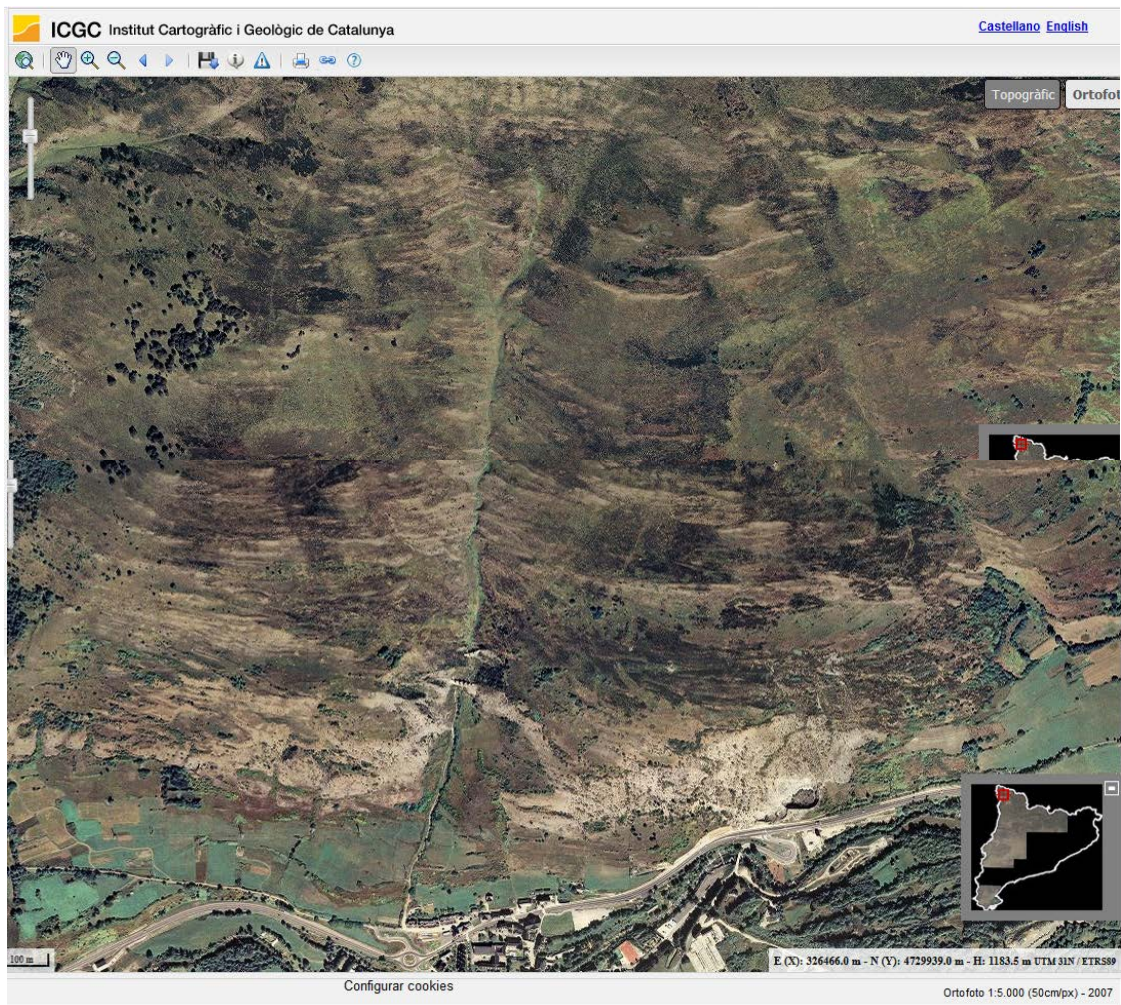
FOTOGRAFIES AÈRIES 2003, 2007 i 2012

En les imatges de la zona dels anys 2003, 2007 i 2012 no s'observen indicis d'esdeveniments torrencials a la zona.

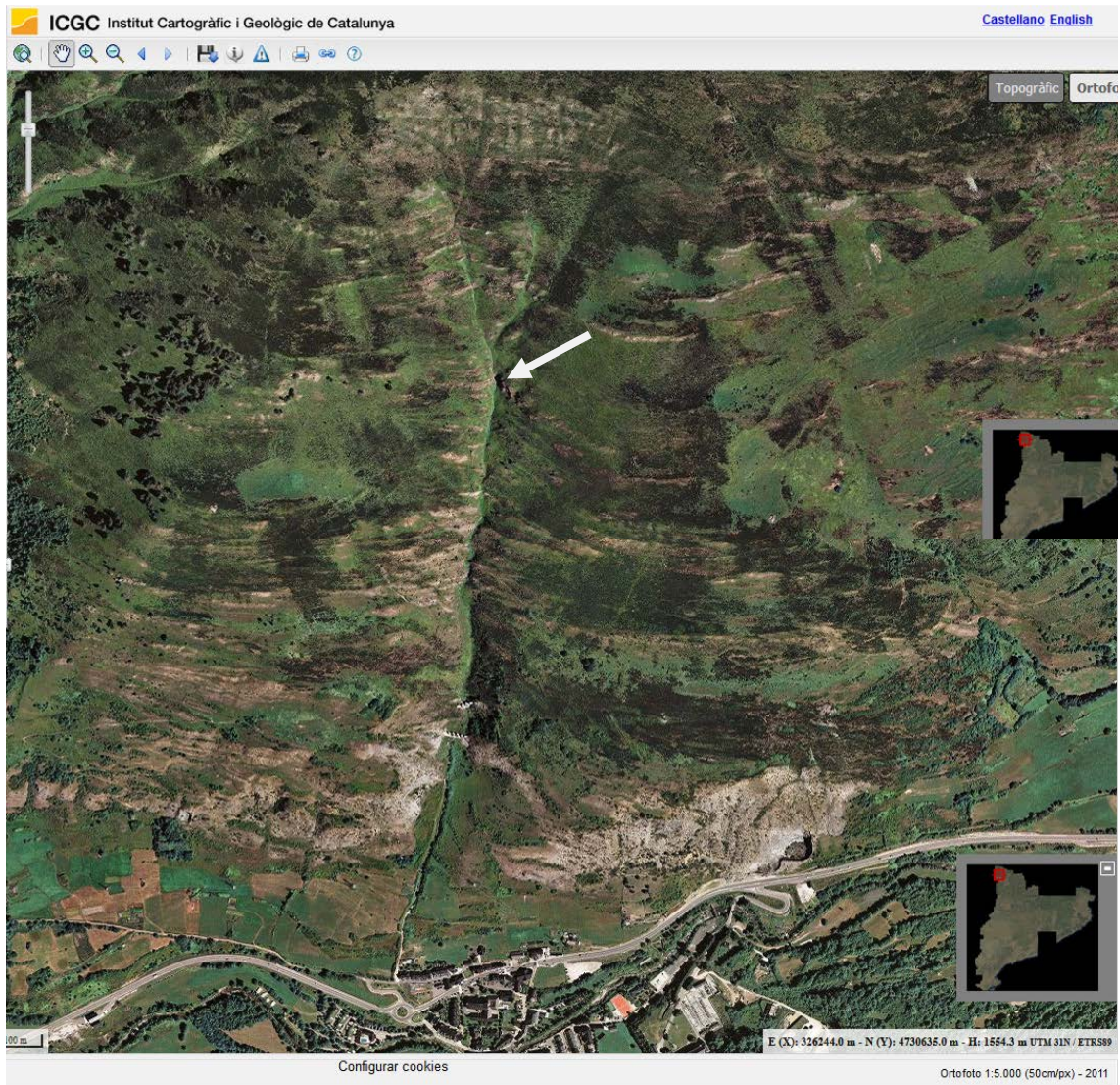
Ortoimatge 2003:



Ortoimatge 2007:



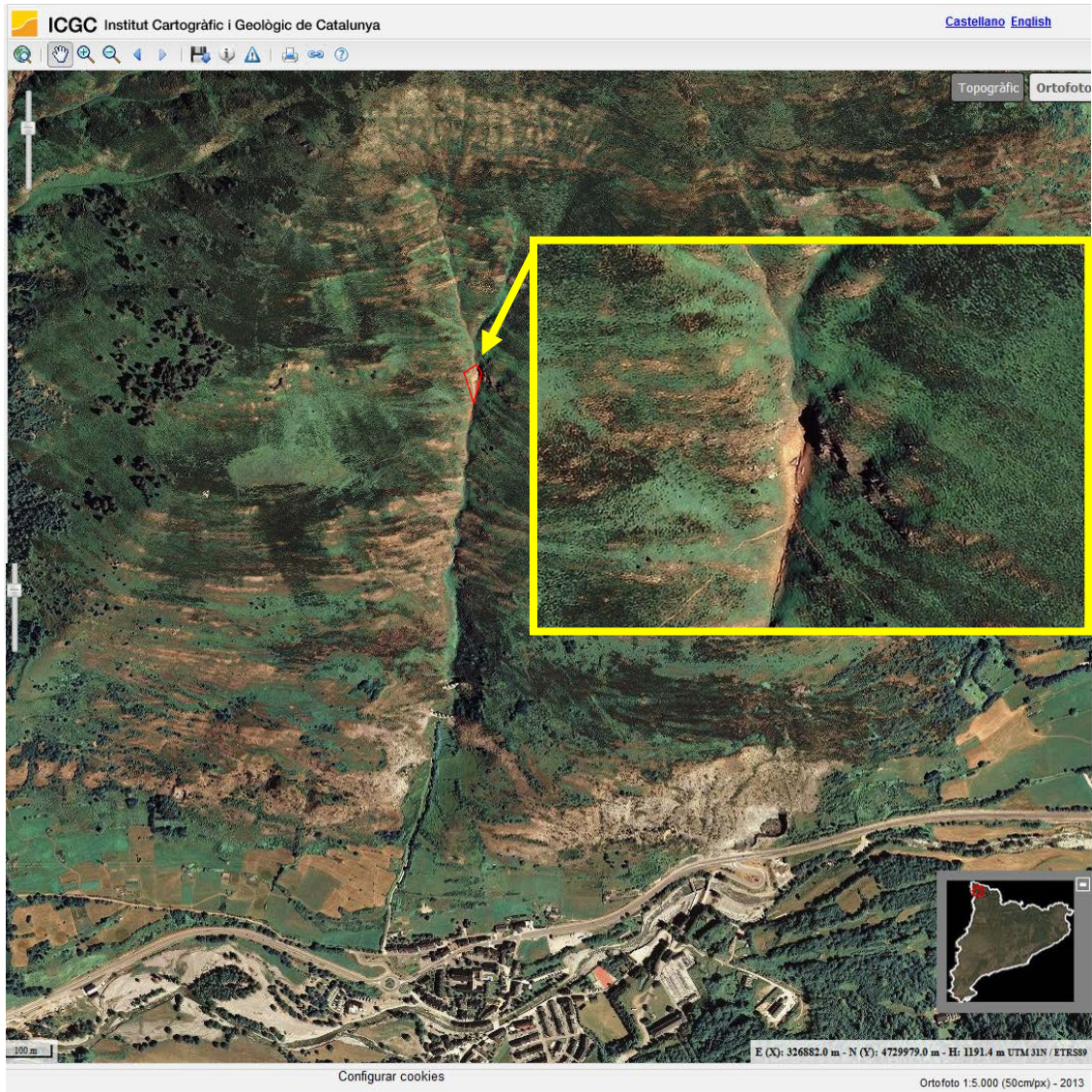
Ortoimatge 2012:



A la imatge 2012 es senyala el punt on s'ha identificat una cicatriu de fons de canal, ocorreguda probablement durant els aiguats que va patir la zona l'any 2013, ja que es detecta en la ortofotografia posterior als aiguats, tal i com es veu en la foto del 2013.

Ortoimatge 2013:

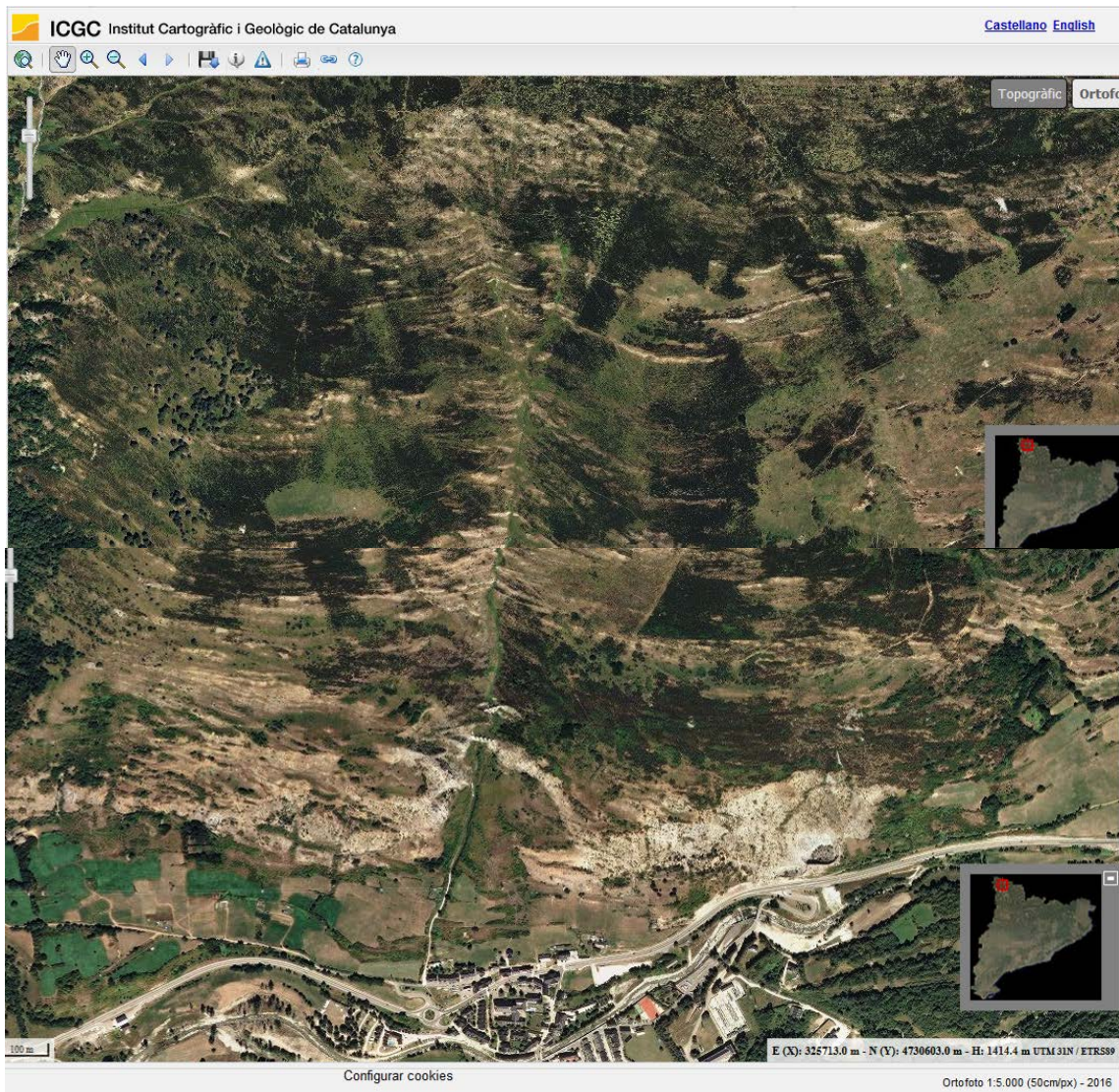
La fotografia aèria del 2013 és de gran interès ja que és l'any en el que es van produir aiguats significatius a la zona.



En la comparativa entre les dues ortoimatges 2012 -2013, abans i després dels aiguats que van afectar la zona el 18 de juny de l'any 2013, s'observa una cicatriu que afecta uns 600 m² en fons de canal. Aquesta un any més tard (2014), es difícilment identificable en fotografia aèria, ja que el terreny torna a estar totalment vegetat, fet que fa pensar amb que la potencia de la cicatriu podria ser del ordre dels 20-40 centímetres, tal i com es pot observar en la següent captura de l'ortoimatge del 2014:



Ortoimatge 2016:



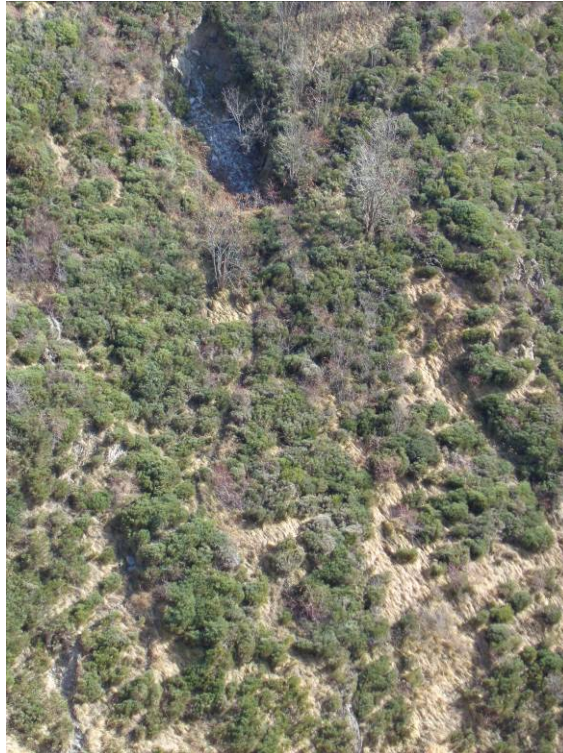
En l'actualitat, no s'aprecien indicis de torrencialitat ocorreguts en el barranc de l'Artiga recentment (5 anys després dels últims aiguats).

En la cartografia de camp es constata l'absència de cicatrius importants, o l'existència de dipòsits de vessant de gran volumetria, que es poguessin veure involucrats en fenòmens de caire torrencial. Els dipòsits existents en els vessant semblen de potències inferiors als

2 metres només considerant com a mobilitzables en una torrentada els dipòsits de fons de vessant, formant fluxos hiperconcentrats i/o corrents d'arrossegalls.

Com a elements remarcables en el treball de camp, han estat una petita cicatriu al vessant esquerre del torrent aigües amunt dels dics antiاللaus (imatge 1), l'encaixament del torrent en els dipòsits de fons de canal (imatge 2), i els desprendiments continuats que es donen en el vessant del marge dret, en una zona molt localitzada formant una línia de tartera, que ja apareixia en la fotografia aèria del 1946, i que en l'actualitat també és actiu (imatge 3). S'ha revisat la cicatriu del 2013 i a dia d'avui es poc visible (imatge 4).

En l'annex 2, es realitza un recull fotogràfic extens de la cartografia de camp.



Imatge 1: vista de la cicatriu al marge esquerra del vessant aigües amunt dels dics.



Imatge 2: vista de l'erosió del torrent en fons de canal, amb el seu encaixament.



Imatge 3: vista de la zona aigües amunt dels dics, i on s'aprecia l'alineació de desprendiments de blocs.



