



MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Instituto Geológico
y Minero de España

O F I C I O

S/REF.
N/REF. RM/mc
FECHA 12 de marzo de 2020
ASUNTO Remisión informe

D. Nestor López Molina
Coordinador de Infraestructuras, Obras y
Sondeo
Diputación Provincial de Cuenca
C/ Aguirre, nº 1
16001 CUENCA

Adjunto se remite "Informe sobre la susceptibilidad al desprendimiento de rocas en la localidad de Zafra de Zancara (Cuenca)".

FIRMADO ELECTRONICAMENTE
EL DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN
EN RECURSOS GEOLÓGICOS

Juan José Durán Valsero

CORREO ELECTRÓNICO

igme@igme.es

RÍOS ROSAS, 23
28003-MADRID
TELÉFONO: 91 349 5700
FAX: 91 442 6261

CSV : GEN-f791-330e-53ab-5a4c-4fa2-098a-841f-0e05

DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN : <https://sede.administracion.gob.es/pagSedeFront/servicios/consultaCSV.htm>

FIRMANTE(1) : JUAN JOSE DURAN VALSERO | FECHA : 13/03/2020 10:51 | Sin acción específica | Sello de Tiempo: 13/03/2020 10:52





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Instituto Geológico
y Minero de España

INFORME SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD AL DESPRENDIMIENTO DE ROCAS EN LA LOCALIDAD DE ZAFRA DE ZANCARA (CUENCA)



MARZO 2020

CSV : GEN-4691-b268-3c55-a261-54ae-f204-9e42-f69d

DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN : <https://sede.administracion.gob.es/pagSedeFront/servicios/consultaCSV.htm>

FIRMANTE(1) : JUAN CARLOS GARCÍA LÓPEZ-DAVALILLO | FECHA : 10/03/2020 16:17 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45

FIRMANTE(2) : MARIO HERNANDEZ RUIZ | FECHA : 12/03/2020 09:45 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45



INDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	2
2. SITUACIÓN Y ANTECEDENTES	4
3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	6
3.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	6
3.2. GEOLOGÍA DE LA ZONA.....	6
3.2.1. ESTRATIGRAFIA Y LITOLOGÍA.....	6
3.2.2. ESTRUCTURA.....	11
3.2.3. GEOMORFOLOGIA	12
3.2.4. HIDROGEOLOGIA	13
4. CLIMA Y METEOROLOGÍA LOCAL	14
5. SISMICIDAD	16
6. ESTUDIO DETALLADO DE LA ZONA INESTABLE	25
6.1. ANÁLISIS DE DISCONTINUIDADES	26
6.2. ESTUDIO DE ESTABILIDAD.....	31
6.2.1. ANÁLISIS DE ROTURA PLANAR	31
6.2.2. ANÁLISIS DE ROTURA EN CUÑA.....	35
7. CONCLUSIONES.....	38
8. RECOMENDACIONES.....	39



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La Diputación Provincial de Cuenca (en adelante DPC) y el Instituto Geológico y Minero de España (en adelante IGME) suscribieron en 1980 un Convenio-Marco de Asistencia Técnica para “la investigación y evaluación de las aguas subterráneas, conservación y aprovechamiento adecuado de los acuíferos”. Durante los últimos treinta y cinco años, en aplicación de dicho Convenio-Marco, el IGME ha venido colaborando, mediante sucesivos convenios específicos de colaboración con la DPC, en la ampliación del conocimiento e investigación del medio hídrico subterráneo y en la utilización racional de dicho recurso.

Como continuación de esta colaboración, ambos organismos establecieron nuevos convenios siendo el último entre los años 2019-2021 para el conocimiento hidrogeológico, el aprovechamiento y protección del abastecimiento de agua a poblaciones y la investigación del patrimonio geológico-hidrogeológico y los estudios de riesgo geológico.

Este informe responde al interés de la DPC, tras la solicitud que en la fecha 26/03/2019, le llegó por tramitación electrónica del Alcalde del Ayuntamiento de Zafra de Záncara (Apéndice 1: Solicitud Zafra de Záncara.pdf), de llevar a cabo un informe en el marco del Convenio para la “realización del preceptivo estudio detallado de la geología de la zona, análisis de causas que hayan podido causar el riesgo en cuestión, así como diferentes impactos que puedan causar y un análisis final de posibles soluciones planteadas con el fin de eliminar o aminorar el riesgo existente, tanto en las fincas urbanas colindantes como en las vías públicas” dado “que en unas de las zonas del casco urbano existen unas rocas que pueden apreciarse que se han abierto grietas y se han desprendido algunas rocas y piedras”.

El día 03 de octubre de 2019 dos especialistas del Área de Riesgos Geológicos del IGME se desplazaron a la zona para evaluar el estado del terreno y, basándose las observaciones realizadas, proceder a elaborar este informe.

De esta manera, la visita de campo consistió en el reconocimiento de la zona comprendida entre la calle Amargura y la calle Cuatro Onzas (Figura 1) que corresponde a un escarpe rocoso en el que se encuentra la Parcela Catastral: 3761501WK7136S, objeto principal de este estudio, y que tiene las siguientes coordenadas para su localización:

Coordenada X (UTMTRS89)	Coordenada Y (UTMTRS89)
550476,283629	4444702,08719



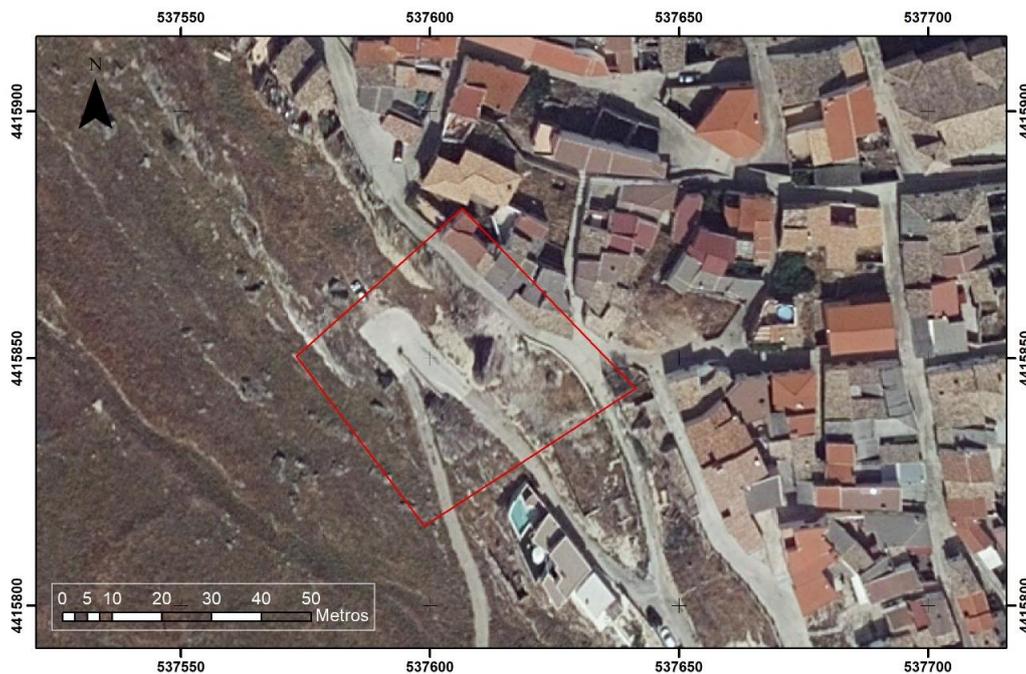


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio sobre fotografía aérea del PNOA

Se llevó a cabo un recorrido de campo en la zona cuyas características fueron documentadas mediante el empleo de drones tipo RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) de los que dispone el Servicio de Trabajos Aéreos (STA) del IGME.

El objetivo de la inspección es valorar la susceptibilidad de posibles desprendimientos rocosos y dar una serie de recomendaciones, a título orientativo, para el Ayuntamiento de Zafra de Zancara tome las decisiones pertinentes en relación con el uso del territorio, así como el establecimiento de medidas encaminadas a disminuir la susceptibilidad a los desprendimientos rocosos en la zona estudiada.



2. SITUACIÓN Y ANTECEDENTES

Zafra de Zancara (39°53'31"N, 2°33'29"O, 950 m s.n.m.) es una localidad conuense ubicada a unos 41 km al suroeste de la ciudad de Cuenca, en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha (Figura 2).

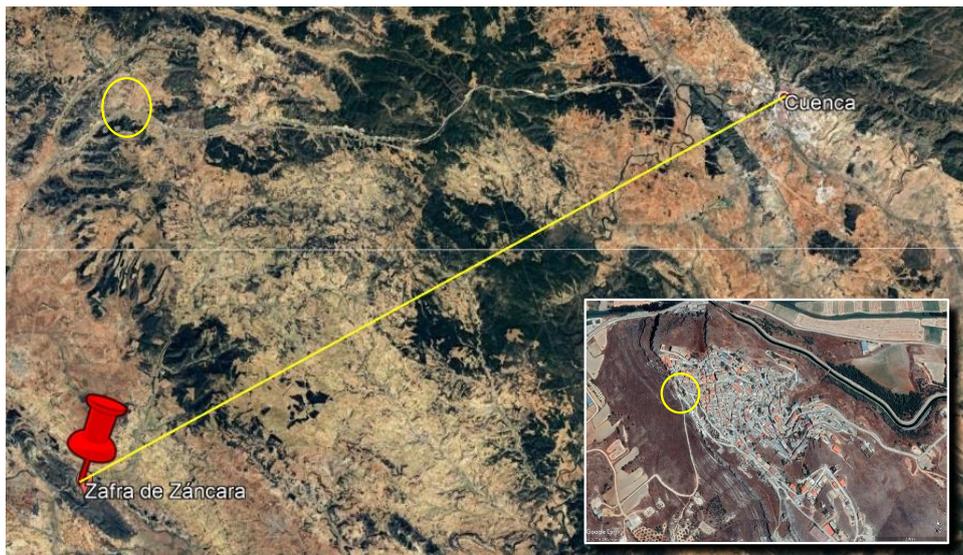


Figura 2. Mapa de ubicación de Zafra de Zancara sobre el visor Google Earth. En detalle, visualización de la localidad y situación de la zona de estudio (círculo amarillo)

Su término municipal limita al norte con “Palomares del Campo, Torrejuncillo del Rey y Huerta de la Obispaia”; al este con “Altarejos y Villarejo-Periesteban”; al sur con “Villares del Saz y Villar de Cañas” y al oeste con “Montalbo”. Tiene una población censada de 124 habitantes (INE, 2018).

