



Escola de Camins

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

El uso de dron para la cartografía y el análisis geomorfológico de procesos torrenciales. Experiencias de la cuenca el Rebaixader (Pirineo Central).

Trabajo realizado por:

Guillermo Vallés González

Dirigido por:

Marcel Hürlimann Ziegler

Grado en:

Ingeniería geológica

Barcelona, 16 de junio de 2017

Departamento de ingeniería del terreno, cartográfica y geofísica.

TRABAJO FINAL DE GRADO

Resumen

Los movimientos de masa, especialmente las corrientes de derrubios o debris flows, son unos de los peligros geológicos más importantes en nuestro país debido a su magnitud y frecuencia. Estos movimientos pueden movilizar grandes cantidades de masa sin previo aviso y a una alta velocidad. Históricamente estos movimientos han pasado desapercibidos por una población que buscaba ubicarse en zonas más llanas o costeras.

En los últimos años, no obstante, las zonas de montaña han sufrido un proceso de urbanización importante, especialmente debido al turismo y al ocio. Dicho aumento tanto de población como de estructuras hace que sea de gran importancia estudiar cómo pueden afectar los movimientos de masa a la zona. Dentro de los acontecimientos consecuencia de debris flow podemos encontrar desde corte de carreteras por material transportado hasta daños de estructuras más grandes (puentes, presas, casas) e incluso daños humanos o muertes.

La zona de estudio de esta tesina es el barranco de Rebaixader, situada cerca de la población de Senet de Barrabés (municipio de Vilaller, Alta Ribagorça). El barranco se ubica sobre una antigua morrena lateral. La erosión de dicho material tan heterogéneo e inestable es el causante de la formación de debris flow. Esta cuenca es una de las más activas a nivel nacional en cuanto a debris flow.

El objetivo de esta tesina consiste en obtener la máxima información posible sobre las características geomorfológicas provocadas por los procesos torrenciales del barranco de Rebaixader durante el período de años estudiados, el cual comprende desde el año 2009 hasta el 2016, y comprobar las ventajas que implica la utilización de un dron para obtener datos en campo para futuros estudios.

A partir de las ortofotos que disponemos y los datos del barranco obtenidos gracias al sistema de monitorización durante los años de estudio sobre los movimientos producidos de debris flow y debris flood podemos obtener cómo ha sido la evolución de nuestra zona en lo que respecta a los bloques de rocas.

A pesar de las dificultades que supone trabajar con mapas con diferentes resoluciones (ya que la calidad de píxel varía de 5cm/px hasta 50 cm/px) se han podido obtener unos resultados que concuerdan con los valores reales del barranco.

Hemos podido observar como a consecuencia de los episodios de debris flow del barranco este ha sufrido cambios significativos, como la actividad en el cono de deyección.

Resum

Els moviments de massa, especialment els corrents d'arrossegalls o debris flows, son un dels perills geològics més importants en el nostre país a causa de la seva magnitud i la seva freqüència. Aquests moviments poden mobilitzar grans quantitats de massa sense previ avís i a una alta velocitat. Històricament, aquests moviments han passat desapercebuts per una població que buscava una ubicació en zones més planes o costeres.

En els últims anys, però, les zones de muntanya han sofert un procés d'urbanització important, especialment a causa del turisme i l'oci. Aquest augment tant de població com d'estructures fa que sigui de gran importància estudiar com poden afectar els moviments de massa a la zona. Dins dels esdeveniments conseqüència de debris flow podem trobar des tall de carreteres per material transportat fins danys en estructures més grans (ponts, preses, cases) i fins i tot danys humans o morts.

La zona d'estudi d'aquesta tesina és al barranc del Rebaixader, situada a prop de la població de Senet de Barravés (municipi de Vilaller, Alta Ribagorça). El barranc es situa sobre una antiga morrena lateral. L'erosió d'aquest material tan heterogeni i inestable és el causant de la formació de debris flow. Aquesta conca és una de les més actives a nivell nacional pel que fa a debris flow.

L'objectiu d'aquesta tesina consisteix a obtenir la màxima informació possible de les característiques geomorfològiques provocades pels processos torrencials del barranc de Rebaixader durant el període d'anys estudiats, el qual comprèn des de l'any 2009 fins al 2016, i comprovar els avantatges que implica la utilització d'un drone per obtenir dades en camp per futurs estudis.

A partir de les ortofotos que disposem i les dades del barranc obtinguts gràcies al sistema de monitorització durant els anys d'estudi sobre els moviments produïts de debris flow i debris flood podem obtenir com ha sigut l'evolució de la nostra zona d'estudi pel que fa als blocs de roques.

Tot i les dificultats que suposa treballar amb mapes amb diferents resolucions (variant aquestes des de 5 cm/px fins a 50 cm/px) s'ha pogut obtenir uns resultats que concorden amb els valors reals del barranc.

Hem pogut observar com a conseqüència dels episodis de debris flow del barranc aquest ha sofert canvis significatius, com l'activitat en el conus de dejecció.

Abstract

Mass movements -especially debris flows- are one of the most important geological hazards in our country, due to their magnitude and their high incidence. They can suddenly shift large amounts of mass which move at high speed. Historically, these movements have occurred unnoticed by the population who intends to settle in flat or coastal areas.

In recent years, however, mountain areas have suffered an important urbanization process. This fact is mainly own to their tourism and leisure activities. The increase of population and structures is the reason why it is essential to studying how mass movements can affect the area. We can find within the debris flow consequences from roadblock by transported material to structure damage (such as bridges, dams or houses), including also human injuries and deaths.

The area of study is located in the Rebaixader's ravine, near Senet de Barrabés village (Vilaller, Alta Ribagorça). This ravine is placed on an old lateral moraine. The erosion of its heterogeneous and unstable material is the responsible of debris flow. Indeed, this basin is one of the most active at the national level in terms of debris flows.

The aim of the thesis is to obtain as much information on the geomorphological features provoked by torrential processes as possible of the Rebaixader's ravine from 2009 to 2016. Another goal is to check the advantages of using drones to obtain field data for future studies.

We can depict the evolution of our area -regarding rock blocks- thanks to orthophotos and the data of the ravine obtained by the debris flow and debris flood monitoring system during the studied period of time.

In spite of the difficulties which involve working with maps of different resolutions (changing from 5cm/px to 50 cm/px), we have been able to reach results which are in agreement with the real values of the ravine.

We have also been able to see that, as a consequence of the debris flow episodes, the ravine has experimented significant changes in the cone activity.

ÍNDICE

1. Introducción	6
1.1 Motivación y problemática general	6
1.2 Objetivos	6
1.3 Estructura del trabajo	6
2. Conceptos.....	8
2.1 Movimientos de masa.....	8
2.2 Corriente de derrubios.....	11
2.3 Factores desencadenantes	14
3. Zona de estudio.....	15
3.1 Contexto regional.....	15
3.2 Geología regional	16
3.3 Climatología regional	17
3.4 Instrumentación.....	18
4. Datos y metodología aplicada	23
5. Resultados	28
5.1 Evolución del barranco	28
5.2 Movimiento de bloques.....	40
5.3 Consecuencias de los movimientos de bloques	50
6. Conclusiones.....	53
7. Anexos	55
8. Listado de figuras	64
9. Listado de tablas.....	67
10. Bibliografía	68

1. Introducción

1.1 Motivación y problemática general

La organización territorial se ha visto afectada en gran parte por el desarrollo de la sociedad. El resultado de dicho desarrollo ha convertido las zonas de montaña en un lugar más turístico y de ocio. Este cambio, consecuentemente, ha producido un aumento de riesgos geológicos que no puede ser ignorado. El problema principal son los movimientos de masa ya que por lo general estos movimientos suceden repentinamente y no se pueden evitar. El objetivo es minimizar los daños e intentar prevenir el suceso dentro de lo posible.

Durante el siglo XX se han producido diversos fenómenos relacionados con movimientos de masa en la zona de los Pirineos. Estos procesos normalmente han sido producidos después de fuertes episodios de lluvia en zonas con grandes pendientes formadas por material cuaternario. Estos fenómenos han producido daños materiales e incluso la pérdida de vidas humanas, por ese motivo estos movimientos han sido objeto de estudio en diversos proyectos.

En la presente tesina se tratará el caso del barranco de Rebaixader, situado cerca de la población de Senet (en el municipio de Vilaller), en la comarca de la Alta Ribagorça. En este barranco se encuentra una de las corrientes de derrubios más grande de nuestro país, el objetivo será estudiar la evolución de dicha corriente e intentar así comprender mejor la zona estudiada.

1.2 Objetivos

Los principales objetivos de este trabajo son los siguientes:

- Realizar una cartografía de detalle a través de las fotos tomadas con el dron y las ortofotos obtenidas para la realización de la tesina.
- Estudiar cómo han sido algunos de los desprendimientos y episodios de debris flow de la zona y ver como estos han cambiado la disposición de los bloques de rocas durante los años de estudio.
- Ver como el cambio de la geomorfología de la zona ha variado el curso del barranco en los últimos años y hacer estimaciones de lo que podría suceder en años venideros.

1.3 Estructura del trabajo

El trabajo se distribuye de la siguiente forma:

- Primeramente, se realiza una introducción a los conceptos relacionados con esta tesina. Dentro de la teoría se encuentran conceptos geológicos como los movimientos de masa y cómo éstos ocurren, conceptos relacionados sobre la obtención de los datos del trabajo y una pequeña introducción geológica/geográfica de la zona a estudiar. También se hablará del sistema de

monitorización que hay ubicado en dicho barranco y una pequeña introducción del dron con el que se han obtenido las imágenes de la zona en el año 2016 para la realización de la última ortofoto.

- Una vez explicado los conceptos pasamos a la metodología del trabajo, donde se trabajan las ortofotos previamente comentadas. También se hará un estudio de cómo han sido alguno de los movimientos de bloques en el barranco y se comentará las consecuencias de los episodios de debris flow y debris flood producidos en éste.
- El último bloque lo compone las conclusiones obtenidas durante la tesina y además anexos donde se incluyen la información de las figuras y tablas utilizadas así como las ortofotos trabajadas. También se encuentra en este apartado la bibliografía del trabajo.

2. Conceptos

Para comprender mejor los diversos procesos que ocurren en la zona a estudiar hace falta realizar una pequeña introducción de los diferentes movimientos de masa. Una vez hecho el resumen ampliaremos información de la parte que nos interesa en este trabajo, que estaría relacionado con corrientes de derrubios y cómo éstas suceden.

2.1 Movimientos de masa

Entendemos como movimiento de masa el desplazamiento descendente de parte del terreno de la ladera hacia el exterior. Estos fenómenos pueden llegar a ser complejos y por eso es importante su correcta clasificación. Una buena clasificación es importante para, si fuese necesario, realizar medidas correctoras y estabilizar la zona.

Existe un gran número de clasificaciones aceptadas para este tipo de movimientos:

- Varnes (1978)
- Hutchinson (1988)
- Cruden y Varnes (1996)
- Corominas y García Yagüe (1997), añadieron un nuevo grupo que incluye movimientos de masa sin rotura.

Una pequeña definición de los distintos movimientos de masa basados en las clasificaciones previamente comentadas:

Desprendimientos o colapsos (Falls)

Despegue de masa o roca de una pared vertical o acantilado. El movimiento se produce por la caída libre del material y su posterior rodadura o rebote. Si el elemento consiste en la caída de la zona superior del macizo hablamos de desprendimiento, en cambio si el movimiento parte de la zona inferior y se desprende toda la columna hablamos de colapso. Estos movimientos se producen a gran velocidad.

Vuelcos (Topples)

Rotación hacia el exterior de la ladera de una masa de suelo o roca sobre un eje situado por debajo de su centro de gravedad. Este suceso puede estar provocado por gravedad, presión de agua o hielo. El vuelco se puede realizar por flexión (rotura de capas continuas de roca dispuestas en columna debido a esfuerzos de flexión) o por desplome (movimiento brusco de giro apoyado en su base externa).

Deslizamientos (Slides)

Movimiento de masa ladera abajo que se produce por una o más superficies de rotura o en zonas delgadas con intensa deformación de cizalla. Estos movimientos pueden ser rotacionales (la rotura se produce a lo largo de una superficie curvilínea y cóncava) o transnacionales (la rotura se produce en una superficie plana u ondulada).

Expansiones laterales (Lateral spreads)

Movimiento de fracturación y desplazamiento lateral de suelos o rocas en una ladera debido a licuefacción del material subyacente o desplazamiento de componentes horizontales. Afecta rocas blandas y deformables sin observación de movimientos de cizalla o flujo plástico.

Flujos (Flows)

Movimientos de masa desorganizados o mezclados donde la distribución de velocidades es parecida a la que presenta un fluido viscoso. La masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente y adopta a menudo formas lobuladas que se desparraman por la ladera formando conos de deyección cuando afecta a material granular.

Existen flujos lentos como la soliflucción y la reptación y rápidos como las corrientes de derrubios (debris flows), coladas de tierra (earth flows) o las avalanchas de rocas (avalanches).

Deformaciones sin rotura manifiesta

Deformaciones que no dan lugar al despegue de la masa movida ni la formación de superficies continuas en el conjunto. Son deformaciones con corta extensión generalmente. Estas deformaciones pueden acelerar hasta rotura, reactivarse o dejar de producirse. Comprenden diversos tipos de movimiento:

- Movimientos gravitacionales profundos
- Roturas confinadas
- Cabeceo
- Reptación por fluencia
- Combadura y pandeo en valle

En la figura 1 queda representado visualmente cada uno de los procesos explicados anteriormente:


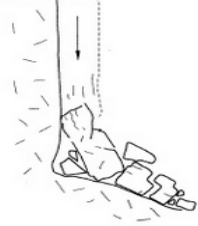
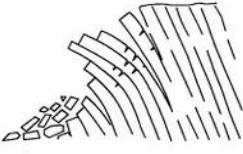
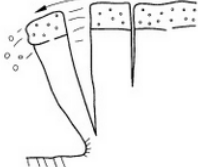



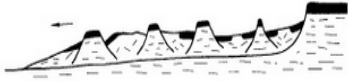
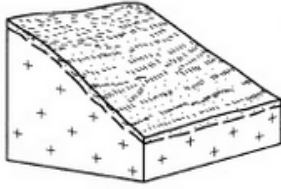



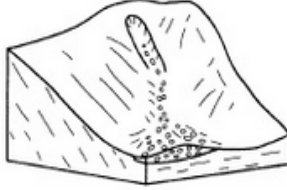



Desprendimientos o caídas	 Desprendimiento	 Colapso
Vuelcos	 Vuelco por flexión	 Desplome
Deslizamientos	 Deslizamiento rotacional	 Deslizamiento traslacional
Expansiones laterales	 Fluencia	 Licuefacción
Flujos	 Reptación  Colada de tierra  Golpe de arena	 Soliflucción  Corriente de derrubios  Avalancha de derrubios
Deformaciones sin rotura manifiesta	 Deformaciones gravitacionales profundas	 Roturas confinadas

Figura 1: Clasificación de los diferentes tipos de masa (Corominas y García Yagüe, 1996).

2.2 Corriente de derrubios

A lo largo de la historia se han publicado diversas definiciones sobre las corrientes de derrubios. Johnson (1970) definió debris flows como un movimiento en masa intermedio entre deslizamientos y corrientes fluviales. Varnes (1978) las definió como un movimiento en masa rápido de un cuerpo de sólidos granulares, agua y aire, que se mueve como un flujo viscoso. Johnson y Rodine (1984) las definió como un flujo granular mezclado solo con cantidades menores de arcilla, agua y aire en cantidades variables que descienden rápidamente independientemente de la pendiente.

Una definición más correcta desarrollada posteriormente es que los corrientes de derrubios son movimientos rápidos de material detrítico en el que predomina la fracción gruesa (arenas, gravas, bloques). La fracción sólida puede llegar a constituir el 80% del peso de la masa en movimiento con un contenido de agua elevado. Su morfología es diversa debido a la facilidad de la corriente de bajar tanto por laderas abiertas como canalizadas. Al tener cohesión baja, el material que circula se desparrama en la parte inferior de las laderas y genera un depósito sin forma específica denominado cono de deyección.

La interacción de fuerzas sólidas y fluidas no sólo hace distinguir físicamente las corrientes de derrubios, sino que también les proporciona un poder destructivo único (Iverson, 1997). Las corrientes de derrubios a veces suceden sin previo aviso y arrasan los obstáculos que encuentran a paso, igual que las avalanchas rocosas. Estas, además, pueden ser suficientemente fluidas para recorrer grandes distancias. Las más grandes pueden superar los mil millones de metros cúbicos y liberar más de 10^{16} J de energía potencial. Incluso las corrientes más habituales (1000 m^3) pueden arrasar con la vegetación de la zona, dañar estructuras y en mayor peligrosidad, causar muertes (Iverson, 1997).

Otra característica esencial de las corrientes de derrubios es el carácter no uniforme y no estacionario del flujo, que raramente se mantiene en 3 horas y cuya velocidad puede superar 10 m/s (Iverson, 1997).

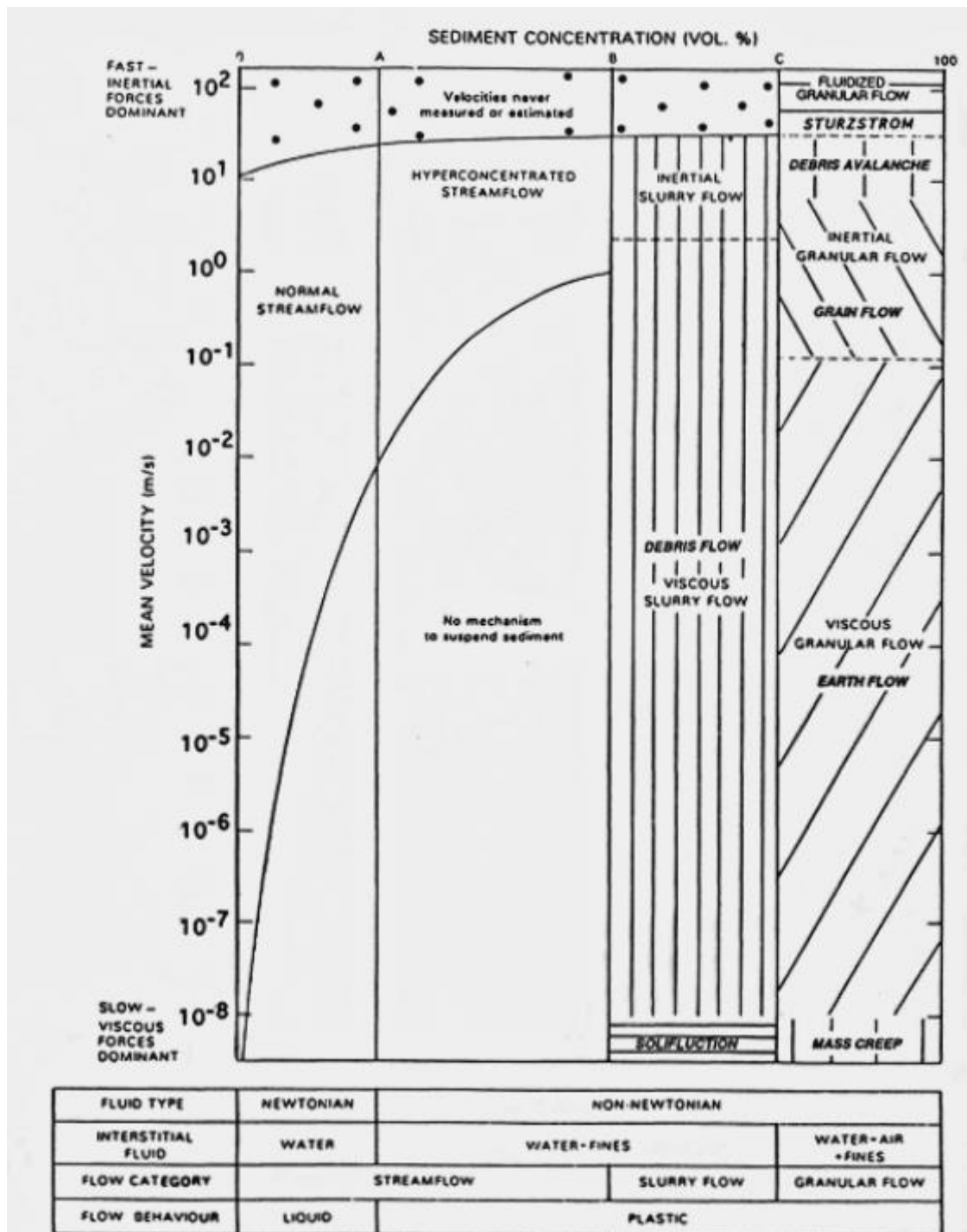


Figura 2: Clasificación reológica de los flujos de agua y sedimento. Las divisorias verticales A, B y C son umbrales reológicos que dependen de la distribución granulométrica (se asume la existencia de bloques y una mezcla escasamente clasificada) y de la concentración del sedimento. La línea A marca el inicio de la resistencia al corte; la línea B marca un incremento brusco de resistencia al corte, que permite la suspensión estática de grava y el inicio de la licuefacción; el límite C indica el cese de la licuefacción. En el eje vertical, los límites de velocidad (también dependientes la distribución granulométrica, de la concentración de sedimento y de la densidad de las partículas) son determinados por el mecanismo(s) de transmisión de tensiones entre partículas durante el flujo (Pierson y Costa, 1987).

