

Trabajo Fin de Grado

**Estabilidad de Taludes en la localidad de
Munilla (La Rioja)**

**Slope stability in the town of Munilla
(La Rioja)**

Andrea Martínez Martínez

Directores

Antonio Casas

Luis Eduardo Arlegui

Departamento de Ciencias de la Tierra

Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza

Curso 2020/2021

Índice

Abstract.....	3
1. Introducción.....	3
1.1 Planteamiento general del trabajo.....	4
1.2 Caracteres geográficos del área de estudio.....	4
1.3 Contexto geológico.....	6
1.4 Antecedentes.....	9
2. Objetivos.....	11
3. Metodología.....	11
4. Resultados.....	12
5. Modelo de caracterización de los movimientos.....	19
5.1 Observaciones.....	19
5.2 Información sísmica.....	20
5.3 Las simplificaciones para la seguridad de la presa.....	21
5.4 Observaciones a lo largo del valle de Cidacos.....	22
6. Discusión.....	23
7. Conclusiones.....	24
8. Bibliografía.....	25

ANEXOS

- Anexo I: Definición sismicidad inducida
- Anexo II: Diferencia entre embalse y presa
- Anexo III: Columna estratigráfica de Munilla
- Anexo IV: Tipos de discontinuidades
- Anexo V: Perfil del escarpe hectométrico
- Anexo VI: Imágenes de evidencias sobre el terreno
- Anexo VII: Límites del deslizamiento
- Anexo VIII: Perfil de la presa de Enciso
- Anexo IX: Depósitos cuaternarios a lo largo del valle Cidacos por la carretera dirección Soria

Abstract

In recent times there seems to have been an increased interest in wanting to fix infrastructures in unstable terrain, as well as the revision of the unstable areas themselves. For this, it is necessary to know the geological history of the whole valley in general, in this sector of La Rioja, in order to know what is happening today and how it will behave tomorrow.

This work deals with of two initial problems: on the one hand, a part of the unstable Cidacos Valley above the town of Munilla is studied, and on the other, how it affects its surroundings, involving the infrastructure of Enciso, which could cause problems tomorrow.

The behavior of these studied slopes has been observed, in order to know and understand similar behaviors in the surroundings of the Enciso dam, as well as the effect generated by the dam itself on the slopes.

1. introducción

Observamos en los últimos tiempos un creciente interés o necesidad por restaurar o acondicionar infraestructuras edificadas sobre terrenos inestables, así como profundizar en el conocimiento de zonas propiamente inestables. Para ello, es necesario conocer la historia geológica del conjunto del valle en general, en este sector de La Rioja, la zona de Munilla y alrededores, para saber qué es lo que ocurre a día de hoy, y como se va a comportar el día de mañana.

El presente trabajo se estructura sobre dos problemas iniciales: Por un lado, estudiamos una parte del Valle de Cidacos inestable por sus taludes sobre la localidad de Munilla. Por otro lado, reflexionamos acerca del impacto de la infraestructura con la que consta Enciso, sobre dichos taludes, sobre los alrededores del valle de Cidacos y sobre la presa. Insistimos igualmente en el análisis de la altísima posibilidad de reactivación de taludes inestables ocultos debida a la construcción de la presa, con la problemática añadida de la sismicidad inducida. (Anexo 1)

Según el estudio de Casas et al., (2015), los problemas más graves del embalse de Enciso desde el punto de vista geológico, son la presencia de varios deslizamientos importantes dentro de la zona del vaso, algunos de ellos, activos, desde el momento en que se construyó la nueva carretera que une las poblaciones de Enciso (aguas abajo de la presa) y Yanguas (situado aguas arriba de la cola del embalse). El más importante de estos deslizamientos, situado en la cola del embalse, ha impedido la continuación de dicha carretera y amenaza con crear, en caso de acelerarse el movimiento, un embalse natural en la cola del pantano. Las consecuencias de la formación de este tipo de embalse es que su rotura (normalmente a las pocas horas de su generación) crea una onda que puede poner en compromiso la estabilidad de la presa, dando lugar a su rotura. (Anexo 2)

Puesto que las capas buzan aguas abajo en una zona ya propensa a sismicidad, es razonable pensar que la presa pueda constituir al fenómeno descrito.

Es relativamente frecuente que las laderas de embalse, por causa de saturación del terreno por inundación en sus pies, resulten inestables. Igualmente sucede que, en ocasiones, se puedan reactivar antiguos paleo- deslizamientos que habrían sido estables en condiciones secas, pero no cuando el lecho del río, en tiempos pretéritos, saturaba sus laderas.

Un factor a tener en cuenta es la existencia, a lo largo del río Cidacos, de deslizamientos que puedan ocasionar, en las zonas más estrechas del cauce anteriores a la presa, inestabilización y represas (tanto dentro del vaso como sumergidas) que producirían rotura y arrastre del material constitutivo y agua en caso de un desembalse rápido.

Por último, hay que considerar la vegetación como un elemento enmascarador de los factores que pueden activar las masas del terreno.

El presente estudio versa acerca del comportamiento de esta ladera en la localidad de Munilla, con el objetivo de llegar a comprender comportamientos análogos en los alrededores de la presa de Enciso, puesto que el deslizamiento muestra indicios de actividad reciente y constituye, por ello, un riesgo potencial para el ser humano.

1.1 Planteamiento del problema

Se pretende estudiar desde un punto de vista geológico y geomorfológico la estabilidad de taludes en el entorno de Munilla, ya que, en la zona de estudio se ha desarrollado un deslizamiento traslacional de grandes dimensiones que afecta al material del cretácico- inferior del grupo Enciso, previamente descrito por Casas y Muñoz (1993).

También cabe destacar que, a pesar del gran tamaño que presenta este deslizamiento, no aparece identificado en las cartografías geológicas existentes, constituyendo un riesgo potencial que debe ser considerado para minimizar su peligrosidad.

Es necesario relacionar el comportamiento de dicho deslizamiento con las laderas de sus alrededores, debido a la existencia de infraestructuras presentes, y a la previsión de construcción de infraestructuras futuras. Pero en primer lugar debemos tanto conocer cómo prever la evolución de estas laderas en el tiempo, al tratarse de una zona que, a día de hoy, corre riesgos de deslizamientos activos.

Se conoce Munilla, además, como una zona sísmicamente activa y que corre el riesgo de reactivaciones de deslizamientos en el terreno, añadiendo la problemática de la construcción de la nueva presa localizada en las proximidades de Enciso, la cual conlleva a un posible factor desencadenante por la sismicidad inducida. Anexo

Por todo ello, se procederá a caracterizar el deslizamiento abordando aspectos como el mecanismo de rotura que lo produce.

1.2 Situación Geográfica

Munilla. (2021, 21 de marzo). Wikipedia, La enciclopedia libre. Munilla (Imagen 1) es un municipio de la comunidad autónoma de La Rioja (España), situado en la comarca de Arnedo a 68 kilómetros de Logroño (Capital de la Rioja). Se ubica al pie de las sierras de la Hez, el Hayedo de Santiago y los Cameros Viejos. El talud estudiado, queda situado sobre el camino de

las Vargas, donde se accede por el camino forestal situado a la derecha, dirección Enciso, de la carretera a la altura “la casa del Reloj” (Antigua Casa de chocolate).

Mas concretamente, la zona estudiada es denominada “Cantera partida”, donde se sitúa una grieta hectométrica, así como varias roturas por todo el terreno.

La vegetación de la zona consta de: romero, tomillo y ulaga (flores amarillas), zarza rallas, zarzas moras, hayas, robles, acebos.... El terreno es muy pedregoso. Antiguamente la zona se usaba como terrazas y se plantaba cereal, nada de regadío.

Su abundante superficie montañosa y la situación geográfica, le confieren un clima de inviernos fríos y veranos frescos. En Munilla, los veranos son cortos, calientes y mayormente despejados; los inviernos son muy frío y parcialmente nublados y está seco durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de -1 °C a 27 °C y rara vez baja a menos de -5 °C o sube a más de 32 °C. La topografía en un radio de 3 kilómetros de Munilla tiene variaciones muy grandes de altitud, con un cambio máximo de altitud de 507 metros y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 951 metros. En un radio de 16 kilómetros contiene variaciones muy grandes de altitud (1.248 metros). En un radio de 80 kilómetros también contiene variaciones extremas de altitud (2.079 metros).

Se alza sobre el Río Cidacos, frente a la LR-115, a una cota de 900m sobre el río Cidacos.

Río Cidacos. (2020, 25 de diciembre). Wikipedia, La enciclopedia libre. El río Cidacos es un río del valle del Ebro en España. Nace al sur de la población de Los Campos, en tierras de Soria, junto al Puerto de Oncala y recorre 77 km (imagen 2) hasta desembocar en el río Ebro, en las proximidades de la localidad riojana de Calahorra. En su transcurso atraviesa o queda al lado de varias poblaciones de Soria, como Villar del Río o Yanguas, y de La Rioja, como Enciso, Peroblasco, Arnedillo (en donde el río recibe aguas termales que dan lugar al Balneario de Arnedillo), Santa Eulalia Somera y Bajera, Herce, Arnedo, Quel, Autol y Calahorra. Su cauce aguas abajo de Arnedillo suele aparecer prácticamente seco en algunos tramos a causa de filtraciones. Ha sido modificado tras la construcción de una Presa, en un pueblo de la Rioja llamado Enciso.

Presa de Enciso. (2020, 23 de marzo). Wikipedia, La enciclopedia libre. La presa de Enciso es una obra hidráulica actualmente en pruebas de llenado tras la conclusión de la obra situada en el municipio de Enciso (La Rioja, España). Se trata de una presa de gravedad construida en hormigón compactado con rodillos en la cuenca alta del río Cidacos. Su construcción fue adjudicada a la UTE Presa de Enciso. La pared tiene una altura proyectada de 104,15 metros desde los cimientos (94,5 m sobre el cauce), y de 375 metros de largo en su parte más alta (coronación), previéndose el uso de 692 000 m³ de hormigón. Este embalse permitir la regulación y el abastecimiento de agua a los municipios del Cidacos, teniendo una capacidad de almacenamiento de 47 hm³. Anexo

Exactamente, los taludes estudiados quedan situados sobre las coordenadas “42°10'56.8"N 2°16'45.8"W”, y por los alrededores de la Presa de Enciso, La Rioja. (Imagen 3)

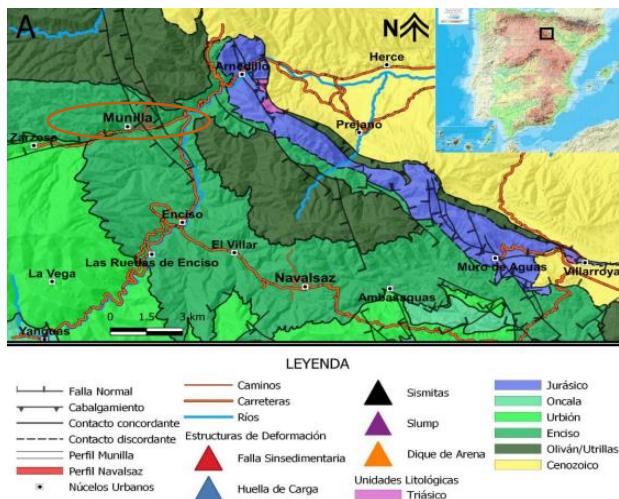


Imagen 1: Mapa de situación geográfica y geológica de la zona estudiada Val (2019).