El emplazamiento de su conjunto urbano, sobre un elevado cerro y sobre su ladera noreste en fuerte pendiente, confiere singularidad a su caserío que destaca sobre el paisaje circundante. Bajo este cerro discurre el río Zancara y el trasvase Tajo-Segura (Figuras 3 y 4). La ladera suroeste del cerro culmina con una serie de escarpes rocosos que tienen una pendiente subvertical y es desde donde se producen los desprendimientos de bloques rocosos que se observan dispersos sobre la ladera (Figura 4). La diferencia de cota entre el valle y el resalte sobre el que se ubica la localidad es de unos 110 m.





Figura 3. Vista hacia el noreste del promontorio rocoso sobre el que asienta la población de Zafra de Zancara



Figura 4. Vista aérea de la población de Zafra de Zancara orientada hacia el este. En la parte superior de la ladera suroeste del cerro se observan dos escarpes subverticales de materiales carbonatados desde los que se producen caídas de bloques que tapizan la ladera. En la parte izquierda de la foto se observa el acueducto del Tránsito Tajo-Segura



3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

3.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La localidad de Zafra de Záncara se ubica geológicamente en la parte Sur de la cubeta terciaria o “Depresión intermedia” (también denominada Cuenca de Loranca) entre la Sierra de Altomira y la Serranía de Cuenca; cuenca sedimentaria que pertenece a la parte oriental de la Cuenca del Tajo (Figura 5).

La Depresión Intermedia comenzó a formarse en el Paleógeno, principalmente durante el Oligoceno y principios de Mioceno. Su relleno es consecuencia de los movimientos alpinos que estructuraron la Sierra de Altomira y la Serranía de Cuenca, relieves que la delimitan, teniendo pues buena parte de los sedimentos que conforman esta depresión un marcado carácter sinorogénico, si bien los más recientes son ya claramente postorogénicos.

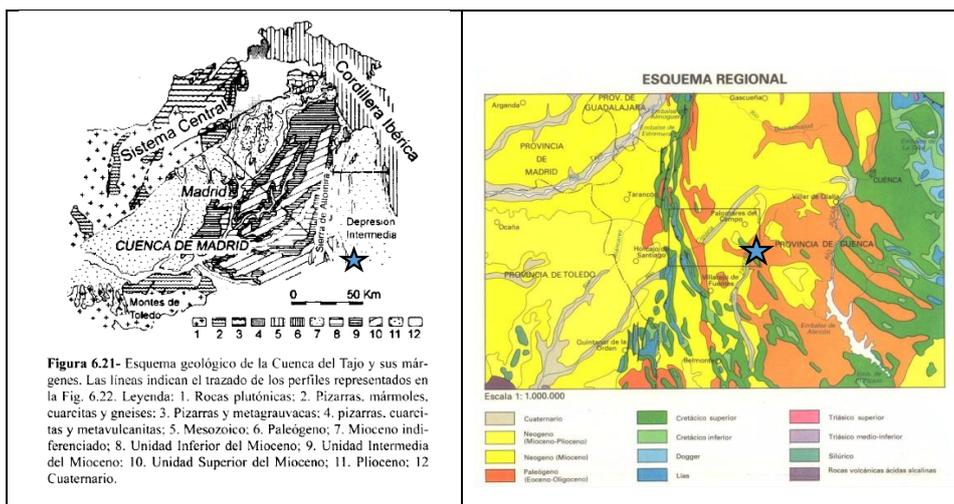


Figura 1. A Esquema geológico de la Cuenca del Tajo y sus márgenes (Fuente: Geología de España, SGE-IGME, 2004). B Mapa geológico regional de la hoja nº 633. La estrella representa la ubicación aproximada de la localidad de Zafra de Záncara

3.2. GEOLOGÍA DE LA ZONA

3.2.1. ESTRATIGRAFIA Y LITOLOGÍA

Según la Hoja 633 del MAGNA (1999) la localidad asienta sobre materiales carbonatados edad Cretácico Superior que corresponden con una potente serie de sedimentos marinos que representan a la plataforma existente en esta zona al final del Terciario. Estos materiales afloran en los flancos de una estructura anticlinal conocida como el “Anticlinal de Zafra de Záncara” (Figura 6).



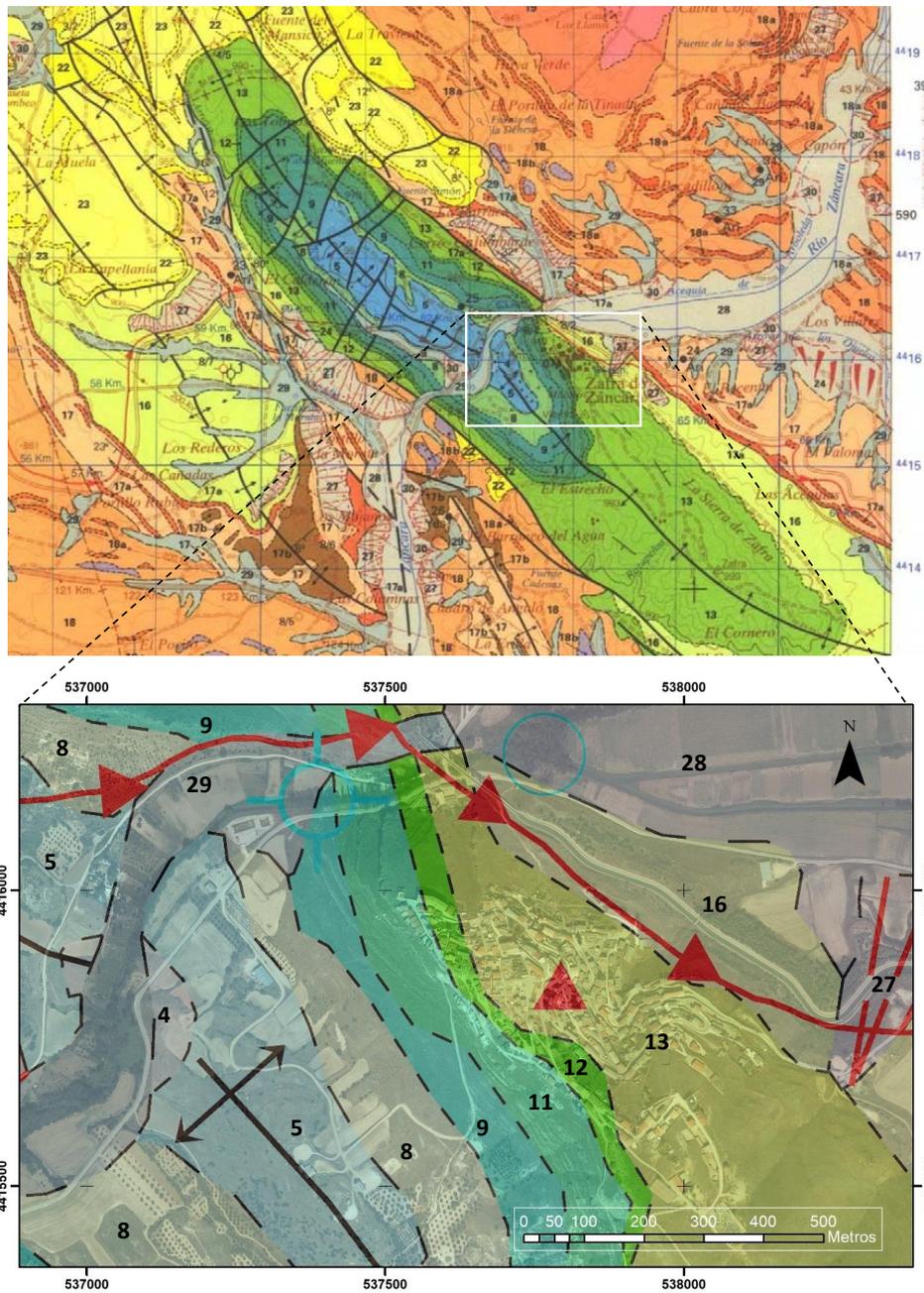


Figura 2. Arriba: Extracto de la hoja MAGNA 633. Abajo: Ampliación en el entorno de la localidad sobre ortofoto del PNOA. Unidades geológicas: Jurásico (LIASICO-DOGGER): **4:** Calizas micríticas y Fm. carbonatada de Chelva: calizas oolíticas y bioclásticas; **5:** Dolomías macrocristalinas. Cretácico (ALBIENSE-MAASTRICHTIENSE): **8:** Fm. Arenas de Utrillas; **9:** Dolomías tableadas de Villa de Ves; **11:** Dolomías de la Ciudad Encantada. **12:** Fm. Margas de Alarcón. **13:** Fm. Calizas y brechas de la Sierra de Utiel; **16:** Margas, arcillas y yesos de Villalba de la Sierra. Cuaternario (PLEISTOCENO-HOLOCENO) **27:** Coluviones (Arcillas y cantos angulosos); **28:** Llanura de inundación (Limos y cantos); **29:** Fondo de valle (Arcillas, arenas y cantos)



La zona estudiada se corresponde principalmente con los afloramientos de la unidad 11, Fm. Dolomías de la Ciudad Encantada, de edad Turoniense, en el flanco oriental del Anticlinal de Zafra de Zancara sobre el que se sitúa la población. Las otras unidades resaltadas en las figuras 6 y 7, no están afectadas por el fenómeno de desprendimiento de bloques rocosos, pero corresponden con los materiales jurásicos y cretácicos que forman la gran estructura anticlinal y con los depósitos del Cuaternario (llanura de inundación y coluviones) que tapizan las distintas unidades en las laderas y en el fondo del valle del río Zancara.