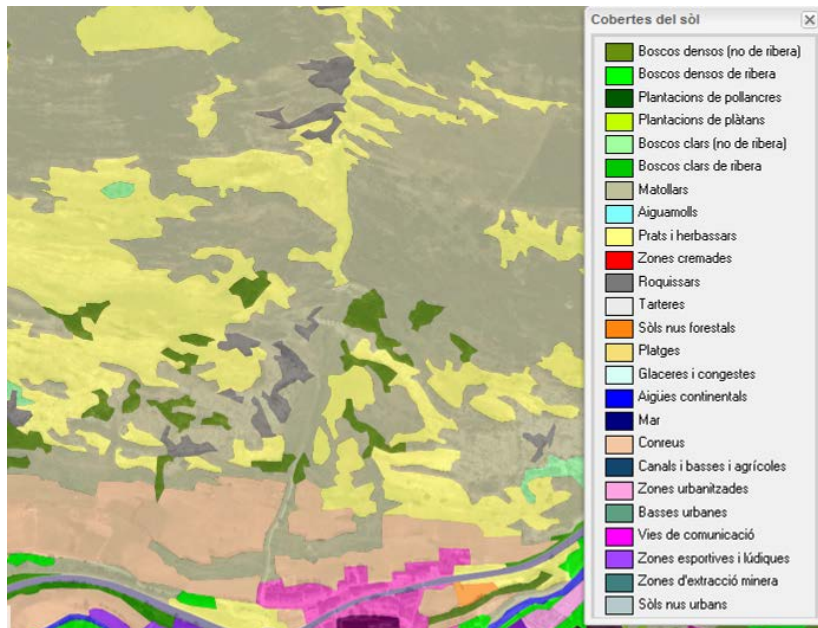
Imatge 4: vista del estat actual de la cicatriu de l'any 2013.

A la vista de l'estudi geomorfològic a través de les fotografies aèries històriques fins a l'actualitat, i del reconeixement de camp de la zona, es determina que almenys en els darrers 70 anys, no s'ha detectat cap cicatriu important de dipòsits superficials que hagin pogut esdevenir un flux torrencial. Si s'ha detectat que almenys l'any 2013, hi va haver una cicatriu d'erosió d'uns 600 m² dels dipòsits de fons de canal, i al llarg del mateix canal amb l'encaixament del torrent, aigües amunt dels dics antiollaús. No s'ha pogut determinar el punt d'arribada d'aquests materials, així que o s'han dipositat en les immediateses dels dics d'ollaús, o el flux era suficientment fluid per arribar fins a la seva desembocadura amb el riu Garona, esdevenint un fenomen torrencial de caràcter fonamentalment hidràulic.

En aquest sentit, es considera que els possibles corrents d'arrossegalls o fluxos torrencials poden esdevenir en la conca de l'Artiga, de l'erosió dels dipòsits de fons de canal, amb pendents entre els 20 i els 40°. Amb un període de retorn que es podria estimar entre varies desenes d'anys i un centenar d'anys.

2.2.4. Característiques cobertura vegetal.

Actualment i segons el mapa de cobertes del sòl (CREAF), podem veure com la conca està formada majoritàriament per 3 tipus de coberta del sòl. En capçalera i la zona mitja predominen els matollars i els Prats i herbassars. Mentre que a la zona baixa la major part de la zona aluvial presenta conreus i matollars. Com a menys representatius, també trobem boscos densos localitzats i roquissars. Tal i com es pot observar en el mapa 7:



Mapa 7: Cobertes del sòl de la conca (CREAF).

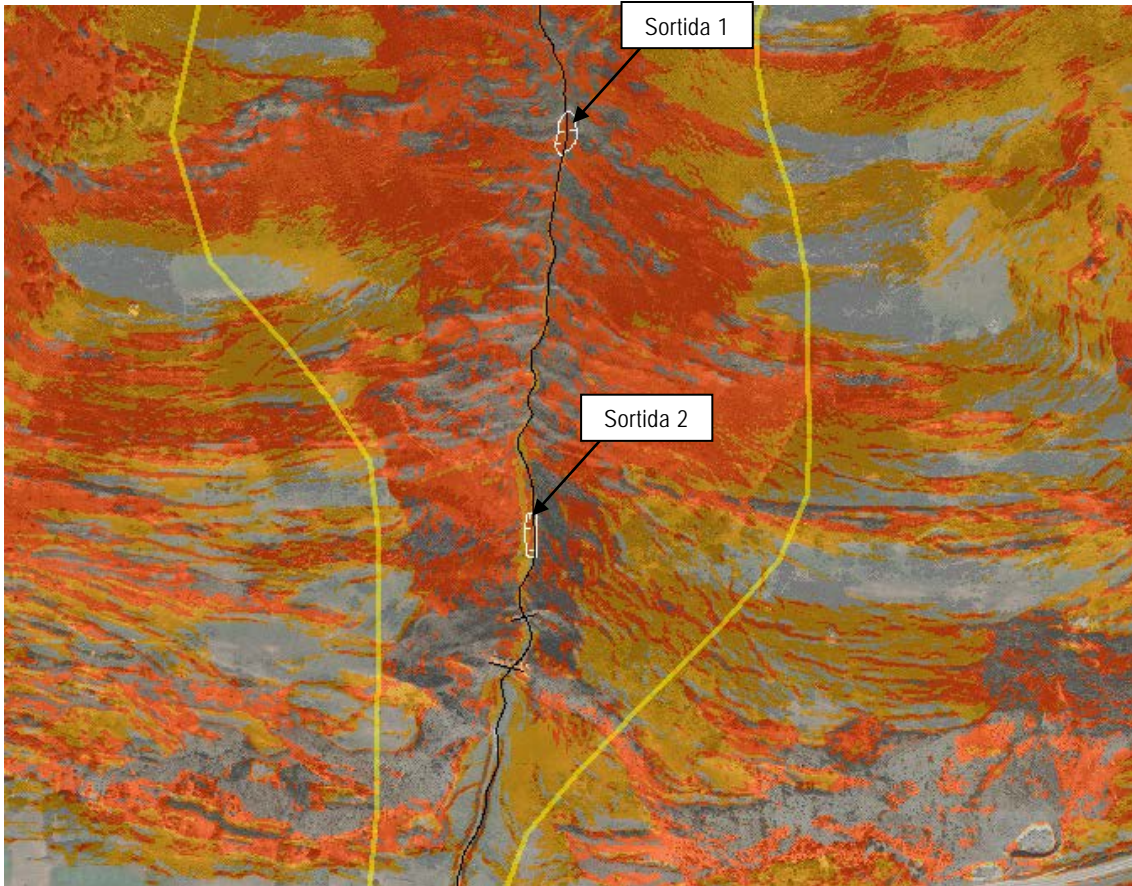
2.2.5. Punts de sortida

L'activitat d'antics corrents d'arrossegalls o fluxos torrencials normalment queda evident per morfologies còncaves més o menys recents en la superfície del terreny que presenten cicatrius més o menys definides. Aquestes morfologies poden atribuir-se a cicatrius generades pel trencament de porcions del terreny que desencadenen corrents d'arrossegalls.

En el present estudi s'ha identificat una cicatriu mitjan de possible corrents d'arrossegalls a la zona alta de la conca, d'uns 600 m² i uns 20 centímetres de potència, i erosions longitudinals del material de fons de canal, amb erosions no superiors als 50 cm a la zona d'estudi. En tots els casos coincidint amb zones amb pendent favorable pel seu desencadenament tal i com s'observa en el mapa 8.

- Sortida de fons de canal 1
- Sortida de fons de canal 2

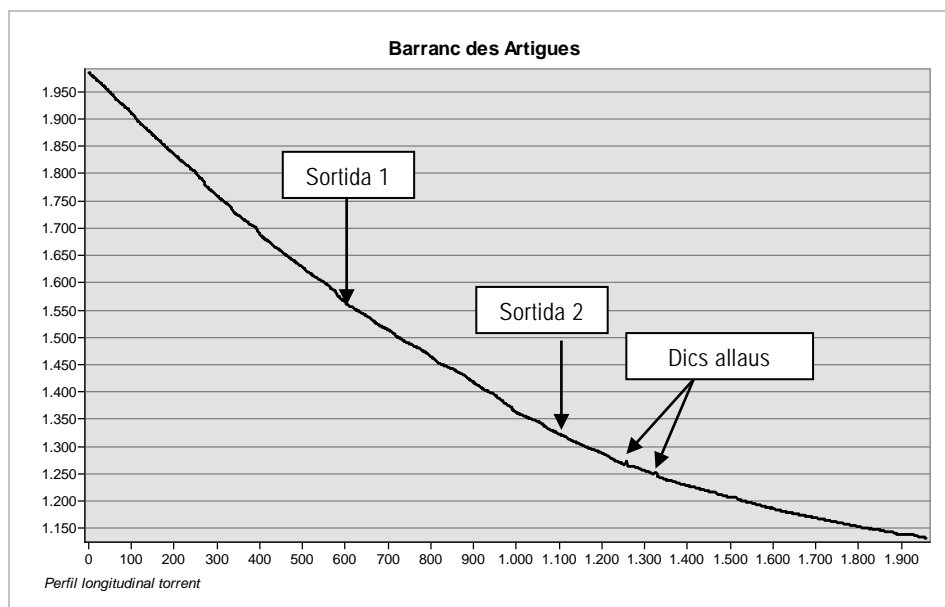
Aquestes zones de sortida es consideren zones representatives utilitzades pel model de càlcul.



Mapa 8: Cicatrius de sortida, utilitzades pel model representatiu sobre mapa dependents.

2.2.6. Zona de trajecte:

Per analitzar la zona de trajecte, s'analitza el perfil complet del barranc des Artigues:



Pel que respecta a la zona de trajecte del Barranc des Artigues, una vegada escollits els possibles punts de desencadenament d'un flux torrencial per l'erosió de material del canal de drenatge, el primer prop de capçalera, es troba a uns 1330 metres de la confluència amb la

Garona. El segon punt es troba a uns 900 metres de la confluència. En ambdós casos les dues zones de possible sortida, es troben situades aigües amunt dels dics de contenció d'allaus.

Per sota dels dics, els pendents no són favorables al desencadenament de fenòmens de caire torrencial, situant-se generalment per sota dels 20° en direcció del flux.

Els pendents de la conca, són molt elevats en capçalera i trajecte fins a la posició dels dics, amb pendents per sobre dels 30° en tota la zona de canal. A partir dels 1330 metres de traçat i fins a la desembocadura al riu Garona, els pendents es suavitzen per sota dels 20°.

Els torrent és lleugerament encaixat en tot el seu primer tram (fins als 1330 metres), ja que generalment encaixat amb la roca, o amb zones amb sediment de fos de canal. En la part més plana circula per l'antic con al·luvial, parcialment canalitzat pel costat d'un camí d'accés als conreus. En aquesta zona el camí i el torrent es troben molt encaixats en el con al·luvial del ordre dels 4 – 5 metres, aquest encaixament existeix des de les imatges aèries més antigues, fet que no permet discriminar, si l'encaix tant important en fons com en ample uns 15 metres, és d'origen 100% natural o si també té un factor antròpic.

2.2.7. Zona d'arribada: zones amb menor pendent

Es caracteritza per ser zones on els pendents baixen per sota dels 30°, al llarg del traçat del torrent aquestes característiques les trobem puntualment dels 600 fins els 1330 metres, i continu, per sota dels dics i fins confluir amb la Garona tenint uns 670 metres amb pendent baix.

2.2.8. Reologia dels materials

Els materials en superfície susceptibles de ser remobilitzats per processos torrencials a la conca corresponen a col·luvions. Aquest tipus de dipòsit està constituït per clasts lítics d'ordre centimètric a decimètric englobats en una matriu lutítica o llimosa. **Es tracta de materials classificables com a graves o gravetes.** Els percentatges mitjos s'estimen en un 40% de fracció grava, un 30% de fracció sorra i un 30% de fracció fina.

Els materials definits anteriorment, reposen sobre el substrat rocós, el qual es troba, en general, a una profunditat subaflorant en tot el llit del riu (entre 0 i 1 metre de potència).

Le característiques geotècniques dels materials vindran caracteritzades per angles de fregament elevats (superiors als 32 graus) i per cohesions baixes. Le cohesions a tenir en compte en qualsevol cas pensem que poden ser inferiors a 0,1 kg/cm². Pel que fa a la densitat es considera una densitat aproximada de 2,1 kg/cm².

La reologia del material en el cas de generar-se un corrent d'arrossegalls es considera que serà poc viscosa.

Els paràmetres aproximats dels col·luvions seria el de la següent taula:

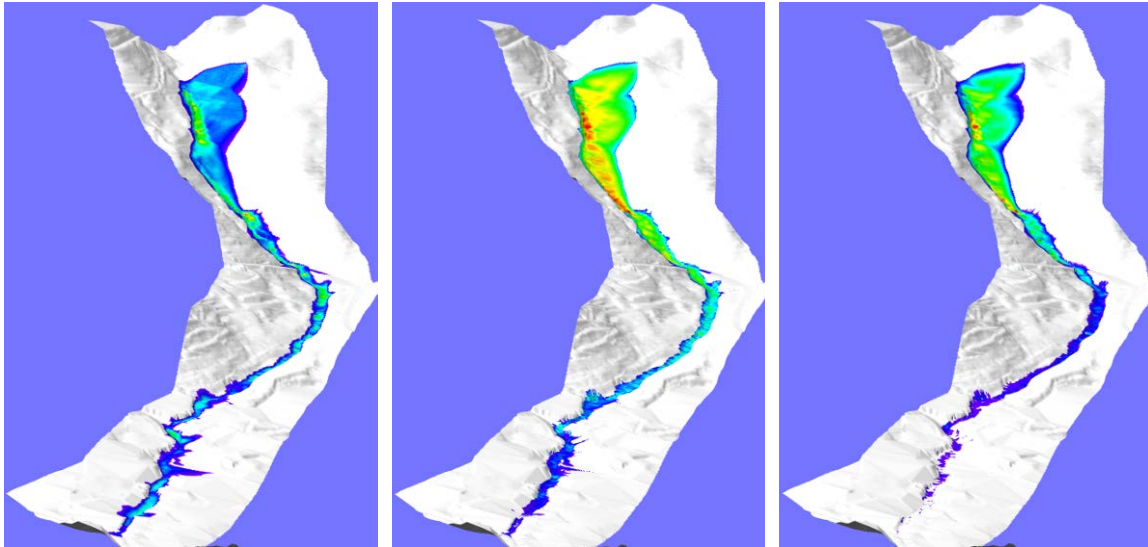
PARÀMETRE	DISPERSIÓ	VALOR PROMIG
Granulometria (U.S.C.S.)	GP – SM	GP
Densitat natural (g/cm ³)	1.90 – 2.40	2.10
Cohesió (kp/cm ²)	0.00 – 0.10	0.08
Angle de fregament intern (°)	30 – 45	32
Permeabilitat (m/dia)	1 – 10 ⁴	10 ¹

Taula 4: paràmetres dels col·luvions

3. MODELITZACIÓ NUMÈRICA.

3.2. DESCRIPCIÓ MODEL UTILITZAT

Una vegada descrites totes les característiques que defineixen el vessant objecte d'estudi es realitzen les simulacions mitjançant el model numèric RAMMS (Rapid Mass Movement) Debrisflow, desenvolupat per la WSL/SLF Suïssa, i d'acord amb la llicència oficial disponible per part d'Euroconsult SA, on s'analitzarà d'acord amb diferents escenaris o models, l'abast màxim del fenomen, l'alçada o gruix dels processos torrencials, la velocitat del front i la pressió d'impacte del mateix.



Abast i alçada màxima

Velocitat màxima

Pressió màxima

El nucli del programa es tracta d'una solució numèrica de segon ordre, la qual ens permet el càlcul de velocitats i alçades del flux de sediment sobre uns models digitals del terreny en 3 dimensions creats amb anterioritat a partir de sistemes d'informació geogràfica tals com ArcGis.

El model encara es basa en les equacions de Voellmy, molt utilitzades en la pràctica de l'enginyeria de la neu a Suïssa. Per calibrar el model de Voellmy utilitzat en el software RAMMS, s'ha utilitzat les dades del camp de proves a escala real tant al Vallée de la Sionne per al cas d'allaus com a Illgraben per al cas de Debris Flow. S'han introduït en el model certes funcions específiques tals com les característiques de la vegetació, rugositat superficial, el flux en zones boscoses, possibilitat d'introduir elements com dics i presses, etc.

Una vegada realitzades les diferents simulacions, se n'obtidran els respectius mapes de velocitats de propagació, alçada de flux i conseqüentment les pressions màximes de propagació en Kpa.

3.3. PARÀMETRES REOLÒGICS.

3.3.1. INTRODUCCIÓ A LA REOLOGIA

La reologia és la ciència que explica la deformació dels materials, tant líquids com sòlids. Un material determinat respon d'una forma característica enfront d'una força aplicada. L'objectiu de la reologia és descriure el comportament del material a partir de les relacions entre la força

aplicada, la deformació i el temps. Per això s'estableixen les equacions constitutives, que deriven dels principis físics

Un corrent detrítica és un flux amb superfície lliure, per tant una primera aproximació consisteix a assimilar que la barreja es veu sotmesa a una tensió simple, com es mostra a la següent figura. En aquest model el material se situa entre dues plaques de superfície A , separades per una petita distància H . la placa inferior es manté fixa mentre que la superior es mou en aplicar una força F . la barreja es veu sotmesa a una tensió de tall τ que es defineix com la relació entre la força F i la superfície A . l'angle deformat és la deformació del material, i la seva variació en el temps pot identificar-se com la variació del perfil de velocitats du/dz o velocitat de deformació. La tensió aplicada resulta ser proporcional a aquest gradient de velocitat.

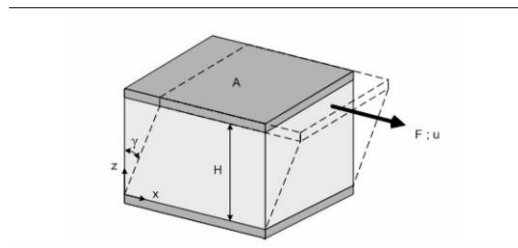


Figura 4: Model de dos plaques per definir els paràmetres reològics. (Font: Schatzmann, 2005).

A partir del model de dues plaques es defineixen els paràmetres reològics que caracteritzen el comportament d'un fluid donat: la tensió de tall, la velocitat de deformació i la viscositat.

A la bibliografia hi ha múltiples models per representar el comportament dels fluxos de grava i fang. Hi ha dos grans grups pel que fa a classes de models es refereix: els d'una sola fase contínua i els de dues fases. Els primers es basen en una parametrització de les tensions, incloent models elasto-visco-plàstics, i les propostes més reconegudes són les següents:

- Fluids newtonians i no -Newtonians
- Models convectius de Maxwell
- Fluids de Bingham
- Fluids de Johnson-Segelmann
- Fluids de Reiner-Rivlin
- Model de Herschel-Bulkley
- Model de Mohr-Coulomb
- Model de Voellmy
- Models hipoplàstics

D'altra banda els models de dues fases es basen en el balanç de momentum postulat per a cada un dels constituents, amb relacions constitutives per les tensions parcials i les forces d'interacció (en el cas d'una barreja entre sòlid i fluid es tractaria de la força que exerceix el fluid sobre les partícules sòlides i la corresponent reacció sobre el fluid). La parametrització de tot el conjunt es torna complicada, i els models existents requereixen detalls subtils per a cada cas. Els més reconeguts són els següents:

- Model d'Iverson

- Model de Pitman-Li

Els models basats en una sola fase són útils per a realitzar una anàlisi que diagnostiqui un esdeveniment passat, però mostren discrepàncies quan es tracta de predir esdeveniments. Això es deu al fet que no incorporen la influència del fluid intersticial, que intervé de dues maneres: d'una banda mitjançant la pressió en els porus, i per un altre la força d'interacció entre les fases sòlida i fluida.