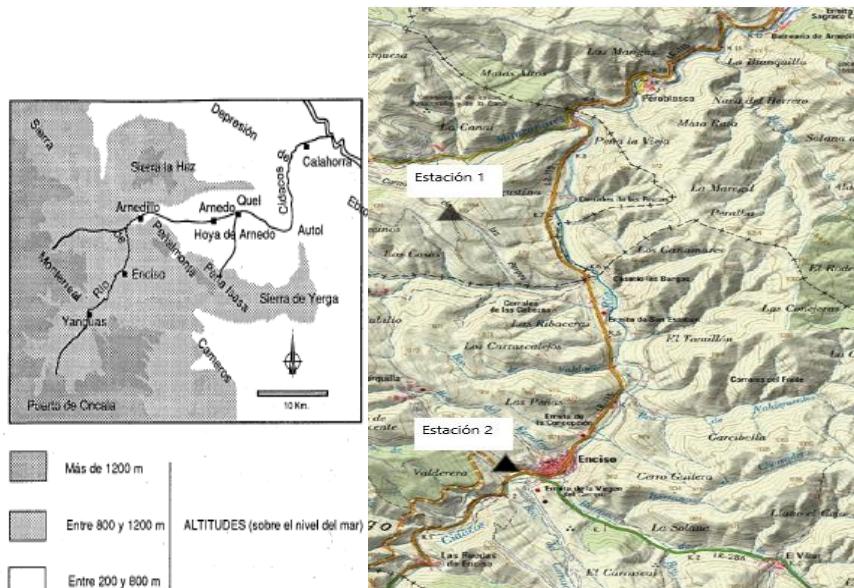


Imagen 2: Esquema del relieve entorno al río Cidacos de Casas (1990). Imagen 3: Escala 1: 53499. Mapa situación

1.3 Contexto geológico

Según la memoria del IGME (1971). La cordillera Ibérica es una cadena intracratónica (imagen 4) (interior de un cratón limitada por cabalgamientos) de doble vergencia, constituida por materiales mesozoicos (calizas, areniscas y margas) y terciarios con un zócalo paleozoico (masa relativamente rígida de rocas magmáticas y metámorficas que en la corteza continental yace debajo de la cubierta, ésta sedimentaria, formada por el depósito de materiales en el último ciclo orogénico, el alpino), deformado durante la Orogenia Alpina. Su extremo noroccidental constituye las sierras de Demanda y Cameros, y consiste en un núcleo de materiales paleozoicos y una cubierta mesozoica, en la que destaca el gran espesor de los materiales del Cretácico inferior, estructurados mediante pliegues y cabalgamientos de rumbo NW-SE y W-E.

y vergencia hacia el norte. Su borde septentrional es un cabalgamiento, mediante el cual la Cordillera Ibérica ha sido desplazada varios Kilómetros hacia el Norte sobre los materiales de la Cuenca del Ebro.

Según el estudio de Casas Sainz y Muñoz (1993), en la guía “Guiaacidacos”. Las rocas de Cameros, fueron depositadas entre los 230 y los 65 millones de años. Situándose por encima del río Cidacos, se encuentran las margas y calizas de Enciso, de color gris oscuro, sedimentadas en un ambiente de lagos tranquilos. (imagen 5)

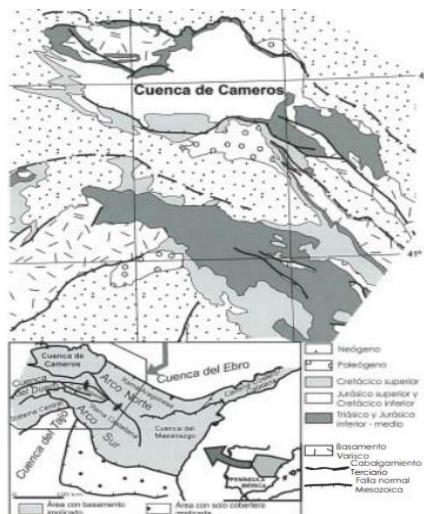


Imagen 4: Mapa geológico de la cuenca de Cameros en el marco estructural general de la cordillera Ibérica (modificada de Guimerá et al., 2004)

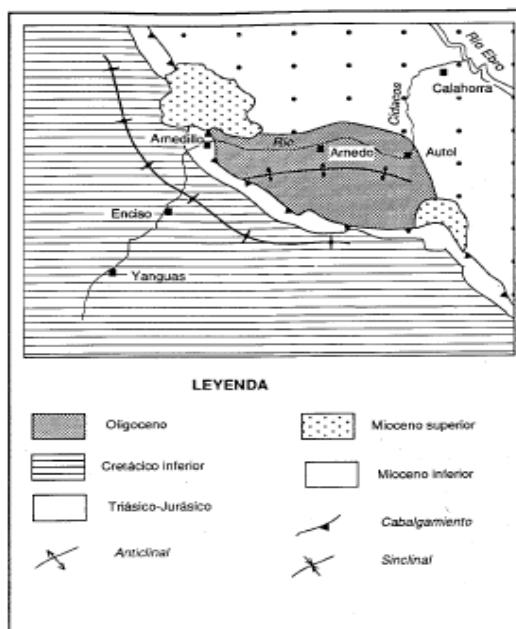


Imagen 5: Mapa de las unidades geológicas sobre el Valle del río Cidacos descrita por Muñoz y Casas Sainz (1993)

Continuando con el estudio de Casas Sainz y Muñoz (1993), en la guía “Guiaacidacos”. En la etapa Terciaria, hubo movimientos tectónicos que levantaron la antigua tectónica de Cameros y la trasladaron hacia el norte. La zona deprimida, situada al norte de la sierra de Cameros, se

fue rellenando con los sedimentos (conglomerados y areniscas) arrastradas por los ríos que llegan desde el sur, donde está comenzando a levantarse la Sierra de Cameros.

En resumen, el paisaje cambió de un aspecto de llanuras y deltas fluviales semejantes al Orinoco o el Amazonas, hacia un relieve montañoso del cual bajaban abanicos aluviales que descargaban grandes cantidades de depósito de gravas y areniscas al pie de las montañas

La elevación de la sierra de Cameros, se prolonga durante todo el terciario (unos 60 millones de años) con un desplazamiento total de unos 4000 metros en la vertical y 25 kilómetros en la horizontal. Estos movimientos están relacionados con la orogenia alpina, es decir, los movimientos que en la Península Ibérica dieron lugar a la formación de los Pirineos y las Cordilleras Béticas. La cuenca del Ebro se fue rellenando con materiales detriticos procedentes de la erosión de la sierra que se iba levantando al S, hasta que los movimientos tectónicos cesaron.

Una vez alcanzado este equilibrio, hace unos cuatro millones de años, dejó de ser un área de sedimentación y comenzó la erosión de todo el conjunto. Como los materiales que forman la sierra de Cameros son más resistentes que los de la cuenca del Ebro, esta última fue erosionada con mayor rapidez, de forma que hoy en día se encuentra a un nivel más bajo que el de las sierras de Cameros.

Pequeños movimientos tectónicos posteriores son los que han dado a algunos terremotos (los más importantes son los de Arnedo, en 1817 y el de Aguilar del Río Alhama, en 1961, ambos con una intensidad de VIII grados en la escala de Mercalli).

La erosión producida por el río Cidacos a lo largo de los últimos 2 millones de años es lo que nos permite hoy observar tanto las rocas que se depositaron hace más de 200 millones de años, como las más modernas, y reconstruir a partir de esos datos la historia geológica de nuestro valle. El relieve o modelado producido por los agentes erosivos, ha sido después colonizado por la cubierta vegetal, asiento de la vida, lo que impide que podamos observar las rocas en todas partes.

El desarrollo de estos suelos vegetales es un proceso relativamente moderno (en el último millón de años de la historia de la tierra), pero también muy lento, por lo que su destrucción a manos del hombre (quemas de bosques, construcción de carreteras, arrastres de tierras) es un proceso prácticamente irreversible.

En resumen, durante el jurásico se mantiene una plataforma llana. En el cretácico, se eleva la cuenca del Ebro sobre la sierra de Cameros. La cuenca del Ebro, por estar elevada, genera sedimentación sobre la sierra de Cameros, lo que va generando su elevación sobre la cuenca del Ebro a finales del cretácico inferior. Sobre el terciario, los sedimentos de la sierra de Cameros son más estables que los de la cuenca del Ebro, por lo que se empiezan a erosionar los materiales de la cuenca del Ebro y comienza a perder latitud. Sobre el cuaternario, el río Cidacos comienza a encajarse sobre la sierra de Cameros por lo que se genera una estabilidad entre ambos. (Imagen 6)

Los materiales Mesozoicos buzan en las laderas de alrededores del valle de Cidacos en torno a 150/30NE

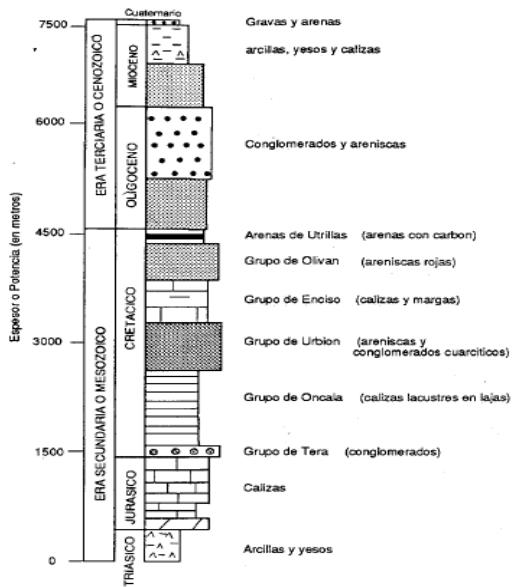


Imagen 6: Columna estratigráfica general de los materiales que se han ido depositando sobre la cuenca de Cameros y la cuenca del Ebro. Se indica el espesor las edades en las que se han ido depositando. Unidades definidas por Muñoz et al., (1993)

Más concretamente, en el estudio Val (2019), el contexto sin rift en el que se deposita el Grupo Enciso (materiales protagonistas en el estudio), es el adecuado para analizar las interacciones entre los diferentes factores que controlan el relleno de la cuenca. Las variaciones de espesor de los ciclos litológicos definidos en la columna estratigráfica (Anexo 3) permiten identificar y estudiar las variaciones del espacio de acomodación a lo largo del tiempo y establecer así una base que permita discriminar entre la señal tectónica y la señal 53 climática. Se identifica un descenso gradual del espacio de acomodación coincidiendo con la instalación en la cuenca de un sistema lacustre. Posteriormente, se observa una estabilización o ligero incremento durante el episodio de sedimentación lacustre y, seguidamente, un importante aumento del espacio de acomodación que ha sido interpretado como consecuencia de un incremento de la actividad tectónica, interpretación avalada, además, por la existencia en las facies antes descritas de fallas sinsedimentarias, slumps, diques de arena, sismitas y huellas de carga. Durante la etapa final del Grupo Enciso se observa una ligera disminución del espacio de acomodación. A partir del análisis de las interacciones entre los diferentes factores de control se deduce que el eustatismo controla el contexto paleogeográfico durante la sedimentación del Grupo Enciso, mientras que la tectónica es la principal responsable de las variaciones en la creación del espacio de acomodación.