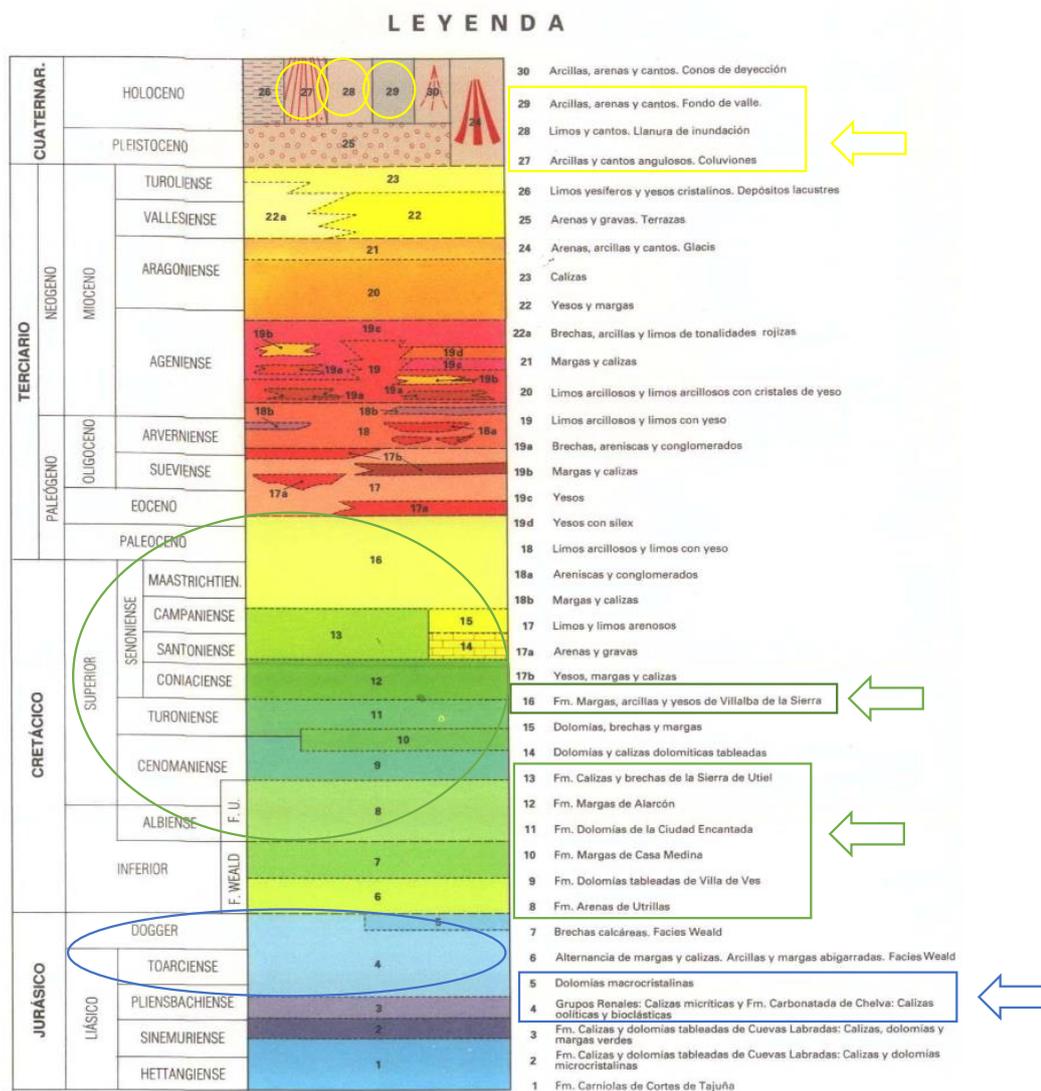


Figura 3. Leyenda de la hoja MAGNA 609 identificadas con círculos las unidades existentes en la localidad de Zafra de Zancara



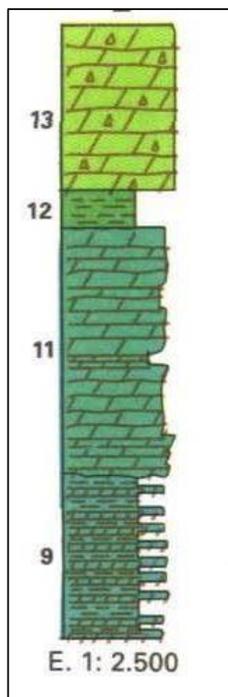


Figura 8. Columna estratigráfica del Cretácico superior en las inmediaciones de Zafra de Záncara

Las litologías del Cretácico superior presentes en las inmediaciones de la población corresponden con ciclos sedimentarios transgresivos y regresivos de origen marino de plataforma y continentales. En la columna estratigráfica de detalle (Figura 8) se observa la disposición y potencia de las distintas unidades observadas:

9. Dolomías tableadas de Villa de Ves: se trata de una sucesión de 40 m de dolomías y margas estratificadas. Las dolomías presentan bioturbación, laminación paralela, estromatolítica y señales de emersión con grietas de desecación y cantos planos. Estos materiales se ordenan en secuencias de somerización métricas, estrato y granocrecientes, mostrando a techo superficies ferruginosas y de encostramiento. Se depositaron en un contexto de plataforma somera a llanura de marea.

11. Fm. Dolomías de la Ciudad Encantada: constituida por un conjunto de 45 m de dolomías en gruesos bancos, de aspecto masivo. Las dolomías groseramente cristalinas, con amplias señales de bioturbación, a veces karstificación, y en general con geometrías planoconvexas bastante desdibujadas, presentan restos de rudistas y otros niveles de acumulación de bioclastos. Muestran un episodio progradante, regresivo, ordenado en una gran secuencia de somerización. Toda la unidad se interpreta como un conjunto de depósitos formados en un ambiente de plataforma interna, somera y áreas submareales.

Dentro de ésta se diferencian tres tramos que tienen expresión geomorfológica:

- ✚ Tramo basal: 16 m de dolomías. En la base hay un intervalo noduloso que constituye un entrante, por encima un paquete masivo que forma el cuerpo principal del resalte y encima hacia techo, unas dolomías estratificadas en nuevo entrante.
- ✚ Segundo tramo: 12 m de dolomías cristalinas, estratificadas en gruesos bancos o masivas que forman el segundo resalte topográfico.
- ✚ Tercer tramo: 17 m de dolomías cristalinas de aspecto sacaroideo, estratificadas en gruesos bancos que constituyen la parte alta del resalte morfológico.

Bajo los resaltes rocosos formados por las dolomías masivas de esta formación es donde existen los problemas de caídas de bloques que nos ocupan.

12. Fm. Margas de Alarcón: 10 m de margas grises, ocre y verdes, entre las que se intercalan niveles calcodolomíticos y algunos nódulos calcáreos. En estas margas se observan paleosuelos (huellas de raíces y colores de alteración) y presencia de ostrácodos y charofitas de origen continental.



13. Fm. Calizas y brechas de la Sierra de Utiel: 29 m de dolomías masivas de aspecto brechoide y recristalizadas.

Sobre los materiales de las unidades 12 y 13 se asienta la población.



Figura 9. Vista lateral hacia el noroeste del afloramiento de la Fm. Dolomías de la Ciudad Encantada con bloques caídos al pie del escarpe y sobre la ladera (flechas)



Figura 10. Vista de la población de Zafra de Zancara hacia el sureste, se han señalado los estratos de la serie cretácica que se disponen buzando hacia el noreste



3.2.2. ESTRUCTURA

Dentro de la Depresión Intermedia se individualizan estructuras anticlinales de núcleo Mesozoico que presentan orientaciones intermedias entre las de Altomira y la Serranía de Cuenca, reflejando la continuidad estructural existente entre ambos dominios. Estos pliegues se hacen progresivamente más frecuentes conforme avanzamos hacia el S. Así en el área hay una serie de anticlinales con una dirección general N-NO a S-SE que tienen una longitud entre 5 y 20 Km y 3-4 Km de ancho, de los que el más relevante es el de Zafrá de Záncara (también conocido como el de El Hito). De acuerdo con Querol (1989) este anticlinal afecta principalmente a rocas mesozoicas, desde el triásico superior hasta el Cretácico Superior y también parte de Cenozoico, principalmente Paleógeno. El nivel de despegue está localizado en los materiales evaporíticos de la facies Keuper (Alvaro *et al.* 1979, ver Figura 11). Bajo esta cubierta sedimentaria, la interpretación de los datos sísmicos disponibles, sugieren que, el basamento Paleozoico y Triásico Inferior está deformado por una serie de horsts y grabens que están relacionados con anticlinales del basamento (estructuras N-S) y fallas extensionales (Valcarcel-Rodríguez, 2015).

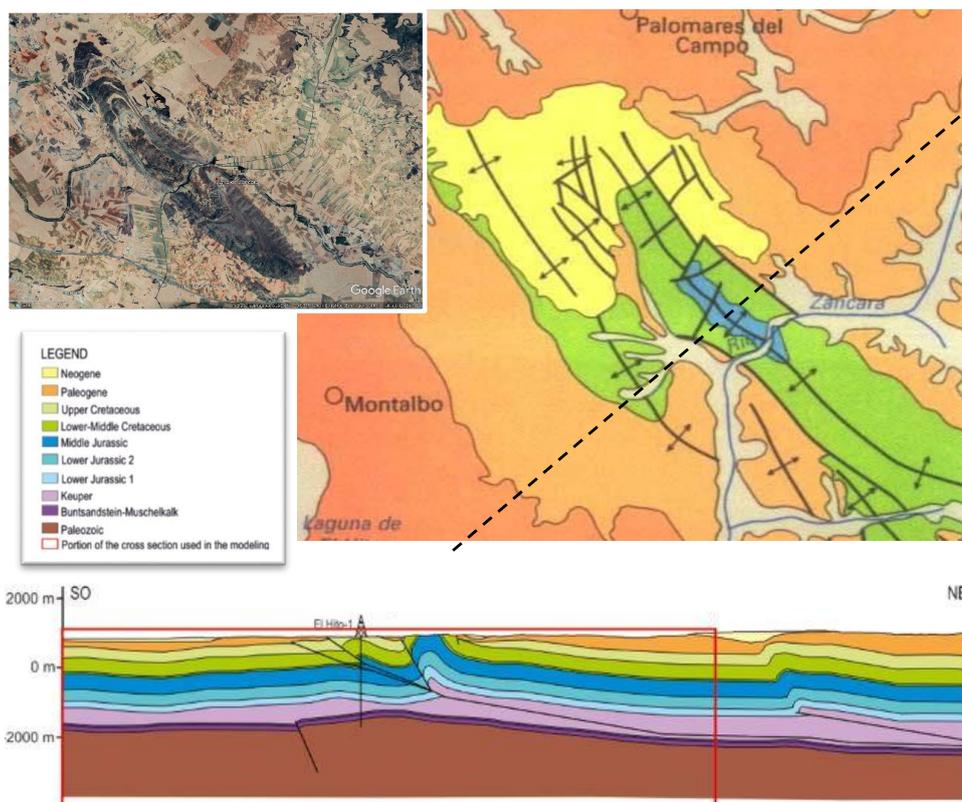


Figura 11. Arriba a la izquierda, ortofotografía PNOA en el que se observa la forma ovalada de los afloramientos de materiales del jurásico y cretácico que conforman el núcleo del Anticlinal de Zafrá de Záncara. Mapa: Esquema estructural de la zona Sur de la Depresión Media. Abajo: Corte geológico SO-SE



La zona de estudio se encuentra en flanco oriental del Pliegue de Zafra de Záncara, cuyo núcleo compuesto por materiales del Jurásico y Cretácico inferior ha sido erosionado dejando una depresión de forma ovalada, que es observable claramente en fotografía aérea, y que está limitada por laderas compuestas por materiales del Cretácico superior, más resistentes a la erosión.

