



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

**Análisis morfológico de una cuenca
torrencial mediante datos de alta
resolución de dron
Aplicación a la cuenca el
Rebaixader (Pirineo Central)**

Treball realitzat per:

Moisés Muñoz García

Dirigit per :

Marcel Hürlimann

Grau en :

Enginyeria Geològica

Barcelona, 14/06/2018

ETCG

Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica

TREBALL FINAL DE GRAU

Índice de contenido

Índice de contenido.....	2
Índice de tablas	4
Índice de figuras	4
Agradecimientos.....	6
Resumen	7
Resum	8
Abstract.....	9
1 introducción	10
1.1 Problemática	10
1.2 Objetivos.....	10
1.3 Estructura del trabajo.....	10
2: Estado del arte, los movimientos de masa.....	11
2.1 Definición de movimiento de masa	11
2.2 Clasificación de los movimientos de masa.....	12
2.3 Clasificación de Varnes (1978)	12
2.4 Los diferentes movimientos de masa.....	13
2.4.1 Desprendimientos o caídas	13
2.4.2 Vuelcos(toppling)	14
2.4.3 Deslizamientos (slides).....	15
2.4.4 Expansiones laterales (Lateral spreads).....	16
2.4.5 Flujos (Flows).....	17
2.6 Corriente de derrubios (Debris Flow).....	19
2.6.1 Granulometría de un Derbis Flow	20
2.6.2. Estructura de un Derbis Flow	20
3 La zona de estudio	22
3.1 Situación Geográfica	22
3.2Relieve	23
3.3 Climatología	23
3.4Climatología y Derbis Flow	24
3.5 Geología	25
4 Método de estudio	26
4.1 El dron	26
4.2 Datos obtenidos	27
4.2.1Ortofotos.....	27

4.2.2DEM	28
4.3 QGIS	29
4.3.1¿Qué es Qgis?	29
4.3.2Desarrollo	29
4.3.3 Características.....	29
4.4Tareas realizadas con Qgis	30
4.4.1 Control de calidad de los datos obtenidos	30
4.4.2 Determinación de las unidades geomorfológicas	31
4.4.3 Creación perfil topográfico.....	32
4.4.4 Hallazgo de zonas de erosión y acumulación	32
4.4.5 Estudio de pendientes	33
4.4.6 Índice de irregularidad del terreno.....	34
4.4.7Calculo de volumen de material movlizado	35
4.4.8 Cartografía de elementos notorios	37
4.4.9Calculo de estadísticas zonales.....	38
4.4.10Clip de los datos	39
4.5 Creación de diseños de impresión	40
5Resultados.....	42
5.1Puntos de control	42
5.2 Unidades geomorfológicas	43
5.2.1Cono de deyección.....	43
5.2.2 Canal.....	44
5.2.3 Escarpe.....	45
5.1.4 Unión de zonas	46
5.2 Perfiles Topográficos.....	47
5.3 Zonas de erosión y acumulación	51
5.4 Mapa de pendientes	54
5.5 Índice de irregularidad.....	59
5.6 Volumen movlizado	60
5.7 Cartografía de elementos notorios.....	61
5.7.1 Barreras.....	61
5.7.2 Depósito de Till	62
5.7.3 Bloques	63
6Conclusiones.....	66
7Bibliografía.....	68

Índice de tablas

Tabla 1: Área de las diferentes unidades geomorfológicas	43
Tabla 2: Estadísticas de la pendiente en cada zona	58
Tabla 3: Estadísticas del índice de irregularidad en el escarpe	59
Tabla 4: Resultado de volumen movilizado	60

Índice de figuras

Figura 1 Movimientos de masa con rotura más comunes; Fuente USGS (2008).....	11
Figura 2:Tipos de movimientos de masa de acuerdo con Varnes (1978).....	12
Figura 3 Mecanismos de desprendimiento y colapso (Corominas y García Yagüe, 1997).....	13
Figura 4 Mecanismos de vuelco (Corominas y García Yagüe, 1997).....	14
Figura 5 Deslizamiento rotacional (Corominas y García Yagüe,1997)	15
Figura 6 :Resbalamiento (Corominas y García Yagüe,1997).....	15
Figura 7: Expansión lateral por extrusión (Corominas y García Yagüe,1997)	16
Figura 8: Expansión lateral por licuefacción (Corominas y García Yagüe,1997).....	16
Figura 9:Relación entre flujo de agua y sedimento (Pierson y Costa,1987)	17
Figura 10: Reptación y soliflucción (Corominas y García Yagüe,1997).....	18
Figura 11: Colada de tierra (Corominas y García Yagüe,1997).....	18
Figura 12: Debris Flow (Corominas y García Yagüe, 1997)	19
Figura 13: Características geotécnicas de un Debris Flow (Corominas 1996).....	19
Figura 14: Distribución granulométrica de las corrientes de derrubios y de las coladas de barro ..	20
Figura 15: Pendientes de la zona de salida y de la zona de acumulación de corrientes de derrubios y sus velocidades (Corominas, 1996).	21
Figura 16: Estructura de un Debris Flow.....	21
Figura 17: Situación de la Alta Ribagorça en Catalunya(Wikipedia)	22
Figura 18: Localización de Senet; Fuente ICGC.....	22
Figura 19:Climograma en Vilaller Fuente: CLIMATE-DATA.ORG	23
Figura 20: Corte geológico W-E en Senet; (Bordonau 1992, modificado de Vilaplana 1983).....	25
Figura 21:DJI Inspire Zenmuse X5 PRO	26
Figura 22:Ortofotos utilizadas en el trabajo	27
Figura 23 Modelos DEM utilizados en el trabajo, las curvas de nivel se sitúan cada 5 metros	28
Figura 24:Red de puntos de control utilizada	30
Figura 25:Creación de las unidades geomorfológica	31
Figura 26:Utilización del complemento Profile Tool.....	32
Figura 27:Creación del mapa de pendientes	33
Figura 28 Obtención del índice de irregularidad el terreno fuente: Francisco J, (2010).....	34
Figura 29:Uso de la calculadora ráster para calcular el volumen.....	35
Figura 30:funcionamiento estadísticas zonales ráster	38
Figura 31: Utilización del comando Clipper	39
Figura 32:Ubicación del diseñador de imágenes de Qgis.....	40
Figura 33:Aspecto del diseñador de imágenes de Qgis	41
Figura 34:Variación en metros en los puntos de control situados en la carretera	42
Figura 35:Variación en metros en los puntos de control situados en la roca aflorante	42
Figura 36:Variación en metros en los puntos de control situados en el escarpe	42
Figura 37: Plantilla correspondiente a los tres canales de desagüe	43
Figura 38: Plantilla del canal	44
Figura 39: Plantilla del Escarpe(izquierda) y de la zona vegetada que vamos a eliminar(derecha)	45
Figura 40:Plantilla final de la zona del escarpe	45
Figura 41: Unión de plantillas sobre la ortofoto del 2016.....	46
Figura 42:Localización de los perfiles topográficos.....	47

Figura 43:Localización perfiles topográficos	47
Figura 44:Perfil longitudinal	48
Figura 45:Perfil 1.....	48
Figura 46:Perfil 2.....	49
Figura 47:Perfil 3.....	49
Figura 48:Perfil 4.....	49
Figura 49:Perfil 5.....	50
Figura 50:Perfil 6.....	50
Figura 51:Perfil 7.....	50
Figura 52:Mapa de erosión y sedimentación en metros	51
Figura 53:Mapa de variación del terreno en metros en la zona del escarpe.....	52
Figura 54:Variación del terreno en metros en el canal.....	53
Figura 55:Variación del terreno en metros en los canales de deyección.....	53
Figura 56:Mapa general de pendientes basado en el DEM 2017	54
Figura 57:Mapa de pendientes en la unidad del escarpe.	55
Figura 58:Zoom 1 en el mapa de pendientes	56
Figura 59:Zoom 2 del mapa de pendientes, detalles de la cicatriz.....	56
Figura 60;Zoom 3 del mapa de pendientes, errores provocados por la vegetación.....	57
Figura 61:Barreras encontradas en el cono de deyección.....	61
Figura 62:Depósito de Till en la unidad del escarpe, reflejado sobre el mapa de erosión/ acumulación.....	62
Figura 63:Algunos bloques localizados en el escarpe	63
Figura 64:Bloques caídos en el periodo de estudio	64
Figura 65:Bloque depositado en el periodo de estudio.....	64
Figura 66:Bloques inmóviles.....	65

Agradecimientos

A mis padres por realizar la inversión de futuro que es pagarle los estudios universitarios a un hijo.

A mi prima Irene que nació al mismo tiempo que yo empecé esta maravillosa carrera.

A mis amigos de toda la vida, Àlvar y Raúl, a los que me une una amistad desde que tengo conciencia.

A los amigos que he conocido en mis estudios universitarios, en especial a Ignasi Solà, Jordi Soldevila y Miquel Àngel Serra.

A Guillermo Valles y a Miguel Fernández Bimbo por recomendarme realizar un trabajo con el profesor Marcel Hürlimann Ziegler.

A mi ciudad, Cornellà de Llobregat y a la ciudad que me acogió durante un año, Oporto.

A las personas esparcidas por el globo que conocí en mi año fuera de casa, en especial a los compañeros de la residencia Joy907 por darme a conocer diferentes formas de ver el mundo.

“Ajde Moki”

En macedonio: Vamos Moisés, tú puedes.

Resumen

En las últimas décadas, las actividades deportivas y lúdicas realizadas en los Pirineos, tanto en invierno (deportes de nieve) como en verano (senderismo, bicicleta, etcétera) han aumentado considerablemente, consecuentemente llevando a un aumento de las infraestructuras construidas en zonas de montaña, como pueden ser carreteras, instalaciones de transporte por cable, y equipamientos turísticos como hoteles, cafeterías y zonas de acampada.

El aumento de estas actividades e infraestructuras ha expuesto de mayor manera a la sociedad a diferentes riesgos propios de dichas zonas, riesgos como las avalanchas o los aludes que causan diferentes daños, tanto a las personas como a las infraestructuras.

Es por dicha razón que la sociedad necesita mantener un mayor control respecto a dichos riesgos, para prever la ocurrencia de tales eventos como puede ser la creación de mapas de riesgo, o la auscultación de dichas zonas, tomar las medidas necesarias para proteger tanto a las personas como a los bienes materiales.

El siguiente trabajo se centra en el primer caso del anterior párrafo, monitorizar un movimiento de masa, en una zona del pirineo catalán, que es utilizada como zona de ensayo de nuevas técnicas o un gran laboratorio para conocer más sobre los movimientos de masa, puesto que la zona estudiada no representa un alto riesgo tanto para las personas como para los bienes materiales, dado que no es de acceso al público en general y no afecta a ninguna infraestructura de importancia esta zona dispone de varios sistemas de control, como geófonos y cámaras.

El trabajo se centra en el uso de una técnica de implementación reciente, el uso de drones para una toma de datos de alta resolución relativamente rápida y sencilla. La toma de datos fue realizada consiste en ortofotos y modelos digitales del terreno, estos datos han sido obtenidos por el departamento de Ingeniería del terreno de la Escola de Camins de la UPC.

Tales datos serán operados mediante un software SIG de licencia gratuita, QGIS, para su posterior análisis. El objetivo de tales análisis es establecer diferentes técnicas para determinar la evolución geomorfológica de un movimiento de masa.

En estos análisis se buscará conocer la erosión de la cuenca, el volumen de material movilizado, la evolución de la pendiente con su índice de irregularidad, la creación de perfiles topográficos para conocer la morfología de la cuenca y una breve comprobación visual, todo con el objetivo de determinar la evolución de la morfología de la cuenca del Rebaixader.

Resum

En les últimes dècades, les activitats esportives i lúdiques realitzades als Pirineus, tant a l'hivern (esports de neu) com a l'estiu (senderisme, bicicleta, etcètera) han augmentat considerablement, conseqüentment portant a un augment de les infraestructures construïdes en zones de muntanya, com poden ser carreteres, instal·lacions de transport per cable, i equipaments turístics com a hotels, cafeteries i zones d'acampada.

L'augment d'aquestes activitats i infraestructures ha exposat de major manera a la societat a diferents riscos propis d'aquestes zones, riscos com els devessalls o les allaus que causen diferents danys, tant a les persones com a les infraestructures.

És per aquesta raó que la societat necessita mantenir un major control respecte a aquests riscos, per preveure l'ocurrència de tals esdeveniments com pot ser la creació de mapes de risc, o l'auscultació d'aquestes zones, prendre les mesures necessàries per protegir tant a les persones com als béns materials.

El següent treball se centra en el primer cas de l'anterior paràgraf, monitoritzar un moviment de massa, en una zona dels pirineus català, que és utilitzada com a zona d'assaig de noves tècniques o un gran laboratori per conèixer més sobre els moviments de massa, ja que la zona estudiada no representa un alt risc tant per a les persones com per als béns materials, atès que no és d'accés al públic en general i no afecta a cap infraestructura d'importància aquesta zona disposa de diversos sistemes de control, com geòfons i càmeres.

El treball se centra en l'ús d'una tècnica d'implementació recent, l'ús de drons per a una presa de dades d'alta resolució relativament ràpida i senzilla. La presa de dades va ser realitzada consisteix en ortofotos i models digitals del terreny, aquestes dades han estat obtinguts pel departament d'Enginyeria del terreny de la Escola de Camins de la UPC.

Tals dades seran operats mitjançant un programari SIG de llicència gratuïta, QGIS, per a la seva posterior anàlisi. L'objectiu de tals anàlisis és establir diferents tècniques per determinar l'evolució geomorfològica d'un moviment de massa.

En aquestes anàlisis es buscarà conèixer l'erosió de la conca, el volum de material mobilitzat, l'evolució del pendent amb el seu índex d'irregularitat, la creació de perfils topogràfics per conèixer la morfologia de la conca i una breu comprovació visual, tot amb l'objectiu de determinar l'evolució de la morfologia de la conca del Rebaixader.

Abstract

In the last decades, the sporting and recreational activities carried out in the Pyrenees, both in winter (snow sports) and summer (hiking, biking, etc.) have increased considerably, resulting in an increase in the infrastructures built in mountain areas, such as roads, cable transport facilities, and tourist facilities such as hotels, cafes and camping areas.

The increase of these activities and infrastructures has exposed the society in a greater way to different risks from these areas, risks such as avalanches or avalanches that cause different damages, both to people and to infrastructures.

It is for this reason that society needs to maintain greater control over these risks, to predict the occurrence of such events, such as the creation of risk maps, or the auscultation of these areas, to take the necessary measures to protect both people and material goods.

The following work focuses on the first case of the previous paragraph, monitoring a mass movement, in an area of the Catalan Pyrenees, which is used as a zone of testing of new techniques or a large laboratory to know more about the movements of mass, since the area studied does not represent a high risk for both people and for material goods, since it is not accessible to the general public and does not affect any infrastructure of importance, this area has several systems of control, like geophones and cameras.

The work focuses on the use of a technique of recent implementation, the use of drones for a high-speed data capture relatively fast and simple. The data collection was carried out consists of orthophotos and digital terrain models, these data have been obtained by the Department of Engineering of the field of the School of Civil engineering of the UPC.

Such data will be operated through a free license GIS software, QGIS, for later analysis. The objective of such analyzes is to establish different techniques to determine the geomorphological evolution of a mass movement.

In these analyzes, the erosion of the basin, the volume of material mobilized, the evolution of the slope with its irregularity index, the creation of topographic profiles to know the morphology of the basin and a brief visual check, all with the aim of determining the evolution of the morphology of the Rebaixader basin.

1 introducción

1.1 Problemática

Las zonas montañosas están expuestas a varios riesgos geológicos, siendo uno de los más comunes, son los movimientos del terreno en sus diferentes aspectos (caídas, flujos, desprendimientos...)

El reciente desarrollo de infraestructuras y actividades en estas zonas, como el turismo, muchas veces sin un control de riesgos adecuado, ha originado incidentes catastróficos debido al desconocimiento de tales riesgos (construcción en zonas de alto riesgo) como la riada del Camping de las Nieves, en la que murieron 87 personas y 183 resultaron heridas.

Existen varios casos desgraciadamente notorios, como la tragedia de Vargas (Venezuela 15 de diciembre de 1999) en la que murieron más de 10.000 personas debido a unos movimientos de tierras y detritos provocados por unas precipitaciones inusualmente altas.

Lamentablemente dos personas fallecieron en el Pallars a consecuencia de una avalancha mientras transcurría la elaboración de este proyecto.

La ocurrencia de estos sucesos es imprevisible, puesto que suceden sin previo aviso, aunque estén vinculados a precipitaciones intensas, y una vez se inician, suceden a gran velocidad, haciendo muy difícil cualquier reacción eficaz.

Esta velocidad crea la necesidad de establecer planes de contención previos a la catástrofe para tomar las medidas necesarias para minimizar el riesgo de ocurrencia de tales eventos

1.2 Objetivos

Esta tesina tiene como objetivo principal, realizar un análisis de la evolución de la cuenca del Rebaixader, situada en la Alta Ribagorça, entre los años 2016 y 2017 mediante el uso de software GIS (geographic information system) y datos de alta resolución obtenidos mediante el uso de drones, utilizando varias metodologías de procesado de datos para su posterior análisis de resultados, estableciendo correlación entre las distintas técnicas utilizadas.

La tesina busca desarrollar y evaluar diferentes procedimientos que permiten evaluar la evolución de la cuenca torrencial mediante el uso de software de cartografía digital y demostrar la utilidad de los drones para aplicaciones civiles.

1.3 Estructura del trabajo

El primer apartado, conocido como “Estado del arte, los movimientos de masa”, nos dará una breve introducción sobre los diferentes movimientos de masa y su clasificación, para acabar dando una explicación más extensa de los Debris Flow.

El siguiente apartado, conocido como “La zona de estudio” proporcionará la información esencial de la zona en la que se desarrolla el proyecto, a nivel de clima, relieve, geografía y geología.

Seguidamente nos encontraremos con el apartado “método de estudio” en el que se detallarán los datos a partir de los que se desarrolla el estudio, los medios con los que se han obtenido, como es el software con el que vamos a tratar los datos, y las operaciones realizadas con los datos.

En los apartados finales “Resultados y conclusiones” se presentarán los resultados obtenidos en el apartado anterior y su interpretación

2: Estado del arte, los movimientos de masa

2.1 Definición de movimiento de masa

Debido a la naturaleza compleja de los movimientos de masa no existe una única definición. Esencialmente un movimiento de masa es la definición básica de la cual parten el resto de las definiciones es la siguiente:

Movimiento en sentido descendente de roca, suelos y materiales orgánicos, originados por la acción de la gravedad, condicionado por la topografía .

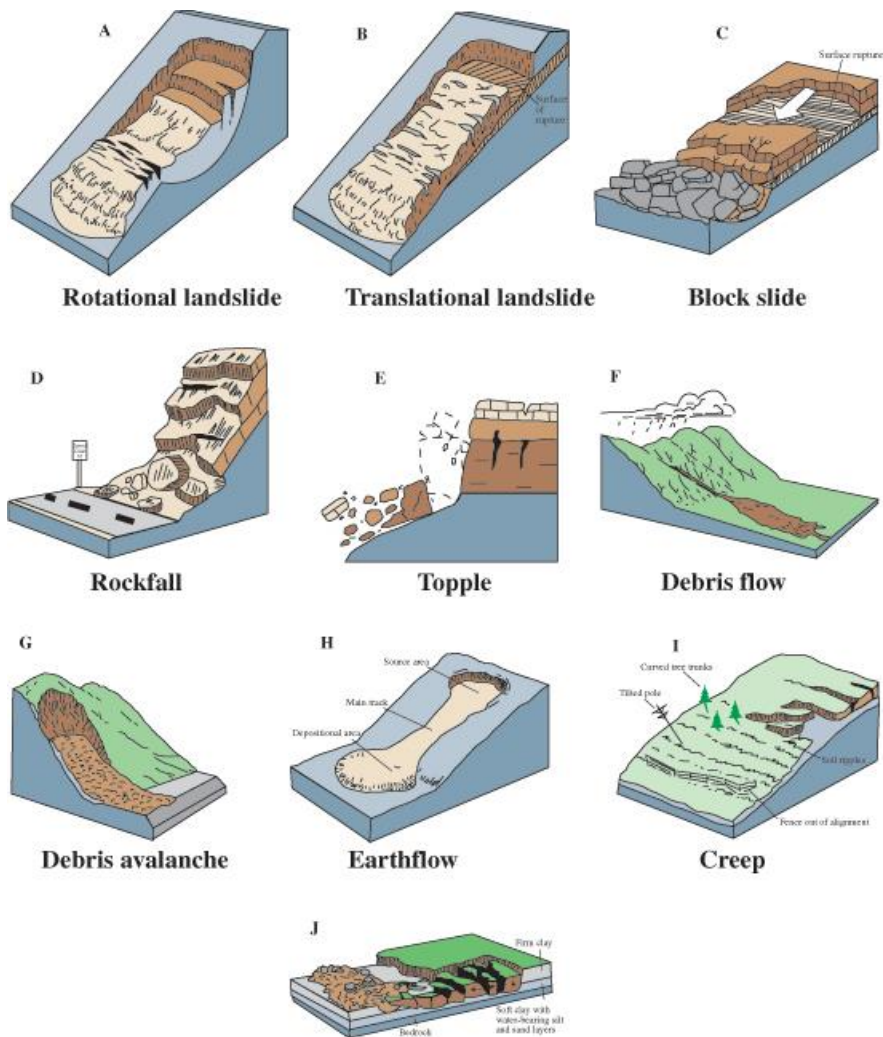


Figura 1 Movimientos de masa con rotura más comunes; Fuente USGS (2008)

2.2 Clasificación de los movimientos de masa

Debido a la complejidad de los movimientos de masa, que impide que exista una única definición, varios autores han tratado de clasificar dichos movimientos, siendo la primera clasificación la de Sharpe (1938), Nemcok (1972), Hutchinson (1988), Sassa (1989), Dikau et al. (1996). Siendo la clasificación de Varnes, originalmente fechada en 1958, mejorada en 1978 y en 1996 con Cruden una de las más comunes y la utilizada en la realización de este trabajo

2.3 Clasificación de Varnes (1978)

Según Varnes (1978) Podemos clasificar los movimientos de masa por dos parámetros

- El tipo de material
- El tipo de movimiento

Los materiales son identificados como los siguientes:

- Roca: material duro que estaba intacto y en su estado natural en el origen del movimiento
- Suelo: agregado de partículas sólidas formados por minerales y fragmentos de roca que fueron transportados a su actual emplazamiento, los gases y líquidos forman parte de este debido a que presenta porosidad
- Tierra: material agregado cuyas partículas tienen un tamaño inferior a 2mm
- Barro: material en el que el 80% de las partículas tienen un tamaño inferior a 0.06mm
- Derbis: tiene una gran distribución granulométrica, entre el 20-80% de las partículas tienen un tamaño superior a los 2mm y las restantes menos de 2mm

Los tipos de movimientos son identificados como los siguientes:

- Desprendimientos
- Vuelcos
- Deslizamientos
- Extensiones laterales
- Flujos

La combinación de varios movimientos da origen a movimientos complejos.