1.4 Antecedentes

Son muchos los trabajos realizados sobre la geología de mi área de interés sobre la cuenca de Cameros.

Del estudio de Muñoz y Casas Sainz (1990), donde aparece la recopilación de trabajos estudiados por la zona de interés, de diversas ramas de la geología, recogidos por Pérez - Lorente (1988).

Algunos de los estudios más relevantes son: Bomer (1955) describe las estructuras de la Depresión de Arnedo y el borde norte de la sierra de Cameros y Demandia.

En los años 60, un grupo de geólogos de la Universidad de Bonn aborda por primera vez un estudio sistemático, estratigráfico y estructural, de los materiales de la Sierra de Cameros: Beuther (1965), Kneuper-Haack (1962), Mensink (1962) y Tischer (1962, 1966). Colchen (1974), en su tesis doctoral y trabajos posteriores, estudia la Sierra de la Demanda, centrándose sobre todo en los aspectos lito estratigráficos y la tectónica hercínica.

En tiempos más recientes han aparecido algunos trabajos que reagrupan aspectos globales: Guiraud (1983) y Guiraud y Seguret (1984), además de presentar una nueva definición de unidades estratigráficas, realizan un estudio detallado de la tectónica sin sedimentaria y el metamorfismo de la cuenca de Cameros y proponen una nueva teoría genética para los mismos. Casas (1990), estudia el frente norte de las sierras de Cameros, describe las estructuras cabalgantes, analizando el campo de esfuerzos.

En la actualidad, también se han encontrado más memorias como la de Val (2019), donde se estudia el análisis de la ciclicidad y de las relaciones tectónica/ sedimentaria en el grupo Enciso (Cuenca de Cameros), del que ha sido muy útil. Pero también algún otro como el Angulo y Muñoz (2013) en el estudio del análisis de la periodicidad climática de baja frecuencia registrada en los sedimentos lacustres del Grupo Enciso (Cretácico inferior de la Cuenca de Cameros, La Rioja) (Imagen 7).

En la cuenca de Cameros se han establecido 3 modelos de formación (imagen): (i) En el trabajo de Guiraud and Seguret (1985) se considera la cuenca como un gran sinforme sinsedimentario cuya génesis estaría relacionada con la tectónica extensional. (ii) En los trabajos de Casas-Sainz (1992, 1993), Casas-Sainz and Simón Gómez (1992), Casas-Sainz et al., (1995), Casas-Sainz and Gil-Imaz (1998) y Mata et al., (2001) se considera la existencia de una falla lístrica con buzamiento sur generada a favor de las facies Keuper. Dicha falla se invertiría durante la compresión alpina, con un desplazamiento máximo horizontal hacia la depresión del Ebro de 29 km y un desplazamiento vertical máximo en torno a los 5 km (Muñoz-Jiménez and Casas Sainz, 1997). (iii) Mas et al., (1993, 1997, 2002, 2003) y Guimerà et al., (1995) proponen que se trate de una cuenca sinforme formada sobre una rampa con buzamiento sur que conecta dos rellanos de una falla extensiva (extensional ramp basin) que se encuentra en el basamento.

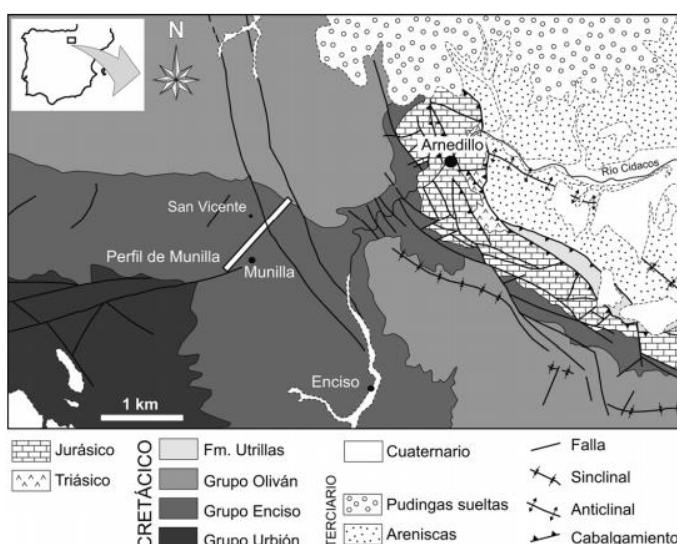


Imagen 7: Mapa geológico del sector nororiental de la cuenca de cameros y ubicación del perfil de Munilla, descrito por los autores Angulo y Muñoz (2013)

2. Objetivos

El objetivo final de este informe consiste en la realización de un estudio geológico detallado de la estabilidad de taludes en el entorno de la localidad de Munilla, caracterizado por un deslizamiento profundo que presenta una grieta hectométrica entorno a los 150m de largo, y unos 25-30m de ancho, desarrollada sobre materiales pertenecientes al grupo “Enciso” (Un grupo estratigráfico definido formalmente constituido de: calizas, areniscas y lutitas lacustres), y que afecta también a materiales del cuaternario (depósitos detríticos, más modernos). El análisis se basa en una recopilación de diferentes tipos de datos tomados en los afloramientos de la zona y también de estudios anteriores. Se quiere precisar el nivel de afectividad que este talud tiene, inducido por la sismicidad producida por la presa de Enciso, así como la propia presa situada sobre estos materiales, localizada en un área que constituye un grave riesgo para el futuro de las poblaciones próximas. Para su localización se ha realizado una cartografía geomorfológica. Para alcanzar este objetivo principal se establecen cinco objetivos parciales:

- 1) Definir los condicionantes litológicos y estructurales del deslizamiento.
- 2) Establecer la geometría de detalle de las grietas de tracción asociadas al mismo.
- 3) Conocer los antecedentes de este territorio regional comprendido en la cordillera ibérica, y realizar una comparativa crítica con trabajos anteriores sobre la tectónica del terreno.
- 4) Proponer una serie de medidas tomadas en campo entorno al área deseada.
- 5) Relacionar el área de estudio con la Presa de Enciso.

3. Metodología

El trabajo bibliográfico se ha llevado a cabo de manera previa al trabajo de campo y durante el estudio e interpretación de resultados. Esta revisión ha abarcado aspectos geológicos generales de cartografía geológica; de tectónica y estratigrafía, así como también sedimentología, utilizados para conocer el contexto geológico y sedimentológico de la cordillera ibérica, y elaborar una interpretación de los resultados, que han permitido recopilar información preexistente de la localidad de Munilla.

El trabajo de campo, ha consistido en la visualización por toda la zona del área de estudio, junto con su toma de datos alrededor de una grieta de escala hectométrica, situada en la localidad de Munilla, así como en las laderas de los alrededores del valle de Cidacos hasta la presa de Enciso. Se requirieron 6 días para recorrer la zona e identificar los elementos cartografiados, así como reconocer posibles indicativos de deslizamientos. Se establecieron estaciones geomecánicas repartidas por distintos afloramientos de la zona, en las que se tomaron datos necesarios para realizar la caracterización del macizo rocoso. Estos datos incluyen; espesores y descripción de los estratos, dirección y buzamiento de la estratificación y las familias de diaclasas; espaciado, continuidad, rugosidad, abertura/relleno de las discontinuidades... Sobre un área aproximadamente de 300m², donde se estudiaba tanto la litología, color, textura..., así como las diferentes capas y buzamientos de ellas, alrededor de la grieta.

Durante el estudio, se prestó especial atención a la presencia de agua, así como la diferente vegetación preexistente entre los estratos y capas de la zona, para conocer más a fondo lo que origina la extensión de la grieta preexistente, así como la presencia de colapsos alrededor de

ella.

Se midieron 15 tomas de datos (Anexos n) de las direcciones y buzamientos de las diferentes capas, para el estudio de la estructura de la zona. Estas muestras (Anexos) han sido agrupadas para la reconstrucción del estudio de la zona. Se ha precisado conocer la base de despegue del terreno donde se está produciendo el deslizamiento, así como la dirección para la cual se producen los deslizamientos de estas grietas.

Por otro lado, se realizaron una serie de fotografías tanto de aspectos generales de la zona, como de aspectos concretos (colapsos, estratificación, estructuras...) de la misma.

El trabajo de gabinete consistió en el tratamiento de datos, principalmente en la recopilación de estos y reconstrucción de la zona.

Por último, se ha procedido a la interpretación de los datos recopilados. Esta interpretación ha consistido en saber qué genera la extensión de la grieta y la posterior interpretación de lo que va a ocurrir en la zona, así como alrededores, implicando la presa de Enciso. Además, los resultados, se utilizan para conocer y dejar constancia de cómo se comporta a día de hoy. Todo ello ha sido comparado de manera crítica con trabajos previos de la zona, sobre todo de Muñoz y Casas Sainz (1993). Guía geológica del Valle del Cidacos, así como de Val (2019).

4. Presentación de resultados

Se han estudiado los límites de la zona afectada por este deslizamiento. Mediante la cartografía geomorfológica realizada se pueden observar diferentes elementos geomorfológicos. Las zonas más elevadas se corresponden con un gran escarpe que se corresponde con la cicatriz en cabecera del deslizamiento, desarrollado sobre una alternancia de areniscas y lutitas pertenecientes a la Unidad Enciso (Imagen 8). Dentro de la masa deslizada, podemos observar otras cicatrices, las cuales se encuentran topográficamente más bajas que la cicatriz en cabecera principal. Estas cicatrices secundarias actúan a modo de escarpe a contrapendiente produciendo unas pequeñas depresiones cerradas como las que se pueden observar al pie de la cicatriz en cabecera principal. Estas depresiones cerradas (Anexo 5) se generan a espaldas de pequeños escarpes a contrapendiente de la ladera que actúan a modo de presa para el drenaje y los sedimentos. Estas depresiones se encuentran llenas de sedimentos finos. El frente de deslizamiento llega a ponerse en contacto con el río Cidacos.