Las corrientes de derrubios presentan distintas morfologías, pero por lo general su longitud es mucho mayor que su ancho, llegando a ser esta proporción de 10:1 o incluso más de 50:1 (Van Steijn, 1989). En una corriente de derrubios se distinguen tres zonas con diferente morfología: el área fuente o zona de salida, la zona de canal (esencialmente de tránsito) y la zona de acumulación:

- Área fuente: Zona donde se origina la corriente de derrubios, con pendientes inclinados de entre 20 y 45 grados, formada por suelos detríticos o meteorizados y con escasa vegetación.

- Zona de transporte o canal: Zona de paso de la corriente de derrubios. El flujo se desplaza vertiente abajo y suele fluir por barrancos preexistentes. Durante su descenso el flujo acumula material en los laterales, principalmente elementos de diámetro considerable como grava o bloques, formando diques laterales que definen mejor la trayectoria del corriente.

- Zona de acumulación o cono de deyección: Cuando el pendiente disminuye la velocidad disminuye con él de forma que el flujo deja de circular por el canal y ocupa una superficie preexistente de forma que la acumulación acaba creando el cono en forma de abanico.



Figura 3: Barranco de Rebaixader. Reflejamos las diferentes zonas de este: Zona azul: Área fuente; Zona verde: Canal; Zona roja: Cono de deyección. Fuente: ICGC.

2.3 Factores desencadenantes

El factor desencadenante principal es la presencia inusual de agua, la cual provoca un incremento importante de las presiones intersticiales. Las principales fuentes de presencia inusual de agua son:

- Precipitaciones intensas.
- Fusión rápida de nieve.
- Glaciares o desbordes de lagos que movilizan el material no consolidado (poco común).

Los incrementos de las presiones intersticiales provocan saturación y pérdida de resistencia de las formaciones superficiales y esto produce corrientes de derrubios. Principalmente son producidas por lluvias de corto período y gran intensidad (Caine, 1980; Van Asch y Van Steijn, 1991). Otros factores que alteren la formación superficial como por ejemplo terremotos o actividad volcánica también pueden ser detonantes de corrientes de derrubios.

Existen 3 mecanismos de formación de corrientes de derrubios:

- Transformación directa a partir de un deslizamiento de derrubios.
- Rotura de una presa natural de sedimentos.
- Socavación de los márgenes de un barranco en una avenida torrencial y su posterior incorporación del material a la corriente.

La mayoría de corrientes se producen a partir de deslizamientos. Las roturas de dichos corrientes tienen lugar en zonas con pendientes elevadas (entre 20-45º) con un flujo relativamente rápido y con gran cantidad de agua (Costa, 1984).

En la masa que se desliza del corriente, la deformación ocurre principalmente en las proximidades de la superficie, no obstante, también debe haber deformación interna en el cuerpo del material. Es entonces cuando los deslizamientos se transforman en flujos. Esto ocurre mediante dos mecanismos, los cuales pueden ocurrir simultáneamente:

- Licuefacción: Ocurre cuando la deformación interna supera un valor crítico. Es entonces cuando se remodela la matriz y hay una pérdida de la resistencia en el material. Hay que tener en cuenta el factor de la humedad ya que esta ayuda a que se produzca licuefacción.
- Dilatación: Incremento del volumen del material debido a su deformación. Al aumentar los poros se produce una pérdida de resistencia considerable.

3. Zona de estudio

3.1 Contexto regional

La zona de estudio es el barranco del Rebaixader, situado al sur de la población de Senet (1302 metros). La población de Senet de Barrabés se encuentra en el valle de Barrabés y se haya entre los barrancos de la Baixada y de Rebaixader, además del rio Noguera Ribagorçana. Senet pertenece al municipio de Vilaller, a la comarca de l'Alta Ribagorça.

Para poder acceder al pueblo se puede utilizar un camino rural asfaltado en contacto con la población de Aneto o a través de la N-230 que une Lleida con Vielha.

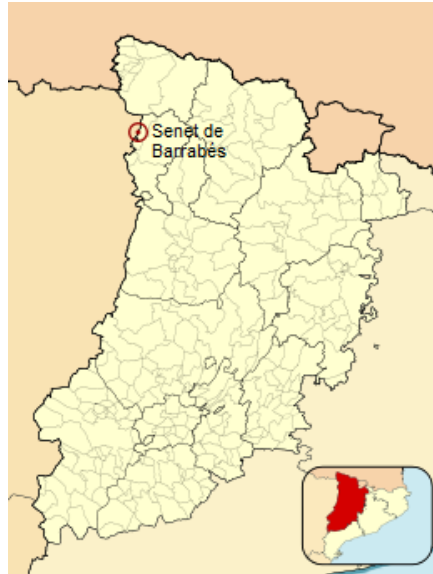


Figura 4: Localización de Senet de Barrabés dentro de Cataluña. Fuente: Wikipedia.

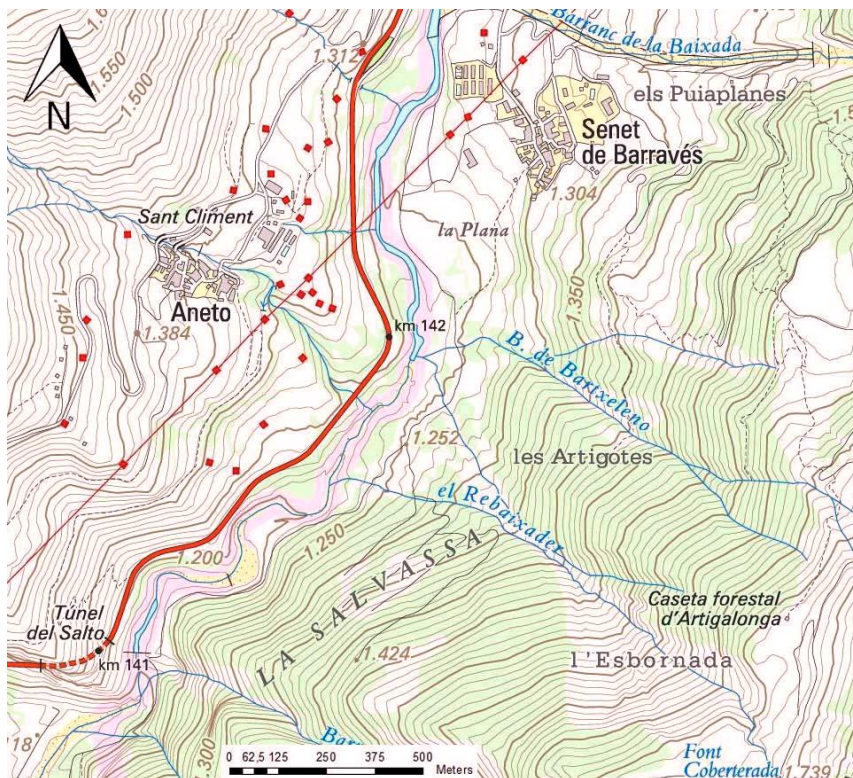


Figura 5: Detalle de la ubicación del barranco de Rebaixader. Fuente: ICGC.

3.2 Geología regional

El Rebaixader se encuentra en la zona axial pirenaica. Esta zona aflora rocas ígneas y metamórficas de edad paleozoica (principalmente pizarras y filitas) que han sufrido deformaciones durante la orogénesis Herciniana y Alpina. Las formaciones superficiales cuaternarias están formadas por depósitos glaciales o till. Estos materiales provienen de la última glaciación de los valles pirenaicos, ocupados por glaciares con longitudes de hasta 25 km y grosores de unos 500 metros. El till lo conforman bloques morrénicos de granito. El origen de estos bloques graníticos está en una antigua morrena, degradada por la dinámica de la vertiente y que habría sido depositada por el glaciar de la Ribagorça. (Vilaplana ,1983). La principal característica de estos depósitos es que no están consolidados, siendo así propicios a la formación de corrientes de derrubios.

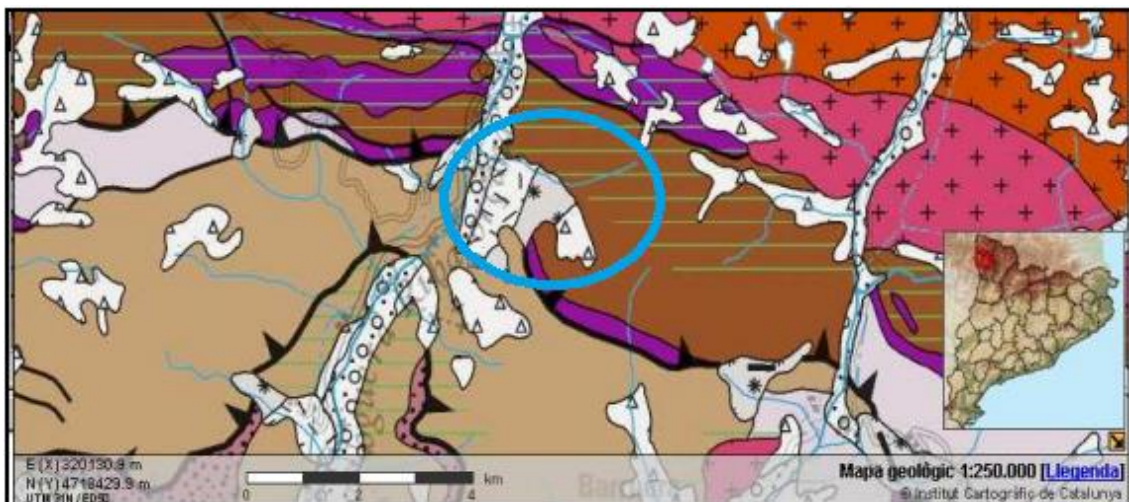


Figura 6: Mapa geológico de Rebaixader. Fuente: ICGC.

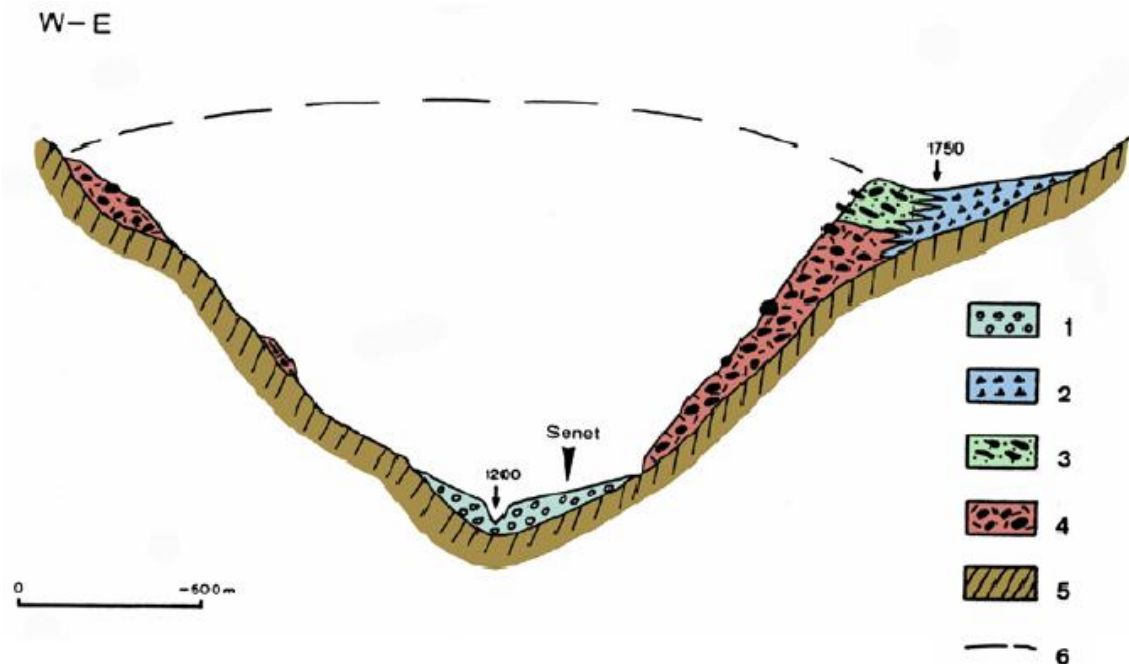


Figura 7: Corte transversal esquemático del valle de la Noguera Ribagorçana al sur de la población de Senet. La escala vertical ha sido exagerada. Leyenda: 1. Cono de deyección sub-actual; 2. Depósitos de vertiente; 3. Till supraglacial; 4. Till sub-glacial; 5. Sustrato paleozoico; 6. Altura original del glaciar (Bordonau 1992, modificado de Vilaplana 1983).

3.3 Climatología regional

La lluvia va asociada al desencadenamiento de inestabilidades en barrancos de alta montaña, concretamente en episodios de lluvia de alta intensidad y corta duración.

En el Pirineo central la precipitación media anual está establecida entre 1000 y 1400 mm/año (Novoa, 1984). Las lluvias con cierta intensidad en el Pirineo central vienen dadas por diferentes situaciones meteorológicas:

- Lluvias ordinarias asociadas al paso de frentes fríos o cálidos, poniendo en contacto masas de aire a diferentes temperaturas y humedades. Normalmente no generan avenidas, pero de manera poco habitual pueden registrar intensidades elevadas.
- Lluvias ligadas a la topografía del Pirineo, la cual produce el ascenso de masas de aire húmedo situadas valle abajo y que provienen del Mediterráneo. La condensación de estas masas de aire produce precipitaciones de cierta intensidad y de una duración de pocas horas. Estas lluvias se concentran durante los meses de julio y agosto.
- Lluvias originadas por vientos de levante que entran en contacto con un frente frío y producen fuertes precipitaciones en la primavera y el otoño.

La precipitación media anual de Senet es de aproximadamente unos 1200 mm/año. Las lluvias más importantes se registran en la primavera y el otoño (Plana Castellví, 1981), por lo tanto, será la época de mayor peligrosidad respecto a los debris flow.

3.4 Instrumentación

El barranco se cuenta con un canal monitorizado y sensores para el estudio de episodios de debris flow desde el verano de 2009 (Hürlimann et al. 2011).

Dicho canal monitorizado se ubica en el canal del barranco debido a que es la zona donde más material se desplaza cuando ocurre un episodio de debris flow. Los sensores identifican el fenómeno mediante el análisis de los datos de auscultación obtenidos a través de los geófonos y de la cámara para realizar comparativas. Además, se dispone de una estación meteorológica que permite saber la climatología de la zona en el momento del evento.

Debido a la falta de red eléctrica estos aparatos cuentan con unas baterías que se recargan a través de placas solares y estas les permiten trabajar en caso de días nublados o de noche.

La instrumentación del barranco cuenta con:

- Cuatro geófonos, cuya función es la de transductor de desplazamientos, velocidades y aceleraciones y transformar un movimiento en una señal eléctrica para poder diferenciar los diferentes procesos que tenemos en el barranco.
- Un ultrasonido, el cual mide la distancia que hay entre el aparato y el objeto más cercano en la dirección determinada. El aparato emite una onda sonora y con el tiempo que tardar en volver dicha onda calcula la distancia. Dicho aparato se ubica en el medio del canal.
- Una cámara, ubicada en un árbol en un extremo del canal, enfocada hacia la dirección del ultrasonido. Esta cámara realiza una foto diaria para ver si varía la distribución del canal e intenta captar los posibles corrientes de derrubios.

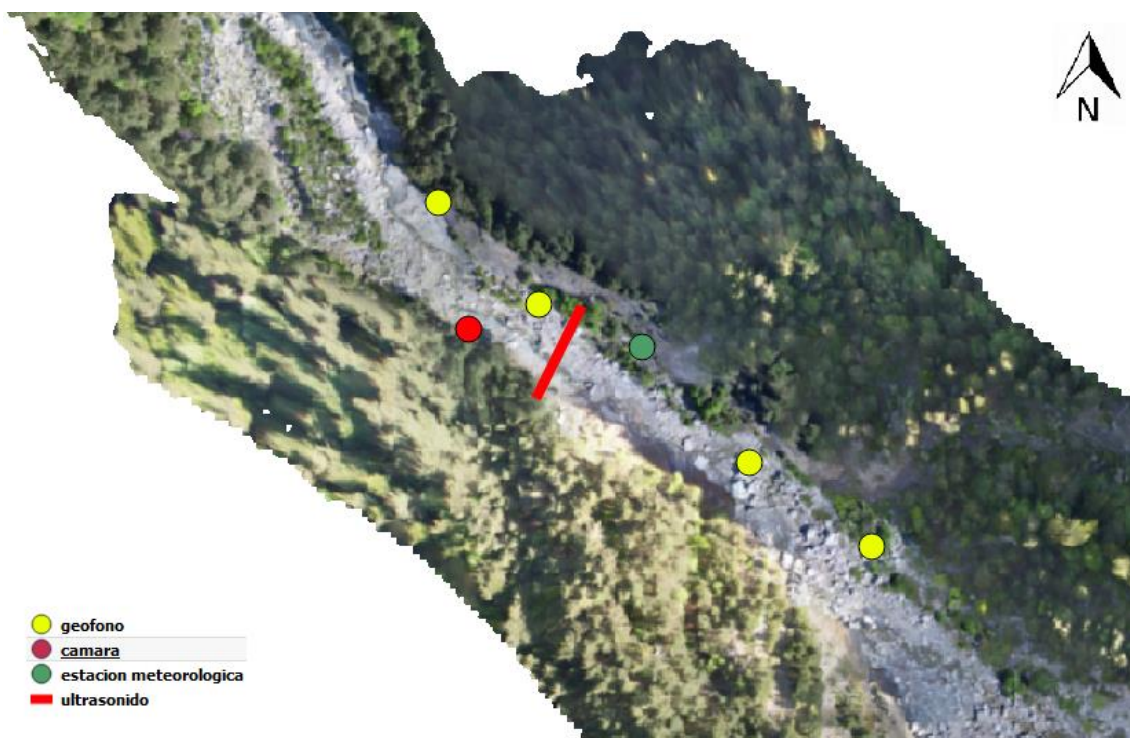


Figura 8: Ubicación de la instrumentación en el canal del barranco.