La unión de los parámetros de materiales y tipos de movimiento da como origen a la clasificación de Varnes.

TYPE OF MOVEMENT		TYPE OF MATERIAL		
		BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
			Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS		Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES		Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	Rock slide	Debris slide	Earth slide
	TRANSLATIONAL			
LATERAL SPREADS		Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS		Rock flow (deep creep)	Debris flow	Earth flow (soil creep)
COMPLEX		Combination of two or more principal types of movement		

Figura 2: Tipos de movimientos de masa de acuerdo con Varnes (1978)

2.4 Los diferentes movimientos de masa

2.4.1 Desprendimientos o caídas

Movimiento veloz en caída libre seguidos de un posible rebote o rodadura, originado por la separación de suelo o roca en un acantilado o pared inclinados los materiales pueden disgregarse debido a los impactos originando acumulaciones de materiales al pie de los escarpes rocosos. Estas acumulaciones de acuerdo con (Van Steijn et al. 1988) pueden originar corrientes de derrubios (Debris Flow).

Los autores García Yagüe y García Álvarez definieron el termino colapso en 1988. Se puede considerar como colapso al desprendimiento con una trayectoria vertical desarrollado en acantilados por la socavación originada por un rio, el oleaje o la meteorización y disgregación de las rocas de la sección inferior

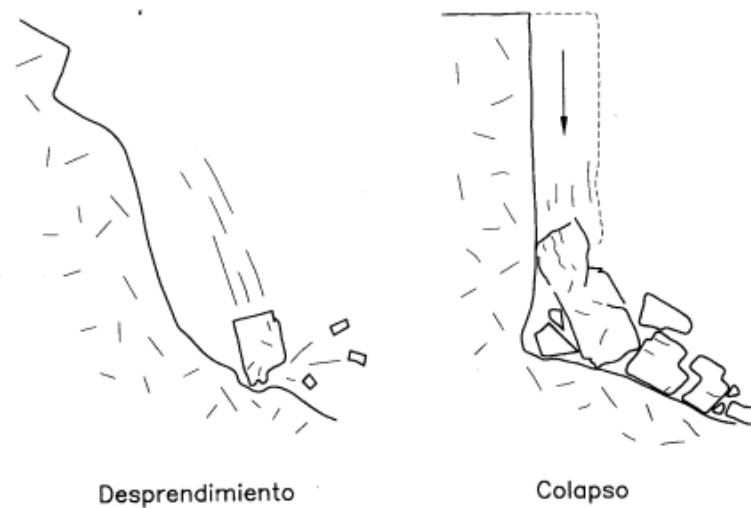


Figura 3 Mecanismos de desprendimiento y colapso (Corominas y García Yagüe, 1997)

2.4.2 Vuelcos(toppling)

Podemos definir como vuelco al movimiento hacia el exterior alrededor de un eje situado por debajo del centro de gravedad, en este movimiento de masa interviene tanto la acción de la gravedad como el empuje del propio terreno y los fluidos

Se deben distinguir dos tipos de vuelcos:

2.4.2.1 Vuelco por flexión (*flexural toppling*)

Movimiento característico en filita, pizarras, esquistos y en estructuras sedimentarias rítmicas como el flysch, dichos materiales presentan un sistema de discontinuidades en su propia naturaleza formando formando vigas semicontinuas en cornisa (Goodman y Bray, 1976), tales columnas sufren roturas por flexión al doblarse en dirección al exterior de la cornisa.

2.4.2.2 Desplome

Giro brusco de la parte movida en bordes verticales, su naturaleza puede ser tanto rocosa como de suelos compactados.

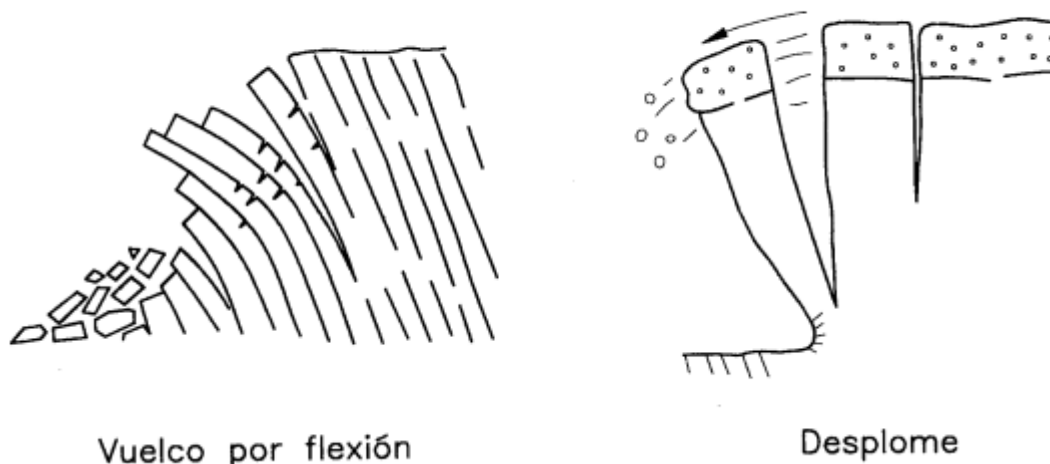


Figura 4 Mecanismos de vuelco (Corominas y García Yagüe, 1997)

2.4.3 Deslizamientos (slides)

Movimiento que ocurre tanto en suelo como roca, en el que se ven involucradas una o más superficies de ruptura, también pueden producirse en zonas con intensa deformación de cizalla. Consecuentemente estos movimientos presentan superficies de rotura definidas y cierta conservación de la masa que ha sido desplazada.

Podremos distinguir dos tipos de deslizamientos: Rotacionales y traslacionales, es importante diferenciarlos para tomar medidas de prevención y control de dichos sucesos.

2.4.3.1 Deslizamientos rotacionales (*rotational slides, slumps*)

La superficie de ruptura presenta una forma curva y cóncava, la posición de esta superficie de ruptura genera un giro cuyo eje se sitúa por encima del centro de gravedad.

Este movimiento es habitual en suelos cohesivos homogéneos y en macizos rocosos con una alta fracturación. En caso de suelos arcillosos es posible que este movimiento evolucione en coladas de tierra.

Es importante conocer que los deslizamientos rotacionales pueden reactivarse, este hecho es debido a que el movimiento se estabiliza por la disminución de momento de giro, pero un cambio en las condiciones del deslizamiento puede volver a aumentar el momento de giro



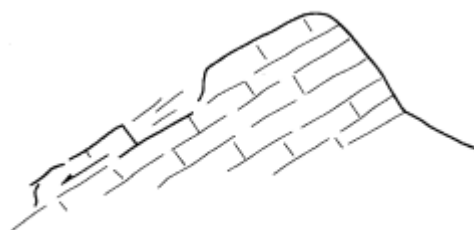
Deslizamiento rotacional

Figura 5 Deslizamiento rotacional
(Corominas y García Yagüe,1997)

2.4.3.2 Deslizamientos traslacionales

En este caso, la superficie de ruptura presenta una geometría plana, de tal forma que la masa de desliza (Hoek y Bray, 1981) o resbala (García Yagüe, 1966) por dicho plano.

Al coincidir dos planos de deslizamientos se originan deslizamientos en cuña, dichas roturas no presentan elevados volúmenes



Resbalamiento

Figura 6 :Resbalamiento (Corominas y
García Yagüe,1997)

2.4.4 Expansiones laterales (Lateral spreads)

Varnes distinguió dos tipos diferentes de expansiones laterales.

- Por licuefacción de la capa inferior:
Debido a una sacudida sísmica, la arcilla pasa a comportarse como un fluido arrastrando los materiales situados por encima de esta.
- Por extrusión:
La capa inferior de material blando es extruida en consecuencia por el peso de los materiales depositados en las capas superiores. Es característico que no se pueden identificar zonas de cizalla

Podemos diferenciar que cada uno de estos movimientos tienen un tiempo de deformación opuestos, los movimientos por licuefacción son rápidos y los movimientos por extrusión tienen una velocidad de progresión lenta.



Figura 8: Expansión lateral por licuefacción (Corominas y García Yagúe,1997)



Figura 7: Expansión lateral por extrusión (Corominas y García Yagúe,1997)

2.4.5 Flujos (Flows)

Los flujos son movimientos del terreno en los que la masa movilizada conjuntamente con el agua que actúa como medio de transporte, se comportan como un fluido viscoso. Por dicha razón la masa movilizada no conserva su forma previa, tal como ocurre en un deslizamiento, una vez finalizado el movimiento adoptan formas lobulares, adaptándose a la orografía previa o formando conos de deyección.

Existe una transición entre un deslizamiento y un flujo, un deslizamiento puede transformarse en un flujo si se incorpora la suficiente agua, la disgregación de los materiales y la evolución del terreno.

Podemos distinguir entre flujos lentos (reptación y solifluxión) y flujos rápidos.

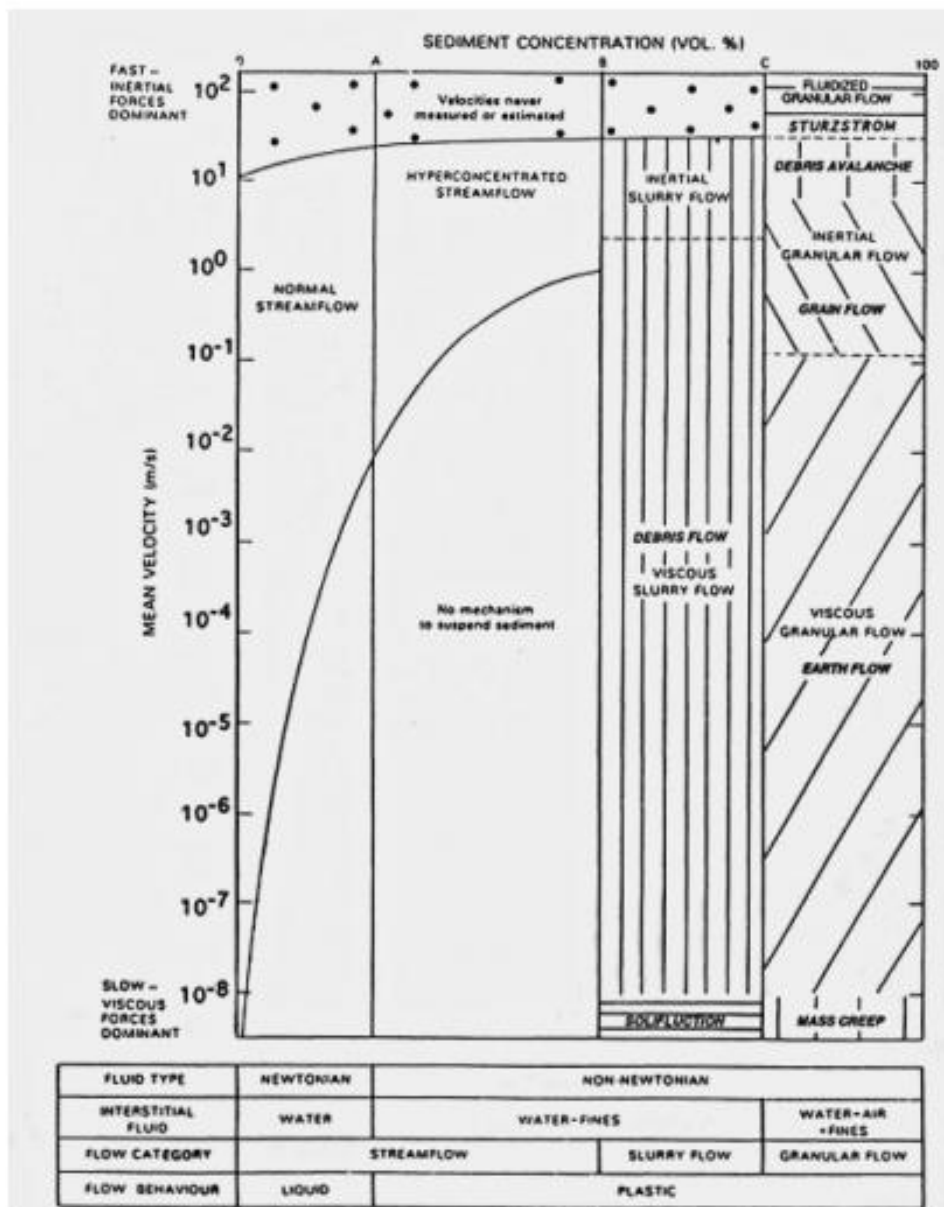


Figura 9: Relación entre flujo de agua y sedimento (Pierson y Costa, 1987)

2.4.5.1 Flujos lentos; Reptación y solifluxión

La reptación es un movimiento extremadamente lento, de milímetros a centímetros al año por lo que a corto plazo es imperceptible al ojo humano, uno de los factores que nos permite detectar una reptación del terreno es la curvatura en el crecimiento de los árboles.

Este movimiento es probablemente el más común de todos los movimientos de masa, siendo un indicativo de que otros movimientos de masa más rápidos y destructivos pueden darse en esa zona.

La solifluxión es un fenómeno relacionado con la reptación, es un proceso ligeramente más rápido que la primera, produciendo pequeños lóbulos de material desplazado en el terreno, es un flujo común en las regiones subpolares que afecta principalmente al permafrost.

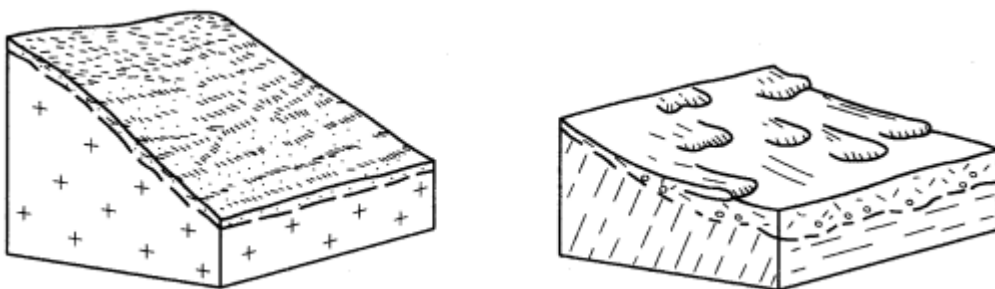


Figura 10: Reptación y solifluxión (Corominas y García Yagüe,1997)

2.4.5.2 Coladas de tierra (earthflows)

Ya con unas velocidades mayores, llegando a metros por segundo, se sitúan las coladas de tierra estos fenómenos se producen en tierras e incluso rocas blandas en laderas moderadamente inclinadas.

Cuando los materiales movilizados son de granulometría muy fina (limos y arcillas) se producen los denominados mudflows, estos flujos pueden llegar a alcanzar los 80 km/h involucrando volúmenes más pequeños pero de gran extensión debido a su alta saturación.

En caso de que la colada de barro este relacionada con la actividad volcánica, es llamada Lahar, formados por agua, incluso hielo si se dan determinadas condiciones, los materiales finos expulsados por la actividad propia del volcán (cenizas) y los materiales dispuestos en el terreno con anterioridad. Los lahares tienen una gran capacidad destructiva, como desafortunadamente se ha visto en el Nevado del Ruiz, 1985, Colombia central, donde más de 50.000 personas perdieron la vida.

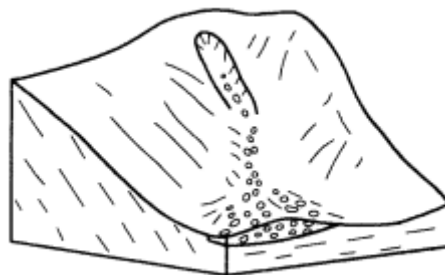


Figura 11: Colada de tierra (Corominas y García Yagüe,1997)

2.6 Corriente de derrubios (Debris Flow)

Con los parámetros de la clasificación de Varnes, podemos situar a la corriente de derrubios como un flujo (interviene el agua como agente de transporte, se comporta como un fluido viscoso) de alta velocidad, puede alcanzar una velocidad de 150 km/h.

La combinación de las fases sólida y líquida junto con su gran velocidad proporciona a las corrientes de derrubios un poder destructivo único (Iverson, 1997)

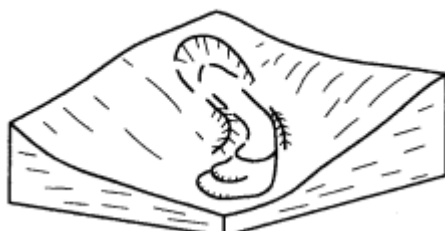


Figura 12: Debris Flow (Corominas y García Yagüe, 1997)

Las grandes corrientes de derrubios pueden superar los 1000 millones de metros cúbicos y liberar más de 10¹⁶ J de energía potencial, pero incluso los casos más habituales, con un volumen en torno a los 1000 m³, pueden arrasar la vegetación, taponar cursos de drenaje, dañar estructuras y causar muertes (Iverson, 1997).

Localización	Densidad del material (g/cm ³)	Porcentaje de sólido (en peso)	Viscosidad Newtoniana (Poises)	Velocidad (m/s)	Autores
Wrightwood Canyon, California 1941	2,4	79-85	2100-6000	1,2-4,4	Sharp y Nobles (1953)
Tenmile Range, Colorado	2,53	91	30000	2,5	Curry (1966)
Río Reventado, Costa Rica	1,13-1,98	20-79		2,9-10	Waldron (1967)
Wrightwood Canyon, California 1969	2,0		4500	1,1	Jonhson (1970)
Wrightwood Canyon, California 1973	1,32 Flujo de cola	35			Morton y Campbell (1974)
Wrightwood Canyon, California 1973	1,62-2,13 Flujo de cresta	59-86	100-60000	0,6-3,8	Morton y Campbell (1974)
Mt. Thomas, Nueva Zelanda	1,73 Flujo de cola	60		0,8-2,4	Pierson (1980)
Mt. Thomas, Nueva Zelanda	2,09 Flujo de cresta	78	2100-8100	2,5-5,0	Pierson (1980)
Hunshui Gully, China	2,0-2,3	80-85	15-20	10-13	Li y Luo (1981)
Jiang-Jia Ravine, China	1,9-2,3	89	1700 Campo	3,19-13,1	Li et. Al (1983)
Mt. Yakedake, Japón		60-85		0,88-6,4	Suwa y Okuda (1983)

Figura 13: Características geotécnicas de un Debris Flow (Corominas 1996)

2.6.1 Granulometría de un Derbis Flow

con una amplia granulometría de materiales variable, desde finos hasta bloques métricos. Estos flujos también arrastran otros materiales como materia orgánica (árboles). En estos flujos la fracción sólida puede llegar hasta un 80% del volumen total, siendo el restante agua y aire.

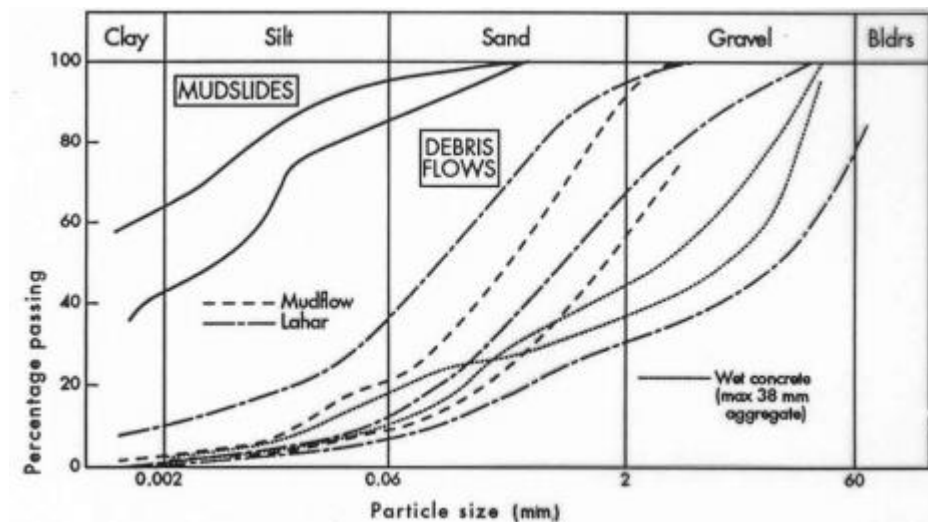


Figura 14: Distribución granulométrica de las corrientes de derrubios y de las coladas de barro (Hutchinson, 1988).

2.6.2. Estructura de un Derbis Flow

Los Derbis Flow presentan formas alargadas, donde su largo es varias veces superior a su amplitud, en proporciones de 10:1 llegando a proporciones de 50:1 (Iverson, 1997).