3.2.3. GEOMORFOLOGIA

La estructura del Anticlinal de Zafra de Záncara afectada por los procesos erosivos ha generado relieves con dirección NO-SE (Relieves mesozoicos de La Sierra de Zafra), condicionados por la disposición estructural de los grandes paquetes de dolomías del Cretácico superior. Estas dolomías recristalizadas, que son capas muy resistentes a la erosión, conforman resaltes morfológicos sobre el terreno que son apreciables tanto en la topografía (Figura 12A) como en el mapa de pendientes de la figura inferior; generando tramos de pendiente superior a 45° (Figura 12B en rojo). La disposición subhorizontal de capas de distinta competencia y la mayor erosionabilidad de los materiales margosos o menos recristalizados en la secuencia dolomítica genera caídas de bloques por descalce inferior e incentiva la presencia de voladizos en paredes de roca subvertical.

Por otro lado, en los niveles con intercalaciones margosas o en aquellos en que el buzamiento de las capas hace que se desarrollen cuestas estructurales en ambos flancos del pliegue las pendientes son menores (Figura 12B en verde claro y amarillo).

Por último, el río Záncara ha atravesado perpendicularmente la estructura formando dos estrechos pasos y desarrollado una importante llanura de inundación al N, con un valle de morfología plana en el que la pendiente es mínima o prácticamente nula, tal y como queda reflejado en el mapa inferior de pendientes (Figura 12B en verde oscuro "0° – 5°")



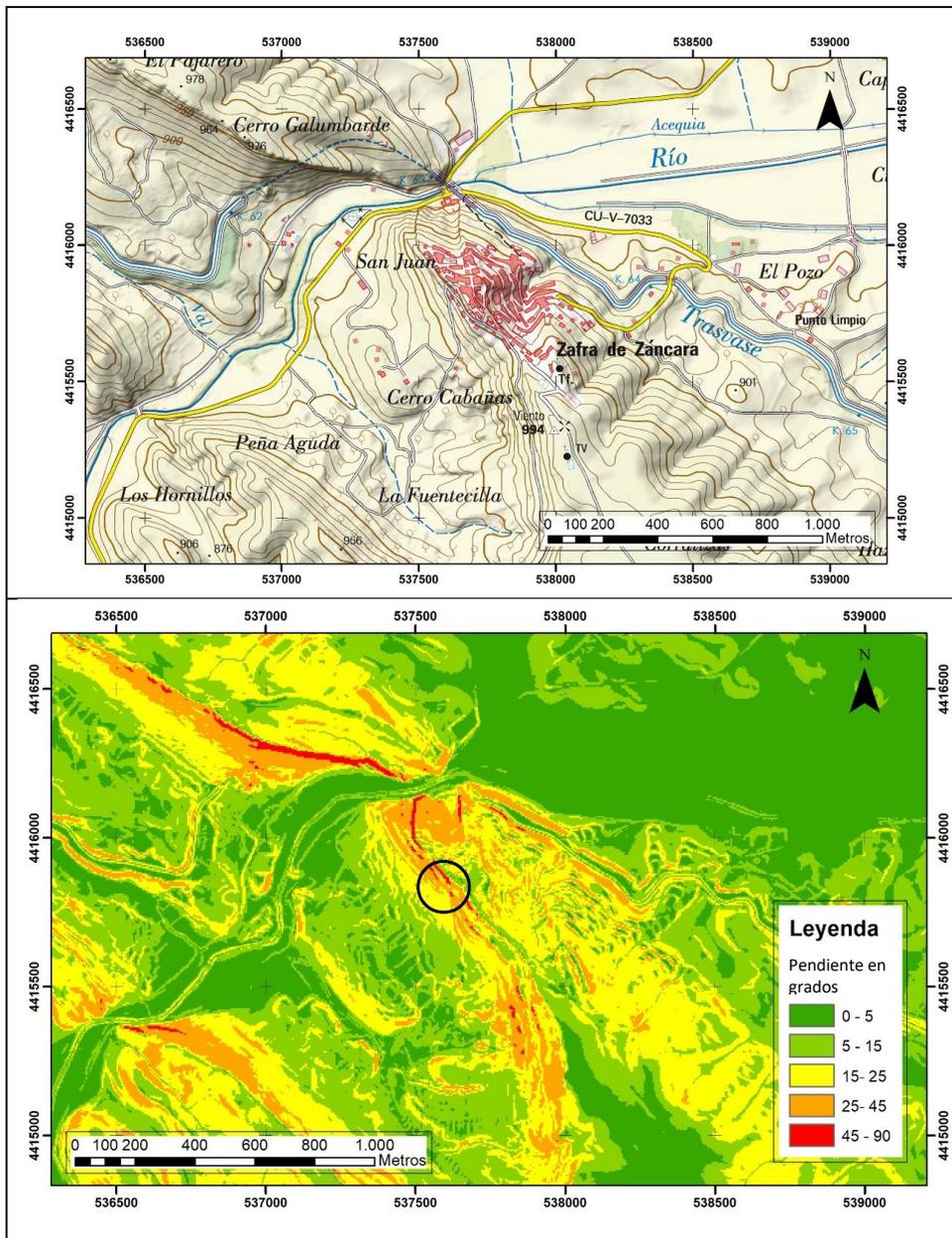


Figura 12. A. Extracto del Mapa topográfico nacional a escala 1:25.000 de la hoja 633-1. B. Mapa de pendientes. Círculo: zona de estudio.

3.2.4. HIDROGEOLOGIA

Desde el punto de vista hidrográfico, la zona de estudio se enmarca en la Cuenca Hidrográfica del Guadiana, discurriendo el río Zancara, afluente del río Guadiana hacia el NE.



Los materiales del entorno de la zona de estudio, formados por una serie de calizas y dolomías cretácicas y jurásicas, presentan muy buenas características hidrogeológicas. Debido a su naturaleza carbonatada y disposición estructural constituyen buenas formaciones acuíferas por fracturación y karstificación. Estos materiales se ubican dentro de la “Unidad Caliza de Altomira”, considerado como un sistema acuífero complejo cuya recarga se produce fundamentalmente por infiltración de agua de lluvia y, en mucha menos proporción, por aportaciones subterráneas, infiltraciones de cursos de agua superficial y retornos de riegos. La descarga se realiza por bombeo, drenaje hacia los ríos, por manantiales de caudal variable condicionados por la pluviometría y, subterráneamente, hacia los acuíferos colindantes.

4. CLIMA Y METEOROLOGÍA LOCAL

El clima reinante en una zona y la meteorología asociada, en concreto los regímenes de precipitación y temperatura, son uno de los factores desencadenantes más importantes en la aparición de movimientos de ladera en nuestro país.

El clima en Zafrá de Záncara es templado y cálido, con unos inviernos más lluviosos que los veranos. Climatológicamente el área pertenece al dominio mediterráneo típico con veranos cálidos (tipo Csa según la clasificación de Köppen-Geiger). La temperatura media anual en Zafrá de Záncara se encuentra a 12.7 °C. En un año, la precipitación media es de 469 mm (Figura 13).

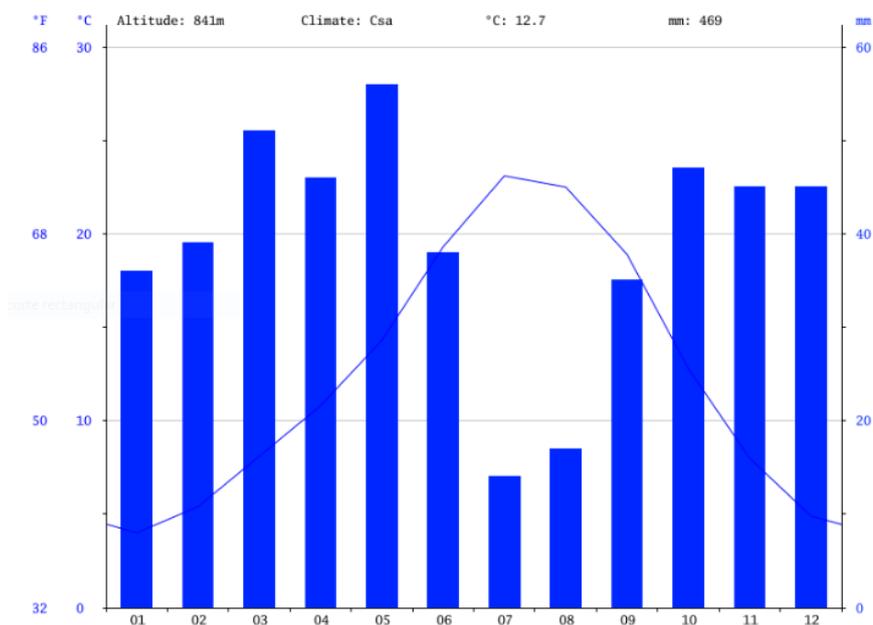


Figura 13. Climograma de Zafrá de Záncara. Fuente: <https://es.climate-data.org/europe/spain/castile-la-mancha/zafra-de-zancara-990287/#climate-graph>



	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	4	5.4	8.1	10.8	14.3	19.3	23.1	22.5	18.9	12.8	8	4.9
Temperatura mín. (°C)	-0.6	0	2.3	4.9	8.1	12.2	15.2	14.8	12	7	2.9	0.4
Temperatura máx. (°C)	8.6	10.8	14	16.7	20.5	26.4	31	30.2	25.8	18.7	13.1	9.4
Precipitación (mm)	36	39	51	46	56	38	14	17	35	47	45	45

Tabla 1. Datos climatológicos medios en Zafrá de Záncara. Fuente: <https://es.climate-data.org/europe/spain/castile-la-mancha/zafra-de-zancara-990287/#climate-graph>

Como se observa en la tabla 1 y en las figuras 13 y 14, julio es el mes menos lluvioso, con un promedio de 14 mm/mes y mayo el mes en que más llueve con un promedio de 56 mm/mes, indicador de la influencia del régimen de lluvias características de la meseta española. Hay una diferencia de 42 mm de precipitación entre los meses más secos y los más húmedos.