Antes de elaborar los análisis de posibles deslizamientos actuales, se ha realizado la caracterización del macizo rocoso mediante tres estaciones geomecánicas (Imagen 9), repartidas por el área de estudio. En estos afloramientos se han medido diferentes parámetros geológicos: orientación de los taludes, las capas y las diferentes familias de fracturas.



Imagen 8: Esquema cartográfico de la masa total afectada (Unos 70 hm^2), con direcciones y buzamientos.

Las coordenadas de localización de las estaciones geomecánicas se recogen en la Tabla 1:

GEOESTACIÓN	Latitud	Longitud
0	$42^{\circ}10'54.6''\text{N}$	$2^{\circ}16'11.5''\text{W}$
1	$42^{\circ}10'54.6''\text{N}$	$2^{\circ}16'31.9''\text{W}$
2	$42^{\circ}10'57.2''\text{N}$	$2^{\circ}16'44.8''\text{W}$

Tabla 1: Situación de las diferentes estaciones geomecánicas.

Estructuralmente, se han definido tres tipos de discontinuidades en los estratos encontrados en la zona, pertenecen a la estratificación y dos familias de diaclasas (S0, S1, S2) (Explicado en anexo 4). La representación de las discontinuidades se recoge en la fig.1 y en la tabla 2.

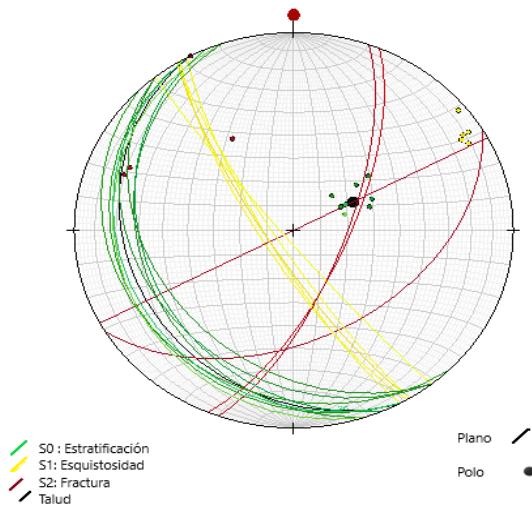


Figura 1: Representaciones estereográficas de las familias de fracturas y estratificación de las diferentes geoestaciones. Como se puede observar las discontinuidades tienen aproximadamente las mismas direcciones y buzamientos en las diferentes estaciones geomecánicas.

	S0		S1		S2	
0	101/30S					
1	150/22NE	160/20NE	148/80SW	150/78SW	025/70E	021/71E
2	140/36E	150/20E	140/86S	148/83S	062/90NW	
3	150/20E		150/80S			
4	145/32NE					
5	135/20NE				060/45NE	
6						
7	160/30NE	140/30NE				

Tabla 2: Donde: S0: Estratificación, S1: Esquistosidad, S2: Fracturas

La orientación y buzamiento medio de la estratificación es de 150/25E. La familia S1 tiene una orientación SW-NE y es atravesada ortogonalmente por la familia S2 con una orientación NE-SW. La familia S2 presenta indicios de que su crecimiento está modificado por la existencia de diaclasas previas.

Para realizar la caracterización geomecánica de un macizo rocoso es importante, además de definir la orientación, tener en cuenta otros parámetros relacionados con las discontinuidades que influirán en la “calidad” del macizo en su conjunto (Imagen 9), definidos por Barton (1978) y posteriormente modificación por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1981) y aplicados a la zona de estudio, donde se tiene en cuenta: Espaciado, continuidad, rugosidad, abertura y relleno, circulación de agua y resistencia a la compresión.

Para estudiar el área, se ha comenzado por la descripción general del cuaternario basculado hallado al lado de la carretera LR 115 a la derecha, dirección Enciso, y se ha continuado perpendicular a este, ladera arriba, con el grupo Enciso.

Se agrupan los puntos de la siguiente imagen en las tres estaciones geomecánicas distintas, donde 0; cuenta como una sola estación, ya que se trata del cuaternario basculado; 1-3, agrupa la segunda estación, ladera arriba, y se describe estructuralmente y litológicamente, y de los puntos 4-8, agrupa la tercera, donde se haya la grieta y la zona de despegue del deslizamiento, limitadas por discontinuidades estratigráficas, que afectan a la estabilidad de la ladera.

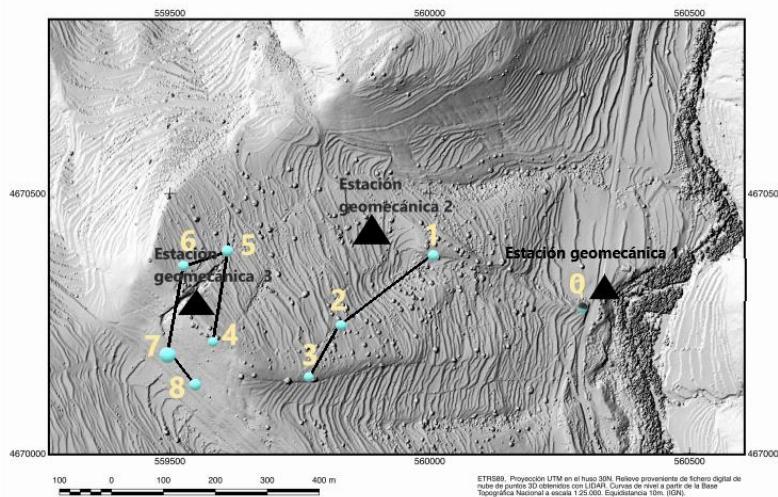


Imagen 9: Reconstrucción de las estaciones geomecánicas.

Estación geomecánica 0: En la carretera, situada en las coordenadas: 42°10'56.2"N 2°16'11.1"W, corresponde con la parte más baja de la ladera, donde hay un depósito cuaternario basculado 101/30S, no consolidado y que presenta estratificación irregular que viene dada por niveles decimétricas con continuidad lateral. Se disponen en una serie de cantes angulosos mal clasificados, envueltos en una matriz arenosa-limosa marrón. Litológicamente hay cantes carbonatados y siliciclásticos. De primeras llama la atención, ya que se trata del tipo de depósito más moderno situado en la parte más baja de la ladera y además se encuentra basculado. Cabe dudar de que ese depósito ha tenido que ser desplazado. Se puede llegar a la conclusión de que no pertenece a un depósito de terraza, ya que se encontraría en estratos horizontal.

Estación geomecánica 1: (engloba los puntos 1,2,3 de la imagen): Estructuralmente, se han observado dos familias de discontinuidades, fracturas pertenecientes a diaclasas (S1) y (S2), además de la discontinuidad de estratificación (S0).

- Espaciado: Este parámetro sirve para caracterizar la forma y tamaño que tendrán los bloques de roca susceptibles de desprendimiento. La familia S1 tiene un espaciado medio de 50 cm, la S2 de métricas. Sin embargo, por las laderas se localizan grandes bloques deslizados de volúmenes métricos, lo que indica espaciados mayores. También presenta espaciados la estratificación (S0) de 42,45cm. Según la clasificación ISRM (1981) tienen un espaciado separado.
- Continuidad: No es posible establecer este parámetro ya que todos los afloramientos se encuentran cubiertos.
- Abertura y relleno: Las aperturas entre diaclasas, en su gran mayoría presentan relleno de sedimentos finos provenientes de la lixiviación de materiales superiores arcillosos. Los espaciados de las diaclasas (S1) y (S2), se encuentran llenos con material arcilloso. Los materiales carbonatados se encuentran intensamente tectonizados, por lo que presentan también una interesante permeabilidad por fractura. La estratificación S0, presenta vegetación y rellenos lutíticos, lo que implica la presencia de agua. La naturaleza de la matriz dificultaría en muchos casos, la capacidad de almacenamiento, y, por tanto, la obtención de caudales importantes durante épocas lluvia. El espesor medio de este relleno varía desde nulo (no hay apertura) hasta una escala métrica, dandonos una media de 10 cm, según la clasificación ISRM (1981) es muy ancha. No obstante, en afloramientos como en la geoestación 2 esta media aumenta considerablemente hasta los 50m, cavernosa según la clasificación anterior.
- Rugosidad: Para determinar este parámetro se han utilizado los perfiles estándar de rugosidad JRC de Barton y Choubey (1977), existen zonas de baja rugosidad con un rango de 4-6 y otras zonas mucho más rugosas de hasta 10-12 de rango según los patrones de JRC. Como media se ha establecido un rango de 8-10.
- Circulación de agua: se ha observado que este parámetro depende de las condiciones climáticas en el momento de la medición, en días secos no había presencia de agua, mientras que, en días posteriores a las precipitaciones se observaba circulación de agua por las discontinuidades en varios puntos de los macizos, así como surgencias desde el interior.
- Resistencia a la compresión de las discontinuidades: No se disponía de un martillo de Schmidt o esclerómetro.

Estructuralmente y litológicamente, ladera arriba a ese depósito cuaternario, se encuentran las calizas lacustres del grupo Enciso, pertenecientes a materiales mesozoicos de la cuenca de Cameros, dispuestas en estratos tabulares de techo y

bases regulares. En niveles superiores, pertenecientes a materiales cretácicos, dentro del Mesozoico Superior, se encuentra una primera grieta de tracción gravitacional perpendicular. Se trata de una grieta a favor de la esquistosidad (S0) y se encuentra asociada a una falla, orientada a 150 grados (paralelas a la familia de diaclasas F1). No presenta significado tectónico, pero se observan las fracturas muy abiertas (centimétricas: 5,5-10cm), lo que implica que se siguen moviendo. En un nivel todavía superior ladera arriba, ya no hay calizas dentro del grupo Enciso pertenecientes al Mesozoico Superior. Se trata de lutitas y areniscas lacustres, dispuestas en estratos tabulares y que presentan mucha esquistosidad. Favorecen levantamientos del terreno. La esquistosidad que se reconoce es de tipo «slaty cleavage» penetrativa con fuerte reorientación de los filosilicatos y oblicua a la estratificación. Presentan estructuras de deslizamiento. El agua es un factor muy importante a tener en cuenta ya que al saturarse el terreno puede provocar el aumento de la presión de fluidos, y favorece la alteración de los niveles lutíticos menos competentes. Esto podría generar asentamientos diferenciales e inestabilidad de taludes

Estación geomecánica 2 (engloba los puntos 4,5,6,7,8 de la imagen): En la cima de la ladera, se encuentra una depresión (evidencia) (Imagen 10). No aparece una cima como tal, sino que se camina sobre una depresión, donde se encuentran unos estratos tabulares de materiales siliciclásticos lutíticos y areníticos, pertenecientes a los depósitos terciarios pre- y sin-tectónicos. Presenta un área extensa de recarga y su naturaleza litológica, es propensa para el almacenamiento de agua, pero debido a su disposición topográfica, el agua se desplaza por la gravedad.