En un Debris Flow podemos distinguir 3 zonas: La zona fuente, la zona de transporte y la zona de deposición

- **Area fuente:**
Suele ser escarpada y con escasa vegetación, formada por materiales detriticos y materiales resultantes de la meteorización del sustrato.
La pendiente esta comprendida entre los 25° y los 40°, de este valor depende a posteriori la velocidad del flujo en el canal
- **Zona de transporte:**
Suele seguir barrancos preexistentes aunque tambien puede bajar ladera abajo. Esta limitado lateralmente por los diques laterales, formados por materiales gruesos
- **Zona de deposición :**
Una vez que el flujo deja de estar confinado en el canal, disminuyendo su velocidad y consecuentemente la capacidad erosiva del flujo, en esta zona los materiales se dipositan gradualmente sobre la superficie del terreno

Autores	Pendiente Zona de salida	Pendiente Zona de Acumulación	Velocidad (m/s)
Terzaghi (1950)			3-4,5
Curry (1966)			<16
Johson y Hampton (1969)			3,5-12
Jonson y ARN (1970)	25-40		
Morton (1971)			0,5-3,5
Scott (1971)		>4	
Campbell (1975)	22-45	10-12	0,3-12
Rodine y Johnson (1976)		1-5	
Rapp y Nyberg (1981)	25-40	6-15	
Jonson y Rodine (1984)	20-45	5-10	3,5-10/11
Rapp (1986)	25-40	5-10	
Ellen y Fleming (1987)	25-40		
Pierson y Costa (1987)			0,1-35
Sauret (1987)			0,5-15
Hutchinson (1988)			max. 30
Zimmermann (1990)	25-40	6-25	
Bovis (1993)			5-10
Lowe (1993)			0,3-12
Lewin y Warburton (1994)	15-39	9-12	

Figura 15: Pendientes de la zona de salida y de la zona de acumulación de corrientes de derrubios y sus velocidades (Corominas, 1996).

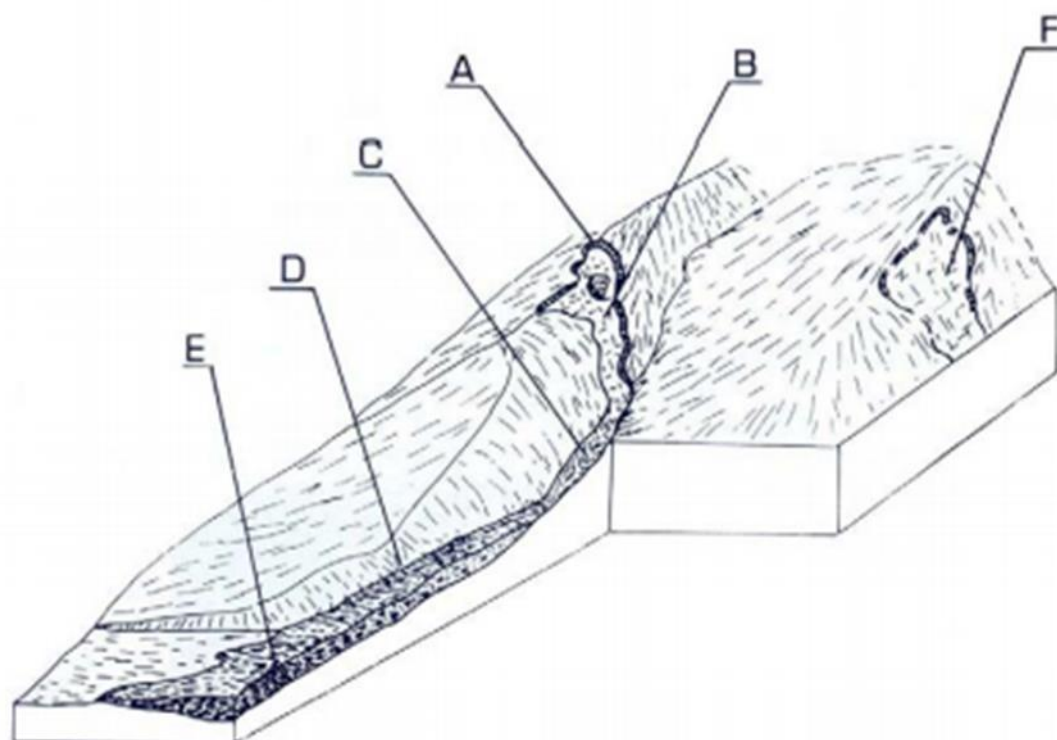


Figura 16: Estructura de un Debris Flow.

A: cicatriz principal; B y F: superficies de ruptura; C: canal erosivo; D: dique lateral; E: depósito principal.

3 La zona de estudio

3.1 Situación Geográfica

La cuenca estudiada se sitúa en la comarca catalana de la Alta Ribagorça, comarca de la provincia de Lleida, emplazado en la división de Alto Pirineo y Valle de Aran (Alt Pirineu i Val d'Aran)



Figura 17: Situación de la Alta Ribagorça en Catalunya(Wikipedia)

Concretamente nos situamos en el pueblo de Senet, al norte de la comarca, situado a pocos Kilómetros de la boca sur del túnel de Vielha, dicho túnel es de vital importancia, debido a que es la vía principal de acceso al Valle, debido a las restricciones de tráfico que tiene el puerto de la Bonaigua, que resulta cortado habitualmente en invierno debido a acumulaciones de nieve, el túnel es una infraestructura vital, debido a que la principal actividad económica del valle es el turismo, sobre todo en los meses de invierno, puesto que encontramos la importante estación de esquí de Baqueira-Beret.

Es decir, una posible afectación de nuestra zona de estudio a la carretera **N-230** tendría unas consecuencias económicas importantes, tanto a nivel de turismo como de suministros.

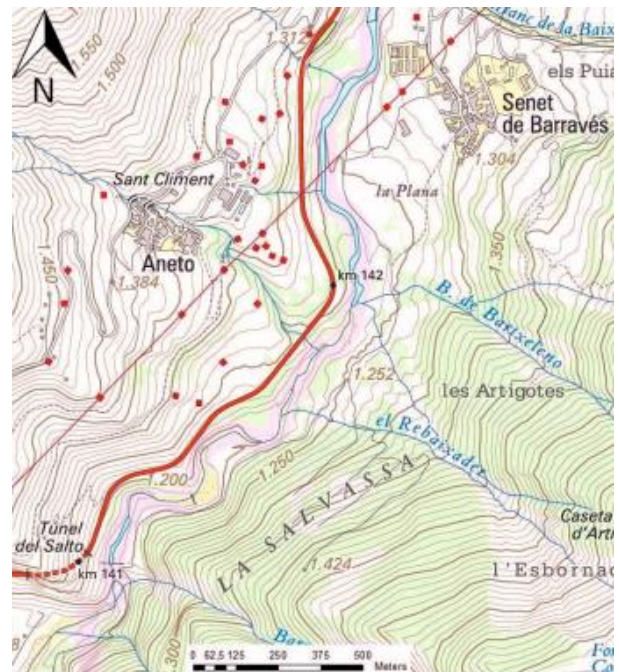


Figura 18: Localización de Senet; Fuente ICGC

3.2 Relieve

La alta Ribagorça es una comarca de alta montaña, en la que no existen planicies ni grandes valles, con la excepción del sur de la comarca, el resto está incluida en el pirineo axial.

La comarca catalana se sitúa entre el margen izquierdo de la Noguera Ribagorçana y el valle de la Noguera de Tor, entre ambos valles se emplaza el macizo del Besiberri en el que se encuentran cimas que superan los 3000 metros de altitud. En este sector situado al norte, en el que confluyen 4 comarcas (Val d' Arán, Pallars Sobirà, Pallars Jussà y Alta Ribagorça) se encuentra la morfología post glaciaria más importante de los Pirineos Catalanes, encontrando los circos glaciares en forma de U que fueron ocupados por el hielo y multitud de lagos de alta montaña.

Los glaciares principales, ocuparon los valles de la Ribagorçana hasta Vilaller y la de Tor hasta el municipio de Llesp, no llegaron a confluír.

En el sur de la comarca, en su capital, El pont de Suert nos situamos en el prepirineo, en esta zona encontramos un relieve menos abrupto formado por materiales más blandos en comparación al núcleo axial de la cordillera, encontrando pequeñas montañas que no llegan a superar los 2000 metros de altitud.

3.3 Climatología

Encontramos un clima de alta montaña (estamos a más de 1000 msn)

En Vilaller (Capital del municipio, al sur del valle con una altura menor que Senet) de acuerdo con Köppen y Geiger clima se clasifica como Cfb. la temperatura media anual es de 9.3 ° C. La precipitación media aproximada es de 987 mm.

Nota:

Senet se encuentra a casi 1400msn, en consecuencia, sus temperaturas serán más bajas y sus precipitaciones más altas.

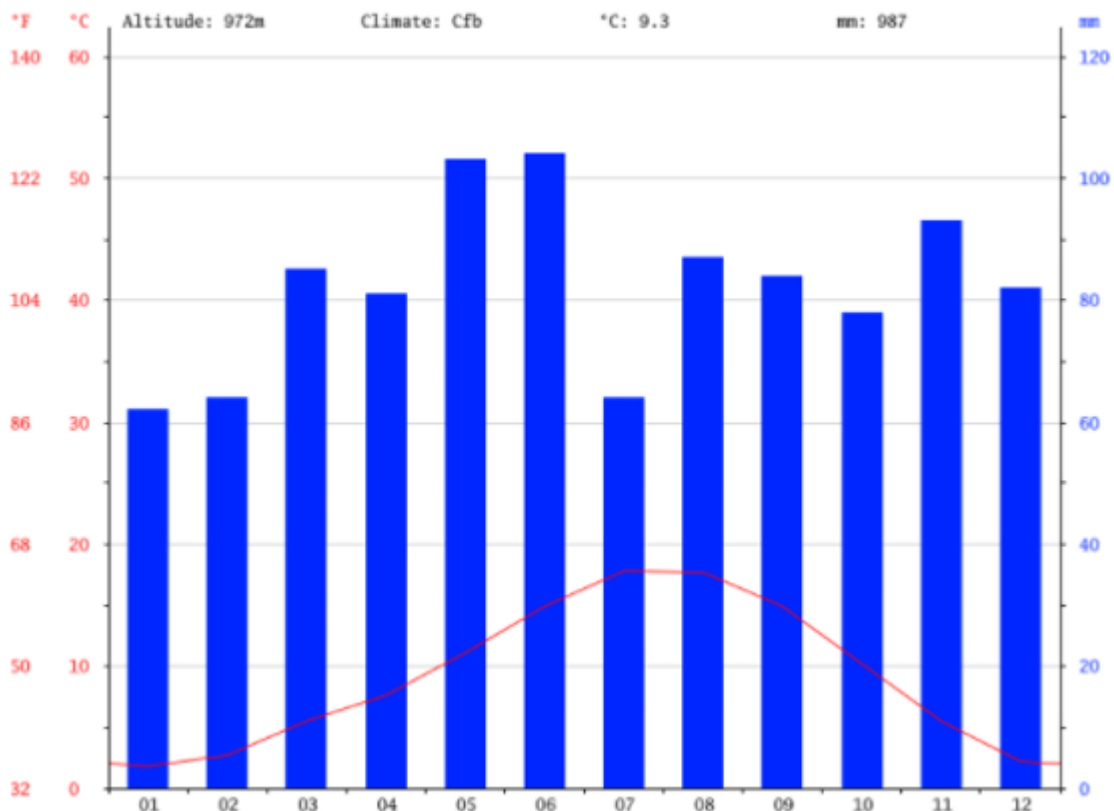


Figura 19: Climograma en Vilaller Fuente: CLIMATE-DATA.ORG

3.4 Climatología y Derbis Flow

El medio necesario para un derbis Flow es el agua, por lo tanto aumentos repentinos en el caudal de los cursos de agua existentes, pueden ser causantes de movimientos de masa ,en esta zona, considerando que la precipitación desde finales de octubre hasta principios de abril cae en forma solida (nieve) podemos suponer que uno de los periodos más propensos a la ocurrencia de derbis Flow corresponde a los meses de primavera debido al deshielo de las nevadas invernales y la precipitación primaveral, que en ocasiones puede ser intensa en poco tiempo ,esta combinación de deshielo y precipitación, puede originar un gran incremento de los caudales de los cursos de agua en poco tiempo, otro periodo climatológicamente propenso corresponde al final del verano(conocido popularmente como gota fría) , en el que se producen tormentas de gran intensidad en poco tiempo

3.5 Geología

Como se ha mencionado anteriormente, nos encontramos en la zona axial de los Pirineos

La historia geológica de la zona es la siguiente

En el Paleozoico los depósitos de sedimentos que se extendían entonces por la zona en la que hoy se encuentra el Pirineo fueron, a finales del periodo Devónico (hace unos 380 millones de años) afectados por la orogenia Varisca durante un total unos 100 millones de años, dando origen al supercontinente Pangea.

Dichos depósitos en la actualidad se corresponden con rocas metamórficas (pizarras, esquistos, cuarcitas y calizas) El período Carbonífero es un período erosivo debido a que la orogenia había creado grandes cadenas montañosas.

El Mesozoico viene marcado por la separación de Pangea. En el período Triásico, la sedimentación principal es de areniscas y arcillas rojas(Bundsandstein) seguido del Mushelkalk y el Keuper, formando el triásico alemán

Después, en el período Cretácico, al avanzar la separación del continente, se produce una etapa de sedimentación de materiales marinos, principalmente calizas

En el Terciario ocurre la orogenia alpina en la que la placa Ibérica colisiona con la placa europea, dando origen a los Pirineos levantando los materiales anteriormente depositados

El último periodo de gran relevancia corresponde con las glaciaciones del Pleistoceno, el valle de la Noguera Ribagorça fue ocupado por un glaciar que erosionó el terreno, dando origen a grandes depósitos de Till, material mal clasificado, en el que se encuentran desde grandes bloques hasta gravas, con una matriz lutítica.

Los depósitos de estos materiales de estructura desordenada y poco consolidada, además de permeables, son propensos a sufrir movimientos de masa.

Finalmente, los procesos geológicos ocurridos han dado origen a la siguiente estructura.

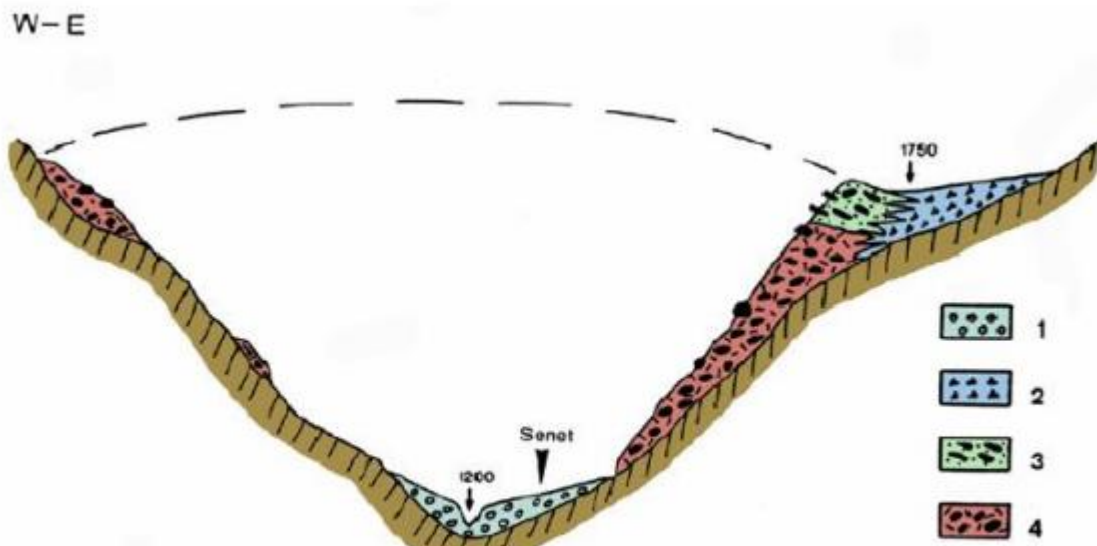


Figura 20: Corte geológico W-E en Senet; (Bordonau 1992, modificado de Vilaplana 1983)

Leyenda:

1. Cono de deyección sub-actual;
2. Depósitos de vertiente;
3. Till supra glacial;
4. Till subglacial;
4. Substrato paleozoico, pizarras
5. Altura original del glaciar

4 Método de estudio

4.1 El dron

El primer paso para la realización de la tesina es la obtención de los datos, para ello es necesario conocer la herramienta que ha permitido su obtención, el dron.

El dron utilizado, corresponde al modelo DJI Inspire Zenmuse X5 PRO, consta de cuatro motores y dos cámaras de fotos, la primera cámara está fabricada por la marca DJI, concretamente el modelo FC550, que tiene una distancia focal de 15 mm, un sensor CMOS 4/3 con una resolución de 16 Mpx (4608x3456, RGB), un marco de 17.50 mm x 13.125 mm y un tamaño de píxel resultante de 3.76 μm . La segunda cámara está firmada por SONY, siendo el modelo NEX-5 con una distancia focal de 16 mm y un sensor CMOS (APS-C) con una resolución de 14 Mpx (4592x3056, RGB), un marco de 23,40 mm x 15,60 mm y un tamaño de píxel de 5,23 μm



Figura 21: DJI Inspire Zenmuse X5 PRO

La captura de datos fue realizada en los meses de junio de 2017 y junio de 2016, el dron voló a unos 100 m sobre la superficie del terreno y produjo imágenes con escalas entre 1: 5000 y 1: 7000. Las fotografías fueron tomadas verticalmente y oblicuamente dependiendo de la inclinación del terreno de la zona de estudio correspondiente. 1021 de las 1500 fotografías iniciales se seleccionaron para el ajuste del bloque y la posterior creación del modelo. En este caso, se usaron 72000 puntos de conexión y 9 puntos de control de tierra para permitir un ajuste excelente. Los objetivos tienen dimensiones de 20 mm x 20 mm, con 2 x 2 cuadros revisados. Sus coordenadas se obtuvieron de las bases de la red topográfica utilizando una estación total previamente mencionada.

4.2 Datos obtenidos

Una vez conocido el dron, conoceremos los datos obtenidos en los dos vuelos, las ortofotos y los DEM, la transformación de los datos obtenidos por el dron y los datos ráster utilizados en la realización de la tesina fue hecha por el departamento de geomática de la Escola de Camins.

4.2.1 Ortofotos

Se han obtenido dos ortofotos, cada ortofoto cuenta con un tamaño de 10 cm por pixel



Figura 22: Ortofotos utilizadas en el trabajo

4.2.2 DEM

Los archivos DEM (Digital Elevation Model) son archivos de tipo Ráster en los que cada pixel tiene un valor de cota asignado, los archivos DEM tienen un tamaño de pixel de 50 cm. Como en el caso anterior se disponen de los archivos de los años 2016 y 2017 Para dar una mayor representatividad se han añadido las líneas de nivel.

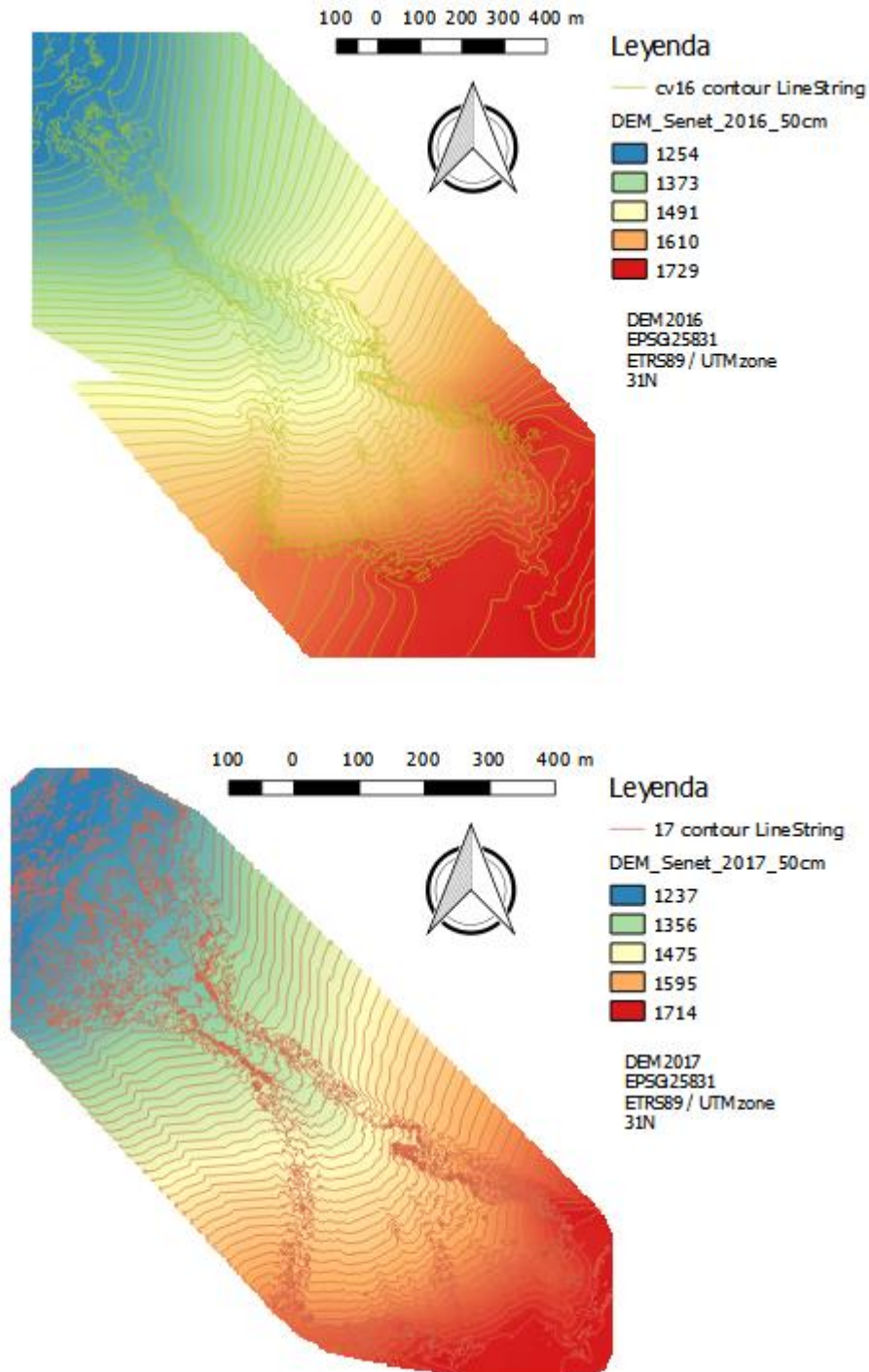


Figura 23 Modelos DEM utilizados en el trabajo, las curvas de nivel se sitúan cada 5 metros

4.3 QGIS

Seguidamente conoceremos la herramienta con la que trataremos los datos obtenidos.