Los datos obtenidos a través de los aparatos de auscultación nos permiten diferenciar los tres tipos de fenómenos que ocurren en nuestro barranco:

- Debris flow – El flujo está básicamente formado por material erosionado. En este tipo de fenómenos las vibraciones captadas forman un frente destacado y este se va disipando conforme pasa el tiempo.
- Debris flood – El flujo de este material viene relacionado con episodios de precipitación, por lo tanto, los flujos están básicamente formados por agua. Son episodios mucho más graduales donde no encontramos un frente tan destacado, sino que el punto máximo se suele ubicar en el centro del espectro.
- Desprendimiento o rock falls – Al tratarse de caídas de bloques aisladas las vibraciones captadas en la caída del bloque son de grandes intensidades, pero de una duración casi instantánea al no tratarse de un fluido.

En la siguiente figura queda reflejado un espectro obtenido de cada uno de los sucesos:

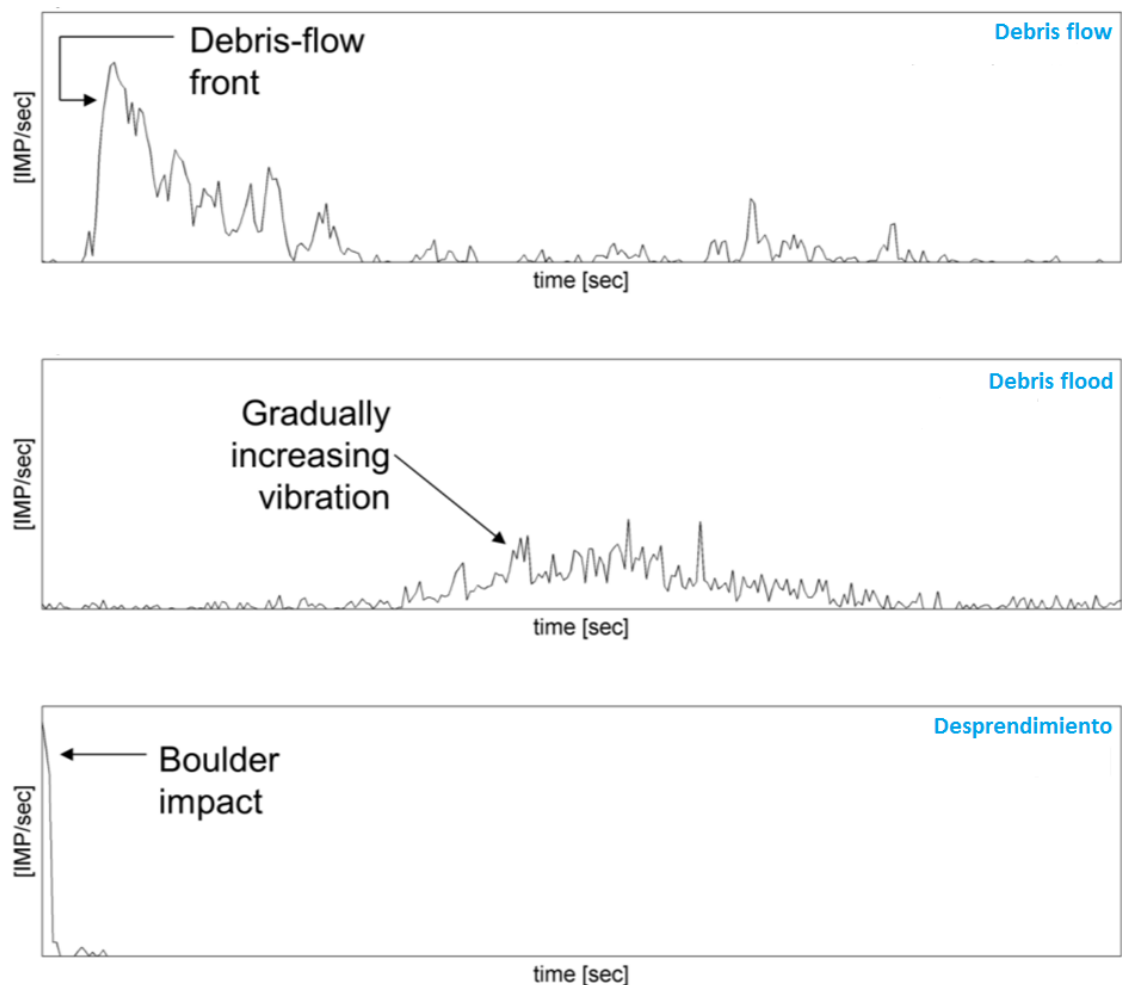


Figura 9: Espectro de vibración de un debris flow, debris flood y desprendimiento.

Además de los espectros otra forma para poder diferenciar los diferentes procesos es a través del calado obtenido por el ultrasonido:

- Debris flow – El máximo calado se haya al inicio debido al frente que forma la corriente de material erosionado.
- Debris flood – Al no tener un frente marcado el calado va aumentando de manera gradual.
- Desprendimiento – Solo queda reflejado si el bloque pasa por debajo del ultrasonido y solamente entonces el sensor detectará un aumento de calado instantáneo.

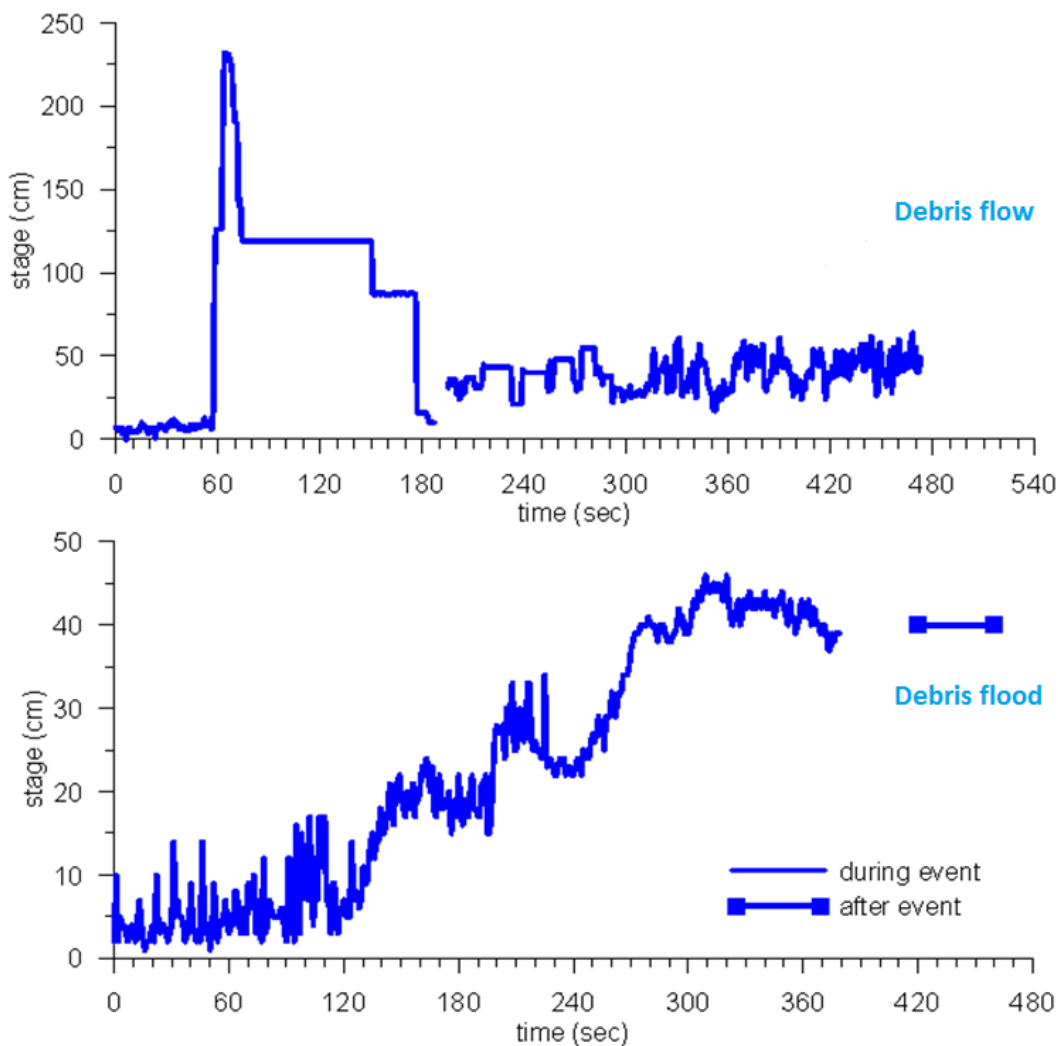


Figura 10: Espectro de los calados obtenidos por ultrasonido en el caso de debris flow y debris flood.

A parte de la instrumentación previamente comentada ubicada en el barranco debemos hablar de otro instrumento fundamental en esta tesina, y este es el dron con el que se ha logrado realizar la ortofoto con una resolución de 5 cm el píxel.

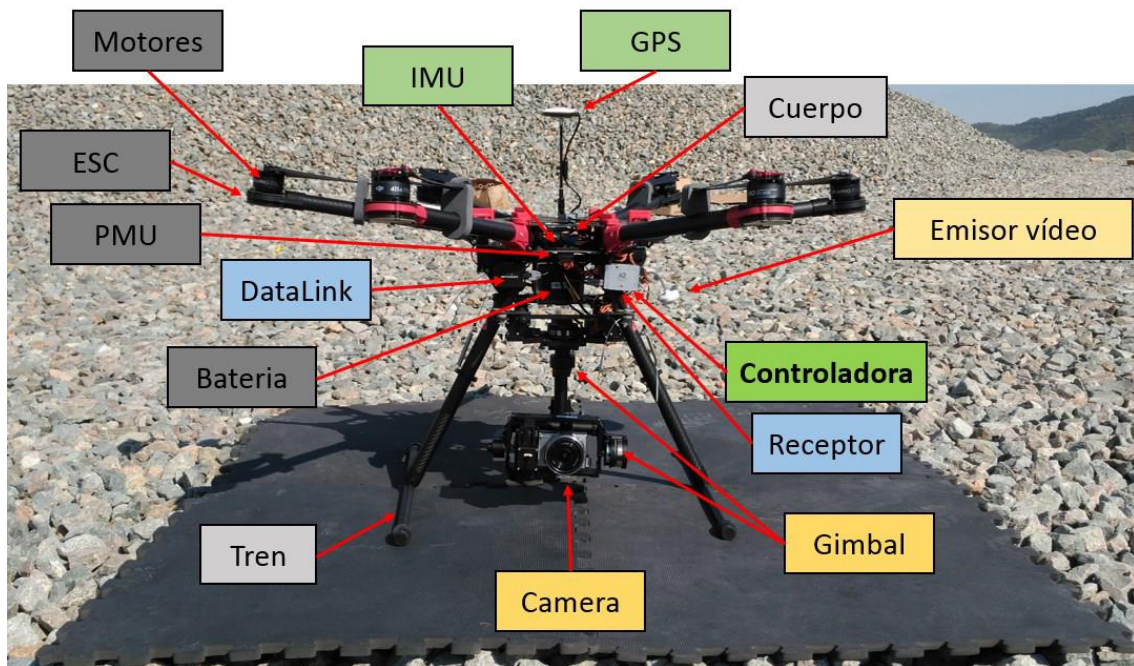


Figura 11: Representación de las diversas partes del dron. Fotografía de Roger Ruiz-Carulla, Jordi Corominas y Marcel Hürlimann.

Este dron pesa menos de 25 kg y tiene un diámetro cercano al metro. Se trata de un dron multirrotor, lo cual le permite mantenerse quieto en el aire y trasladarse lateralmente realizando fotografías frontales y oblicuas. Esto es una ventaja respecto a otro tipo de dron, el de ala fija.

El dron, igual que todos los demás UAV, está sujeto a la ley 18/2014 publicada en el BOE, donde se establecen los requisitos para su uso, como lo son los certificados de piloto específicos, certificados médicos, seguro de responsabilidad civil y creación de una operadora de vuelo.

La baja altitud de vuelo, menor a los 120 metros sobre el suelo por ley, permite unas resoluciones muy altas, con valores típicos de 3 cm/px a dicha altura (considerando un sensor de 18 mm de ancho, con una distancia focal de 15 mm e imágenes de 4608 píxeles de ancho). A menor distancia del objeto, la resolución aumenta, con 1 cm/px a 40 metros del objeto de estudio (por ejemplo). La altura de vuelo se debe combinar con la velocidad del vuelo y la frecuencia temporal de disparo para garantizar un correcto solapamiento entre imágenes para permitir la corrección fotogramétrica entre pares de imágenes. (Ruiz-Carulla et al. 2017).

Todas las imágenes que obtenemos del dron pueden ser tratadas posteriormente mediante fotogrametría digital, utilizando así programas como VisualSFM, PIX4D o Accute3D entre otros. Todos ellos dependen de la calidad de las imágenes, de su enfoque, claridad, y dependiendo de la distancia al objeto, la distancia focal y la dimensión del sensor se obtendrán distintas resoluciones (Thoeni et al 2014).

Aunque no quede reflejado en este trabajo, el pasado mayo de 2017 se volvió a realizar vuelo con dron en la zona del barranco del Rebaixader para la creación de la ortofoto de 2017.



Figura 12: Dron en pleno vuelo realizando fotografías para la posterior creación de la ortofoto en 2016.

4. Datos y metodología aplicada

Una vez introducida la parte de conceptos que tenemos que saber acerca del barranco de Rebaixader hacemos una pequeña introducción del material disponible y las ideas principales en esta tesina.

El trabajo se basa en el estudio geomorfológico del barranco. Para ellos disponemos de los siguientes cuatro mapas:

- Ortofoto del año 2008 facilitada por Jordi Pinyol, geólogo del ICGC. Resolución de 50 cm/pixel.
- Ortofoto del año 2011 descargada a través de ICGC. Resolución de 25 cm/pixel.
- Ortofoto del año 2013 facilitada por Jordi Pinyol, geólogo del ICGC. Resolución de 50 cm/pixel.
- Ortofoto del año 2016 realizada a través de fotografías de un dron de la UPC, facilitada por Marcel Hürlimann. Resolución de 5 cm/pixel.

El estudio será entonces de un período de los últimos 8 años del barranco. No se ha podido trabajar con la ortofoto del dron de 2017 porque el vuelo se realizó a finales de mayo y no se ha dispuesto de la ortofoto pertinente a tiempo de la entrega.

Es importante dar énfasis a la resolución de las ortofotos ya que al trabajar con valores tan diferentes hay que tener en cuenta posibles errores a la hora de realizar el estudio del barranco.

Cabe destacar que la ortofoto del año 2008 tenía una georreferenciación diferente (ED50 UTM zona 31N) a los otros mapas trabajados (ETRS89 UTM zona 31N) por lo cual se tuvo que crear otro mapa con la georreferenciación correspondiente a través del programa QGIS (mapa 2008_corregido).

Para poder georreferenciar el mapa de 2008 con el mismo sistema que los demás se utiliza la función georreferenciador dentro del comando Ráster.

Lo primero que hay que decir es qué nuevo sistema queremos utilizar, en este caso el nuevo mapa formado tendrá de georreferencia el sistema ETRS89 UTM zona 31N.

Una vez seleccionado el sistema el programa nos pide puntos de control para poder realizar los cambios pertinentes. En la siguiente figura quedan representados los puntos que se han tenido en cuenta a la hora de la georreferenciar el mapa.

Tabla 1: Coordenadas de los puntos de control.

	Coordenadas	
	x	y
1	313.602	4.712.368
2	314.941,5	4.713.874,5
3	315.632	4.714.205
4	316.070,5	4.713.038,5

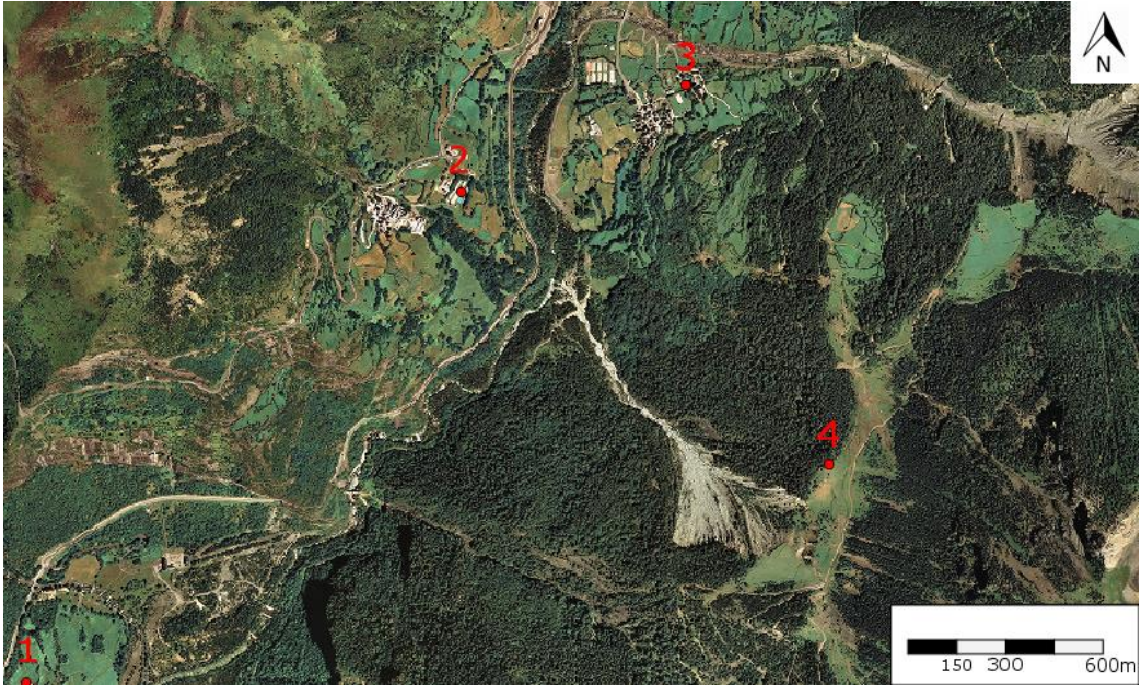


Figura 13: Ubicación de los puntos de control.



Figura 14: Puntos de control.

Una vez tenemos los puntos de referencia colocados introducimos los siguientes datos manualmente:

- Tipo de transformación: Polinomial 1
- Método de remuestreo: Vecino más próximo
- Compresión: NONE
- Ráster de salida: 2008_corregido
- SER de destino: EPSG:3043 o 25831

Y ya finalmente aceptamos para obtener así nuestro mapa corregido.

Para complementar estos mapas se dispone de fotografías realizadas en el momento de la campaña de estudio desde el año 2009 (cuando empezó el estudio del barranco por parte de la UPC) hasta fotografías del año 2015. Dichas fotografías reflejan el estado del escarpe o área fuente visto desde el canal, así como la evolución del canal en dirección al cono de deyección. También hay disponibles videos de la cámara ubicada en la zona donde se puede comprobar bien como han sido algunos de los movimientos de bloques de la zona, ya sea por desprendimiento puntual cómo por algún episodio de debris flow o debris flood.

Para comprender mejor cómo han podido ocurrir los cambios que veremos en el siguiente apartado disponemos de una tabla (Tabla 2) donde quedan reflejados todos los episodios de debris flow y debris flood producidos en el barranco durante el tiempo estudiado.

Además, contamos con diversos estudios científicos de la zona (especialmente estudios realizados por la propia UPC desde el año 2009) así como antiguas tesinas que ya trataban temas geomorfológicos del barranco de Rebaixader.

Tabla 2: Historia geomorfológica del barranco de Rebaixader. En color rojo quedan reflejado los episodios con mayor volumen movido de los últimos años. Realización propia.