Imagen 10: Dato característico de una cima que está deshaciéndose por su propio peso

Desde la base de la ladera, hasta la cima de la misma, se ha encontrado una grieta de escala hectométrica (Cartografía perfil anexo 5). Al pie de la misma, se encuentran niveles más blandos que en lo alto de ella. Esto implica una mayor presencia de agua que podría estar ayudando al desplazamiento de los materiales, separando cada vez más esta grieta. Se deduce una sismicidad acelerada que desestabiliza el terreno a favor de la discontinuidad S2.

A lo largo de la grieta, las dos familias de discontinuidades presentan abundante relleno lutítico con cobertura vegetal, lo que implica una actividad activa a día de hoy. Pues la presencia de vegetación en el relleno, implica la actividad del curso de agua que se filtra por el material del relleno, generando vegetación, así como una mayor apertura de los materiales que se separan, todavía mayor a la descrita en la estación geomecánica 1. También presentan bordes deformados y diaclasados efectos del efecto de los sismos, que originan bloques y estos se van inclinando y cayendo en un proceso lento (Imagen 11A).

Es el punto más alto de la grieta de mayor escala, según Barton (1978) y posteriormente modificación por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1981), se calcula aproximadamente esta como 120m de largo y 76 metros de ancho. Por el espaciado se observan bloques muy rotos extremadamente separados, diaclasados con presencia de agua cuya base es de color ocre- rojizo. Entre bloques encontramos aperturas cavernosas (Imágenes en anexo 6). Se ha calculado el coeficiente de rozamiento o Grado de fricción = 5. El coeficiente de rozamiento o coeficiente de fricción vincula la oposición al deslizamiento que ofrecen las superficies de dos cuerpos en contacto según la intensidad del apoyo mutuo que experimentan. Se representa con la letra griega μ .

La grieta se sitúa casi al borde del límite de la zona afectada por la parte de W, y de ahí se adentra hacia toda la masa afectada por el NE.

Más concretamente, se observa que está compuesto por areniscas de grano fino y color grisáceo en estratos de potencia decimétrica y por sedimentos limolíticos de tonos pardos y finamente laminados, relacionados con entradas de materiales siliciclásticos al sistema lacustre, dispuestas en estratos con geometría tabular (Imagen 11B).



Imagen 11: (A) Deformación en los bordes de las grietas diaclasados, efectos de sismos. (B) Pared de la grieta, con sus bandas litológicas pertenecientes a la formación Enciso. Altura: 4m.

Punto 8: Este punto se resalta debido a que corresponde con la cicatriz en cabecera del deslizamiento el cual presenta una traza irregular con una longitud aproximada de 100m de largo, desarrollado sobre una alternancia de areniscas y lutitas pertenecientes a la Unidad Enciso. Se tratan de materiales más deltaicos, cretácicos, muy plásticos y presentan moderada meteorización y se observa vegetación sobre el escarpe. Presentan mucha esquistosidad, con colores rojizos y presentan mucha exfoliación. (dato interesante, desde el punto de vista de la geotecnia) (Imagen anexo 6). La montaña se está desplazando a favor de la estratificación (S0). Esta cicatriz se puede observar a lo largo de toda la ladera, siendo más patente en la zona situada más al norte, lo que nos hace pensar que en la zona norte presenta una mayor actividad en la actualidad y se produjo un desplazamiento de materiales de mayor grado que en la zona sur. En la zona norte la cicatriz del deslizamiento se hace más patente presentando una altura en torno a los 4 m. En esta cicatriz se observan mejor los estratos de la formación Enciso (Imagen 11B).

En resumen: En la parte baja de la ladera se disponen unos depósitos detríticos cuaternarios poco consolidados. Se trata de una serie de cantos angulosos mal clasificados, envueltos en una matriz arenosa-limosa marronácea, con litología carbonatada y siliciclástica. Fijándose en la estructura interna, se diferencian bandas decimétricas de cantos groseros con continuidad lateral. Se encuentra basculada 101.30S.

A mitad de ladera, afloran materiales más consolidados, pertenecientes a la cuenca mesozoica de Cameros. Se trata de calizas lacustres dispuestas en estratos tabulares de techo y base plana, con potencia media de 45cm. Pertenecen al grupo Enciso. Estas calizas, presentan tres tipos de discontinuidades: Estratificación (S0) y dos familias de diaclasas (S1) (S2). Estas diaclasas se encuentran bastante abiertas, incluso presentando relleno arcilloso, y la estratificación presenta aperturas con presencia de relleno lutítico. A lo largo de las líneas, aparecen series de grietas de tracción con orientación 150º (paralelas a la familia de diaclasas F1) y 045º-060º.

En la cima de la ladera, se encuentran estratos tabulares de materiales silicásticos lutíticos y areníticos, pertenecientes a los materiales del Mesozoico Superior. Se observa la base del despegue de la grieta de mayor escala. Una vez en la cima de la ladera, enfrente (lado Norte), se sitúa la cantera de la presa de Cameros de unos 1000m, por medio, se sitúa un sinclinal de 8000m de espesor de flanco sur 20/30 grados, de buzamiento E. La presa, queda situada a unos 5Km.

Con el fin de conocer con la máxima precisión que ocurre en la zona de interés, se define el contorno de la masa afectada (Imagen 12) (pie, cabeza y flancos), y se calcula el área en planta del deslizamiento (6919,87m²), y el desnivel desde la cabeza al pie del mismo (25 m).

Con estos dos datos, se calcula el volumen total aproximado de la misma:

$$V=25 \times 6919,87 = 172.996,75 \text{ m}^3$$

Conociendo que, de manera aproximada, la densidad de las calizas lacustres del Grupo Enciso, es de $\rho=2500 \text{ kg/m}^3$, se halla la masa total desplazada:

$$M=\rho \times V=2500 \times 172996,75 = 432.491.875 \text{ kg}$$

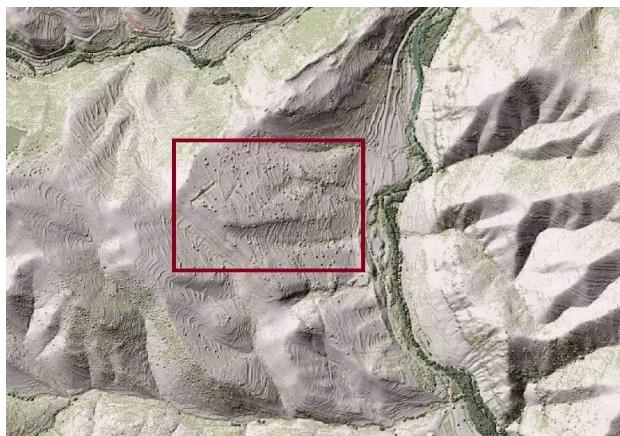


Imagen 12: Escala 1=13.366 (Recortada)

Se puede describir el espaciado del macizo rocoso como extremadamente separado según el ISRM, 1981.

5. Modelo de caracterización de los movimientos

5.1 Observaciones

Las fracturas delimitan un deslizamiento de 69hm^2 de área y $16,9\text{hm}^3$ de volumen desplazado hacia el este. Como ya se ha calculado anteriormente (Apartado 4), la masa desplazada sería de $432.491,875\text{t}$. El plano de movimiento se encuentra en niveles lutíticos bajo las calizas lacustres y llegan hasta el valle, sin aflorar en superficie. Quiere decir que cuando llueve, el agua queda filtrada por la base del plano de deslizamiento, hidratándose y generando un efecto tobogán, por el que todo el peso de la masa de la zona afecta cae de manera gravitacional en un proceso lento. Pero no solo tienen efecto los cambios climáticos. Como se observa en la figura 2, el bloque deslizado se podría explicar como el peso del bloque deslizante unitario w . Existe una grieta de tracción en cabecera de profundidad z (que es métrica) y rellena de agua parcialmente (cuando llueve) hasta la altura z_w . Se asume, que el agua penetra en el plano por la grieta de tracción, fluye por el mismo y escapa a presión atmosférica en el afloramiento en el plano del talud. Además del peso, por tanto, actuarán sendas presiones de fluidos sobre la grieta de tracción, v , y sobre la base del deslizamiento, U ; si no consideramos de momento la actuación de una fuerza de anclaje, T . (Cartografía anexo 7)

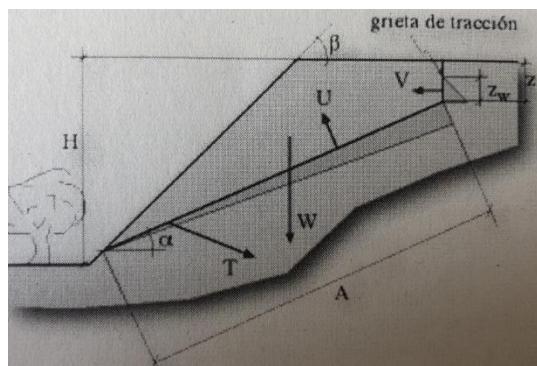


Figura 2: Como actuaría la grieta de tracción que sabemos que tiene valor de 5

Con ayuda de las observaciones de campo y la realización de la cartografía, se han establecido dos tipos de mecanismos de deslizamiento. Los más abundantes son locales y de escasa magnitud corresponden a roturas de losas de arenisca a favor de la estratificación y de la red de fracturas presente, debido a la erosión de las arcillas intercaladas dando lugar a vuelcos o pequeños desprendimientos. El segundo tipo corresponde a deslizamientos con superficie de falla aproximadamente curva que presentan a menudo la morfología típica con una cicatriz cóncava en la cabecera, y una acumulación de sedimentos en el pie (El buzamiento hacia el sur de los materiales cuaternarios situados en la parte baja de la ladera, se relacionan con este deslizamiento) (Imagen 13).



Imagen 13: Cuaternario deslizado, buzando en otra dirección 101/30S, paralelo a la carretera

Lo más alarmante, se encuentra llegando por la carretera LR-115 dirección Peroblasco- Enciso, donde hay perturbaciones en las carreteras, encontrándose, estas, deformadas. (imagen 14)



Imagen 14: Deformación en la carretera

En primer lugar, es necesario distinguir entre roturas de nueva generación y reactivaciones de deslizamientos existentes. Los registros históricos demuestran que la mayoría de primeras roturas de grandes deslizamientos han sido desencadenadas por factores no climáticos. (Corominas, 2000).