4.3.1 ¿Qué es Qgis?

QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto licenciado bajo GNU - General Public License impulsado por una comunidad de voluntarios. QGIS es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Corre sobre Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos

4.3.2 Desarrollo

Gary Sherman comenzó a desarrollar Quantum GIS a principios de 2002, y se convirtió en un proyecto de incubación de la Open Source Geospatial Foundation en 2007. La versión 1.0 se lanzó en enero de 2009.

Escrito mediante el lenguaje de programación C ++, QGIS hace un uso extenso de la biblioteca Qt. Además de Qt, las dependencias requeridas de QGIS incluyen GEOS y SQLite. También se recomiendan GDAL, GRASS GIS, PostGIS y PostgreSQL, ya que brindan acceso a formatos de datos adicionales.

A partir de 2017, QGIS está disponible para múltiples sistemas operativos, incluidos Mac OS X, Linux, Unix y Microsoft Windows. Una versión móvil de QGIS estaba en desarrollo para Android a partir de 2014.

QGIS es mantenido por desarrolladores voluntarios que regularmente lanzan actualizaciones y correcciones de errores. A partir de 2012, los desarrolladores han traducido QGIS a 48 idiomas y la aplicación se utiliza internacionalmente en entornos académicos y profesionales. Varias compañías ofrecen servicios de soporte y desarrollo de características.

La versión más actual, (3.0 Girona) fue lanzada el 28 de febrero de 2018, como curiosidad las primeras versiones tenían nombres de cuerpos celestes(Titan,lo,Mimas..) Desde la versión 1.6 Copiapó, ha adoptado nombres de ciudades, el trabajo será desarrollado en la versión 2.18 Las Palmas de Gran Canaria, lanzada en octubre de 2016, esta versión es la inmediatamente anterior a la 3.0(la más moderna hasta la fecha), la versión Las Palmas era la más moderna disponible al empezar este trabajo.

4.3.3 Características

Tablas y vistas habilitadas para operaciones espaciales utilizando PostGIS, Spatialite y MS SQL Spatial, Oracle Spatial, formatos vectoriales admitidos por la biblioteca OGR instalada, incluyendo archivos shape de ESRI, MapInfo, SDTS, GML entre otros.

Ráster y formatos de imágenes admitidos por la biblioteca GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) instalada, por ejemplo: GeoTIFF, ERDAS IMG, ArcInfo ASCII GRID, JPEG, PNG

Ráster GRASS y datos vectoriales de base de datos GRASS.

Datos espaciales en línea servidos como servicios web OGC incluyendo WMS, WMTS, WCS, WFS, y WFS-T .

Qgis tiene las herramientas básicas que todo GIS necesita para su uso, como importación de datos, modificación de atributos, vectorización y rasterización de datos, modificar la proyección entre otros. Qgis permite el uso de complementos. Estos complementos han sido desarrollados por la comunidad de usuarios de Qgis cubriendo una amplia gama de necesidades, dichos complementos han sido desarrollados en C++ y Python, se pueden encontrar de forma totalmente libre en la biblioteca.

4.4 Tareas realizadas con Qgis

Una vez conocidas las características básicas de Qgis, realizaremos una serie de tareas con este software.

4.4.1 Control de calidad de los datos obtenidos

Como el objetivo es controlar la erosión, se establecen puntos de control en los cuales no ha habido erosión en el tiempo transcurrido, se toman como referencia puntos en la carretera, en la roca aflorante y en la plataforma superior.

Estos puntos serán utilizados para calibrar los DEM obtenidos previamente, puesto que entre los dos modelos del terreno puede existir un error, dicho error puede ser debido a diferentes factores, como la trayectoria de vuelo del dron, cambios en la inclinación del aparato a la hora de tomar las fotografías, crecimiento de la vegetación o pequeños cambios en el terreno entre otros posibles factores.

Este control de calidad de los datos ha utilizado el plugin Point sampling tool, con este plugin podemos conocer los valores de los DEM en el punto de control marcado previamente.

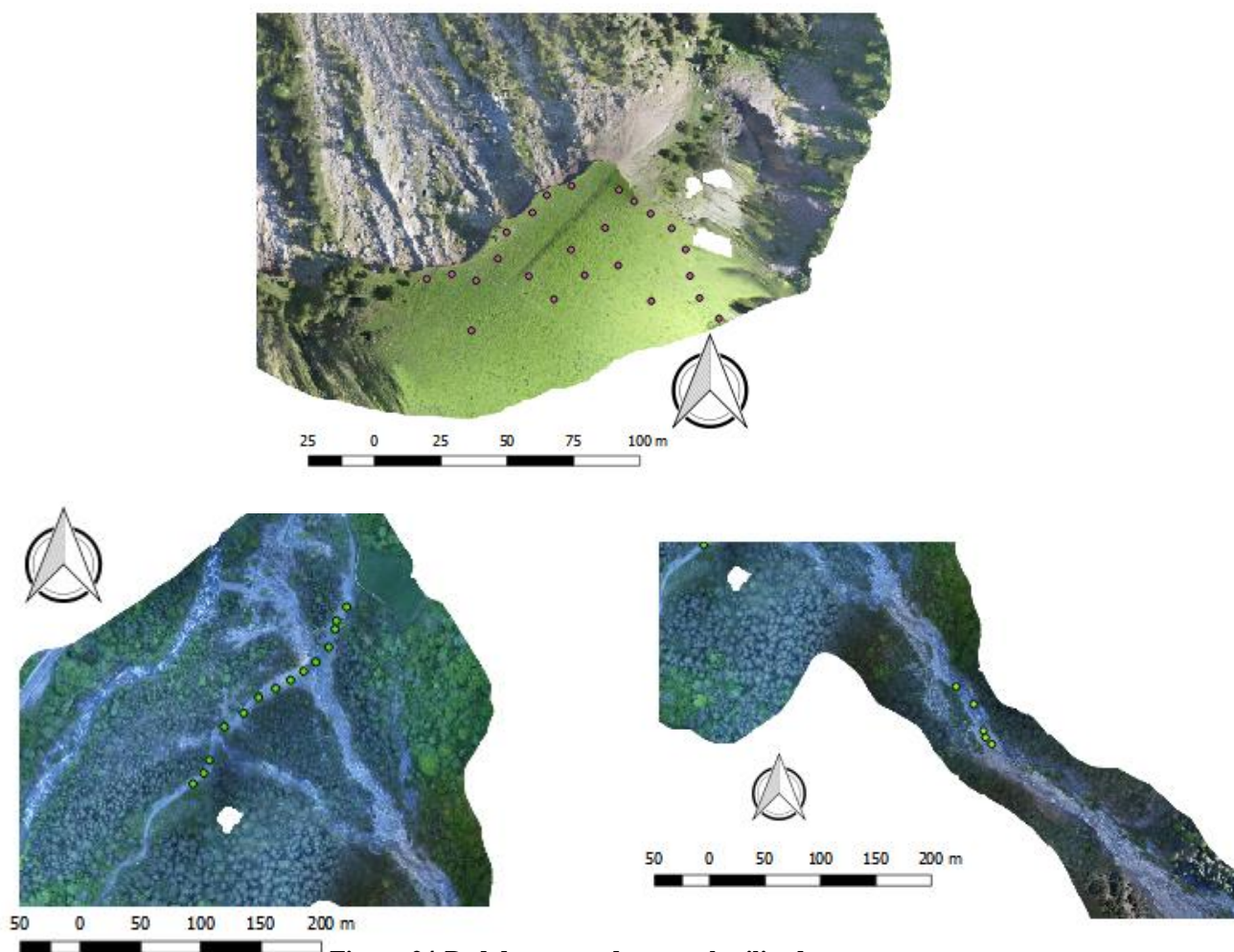


Figura 24: Red de puntos de control utilizada

4.4.2 Determinación de las unidades geomorfológicas

Como se puede apreciar, los MDE abarcan una superficie mayor a la del barranco a estudiar, por ese motivo se deben determinar las unidades geomorfológicas que van a ser estudiadas, para ello se crearan archivos shape de polígono, cada archivo corresponderá con una de las unidades a estudiar

Estos archivos son creados mediante el uso de la ortofoto y las curvas de nivel.

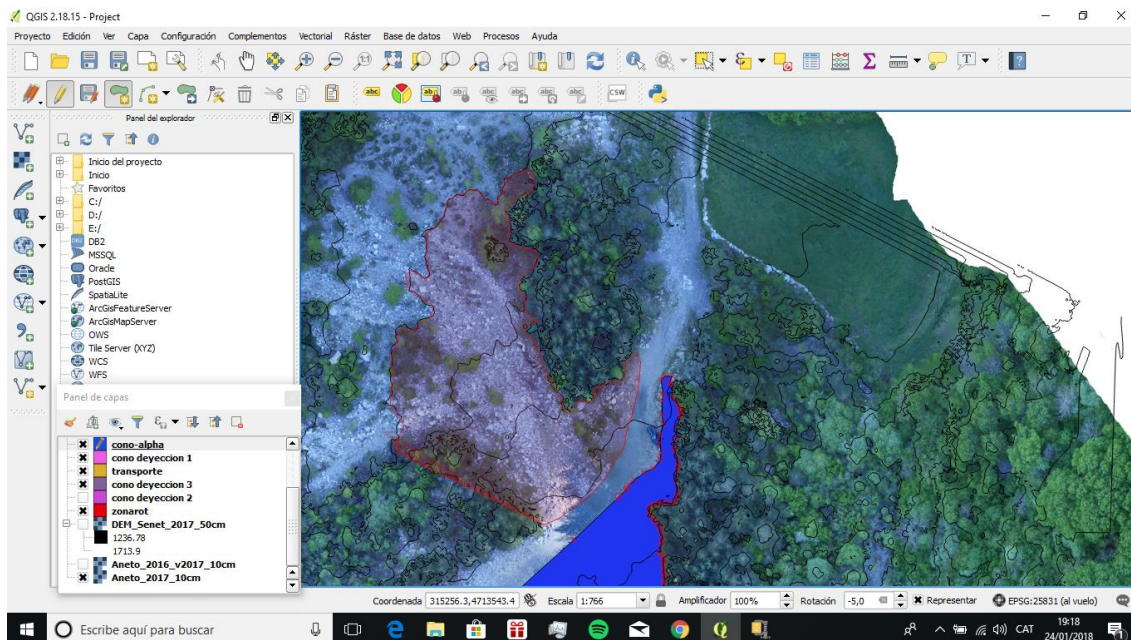
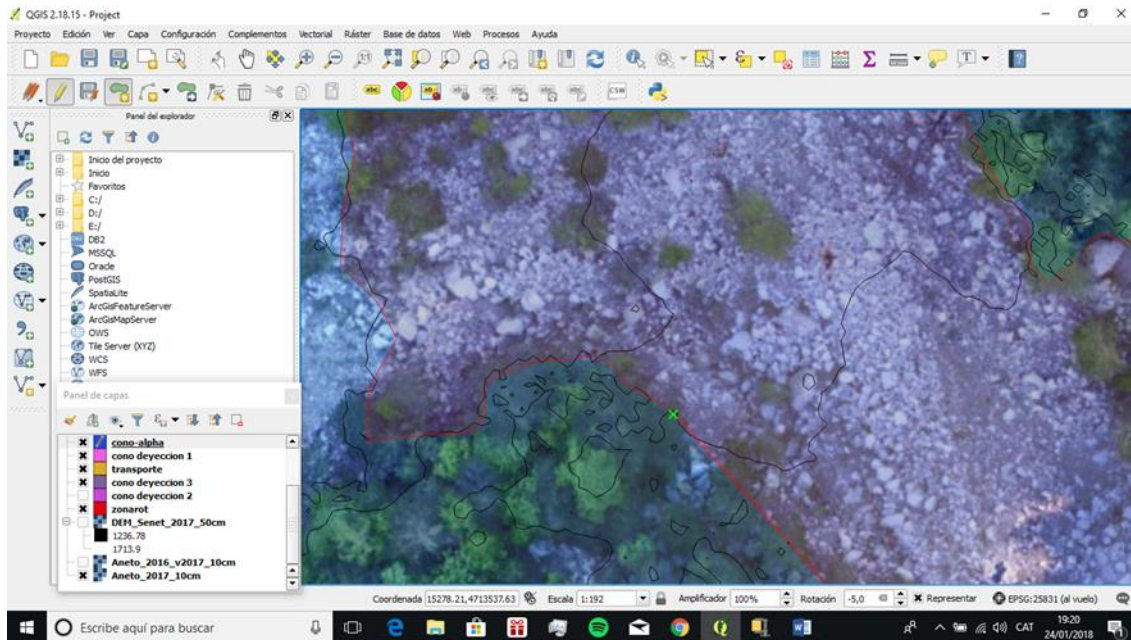


Figura 25: Creación de las unidades geomorfológica

4.4.3 Creación perfil topográfico

Mediante el uso del complemento Profile tool crearemos varios perfiles topográficos para comprender mejor la morfología de la cuenca.

La necesidad de la creación de estos perfiles recae en que son un método eficaz para conocer la morfología de la cuenca en un plano determinado.

La herramienta funciona de la siguiente forma:

EL paso previo consiste en crear en un archivo shape, las polilíneas en las que queremos generar los perfiles topográficos.

Con el complemento abierto y con el DEM seleccionado, pulsamos Add Layer para que el DEM se añada como capa fuente de datos disponible.

Dado que queremos extraer el perfil a partir de una polilínea ya cargada seleccionamos Selected polyline en la opción del complemento.

Y con la capa vectorial seleccionada pulsamos sobre la línea del recorrido para seleccionarla y que el perfil sea generado en la ventana del complemento.

Como paso final exportamos el perfil obtenido, para ello tenemos 3 formatos posibles: PNG, SVG y DXF.

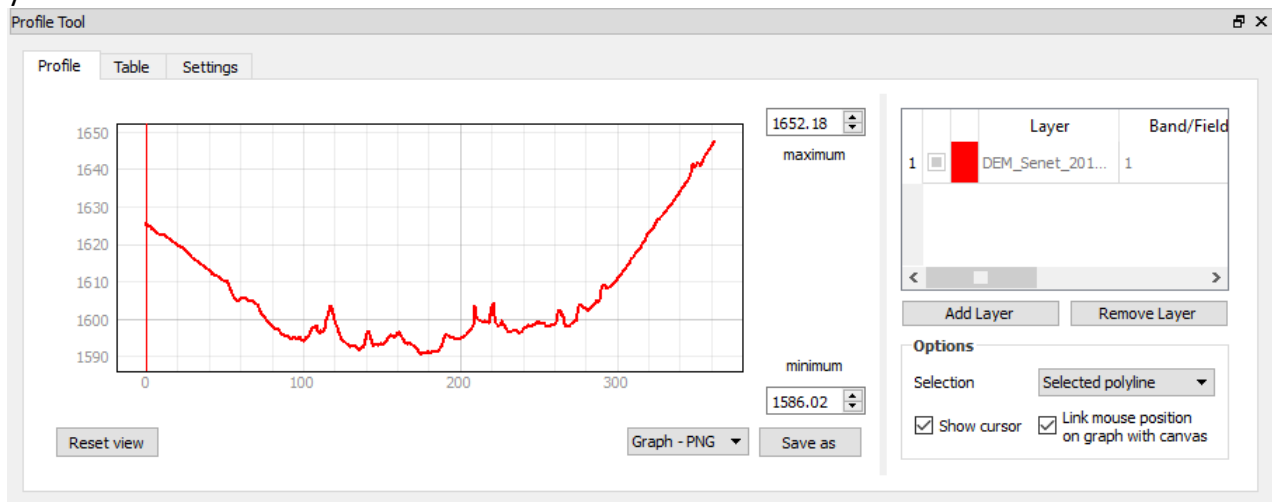


Figura 26: Utilización del complemento Profile Tool

4.4.4 Hallazgo de zonas de erosión y acumulación

Uno de los estudios a realizar para conocer mejor la actividad de la cuenca es el hallazgo de zonas de erosión y acumulación, el hallazgo de estas zonas permite determinar en que áreas se esta expandiendo el movimiento de masa, las zonas de las que se desprenden bloques, las más inestables o las que son propensas a acumular materiales, con las consecuencias que conlleva, para poder hallar estas zonas , vamos a efectuar una simple resta mediante la calculadora ráster, restaremos el DEM 2016 al DEM 2017 para conocer las acumulaciones (puntos donde la cota ha aumentado) y las zonas erosionadas (la cota ha disminuido).

Utilizaremos la calculadora ráster de Qgis, en ella restaremos a nuestro DEM del 2017 el DEM del 2016. de esta forma los valores negativos corresponden con pixeles que tenían mayor altura en el 2016, es decir se han erosionado, y en los positivos encontraremos acumulación

Posteriormente se creará una leyenda apropiada para la representación de los datos

4.4.5 Estudio de pendientes

Otro estudio de realización necesaria es el de pendientes, para ello se crearán mapas de pendientes estos mapas reflejarán la pendiente en cada punto de la cuenca. De los mapas creados se extraerá la información necesaria para su análisis mediante el uso de estadísticas zonales para poder comparar los modelos de los años 2016 y 2017.

El mapa de pendientes será realizado mediante la herramienta MDT.

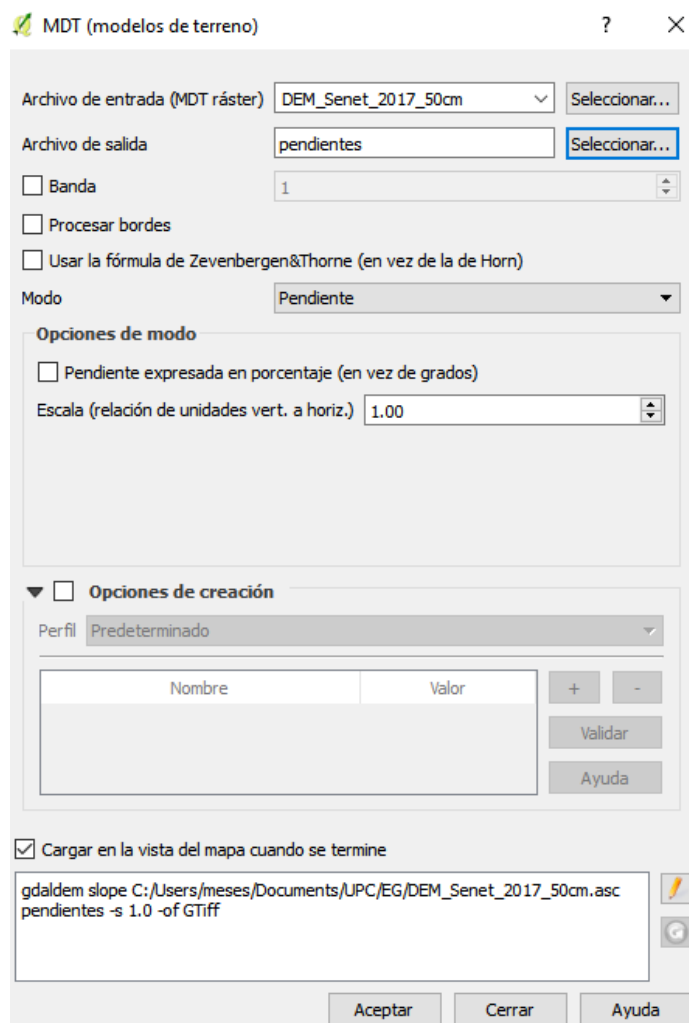


Figura 27: Creación del mapa de pendientes

4.4.6 Índice de irregularidad del terreno

Este índice representa una medición cuantitativa de la heterogeneidad del terreno tal como se describe por Riley (1999), podemos describir este índice como la densidad de las curvas de nivel. Igual que en el apartado anterior, seguimos en la pestaña MDT, seleccionaremos el modo irregularidad, este modo procede a calcular la irregularidad del terreno mediante de la siguiente forma:

$$TRI_{r,c} = \sqrt{\sum_{i=r-1}^{r+1} \sum_{j=c-1}^{c+1} (e_{i,j} - e_{r,c})^2}$$

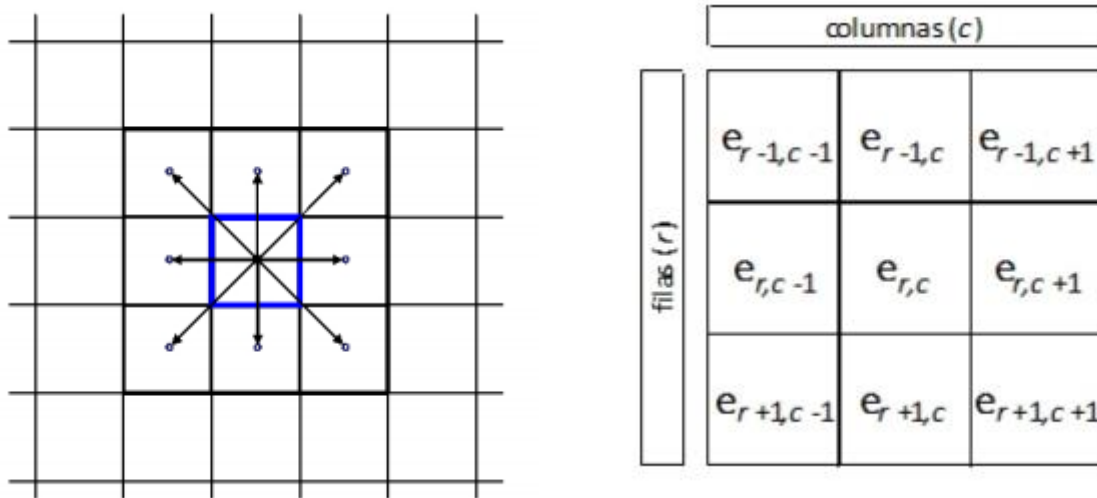


Figura 28 Obtención del índice de irregularidad el terreno fuente: Francisco J, (2010)

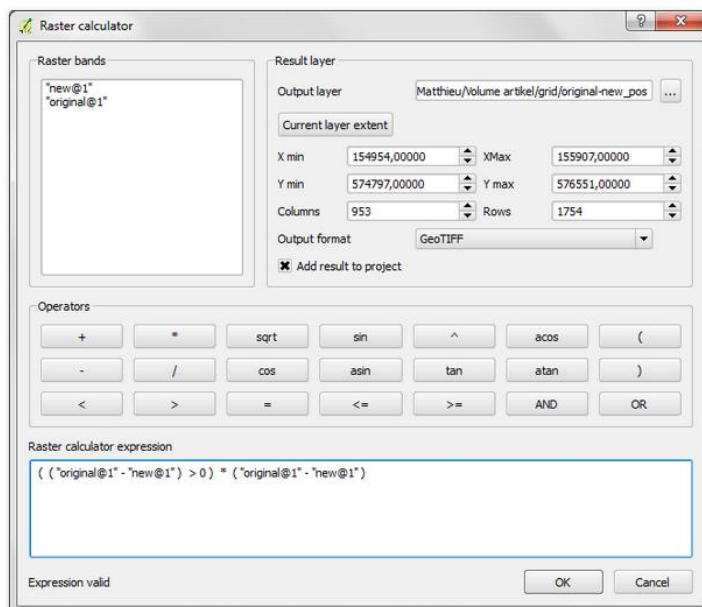
Siendo “e” la altitud en cada celda, en consecuencia, este método calcula la dispersión de las elevaciones entre la celda central y las colindantes, esta fórmula es independiente a si la pendiente es negativa o positiva, trata con el valor absoluto.