En cuanto a las temperaturas (Tabla 1), destacan las grandes variaciones estacionales que alcanzan sus máximos durante el mes de julio, con temperaturas medias cercanas a los 23,1° C y mínimos durante el mes de enero con 4° C de media. La variación en las temperaturas medias durante todo el año es de 19,1° C. Esta variabilidad térmica también se observa entre el día y la noche como se ve en la figura 15.

Así pues, el clima se caracteriza por precipitaciones relativamente bajas, localizadas en primavera y otoño y temperaturas suaves que tienden a bajar en los meses de invierno, con heladas importantes.

En la figura 14 se muestra la lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un periodo móvil de 31 días centrado en la fecha en cuestión, con las bandas de percentiles del 25 al 75 y del 10 al 90.

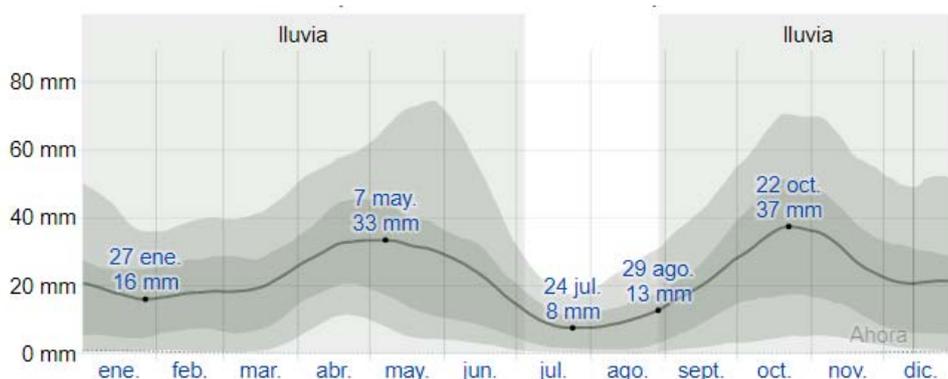


Figura 14. Precipitación de lluvia mensual promedio en Zafrá de Záncara. Fuente: <https://es.weatherspark.com>



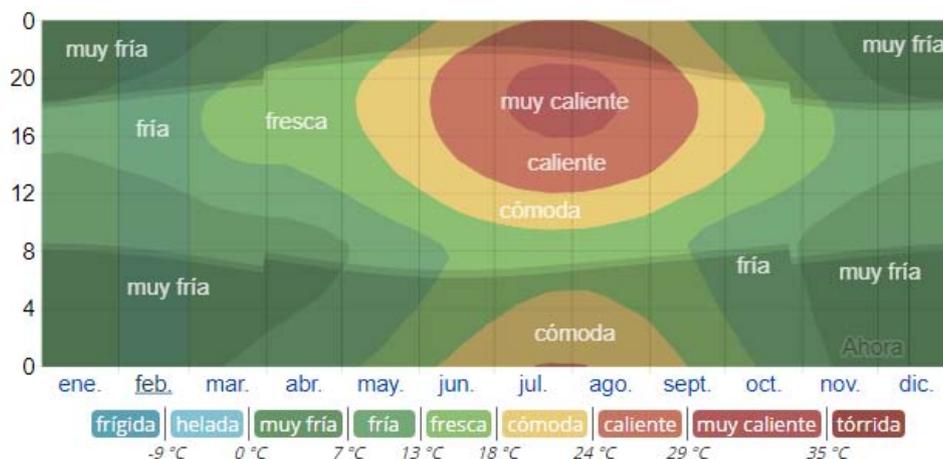


Figura 15. Temperatura promedio por hora, codificada por colores en bandas. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo civil. Fuente: <https://es.weatherspark.com>

Estos factores condicionan la ocurrencia de procesos de meteorización física por cambios de volumen, como la gelifracción o crioclastia (ciclos hielo-deshielo) o la termoclastia (cambios bruscos de temperatura), en los escarpes rocosos que bordean la localidad. Así mismo, los procesos de disolución kárstica, son activos, lentos y continuados, siendo más intensos en invierno, con el advenimiento de las precipitaciones máximas y las bajas temperaturas que aceleran las reacciones. La influencia de estos procesos debería ser estudiada en detalle a partir de datos más precisos y observaciones de campo, de cara a confirmar su influencia en posibles eventos de inestabilidad.

5. SISMICIDAD

Como muestra el mapa de peligrosidad sísmica de España (Figura 16) publicado en 2015 por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), Zafra de Zancara se encuentra en zona de baja actividad sísmica en la península Ibérica.



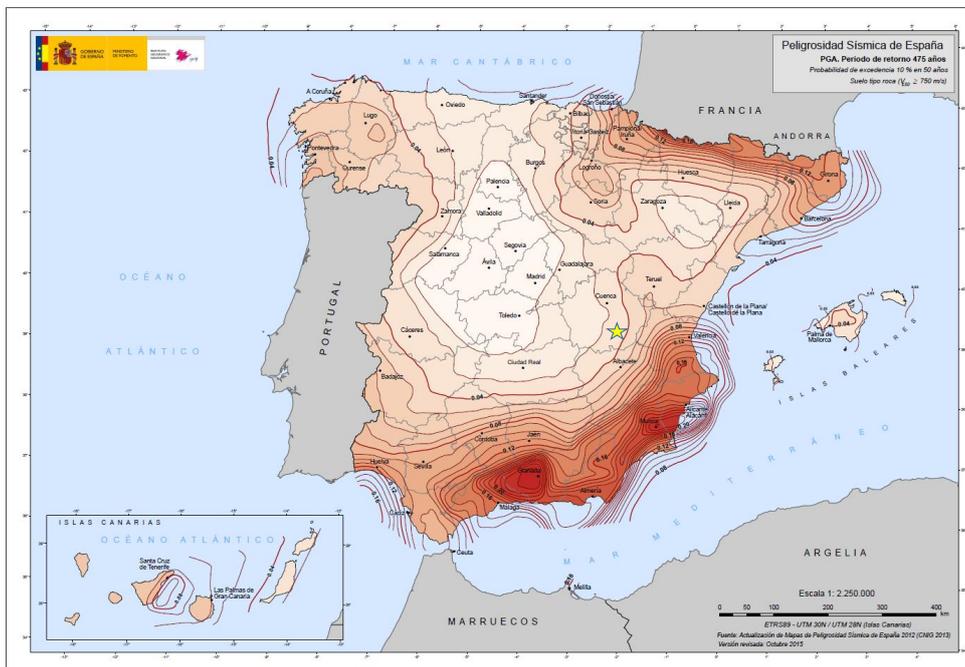


Figura 16. Mapa de peligrosidad Sísmica de España (IGN, 2015). La estrella marca la situación aproximada de Zafra de Zancara

Respecto a la actividad sísmica histórica próxima, se ha llevado a cabo la consulta del mapa (Figura 17) que contiene la distribución de los sismos (magnitud momento (M_w)); el cual fue elaborado a partir del catálogo publicado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2016).

En la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha son muy escasas las fallas con evidencias geológicas directas de actividad sísmica cuaternaria. No existen fallas con actividad conocida que atraviesen el área de estudio, según lo consultado en la base de datos QAFI v.3 (IGME) y el Mapa Neotectónico de la Península Ibérica (IGME, ENRESA 1998).



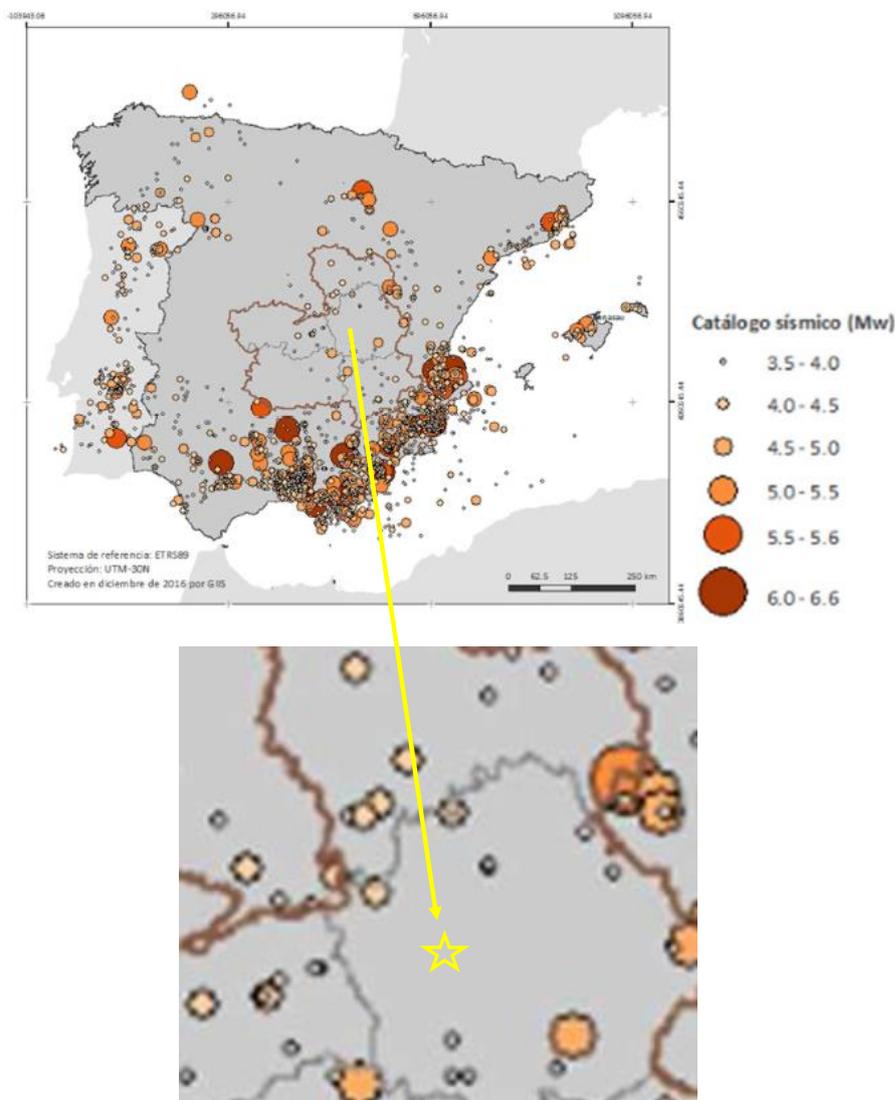


Figura 17. Mapa con la distribución de sismos considerados en el catálogo sísmico (Mw) (Romero-Jarén R. et al 2017).