Els models de dues fases són molt més complicats que els d'una sola fase, però ofereixen resultats clarament millors. Així i tot, presenten una discapacitat pel que fa a la condició de contorn a la superfície lliure. Tant el model d'Iverson com el de Pitman-Li proposen una formulació en què la superfície lliure se suposa formada per un material barreja de sòlid i fluid. Això implica que no hi ha un flux d'aigua superficial, fet que succeeix en la majoria d'esdeveniments catastròfics provocats per fortes pluges. Per això els models de dues fases presenten tot algun buit quan es tracta de predir esdeveniments.

3.3.2. BREU DESCRIPCIÓ DEL MODEL UTILITZAT: VOELLMY

El model de Voellmy (1955) utilitzat en el programa informàtic RAMMS es va desenvolupar inicialment per estudiar el flux de les allaus de neu. S'hi assumeix que les tensions de tall en el cos són petites, i que la resistència al flux es concentra a la base del mateix. Voellmy va proposar una equació per a la tensió a la base integrada per dos termes, un terme de fricció i un terme turbulent:

$$S = \mu p H g \cos(\theta) + \frac{\rho g U^2}{\xi}$$

On:

- ρ és la densitat de fluid.
- g és la constant gravitacional.
- H és el calat.
- θ és l'angle de inclinació.
- U és la velocitat mitja
- μ és el coeficient de Chézy. El primer terme es el terme friccional de Mohr-Coulomb, i el segon és el terme turbulent de Chézy.

3.3.3. REOLOGIA ESPECIFICA DE LA ZONA D'ESTUDI

Els paràmetres μ i ξ , els quals estan en funció de la reologia del material i relacionats amb la litologia i concentració d'aigua, estan determinats en base a retroanàlisis efectuats d'antics episodis esdevinguts al Pirineu, concretament al Principat d'Andorra i en base al coneixement geològic dels materials; així com el comportament del fluid en aquets casos de debris " *in chanel*". S'han utilitzat també taules empíriques (de la SLF) sobre assajos amb varis tipus de materials utilitzat per calibrar el model numèric RAMMS.

Table 5.3: Suggestions for setting the viscous-turbulent friction parameter ξ

	Granular flow (solid-dominated)	Mud flow (fluid-like)
Viscous-turbulent friction, ξ [m/s ²]	100-200 *)	200-1'000 *)

*) **These values are only suggestions not fixed definitions.**

Table 5.4: General suggestion for the initial values of the Voellmy friction coefficients used for the calibration procedure

Initial values of the Voellmy friction coefficients used for a calibration procedure with unknown flow type		
Dry-Coulomb type friction	μ []	0.2
Viscous-turbulent friction	ξ [m/s ²]	200

Table 5.5: Best-fit Voellmy friction coefficients for the case study of Dorfbach, Randa (CH).

Dry-Coulomb type friction	μ []	0.225
Viscous-turbulent friction	ξ [m/s ²]	130

Per tant tindrem dos tipus de paràmetres reològics principalment pels seus valors de μ i ξ Voellmy friction coefficients. **Escenaris amb un material més granular ($\mu=0.20$ i $\xi=100$) on predomina el material de vessant i escenaris on predomini els sediments mobilitzable en fons de canal, amb un component més fluid ($\mu=0.15$ i $\xi=150$).**

El present cas que es consideren dues zones de sortida simultànies en fons de canal, s'estimarà una reologia força fluida amb un valor aproximat dels paràmetres μ i ξ i de cohesió del sòls, determinats en base al coneixement geològic dels materials present en la zona d'estudi: formacions superficials corresponents a **col·luvions**.

Els paràmetres reològics utilitzats en el present estudi és el següent:

Material	μ	ξ (m/s ²)	Densitat (kg/m ³)	Cohesió (Pa)
Fons de canal	0.15	150	1800	100

Taula 5: Taula paràmetres reològics .

3.4. CONDICIONS DE CONTORN I ESCENARIS SIMULATS

En funció del anàlisi realitzat en el capítol 2 del present estudi s'han establert diferents models a analitzar dins del torrent avaluat. En el present s'ha considerat 1 model, consistent en l'erosió simultàniament en els dos punts de sortida seleccionats, en base als pendents, la disponibilitat de material mobilitzable i l'entrada d'aigua de forma sobtada a la conca.

El model considerat és el següent:

MODEL 1. Barranc des Artigues

El material mobilitzable s'ha associat pel conjunt de l'àrea de les cicatrius estimades a la conca amb **gruixos que van de 0,4 a 1,2 metres en funció del grau de magnitud del fenomen**.

Pel model avaluat, s'ha considerat 3 escenaris distingits per la seva magnitud i per la seva probabilitat d'ocurrència, associant-los amb períodes de retorn estimats en base als reconeixements de camp i als antecedents històrics. Els paràmetres reològics s'han considerat iguals pels 3 escenaris, (veure taula 6).

Model	conca	Material	Escenari	gruix	Volum	μ	X_i (m/s ²)	Densitat (kg/m ³)	Cohesió (Pa)	Probabilitat	Període retorn estimat associat
1	Barranc des Artigues	Col·luvió fons de canal	1.1	0.4	457 m ³	0.15	150	1800	100	Probable	<100 anys
			1.2	0.7	800 m ³	0.15	150	1800	100	Possible	>100 anys
			1.3	1.2	1372 m ³	0.15	150	1800	100	Excepcional	>500 anys

Taula 6: Taula paràmetres reològics .

Atenent als reconeixements geomorfològics en el present estudi no s'hauria de contemplar un escenari amb volums superiors a 800 m³, però se n'ha contemplat un per tenir una referència d'un escenari Excepcional, amb una volumetria de material mobilitzat important.

En el barranc avaluat, existeixen dos dics antiاللaus que ocupen la llera del torrent aquests presenten una secció de pas d'uns 6,25 m², aquests deixarien passar una part important de les torrentades tot i que en retindrien una bona part. A efectes de la modelització no s'ha tingut en compte l'existència dels dics.

3.5.INTERPRETACIÓ DELS RESULTATS DE LA SIMULACIÓ: ESCENÀRI 1.1

En aquest cas analitzarem els resultats del model que avalua la formació d'un flux torrencial al barranc des Artigues per erosió de fons de canal o zones properes. S'ha considerat material granular amb un paràmetre de ($\mu=0.15$), una X_i de 150, una cohesió de 100 Pa, densitat de 1800 kg/m³ i potencia de sòl mobilitzable amb un gruix mig de 0,4 m. L'escenari 1.1 es considera com a període de retorn inferior als 100 anys.

3.5.1. Alçades de sediment.

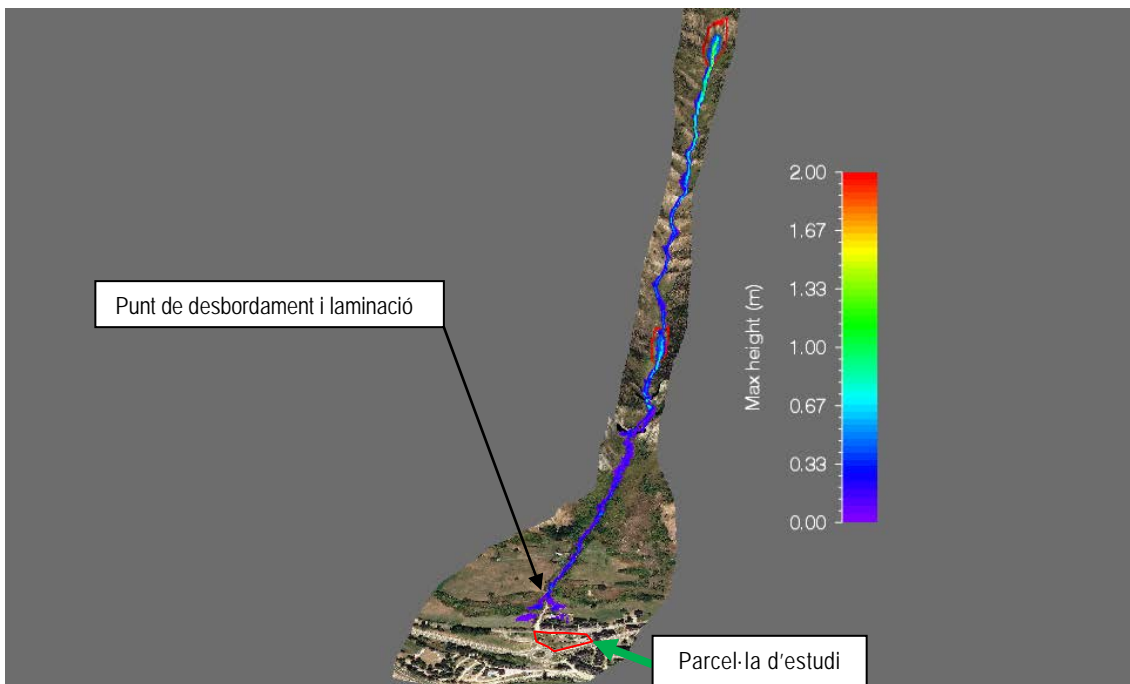


Figura 5 : Mapa de resultats d'alçades de sediment de la conca calculat amb el model numèric RAMMS

Interpretació: En base als paràmetres introduïts, l'abast del corrent d'arrossegalls pel que fa al escenari 1.1, aquest arriba fins a la zona baixa del antic con aluvial, desbordant cap als darrers camps de conreu, i afectant lleument els jardins posteriors a les cases existents al camin Reiau, sense afectar-les.

Pel que respecta a la parcel·la d'estudi en aquest escenari el fenomen torrencial s'atura a uns 40 metres de la parcel·la. Les alçades màximes del flux, són d'un metre – metre i mig en la zona anterior als dics de protecció d'allaus. A la zona baixa les alçades es situen per sota dels 30 centímetres.

3.5.2. Velocitats.

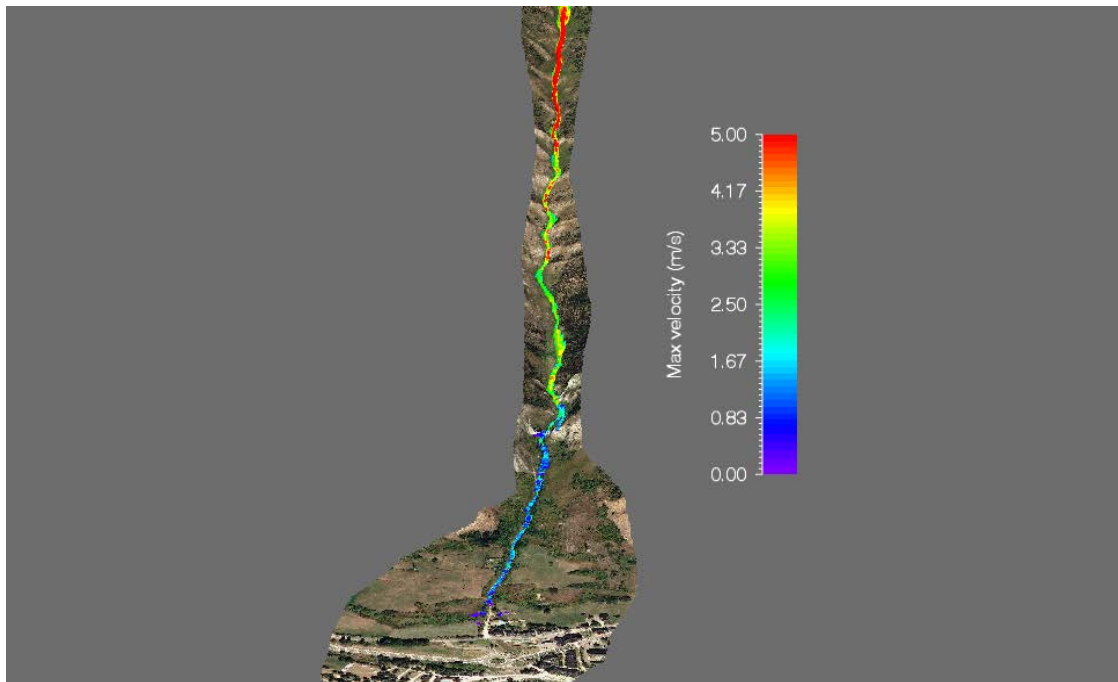


Figura 6: Mapa 3d de resultats de velocitats de sediment de la conca calculat amb el model numèric RAMMS.

Interpretació: Pel que fa les velocitats els primers metres les velocitats del flux són força elevades mantenint-se en general, amb valors per sobre dels 3,5 m/s. La velocitat disminueix quan disminueix el pendent, just després dels dics d'allaus. El flux circula pel camí d'accés amb velocitats al voltant dels 2 m/s. Fins arribar al punt on desborda i lamina cap als camps on la velocitat es molt baixa <0,5 m/s.

3.5.3. Pressions d'impacte.

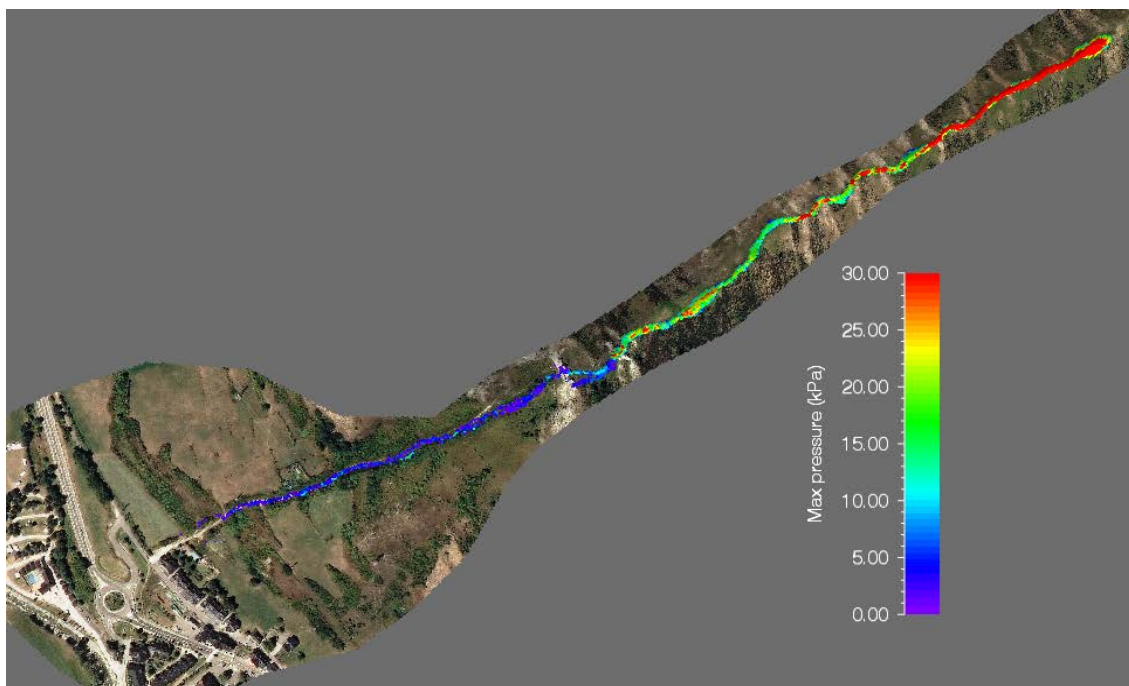


Figura 7: Mapa 3d de resultats de pressions dinàmiques de la conca calculat amb el model numèric RAMMS.

Interpretació: Tenim pressions dinàmiques en l'escenari que es situen en general per sobre dels 20 kPa fins l'arribada a la zona del primer dic. Les pressions disminueixen en gran mesura després de la zona del primer dic per sota dels 10 kPa. La zona del camí té unes pressions al voltant dels 5 kPa, que disminueixen fins a zero a partir de la zona de laminació.

3.6.INTERPRETACIÓ DELS RESULTATS DE LA SIMULACIÓ: ESCENARI 1.2

En aquest cas analitzarem els resultats del model que avalua la formació d'un flux torrencial al barranc des Artigues per erosió de fons de canal o zones properes. S'ha considerat material granular amb un paràmetre de ($\mu=0.15$), una Xi de 130, una cohesió de (100), densitat de 1800 kg/m^3 i potencia de sòl mobilitzable amb un gruix mig de 0,7 m. L'escenari 1.2 es considera com a període de retorn d'uns 100 anys o superior.

3.6.1. Alçades de sediment.

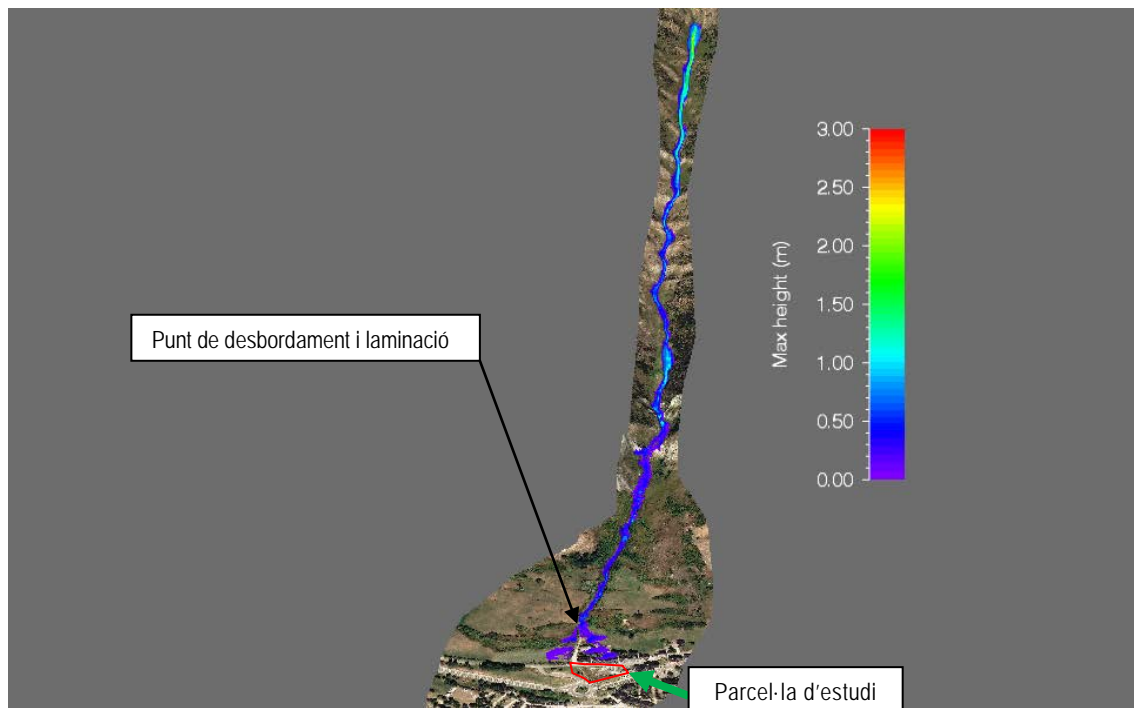


Figura 8: Mapa de resultats d'alçades de sediment de la conca calculat amb el model numèric RAMMS

Interpretació: En base als paràmetres introduïts, l'abast del corrent d'arrossegalls pel que fa al escenari 1.2, aquest arriba fins a la zona baixa del antic conluvial, desbordant cap als darrers camps de conreu, i afectant els jardins i alguna de les cases existents. Pel que respecta a la parcel·la en aquest escenari el fenomen torrencial s'atura a uns 30 metres, a les cases existents, per darrera.

Les alçades màximes del flux, són d'1,5 a 2 metres en la zona anterior als dics de protecció d'allaus. Després dels dics, el flux agafa l'ample del camí circulant pel mateix amb alçades inferiors al metre, fins al punt de desbordament, on lamina cap als horts i conreus, amb alçades màximes de calat de 50 centímetres.