4.4.7 Cálculo de volumen de material movilizado

Este análisis será realizado para obtener un cálculo aproximado de los volúmenes de material desplazados durante el periodo de estudio.

El listado de comandos ha sido proporcionado por el tutor.

- 1) Transform into desired cell size $x \rightarrow$ "yyyyymm_X"
GRASS-command: r.resamp.interp
- 2) Align DEMs \rightarrow "yyyyymm_X_ali"
- 3) Make erosion-raster \rightarrow "yyyyymm-yyyyymm_X_ero"
by raster calculator:
 $((\text{"DEM2"} - \text{"DEM1"}) < 0) * (\text{"DEM2"} - \text{"DEM1"})$
 \rightarrow SEE below to add critical value due to DEM-accuracy (e.g. -0.5m) ".ero05"
Make accumulation-raster \rightarrow "yyyyymm-yyyyymm_X_acc"
by raster calculator:
 $((\text{"DEM2"} - \text{"DEM1"}) > 0) * (\text{"DEM2"} - \text{"DEM1"})$



Raster calculator

Figura 29: Uso de la calculadora ráster para calcular el volumen

- 4) Clip the ero- and acc-rasters with the "tot-scarp" mask:
raster-extraction-clipper \rightarrow "yyyyymm-yyyyymm_X_erocl" "yyyyymm-yyyyymm_X_accl"
No data = -9999
- 5) Add field "yy-yy_Xe" for ero and "yy-yy_Xa" for raster accl or erocl in "tot-scarp"
Raster \rightarrow Zonal statistics \rightarrow Zonal statistics (select: count & sum)
- 6) Open the attribute table of "tot-scarp" and copy sum-value to excel
- 7) Delete ero-values of less than a critical value (e.g. -0.5m):
 - Raster calculator (erocl < -0.5) * erocl (select "current layer extent"!)

Los pasos 1-2 consisten en transformar el tamaño de la celda de los DEM a el tamaño deseado para su utilización, en nuestro caso no será necesario realizar transformación alguna.

El paso 3 consiste en crear los archivos ráster de acumulación y erosión, para calcular el ráster de erosión, multiplicamos los puntos de la diferencia entre los dos ráster que sean menores que 0 por la propia diferencia, de igual manera para obtener el ráster de acumulación, multiplicamos los puntos que sean mayores que 0.

En el paso 4 se realizará una extracción por clip de las zonas de las que queremos conocer su variación de volumen.

En el quinto punto añadiremos el sumatorio de los datos mediante el uso de estadísticas zonales. En el sexto punto obtendremos los resultados numéricos abriendo la tabla de atributos y copiándola en un documento de Microsoft Excel.

Existe un punto opcional, en el, eliminaremos los valores de erosión que sean inferiores a un valor crítico.

4.4.8 Cartografía de elementos notorios

Mediante la comparación de las ortofotos y con el soporte de los mapas creados anteriormente se realizará una búsqueda de diferentes elementos significativos, tales como:

Barreras, cuya existencia se ha especulado anteriormente, sobre estas importante conocer la localización y estado de estos elementos, puesto que su existencia altera en gran medida los movimientos de masa ocurridos, pudiendo generar una mayor seguridad en sus inicios, pero finalmente su colapso genera fenómenos de mayores dimensiones en consecuencia a la liberación de los materiales acumulados a lo largo del tiempo en el que ha estado efectuando una retención de materiales.

Zonas de acumulación de Till, el conocimiento de la existencia de tales depósitos es importante, dado que estos depósitos forman una acumulación de material potencialmente inestable.

Localización de bloques con los datos disponibles es posible detectar bloques de gran tamaño, así como su localización a lo largo del tiempo, en nuestro caso, es posible localizar los bloques que han caído, es decir que figuran en la ortofoto de 2016 pero no en la actual de 2017, siendo visible un punto de erosión en el mapa que refleja las zonas de acumulación y erosión, el lugar donde se han depositados tales bloques, aparecen en la ortofoto de 2017 pero no en la de 2016, provocando zonas de acumulación, y los bloques inmóviles que no han sufrido movimiento entre la captura de las dos ortofotos. Se ha de tener en cuenta que los bloques que caen pueden fracturarse en bloques de mida menor, hecho que dificulta su identificación.

Estos elementos notorios serán cartografiados, para ello se crearán diferentes archivos vectoriales(SHP), las barreras y los depósitos de Till serán cartografiados con archivos de polígonos, mientras que los bloques serán cartografiados en SHPs de puntos.

4.4.9 Cálculo de estadísticas zonales

Para realizar una comparación efectiva, debido a que, en gran parte de los procedimientos anteriores, los resultados obtenidos entre los 2 años son difíciles de comparar, se han obtenido archivos de gran detalle y las diferencias son escasas por el poco tiempo entre los modelos, y en la necesidad de obtener un valor finito con el que podamos comparar los resultados, es preciso conocer las estadísticas zonales de los diferentes mapas generados anteriormente, dando un ejemplo, es más sencillo comparar las pendientes media máxima y mínima del escarpe en 2016 y 2017 que realizar una comparación visual entre los dos mapas de pendientes.

La herramienta ráster estadísticas de zona, funciona de la siguiente forma:

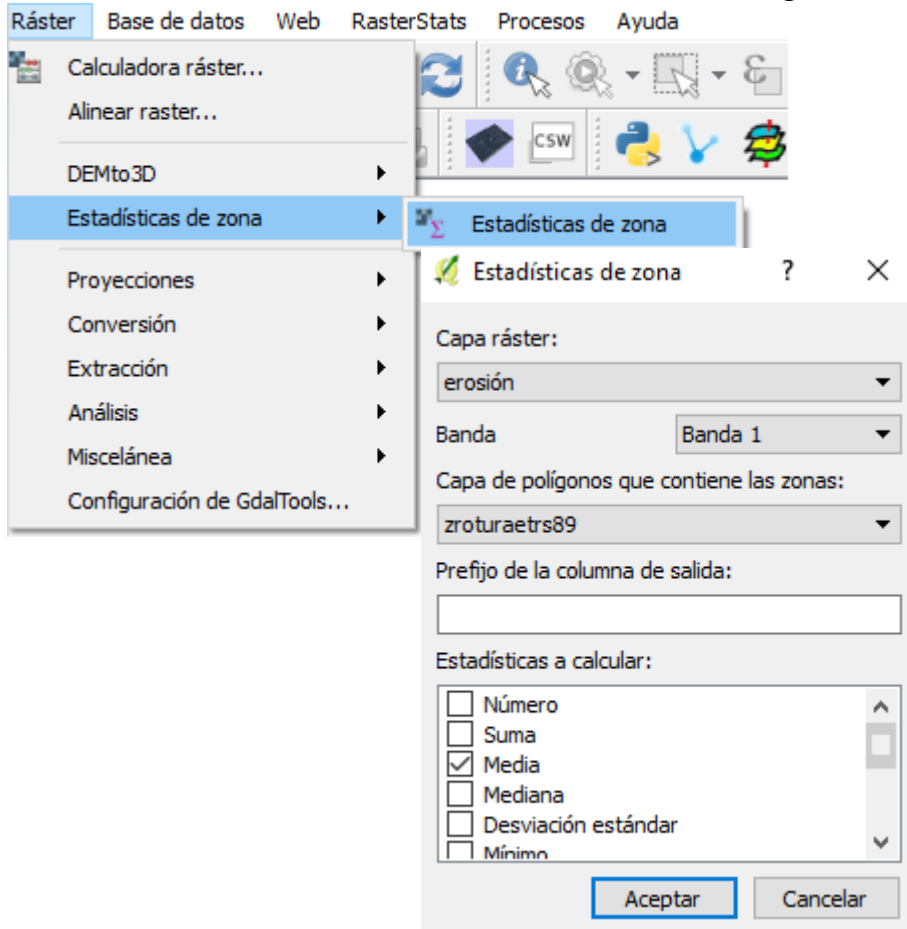


Figura 30: funcionamiento estadísticas zonales ráster

El funcionamiento es el siguiente, se selecciona el archivo ráster del que queremos obtener las estadísticas, y la zona que lo delimita, seguidamente se selecciona la estadística a calcular y estas quedan reflejadas en la tabla de atributos del archivo vectorial.

4.4.10Clip de los datos

Con el objetivo de representar los diferentes datos obtenidos en la unidad morfológica deseada, es necesario realizar un clip de los diferentes archivos obtenidos previamente.

Tal como se detalla en la Figura a continuación, utilizaremos una capa de unidad geomorfológica a modo de capa de máscara y marcamos como valor sin datos, aquellos que tengan valor 0.

Obteniendo así los datos correspondientes a cada unidad deseada.

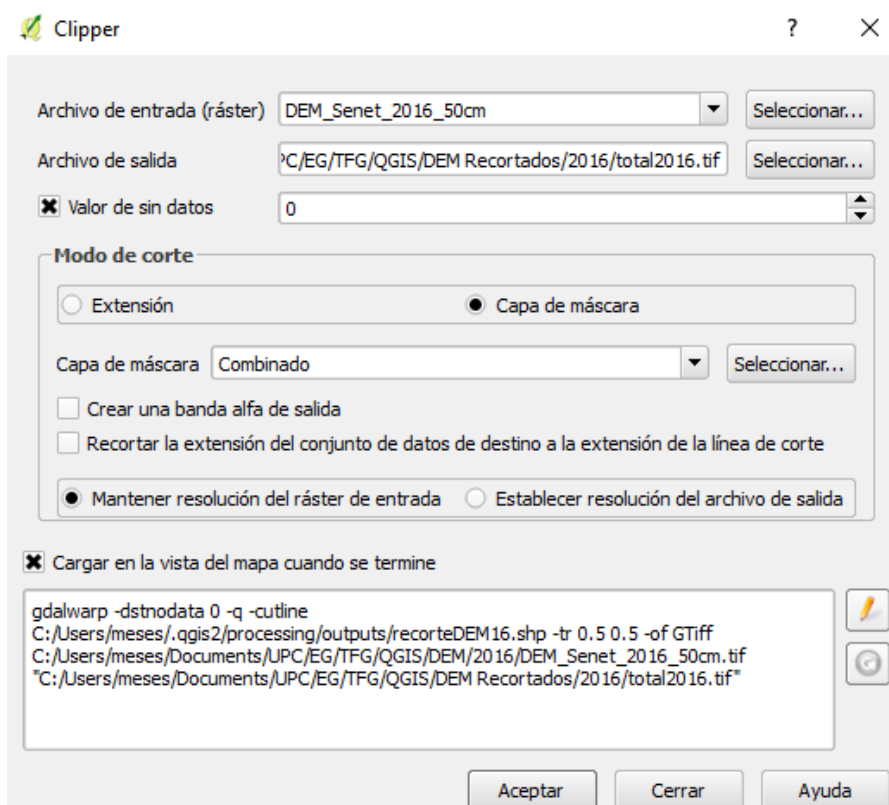


Figura 31: Utilización del comando Clipper

4.5 Creación de diseños de impresión

En este apartado se explicará la herramienta de creación de diseños de impresión que dispone Qgis, con esta herramienta podremos crear imágenes con las que presentar los diferentes mapas creados.

La necesidad de utilizar esta herramienta recae en la correcta presentación de los mapas generados, puesto que necesitaremos representarlos con elementos necesarios para su comprensión, como la escala, la leyenda, y la orientación, además de realizar anotaciones en caso de ser necesario.

La herramienta utilizada es conocida como “Diseñador”, accedemos a esta mediante la pestaña proyecto.

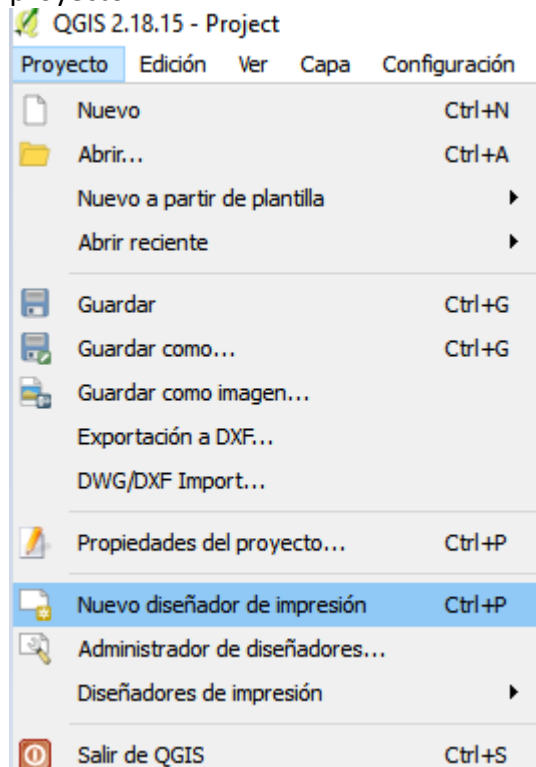
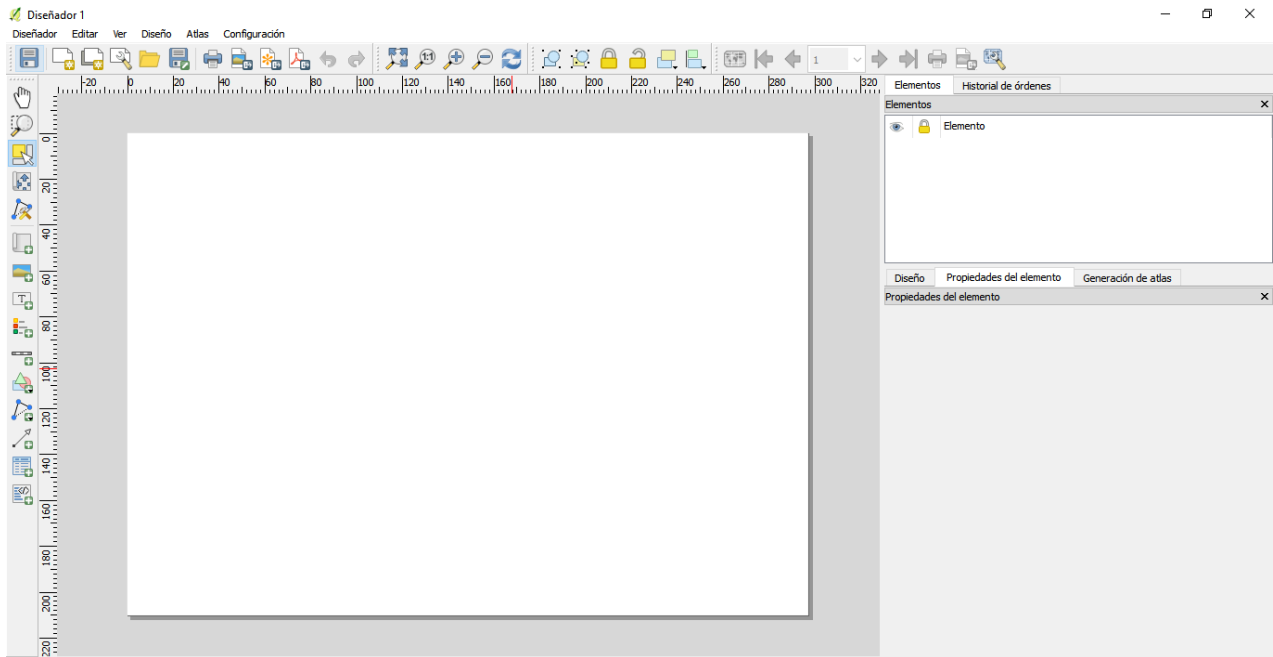


Figura 32:Ubicación del diseñador de imágenes de Qgis

Figura 33: Aspecto del diseñador de imágenes de Qgis



En la fila encontramos herramientas dedicadas al manejo de archivo, guardar y exportar la imagen creada, y los usuales comandos de zoom, mover, bloquear.

En la columna encontramos las herramientas de edición, la selección de elemento, añadir mapa, representado por un mapa en blanco, añadir imagen, texto, leyenda entre otros, siendo estos los más utilizados.

En el lateral derecho encontramos las secciones de diseño y propiedades de elemento, estas secciones nos permiten modificar el formato de diseño, (A3 A4) el formato (horizontal vertical), rotar un objeto añadido anteriormente, añadir marcos e imágenes prediseñadas entre otras características.

5 Resultados

5.1 Puntos de control

Las variaciones vistas en los puntos de control son las siguientes:



Figura 34: Variación en metros en los puntos de control situados en la carretera

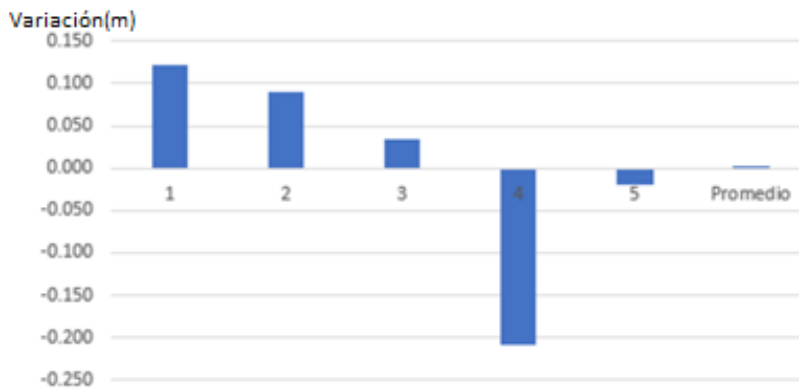


Figura 35: Variación en metros en los puntos de control situados en la roca aflorante

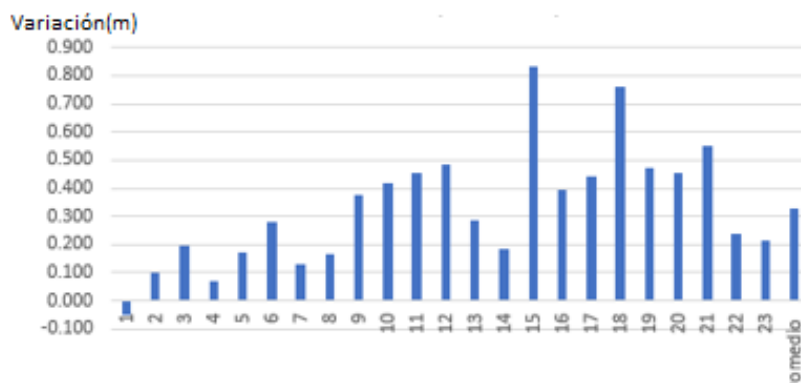


Figura 36: Variación en metros en los puntos de control situados en el escarpe

Ante estos resultados, se toma la decisión de no realizar corrección alguna en los DEM, dado que consideramos como tolerable la diferencia observada entre los dos modelos.

5.2 Unidades geomorfológicas

Se han determinado las siguientes unidades geomorfológicas, se decide crear un único modelo de unidades geomorfológicas para 2016 y 2017, puesto que las diferencias observadas no son suficientes para establecer una modificación.

Área total	108693.15m ²
Escarpe	85143.78 m ²
Canal	13931.5m ²
Cono Alpha	5791.89m ²
Cono Beta	2726.47m ²
Cono Gamma	1099.51m ²

Tabla 1: Área de las diferentes unidades geomorfológicas Las áreas determinadas son las siguientes:

5.2.1 Cono de deyección

En el cono de deyección se han detectado 3 canales de desagüe de actividad reciente, siendo el resto del cono cubierto por la vegetación, haciendo imposible el análisis con técnicas geomáticas puesto que los datos reflejados tendrían una gran influencia de la vegetación y sus cambios, en lugar de cambios morfológicos de la cuenca.



Figura 37: Plantilla correspondiente a los tres canales de desagüe

El canal central corresponde con la denominación Alpha, el canal menor situado al este del canal central con la denominación Gamma y el restante la denominación Beta.