5.2 INFORMACION SISMICA:

Munilla presenta una actividad sísmica, hay algunos ejemplos de los terremotos como el del 18 de marzo de 1817, de intensidad 8, con epicentro en Arnedillo; 18 de febrero de 1929, de intensidad 7, en Turruncún; o el de 1961, en Inestrillas, de intensidad 7. Estos son alguno de los terremotos más acusados en la zona, donde quedan registrado en el IGN. Pero se cuenta con una problemática, y es que se ha construido una presa cerca de la zona (Enciso), la cual está afectada por dicha actividad, donde se ha disminuido la intensidad del terremoto de 1817 a una intensidad que fue de grado 8, a una intensidad de grado 7 o incluso algo.

Además, se ha de tener en cuenta que, a pesar de la sismicidad natural conocida en la zona, se ha de tener en cuenta la posible sismicidad inducida por el embalse.

El valle alrededores del río Cidacos, también cuenta con la presencia de fallas sismogenéticas, fallas normales y slumps, por estudios realizados por la zona según Víctor Val

Alcubierre (2019), donde demuestra que la presencia de inhomogeneidades estructurales o litológicas en el área puede generar la amplificación de los esfuerzos que se transmiten a la zona hipo central. Ejemplos de estos mecanismos de amplificación pueden ser la presencia de fallas con el plano de fractura orientado a favor de la penetración del agua y a la proximidad de los extremos de fallas activas. De hecho, el efecto neto sobre las fallas de la zona depende estrechamente de la orientación de los esfuerzos existentes antes del inicio de la influencia antropogénica y de la geometría del conjunto embalse- sistema de fallas, en particular de la localización e inclinación de las fallas respecto al embalse. Diversos autores muestran que la carga y la presión de poros tienden a disminuir la estabilidad en el caso de fallas normales (esfuerzo máximo vertical) mientras la aumentan en las regiones de fallas inversas (esfuerzo compresivo máximo en la horizontal). Es necesario tan solo un factor desencadenante para una reactivación de ellas, y la actividad sísmica puede ser uno de ellos.

5.3 LAS IMPLICACIONES PARA LA SEGURIDAD DE LA PRESA

Según la ficha de información pública de este embalse, disponible en la web de CHE, el embalse de Enciso, localizado en el río Cidacos, tiene una capacidad prevista de almacenamiento de agua de 47 hectómetros cúbicos, sobre los 58 hm³ de aportación anual media del río. Esto significa que la capacidad de regulación supera dicha aportación anual, algo difícilmente justificable en términos de eficiencia y de relación coste/beneficio. La altura de la presa es de 94,5 m sobre el cauce del río, y de 104 m sobre cimientos. La tipología de la presa es de gravedad, construida con hormigón. Están diseñadas para contener grandes volúmenes de agua. Mediante el uso de estos materiales, el peso de la presa por sí sola es capaz de resistir la presión horizontal del agua empujando contra ella.

Aparte, el río Cidacos atraviesa esta zona con una orientación aproximada de 060º perpendicular a la estratificación general de los materiales mesozoicos (150,25 NE), la traza de los meandros llega ponerse paralela a la dirección 150º, lo que puede producir descalces y aportes indeseables sobre la presa. Además, la presa funciona solo por la estratificación. Si la estratificación despega, puede sufrir un vuelco la presa. (Cartografía anexo 8)

Teniendo en cuenta que el movimiento de los deslizamientos es favorecido por los movimientos sísmicos, por la presión de agua y por la propia dirección de los estratos, y que el llenado del embalse contribuirá a aumentar ambos factores, la situación de riesgo creada por el embalse de Enciso es alarmante. El riesgo de inundación por rotura de presa es muy alto en las localidades de Enciso (donde la mitad del pueblo aproximadamente quedaría anegada en cuestión de minutos) y Arnedillo, debido a las características del cauce y los estrechamientos que presenta a lo largo de su recorrido. (Imagen 15)

De 30 segundos a 4 horas: los tiempos del Plan de Emergencia de la presa

Tiempo estimado para evacuar las zonas habitadas del Valle del Cidacos en caso de accidente



Fuente: Elaboración propia

El Confidencial.LAB

Imagen 15: Del estudio de Villarino et al., (2020)

5.4 OBSERVACIONES SIMILARES A LO LARGO DEL VALLE DEL CIDACOS

Además del área estudiada en la localidad de Munilla, se ha realizado un seguimiento de estas laderas por el valle del río Cidacos hasta por los alrededores de la presa de Enciso.

La carretera principal que recorre el valle del Cidacos y que pasa por la presa, ha sido analizada y se han detectado en numerosas curvas, depósitos cuaternarios detríticos rellenando pequeñas depresiones producto de deslizamientos. En la siguiente (imagen 16), se observa un recorrido por la carretera LR115, desde la presa de Enciso, hasta el límite de La Rioja, donde en numerosas curvas, se aprecia ese depósito cuaternario relacionado con deslizamientos de laderas, y, que suponen una amenaza para la presa, así como para la propia carretera, que necesita ser revisada cada poco tiempo. Además, también se ha hallado por los alrededores del valle de Cidacos, Limonitas y arenas deltaicas tabulares con abundantes piritas y fallas hidroplásticas.



Imagen 16: Cartografía general de los depósitos cuaternarios encontrados en los bordes de las carreteras, relacionados con deslizamientos de laderas. (Imagen satélite de los depósitos en anexo 9)

Para intentar asegurar los taludes, la carretera se encuentra bulonada, mallada y aglutinada, especialmente en las laderas de orientación 150º, que son las zonas de mayor susceptibilidad, ya que en la actualidad siguen desplazándose, y emplean la estratificación como plano de movimiento.

Tomando un desvío a la derecha de la carretera principal dirección Soria, hacia una carretera secundaria, por el barranco de Valderrés, se han visualizado numerosas grietas en el terreno en la ladera. Además, al principio del desvío, se ha colocado una señal de “riesgo de desprendimientos”, que te aconseja no seguir por la carretera o que tengas cuidado en ella. (Imagen 17)



Imagen 17: Índices de peligro

6. Discusión

Se ha creado una simulación del factor de seguridad que presenta el talud, dando, este, por debajo de 1, lo que implica el desarrollo de un posible deslizamiento, y que se deberían de adoptar medidas de seguridad. Además de aplicarle la aceleración sísmica de la que consta este sector de La Rioja, de 0.06, según el IGN. (Imagen 18)

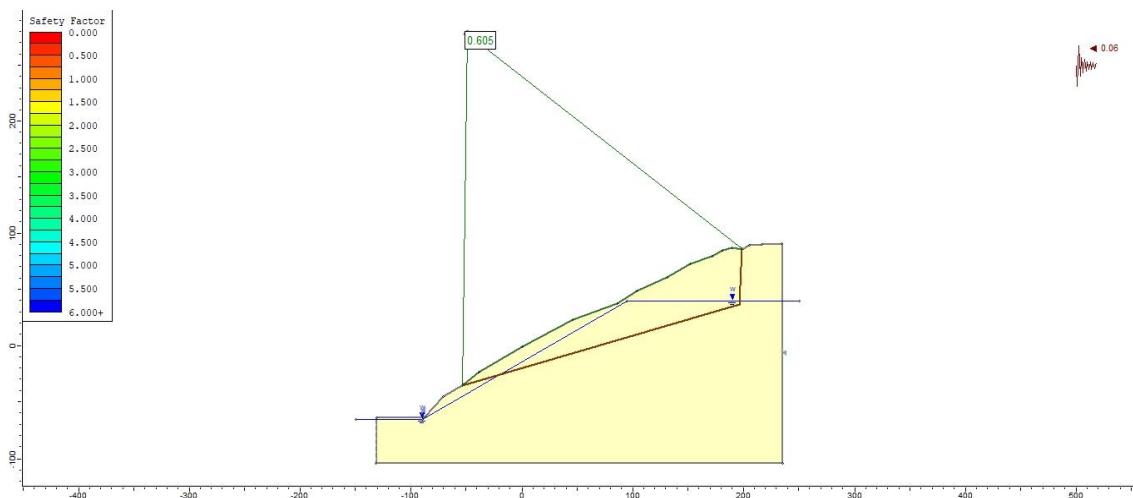


Imagen 18: Simulación del talud frente a un deslizamiento, cuyo factor de seguridad es 0.605.

El deslizamiento de Munilla se ha considerado como un deslizamiento translacional de gran tamaño, puesto que se observan formas características de este tipo de deslizamientos, como: la presencia de estratos superiores a 20º, grietas de centenares de metros y el depósito cuaternario deslizado al pie del talud que llega hasta la carretera. Además de estar

depositados sobre el grupo Enciso, cuya litología no tiene una elevada resistencia mecánica y es susceptible a sufrir procesos de deslizamientos.

Los factores condicionantes que pueden generar el desencadenamiento del deslizamiento, vienen dados por la unión de varios factores que se dan en la ladera, además de contar con la sismicidad natural en la zona y la sismicidad inducida por la presa. Dichos deslizamientos siguen movilizándose en la actualidad y emplean, en su mayoría, la estratificación como plano de movimiento. Para evitar estos deslizamientos, “aseguran” los taludes con mallas, bulones y aglutinamientos.

Se observa que el río Cidacos atraviesa la zona con una orientación de 060º perpendicular a la estratificación de los materiales del Mesozoico (150,30NE), la traza de los meandros llega a ponerse en paralelo a esta (150º). Esto puede generar un problema, ya que, a lo largo del valle, algunas partes de ladera que están en contacto con el embalse, sean susceptibles de sufrir deslizamientos, sobre todo si se llegan a producir descalces.

Hay numerosos índices que señalan que existe peligro en la zona, pero no parecen estar poniendo las medidas necesarias. El cuaternario se está deslizando actualmente y quieren controlarlo con relleno, pero no se sabe si será suficiente en un futuro.

Si relacionamos el talud estudiado sobre la localidad de Munilla de unos 16,9hm³, con los deslizamientos que se producen sobre los alrededores de la carreta de la presa de Enciso, se debe sumar a la aportación de agua de 58 hm³ anual media del río, y restar a la capacidad prevista de almacenamiento de agua de 47 hm³. Teniendo una capacidad de almacenamiento menor a la ya esperada de 30 hm³. Sin contar con que estos deslizamientos, se encuentran localizados en numerosas curvas de la carretera.

En España, la sismicidad inducida por embalses ha sido analizada con detalle en pocos casos. Existen también estudios realizado por Consultorías para algunas presas que no han sido publicados. El tema merece una mayor atención ya que en la actualidad existen en el país acerca de 1200 embalses de los que unos 30 tienen una altura superior a los 100m. Es interesante resaltar que 3 de los 29 casos de supuesta sismicidad inducida elegidos para un estudio estadístico del fenómeno, corresponden a embalses españoles (Almendra, Canelles y La Cohilla).