Teniendo en cuenta los Mapas de Peligrosidad Sísmica (PGA) con efecto local de la Comunidad de Castilla-La Mancha para periodo de retorno 475 y 975 años que se hicieron para la elaboración del plan especial de emergencias de Castilla-La Mancha (Romero-Jarén R. *et al* 2017), el término municipal de Zafra de Zancara presenta valores bajos de aceleración (g) para PGA (< 0.15) según se refleja en las figuras 18 y 19.



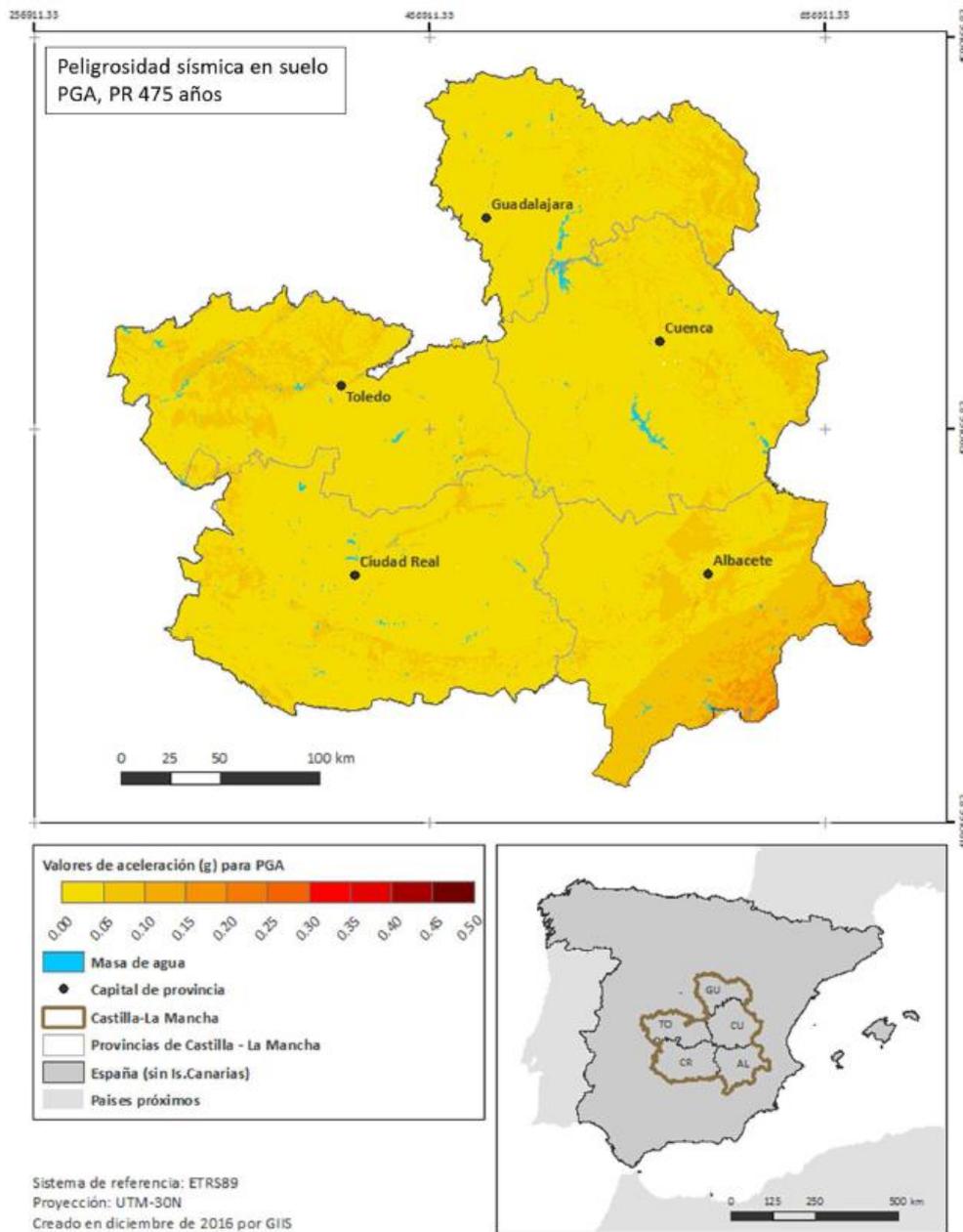


Figura 18. Mapa de peligrosidad sísmica con efecto local de la Comunidad de Castilla - La Mancha (Periodo de Retorno 475 años) (Romero – Jarén R. *et al* 2017)



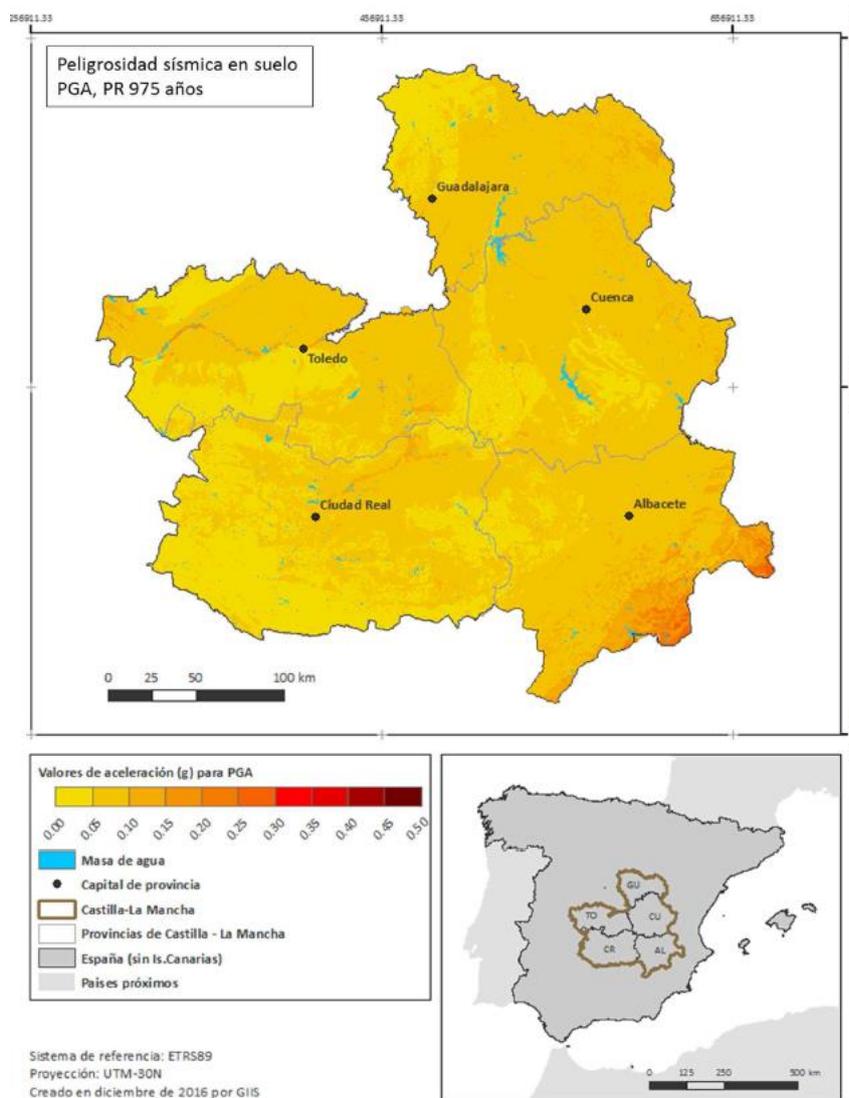


Figura 19. Mapa de peligrosidad sísmica con efecto local de la Comunidad de Castilla - La Mancha (Periodo de Retorno 475 años) (Romero – Jarén R. *et al* 2017)

Los terremotos con epicentro localizado en un radio de 35 km del casco urbano de Zafra de Zancara que se recogen en el "Catálogo de terremotos" (entre 1900 y la actualidad) gestionado por el Instituto Geográfico Nacional (Servicio Nacional de Sismología), se enumeran en la tabla siguiente y se localizan en la figura 20.



Evento	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Prof. (Km)	Inten.	Mag.	Tipo Mag.	Localización
1448	17/09/1860	00:00:00	40.1167	-2.9167		IV-V			Barajas de Melo.CU
12478	20/04/1992	02:08:26	39.5383	-2.5217	5		3.4	2	NW ALBERCA DE ZÁNCARA, LA.CU
889643	16/12/2008	13:48:22	39.5723	-2.7397	11	III	3.3	4	E MONREAL DEL LLANO.CU
9301	07/04/1982	17:02:04	40.1417	-2.7333	5		3.2	2	W HUETE.CU
13864	07/04/1994	06:14:41	39.75	-2.7267	6		3.2	2	SW VILLAREJO DE FUENTES.CU
15011	29/03/1995	16:10:07	39.6433	-2.8	3		3.1	2	SW OSA DE LA VEGA.CU
719452	23/01/2007	23:14:47	39.5847	-2.7389	5	IV	3.1	4	NE MONREAL DEL LLANO.CU
10686	10/11/1987	19:28:58	39.8433	-2.915	5		3	2	NE POZORRUBIO.CU
10885	23/06/1988	03:27:33	39.535	-2.6317	8		3	2	SW RADA DE HARO.CU
227125	30/09/2000	02:18:24	40.1089	-2.8656	10		3	2	NW PAREDES.CU
11012	27/09/1988	21:29:28	39.595	-2.7833			2.8	2	NW MONREAL DEL LLANO.CU
12494	12/05/1992	22:59:14	39.5967	-2.6033	12		2.8	2	NE RADA DE HARO.CU
15725	17/12/1995	05:27:17	39.5067	-2.4967	11		2.8	2	SW ALBERCA DE ZÁNCARA, LA.CU
925507	09/07/2009	18:20:28	39.5076	-2.505	10	III	2.8	4	SW LA ALBERCA DE ZÁNCARA.CU
15414	01/10/1995	12:15:46	39.5617	-2.525	3		2.7	2	SE CARRASCOSA DE HARO.CU
es2019clmpj	05/03/2019	07:41:02	39.75	-2.6923		II-III	2.7	4	S VILLAREJO DE FUENTES.CU
10288	26/05/1986	13:16:50	39.5417	-2.78	5		2.5	2	SW MONREAL DEL LLANO.CU
227137	30/09/2000	03:08:51	40.091	-2.8717	11		2.5	2	NW PAREDES.CU
895335	29/01/2009	15:47:13	39.5754	-2.7639	4		2.5	4	NW MONREAL DEL LLANO.CU
es2019clnab	05/03/2019	07:45:05	39.7565	-2.671			2.5	4	SE VILLAREJO DE FUENTES.CU
es2019pdeww	04/08/2019	03:48:12	39.7376	-2.6698	7		2.5	4	N FUENTELESPINO DE HARO.CU
14683	16/11/1994	22:43:34	39.785	-2.66	2		2.4	2	E VILLAREJO DE FUENTES.CU
14696	23/11/1994	09:33:40	39.5467	-2.3933	4		2.4	2	SE SANTA MARÍA DEL CAMPO RUS.CU
223052	11/09/2000	03:09:53	39.5745	-2.801			2.4	2	W MONREAL DEL LLANO.CU
236852	25/11/2000	02:30:34	39.5859	-2.7725			2.4	2	NW MONREAL DEL LLANO.CU
1072977	11/07/2011	18:19:31	39.5565	-2.7747	18		2.4	4	SW MONREAL DEL LLANO.CU
1118656	25/12/2011	12:57:13	39.5509	-2.7521	9		2.4	4	SE MONREAL DEL LLANO.CU