5.2.2 Canal

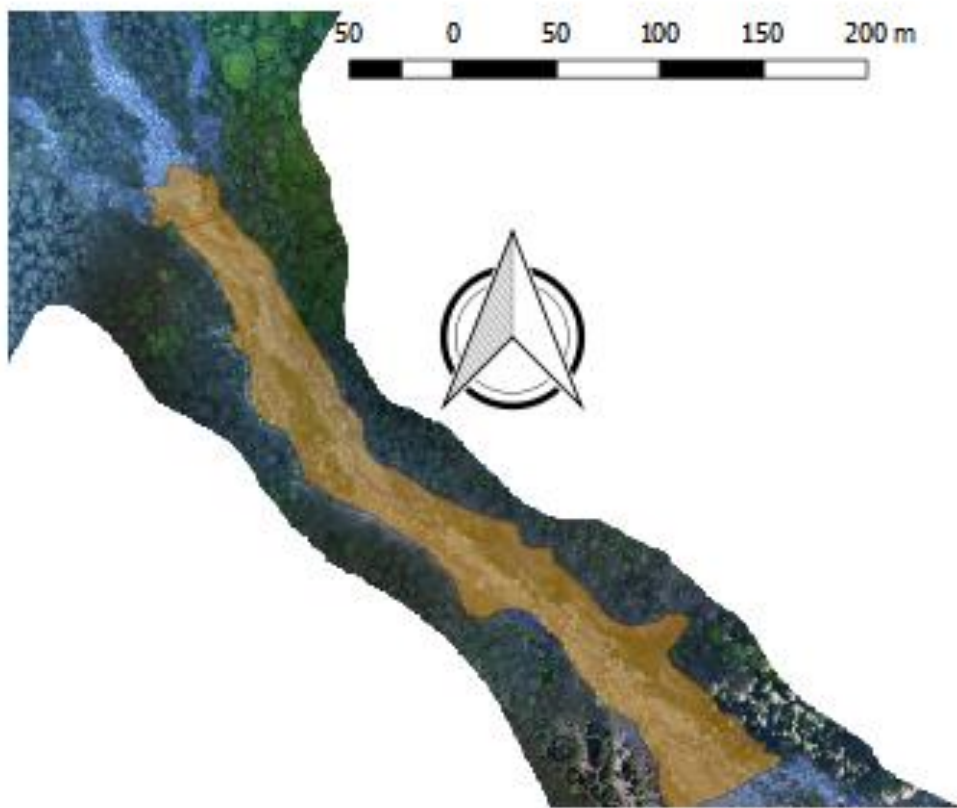


Figura 38: Plantilla del canal

5.2.3 Escarpe

En la zona del escarpe se ha tenido que descartar las áreas donde la vegetación es importante, igual que en el caso del cono de deyección, estas áreas vegetadas no son aptas para un análisis con técnicas geomáticas.

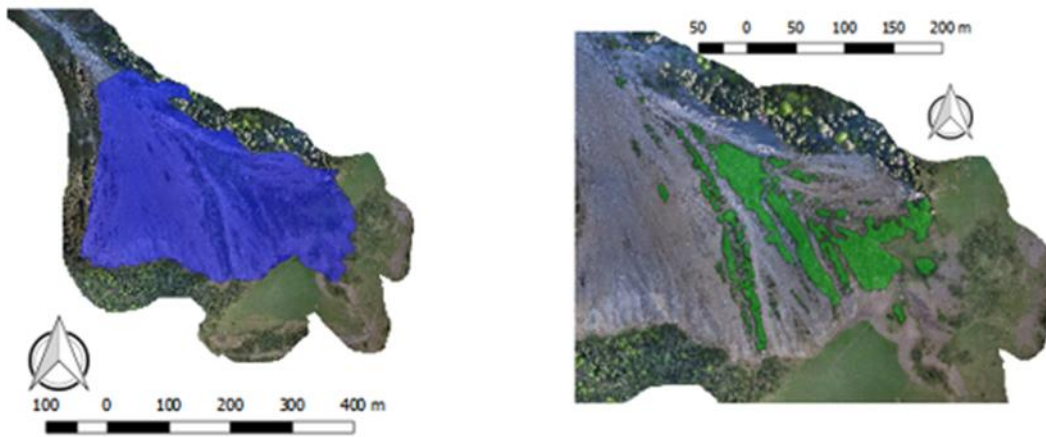


Figura 39: Plantilla del Escarpe(izquierda) y de la zona vegetada que vamos a eliminar(derecha)

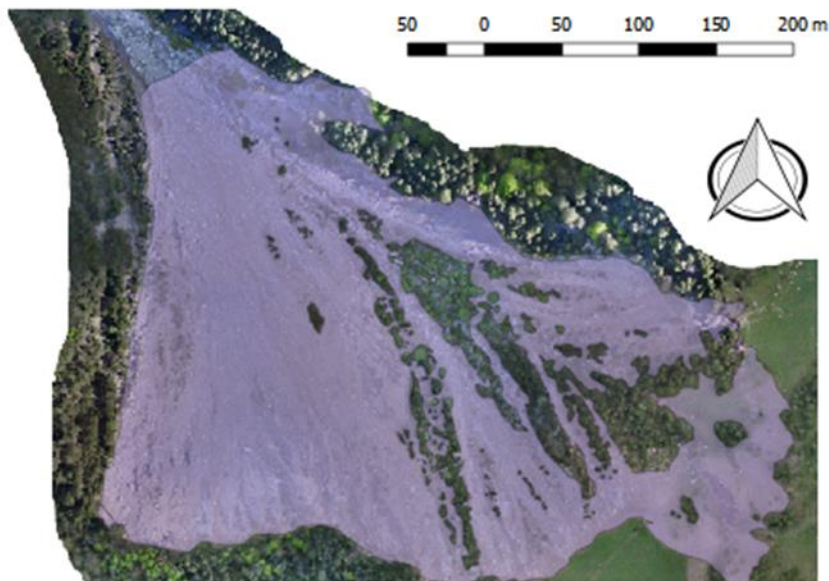


Figura 40: Plantilla final de la zona del escarpe

5.1.4 Unión de zonas

Las zonas anteriores quedan unidas de la siguiente forma, dando origen al área total sobre la que vamos a realizar los análisis.

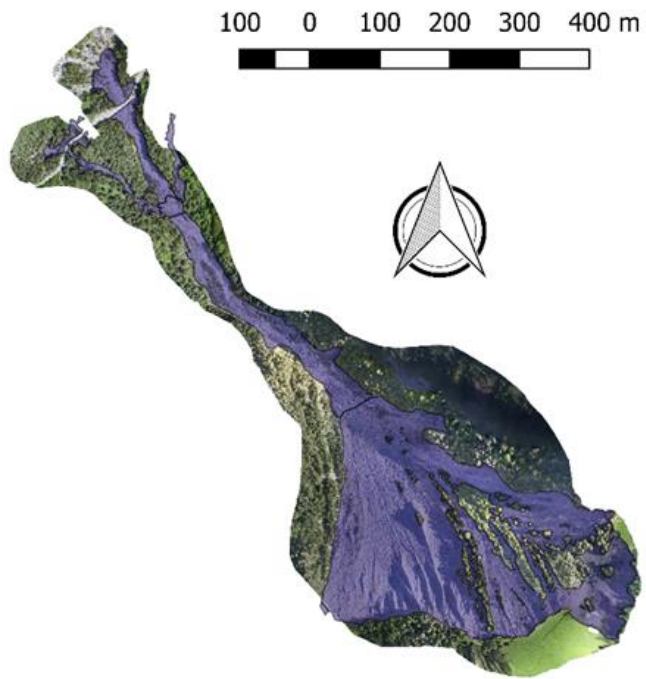


Figura 41: Unión de plantillas sobre la ortofoto del 2016

5.2 Perfiles Topográficos

Se han creado 8 perfiles distribuidos de la siguiente forma:

Tres en el escarpe, uno en la zona de transición escarpe/canal, uno en el canal, uno en la zona de transición canal/conos de deyección y el ultimo en los conos de deyección. Un perfil longitudinal
Los perfiles están trazados sobre la topografía del año 2017.

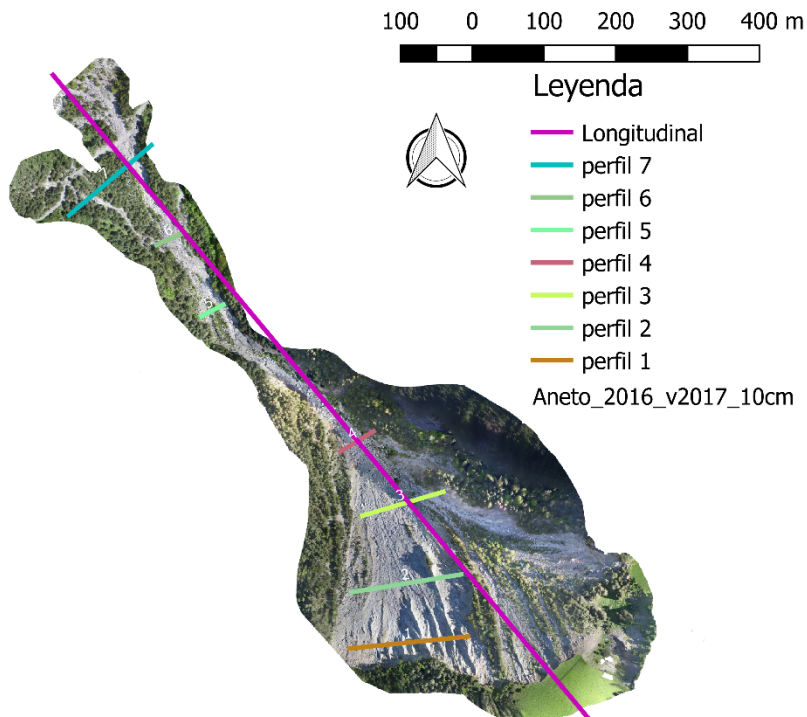


Figura 43:Localización perfiles topográficos

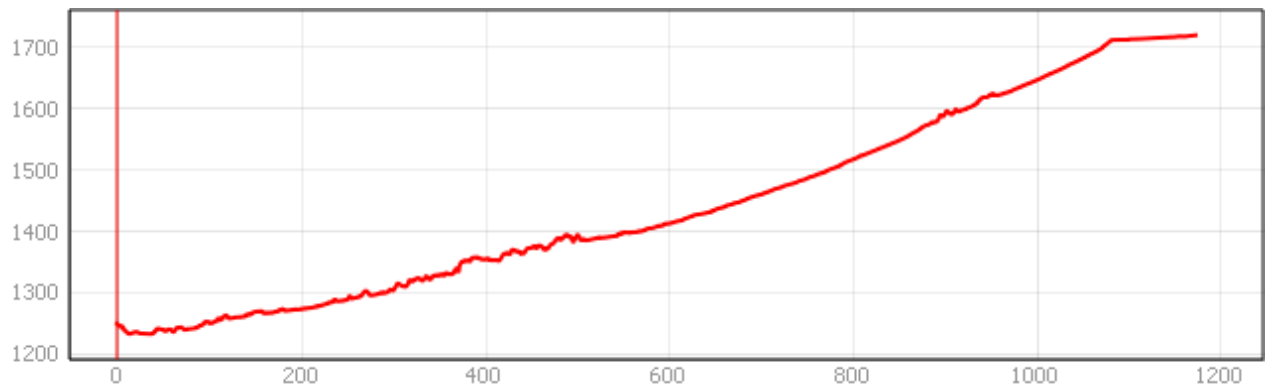


Figura 44: Perfil longitudinal

El perfil longitudinal muestra como la pendiente se incrementa levemente a medida que se incrementa la cota topográfica, no obstante esta siempre muestra unos valores moderados inferiores a los 40°.

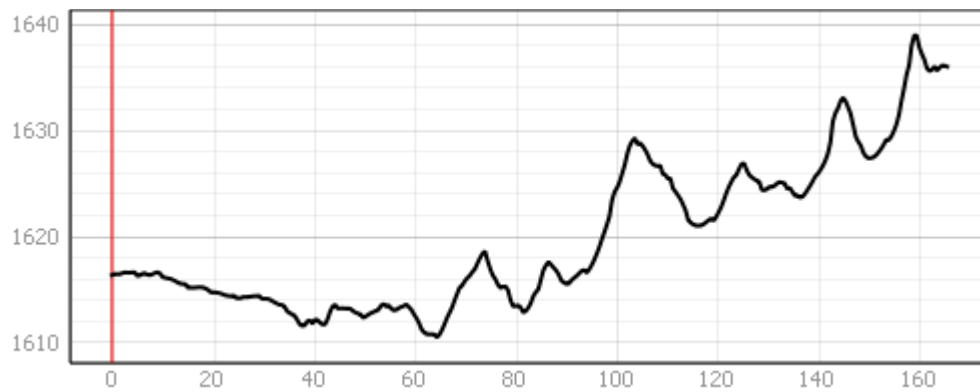


Figura 45: Perfil 1

Se observa un terreno irregular en el que podemos observar un gran número de canales con una profundidad de orden métrico, no obstante, estos canales son muy estrechos.

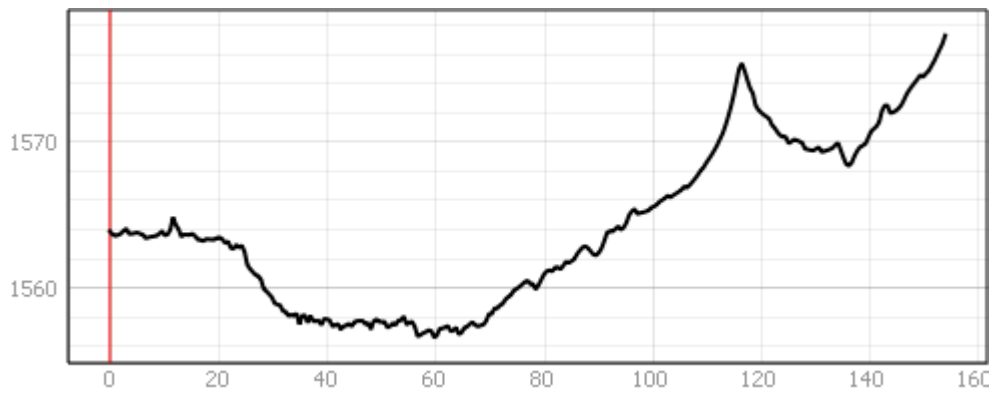


Figura 46:Perfil 2

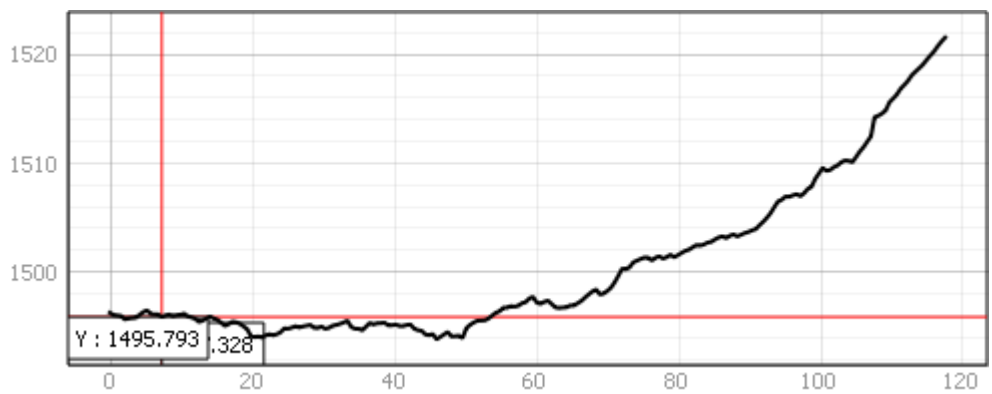


Figura 47:Perfil 3

En los perfiles 2-3 podemos apreciar como los canales se vuelven menos profundos y aumenta su amplitud, mientras que la cuenca adopta cierta convexidad.

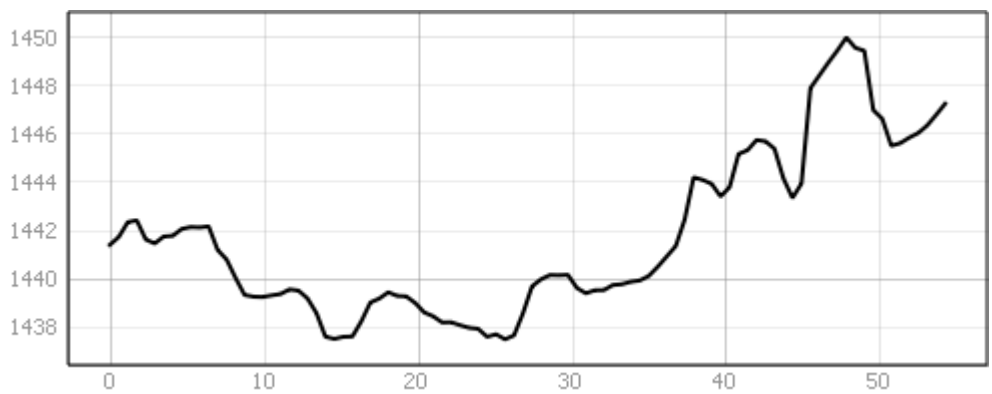


Figura 48:Perfil 4

En el perfil 4, ya entrados en la parte media de la cuenca, se confirma la tendencia presentada en los dos perfiles anteriores, disminuye el número de surcos o canales, pero aumenta su amplitud.

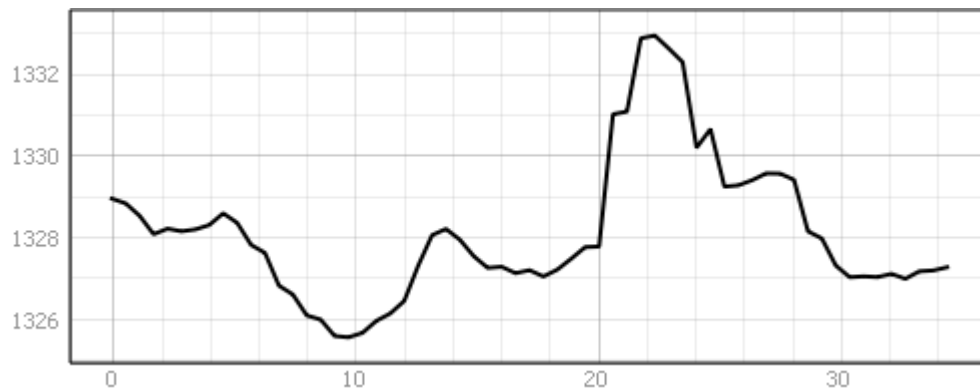


Figura 49:Perfil 5

En el perfil 5 el número de canales ya ha disminuido drásticamente.

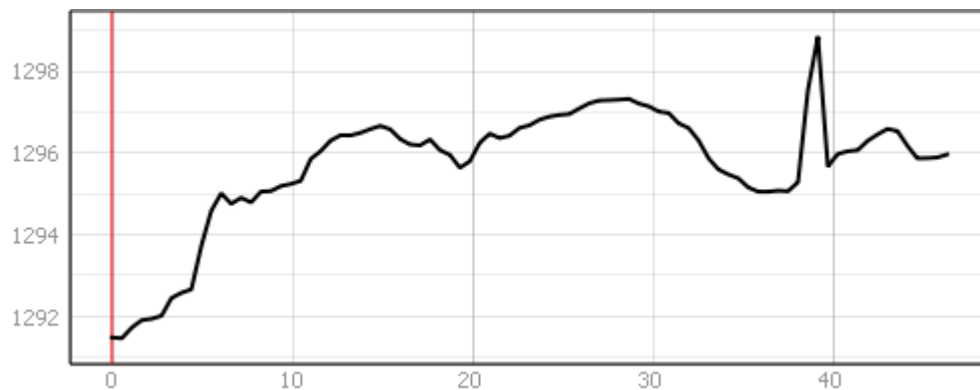


Figura 50:Perfil 6

En el perfil 6 observamos que el perfil tiene cierta tendencia cóncava, en la parte central se aprecia una elevación que podría bloquear el acceso al canal central, dando una pista sobre la posible existencia de una barrera, que se estudiará en el apartado 5.7

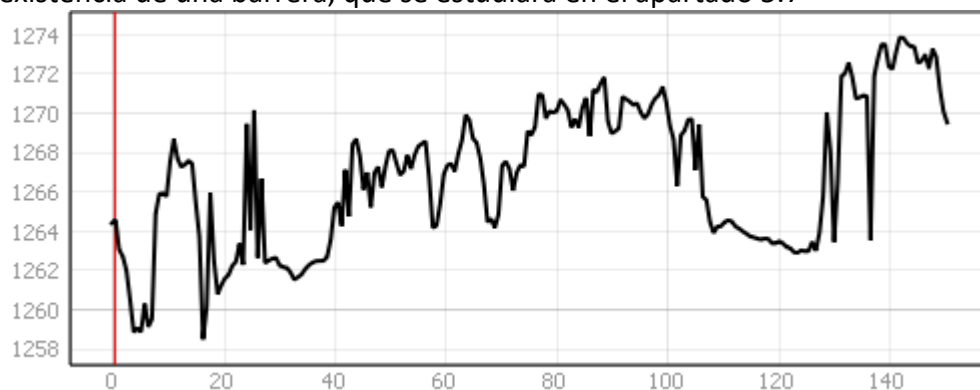


Figura 51:Perfil 7

Finalmente, en el último perfil, podemos observar una distorsión de los datos debido a la vegetación presente en la zona, no obstante, se puede observar los canales de deyección (zonas convexas) y el material acumulado a lo largo de los años de actividad.

5.3 Zonas de erosión y acumulación

El mapa obtenido es el siguiente:

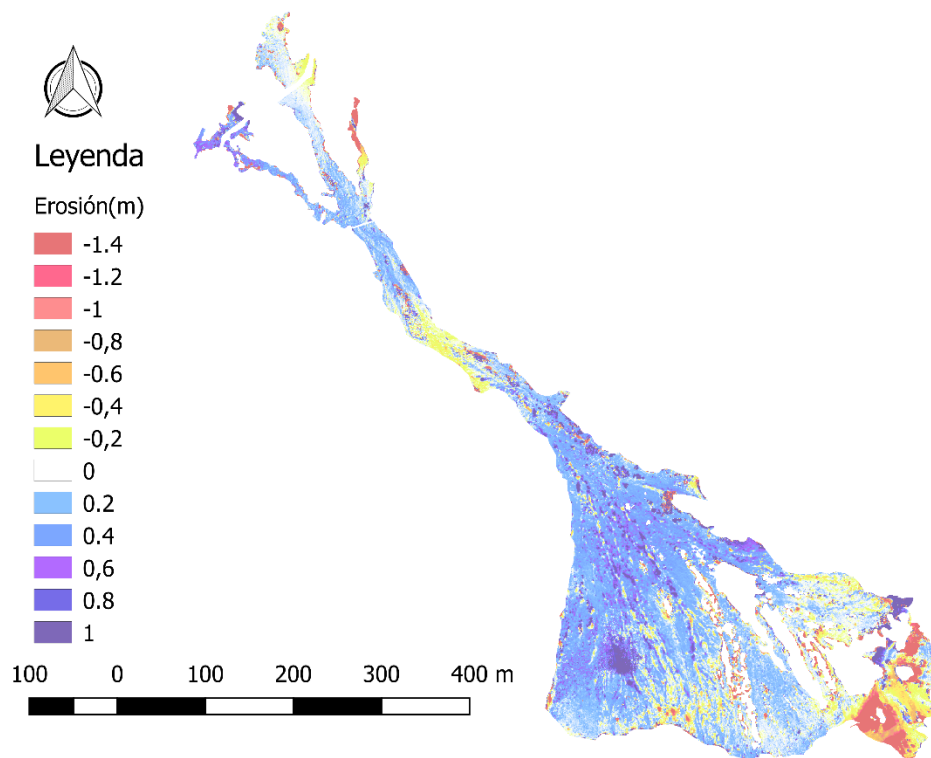
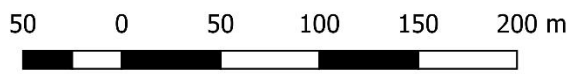


Figura 52:Mapa de erosión y sedimentación en metros

Se observa que las zonas predominantes son las de acumulación de material, no obstante, las estadísticas zonales indican que existe una variación media de -0.03m, es decir una ligera erosión.