3.6.2. Velocitats.

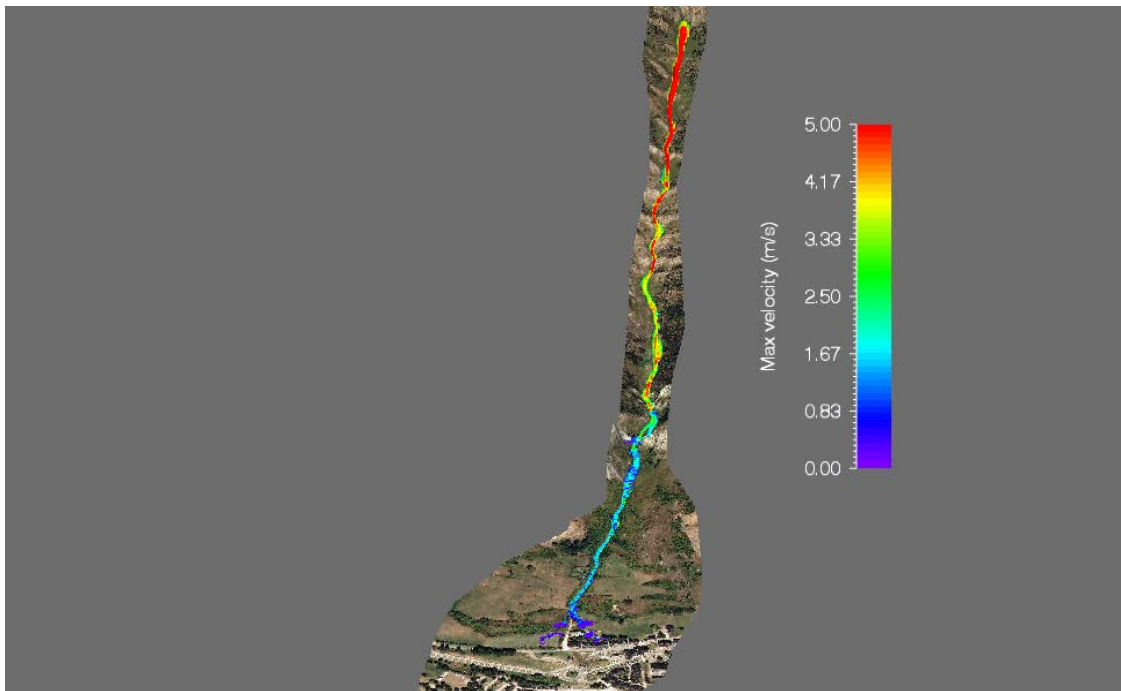


Figura 9: Mapa 3d de resultats de velocitats de sediment de la conca calculat amb el model numèric RAMMS.

Interpretació: Pel que fa les velocitats els primers metres les velocitats del flux són força elevades mantenint-se en general, amb valors per sobre dels 4 m/s. La velocitat disminueix quan disminueix el pendent, just després dels dics d'allaus, situant-se per sota dels 3 m/s. El flux circula pel camí d'accés amb velocitats al voltant dels 2,5 m/s, fins arribar al punt on desborda i lamina cap als camps on la velocitat es situa <1 m/s.

3.6.3. Pressions d'impacte.

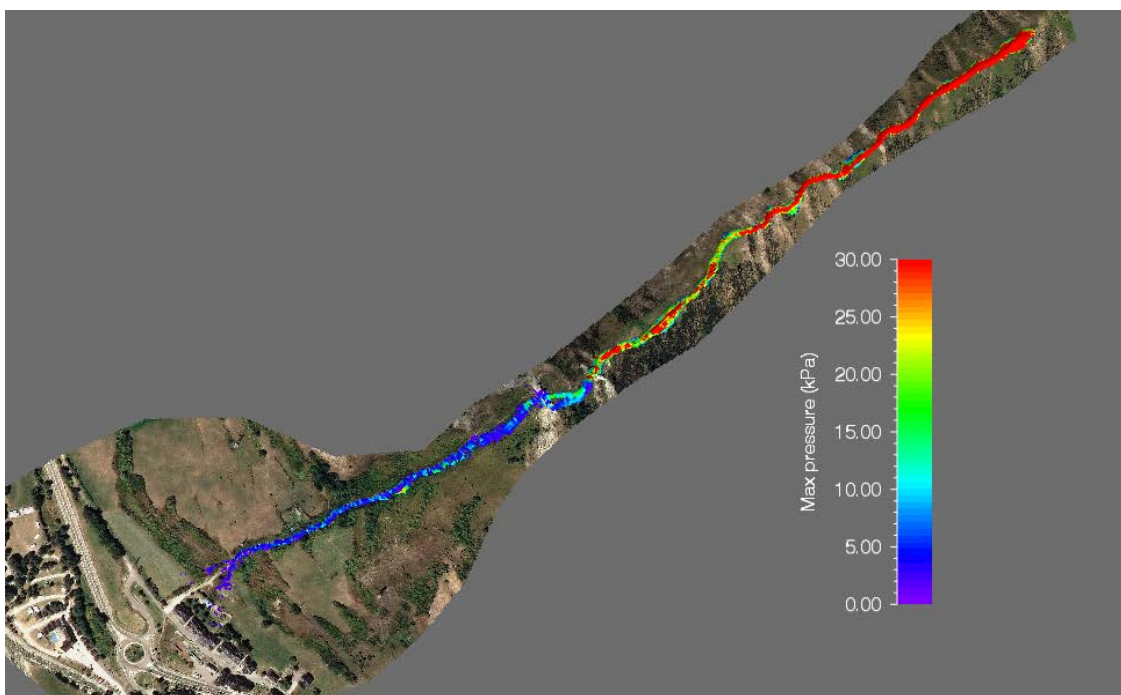


Figura 10: Mapa 3d de resultats de pressions dinàmiques de la conca calculat amb el model numèric RAMMS.

Interpretació: Tenim pressions dinàmiques en l'escenari que es situen en general per sobre dels 30 kPa fins l'arribada a la zona del primer dic (uns 40 KPa), amb màximes per sobre dels 100 KPa en la zona alta de la conca. Les pressions disminueixen en gran mesura després de la zona del segon dic per sota dels 20 kPa. La zona del camí té unes pressions al voltant dels 10 KPa, que disminueixen fins a zero a partir de la zona de laminació.

3.7.INTERPRETACIÓ DELS RESULTATS DE LA SIMULACIÓ: ESCENARI 1.3

Els resultats del escenari 1.3 que avalua la formació d'un flux torrencial al barranc des Artigues, per erosió de fons de canal o zones properes. S'ha considerat material granular amb un paràmetre de ($\mu=0.15$), una Xi de 150, una cohesió de (100), densitat de 1800 kg/m³ i potencia de sòl mobilitzable amb un gruix mig de 1,5 m. L'escenari 1.3 es considera excepcional.

3.7.1. Alçades de sediment.

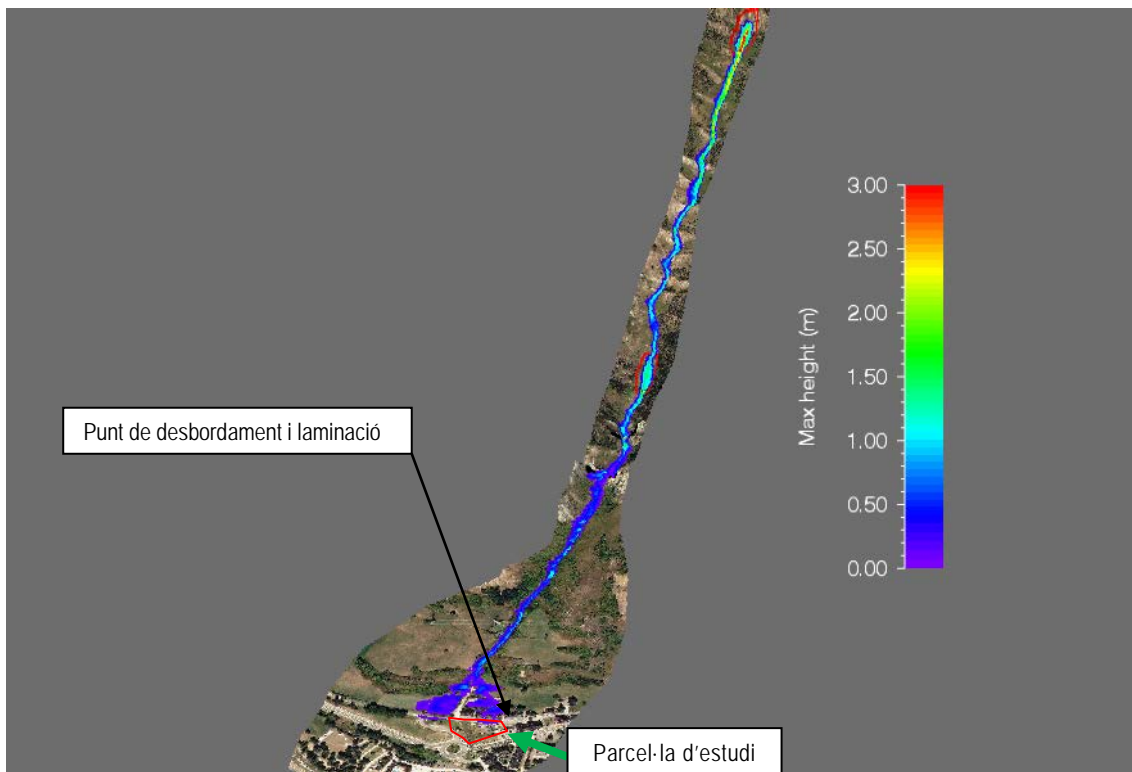


Figura 11: Mapa de resultats d'alçades de sediment de la conca calculat amb el model numèric RAMMS

Interpretació: En base als paràmetres introduïts, l'abast del corrent d'arrossegalls pel que fa al escenari 1.3, aquest arriba fins a la zona baixa del antic con al·luvial, desbordant cap als darrers camps de conreu, i assolint les primeres cases existents per darrera la parcel·la, que en aquest cas actuarien com a línia de protecció, arribant una mínima lamina d'aigua i fangs de 5 cm al Camin Reiau.

Pel que respecta a la parcel·la en aquest escenari el fenomen torrencial s'aturaria just abans del seu límit Nord, amb un calat ínfim de 5 cm. Els calats superiors als 5 cm, quedarien restringits, a la part posterior de les cases existents al Camin Reiau.

Les alçades màximes del flux, són d'2 a 2,5 metres en la zona anterior als dics de protecció d'allaus. Després dels dics, el flux agafa l'ample del camí circulant pel mateix amb alçades d'un metre i lleugerament superior en algun punt, fins al punt de desbordament, on lamina cap als horts, conreus i cases, amb alçades màximes de calat de 80 centímetres.

3.7.2. Velocitats.

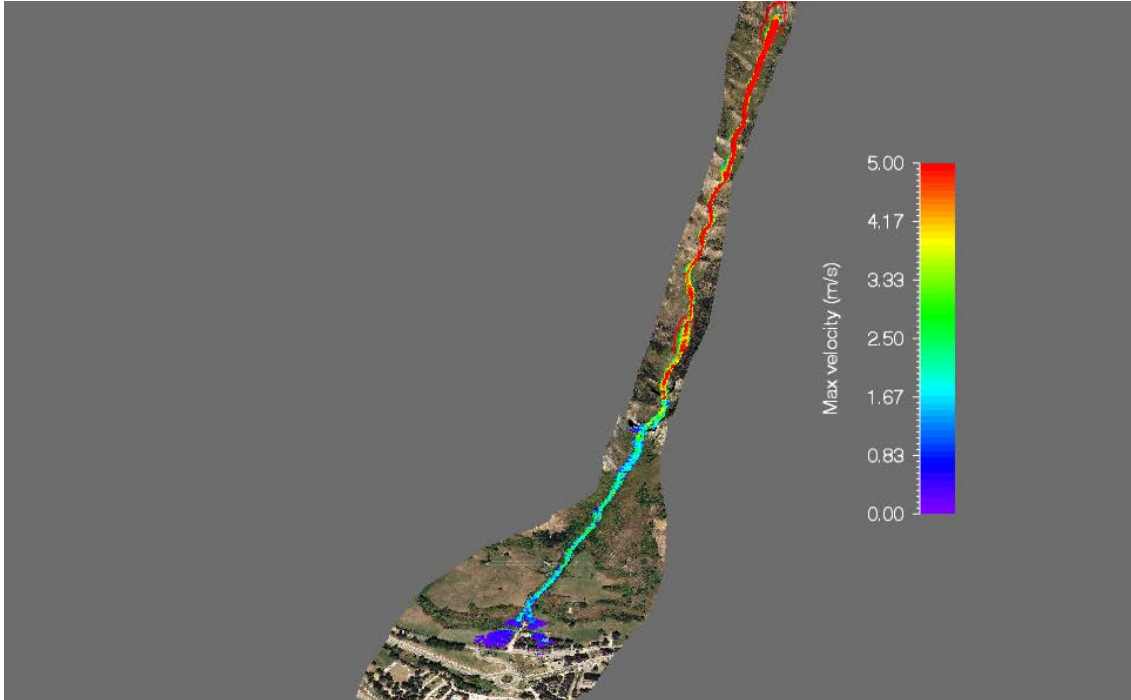


Figura 12 : Mapa 3d de resultats de velocitats de sediment de la conca calculat amb el model numèric RAMMS.

Interpretació: Pel que fa les velocitats els primers metres les velocitats del flux són força elevades mantenint-se en general, amb valors per sobre dels 6 m/s. La velocitat disminueix quan disminueix el pendent, just després dels dics d'allaus, situant-se per sota dels 3,5 m/s. El flux circula pel camí d'accés amb velocitats al voltant dels 3 m/s, fins arribar al punt on desborda i lamina cap als camps on la velocitat es situa en 1 m/s fins a aturar-se.

3.7.3. Pressions d'impacte.

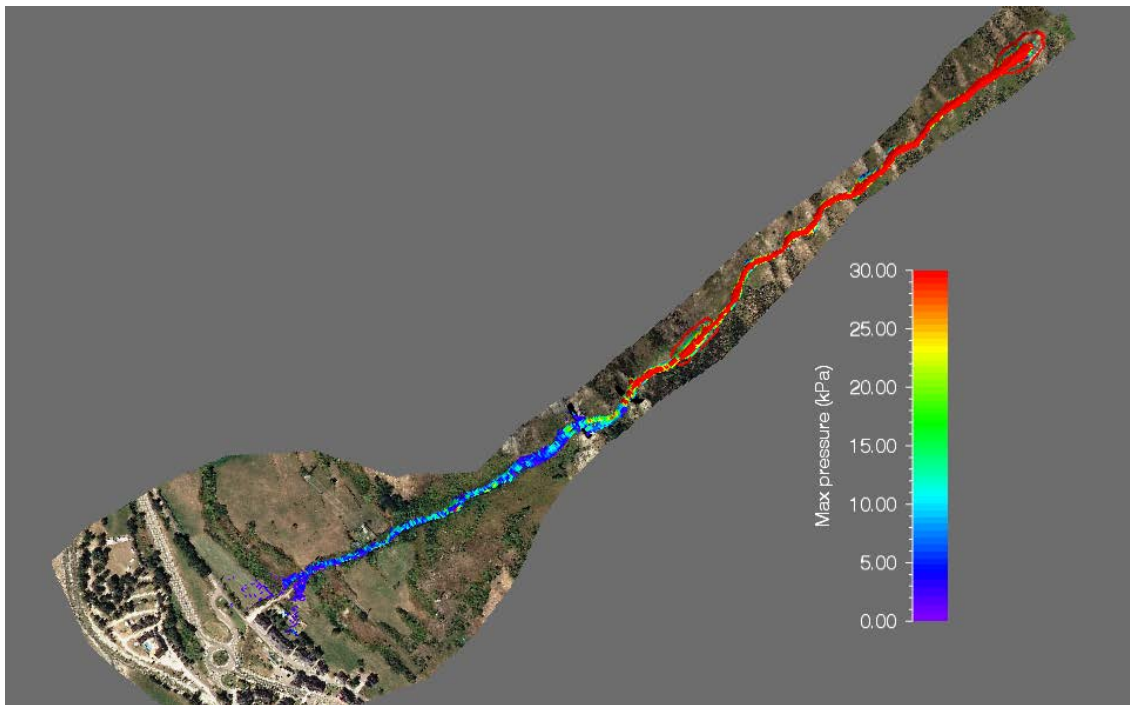


Figura 13: Mapa 3d de resultats de pressions dinàmiques de la conca calculat amb el model numèric RAMMS.

Interpretació: Tenim pressions dinàmiques en l'escenari que es situen en general per sobre dels 45 kPa fins l'arribada a la zona del primer dic (uns 50 KPa), amb màximes per sobre dels 140 KPa només en la zona alta de la conca. Les pressions màximes disminueixen en gran mesura després de la zona del segon dic per sota dels 25 kPa. La zona del camí té unes pressions al voltant dels 15 KPa amb alguna punta de 20KPa, que disminueixen ràpidament fins a zero a la zona de laminació.

3.8. LIMITACIONS DEL MODEL I DE LES SIMULACIONS.

El model numèric emprat, es tracta d'un model monofàsic; La interacció entre les fases líquida i sòlida juga un paper important en el desenvolupament del flux, i hauria de ser incorporada en els models numèrics. No obstant aquesta consideració no està inclosa en la majoria dels models, no només en el RAMMS DEBRIS FLOW. Això es deu al desconeixement de les condicions inicials i de contorn, a més d'una capacitat computacional limitada, de manera que se simplifica l'expressió matemàtica. Degut a aquets fet el model de càlcul s'ha efectuat únicament a partir del volum estret de la inspecció de camp i interpretació fotogramètrica.

El model de càlcul de simulació es un model matemàtic que també té les seves limitacions al ser una eina de diagnòs basada en simplificacions de la realitat, com per exemple que no té en compte la permeabilitat del terreny, i per tant, els resultats obtinguts en segons quins casos tindran aplicats un cert factor de seguretat vers el que ha de ser la realitat.

Els models de corrents d'arrossegalls s'han efectuat amb Topografia LIDAR amb una resolució de malla de 2 x 2m del ICGC.

La cartografia de materials, cicatrius i altres indicadors dels processos torrencials s'ha realitzat bàsicament amb treball de fotointerpretació, complementat amb treball de camp, realitzant verificacions en totes les zones susceptibles.