7. Conclusiones

En primer lugar, el deslizamiento de Munilla muestra que, una vez abierto el terreno, todo el talud se desestabiliza debido a que la apertura o cierre de grietas por la distorsión de la masa rocosa, abre nuevas vías para el flujo subterráneo. En esas circunstancias, las modificaciones en las presiones de agua vuelven al conjunto de materiales tan inestables como el agua. En algunas laderas, la aceleración de los desplazamientos conduce indefectiblemente a una rotura frágil, en otras, el avance del pie del deslizamiento sobre el fondo del valle actúa de contrafuerte, lo que lleva a la deceleración progresiva y estabilización del movimiento. La aceleración de los movimientos puede venir desencadenada por la sismicidad actual presente.

En segundo lugar, está la gran presa, situada sobre fallas activas, donde las operaciones de llenado puedan disparar sismicidad, ya que es una zona con un alto potencial sísmico y hay evidencias de estructuras geológicas en sus inmediaciones. Cabe destacar la importancia de mantener un continuo monitoreo de la sismicidad en los alrededores de este embalse, para la seguridad de este tipo de estructuras.

Se ve una cierta deficiencia de recopilación de datos de estudios geotécnicos del proyecto, por lo que se han de estudiar más a fondo, debido a que estos deslizamientos van a seguir produciéndose. Se relaciona la experiencia obtenida en un emplazamiento, aguas abajo de la presa, en el talud inestable de la localidad de Munilla, con las condiciones encontradas por el valle del río Cidacos. Además, la construcción de la presa está vinculada a la aparición de sismicidad inducida, más la sismicidad que ya presenta de por si Cameros. Los embalses más propios a generar este tipo de problema (sismicidad inducida), suelen estar caracterizados por tener una elevada altura de columna de agua (más de 100m) y gran volumen (más de 1km³), aunque también se ha dado en embalses más pequeños y menos profundos, por lo que esta peculiaridad, dificulta la deducción de conclusiones muy generales.

El llenado de un embalse puede modificar la distribución de esfuerzos de la corteza terrestre a través del aumento de carga, que supone la acumulación una masa importante de agua, y a través del aumento de la presión de fluidos en el terreno subyacente. El propio funcionamiento del embalse, con sus ciclos de embalse y desembalse, podría dar lugar a la reactivación de los deslizamientos presentes y muy posiblemente al deslizamiento de laderas hasta ahora no deslizadas.

Pueden existir dos tipos de sismicidad inducida: De respuesta rápida, y de respuesta moderada. La primera genera una respuesta muy rápida, pero la segunda, no se detecta hasta realizar varios ciclos de llenado del embalse, que, en este segundo caso, los sismos son más profundos, y sus epicentros no se localizan necesariamente cerca del embalse. Las magnitudes alcanzadas son mayores. La sismicidad demorada se suele considerar relacionada con el aumento de presión de fluidos en profundidad.

Tras los estudios y cálculos de la masa afectada de la zona, existe el riesgo de que la actual carretera que conecta Enciso, se vea afectada por el deslizamiento si hubiese la existencia de un periodo de intensas lluvias o movimientos sísmicos en la zona, que podrían estar relacionados con la construcción de la presa. Así como si hubiese la existencia de intereses en construir en la zona, se debería estudiar más atentamente la cinemática y dinámica de esta, ya que estos movimientos se producen a favor de los planos de estratificación y de la pendiente de las capas, o la actividad antropogénica, que conduciría a una sismicidad inducida.

La litología de la zona presenta también un papel importante en el proceso de generación de sismicidad inducida. La presencia de fisuras producidas por rocas carbonatadas, puede favorecer la aparición de sismicidad inducida. Los terrenos graníticos facilitan la difusión de la presión de poros, y la disolución de las rocas carbonatadas produce una disminución de la cohesión y, a veces, del coeficiente de fricción.

En caso de generar inestabilidad del terreno, no solo podría generar una catástrofe para el medioambiente, si no que entra en juego la vida de una mayoría de personas que habitan por esa zona, y en latitudes más bajas alrededor del río Cidacos.

Agradecimientos

Este trabajo no habría sido posible sin la ayuda de mi madre, por acompañarme a recoger y ultimar datos, y a mi familia en general, por apoyarme durante estos meses. Y a la gente que habita en la zona, tan amable, en especial, un pastor, que me estuvo acompañando y me estuvo ayudando con los términos de la zona.

8. bibliografía

- Alfaro, P., Estévez, A., Moretti, M. y Soria, J.M. (2000): Estructuras sedimentarias de deformación en el Mioceno superior-Cuaternario de la Cordillera Bética. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 13 (1): 79-89
- Angulo, A. y Muñoz, A. (2013): Análisis de la periodicidad climática de baja frecuencia registrada en los sedimentos lacustres del Grupo Enciso (Cretácico inferior de la Cuenca de Cameros, La Rioja): Aplicaciones a la correlación y datación de la serie. *Boletín Geológico y Minero de España*, 124 (2): 203-219.
- Beuther, A. (1965): Geologische Untersuchungen in Wealden und Utrillas-Schichten in Westteil der Sierra de los Cameros (Nord-Westliche Iberische Ketten). *Beih. Geol. Jb.* 44: 103-121.
- Bomer, B. (1955): Tres aspectos del contacto entre los montes celtibéricos occidentales y la cuenca del Ebro. *Est. Geogr.*, 59. Madrid.
- Bomer, B. y O. RIBA (1962): Deformaciones tectónicas recientes por movimiento de yesos en Villafranca de Navarra. *I Coloquio internacional sobre las obras públicas en terrenos yesíferos*. Tema 6. C-6-3.
- Bulard, P.F. (1972): *Le Jurassique moyen et supérieur de la Chaîne Ibérique sur la bordure du bassin de l'Ebre*. Tesis Doctoral, Univ. Nîce, 702 pp.
- Casas-Sainz, A.M. (1992): *El frente norte de las Sierras de Cameros: estructuras cabalgantes y campo de esfuerzos*. Tesis Doctoral, Univ. De Zaragoza, 384p.
- Casas, A. y Muñoz, A. (1993): *Guía geológica del valle del Cidacos*. Colección guías de campo (N.o 79).
- Casas-Sainz, A.M. y Gil-Imaz, A. (1998): Extensional subsidence, contractional folding and thrust inversion of the Eastern Cameros Basin, northern Spain. *Geologische Rundschau*, 86: 802-818.
- Casas-Sainz, A.M. and Simón Gómez, J.L. (1992): Stress field and thrust kinematics: a model for the tectonic inversion of the Cameros Massif (Spain). *Journal of Structural Geology*, 14, (5): 521-530.
- Casas-Sainz, A.M., Cortes, A., Gil, A., Maestro, A., Muñoz, A., Pocoví, A., Martínez, B., Oliva, B., Liesa, C., Castillo, E., Pueyo, E., Millán, H., Simón, J.L., Arlegui, L., Aurell, M., Mata, M.P., Tena, S. and Román, T. (1995): *Estructura y evolución mesozoica-terciaria de las Sierras de Cameros Demanda (Cordillera Ibérica)*. VII Reunión Comisión de Tectónica SGE, 113 pp.
- Casas, T., Muniesa, P., Pocoví, A., Pueyo, O., Revuelto, C. (2015): Las presas de Enciso y Terroba (La Rioja). *Ecologistas en Acción*. Nº 87
- Colchen, M. (1985): *Géologie de la Sierra de la Demanda*. Memoria del I.G.M.E., dos tornos. 436 pp.
- Geográfica, C. N. D.I. (en línea). Iberpix. IGN. (fecha de consulta: 01/07/2021). Disponible en: <<https://www.ign.es/iberpix2/visor/>>
- Guimerà, J., Alonso, A. y Mas, R. (1995): Inversion of an extensional-ramp basin by a newly formed thrust: the Cameros basin (N Spain). En: Buchanan, J.G. and Buchanan (P.G., eds.). *Basin Inversion. Geological Society Special Publication*, 88: 433-453.

- Guiraud, M. y Seguret, S. (1984): *Releasing Solitary Overstep Model for the Late Jurassic- Early Cretaceous (Wealdien) Soria strike-slip Basin (North Spain)*. In: *North Spain* (Biddle, K. T. & Christie-Blick, N, eds.). *Strike-slip deformation, Basin Formation and Sedimentation*. SEPM speo. Publ., 37: 159-175.
- Guiraud, M. (1983): *Evolution tectono-sédimentaire du bassin wealdien (Crétacé inférieur) en rets de décrochement de Logroño-Soria (NW Espagne)*. Thése IIIème cycle. U.S.T.L. Montpellier, 172 pp.
- Hernández, A., Ramírez, J., Olivé, A. (1971): Mapa geomorfológico de la hoja 9242 (Munilla). Mapa geológico de España E. 1:50000. Segunda serie (MAGNA). IGME. Depósito legal: M-21889-2007. NIPO: 657-07-007-X.
- Kneuper-Haack, F. (1962): Ostracoden aus dem Wealden der Sierra de los Cameros (Nordwestliche Iberische Ketten). *Beih. Geol.Jb.* 44: 165-209.
- Mas, R., Benito, M.L., Arribas, J., Serrano, A., Guimerà, J., Alonso, A. and Alonso Azcárate, J. (2003): The Cameros Basin: From Late Jurassic-Early Cretaceous Extension to Tertiary Contractional Inversion-Implications of Hydrocarbon Exploration. Northwest Iberian Chain, North Spain. *Geological Field Trip*, 11, American Association of Petroleum Geologists.
- Mata, M.P., Casas, A.M., Canals, M.A., Gil, A. and Pocoví, A. (2001): Thermal history during Mesozoic extension and Tertiary uplift in the Cameros Basin, northern Spain. *Basin Research*, 13: 91-111.
- Mensink, H. (1966): Stratigraphie und Palaogeographie des marinen Jura in den nordwestlichen Iberischen Ketten (Spanien). *Beih. Geol. Jb.* 44: 55-102.
- Muñoz-Jiménez, A. and Casas-Sainz, A.M. (1997): The Rioja Trough (N Spain): tectosedimentary evolution of a symmetric foreland basin. *Basin Research*, 9: 65-85.
- Nacional, I. G. (en línea). Instituto Geográfico Nacional. Geoportal oficial del Instituto Geográfico Nacional de España 2021 (fecha de consulta: 01/05/2021). Disponible en: <<http://www.ign.es/web/ign/portal/cbg-area-cartografia>>
- Tischer, G. (1966): El delta Weáldico de las Montañas Ibéricas Occidentales y sus enlaces tectónicos. *Not. y como. del IGME*, 81: 53-78.
- Val, V. (2019): *Análisis de la ciclicidad y de las relaciones tectónica/ sedimentación en el grupo Enciso (Cuenca de Cameros)*. Máster Geología, Universidad de Zaragoza, 59p.
- Villarino, Á., Torrico, E., & Suárez, C. (en línea): La 'obra maldita' de Enciso: 25 años de obras y 40 segundos para evacuar el pueblo de Enciso, 2000 (Fecha de consulta: 05/05/2021). Disponible en: <https://www.elconfidencial.com/espana/2019-02-10/presa-maldita-enciso-evacuar-valle-cidacos-rioja_1815042/>
- Weather Spark. (en línea): El clima típico de cualquier lugar del mundo Clima Munilla (fecha de consulta: 05/05/2021). Disponible en: <<https://es.weatherspark.com/>>
- Wikipedia (en línea). Río Cidacos. Wikipedia, the Free Encyclopedia (última modificación, 16/02/2021). Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9o_Cidacos>
- Wikipedia (en línea). Presa de Enciso. Wikipedia, the Free Encyclopedia (última modificación, 23/03/2020). Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Presa_de_Enciso>