	Año	Fecha	Evento	Volumen movido (m3)
Ortofoto 2008				
	2009	01/08/2009 16:42	Debris flow	6600
		07/08/2009 13:08	Debris flow	9000
		01/09/2009 19:18	Debris flood	1000
	2010	25/03/2010 23:38	Debris flow	2100
		11/07/2010 12:43	Debris flow	12500
		21/07/2010 19:04	Debris flood	1000
		09/10/2010 20:59	Debris flood	1600
		30/05/2011 10:18	Debris flood	850
Ortofoto 2011				
	2011	13/07/2011 0:32	Debris flood	700
		05/08/2011 10:58	Debris flood	2800
		05/08/2011 14:00	Debris flood	2500
		07/08/2011 2:23	Debris flood	350
		03/11/2011 14:42	Debris flood	600
	2012	07/06/2012 16:53	Debris flood	750
		27/06/2012 20:09	Debris flow	4000
		04/07/2012 20:27	Debris flow	16200
		05/07/2012 15:26	Debris flood	1000
Ortofoto 2013				
	2013	05/06/2013 13:00	Debris flood	1400
		05/06/2013 14:01	Debris flood	700
		17/06/2013 16:38	Debris flood	100
		17/07/2013 13:05	Debris flow	10400
		23/07/2013 12:03	Debris flood	600
		27/07/2013 17:15	Debris flood	450
		06/09/2013 17:05	Debris flood	941
	2014	20/07/2014 13:00	Debris flood	1000
		25/07/2014 1:12	Debris flood	1150
		13/08/2014 00:55	Debris flow	14000
		15/09/2014 12:39	Debris flood	500
	2015	31/07/2015 15:13	Debris flood	400
Ortofoto 2016				

En la realización de esta tabla no se han tenido en cuenta los desprendimientos de rocas puesto que no están reflejados en los datos obtenidos del barranco.

Para poder trabajar con toda la información disponible se han utilizado los siguientes programas.

- Excel, realización de tablas y gráficas de la tesina.
- Inkscape, edición de imagen.
- QGIS, programa principal de esta tesina, para poder trabajar con los mapas previamente comentados así como para la creación de nuevos mapas que ayuden a entender mejor los objetivos de la tesina.

Por último, solamente queda explicar la metodología aplicada en este proyecto.

Ya que se ha trabajado exclusivamente con las ortofotos facilitadas el estudio ha sido en 2D, por lo que a la hora de estudiar los bloques de rocas que hay en el barranco se ha tenido en cuenta la longitud de estas, clasificándolas así en cuatro grupos diferenciados:

- Tipo S: Comprendidas entre 1.5 y 2.5 metros de longitud.
- Tipo M: Comprendidas entre 2.5 y 3.5 metros de longitud.
- Tipo L: Comprendidas entre 3.5 y 4.5 metros de longitud.
- Tipo XL: Rocas con 4.5 de longitud o superior.

Las rocas con una longitud inferior no se han considerado representativas para el estudio de esta tesina. Como se ha comentado previamente es posible el error de alguno de estos datos debido a la diferencia de calidad en el píxel de los mapas, especialmente los mapas de 2008 y 2013 que son los que peor resolución tienen.

Para más información sobre los datos de estos bloques estos están disponibles en tablas en los anexos del trabajo.

5. Resultados

5.1 Evolución del barranco

La primera parte del estudio corresponde a observar cómo ha sido la evolución del barranco de Rebaixader durante el período de ocho años estudiados.

Para ello hay que introducir las ortofotos en el programa QGIS. Una vez dentro y sabiendo que todas tienen la misma georreferenciación pasamos a observar los bloques que hay en cada uno de los mapas y cómo varían con el paso del tiempo.

Creamos nuevos archivos shape correspondientes a puntos donde cada uno de estos refleja un bloque de roca que ha sido significativo para el estudio. Hay que ver en qué años se situaba ese bloque en la misma posición para poder categorizarlo, así como para poder comprobar si este se ha movido o no de un año para otro.

El mapa que muestra la siguiente figura muestra el recuento final de bloques y en qué años estaban estos ubicados en dicha posición.

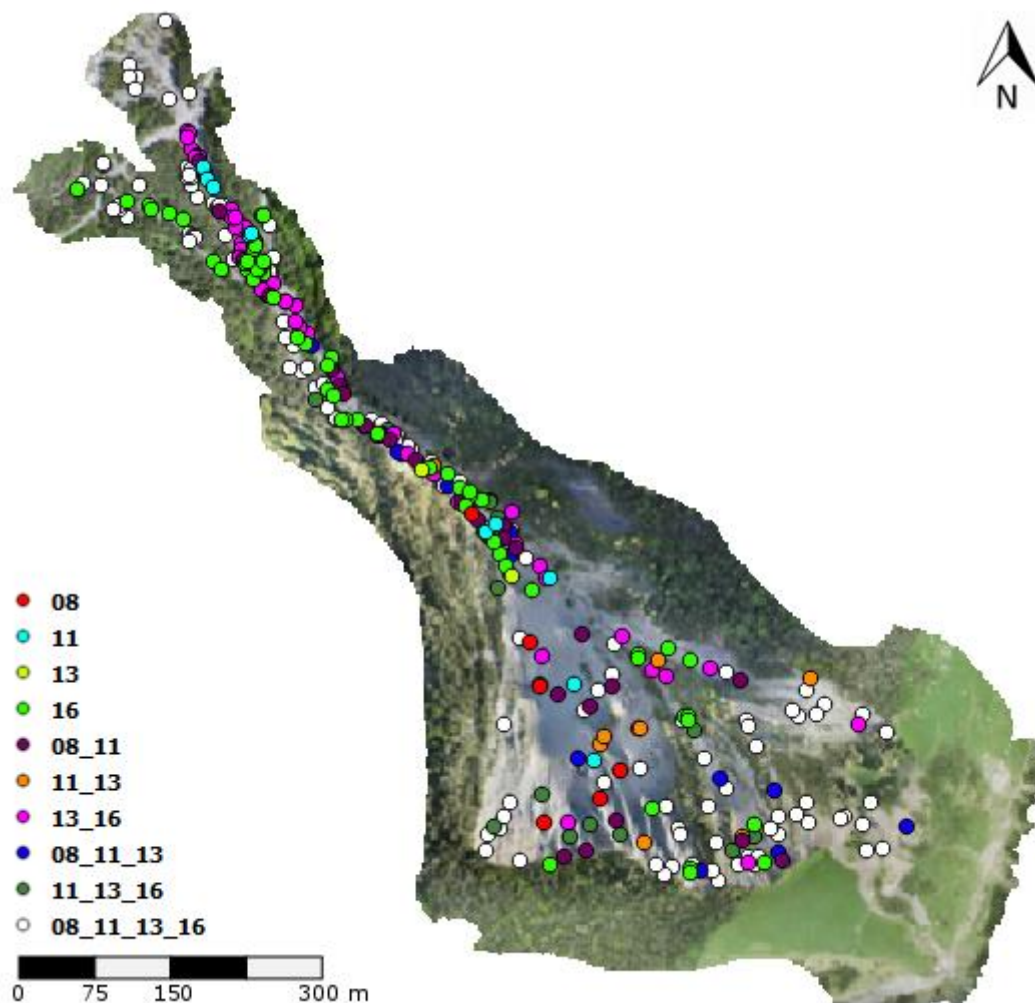


Figura 15: Mapa final donde queda representado los bloques del barranco de Rebaixader. Los puntos que se ven representados muestran bloques de rocas que se han tenido en cuenta durante la realización de esta tesina. Los números asociados a estos son el año o los años en los que el bloque se encontraba en esa posición.

Una vez medidas todas las rocas que se han tenido en cuenta los datos de estas se pasan a Excel, donde se ordenan según el tamaño del bloque con funciones propias del programa. Para ordenar mejor tanta información se separan los bloques según la zona en la que se encuentren. Dividimos el trabajo en las tres zonas del barranco: área fuente, canal y cono de deyección. Las tablas previamente comentadas se hayan en los anexos. De estas tablas obtenemos un recuento final del número de bloques por zona dependiendo también del año estudiado. Las siguientes tablas son el resultados de este proceso:

Tabla 3: Número total de rocas en el barranco, tipo S y M.

	nº rocas							
	S				M			
	2008	2011	2013	2016	2008	2011	2013	2016
Área fuente	25	30	31	37	33	42	39	37
Canal	18	24	25	32	14	17	21	22
Cono de deyección	35	38	43	56	14	16	16	22

Tabla 4: Número total de rocas en el barranco, tipo L y XL.

	nº rocas							
	L				XL			
	2008	2011	2013	2016	2008	2011	2013	2016
Área fuente	18	19	17	15	7	7	7	7
Canal	10	9	10	12	4	5	3	2
Cono de deyección	5	5	6	6	0	0	0	1

Una vez tenemos los datos de las tablas pasamos a graficarlos para una mejor comprensión de cómo ha sido la evolución del número total de bloques en las tres secciones del barranco conforme el paso de los años.

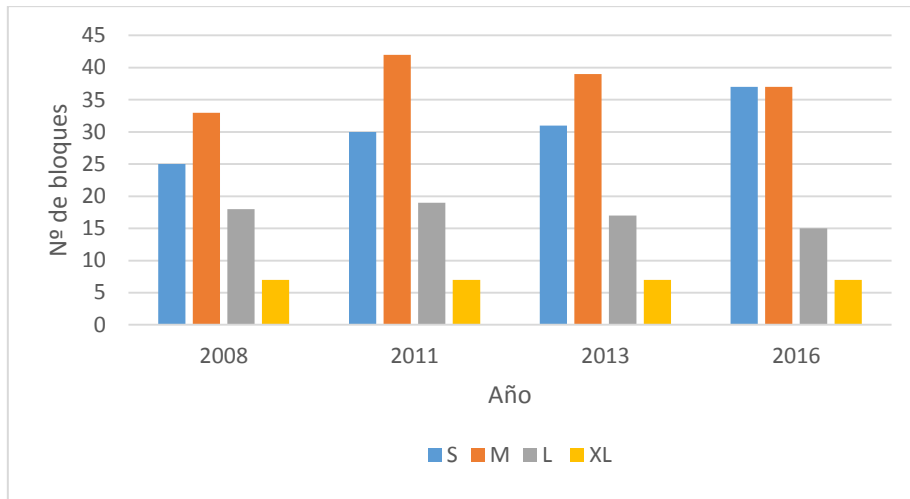


Figura 16: Número total de rocas en el área fuente según clasificación propia.

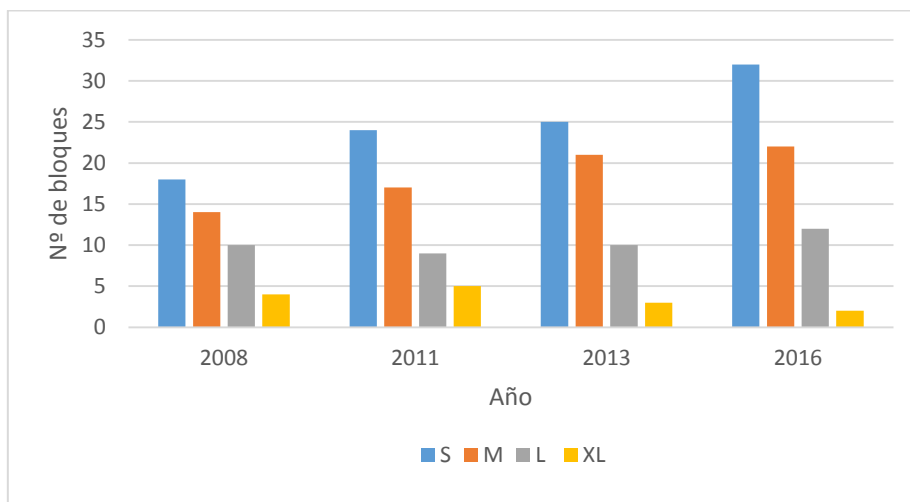


Figura 17: Número total de rocas en el canal según clasificación propia.

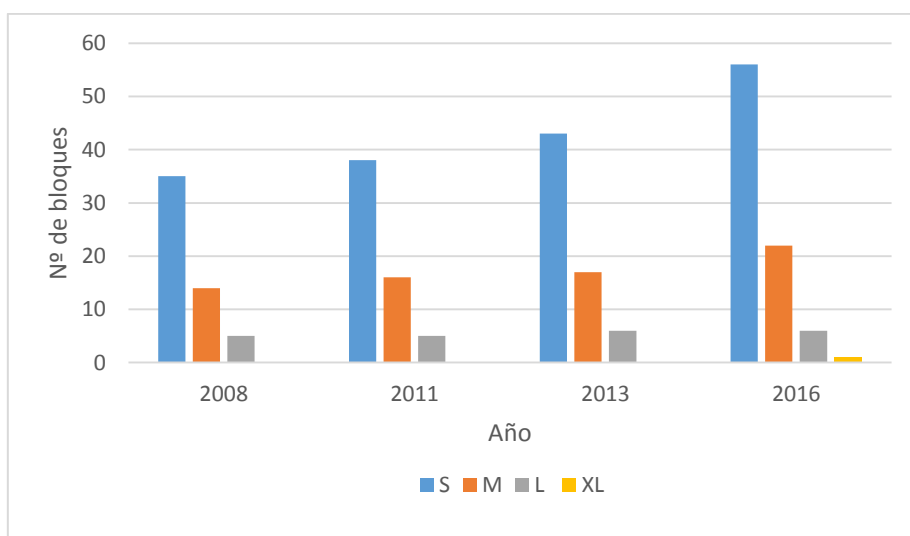


Figura 18: Número total de rocas en el cono de deyección según clasificación propia.

En líneas generales observamos un crecimiento de bloques del tipo S y M conforme nos acercamos al último año estudiado mientras que las rocas de tipo L y XL se mantienen más o menos constante.

Estudiando dicha evolución según el tipo de rocas, vemos como las rocas de tipo S van en aumento conforme el paso de los años, algo normal teniendo en cuenta el número de episodios de debris flow y debris flood que ha sufrido el barranco durante el período estudiado así como desprendimientos puntuales del barranco. Los bloques que desciendan por el barranco serán depositados en el cono, por lo que es normal que el número vaya aumentando conforme pasan los años.

Vemos un valor considerable de rocas tipo M en el área fuente durante el año 2011, valor el cual vemos que disminuye en los años 2013 y 2016 pero si nos fijamos bien en las gráficas del canal y del cono de deyección observamos como ahí sí que aumenta el número de rocas de este tipo en los años posteriores al 2011. Esto seguramente es debido al debris flow ocurrido en el año 2012, el más grande registrado hasta la fecha que movilizó $16.200 m^3$ de material del barranco. Por lo que respecta la diferencia de bloques tipo M entre los años 2008 y 2011 seguramente sea un error debido a la resolución del píxel, ya que los procesos erosivos que hubo entre estos años, aunque considerables, no debería haber una diferencia tan grande entre ambos.

En cuanto a las rocas L y XL siguen caminos bastante parecidos, algún bloque concreto que ha sido movilizado durante los años de estudio. Más adelante estudiaremos el caso de un bloque XL que sabemos con certeza cuál ha sido su recorrido.

Para corroborar estos datos tenemos la siguiente figura que muestra la evolución del número de los bloques de rocas conforme han pasado los años en todo el barranco.

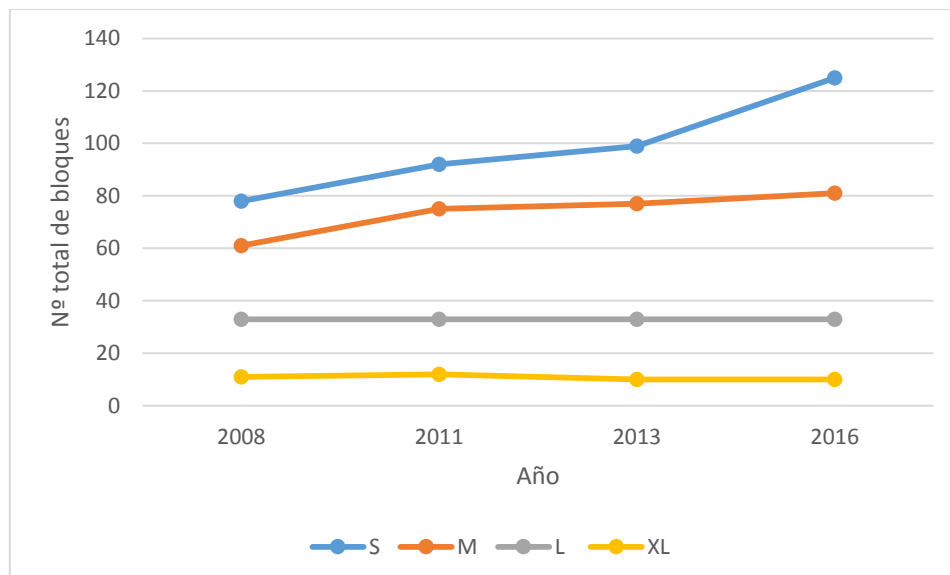


Figura 19: Evolución del número total de bloques que hay en el barranco según clasificación propia.

Para el análisis de estos datos es necesario tener en mente la tabla 2 correspondiente al número de episodios de debris flow y debris flood ocurridos durante los ocho años de estudio.

Aunque lo que realmente nos interesa de este punto es conocer exactamente el número de bloques que han sufrido algún tipo de desplazamiento durante el período estudiado. Para ello tenemos la siguiente tabla que nos muestra cómo han sido los movimientos durante los tres períodos estudiados. En ella podemos observar los bloques que han conservado su posición respecto al mapa anterior, los desplazados de su origen y los que han sido situados en una nueva ubicación.

Tabla 5: Número de rocas con cambios durante el período estudiado. La primera fila corresponde al número de rocas que se encontraban en la ubicación estudiada el primero de los dos años de estudio. La segunda fila corresponde al número de rocas que se encuentran en la ubicación en el segundo año, pero no en el primero. La tercera fila corresponde al número de rocas que se encuentran situadas en ambos años en la misma ubicación. Este proceso se aplica de igual forma para los 3 períodos estudiados.

		nº bloques											
		Área fuente				Canal				Cono deyección			
		S	M	L	XL	S	M	L	XL	S	M	L	XL
08_11	Movilizados del origen	2	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	Nueva ubicación	7	11	1	1	6	3	0	1	3	2	0	0
	No movimiento	23	31	18	6	18	14	9	4	35	14	5	0
11_13	Movilizados del origen	4	10	3	0	3	3	4	3	8	3	0	0
	Nueva ubicación	5	7	1	0	4	7	5	1	13	4	1	0
	No movimiento	26	32	16	7	21	14	5	2	30	13	5	0
13_16	Movilizados del origen	4	8	4	0	0	7	2	1	0	0	0	0
	Nueva ubicación	10	6	2	0	7	8	4	0	13	5	0	1
	No movimiento	27	31	13	7	25	14	8	2	43	17	6	0

Graficamos los resultados obtenidos de esta última tabla para una mejor comprensión de lo sucedido en cada momento de la zona de estudio. Para una mejor visualización se ha quitado la leyenda de las gráficas y se ha dejado en el pie de página. La leyenda es aplicable a todas las gráficas. En estas están representadas líneas que representan el número total de bloques durante ese período estudiado para los tres casos comentados brevemente en la tabla 5. Los puntos de difusión reflejan los episodios de debris flow y debris flood que se produjeron contemporáneamente.