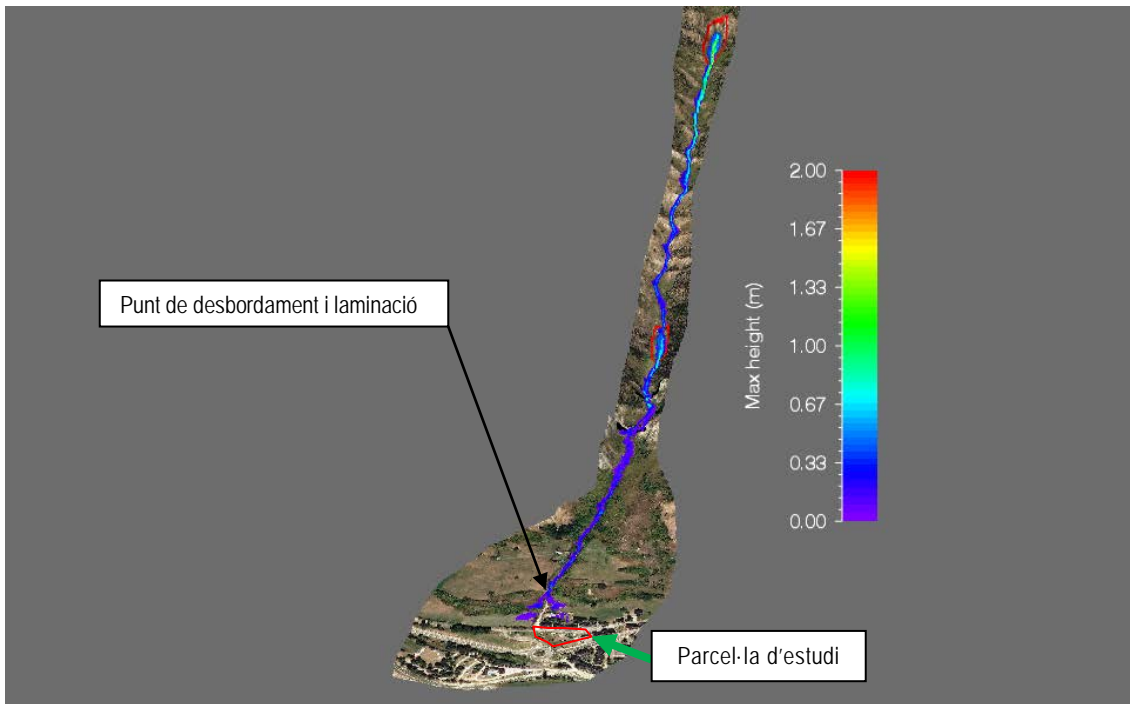
Pel que respecta al model digital del terreny s'ha considerat sense l'existència dels dics continus d'allaus, ja que aquests presenten una secció hidràulica de pas d'uns 6 metres quadrats, i es considera que en general la majoria del material podria passar aigües avall. En el cas que aquesta secció fos inferior o taponés, els corrents d'arrossegalls quedarien retinguts en gran part en els dics i el seu abast seria molt menor. En aquest sentit, els resultats s'han de considerar sempre pel costat de la seguretat, ja que es probable que l'abast del material sòlid en realitat fos menor.

4. CONCLUSIONS I RECOMANACIONS

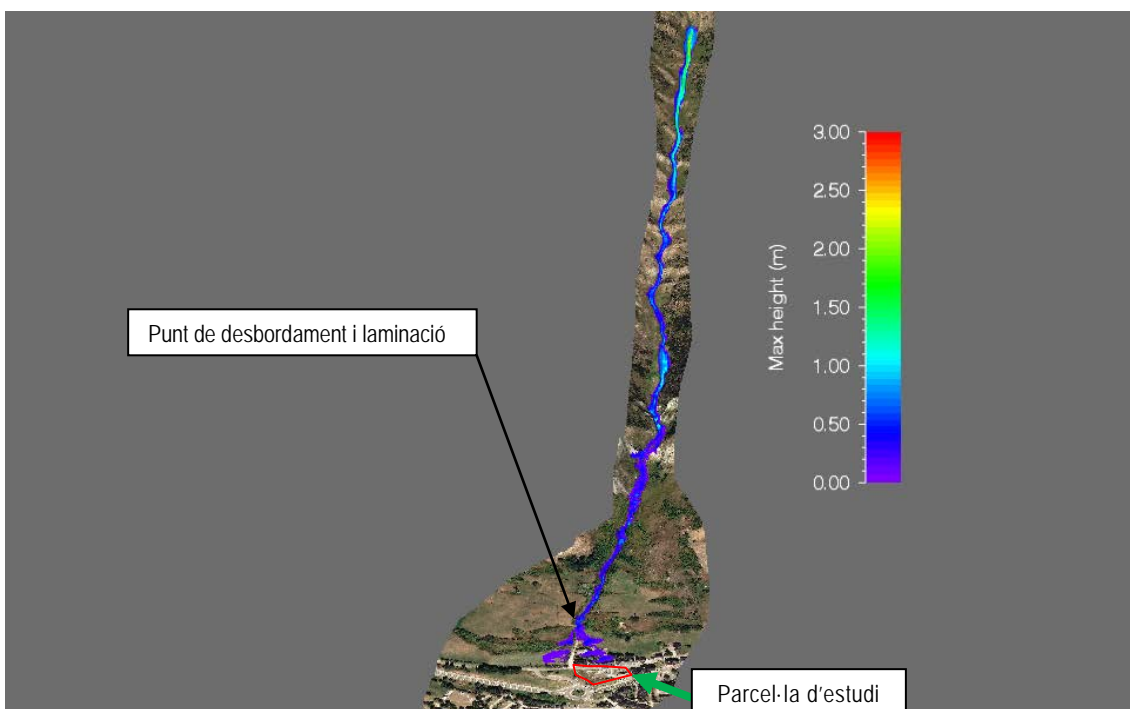
El present informe correspon a un estudi detallat específic relacionat amb la perillositat associada a fluxos torrencials sobre una parcel·la situada a la població d'Arties, entre la C-28 i el camí Reiau, al municipi de Naut Aran.

4.1. RESUM SIMULACIONS

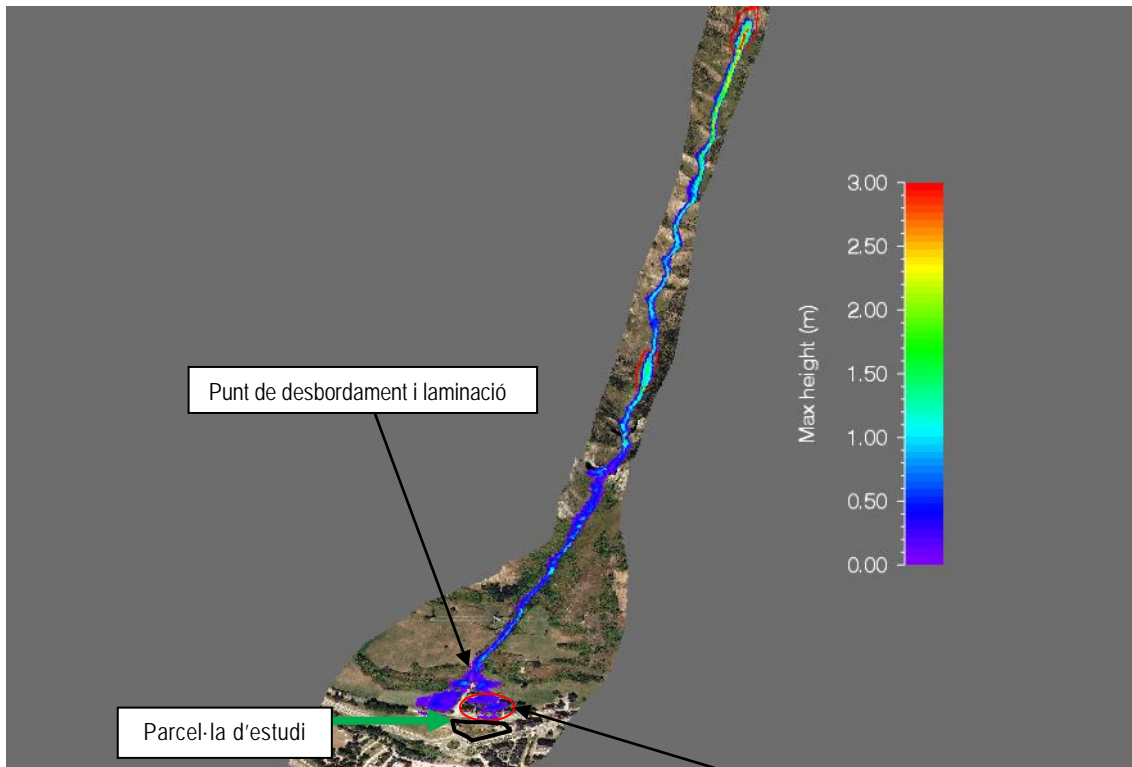
A continuació es mostra l'abast i els calats dels 3 escenaris analitzats:



Escenari 1.1



Escenari 1.2



Escenari 1.3

A la dreta ampliació de la zona de xalets del camin Reiau d'Arties. Amb optimització de l'escala de calats a superiors a 5 cm. En aquest sentit la simulació per un escenari excepcional indica que el calat màxim seria a la part posterior dels xalets, amb alçades inferiors als 55 cm, i no assoliria la parcel·la d'estudi.



En base a la foto interpretació històrica i les simulacions realitzades amb sortides de fons de canal en els punts amb material disponible i amb pendent favorable als lliscaments, denoten activitat torrencial del barranc des Artigues, amb períodes de retorns importants (amb l'estat actual del terreny). L'abast de les mateixes son l'antic con al·luvial, els conreus i alguns dels xalets situats al camin Reiau d'Arties.

En cap dels escenaris contemplats ni en la documentació històrica consultada no s'ha identificat cap procés torrencial provinent exclusivament del barranc des Artigues, que assolixi amb la topografia actual de forma significativa (ni en el cas dels escenaris excepcionals), els terrenys ocupats per la parcel·la d'estudi. En aquest sentit, el risc associat pel que fa a la parcel·la i a la seva urbanització es considera assumible.

A títol informatiu es podria dur a terme alguna actuació per tal de millorar la situació actual dels xalets del camin Reiau, propers a la parcel·la d'estudi, i els conreus, es podria instal·lar unes travesses a la zona de pas dels dics de protecció d'allaus situats vessant amunt per que actuessin com a barreres de retenció del sediment groller, disminuint així l'abast de la torrentada. O garantir la secció del torrent fins al riu Garona evitant la laminació de la torrentada. Aquesta s'estima en uns 5 m², en base a les simulacions efectuades.

Realitzat per

Revisat i Aprovat per:

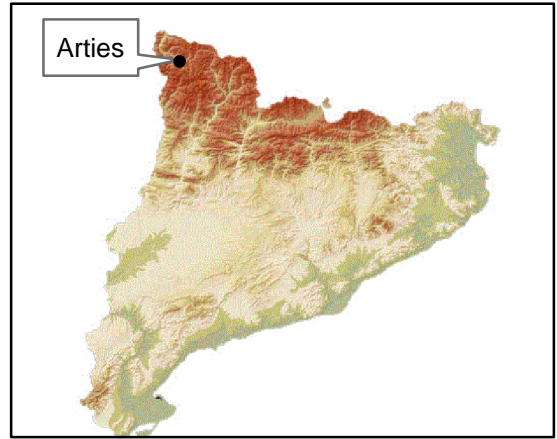
Xavier Colell i Balletbò
Cap de l'àrea de Riscos
Naturals

Joan Altimir Planes
Director Tècnic.

Andorra la Vella, Gener de 2019

ANNEX 1: PLANOLS I PRESENTACIONS

1.Situació



LLEGENDA

- Torrent
- Parcel·la
- Conca

Títol de l'estudi:
 Estudi tècnic específic sobre l'afectació per processos torrencials del barranc des Artigues, sobre una parcel·la entre la C-28 i el camin Reiau, Arties.

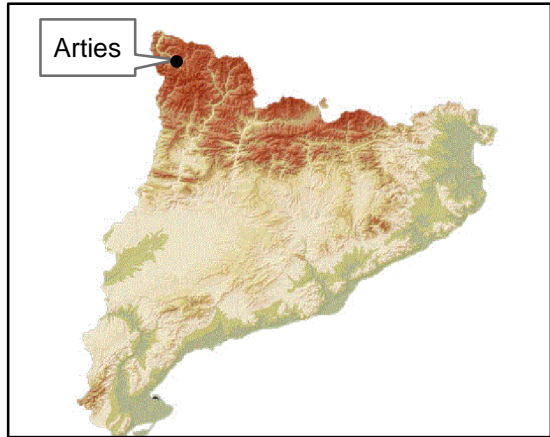
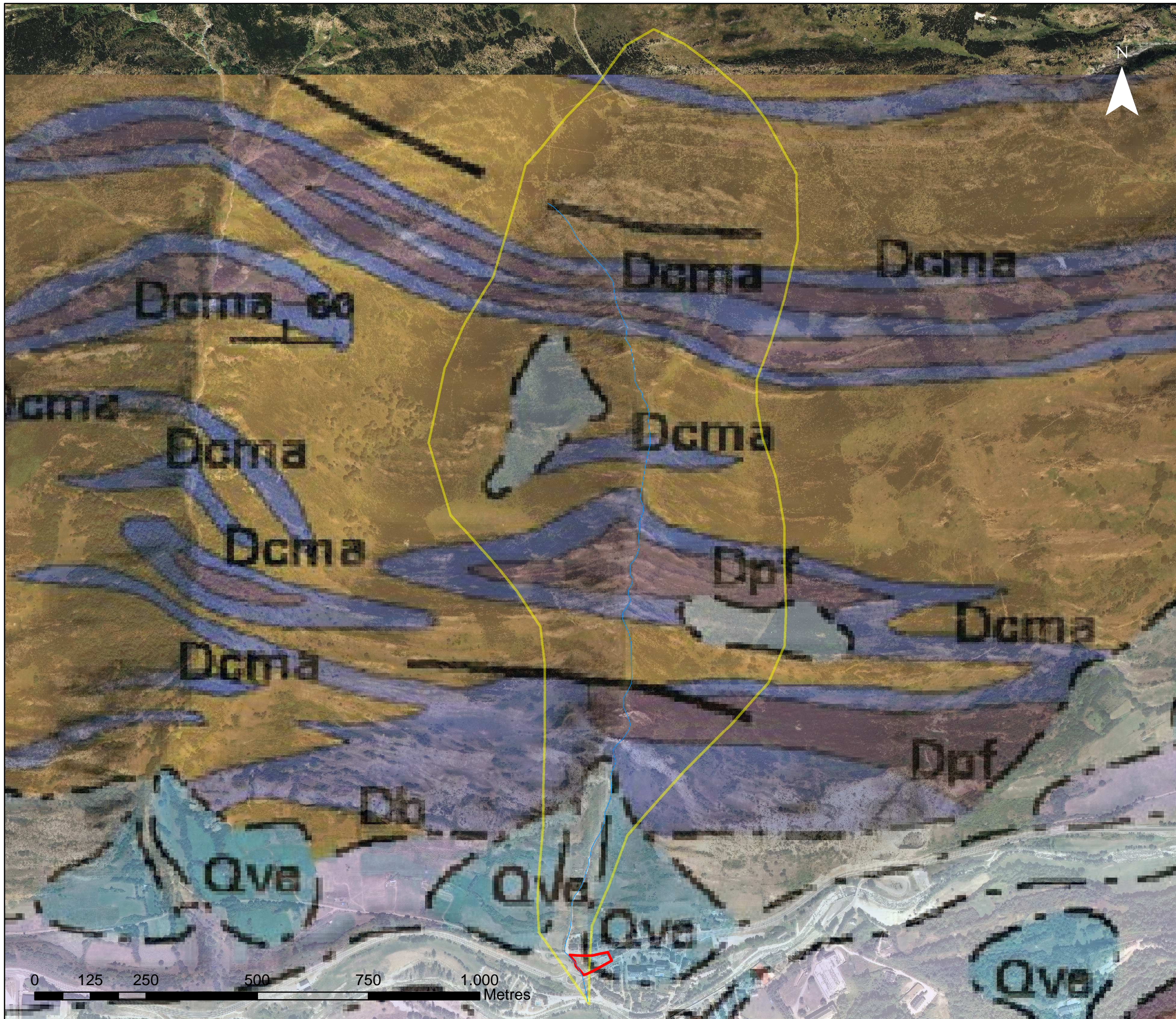
Designació del plànol:
 Situació i limitació de la conca

Data: Gener 2019	Escala de l'original: 1:8.000	Ref. estudi: C-2594
---------------------	----------------------------------	------------------------

euroconsult	Plànol nº: 1	Full: 1 de 1
--------------------	-----------------	-----------------



2. Geològic



LLEGENDA

- Torrent
- Parcel·la
- Conca

- Arenisques, grauvaques, pissarres i calcàries
- Pissarres amb intercalacions de carbonats.
- Pissarres fosques.
- Ventall al·luvial antic.
- Tarteres

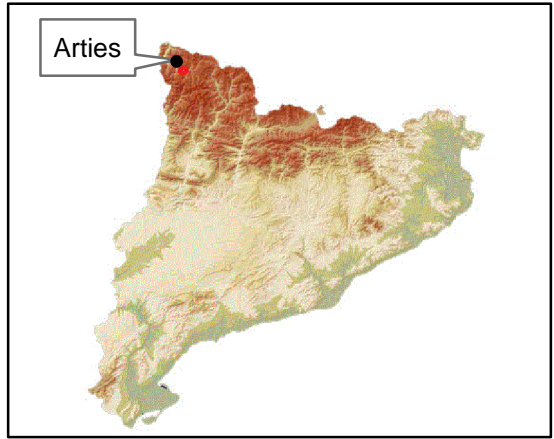
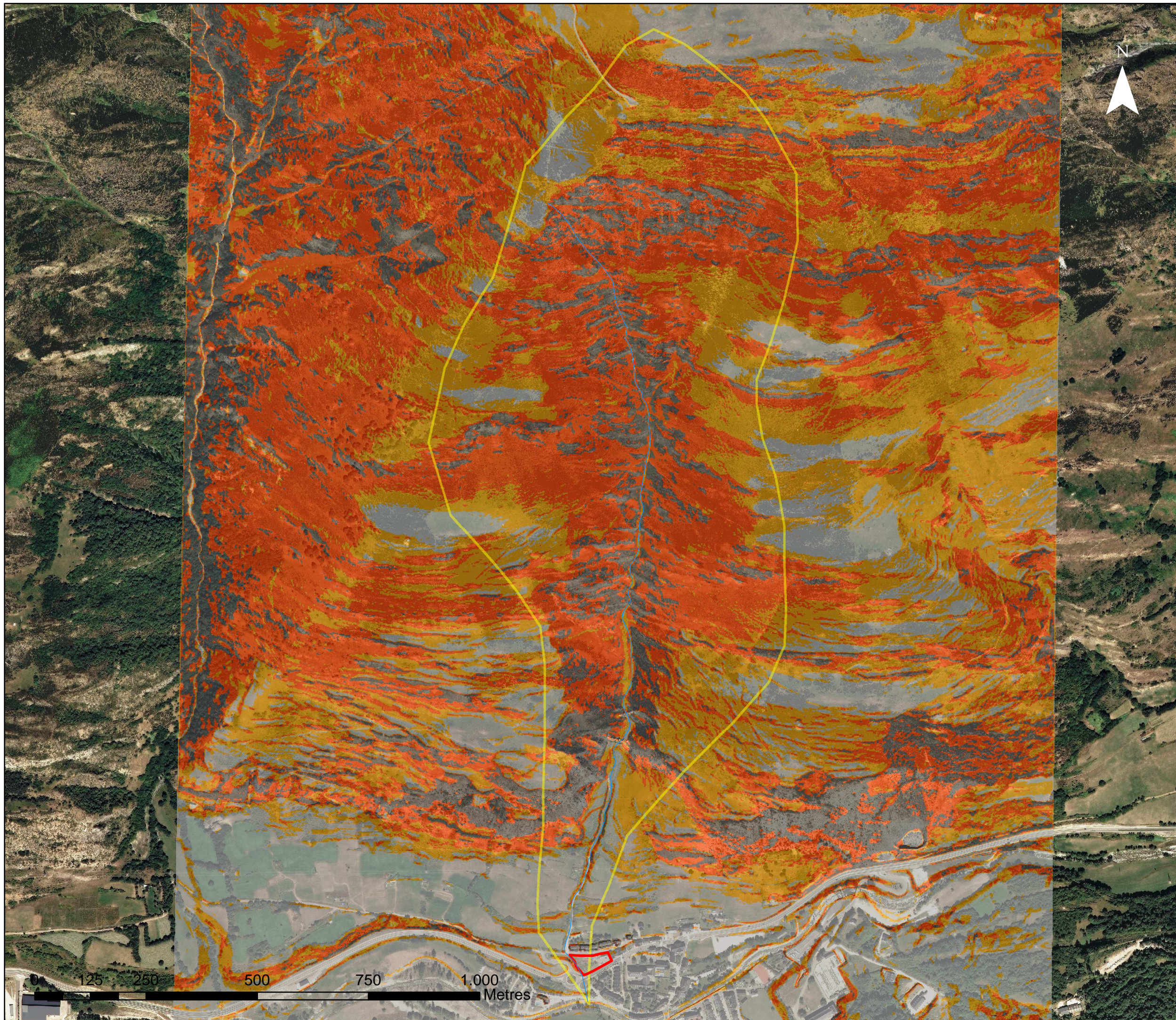
Títol de l'estudi:
 Estudi tècnic específic sobre l'afectació per processos torrencials del barranc des Artigues, sobre una parcel·la entre la C-28 i el camí Reiau, Arties.