Anexos

ANEXO I

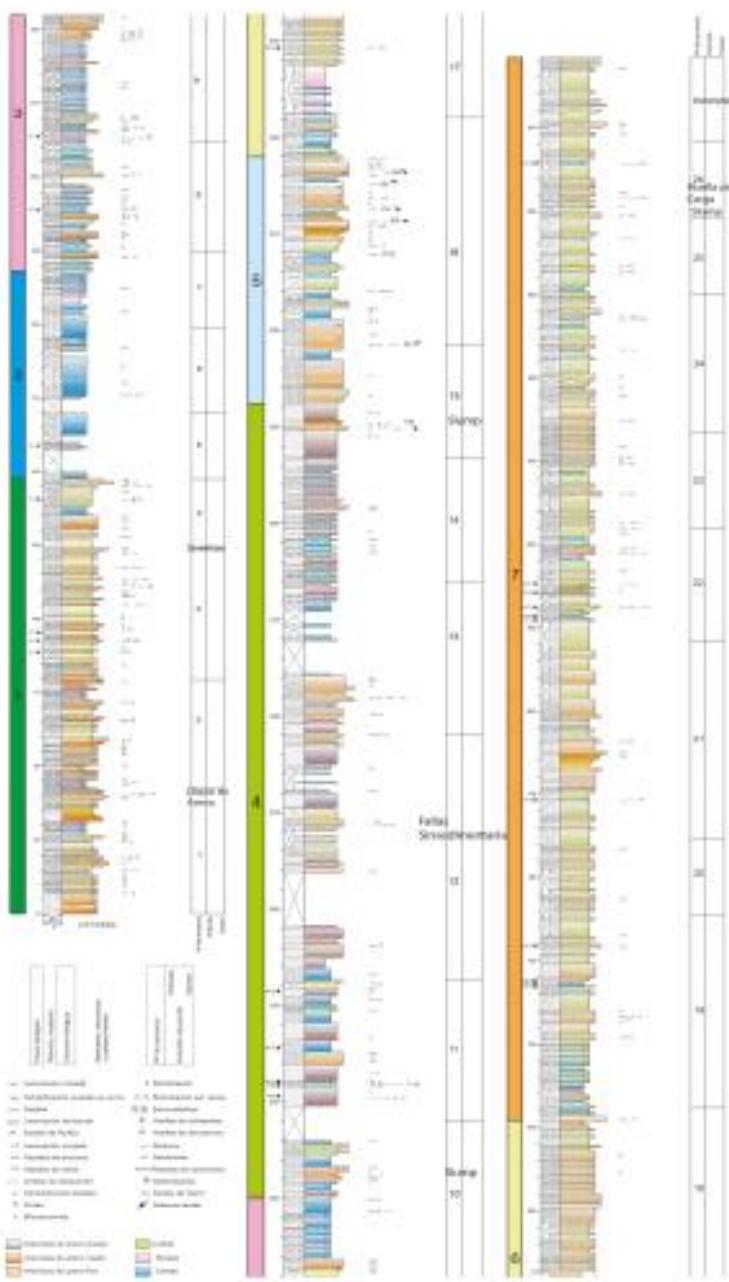
Sismicidad inducida: Es la distribución espacial y temporal de fenómenos sísmicos cuyo origen puede vincularse a acciones antrópicas. Entre estas figura la puesta en carga de grandes embalses. También puede presentarse en el laboreo de minas, la extracción de petróleo o gas, y la inyección de fluidos a elevada presión. La sismicidad inducida en embalses, se observó por primera vez en la década de 1930 en los embalses de Maratón (Grecia), Oued Fodda (Areglia) y Hoover (Colorado, Estados Unidos). La importancia del problema quedó demostrada el 10 de diciembre de 1967 cuando tuvo lugar un terremoto de magnitud próxima a 6.5 cerca de la presa de Koyna (India). En España, la sismicidad inducida por Embalses, ha sido analizada con detalle en pocos casos.

ANEXO II

Es importante saber diferenciar entre presa de embalse.

- Embalse: Obra hidráulica consistente en un recinto artificial para el almacenamiento de agua limitado, en todo o en parte, por una presa. También puede referirse al conjunto del terreno, presa y agua almacenada, junto con todas las estructuras auxiliares relacionadas con estos elementos y con su funcionalidad. (Real Decreto 9/2008 de 11 de enero por el que se modifica el Reglamento de Dominio Público hidráulico)
- Presa: Estructura artificial que, limitando en todo o en parte el contorno de un recinto enclavado en el terreno, esté destinada al almacenamiento de agua dentro del mismo. A los exclusivos efectos de seguridad, también se entenderán como tales balsas de agua. (R.D 9/2008). Es la construcción que se realiza en la zona de la cerrada del embalse con la finalidad de retener el agua. Se clasifican como: Grandes Presas y Pequeñas Presas.
- Cerrada: Zona del embalse donde existe un estrechamiento topográfico, cuyo cierre originará el almacenamiento del agua. Es esta zona donde se ubica la presa.

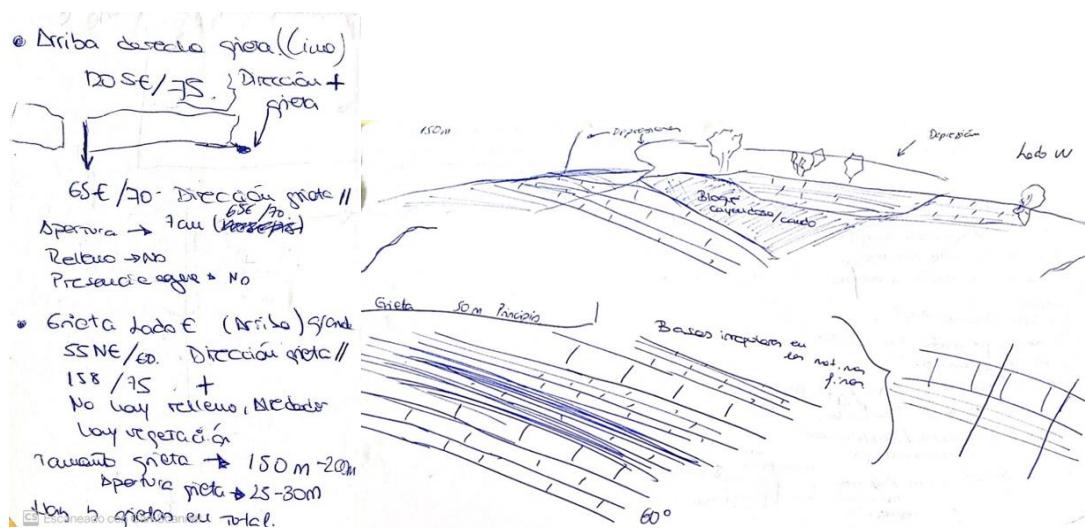
ANEXO III

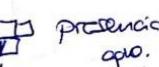




ANEXO V

Algunas anotaciones de más medidas sobre la grieta más grande, tomada en la cima de la ladera, y en la zona media:



-) Parte decho grieta \oplus adio cima.
- 1 m ~~bloque~~ muy roto como ~~diáclasis~~ ^{con} presencia agua
andos. Base osc / rojo 60 NE / 45 \ominus grieta
125 SE / 20 \oplus grieta.
- Altura: 1 mm - 2 mm sin agua.
Hay plantas entre estratos.
Altitudencia de Boleza y pizarra.
-) ~~2,5 m~~ Plano ~~ancho~~.
- misma ~~lager~~ ancho. 1 m ancho.
6 m ancho. ancho.
 \rightarrow 1 m bloques \oplus grandes  presencia
Suelo largo 5 cm ancho. agua.
- \rightarrow 7 m mat. blanco / beige arcuado.
Presencia marrones de agua.
- \rightarrow 3 m Bloque 0,5 m ~~pizarra~~ 
mat. duro.
- Base irregular.

ANEXO VI



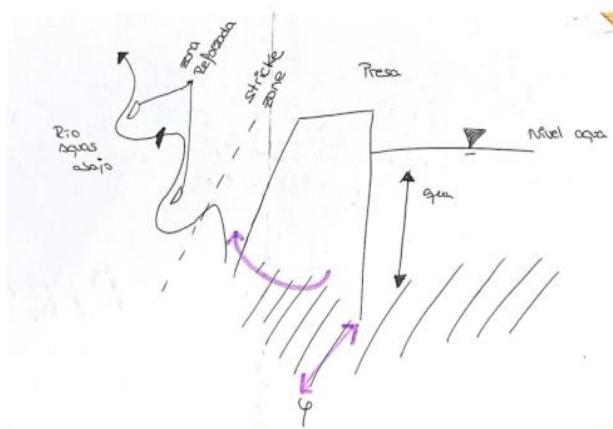


ANEXO VII



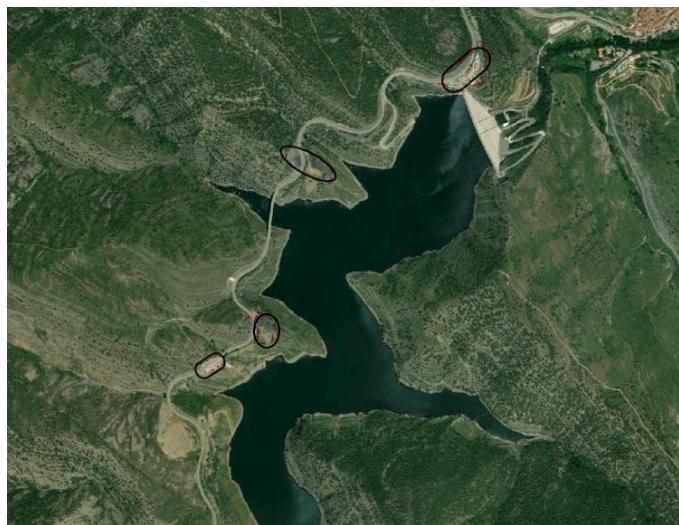
Perfil del de los límites que delimitan el deslizamiento

ANEXO VIII



Se observa que la presa funciona solo por la estratificación. Si la estratificación despega, puede sufrir un vuelco la presa como se puede observar.

ANEXO IX



Depósitos cuaternarios relacionados con deslizamientos de ladera.