Área fuente

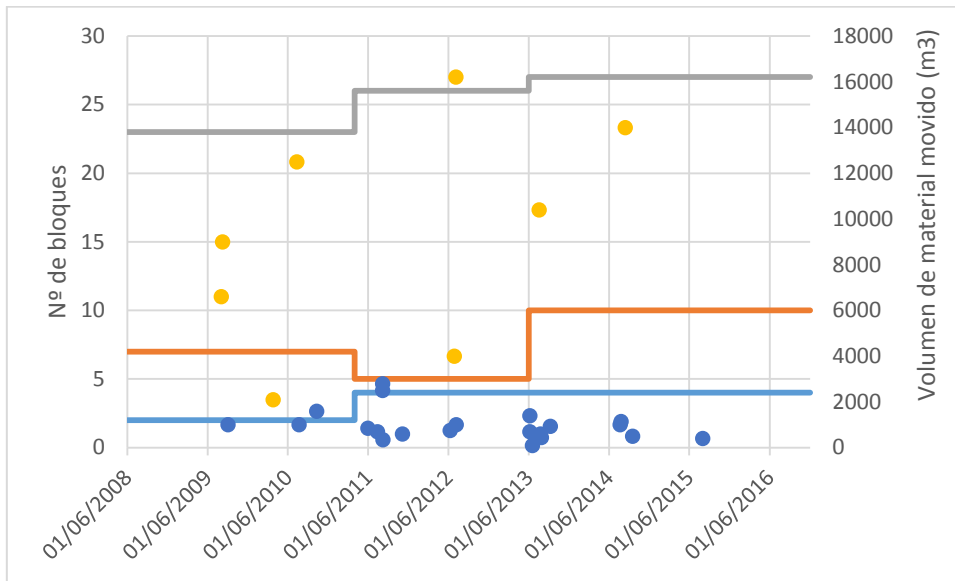


Figura 20: Número de bloques tipo S estudiados en el área fuente.

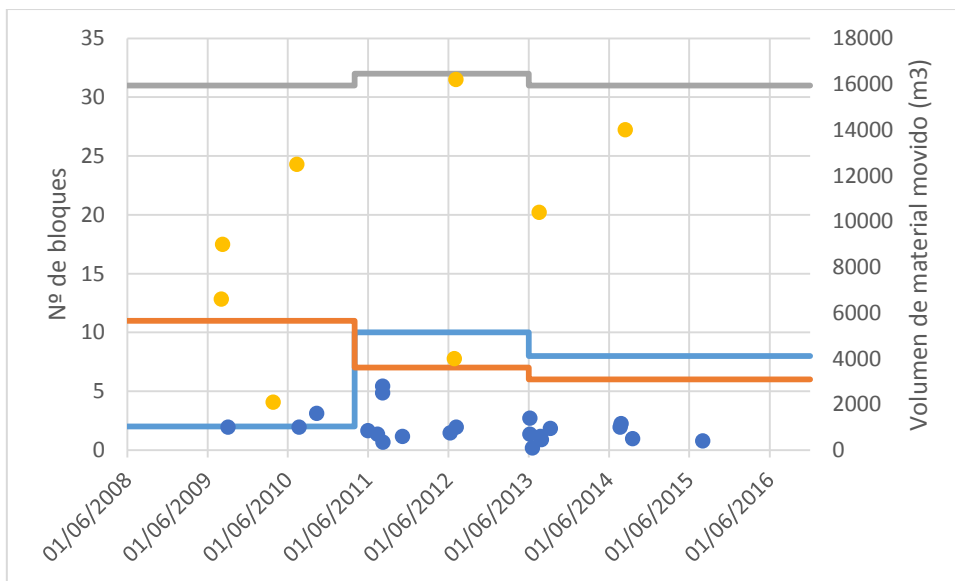
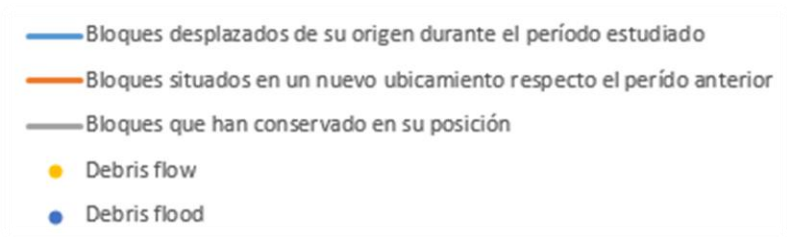


Figura 21: Número de bloques tipo M estudiados en el área fuente.



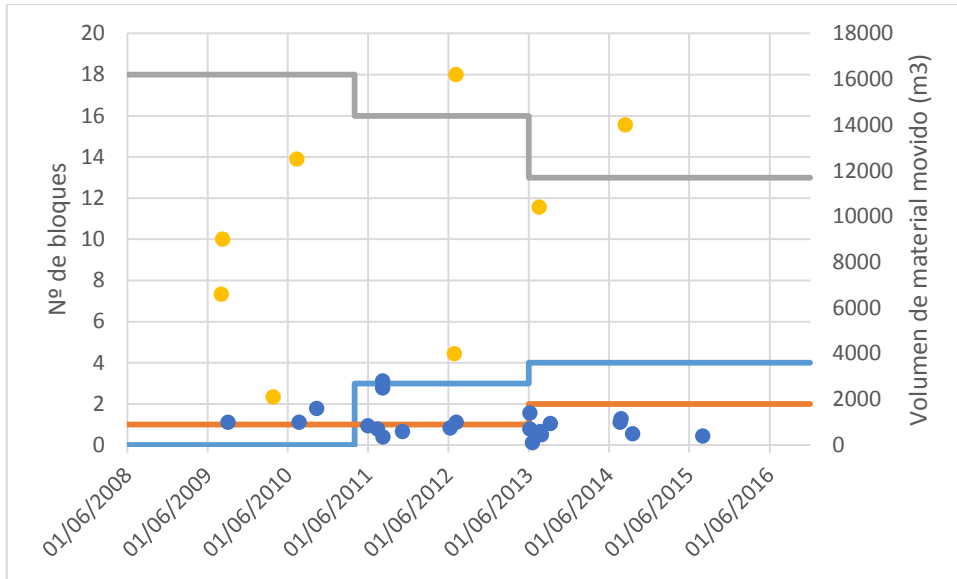


Figura 22: Número de bloques tipo L estudiados en el área fuente.

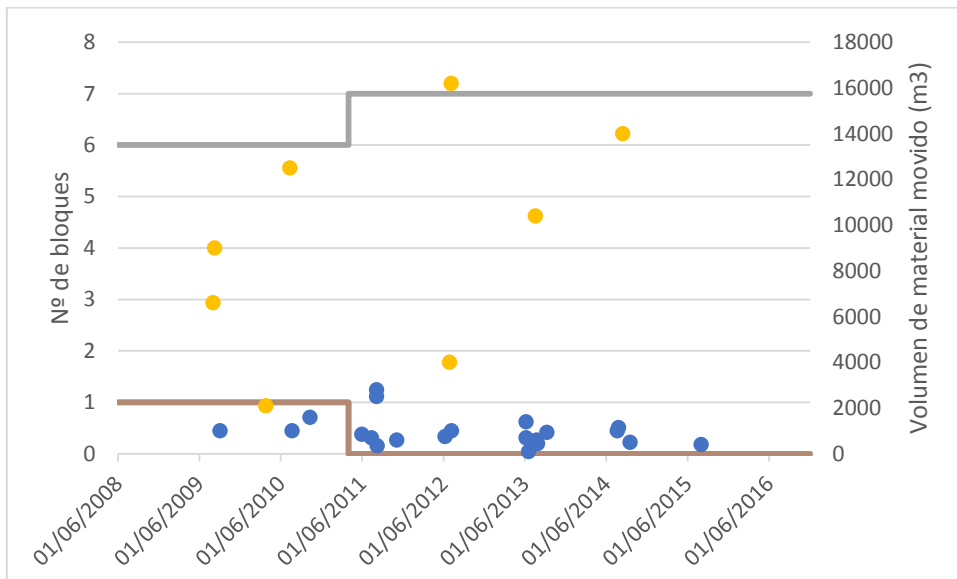
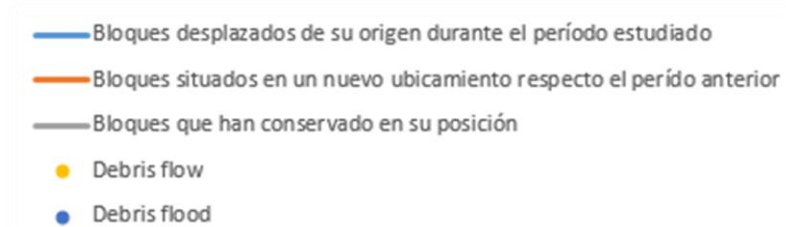


Figura 23: Número de bloques tipo XL estudiados en el área fuente.



Canal

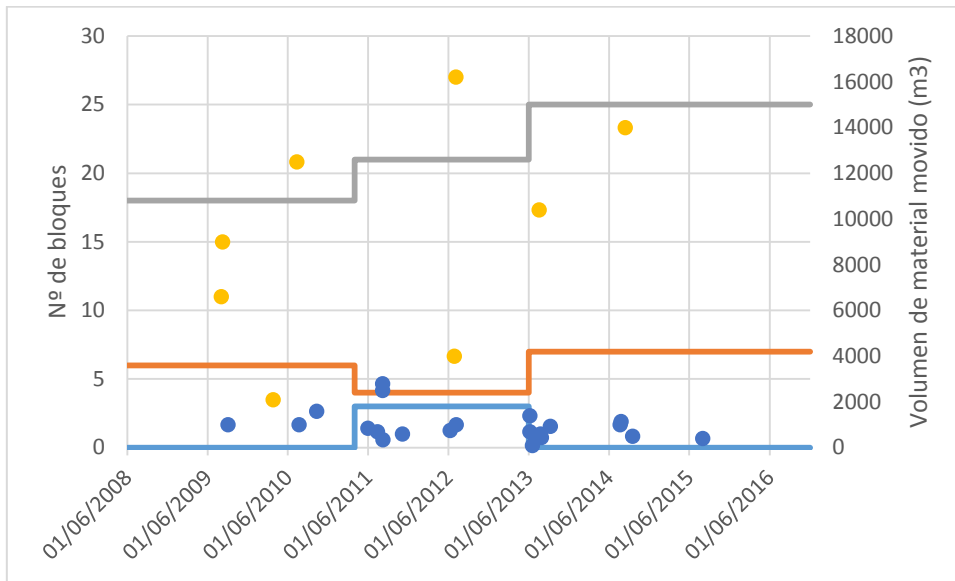


Figura 24: Número de bloques tipo S estudiados en el canal.

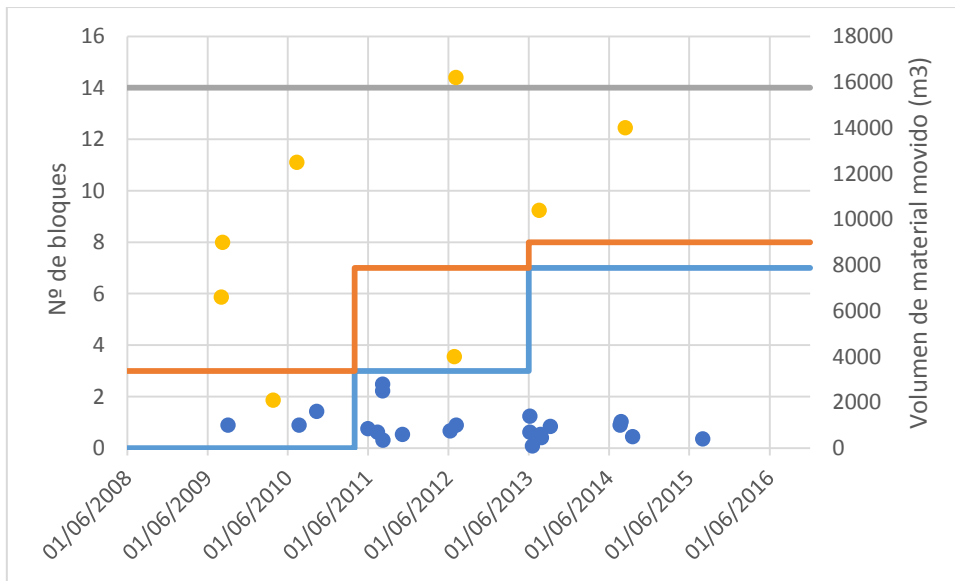
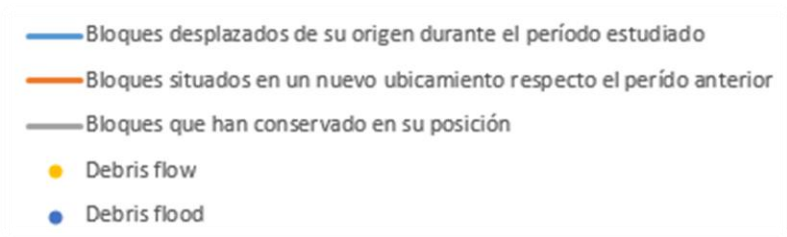


Figura 25: Número de bloques tipo M estudiados en el canal.



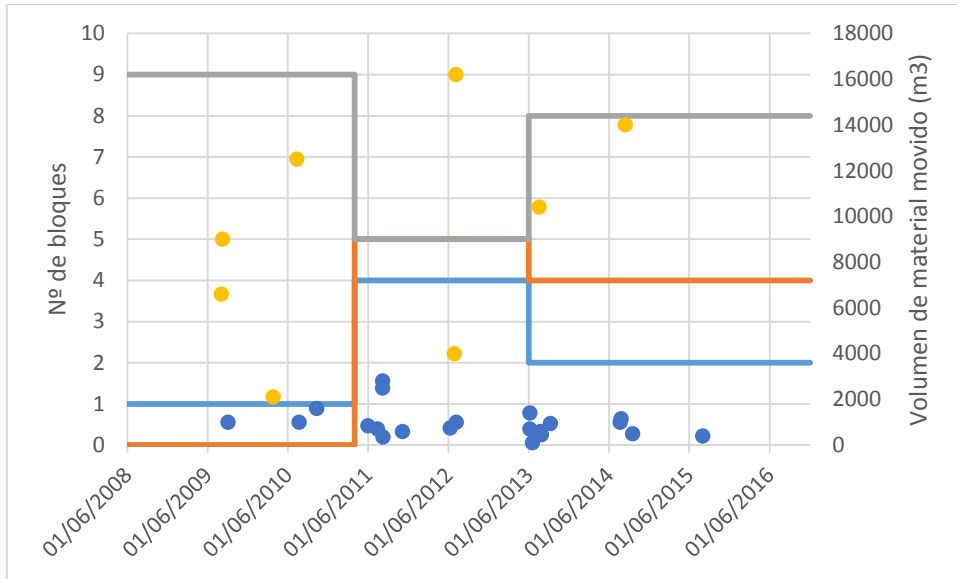


Figura 26: Número de bloques tipo L estudiados en el canal.

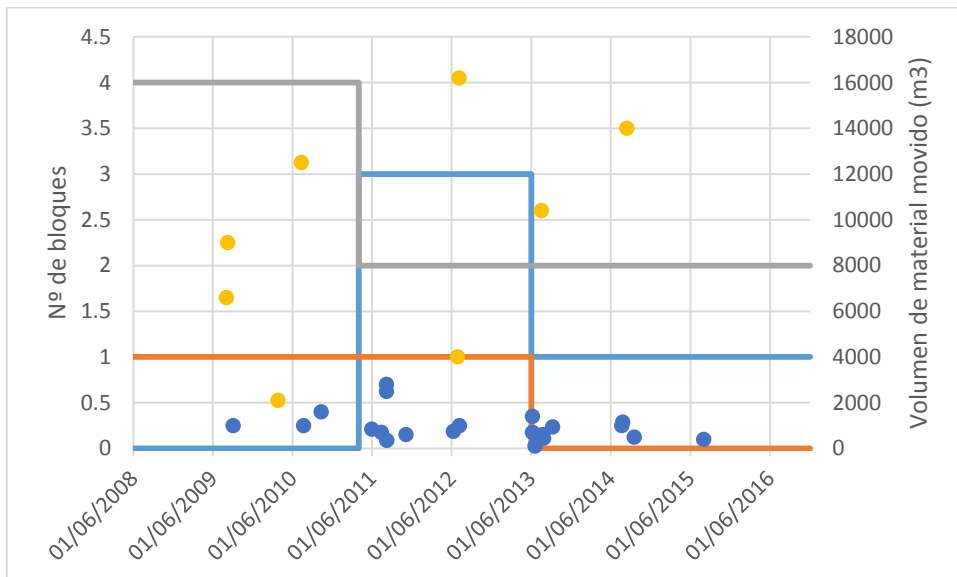
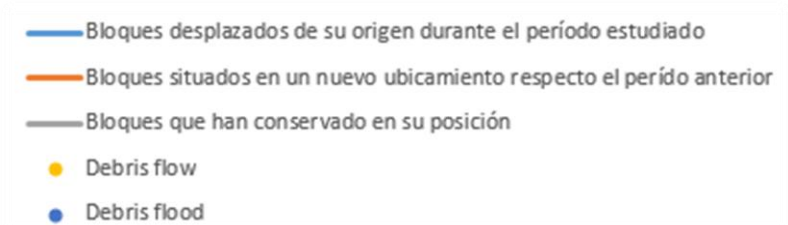


Figura 27: Número de bloques tipo XL estudiados en el canal.



Cono de deyección

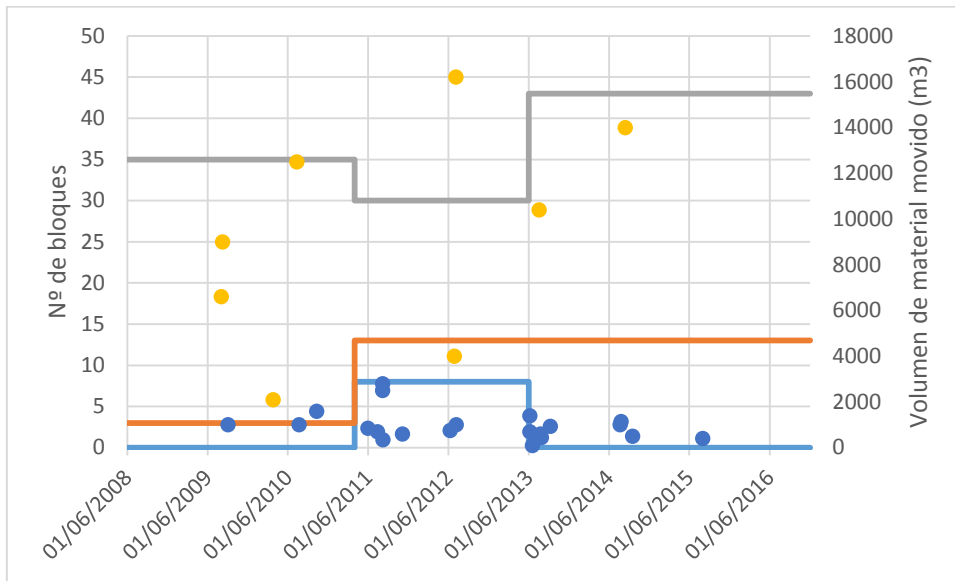


Figura 28: Número de bloques tipo S estudiados en el cono de deyección.

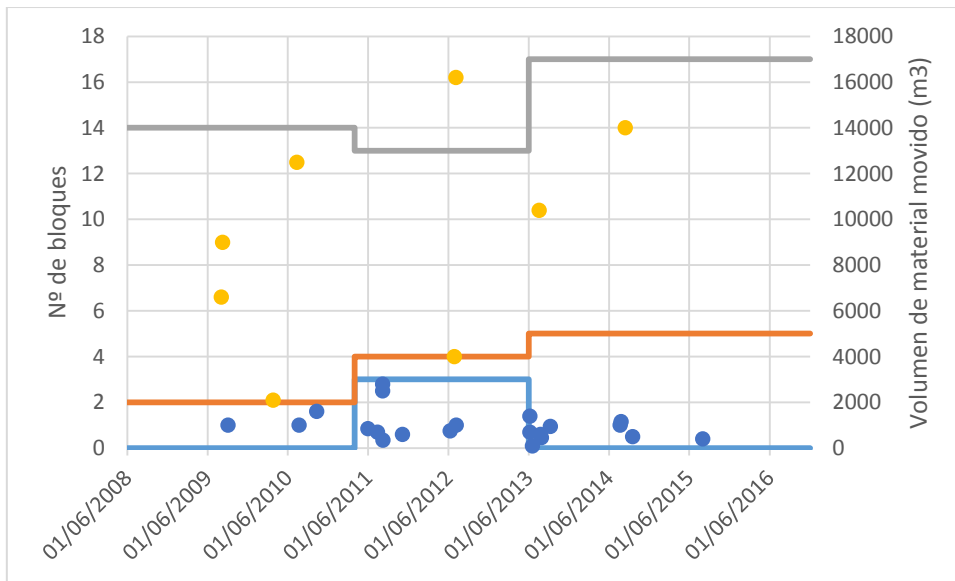
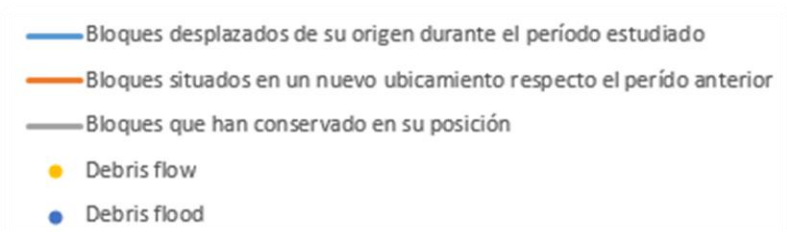


Figura 29: Número de bloques tipo M estudiados en el cono de deyección.