Designació del plànol:
 Geològic, (font ICGC)

Data: Gener 2019	Escala de l'original: 1:250.000	Ref. estudi: C-2594
---------------------	------------------------------------	------------------------

euroconsult	Plànol nº: 2	Full: 1 de 1
--------------------	-----------------	-----------------

3.Pendents



LLEGENDA

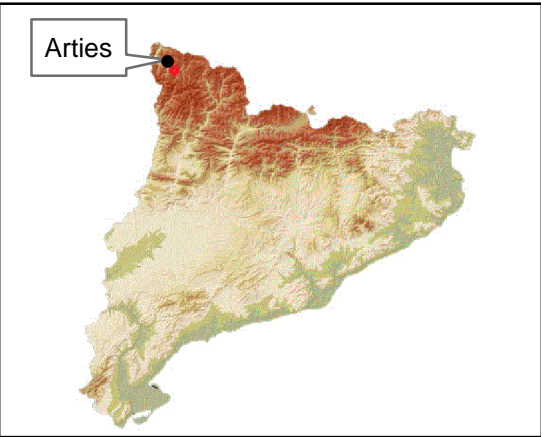
-  Torrent
 -  Parcel·la
 -  Conca
- pendents2x2**
-  0 - 20
 -  20 - 30
 -  30 - 40
 -  >40

Títol de l'estudi:
 Estudi tècnic específic sobre l'afectació per processos torrencials del barranc des Artigues, sobre una parcel·la entre la C-28 i el camin Reiau, Arties.

Designació del plànol:
PENDENTS

Data: Gener 2019	Escala de l'original: 1:8.000	Ref. estudi: C-2594
euroconsult		Plànol nº: 3
		Full: 1 de 1

4. Indicators, zones de sortida



LLEGENDA

- Torrent
- Parcel·la
- Conca

Títol de l'estudi:
 Estudi tècnic específic sobre l'afectació per processos torrencials del barranc des Artigues, sobre una parcel·la entre la C-28 i el camin Reiau, Arties.

Designació del plànol:
ZONES DE SORTIDA

Data: Gener 2019	Escala de l'original: 1:8.000	Ref. estudi: C-2594
		Plànol nº: 4
		Full: 1 de 1



5. Resultats escenari 1.1

TORRENT: Artigues, Escenari 1.1

Municipi: Naut Aran

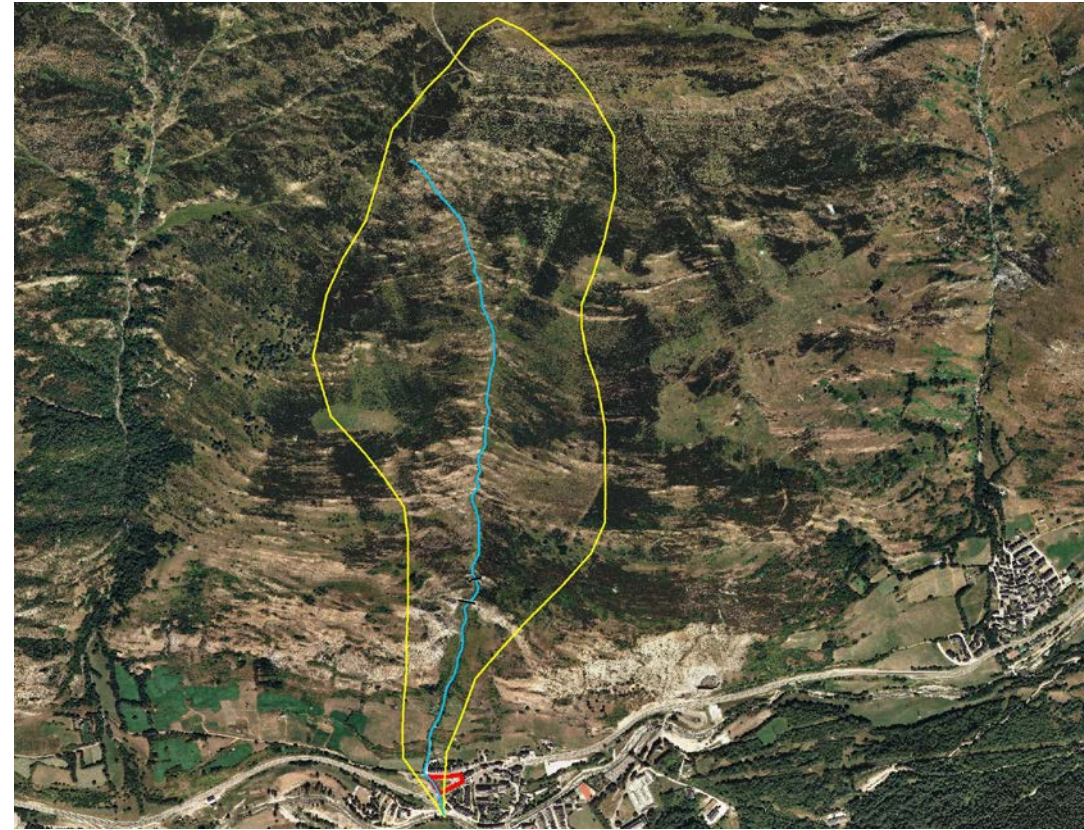
C.UTM: 31T 325573 4729779

MODEL: Debris flow

SOFTWARE: RAMMS

euroconsult

PLÀNOL DE SITUACIÓ I PUNTS DE SORTIDA:



PARÀMETRES DE CÀLCUL:

GENERAL SIMULATION PARAMETERS:

Simulation time (s): 1000.00
Dump interval (s): 5.00
Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5
Constant density (kg/m³): 1800
Lambda (): 1.0

NUMERICS:

Numerical scheme: SecondOrder
H cutoff (m): 0.000001
Curvature effects are ON!

RELEASE:

Depth: 0.40 m Vol: 155.7 m³
Depth: 0.40 m Vol: 301.6 m³
Estimated release volume: 457.27 m³

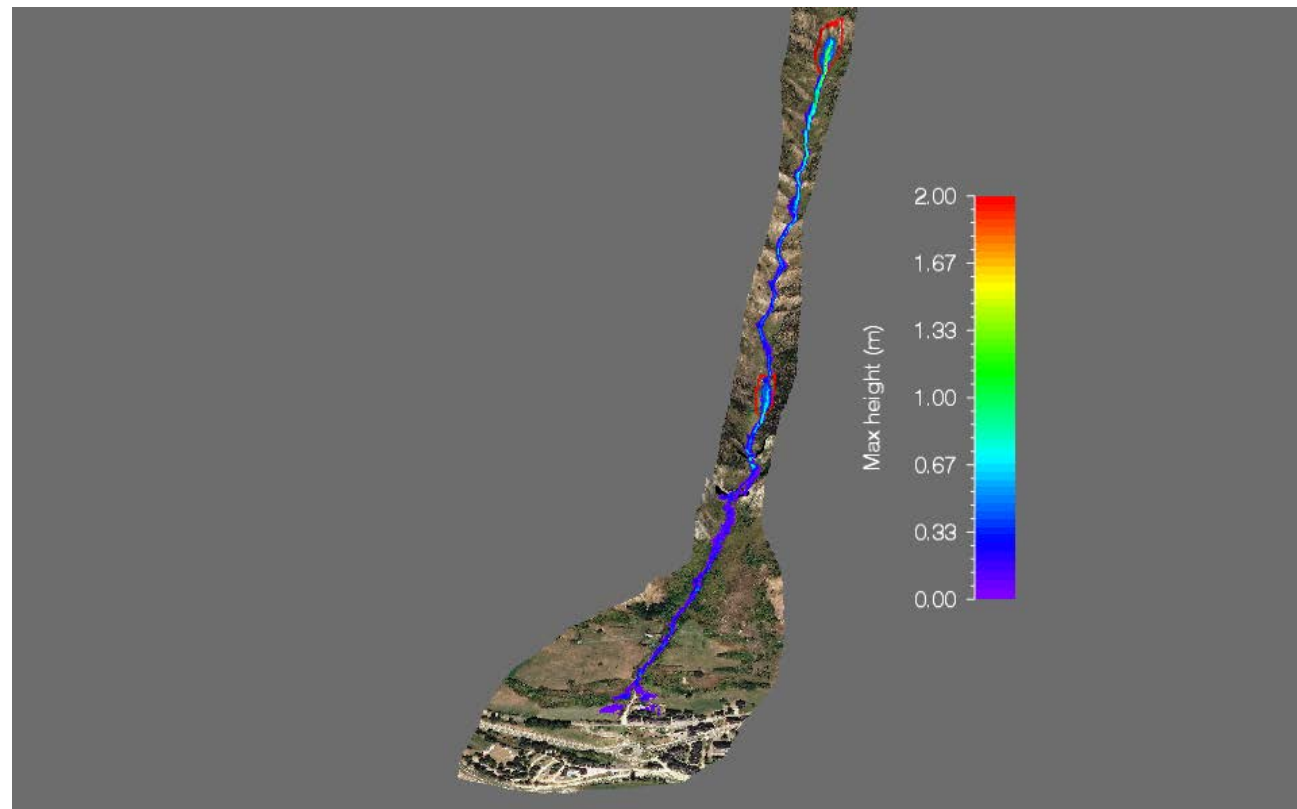
FRICCIÓN MUXI:

Mu (): 0.150
Xi (m/s²): 150

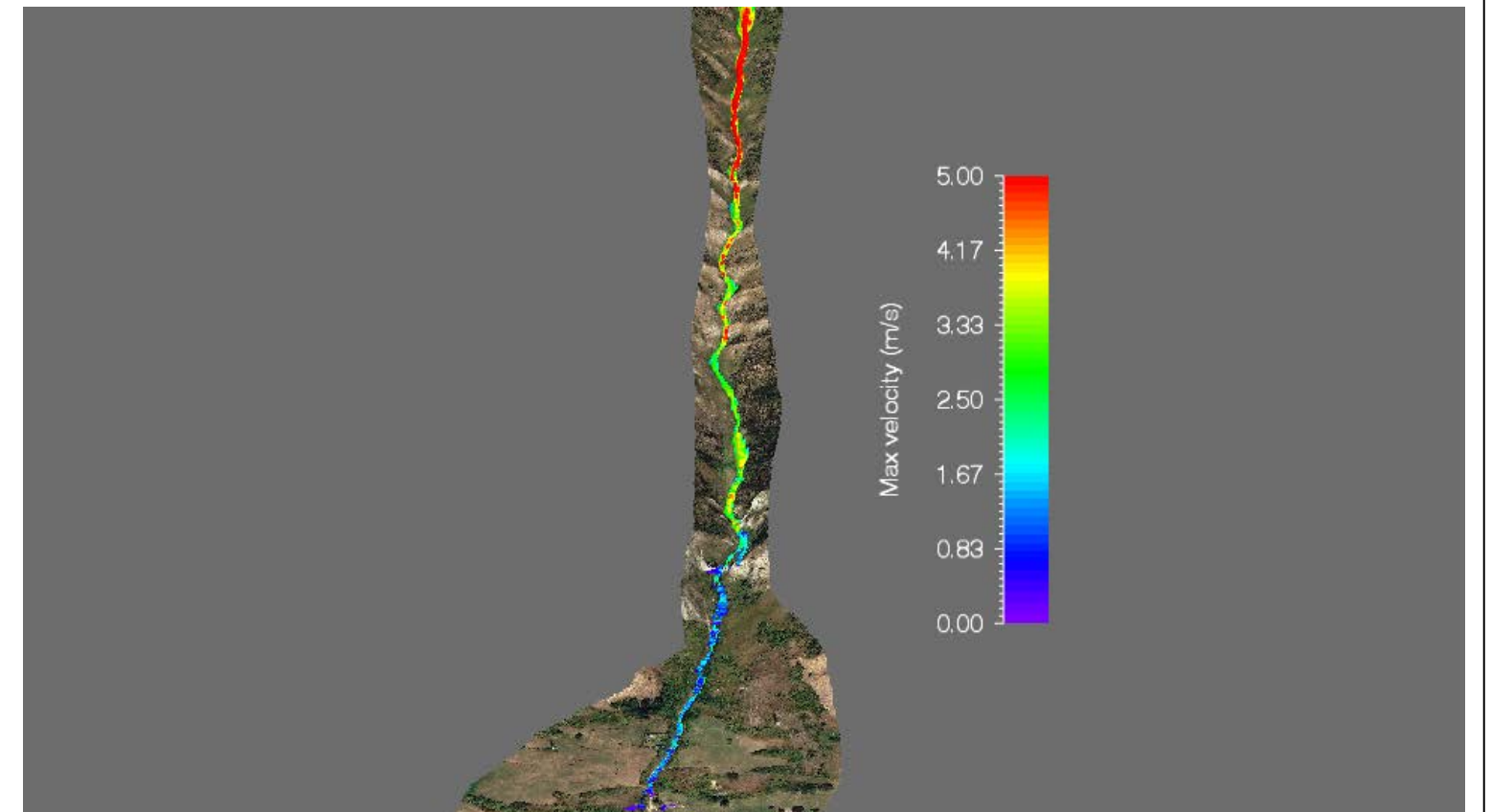
COHESION:

Cohesion value: 100.000 Pa

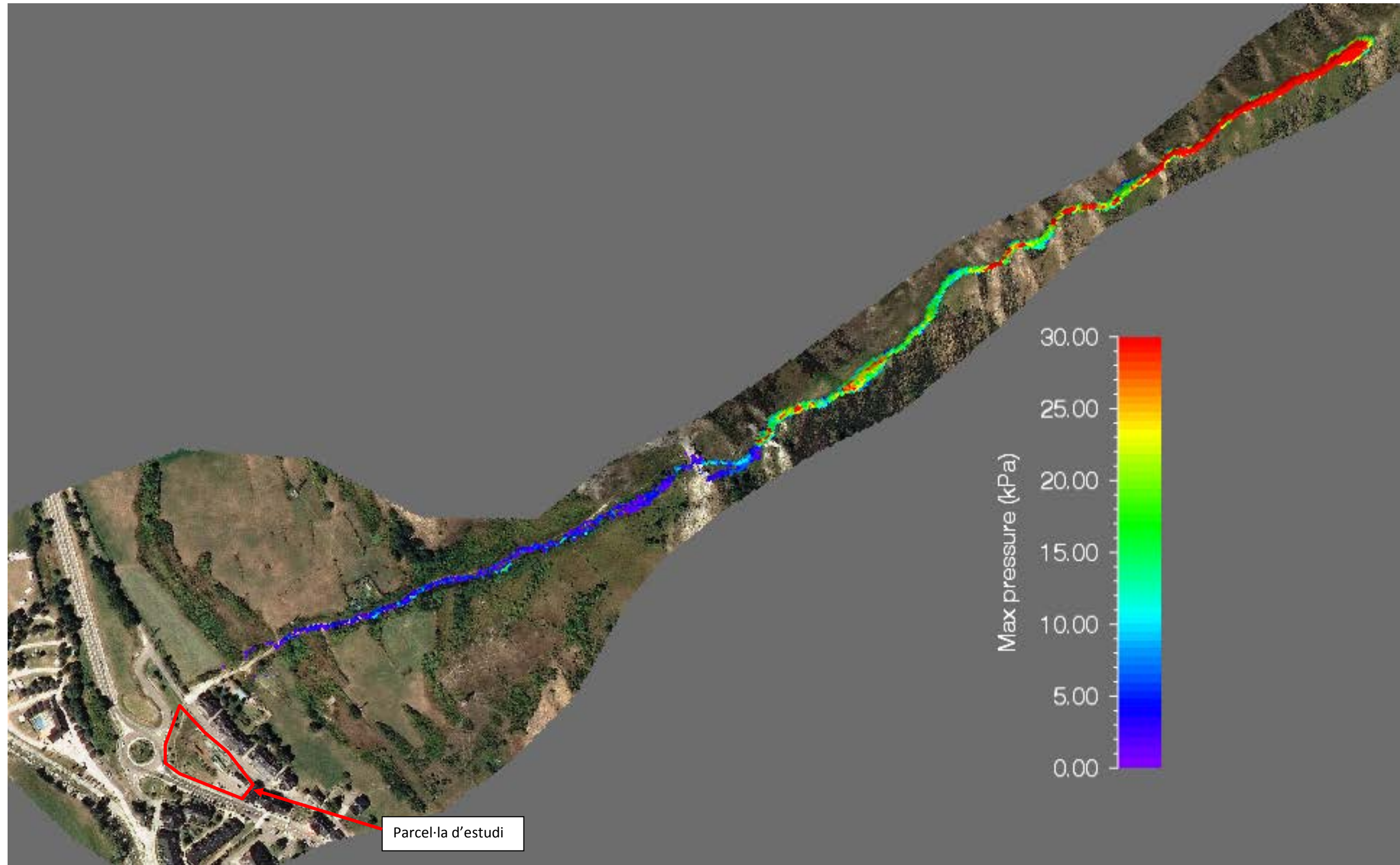
CALATS (m)



VELOCITATS (m/S)



PRESSIONS (Kpa)



6. Resultats escenari 1.2

TORRENT: Artigues, Escenari 1.2

Municipi: Naut Aran (Arties)

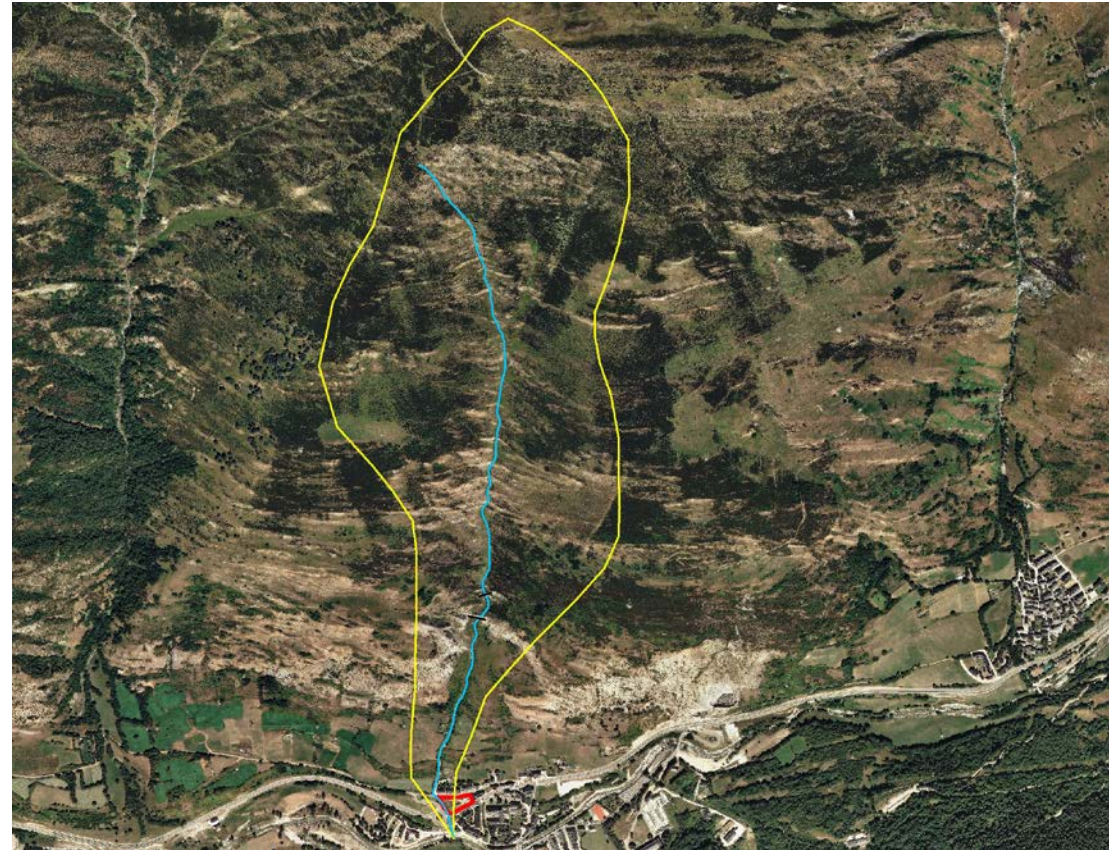
C.UTM: 31T 325573 4729779

MODEL: Debris flow

SOFTWARE: RAMMS

euroconsult

PLÀNOL DE SITUACIÓ I PUNTS DE SORTIDA:



PARÀMETRES DE CàLCUL:

GENERAL SIMULATION PARAMETERS:

Simulation time (s): 1000.00
Dump interval (s): 5.00
Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5
Constant density (kg/m³): 1800
Lambda (): 1.0

NUMERICS:

Numerical scheme: SecondOrder
H cutoff (m): 0.000001
Curvature effects are ON!