CSV : GEN-4691-b268-3c55-a261-54ae-f204-9e42-f69d

DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN : <https://sede.administracion.gob.es/pagSedeFront/servicios/consultaCSV.htm>

FIRMANTE(1) : JUAN CARLOS GARCÍA LÓPEZ-DAVALILLO | FECHA : 10/03/2020 16:17 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45

FIRMANTE(2) : MARIO HERNANDEZ RUIZ | FECHA : 12/03/2020 09:45 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45



Evento	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Prof. (Km)	Inten.	Mag.	Tipo Mag.	Localización
es2019prqmo	12/08/2019	01:31:45	39.7431	-2.6733	4		2.4	4	SE VILLAREJO DE FUENTES.CU
14839	08/01/1995	19:57:28	39.61	-2.16			2.3	2	W OLMEDILLA DE ALARCÓN.CU
1046914	25/02/2011	18:09:28	39.6727	-2.7791	12		2.3	4	NW OSA DE LA VEGA.CU
es2017fobcb	16/05/2017	23:03:56	39.7249	-2.847	12		2.3	4	NW HONTANAYA.CU
227268	01/10/2000	23:11:53	39.5099	-2.8746	6		2.2	2	NW MOTA DEL CUERVO.CU
708913	12/12/2006	01:44:27	39.5993	-2.7509			2.2	4	NE MONREAL DEL LLANO.CU
1355395	21/11/2015	02:23:23	39.4922	-2.6899	10		2.2	4	NW LAS PEDROÑERAS.CU
615031	20/11/2005	12:29:04	40.0694	-2.362	10		2.1	4	SE VILLAREJO DE LA PEÑUELA.CU
761069	11/06/2007	17:06:58	39.7078	-2.8158	11		2.1	4	SE HONTANAYA.CU
1254317	16/01/2014	21:53:21	40.0858	-2.3395	10		2.1	4	E VILLAREJO DE LA PEÑUELA.CU
es2017kpmkh	12/09/2017	01:44:11	40.0703	-2.9231	12		2.1	4	NW HUELVES.CU
es2018neonf	04/11/2018	17:53:51	39.778	-2.7477	12		2.1	4	W VILLAREJO DE FUENTES.CU
es2018njibm	11/11/2018	08:45:59	39.7387	-2.6649	11		2.1	4	N FUENTELESPINO DE HARO.CU
208223	08/06/2000	04:51:28	40.1114	-2.7427	11		2	2	SW HUETE.CU
889405	13/12/2008	08:48:10	39.5822	-2.7273			2	4	NE MONREAL DEL LLANO.CU
1073267	13/07/2011	21:59:05	39.5578	-2.7626	11		2	4	S MONREAL DEL LLANO.CU
1116131	03/12/2011	19:53:29	39.7125	-2.2563	8		2	4	W VALVERDE DE JÚCAR.CU
1244113	01/11/2013	22:02:59	39.5862	-2.7451	12		2	4	NE MONREAL DEL LLANO.CU
es2017oiigd	03/12/2017	01:40:11	40.0333	-2.6948	11		2	4	E CARRASCOSA DEL CAMPO.CU

Tabla 2. Relación de terremotos con epicentros situados a menos de 40 km de Zafrá de Zánchara (IGN), con magnitud superior a 2.

CSV : GEN-4691-b268-3c55-a261-54ae-f204-9e42-f69d

DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN : <https://sede.administracion.gob.es/pagSedeFront/servicios/consultaCSV.htm>

FIRMANTE(1) : JUAN CARLOS GARCÍA LÓPEZ-DAVALILLO | FECHA : 10/03/2020 16:17 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45

FIRMANTE(2) : MARIO HERNANDEZ RUIZ | FECHA : 12/03/2020 09:45 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45



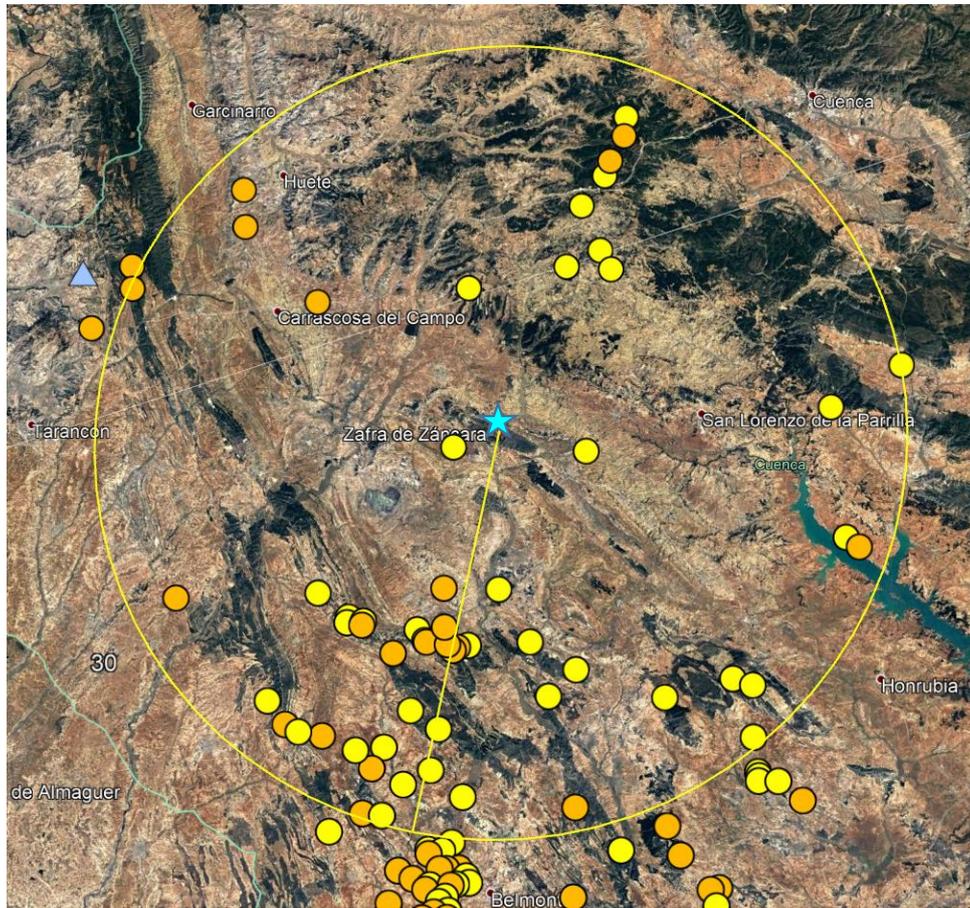


Figura 20. Representación de los epicentros de sismos registrados en el Catálogo de terremotos del IGN en un radio de 35 Km alrededor de Zafra de Zánchara. En amarillo los que tienen magnitud entre 1 y 2 y en naranja con magnitud entre 2 y 3. La localidad se ha representado con una estrella azul

Al no haber estudios de neotectónica, paleosismología y arqueosismología en la zona no se puede descartar que la sismicidad sea un factor desencadenante de movimientos de ladera. Para ello, deberían hacerse estudios específicos; que no son objeto del presente informe en el que se ha llevado a cabo un estudio de la susceptibilidad de desprendimientos de rocas. Aunque a la vista de los datos no se cree que tenga relación con las caídas de bloques desde los escarpes susceptibles.

Por otra parte, se identifica que el término municipal de Zafra de Zánchara figura entre los municipios que tienen una aceleración sísmica básica “ab” inferior a 0,04 g; siendo g la aceleración de la gravedad.

De acuerdo al apartado 1.2.3. de la “Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02)”, dado que la aceleración sísmica básica “ab” de cálculo es inferior a 0,04 g, no es necesaria su aplicación en las edificaciones de importancia normal o especial ni tampoco considerar las acciones sísmicas sobre los elementos estructurales que puedan llevarse a cabo en la zona.



En la figura 21 se refleja la situación del municipio estudiado sobre el Mapa de Peligrosidad Sísmica incluido en la citada Norma.