Leyenda

Variación del terreno(m)

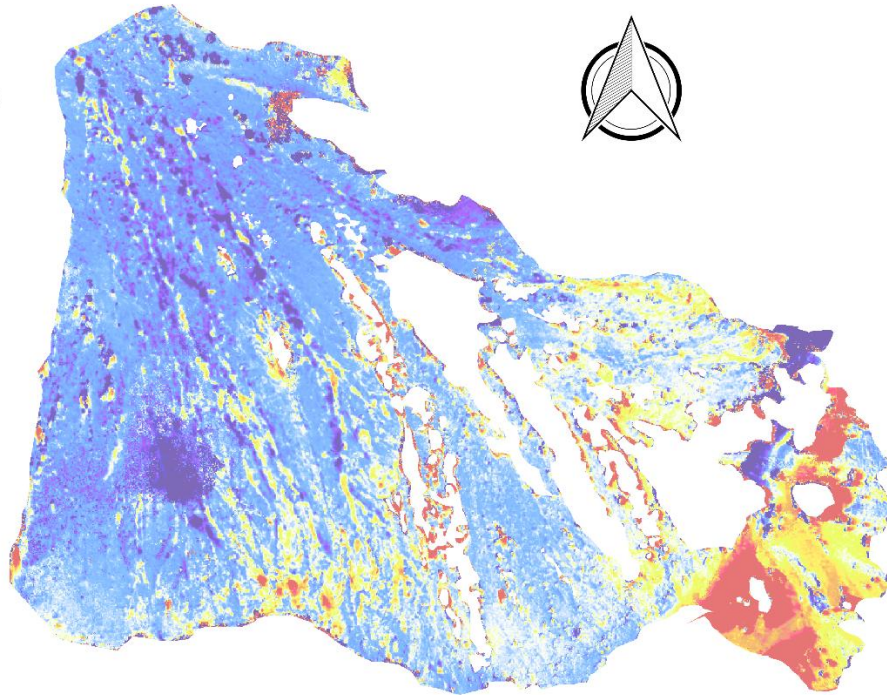
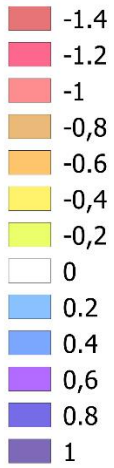


Figura 53: Mapa de variación del terreno en metros en la zona del escarpe

En la parte este del escarpe encontramos la mayor erosión, esta zona corresponde a la zona de expansión del movimiento de masa.

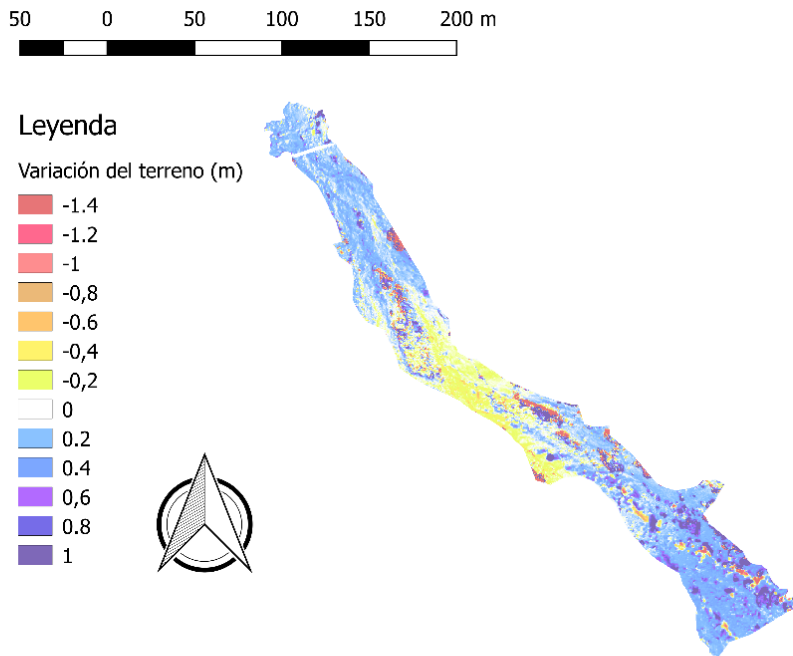


Figura 54: Variación del terreno en metros en el canal

En el canal encontramos acumulación de material en la parte superior y en la inferior, mientras que en la parte central encontramos erosión.

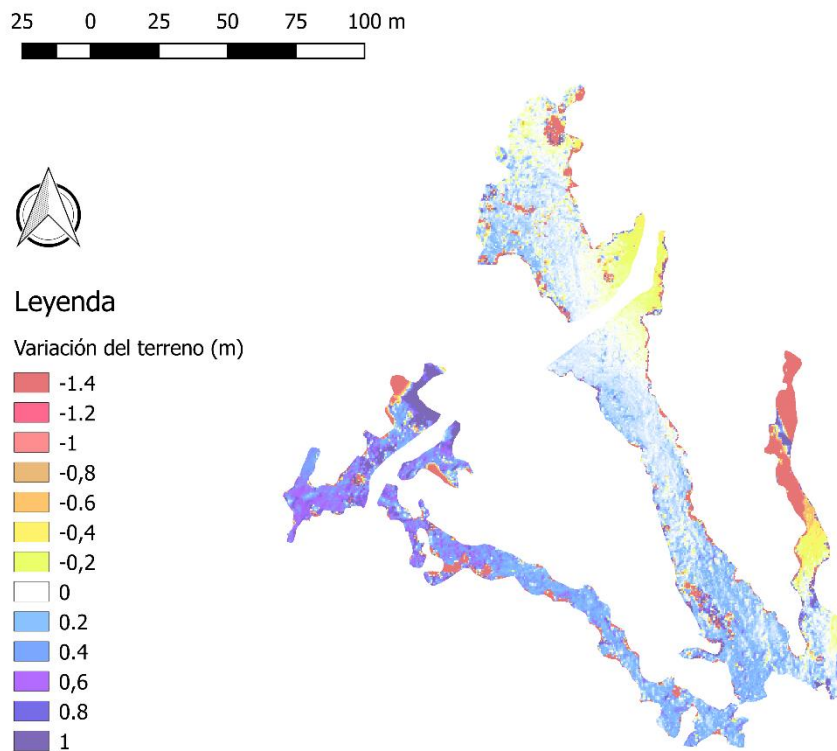


Figura 55: Variación del terreno en metros en los canales de deyección

En los canales de deyección encontramos una mayor acumulación de material contra más al oeste nos situamos, esto indica la zona de crecimiento actual del cono de deyección que el canal Beta está activo, mientras los canales Alpha y Gamma no muestran actividad.

5.4 Mapa de pendientes

El mapa de pendientes mostrado en la siguiente figura corresponde al creado a partir del DEM 2017.

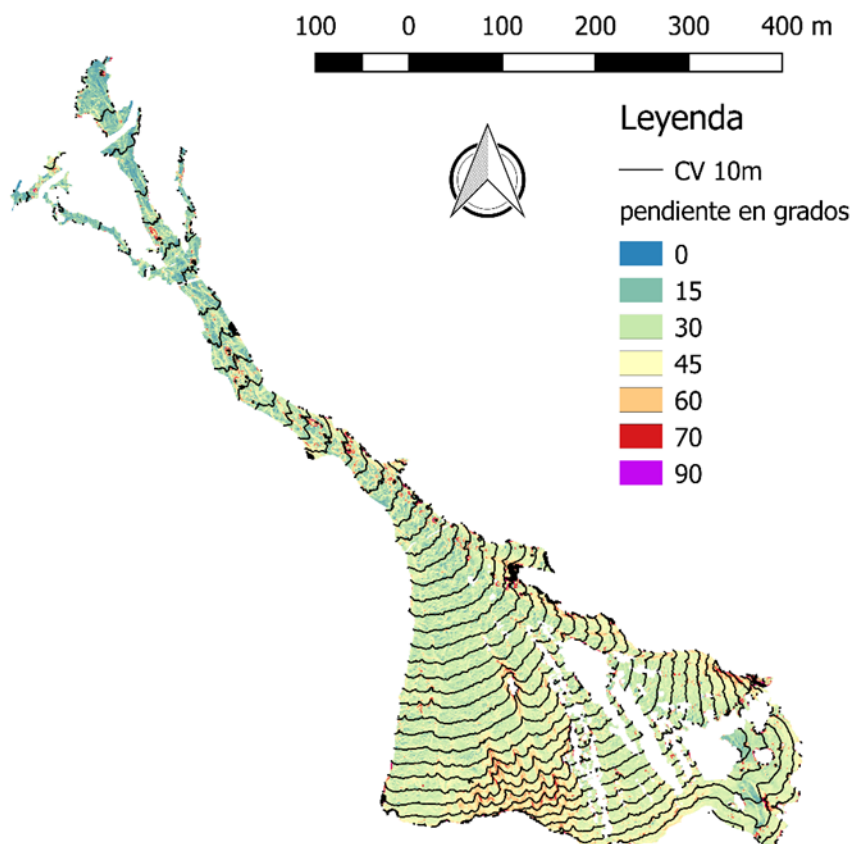


Figura 56: Mapa general de pendientes basado en el DEM 2017

En la figura anterior podemos observar que la pendiente mantiene un valor similar en toda la cuenca, tal como se pudo observar en el perfil longitudinal en el apartado 5.2, este hecho también viene indicado por las curvas de nivel, que mantienen una separación homogénea en toda la cuenca.

A continuación, se muestra una ampliación del mapa de pendientes en la zona del escarpe.

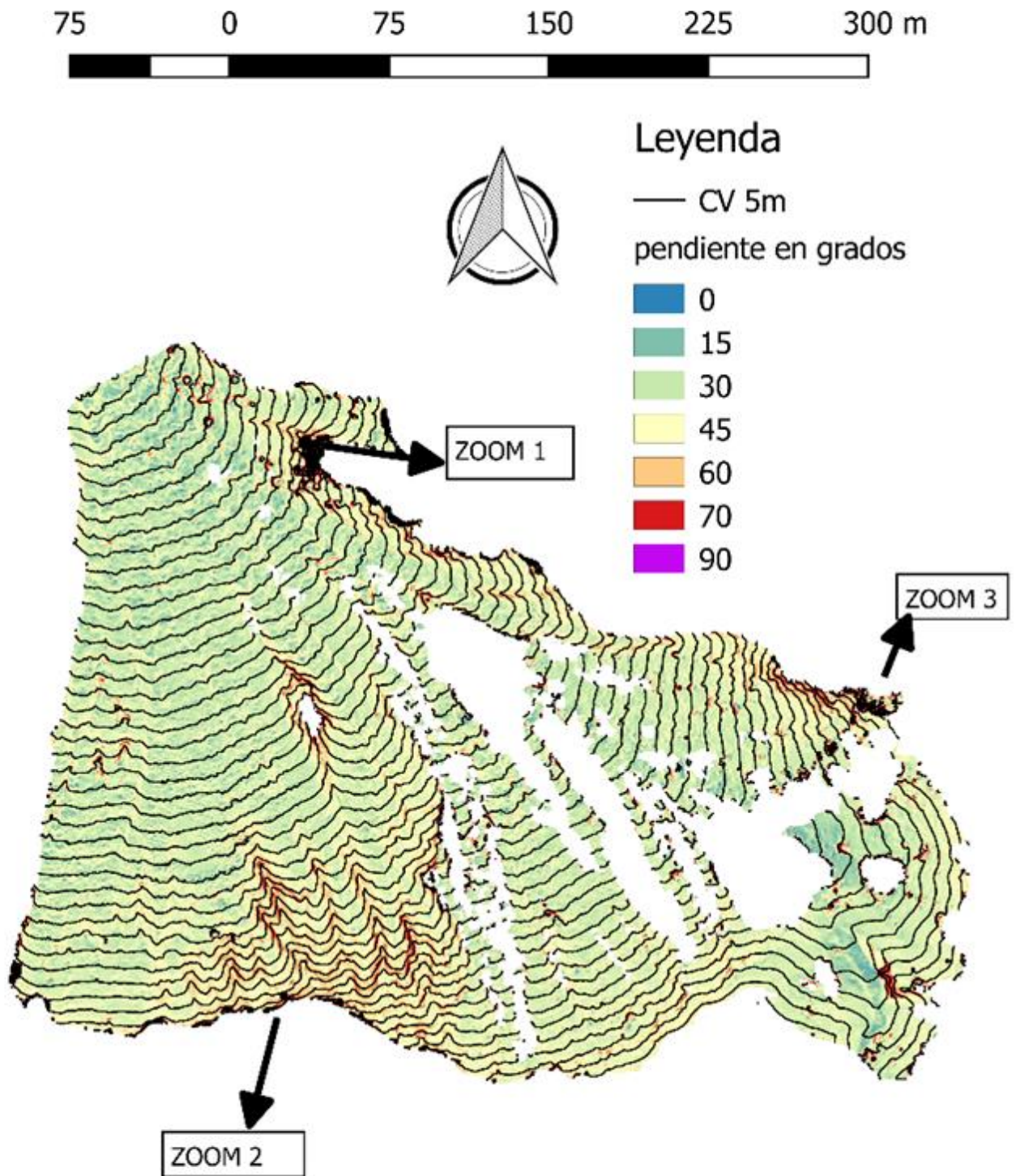


Figura 57: Mapa de pendientes en la unidad del escarpe.

En esta ampliación se han marcado 3 zonas de interés, las zonas 1 y 3 corresponden con errores provocados por la vegetación, dado que esta crece verticalmente obtenemos zonas con valores anormalmente altos, el zoom 2 marca la zona de la que las pendientes son más elevadas, dado que las curvas de nivel presentan una distancia menor entre ellas, en esta zona podemos intuir la presencia de torrentes, como se ha mostrado en el perfil topográfico 1 del apartado 5.2. En las cercanías a la cicatriz también encontramos zonas con una pendiente más elevadas.

7.5 0 7.5 15 22.5 30 m

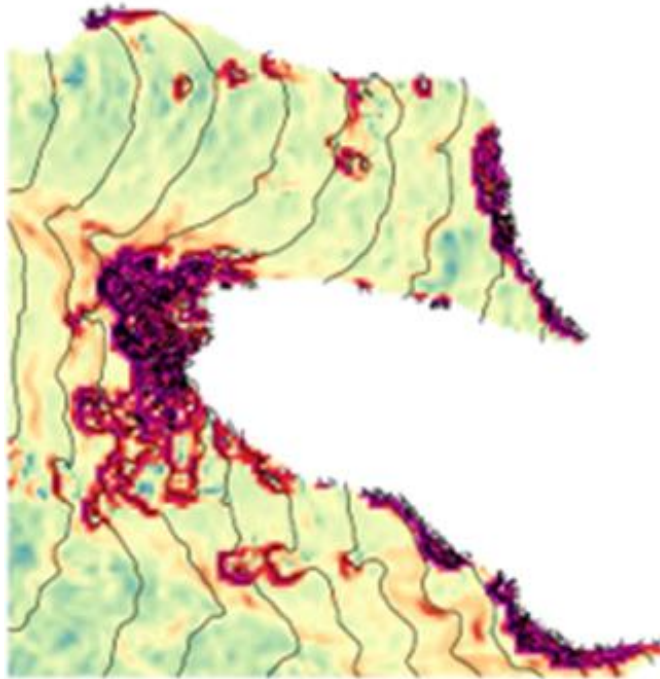


Figura 58:Zoom 1 en el mapa de pendientes

En la figura 54, encontramos un error provocado por la vegetación.

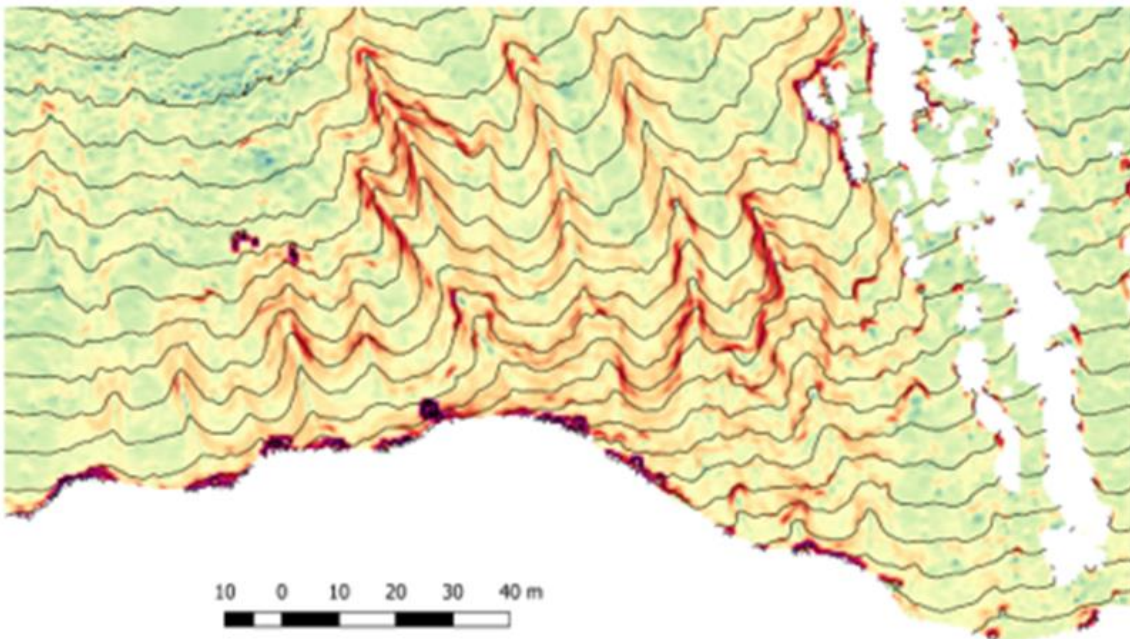


Figura 59:Zoom 2 del mapa de pendientes, detalles de la cicatriz

En la figura anterior se aprecia que en las proximidades de la cicatriz encontramos valores muy elevados, superiores a los 70° en muchos lugares .

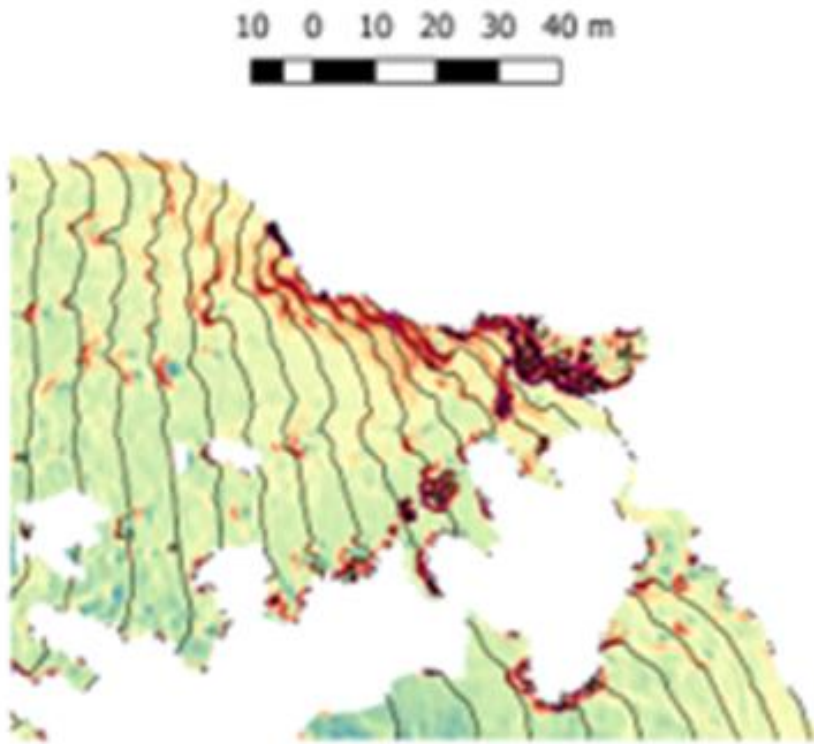


Figura 60;Zoom 3 del mapa de pendientes, errores provocados por la vegetación

Los resultados obtenidos con este procedimiento son los esperados, se observa una disminución del pendiente a medida que descendemos por la cuenca.

Los valores más altos se encuentran en el límite superior del escarpe, en el que encontramos un pendiente casi vertical en algunas zonas, siendo la única zona en la que encontramos valores reales de gran pendiente, el resto de las zonas de alta pendiente corresponde como se ha mostrado en repetidos casos, con anomalías provocadas por la vegetación.

Estas anomalías son fácilmente detectables, dado que son valores de un pendiente muy vertical en zonas que no tendrían que aparecer, y con una comparación con la ortofoto es posible detectar que las zonas anómalas corresponden con la vegetación y el arbolado, en la es posible distinguir perfectamente un árbol.