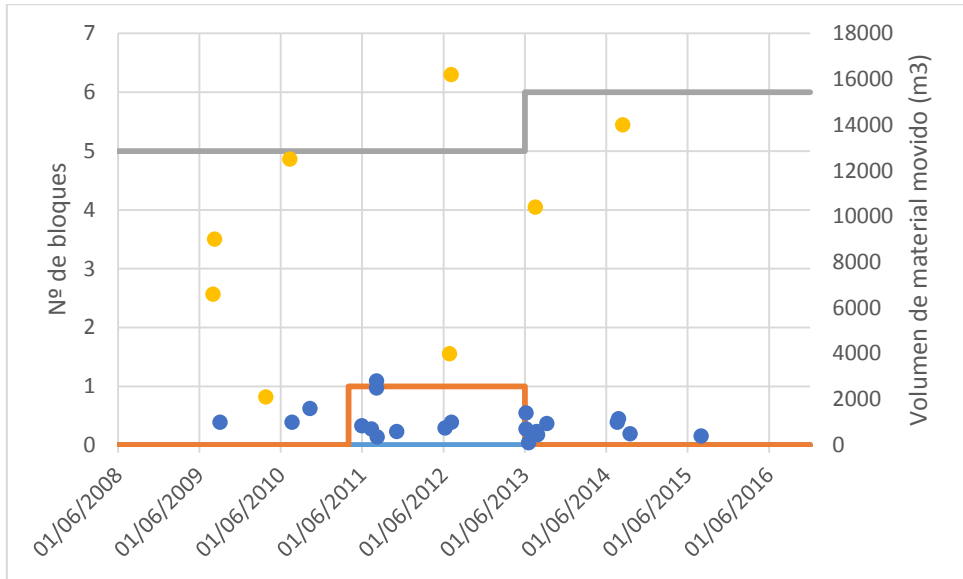


Figura 30: Número de bloques tipo L estudiados en el cono de deyección.

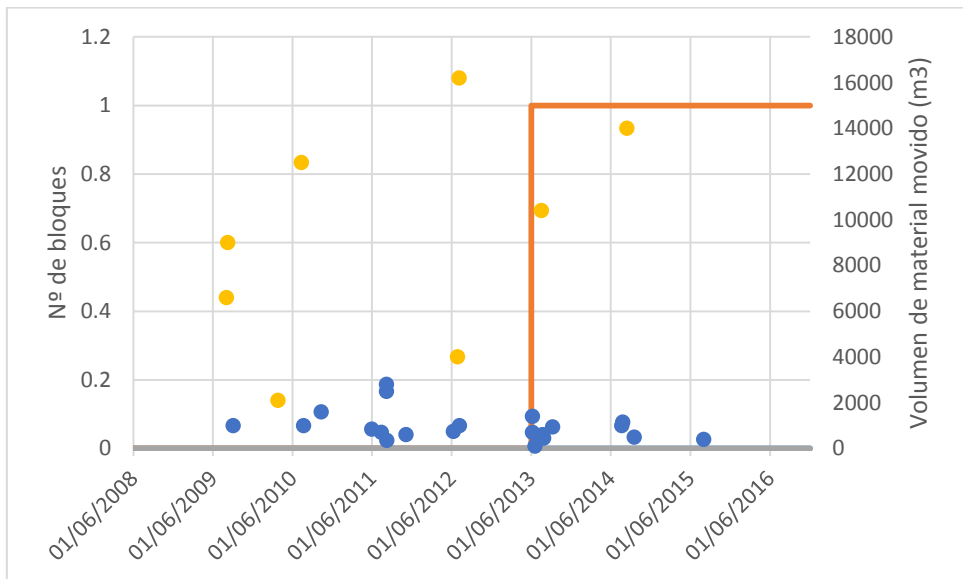
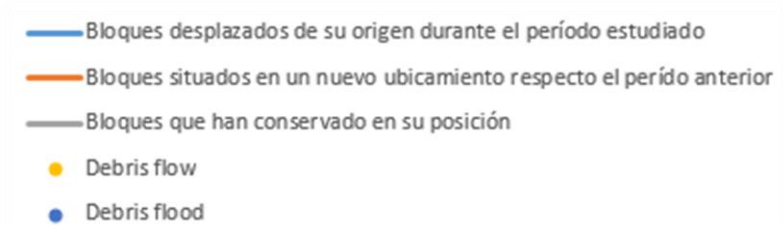


Figura 31: Número de bloques tipo XL estudiados en el cono de deyección.



Entre lo más destacado de las gráficas se obtienen los siguientes datos:

- Respecto al área fuente, hay variaciones representativas de bloques tipo S y M durante los años estudiados. Conforme pasan los años se observa una disminución de aportes de bloques tipo M, mientras que los tipo S han sufrido un aumento durante el último año de estudio. Cabe destacar la gran cantidad de bloques tipo M (10) que desaparecen del área fuente entre los años 2011 y 2013, seguramente su origen es el debris flow producido en el año 2012. Vemos el mismo caso para los bloques de tipo L, solo que estos también tienen una pérdida importante de bloques entre los años 2013 y 2016. Por lo que respecta a los bloques XL vemos que este solo sufre una pérdida de un bloque entre los años 2008 y 2011. Este bloque será estudiado posteriormente durante esta tesina. A su vez, otro bloque XL se deposita antes del año 2011 en el área fuente y este se queda en la misma ubicación hasta la fecha actual. Al tratarse del área fuente tenemos que tener en cuenta que el movimiento de estos bloques no habrá sido exclusivamente por movimiento de debris flow, ya que, por ejemplo, el bloque XL del año 2008 cayó hasta el canal a través de un desprendimiento puntal.
- En cuanto al canal se observa el aumento gradual de rocas tipo S, estas rocas vienen transportadas por los debris flow y la mayoría de ellas queda situada cerca de una roca más grande que actúa como barrera. También hay que tener en cuenta que el canal a lo largo de su historia ha ido cambiando su zona activa y ahí quedan depositados bloques que no se mueven durante años. En este caso podemos observar algún canal inactivo o semiactivo en los últimos años. Se observa que el evento que más bloques transportó fue el debris flow del año 2012, algo que coincide con la descripción de la zona del área fuente. Tenemos una cantidad considerable de bloques tipo M desplazados en los años 2013 y 2016. Como podemos ver los movimientos de estos bloques con constantes, lo que hace pensar que se encuentran ubicados en el canal activo del barranco. Respecto a las rocas tipo L destaca el episodio de debris flow de 2012, que hizo que fueran desplazados una gran cantidad de bloques, desde el área fuente hasta el cono de deyección. De igual forma se produjo la desaparición de bloques XL en la zona.
- Lo primero que se ve a simple vista de los datos obtenidos del cono de deyección es la gran acumulación de bloques de tipo S y M que tenemos entre los años 2013 y 2016. Esto sucede debido al material arrastrado por los diversos episodios de debris flow sufrido por el barranco. Especialmente el aporte obtenido por el episodio de 2012. De este tema se hablará más adelante en el tercer punto de este mismo apartado. Por lo que respecta a los bloques del tipo L y XL solamente hay un aporte, en el primer caso en el año 2013 y en el segundo en el 2016. De este último bloque también se hablará a continuación.

Una vez recogido todos estos datos llegamos a la conclusión que el evento que más cantidad de bloques movilizó fue el episodio de debris flow del año 2012, haciendo variar la geomorfología de la zona incluso más que los dos siguientes episodios

posteriores. Hubiese estado bien disponer de la ortofoto del mapa de 2014 para poder diferenciar el episodio de debris flow del 2013 como el de 2014 y ver cuál de estos fue más relevante por lo que respecta la geomorfología. Estos datos concuerdan con el valor de tierras movidas por los debris flow de la tabla 2 del trabajo.

En la siguiente tabla queda reflejado el número de bloques movilizado por los debris flow representativos de la tesina:

Tabla 6: Bloques movilizados por los debris flow característicos de la tesina y algún desprendimiento puntual.

		nº bloques desplazados							
		S		M		L		XL	
		Movilizados origen	Nueva ubicación	Movilizados origen	Nueva ubicación	Movilizados origen	Nueva ubicación	Movilizados origen	Nueva ubicación
Debris flow	2010	2	16	2	16	1	1	1	2
	2012	15	22	16	18	7	7	3	1
	2013+2014	4	30	15	19	6	6	1	1

Queda reflejado como los bloques desplazados por el debris flow del año 2012 casi superan incluso los bloques movilizados por los debris flow del año 2013 y 2014 juntos. Vemos que estos episodios han movilizado más bloques debido al primer dato de la tabla, ya que desplazaron más bloques de su posición original que los episodios sufridos antes del año 2012.

5.2 Movimiento de bloques

Ya hemos podido comprobar los cambios más significativos de la zona en el apartado anterior, teniendo como referencia la figura 15, donde podemos observar todos los bloques que han sido estudiados durante esta tesina.

Aunque no se haya podido tener un registro de todos los movimientos de bloques ya sean producidos por debris flow o simplemente por desprendimiento los geófonos y la cámara del programa DEBRISTART sí que han podido hacer estudios concretos de algunos de estos bloques. Los bloques comentados a continuación son un ejemplo de ello:

- Bloque 1. Desprendimiento 2010 + Debris flow 2013.

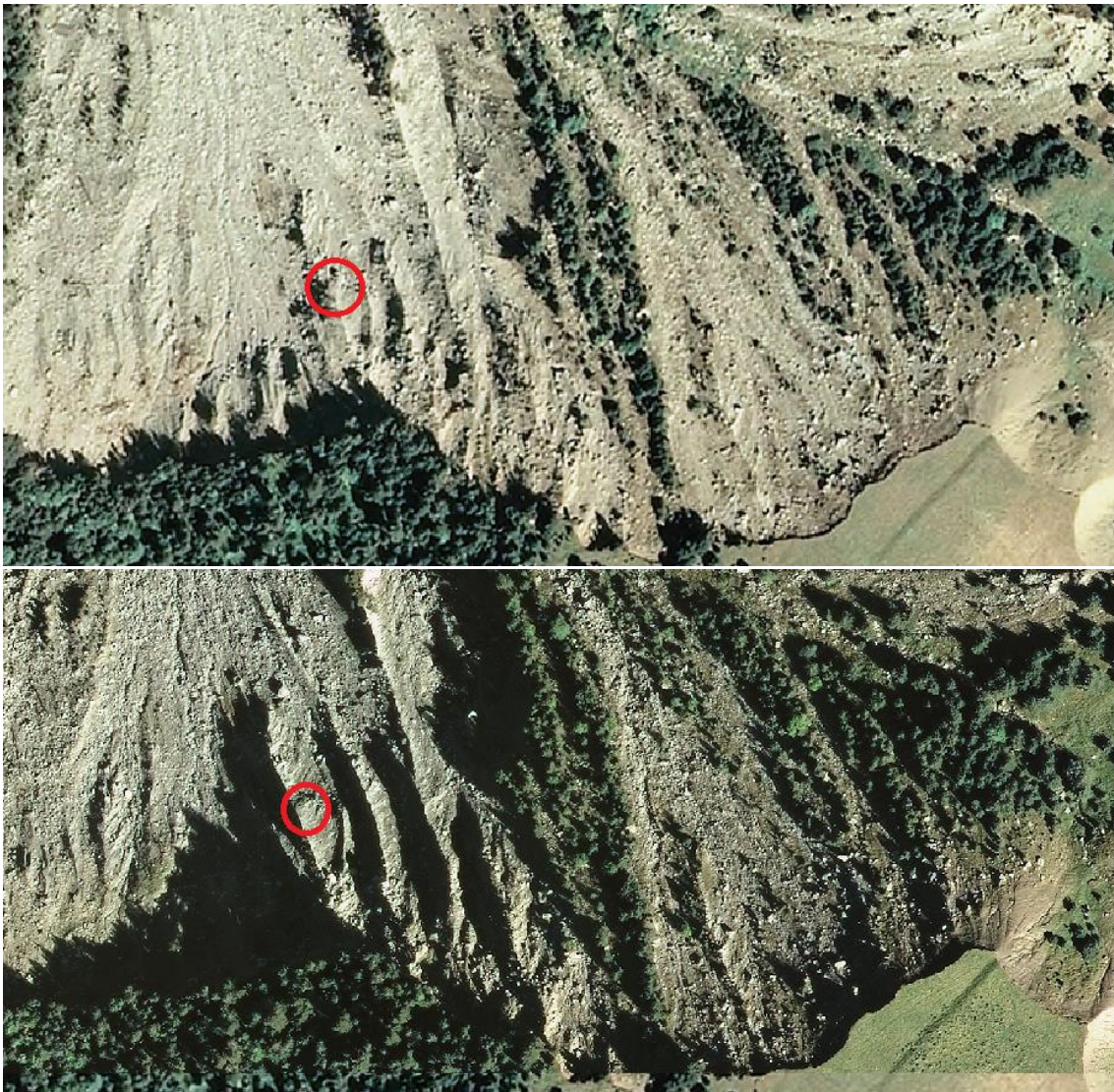


Figura 32: Fotografía donde podemos apreciar el bloque estudiado en el escarpe en el año 2008 (fotografía superior) y como este ya no se encuentra en el mismo lugar en el año 2011 (fotografía inferior).

A través de la figura 32 podemos observar como un bloque de tamaño considerable (clasificado como tipo XL en este trabajo) estaba ubicado casi en lo alto del escarpe en el año 2008. Este bloque apareció en mitad del canal en un proceso de desprendimiento entre los meses de abril y junio en el año 2010. Este suceso queda bien registrado en las siguientes imágenes.



Figura 33: Fotografía realizada en el canal mirando al cono de deyección en abril de 2010.



Figura 34: Fotografía realizada en el canal mirando al cono de deyección en junio de 2010.

Como comprobaremos más adelante este bloque aparece en los mapas trabajados tanto como de 2011 como de 2013. No obstante, a través de más fotografías vemos como entre los meses de mayo y octubre del año 2013 volvemos a tener otro episodio en el cual el bloque estudiado ha vuelto a moverse. En las siguientes imágenes queda reflejado como el bloque desaparece de la vista del canal.



Figura 35: Fotografía realizada en el canal mirando al cono de deyección en mayo de 2013.



Figura 36: Fotografía realizada en el canal mirando al cono de deyección en octubre de 2013.

Los datos reflejados en las tablas 5 y 6 hacen creer que el bloque fue movilizado durante el episodio de debris flow que sufrió el barranco el 17 de Julio de 2013. Este debris flow recordemos que movió un total de 10400 m³ de tierras. Disponemos de un video de aquel suceso donde se ve reflejado el proceso de erosión y transporte de un bloque con las características parecidas al estudiado. Además, este bloque encaja con la ubicación de la cámara y los geófonos respecto las ortofotos de los años estudiados.



Figura 37: Secuencia donde se observa el episodio de debris flow ocurrido el 17 de Julio de 2013. Podemos observar como el fluido acaba arrastrando rocas de tamaño significativo.

Si nos fijamos además en el mapa estudiado del año 2016 encontramos un bloque de dimensiones similares (también clasificado como XL en las tablas de los anexos) justo en la entrada del cono de deyección. Es fácil pensar entonces en que este bloque será el mismo bloque que se encontraba en el canal antes del debris flow del 2013 y que este sea el mismo que se encontraba arriba del escarpe antes del desprendimiento del año 2010.

El siguiente mapa es la representación de la trayectoria que ha tenido el bloque a lo largo del tiempo estudiado.

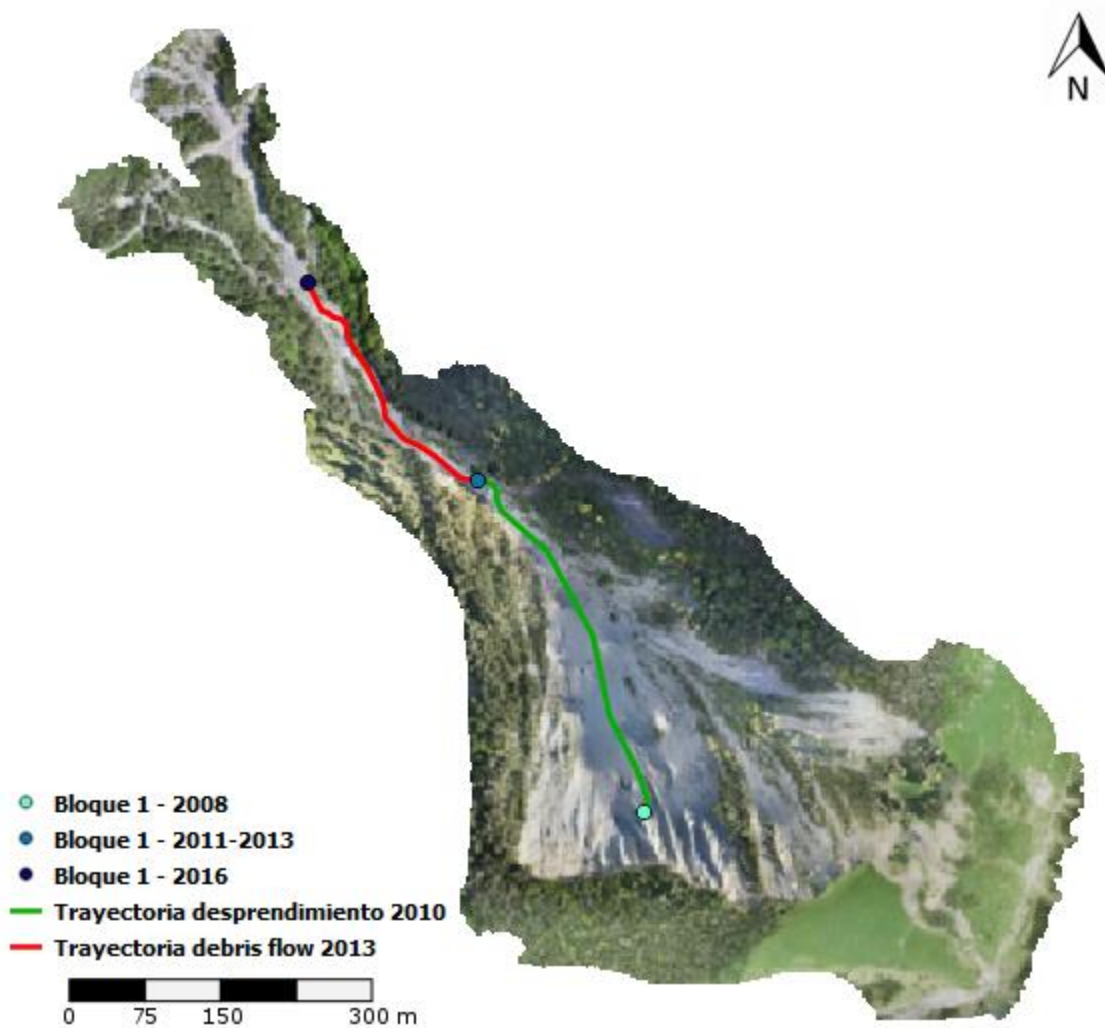


Figura 38: Mapa final de los desplazamientos del bloque 1 con el paso de los años. Queda reflejado el desprendimiento de 2010 y el transporte debido al debris flow de 2013.