RELEASE:

Depth: 0.70 m Vol: 272.5 m³
Depth: 0.70 m Vol: 527.7 m³
Estimated release volume: 800.22 m³

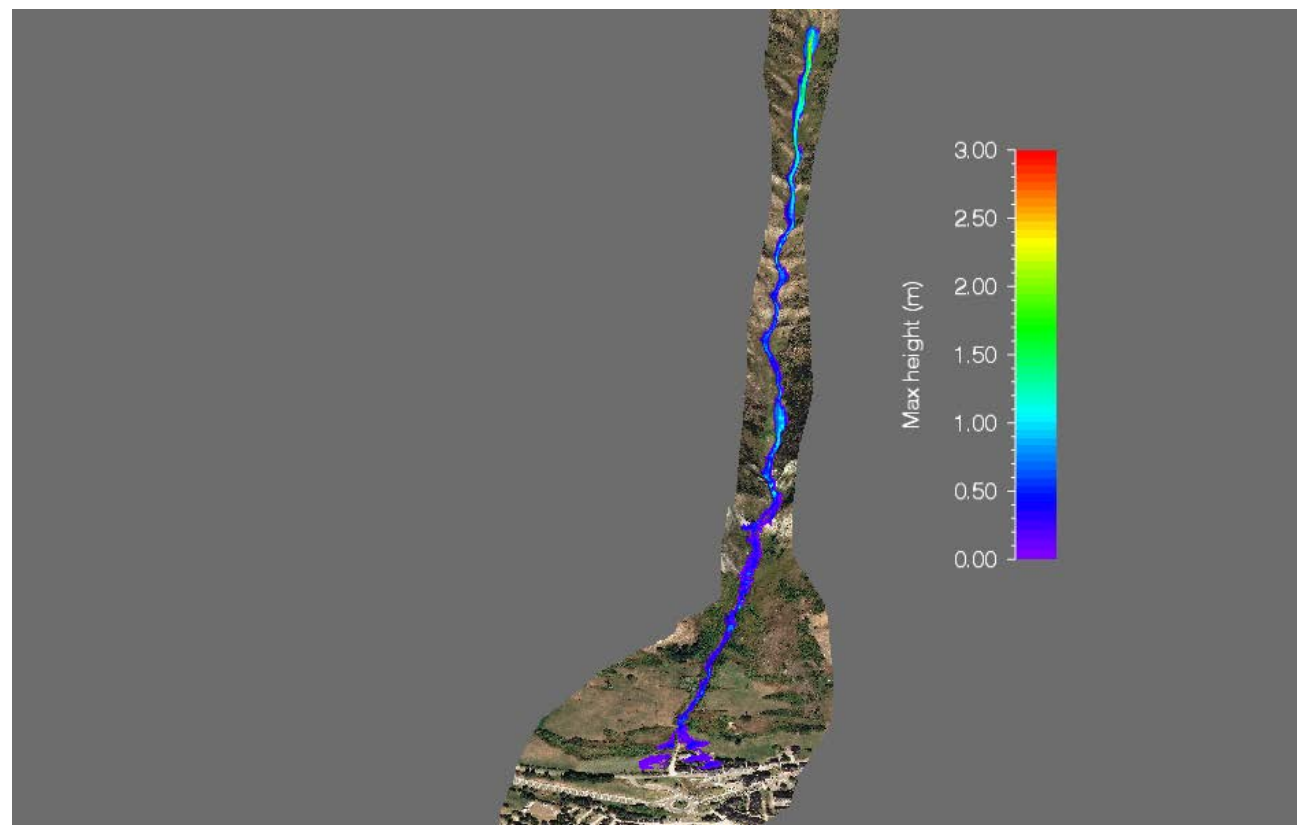
FRICCIÓN MUXI:

Mu (): 0.150
Xi (m/s²): 150

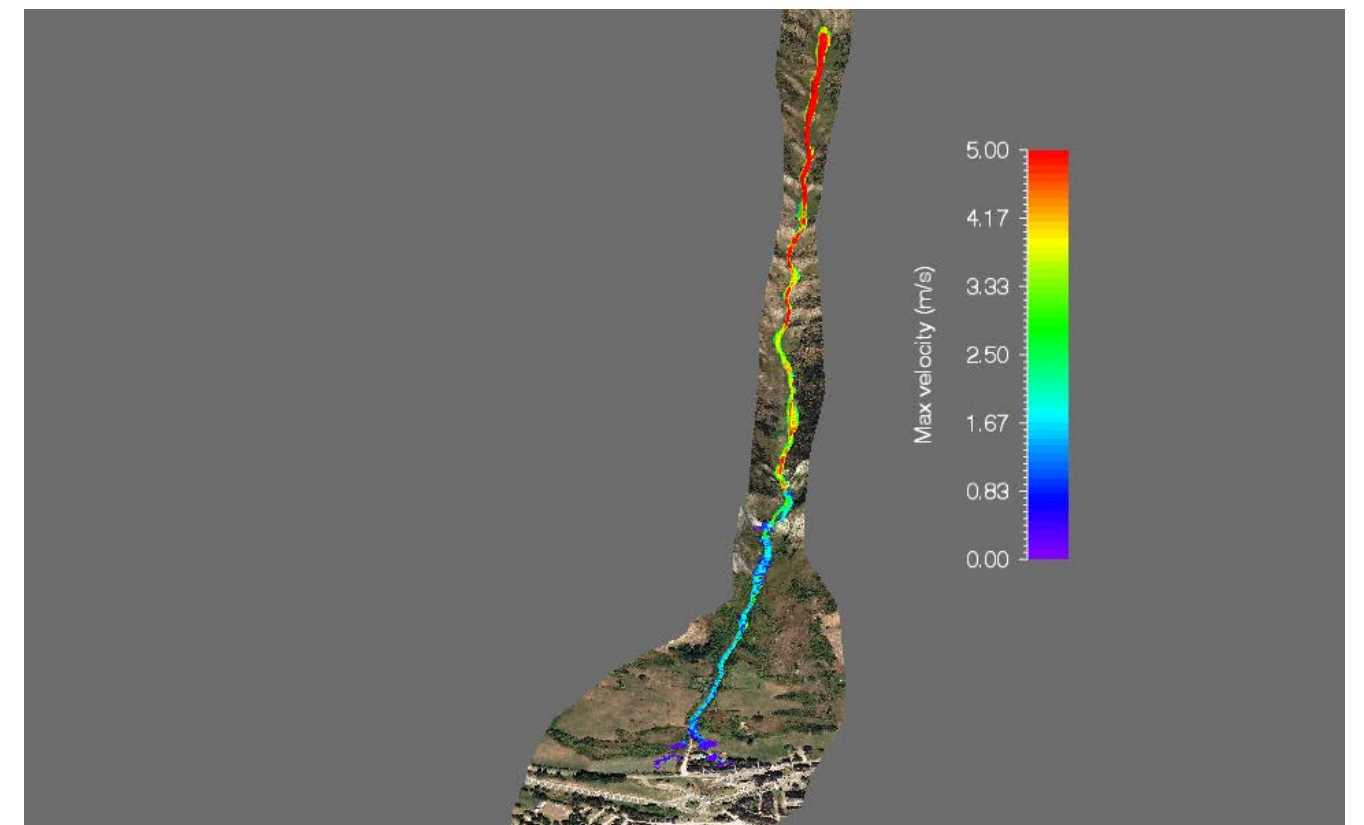
COHESION:

Cohesion value: 100.000 Pa

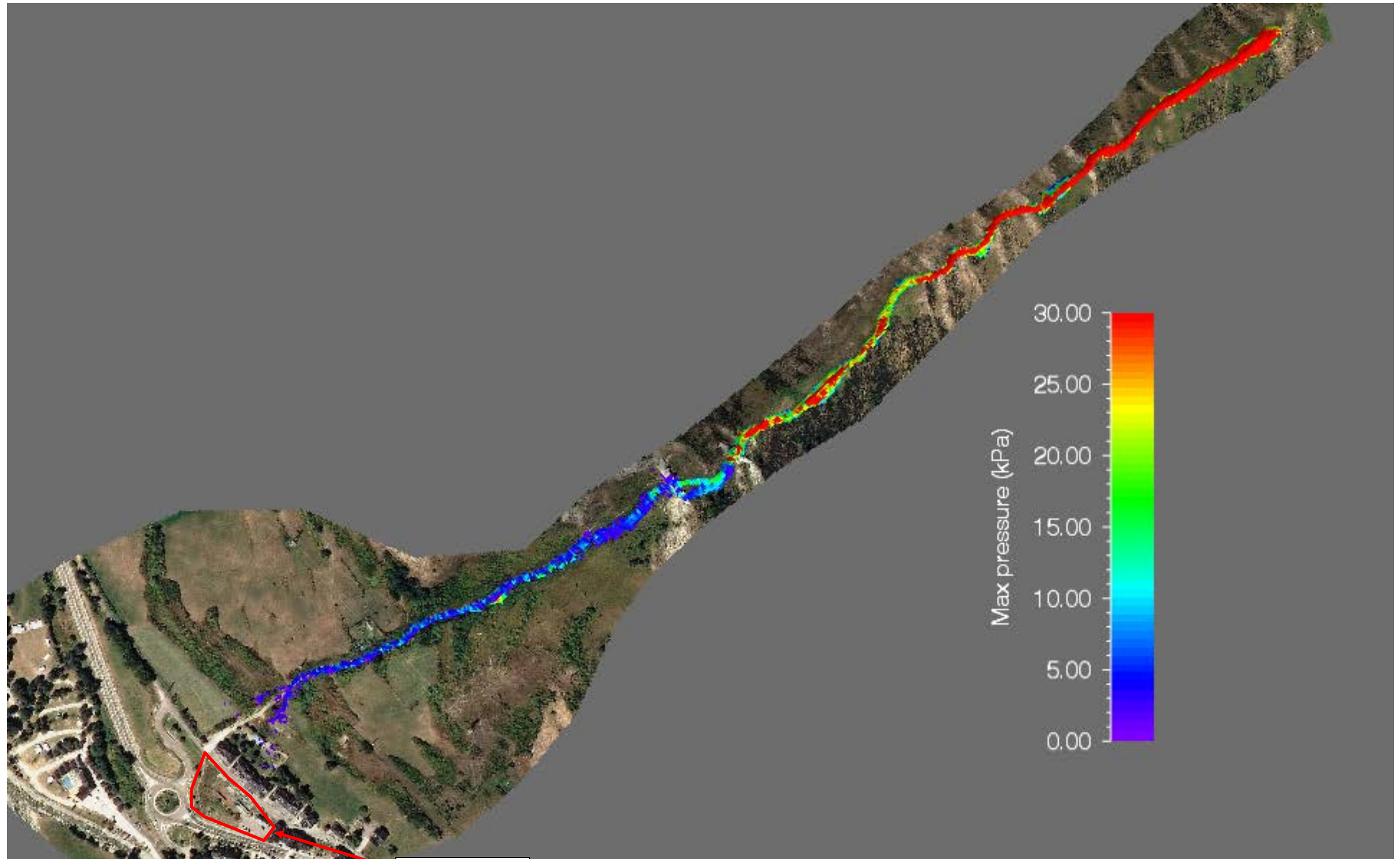
CALATS (m)



VELOCITATS (m/S)



PRESSIONS (Kpa)



Parcel·la d'estudi

7. Resultats escenari 1.3

TORRENT: Artigues, Escenari 1.3

Municipi: Naut Aran (Arties)

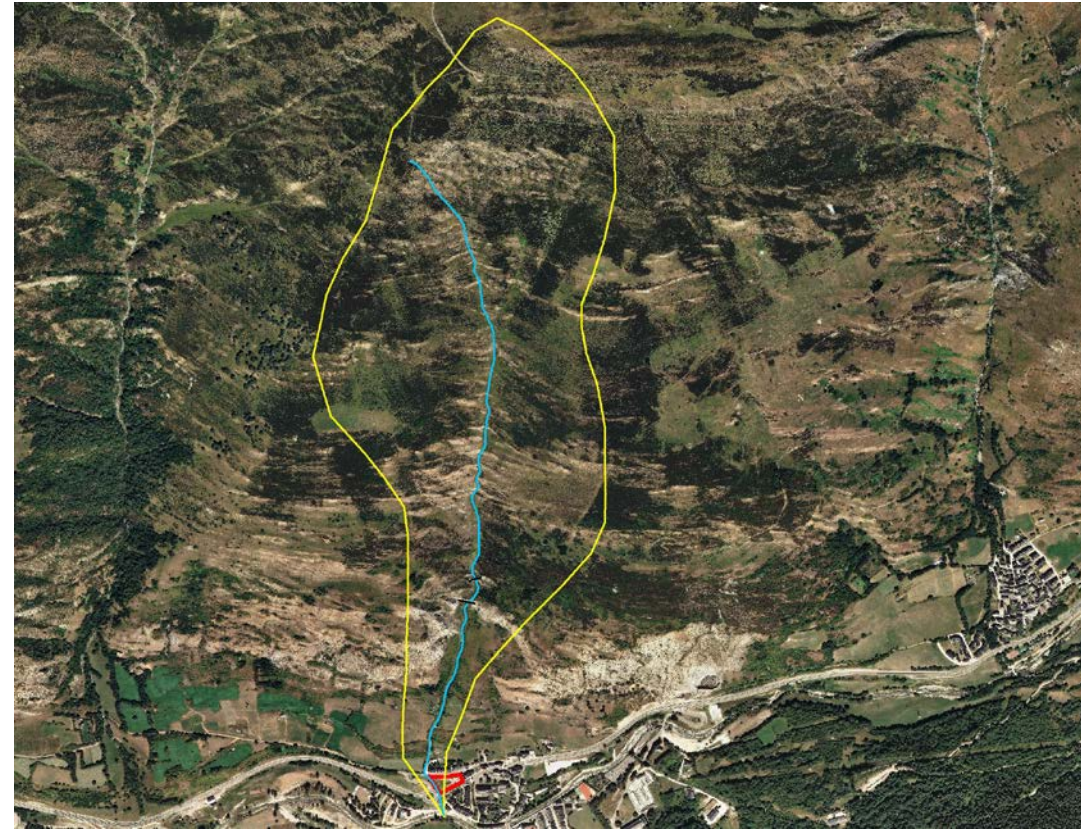
C.UTM: 31T 325573 4729779

MODEL: Debris flow

SOFTWARE: RAMMS

euroconsult

PLÀNOL DE SITUACIÓ I PUNTS DE SORTIDA:



PARÀMETRES DE CÀLCUL:

GENERAL SIMULATION PARAMETERS:

Simulation time (s): 1000.00
Dump interval (s): 5.00
Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5
Constant density (kg/m³): 1800
Lambda (): 1.0

NUMERICS:

Numerical scheme: SecondOrder
H cutoff (m): 0.000001
Curvature effects are ON!