Los factores estadísticos son los siguientes:

Escarpe 2017:

Estadística	Valor
Media	39.2º
Mediana	37º
Desviación estándar	11.54º

Escarpe 2016:

Estadística	Valor
Media	38.94ª
Mediana	37ª
Desviación estándar	10.56ª

Canal 2017

Estadística	Valor
Media	34.28º
Mediana	32º
Desviación estándar	15.8º

Canal 2016

Estadística	Valor
Media	34.3º
Mediana	33º
Desviación estándar	15.8º

Conos 2017

Estadística	Valor
Media	26.12
Mediana	21
Desviación estándar	16.67

Conos 2016

Estadística	Valor
Media	26.51º
Mediana	22º
Desviación estándar	17º

Tabla 2: Estadísticas de la pendiente en cada zona

La pendiente media del escarpe se ha incrementado ligeramente en el 2017, mientras que en la parte del canal y los conos de deyección ha disminuido de forma muy débil. Teniendo en cuenta lo anterior, podemos concluir que los cambios en la pendiente entre los años de estudio son muy tenues.

La desviación estándar aumenta a medida que llegamos a zonas con una pendiente menor, esto es debido a la acumulación de bloques de distintos tamaños, que genera una mayor dispersión de los datos, este factor estadístico presenta poca variación entre los dos años.

Igual que la desviación, la mediana presenta poca variación entre los dos años

5.5 Índice de irregularidad

El índice de irregularidad viene estrechamente ligado a las pendientes, puesto que la variación de la pendiente es muy tenue, la variación de este índice también lo será.

En el escarpe

Año 2017

Estadística	Valor
Media	0.572388
Desviación estándar	2.00214

Año 2016

Estadística	Valor
Media	0.57373
Desviación estándar	1.93896

Tabla 3: Estadísticas del índice de irregularidad en el escarpe

5.6 Volumen movilizado

Los resultados obtenidos en el cálculo de volumen movilizado en las unidades de la cuenca son los siguientes:

En el escarpe

Volumen erosionado	-49194.4m ³
Volumen sedimentado	+97558.2m ³
Volumen neto	+48363.8m ³

En el canal

Volumen erosionado	-2292.4m ³
Volumen sedimentado	+7799.2m ³
Volumen neto	+5506.8m ³

En el cono activo

Volumen erosionado	-7014.1m ³
Volumen sedimentado	+7587.7m ³
Volumen neto	+573.61m ³

Tabla 4: Resultado de volumen movilizado

A la hora de analizar estos resultados hay que tener en cuenta diferentes factores:

El material erosionado o saliente, puede volver a sedimentarse o acumularse en la misma unidad.

Una parte del material erosionado puede salir de la cuenca en forma de finos por acción del viento.

El cono de deyección es cortado por una carretera, por lo tanto, los materiales que se hayan acumulado en dicha carretera se asumen como retirados por las autoridades pertinentes, en consecuencia, tenemos un volumen acumulado que no se ha podido contabilizar, por otra parte, en el cono de deyección existe la posibilidad de que haya material que se hubiera depositado fuera de las zonas controladas, por lo tanto, no ha podido ser contabilizado.

En la zona del escarpe se detecta un gran incremento del volumen neto, esto es debido a que no todo el material erosionado sale de la unidad, y por la propia evolución del escarpe, una aportación de volumen proveniente de la expansión del propio movimiento de masa.

En la unidad del canal se ha producido un incremento del volumen retenido, esta zona, ha recibido aportes de material provenientes del escarpe, la zona inmediatamente superior, y un volumen saliente a la unidad inferior, el cono de deyección además de las variaciones de material internas en la zona. La presencia de barreras provoca que esta zona retenga un mayor volumen de material, dado que estas barreras impiden la óptima entrada de material a los canales de deyección afectados.

En el cono de deyección, se ha podido estudiar la variación de material en los canales de desagüe previamente cartografiados. Esta zona tiene un incremento de volumen.

5.7 Cartografía de elementos notorios

5.7.1 Barreras

Se ha encontrado una serie de barreras que bloquean los canales centrales (Alpha) y lateral menor (Gamma), demostrando las suposiciones anteriormente realizadas, estas barreras son las causantes de la inactividad en los conos, puesto que bloquean las aportaciones de material. Estas barreras suponen un riesgo importante, puesto que están produciendo la acumulación de materiales.

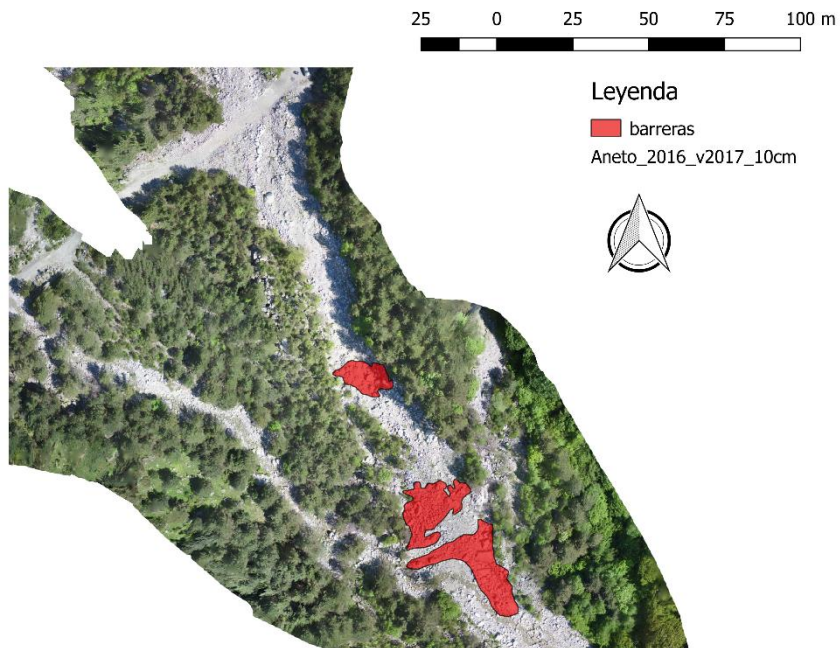


Figura 61:Barreras encontradas en el cono de deyección

5.7.2 Depósito de Till

En el escarpe se ha detectado una zona en la que se acumula un gran volumen de material, se debería controlar este depósito de Till, dado que es la zona en la que se produce una mayor acumulación de material en el escarpe, siendo estos depósitos potencialmente inestables, en caso de ser movilizado supondría un incremento importante de material en el movimiento de masa.

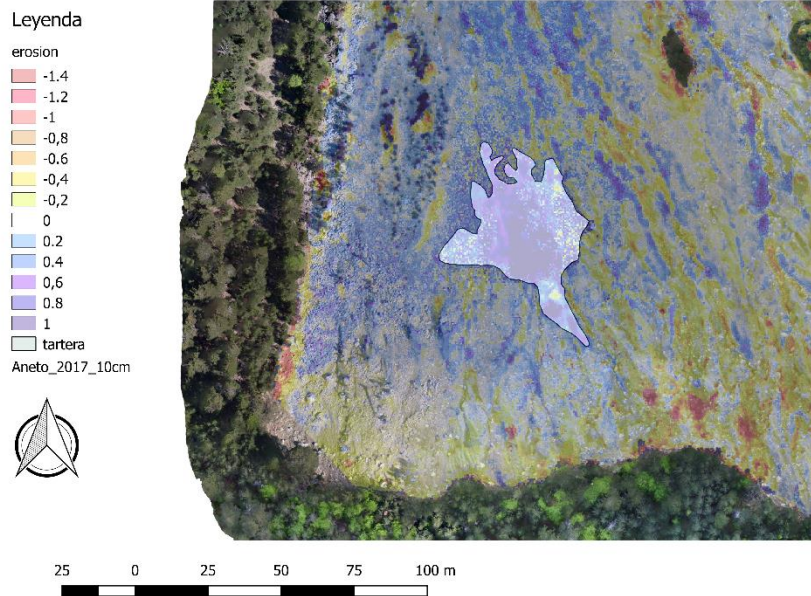


Figura 62: Depósito de Till en la unidad del escarpe, reflejado sobre el mapa de erosión/acumulación

5.7.3 Bloques

En un breve análisis en la zona del escarpe, se han podido encontrar los siguientes bloques, el número más abundante corresponde a los bloques cuya posición no ha cambiado, por lo que no han sido involucrados en los movimientos de la cuenca, se localizan bloques que se han desprendido, pero en cambio el número de bloques que se han depositado es menor, esto es debido a que los bloques desprendidos pueden fracturarse, quedar enterrados o ser arrastrados a una mayor distancia lo cual hace más difícil su identificación.

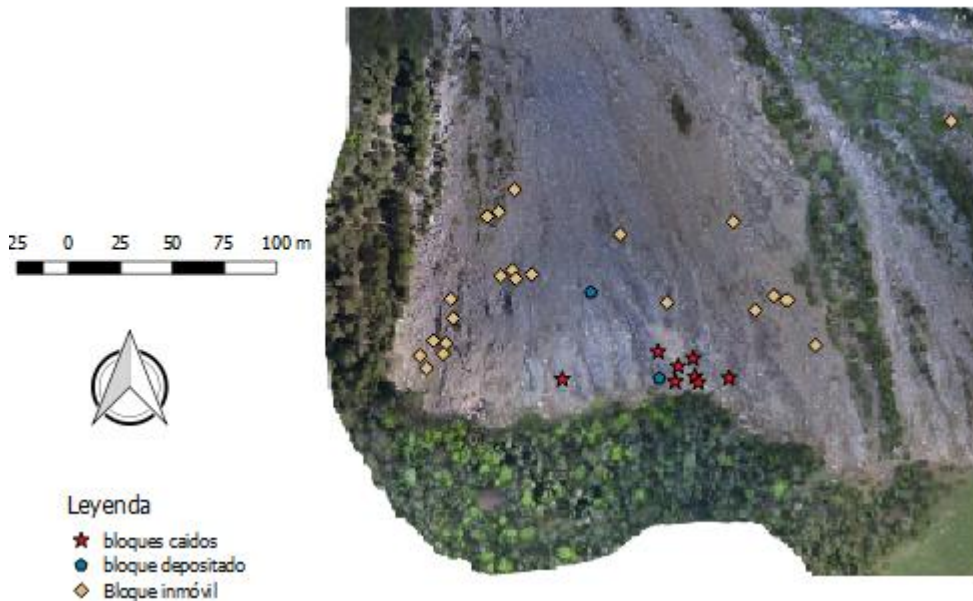


Figura 63: Algunos bloques localizados en el escarpe

En la parte superior del escarpe, se ha detectado la caída de grandes bloques durante el periodo de estudio, estos bloques de gran tamaño son detectados en el mapa de erosión, dado que su caída provoca diferencias perfectamente distinguibles. El tamaño de los bloques no sigue ninguna homogeneidad, pudiendo encontrar bloques cuyo volumen llega a superar los 10m³.

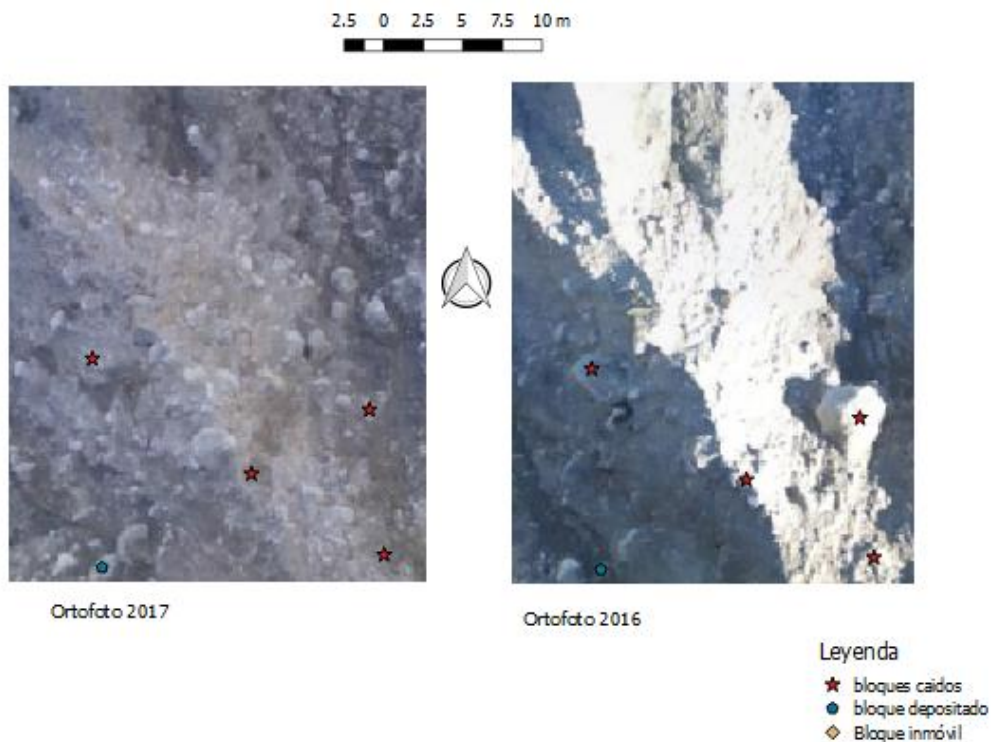


Figura 64: Bloques caídos en el periodo de estudio

En la figura anterior aparecen diferentes bloques caídos, pudiendo observar la diferencia en la misma área entre 2017 y 2016. A la derecha de las imágenes, se observa un bloque de gran tamaño, cuyo volumen puede alcanzar los 10 m³, este bloque no ha podido ser localizado, por lo que debió ser fracturado al caer o quedar enterrado bajo materiales más finos.

En la siguiente figura se observa un bloque depositado, con un volumen aproximado de 5m³.



Figura 65: Bloque depositado en el periodo de estudio



Figura 66: Bloques inmóviles

En la figura anterior se aprecian varios bloques que apenas han sufrido variaciones en su posición, estos bloques tienen un tamaño moderado superior al metro cúbico. Estos bloques inmóviles abundan en la cuenca torrencial sobre todo en la parte media del escarpe, la abundancia de estos bloques indica que existe un elevado tiempo de retención de estos bloques en la cuenca.

6Conclusiones

El periodo de estudio comprende entre 2016 y 2017, por lo tanto, el análisis realizado es de lo ocurrido en un año, sería conveniente continuar disponiendo de datos de alta resolución en los siguientes años, un seguimiento podría establecer tendencias de la evolución de la cuenca y crear modelos predictivos del comportamiento de la cuenca.

Respecto a la herramienta principal, el software Qgis, he de concluir que me ha parecido la herramienta ideal para realizar este proyecto, dada su facilidad de manejo, la gran disponibilidad de complementos le dan la versatilidad para realizar este proyecto, en caso de dudas y dificultades existe una gran comunidad de usuarios dispuestos a ayudar y aconsejar, por ultimo destacar el hecho de que sea un software libre, lo convierte en una buena herramienta para la comunidad educativa, puesto que no tiene coste alguno y el código abierto permite crear herramientas de trabajo

La cuenca cumple con las características esperadas, con un alto número de torrentes iniciales, que se van uniendo en torrentes de orden superior, pero con una capacidad erosiva menor, siendo más propicios a transportar y depositar el material a medida que aumenta el orden de los cursos de agua, a la vez que disminuye la pendiente y consecuentemente el poder erosivo

En términos absolutos la cuenca no ha sufrido grandes cambios, tal como refleja el índice de irregularidad y la variación de las pendientes medias, que reflejan un pequeño aumento, como no se dispone de una serie de datos mayor, es imposible determinar si estamos en una tendencia alcista o suele oscilar entorno un valor medio.

En la parte del escarpe se detecta un gran incremento de volumen acumulado, esto es debido a las aportaciones de las zonas de expansión del movimiento de masa, en esta zona se observa que el material sale permanecer en ella, dado que se han encontrado un elevado número de bloques cuya posición no ha variado con el transcurrir del tiempo ,sería interesante estudiar el tiempo de permanencia de estos materiales en la zona en cuestión, en esta unidad se ha detectado una zona que tiene tendencia a acumular bloques de tamaño moderado, esta zona de depósito de Till, puede conllevar un riesgo importante en caso de que consiga ser movilizada.

Otro de los factores de interés es la influencia de la vegetación, puesto que es un factor natural que aporta seguridad, dado que ayuda a retener el terreno, siendo un aliado en la lucha contra la erosión, un incremento de la vegetación aumentaría la retención de materiales en el escarpe, y en la zona superior a la cicatriz reduciría el ritmo de la expansión de la cuenca erosiva.

En las partes medias y bajas de la cuenca se ha encontrado un incremento del volumen del material acumulado, estando el riesgo en la formación de barreras sumándose a las ya existentes.

Como resultado es posible concluir que la cuenca del Rebaixader presenta una constante actividad, dado que la actividad erosiva del escarpe sigue su expansión, actualmente el cono activo corresponde al enumerado como Beta, no obstante, es posible la reactivación de los conos central (Alpha) y cono lateral menor (Gamma), un fenómeno de suficiente magnitud podría romper las barreras que actualmente bloquean estos canales de desagüe.

Sin embargo, en caso de un movimiento de masa de grandes dimensiones, los daños no serían cuantiosos debido a la lejanía de cualquier infraestructura y del pueblo, solamente podría afectar a un camino rural de utilización escasa, no obstante, los materiales movilizados podrían acabar en el rio, por lo que recomendaría el análisis de riesgos rio abajo, dado que infraestructuras tales como puentes y los terrenos aledaños al rio podrían verse afectados por el impacto de materiales, así como cualquier infraestructura hidráulica existente, también desde el punto de vista medioambiental estos eventos tendrían impacto en la flora y fauna que habita en las cercanías de la Noguera Ribagorçana.

Sería interesante establecer en un futuro una relación entre las precipitaciones, tanto en forma de lluvia como de nieve acumulada y la rapidez con la que se funde esta, con los parámetros anteriormente mencionados, estableciendo relaciones entre la temperatura media, la aportación de agua a la cuenca, y su intensidad, con los eventos registrados in situ por los geófonos y la instrumentación existente y los datos obtenidos vía dron.

Dadas las importantes precipitaciones de la presente primavera ,que ha sido la más lluviosa en los últimos 69 años, llegándose a acumular de acuerdo a las estaciones de la XEMA y de la Red de Observadores Meteorológicos (XOM) 789,9 mm en Espot (2.519 metros) Pallars Sobirà, seguido de 664,6 mm en Boí (2.535 metros), en la Alta Ribagorça, y de 626,4 mm en el port de la Bonaigua (2.266 metros), en la Val d’Aran y del invierno desde febrero de 2018 en el que cercana estación de esquí de Boí Taüll (2.535 metros) llegó a acumular 6,28 metros de nieve acumulada, o los cerca de 10 metros en Baqueira Beret, en la Val d’Aran, duplicando en ambos casos la media , todo apunta que la actividad de la cuenca ha sido elevada, puesto que este año sucesos como desprendimientos y avalanchas han adquirido una mayor relevancia mediática dado que se han producido diferentes daños materiales y varias personas perdieron la vida a consecuencia de estos fenómenos, por lo que más allá de la labor técnica de prevención, es necesario una mayor concienciación social, puesto que muchas veces la población no es consciente de los riesgos de su entorno.

7 Bibliografía

- Corominas, J. (1989). “Clasificación y reconocimiento de los movimientos de ladera”. En: J. Corominas(Ed.). Estabilidad de Taludes y Laderas Naturales. Monografía nº3. Sociedad Española de Geomorfología. Zaragoza. Pp. 1-30
- Corominas, J., García Yagüe, A. (1997). “Terminología de los movimientos de ladera”. IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada Vol.3: 1051-1072.
- Costa, J.E. (1984). “Physical geomorphology of debris flows”. En: Developments and applications of Geomorphology (Eds. J.E. Costa y P.J. Fleisher). Springer Verlag, pgs. 268- 317.
- Highland, L.M., and Bobrowsky, Peter, (2008) “The landslide handbook—A guide to understanding landslides” Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.
- Hutchinson, J. N. (1988). General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides (Ed: Bonnard, C.), 1, 3-35. Rotterdam: Balkema
- Hürlimann M., Abancó C., Moya J., Raimat C., Luis-Fonseca R. (2011). “Debris-flow monitoring stations in the Eastern Pyrenees. Description of instrumentation, first experiences and preliminary results”. In: Genevois R, Hamilton D, Prestininzi A (eds) 5th Int. Conf. On Debris-Flow Hazards Mitigation, Padua, pp. 553–562.
- J.Goerlich, Francisco(2010) “Un índice de rugosidad el terreno a escala municipal a partir de modelos de elevación digital de acceso público” Fundación BBVA
- Pierson, T.C., Costa, J.E. (1987). “A rheologic classification of subaereal sediment-water flows”. Geol. Soc. Am. Rev. Eng. Geol. VII, pgs. 1-12.
- Ruiz-Carulla, R., Corominas, J., Hürlimann, M. (2017). “Experiencias con drones para el estudio de movimientos de ladera”. IX Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables.
- Takahashi Tamotsu. (2007). Debris flow: mechanics, prediction and countermeasures. London: Taylor & Francis.
- Varnes, D. (1978). “Slope movement types and processes”, Special report 176. En R. K. Schuster, Landslides: analysis and control. Transportation research Board, pgs. 11-33.
- Vilaplana, J.M. (1983). “Estudi del galciarisme cuaternari de les altes valls de la Ribagorça”. Tesis doctoral. Depto de Geomorfología y Geotectónica, Universidad de Barcelona 322, Barcelona
- Vilaplana, J.M. (1983). “Quaternary glacial geology of the Alta Ribagorça basin (Central Southern Pyrenees)”. Acta Geológica Hispánica .18:217-233.

Enlaces consultados:

Acumulación de nieve en el invierno de 2018: <https://www.nevasport.com> última consulta abril 2018

Climograma en Vilaller <https://es.climate-data.org/location/184926/> última consulta marzo 2018

Geología de la zona del pirineo axial: <https://www.ordesa.net/miscelaneas/geologia8> última consulta junio 2018

Información general de la comarca: https://es.wikipedia.org/wiki/Alta_Ribagorza última consulta junio 2018

Información general de Qgis <https://www.qgis.org/es/site/> última consulta junio 2018

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya <http://www.icgc.cat/> última consulta junio 2018

Primavera más lluviosa en los últimos 69 años:

<http://www.lugaresdenieve.com/?q=es/noticia/pirineo-catalan-ha-tenido-primavera-lluviosa-ultimos-69-years> última consulta junio 2018

SopORTE técnico de Microsoft Office: <https://support.office.com/es-es> última consulta junio 2018