- Bloque 2. Desprendimiento. 2011.



Figura 39: Fotografía donde podemos apreciar el bloque estudiado en el escarpe en el año 2011 (fotografía superior) y como este ya no se encuentra en el mismo lugar en el año 2013 (fotografía inferior).

Aunque en la figura 39 no se pueda apreciar bien el bloque debido a la calidad del pixel de ambas fotografías unido al sombreado del escarpe en el momento de la ortofoto, se intuye un bloque de tamaño considerable (considerado bloque tipo L en esta tesina). Este desprendimiento queda mejor reflejado en las siguientes imágenes.



Figura 40: Bloque estudiado ubicado en la zona de escarpe. 2010.



Figura 41: Supuesta ubicación del bloque estudiado en la zona de escarpe. 2011.

Y es que la madrugada del 8 de abril de 2011 este bloque sin aviso previo (ya que no llovía y las temperaturas eran normales) se desprendió del escarpe del barranco para terminar más abajo del canal que el sistema de monitorización. En la siguiente ilustración queda reflejado el descenso del bloque a lo largo del canal. Una posible causa del descenso de este bloque era el pendiente de la zona de escarpe donde estaba ubicado ya que este pendiente llega a tener hasta 42º de inclinación.



Figura 42: Secuencia donde se observa el descenso del bloque estudiado a través de un desprendimiento en el año 2011.

Finalmente podemos representar en nuestro mapa como pudo ser ese desprendimiento colina abajo y podemos apreciar como este bloque choco con antiguos bloques ubicados en la entrada del canal, lo cual provoco que el descenso tuviera algún cambio en la dirección como queda reflejado en la siguiente figura.

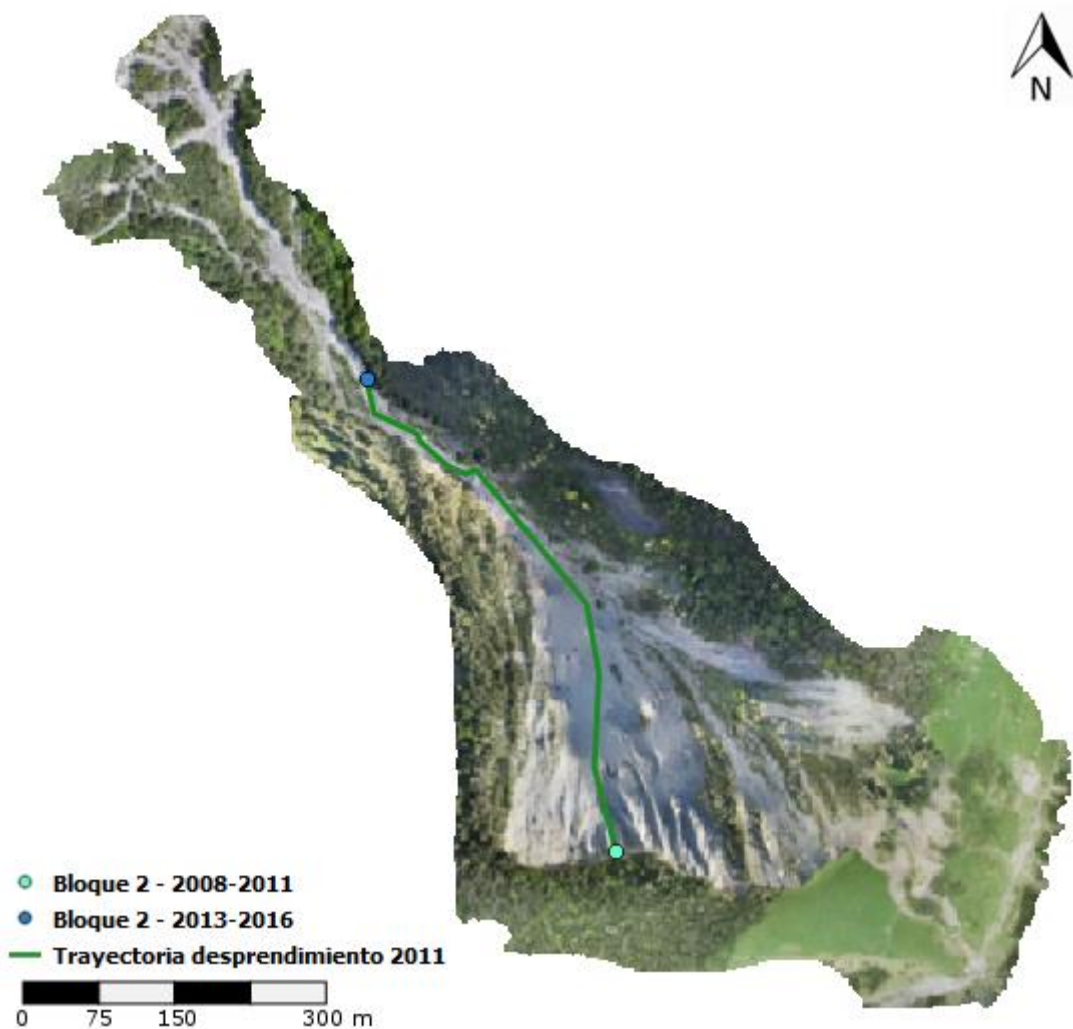


Figura 43: Mapa final del movimiento sufrido por el bloque 2 con el paso de los años. Queda reflejado el desprendimiento de 2011.

5.3 Consecuencias de los movimientos de bloques

Una vez visto la actividad de episodios de debris flow en la zona y comprobado la cantidad de bloques que mueve en cada uno de estos, vamos a analizar qué cambios han producido estos movimientos dentro del barranco.

Y es que como podemos observar en las siguientes figuras (Fig. 44-46) y en base a los movimientos de bloques apreciables en estas, el cono de deyección ha sufrido cambios considerables a lo largo de los años estudiados. La primera figura muestra la actividad del cono de deyección durante los años 2008-2011. En esta podemos observar que todos los bloques de rocas se depositan en el cono central. Observamos algún bloque significativo ubicado en el cono izquierdo de deyección. No obstante, estas rocas ya se encontraban ahí antes del comienzo del estudio, por lo que podemos asegurar que el cono está inactivo durante ese período. Lo mismo ocurre con el cono de la derecha. Se observa una acumulación de bloques en un tramo intermedio del cono, con lo que podemos pensar en un posible impedimento de traspaso de bloques durante los futuros años.

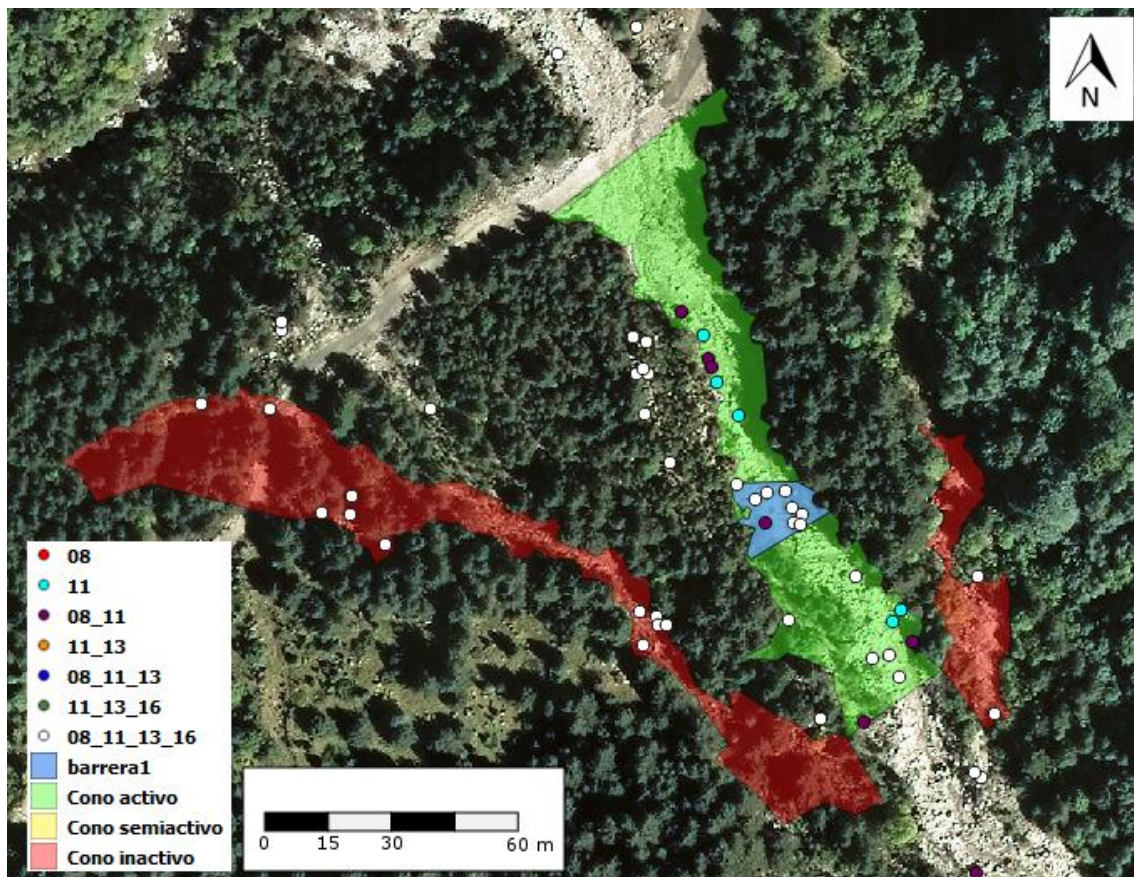


Figura 44: Mapa con la actividad del cono de deyección, año 2011. Los puntos que se ven representados muestran bloques de rocas que se han tenido en cuenta durante la realización de esta tesina. Los números asociados a estos son el año o los años en los que el bloque se encontraba en esa posición. La capa barrera es una representación de un espacio ocupado por una acumulación de bloques los cuales pueden llegar a obstruir el cono en el que se hallan. El color de los conos de deyección es una referencia respecto la actividad que tienen estos en el momento de estudio.

Teniendo en cuenta el debris flow del año 2012 es normal que haya habido un movimiento considerable de bloques entre el año 2011 y 2013. Podemos observar en el mapa la gran cantidad de bloques que han sufrido movimiento durante estos años. Lo primero es ver como todos estos bloques han descendido por el cono de deyección central, por lo que se puede afirmar que este sigue siendo el cono activo hasta 2013. Los otros dos conos han seguido siendo inactivos puesto que no se observan nuevos bloques en estos. Volviendo al cono activo del barranco se observan hasta dos nuevas barreras de rocas, una de ellas justo en la entrada del cono por lo que se puede deducir que en los futuros años va a ser difícil que los bloques puedan atravesar esa zona.

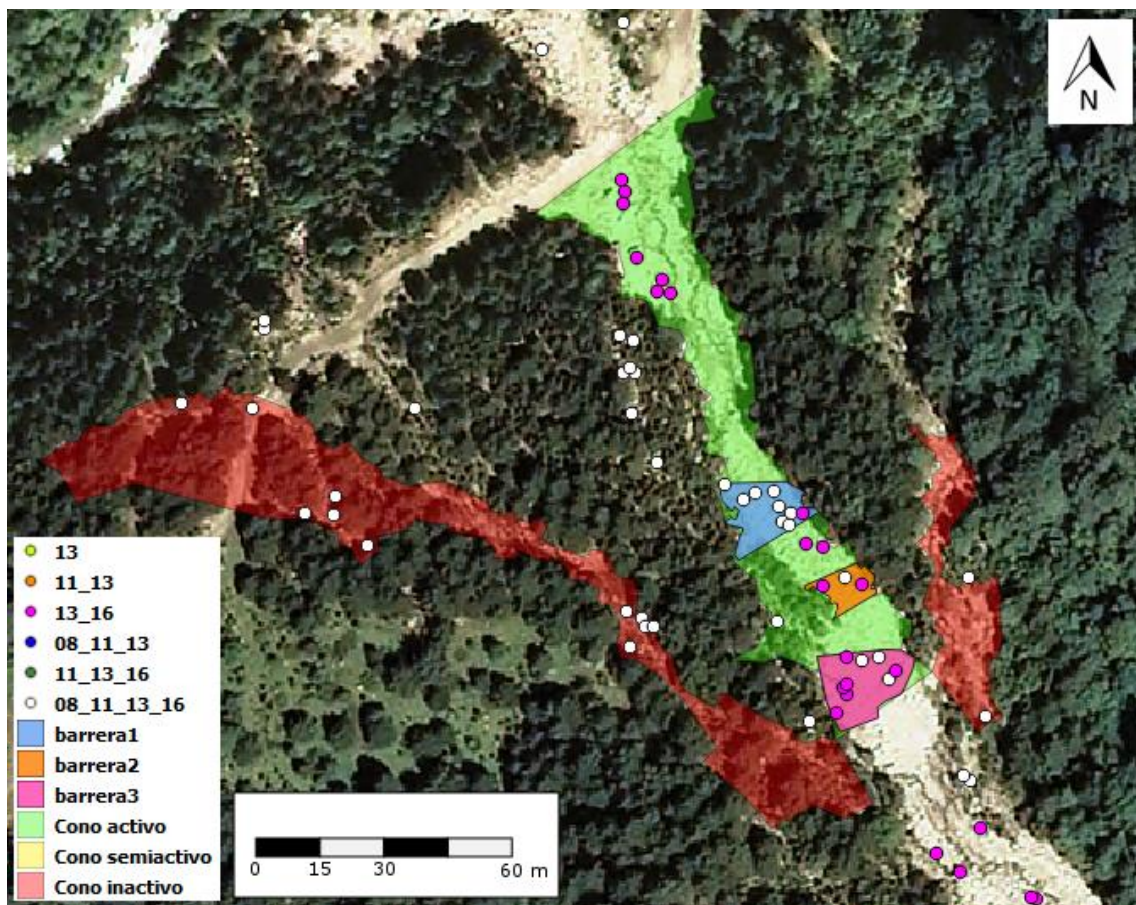


Figura 45: Mapa con la actividad del cono de deyección, año 2013. Los puntos que se ven representados muestran bloques de rocas que se han tenido en cuenta durante la realización de esta tesina. Los números asociados a estos son el año o los años en los que el bloque se encontraba en esa posición. La capa barrera es una representación de un espacio ocupado por una acumulación de bloques los cuales pueden llegar a obstruir el cono en el que se hallan. El color de los conos de deyección es una referencia respecto la actividad que tienen estos en el momento de estudio.

Después de dos nuevos episodios de debris flow en el barranco de Rebaixader, es fácil observar la cantidad de nuevos bloques que aparecen en el cono de deyección y cómo éste ha sufrido un cambio muy significativo, y es que la actividad del cono ha cambiado completamente. Debido a las barreras previamente expuestas del año 2013 los bloques que han descendido durante los siguientes años no han podido bajar por el cono central, por lo que o han descendido por uno de los conos laterales o han quedado acumulados en la entrada del cono de deyección. Observamos una cuarta barrera donde podemos observar hasta el único bloque tipo XL del cono (del cual se ha hablado en el apartado anterior). Viendo esta barrera la única hipótesis posible es que una vez bloqueado el cono de deyección central los bloques que no se quedaban en la entrada descendían por el cono de la derecha hasta que se formó la cuarta barrera. Una vez la barrera bloqueó este cono todos los demás bloques descendieron por el cono de la izquierda, convirtiendo este bloque nuevamente en activo, todo lo contrario que el cono central el cual ha pasado a la inactividad en el presente.

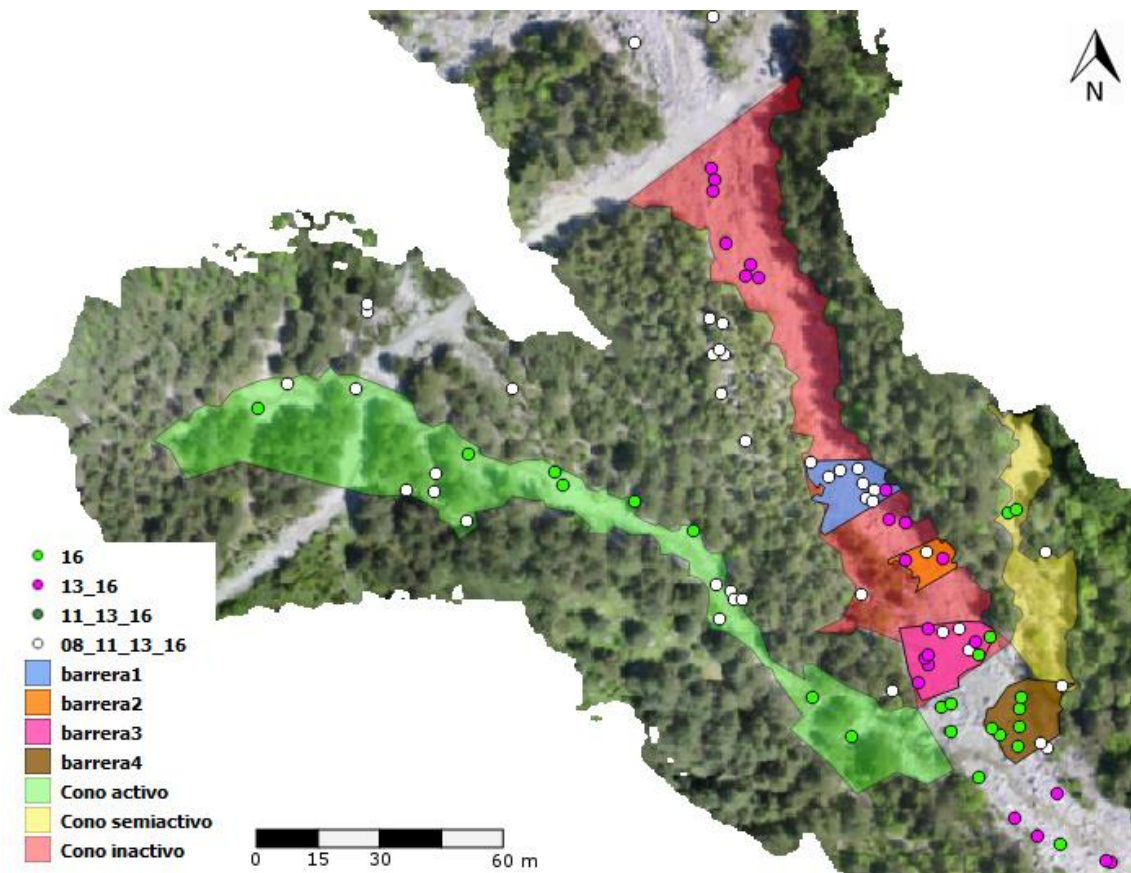


Figura 46: Mapa con la actividad del cono de deyección, año 2016. Los puntos que se ven representados muestran bloques de rocas que se han tenido en cuenta durante la realización de esta tesina. Los números asociados a estos son el año o los años en los que el bloque se encontraba en esa posición. La capa barrera es una representación de un espacio ocupado por una acumulación de bloques los cuales pueden llegar a obstruir el cono en el que se hallan. El color de los conos de deyección es una referencia respecto la actividad que tienen estos en el momento de estudio.

6. Conclusiones

Durante esta tesina han sido estudiados diferentes aspectos del barranco de Rebaixader, entre los cuales encontramos el número de bloques movilizado durante los años de estudio, el estudio relativo de alguno de estos desplazamientos y las consecuencias que han tenido dichos movimientos. Para ello hemos tenido de referencia las cuatro ortofotos comprendidas entre los años 2008 y 2016 y diferente información sobre los debris flows producidos en la zona gracias al sistema de monitorización. A través de estos procesos hemos obtenido las siguientes conclusiones.