RELEASE:

Depth: 1.20 m Vol: 467.1 m³
Depth: 1.20 m Vol: 904.7 m³
Estimated release volume: 1371.81 m³

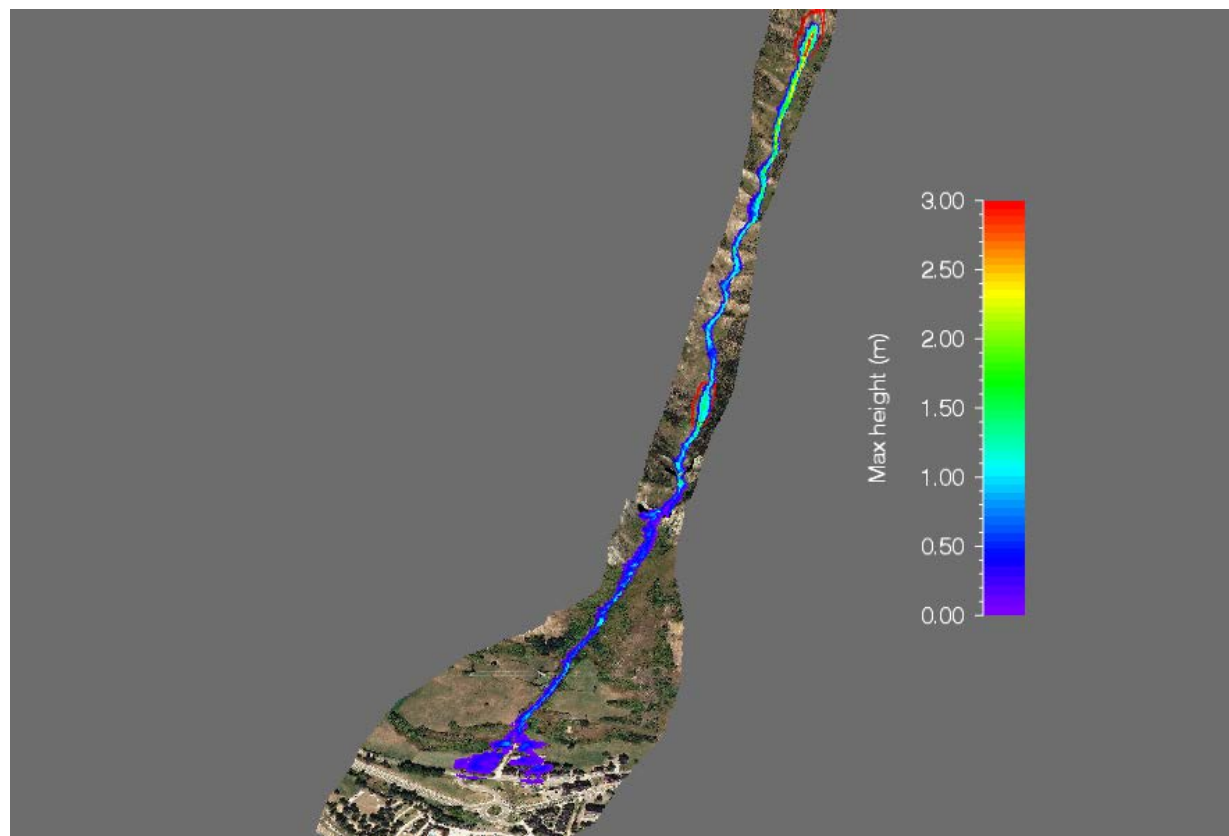
FRICCIÓN MUXI:

Mu (): 0.150
Xi (m/s²): 150

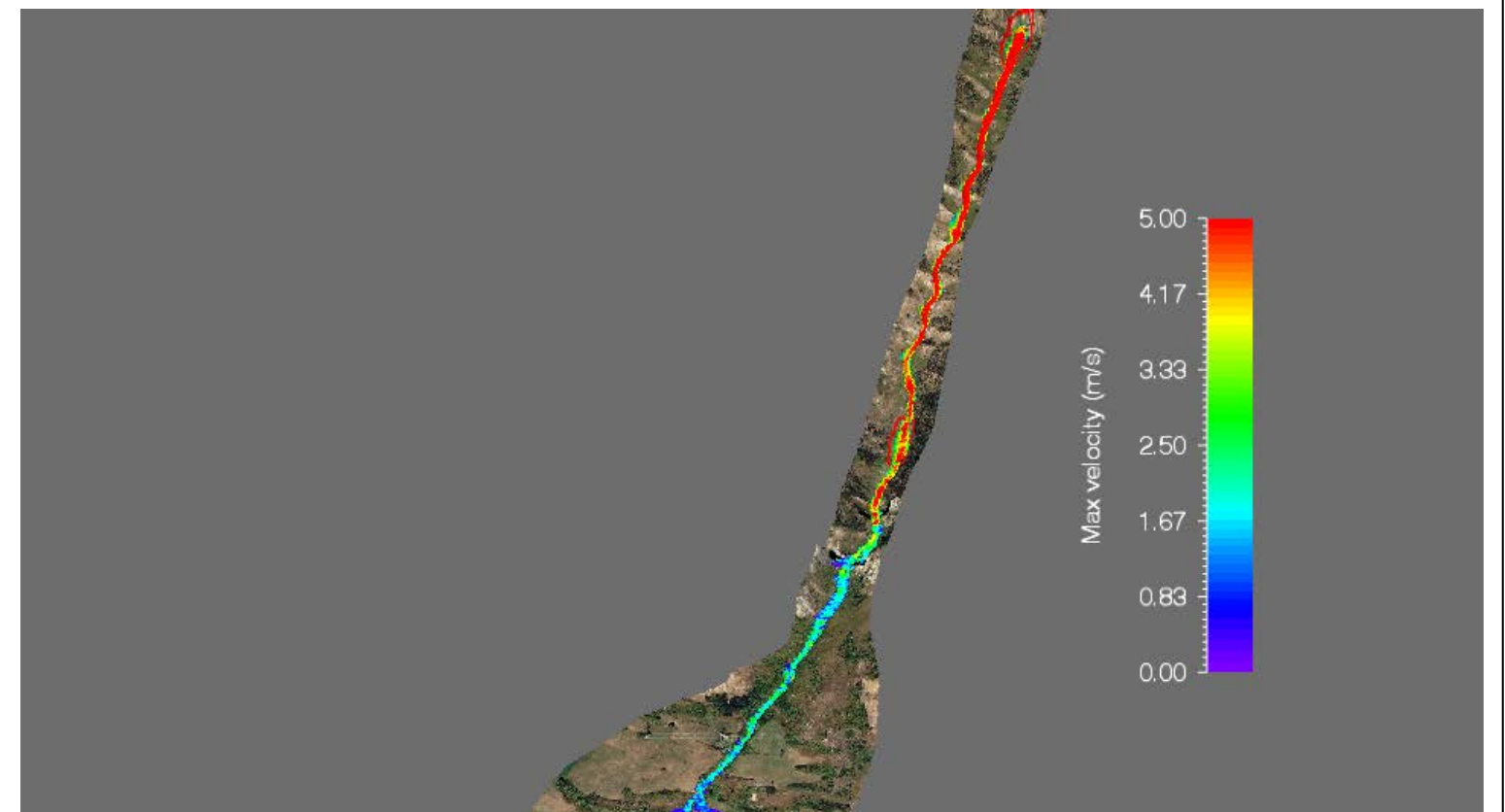
COHESION:

Cohesion value: 100.000 Pa

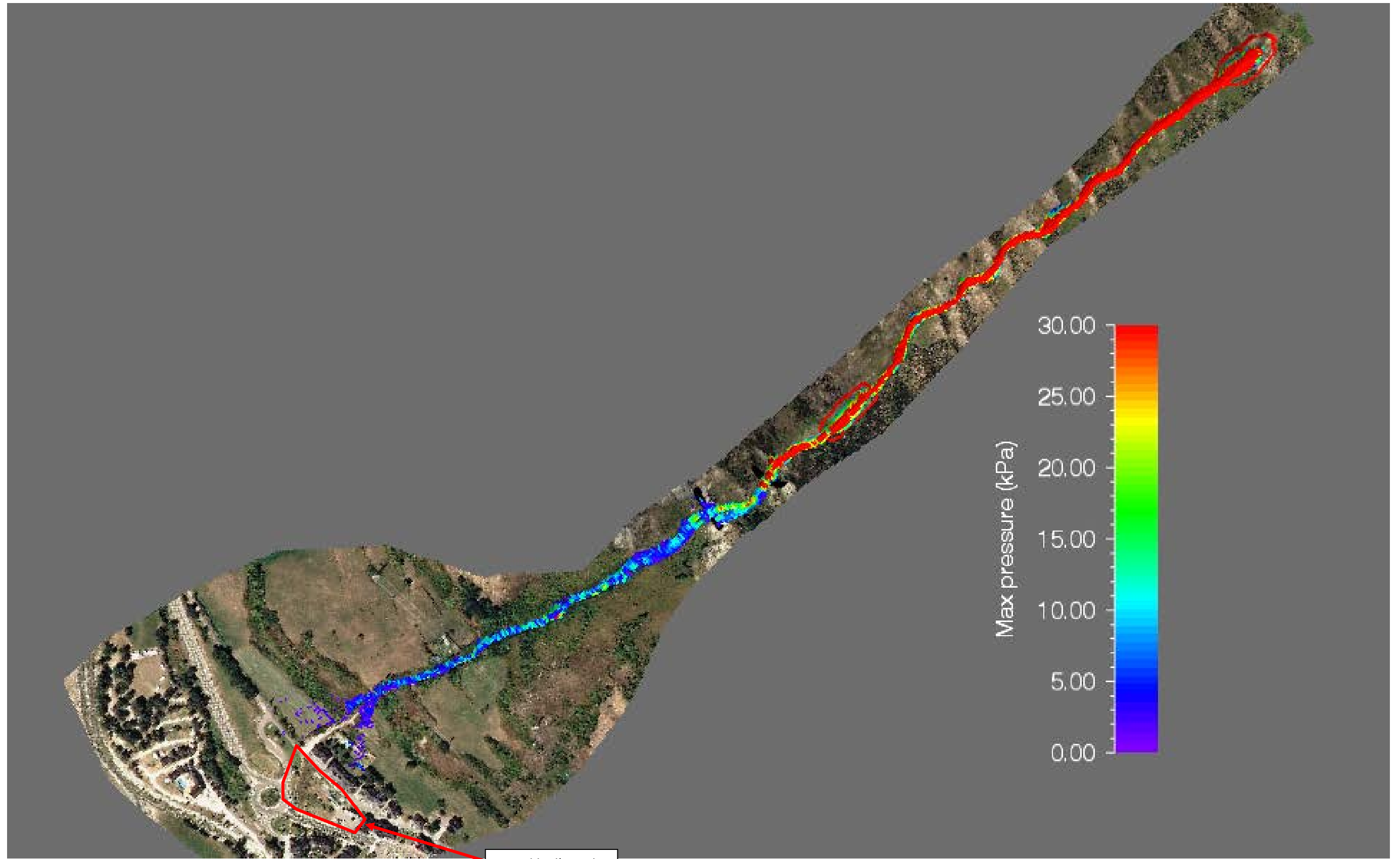
CALATS (m)



VELOCITATS (m/S)



PRESSIONS (Kpa)



Parcel·la d'estudi

ANNEX 2: RECULL FOTOGRAFIC CARTOGRAFIA CAMP

RECU LL FOTOGRÀFIC DE LA ZONA D'ESTUDI

























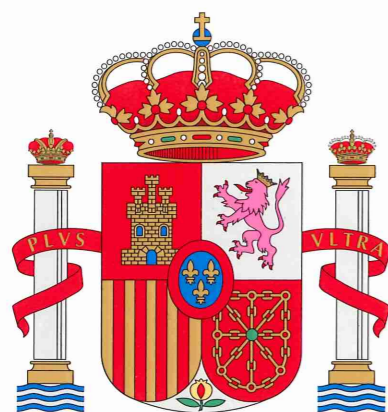








ANNEX 3: TITULACIONS REDACTORS ESTUDI



Juan Carlos I, Rey de España

i en nom seu el y en su nombre el

Rector de la Universitat de Barcelona



atès que, d'acord amb les disposicions i circumstàncies que preveu la legislació vigent,

considerando que, conforme a las disposiciones y circunstancias previstas por la legislación vigente,

Xavier Colell i Balletbò

que va néixer el dia 8 de setembre de 1983, a La Seu d'Urgell (Alt Urgell), de nacionalitat espanyola, ha superat els estudis universitaris corresponents, organitzats per la

nacido el día 8 de septiembre de 1983, en La Seu d'Urgell (Alt Urgell), de nacionalidad española, ha superado los estudios universitarios correspondientes, organizados por la

FACULTAT DE GEOLOGIA

segons un pla d'estudis homologat pel Consell d'Universitats, expedix aquest

conforme a un plan de estudios homologado por el Consejo de Universidades, expide el presente

TÍTOL UNIVERSITARI OFICIAL
de LLICENCIAT

TÍTULO UNIVERSITARIO OFICIAL
de LICENCIADO

en
GEOLOGIA

en
GEOLOGÍA

amb validesa a tot el territori nacional, que faculta la persona interessada per gaudir dels drets que les disposicions vigents atorguen a aquest títol.

con validez en todo el territorio nacional, que faculta al interesado para disfrutar los derechos que a este título otorgan las disposiciones vigentes.

Barcelona, 4 de setembre de 2008

Barcelona, 4 de septiembre de 2008

La persona interessada,

El Rector en funcions,

La Cap de Gestió Acadèmica,

Xavier Colell i Balletbò

Josep Samitier i Martí

M. Emília Castells Mentuy

1-BD-536608

Registro Nacional de Títulos	Código de CENTRO	Registro Universitario de Títulos
2009/101432	08032993	0903025





CLAVE ALFANUMERICA:
1-BD-536608

Nº REGISTRO NAL. DE TITULOS:
2009/101432

CODIGO DE CENTRO:
08032993

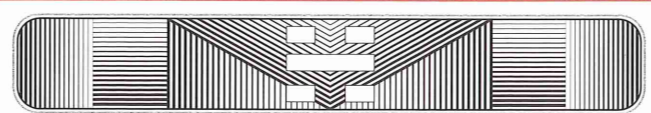
REGISTRO UNIV. DE TITULOS:
0903025

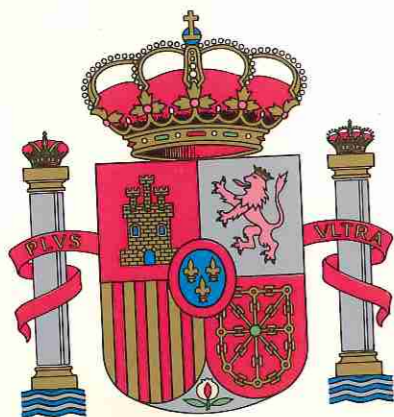
NRO.EXP.UNIV.
1030100202008
|||||

Revers del títol universitari oficial de
Licenciat en Geologia
expedit el dia 4 de setembre de 2008
a favor de Xavier Colell i Balletbò,
que el juny de 2008,
va superar els estudis conduents a l'esmentat títol
segons un pla d'estudis homologat
pel Consell d'Universitats ("BOE" 20/1/93).

Reverso del título universitario oficial de
Licenciado en Geología
expedido el día 4 de septiembre de 2008
a favor de Xavier Colell i Balletbò,
que superó, en junio de 2008,
los estudios conducentes al mencionado título
según un plan de estudios homologado
por el Consejo de Universidades ("B.O.E." 20/1/93).

La Cap de Gestió Acadèmica,
M. Emília Castells Mentuy





Juan Carlos I, Rey de España

y en su nombre el

Ministro de Educación y Ciencia



Considerando que, conforme a las disposiciones y circunstancias prevenidas por la actual legislación,

Don Juan Altimir Planes

nacido el 26 de mayo de 1964, en Seo de Urgel (Lérida),

ha hecho constar su suficiencia en la UNIVERSIDAD DE BARCELONA,

expide el presente

Título de Licenciado en Ciencias Geológicas
Sección: Geología Aplicada

que faculta al interesado para ejercer la profesión y disfrutar los derechos que a este grado le otorgan las disposiciones vigentes.

Dado en Madrid, a 25 de febrero de 1988

El Interesado,

Por el señor Ministro:
El Secretario de Estado de Universidades e Investigación,

El Jefe de la Sección,

Registro especial de la Sección de Títulos, número 1.577



Imprime ARTECO

SIGNE, S.A. Mod. 7.87

AA- 72187

UNIVERSIDAD DE BARCELONA
FACULTAD DE GEOLOGIA

Queda tomada razón de este Título
en el Negociado interesado registra-
do al folio 18 n.º 228
del Libro correspondiente.
EL SECRETARIO,



ANNEX 4: CERTIFICATS ISO

BUREAU VERITAS
Certification



Certificació

Concedida a

EUROCONSULT SA

CL MARIA PLA, 33, ESCALA C, 3r 2ª
AD 500 ANDORRA LA VELLA
ANDORRA

Bureau Veritas certifica que el Sistema de Gestió d'aquesta Organització ha estat auditat i trobat conforme amb les exigències de la norma:

NORMA

ISO 9001:2015

El Sistema de Gestió aplica a:

REALITZACIÓ DE PROJECTES, DIRECCIONS D'OBRA I ASSISTÈNCIES TÈCNIQUES D'OBRA CIVIL, REALITZACIÓ D'ESTUDIS HIDRÀULICS, ESTUDIS GEOLÒGICS I GEOTÈCNICS, ESTUDIS MEDIAMBIENTALS, ESTUDIS DE RISCOS GEOLÒGICS, AUSCULTACIONS DEL TERRENY I CONTROL DEL RISC. TREBALLS DE CONTROL DE PROSPECCIONS GEOLÒGIQUES I GEOTÈCNIQUES. REALITZACIÓ I ASSESSORAMENT EN PLANS D'EMERGÈNCIA I GESTIÓ D'EMERGÈNCIES RELACIONADES AMB RISCOS NATURALS. REALITZACIÓ DE CARTOGRAFIA I SISTEMES D'INFORMACIÓ GEOGRÀFICA (GIS).

Número de certificat

ES096231-1

Directora de Certificació

Aprovació original :

21/07/2009

Certificat vigent des de :

23/07/2018

Caducitat del certificat:

17/12/2019

Aquest certificat es troba subjecte als termes, condicions generals i particulars dels serveis de certificació

Entidad de Certificación: Bureau Veritas Iberia S.L.
C/ Valportillo Primera 22-24, Edificio Caoba, Pol. Ind. La Granja, 28108 Alcobendas - Madrid, Spain

ENAC
CERTIFICACIÓN
Nº 04/C-SC004

BUREAU VERITAS
Certification



Certificació

Concedida a

EUROCONSULT SA

CL MARIA PLA, 33, ESCALA C, 3r 2ª
AD 500 ANDORRA LA VELLA
ANDORRA

Bureau Veritas certifica que el Sistema de Gestió d'aquesta Organització ha estat auditat i trobat conforme amb les exigències de la norma:

NORMA

ISO 14001:2015

El Sistema de Gestió aplica a:

REALITZACIÓ DE PROJECTES, DIRECCIONS D'OBRA I ASSISTÈNCIES TÈCNIQUES D'OBRA CIVIL, REALITZACIÓ D'ESTUDIS HIDRÀULICS, ESTUDIS GEOLÒGICS I GEOTÈCNICS, ESTUDIS MEDIAMBIENTALS, ESTUDIS DE RISCOS GEOLÒGICS, AUSCULTACIONS DEL TERRENY I CONTROL DEL RISC. TREBALLS DE CONTROL DE PROSPECCIONS GEOLÒGIQUES I GEOTÈCNIQUES. REALITZACIÓ I ASSESSORAMENT EN PLANS D'EMERGÈNCIA I GESTIÓ D'EMERGÈNCIES RELACIONADES AMB RISCOS NATURALS. REALITZACIÓ DE CARTOGRAFIA I SISTEMES D'INFORMACIÓ GEOGRÀFICA (GIS).

Número de certificat

ES096232-1

Directora de Certificació

Aprovació original :

17/12/2010

Certificat vigent des de :

23/07/2018

Caducitat del certificat:

17/12/2019

Aquest certificat es troba subjecte als termes, condicions generals i particulars dels serveis de certificació

Entidad de Certificación: Bureau Veritas Iberia S.L.
C/ Valportillo Primera 22-24, Edificio Caoba, Pol. Ind. La Granja, 28108 Alcobendas - Madrid, Spain

ENAC
CERTIFICACIÓN
Nº 03/C-MA007

BUREAU VERITAS
Certification



Certificació

Concedida a

EUROCONSULT SA

CL MARIA PLA, 33, ESCALA C, 3R 2A
AD 500 ANDORRA LA VELLA
ANDORRA

Bureau Veritas certifica que el Sistema de Gestió d'aquesta Organització ha estat auditat i trobat conforme amb les exigències de la norma:

NORMA

OHSAS 18001:2007

El Sistema de Gestió aplica a:

REALITZACIÓ DE PROJECTES, DIRECCIONS D'OBRA I ASSISTÈNCIES TÈCNiques D'OBRA CIVIL, REALITZACIÓ D'ESTUDIS HIDRÀULICS, ESTUDIS GEOLÒGICS I GEOTÈCNICS, ESTUDIS MEDIAMBIENTALS, ESTUDIS DE RISCOS GEOLÒGICS, AUSCULTACIONS DEL TERRENY I CONTROL DEL RISC. TREBALLS DE CONTROL DE PROSPECCIONS GEOLÒGiques I GEOTÈCNiques. REALITZACIÓ I ASSESSORAMENT EN PLANS D'EMERGÈNCIA I GESTIÓ D'EMERGÈNCIES RELACIONADES AMB RISCOS NATURALS. REALITZACIÓ DE CARTOGRAFIA I SISTEMES D'INFORMACIÓ GEOGRÀFICA (GIS).

Número de certificat

ES074317-1

Directora de Certificación / Certification
Manager

Aprovació original :

21/07/2009

Certificat vigent des de :

24/11/2016

Caducitat del certificat:

23/11/2019

Aquest certificat es troba subjecte als termes, condicions generals i particulars dels serveis de certificació