La primera conclusión que se puede extraer de esta tesina, aunque obvia, es el gran avance que supone la utilización del dron para el estudio, en este caso, del barranco de Rebaixader. Primero por la comodidad que supone trabajar con un aparato móvil como este, así como el ahorro económico que supone respecto a la realización de una ortofoto realizada con fotografías aéreas. Aunque lo realmente importante es la resolución que obtenemos con el dron gracias a su vuelo de baja altitud, que en este caso ha supuesto una mejora de hasta 5 y 10 veces la calidad del píxel respecto a la ortofotografía aérea, y con una diferencia de tan solo tres años respecto la última ortofoto. Con este análisis podemos concluir que el dron es el futuro del estudio geomorfológico.

En cuanto al barranco, se ha podido observar cómo éste ha tenido una actividad considerable durante la última década estudiada. A pesar de la baja calidad de las ortofotos de los años 2008 y 2013 se ha podido obtener unos resultados lógicos llegando incluso a ver casos enteros de movimiento de bloques como el bloque XL estudiado en el segundo apartado de los resultados. También hay que tener en cuenta factores como el sombreado o la vegetación que a veces hacía dificultoso el estudio de una zona en algunos de los años estudiados, especialmente en la ortofoto del año 2011. Cabe añadir que disponer de la ortofoto del año 2014 hubiera sido ideal para poder comparar los debris flow producidos entre los años 2013 y 2014. Por eso los cambios entre los años 2013 y 2016 son tan considerables. Si nos fijamos en los resultados obtenidos a través del estudio de las gráficas, especialmente de la tabla 5 de la tesina, se confirma que el debris flow producido en el año 2012 fue sin duda el evento que más bloques desplazó en todo el barranco. En lo que rocas tipo S y M respecta vemos como en los debris flow más recientes se han llegado a movilizar hasta el doble de bloques que en los debris flow producidos entre los años 2008 y 2011. Estos mismos han llegado a movilizar más de diez bloques tipo L y en el caso del debris flow de 2012 llegó a movilizar 4 bloques clasificados como XL. Estos datos concuerdan perfectamente con los valores del material movilizado que tenemos en la tabla 2 del trabajo.

Por lo que respecta al cambio que ha habido en el cono de deyección, sería interesante un estudio de este durante los próximos años. A pesar de que el pendiente no es muy pronunciado en esa zona hay que tener en cuenta los bloques que están estancados en la entrada. Con un nuevo episodio de debris flow de grandes dimensiones estos bloques podrían ser movilizados a través del nuevo canal activo y si llegasen hasta abajo, cosa que vemos que paso en su momento con el cono de deyección central, actualmente inactivo, podría cortar el camino rural que hay para poder acceder al pueblo, los bloques

también podrían desembocar en el río Noguera Ribagorçana, pudiendo variar aspectos del río como su cabal.

Con la realización de momento anual de ortofotos del barranco a través del dron es posibles nuevos trabajos con una observación al detalle mucho más completa. Estos trabajos podrían estar complementados con los modelos digitales de elevaciones para un estudio superior al de esta tesina y así poder hacer análisis sobre la erosión que ha sufrido la zona de estudio durante los últimos años.

Para el estudio de la tasa de erosión del barranco sería interesante, como se ha hecho en esta tesina, separar dicho barranco por zonas para poder detectar las zonas con mayor actividad de erosión y hacer un estudio más profundo de estas.

7. Anexos

Tabla 7: Datos de los bloques en el área fuente del barranco.

08	11	13	16	08_11	11_13	13_16	08_11_13	11_13_16	08_11_13_16
1,800	2,399	3,199	1,843	2,021	1,771	2,036	2,012	2,009	1,905
2,396	3,076		1,937	2,381	2,184	2,051	2,720	2,433	1,937
3,055	3,339		2,095	2,479	2,335	2,055	3,022	2,479	1,953
3,087	3,357		2,199	2,698	2,719	2,262	3,033	2,589	2,011
4,792			2,220	2,724	2,942	2,347	3,491	2,800	2,041
			2,266	2,814	3,123	2,604	3,562	2,942	2,111
			2,322	2,913	3,806	2,641	3,571	2,979	2,135
			2,342	3,137		2,743	3,987	3,278	2,152
			2,353	3,252		2,968		5,030	2,208
			2,392	3,344		3,005			2,212
			2,853	3,569		3,133			2,213
			2,956	3,576		4,077			2,236
			3,039	4,209					2,243
			3,317						2,259
			3,343						2,260
			3,402						2,321
			3,704						2,367
			3,719						2,443
									2,483
									2,510
									2,553
									2,607
									2,644
									2,667
									2,673
									2,719
									2,798
									2,812
									2,859
									2,863
									2,945
									3,026
									3,140
									3,160
									3,202
									3,231
									3,309
									3,391
									3,450

08	11	13	16	08_11	11_13	13_16	08_11_13	11_13_16	08_11_13_16
									3,569
									3,581
									3,598
									3,613
									3,628
									3,741
									3,804
									3,858
									4,018
									4,113
									4,137
									4,142
									4,560
									4,601
									4,603
									4,694
									4,980
									5,683

Tabla 8: Datos de los bloques en el canal del barranco.

08	11	13	16	08_11	11_13	13_16	08_11_13	11_13_16	08_11_13_16
3,586	2,386	3,802	1,516	2,290	2,560	1,782	2,950	1,964	1,533
	2,884		1,880	2,418	4,812	1,864	2,968	2,329	1,640
			2,011	2,640		2,119	3,010	2,347	1,702
			2,108	2,928		2,362	3,048	2,436	1,839
			2,207	3,696		2,541	3,397	2,448	1,900
			2,242	3,951		2,617	3,470	2,599	2,006
			2,364	4,024		2,650	3,830		2,015
			2,524	4,257		2,655			2,030
			2,664	4,657		3,208			2,121
			2,698	4,731		3,365			2,196
			2,703	5,177		3,453			2,257
			2,773			3,540			2,296
			2,928			3,890			2,355
			3,307			4,005			2,367
			3,342			4,400			2,402
			3,586			4,773			2,462
			3,616						2,605
			3,643						2,640
			3,935						2,890
									3,000
									3,136
									3,395
									3,766
									3,920
									3,997
									4,318
									5,431

Tabla 9: Datos de los bloques en el cono de deyección del barranco.

08	11	13	16	08_11	11_13	13_16	08_11_13	11_13_16	08_11_13_16
	1,617		1,299	1,880		1,517			1,315
	1,909		1,356	2,043		1,712			1,447
	2,150		1,515	2,206		1,712			1,492
	3,226		1,553	2,375		1,785			1,628
	3,360		1,679	2,455		1,788			1,785
			1,704	3,395		1,979			1,790
			1,709			2,076			1,802
			1,982			2,132			1,870
			2,047			2,143			1,915
			2,181			2,153			1,924
			2,234			2,217			1,924
			2,324			2,240			1,974
			2,357			2,414			1,989
			2,644			2,678			2,008
			2,931			2,917			2,022
			2'812			3,335			2,027
			3,247			3,380			2,039
			3,499			3,999			2,065
			4,898						2,122
									2,126
									2,173
									2,179
									2,208
									2,216
									2,261
									2,303
									2,325
									2,330
									2,353
									2,449
									2,600
									2,633
									2,720
									2,727
									2,763
									2,763
									2,771
									2,804
									2,841
									3,156
									3,165

08	11	13	16	08_11	11_13	13_16	08_11_13	11_13_16	08_11_13_16
									3,286
									3,336
									3,745
									3,812
									3,826
									3,847
									3,880



Figura 47: Ortofoto 2008.



Figura 48: Ortofoto 2011.



Figura 49: Ortofoto 2013.



Figura 50: Ortofoto 2016.

8. Listado de figuras

Figura 1: Clasificación de los diferentes tipos de masa (Corominas y García Yagüe, 1996).	10
Figura 2: Clasificación reológica de las flujos de agua y sedimento. Las divisorias verticales A, B y C son umbrales reológicos que dependen de la distribución granulométrica (se asume la existencia de bloques y una mezcla escasamente clasificada) y de la concentración del sedimento. La línea A marca el inicio de la resistencia al corte; la línea B marca un incremento brusco de resistencia al corte, que permite la suspensión estática de grava y el inicio de la licuefacción; el límite C indica el cese de la licuefacción. En el eje vertical, los límites de velocidad (también dependientes la distribución granulométrica, de la concentración de sedimento y de la densidad de las partículas) son determinados por el mecanismo(s) de transmisión de tensiones entre partículas durante el flujo (Pierson y Costa, 1987).	12
Figura 3: Barranco de Rebaixader. Reflejamos las diferentes zonas de este: Zona azul: Área fuente; Zona verde: Canal; Zona roja: Cono de deyección. Fuente: ICGC.....	13
Figura 4: Localización de Senet de Barrabés dentro de Cataluña. Fuente: Wikipedia. .	15
Figura 5: Detalle de la ubicación del barranco de Rebaixader. Fuente: ICGC.	15
Figura 6: Mapa geológico de Rebaixader. Fuente: ICGC.	16
Figura 7: Corte transversal esquemático del valle de la Noguera Ribagorçana al sur de la población de Senet. La escala vertical ha sido exagerada. Leyenda: 1. Cono de deyección sub-actual; 2. Depósitos de vertiente; 3. Till supraglacial; 4. Till sub-glacial; 5. Sustrato paleozoico; 6. Altura original del glaciar (Bordonau 1992, modificado de Vilaplana 1983).	16
Figura 8: Ubicación de la instrumentación en el canal del barranco.	18
Figura 9: Espectro de vibración de un debris flow, debris flood y desprendimiento. ...	19
Figura 10: Espectro de los calados obtenidos por ultrasonido en el caso de debris flow y debris flood.....	20
Figura 11: Representación de las diversas partes del dron. Fotografía de Roger Ruiz-Carulla, Jordi Corominas y Marcel Hürlimann.....	21
Figura 12: Dron en pleno vuelo realizando fotografías para la posterior creación de la ortofoto en 2016.	22
Figura 13: Ubicación de los puntos de control.	24
Figura 14: Puntos de control.	24
Figura 15: Mapa final donde queda representado los bloques del barranco de Rebaixader. Los puntos que se ven representados muestran bloques de rocas que se han tenido en cuenta durante la realización de esta tesina. Los números asociados a estos son el año o los años en los que el bloque se encontraba en esa posición.	28
Figura 16: Número total de rocas en el área fuente según clasificación propia.....	30
Figura 17: Número total de rocas en el canal según clasificación propia.	30
Figura 18: Número total de rocas en el cono de deyección según clasificación propia.	30
Figura 19: Evolución del número total de bloques que hay en el barranco según clasificación propia.	31
Figura 20: Número de bloques tipo S estudiados en el área fuente.....	33

Figura 21: Número de bloques tipo M estudiados en el área fuente.	33
Figura 22: Número de bloques tipo L estudiados en el área fuente.	34
Figura 23: Número de bloques tipo XL estudiados en el área fuente.	34
Figura 24: Número de bloques tipo S estudiados en el canal.	35
Figura 25: Número de bloques tipo M estudiados en el canal.	35
Figura 26: Número de bloques tipo L estudiados en el canal.	36
Figura 27: Número de bloques tipo XL estudiados en el canal.	36
Figura 28: Número de bloques tipo S estudiados en el cono de deyección.	37
Figura 29: Número de bloques tipo M estudiados en el cono de deyección.	37
Figura 30: Número de bloques tipo L estudiados en el cono de deyección.	38
Figura 31: Número de bloques tipo XL estudiados en el cono de deyección.	38
Figura 32: Fotografía donde podemos apreciar el bloque estudiado en el escarpe en el año 2008 (fotografía superior) y como este ya no se encuentra en el mismo lugar en el año 2011 (fotografía inferior).	41
Figura 33: Fotografía realizada en el canal mirando al cono de deyección en abril de 2010.	42
Figura 34: Fotografía realizada en el canal mirando al cono de deyección en junio de 2010.	42
Figura 35: Fotografía realizada en el canal mirando al cono de deyección en mayo de 2013.	43
Figura 36: Fotografía realizada en el canal mirando al cono de deyección en octubre de 2013.	43
Figura 37: Secuencia donde se observa el episodio de debris flow ocurrido el 17 de Julio de 2013. Podemos observar como el fluido acaba arrastrando rocas de tamaño significativo.	44
Figura 38: Mapa final de los desplazamientos del bloque 1 con el paso de los años. Queda reflejado el desprendimiento de 2010 y el transporte debido al debris flow de 2013.	45
Figura 39: Fotografía donde podemos apreciar el bloque estudiado en el escarpe en el año 2011 (fotografía superior) y como este ya no se encuentra en el mismo lugar en el año 2013 (fotografía inferior).	46
Figura 40: Bloque estudiado ubicado en la zona de escarpe. 2010.	47
Figura 41: Supuesta ubicación del bloque estudiado en la zona de escarpe. 2011.	47
Figura 42: Secuencia donde se observa el descenso del bloque estudiado a través de un desprendimiento en el año 2011.	48
Figura 43: Mapa final del movimiento sufrido por el bloque 2 con el paso de los años. Queda reflejado el desprendimiento de 2011.	49
Figura 44: Mapa con la actividad del cono de deyección, año 2011. Los puntos que se ven representados muestran bloques de rocas que se han tenido en cuenta durante la realización de esta tesina. Los números asociados a estos son el año o los años en los que el bloque se encontraba en esa posición. La capa barrera es una representación de un espacio ocupado por una acumulación de bloques los cuales pueden llegar a obstruir el cono en el que se hallan. El color de los conos de deyección es una referencia respecto a la actividad que tienen estos en el momento de estudio.	50

Figura 45: Mapa con la actividad del cono de deyección, año 2013. Los puntos que se ven representados muestran bloques de rocas que se han tenido en cuenta durante la realización de esta tesina. Los números asociados a estos son el año o los años en los que el bloque se encontraba en esa posición. La capa barrera es una representación de un espacio ocupado por una acumulación de bloques los cuales pueden llegar a obstruir el cono en el que se hallan. El color de los conos de deyección es una referencia respecto a la actividad que tienen estos en el momento de estudio. 51

Figura 46: Mapa con la actividad del cono de deyección, año 2016. Los puntos que se ven representados muestran bloques de rocas que se han tenido en cuenta durante la realización de esta tesina. Los números asociados a estos son el año o los años en los que el bloque se encontraba en esa posición. La capa barrera es una representación de un espacio ocupado por una acumulación de bloques los cuales pueden llegar a obstruir el cono en el que se hallan. El color de los conos de deyección es una referencia respecto a la actividad que tienen estos en el momento de estudio. 52

Figura 47: Ortofoto 2008..... 60

Figura 48: Ortofoto 2011..... 61

Figura 49: Ortofoto 2013..... 62

Figura 50: Ortofoto 2016..... 63

9. Listado de tablas

Tabla 1: Coordenadas de los puntos de control.....	23
Tabla 2: Historia geomorfológica del barranco de Rebaixader. En color rojo quedan reflejado los episodios con mayor volumen movido de los últimos años. Realización propia.....	26
Tabla 3: Número total de rocas en el barranco, tipo S y M.	29
Tabla 4: Número total de rocas en el barranco, tipo L y XL.	29
Tabla 5: Número de rocas con cambios durante el período estudiado. La primera fila corresponde al número de rocas que se encontraban en la ubicación estudiada el primero de los dos años de estudio. La segunda fila corresponde al número de rocas que se encuentran en la ubicación en el segundo año, pero no en el primero. La tercera fila corresponde al número de rocas que se encuentran situadas en ambos años en la misma ubicación. Este proceso se aplica de igual forma para los 3 períodos estudiados.	32
Tabla 6: Bloques movilizados por los debris flow característicos de la tesina y algún desprendimiento puntual.....	40
Tabla 7: Datos de los bloques en el área fuente del barranco.....	55
Tabla 8: Datos de los bloques en el canal del barranco.	57
Tabla 9: Datos de los bloques en el cono de deyección del barranco.	58

10. Bibliografía

- Bolano, F. (2008). *“Anàlisi d’instabilitats en dipòsits glacials als barrancs de la Baixada i l’Esbornada de Senet (Alta Ribagorça, Pirineu central)”*.
- 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., Alonso, E. (1984). *“Inestabilidad de laderas en el Pirineo Catalán. Tipología y causas”*. *Jornadas sobre Inestabilidad de Laderas en el Pirineo*. Universidad Politécnica de Barcelona: C.1-C.53.
- 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.
- Hürlimann M., Abancó C., Moya J., Raïmat 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.
- Hürlimann, M., Abancó, C., Moya, J. (2012). *“Rockfalls detached from a lateral moraine during spring season. 2010 and 2011 events observed at the Rebaixader debris-flow monitoring site (Central Pyrenees, Spain)”*.
- Hürlimann, M., Abancó, C., Moya, J., Vilajosana, I. (2014). *“Results and experiences gathered at the Rebaixader debris-flow monitoring site, Central Pyrenees, Spain.”* *Landslides*, 11, 939–953.
- Novoa, M. (1984). *“Precipitaciones y avenidas extraordinarias en Cataluña. Inestabilidad de laderas en el Pirineo”*. ETSECCPB (UPC), Barcelona, pgs. I.1.1-I.1.15.
- Pierson, T.C., Costa, J.E. (1987). *“A rheologic classification of subaerial sediment-water flows”*. *Geol. Soc. Am. Rev. Eng. Geol.* VII, pgs. 1-12.
- Plana Castellví, J. (1981). *“Notas sobre los Balances Hídricos”*. Revista Cuadernos de Geografía Tarraco. Departamento de Geografía. Tarragona.
- Plana Castellví, J. (1981). *“Aplicación de algunos índices climáticos a un espacio de montaña”*. *Actas VII Coloquio de Geografía*. Volumen I núm VII. Pamplona.
- 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.

Thoeni K., Giacomini A., Murtagh R., Kniest E. (2014). "A comparison of multi-view 3D reconstruction of a rock wall using several cameras and a laser scanner. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*", Volume XL-5, ISPRS Technical Commission V Symposium", 23 - 25 June 2014, Riva del Garda, Italy.

Van Asch, TH.W.J. Y Van Steijn, H. (1991). "Temporal patterns of mass movements in the French Alps". *Catena*. Vol. 18, pgs. 517-527.

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

Página web del *Ciclo Hidrológico*. Información [Consulta: marzo 2017]. Disponible en <http://www.ciclohidrologico.com/>

Página web de *Fenercom*. Información [Consulta: abril 2017]. Disponible en <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Los-Drones-y-sus-aplicaciones-a-la-ingenieria-civil-fenercom-2015.pdf>

Página web de *InstaMaps*. Productos [Consulta: marzo 2017]. Disponible en <https://www.instamaps.cat/index.html>

Página web del *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya*. Productos [Consulta: febrero 2017-abril 2017]. Disponible en <http://www.icgc.cat/>

Página web de *MappingGIS*. Información [Consulta: marzo 2017 - mayo 2017]. Disponible en <https://mappinggis.com/>

Página web de soporte técnico de Excel de *Microsoft*. Información [Consulta: marzo 2017 – junio 2017]. Disponible en <https://support.office.com/es-es/excel>

Página web de soporte técnico de Word de *Microsoft*. Información [Consulta: marzo 2017 – junio 2017]. Disponible en <https://support.office.com/es-es/word>

Página web de *SlideShare*. Información [Consulta: febrero 2017 - marzo 2017]. Disponible en <https://es.slideshare.net/JUANCA650/clasificacion-deslizamientos-m>

Página web de *UPCommons*. Información [Consulta: marzo 2017]. Disponible en <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6650/05.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

Página web de la *Wikipedia*. Consulta de información. [Consulta: febrero 2017 - abril 2017]. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Google_earth