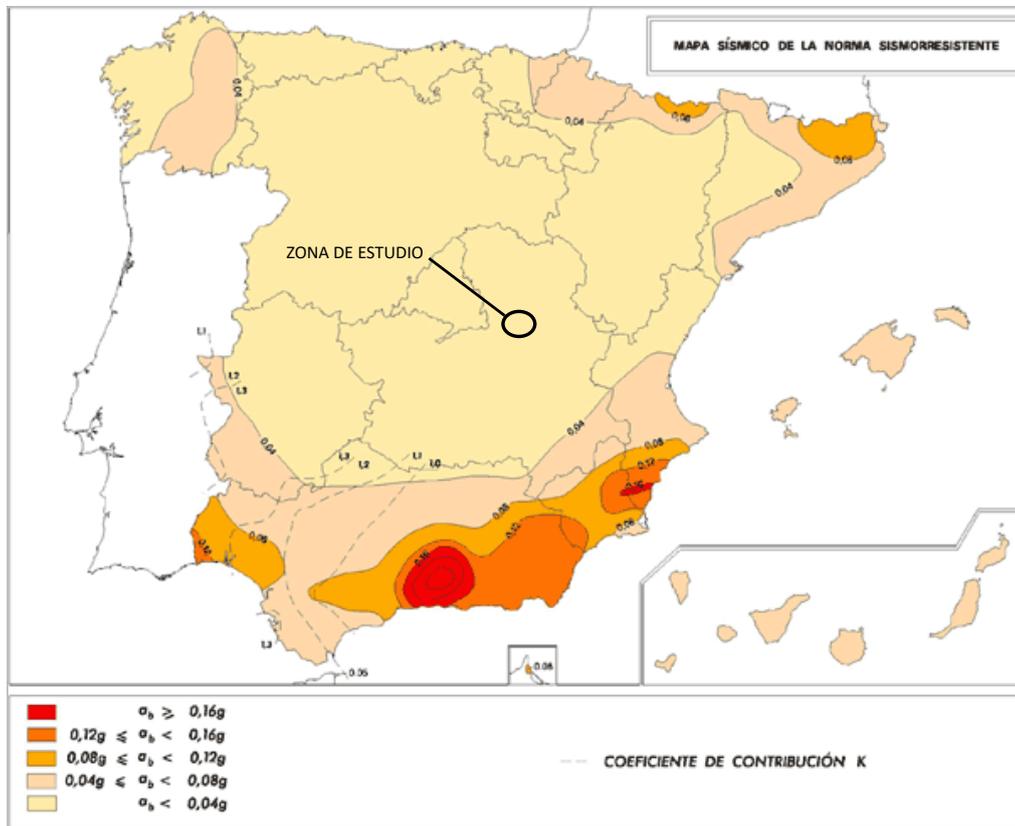


Figura 21. Mapa de Peligrosidad Sísmica (Norma de Construcción Sismorresistente, NCSR-02)



6. ESTUDIO DETALLADO DE LA ZONA INESTABLE

Como ya se indicó en capítulos anteriores se ha llevado a cabo el estudio en una zona ubicada junto al casco urbano de la población de Zafra de Záncara, concretamente en las inmediaciones de las calles Amargura y Cuatro Onzas (Figura 1).

Las “áreas fuente” o de origen de posibles desprendimientos rocosos en esta zona se encuentran en dos conjuntos de estratos de dolomías masivas recristalizadas, el primero (N1 en Figura 22) se corresponde con la zona orográfica más elevada (entre 947 y 957 m s.n.m.) donde las pendientes de la ladera oscilan entre 70 y 85 grados. Por debajo, a unos 15 m en la horizontal, se encuentra el otro tramo de dolomías (N3 en Fig. 22) en el que la pendiente se verticaliza y vuelven a aparecer cicatrices de bloques desprendidos (entre 939 y 928 m s.n.m.). Entre estas capas de dolomías recristalizadas aparecen unos 10 m de dolomías masivas de aspecto sacaroideo o arenisco de color ocre (N2 en Figura 22) formando un escarpe de unos 70 grados en cuya base aparecen depósitos de coluvión. Por debajo del resalte inferior, la pendiente de la ladera se hace más uniforme, con valores en torno a los 30 grados y sobre ella aparecen bloques de roca que cayeron y/o rodaron ladera abajo. Según información proporcionada por personal del Ayuntamiento, en los últimos años se han producido dos desprendimientos procedentes de los niveles de dolomías recristalizadas que han dejado claras cicatrices en los escarpes y han sido señalados con flechas rojas en la Figura 22.

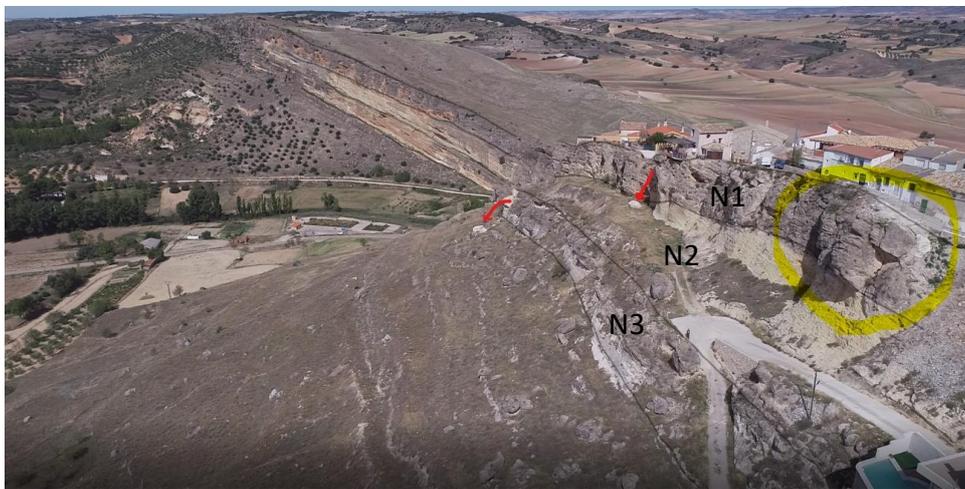


Figura 22. Vista aérea de la zona de estudio tomada desde el dron (16/06/2019). Las flechas rojas marcan desprendimientos ocurridos en los últimos años (fechas recientes sin precisar), uno en cada nivel de la ladera descrito como área fuente. El círculo amarillo señala la situación de un gran bloque cuya inestabilidad es cinemáticamente posible



6.1. ANÁLISIS DE DISCONTINUIDADES

La existencia, orientación, continuidad, espaciado y estado de alteración de las discontinuidades existentes en un macizo rocoso van a determinar su susceptibilidad a ser “zona fuente” de desprendimientos de bloques rocosos y la forma y el tamaño de los mismos.

Para realizar el estudio de las discontinuidades presentes en este macizo se ha realizado un análisis de los modelos de nubes de puntos 3D obtenidos con el programa *Agisoft PhotoScan* a partir de 178 imágenes aéreas captadas en dos vuelos fotogramétricos realizados con el RPAS DJI modelo *Phantom 4 PRO* (Figura 23).

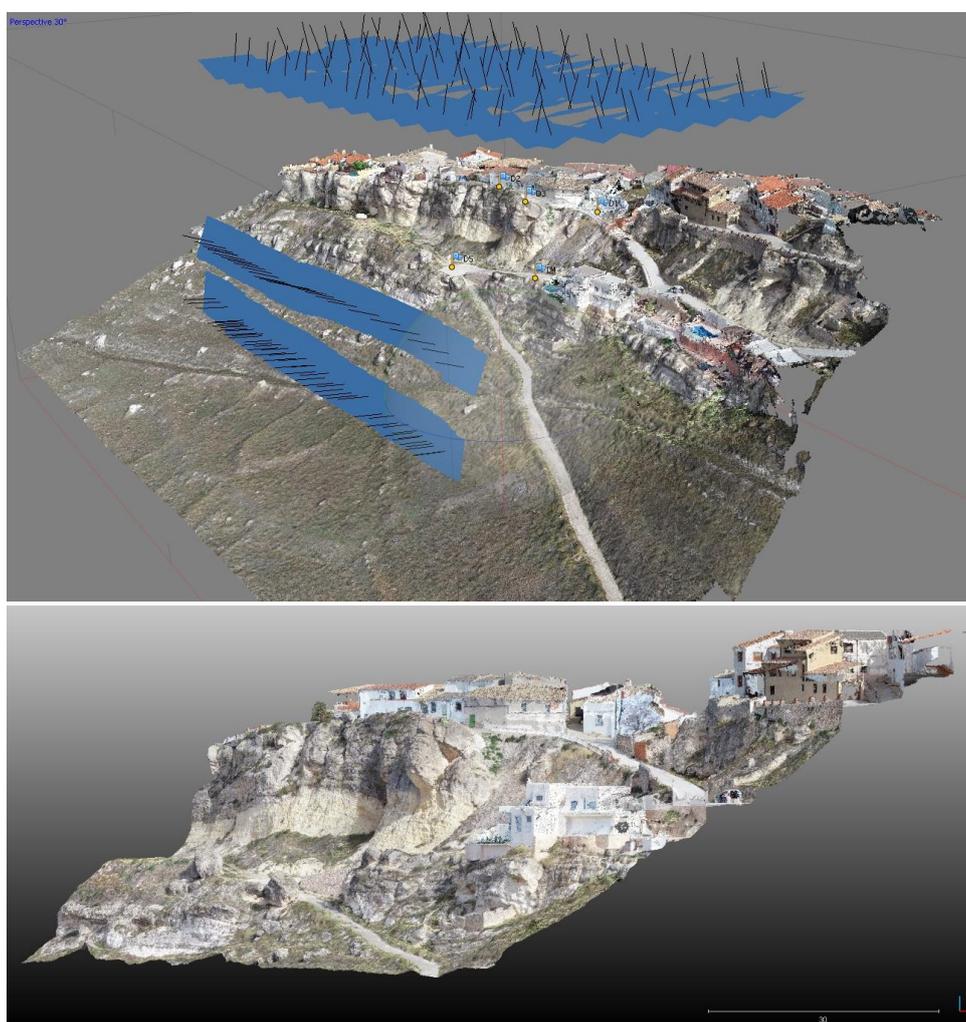


Figura 23. Vistas hacia el norte de las nubes de puntos 3D obtenidas a partir del tratamiento fotogramétrico de imágenes aéreas realizado con el programa *Agisoft PhotoScan*. **Arriba:** Nube de puntos general de la ladera con representación de la situación de las fotografías realizadas y de los puntos de control medidos con el GPS *Leica 1200* para la correcta georreferenciación de los modelos. **Abajo:** Nube de puntos de alta resolución obtenida para la zona de estudio



De esta manera se ha obtenido una nube de puntos de alta resolución (16,5 millones de puntos) que ha sido analizada con el software *Cloud Compare* (Figura 24). Este programa mediante la herramienta FACETS (Dewez *et al* 2016) permite la obtención y clasificación de planos o discontinuidades a partir de la nube de puntos. Este método se basa en un árbol kd para dividir recursivamente la nube en pequeños parches planos. Estos parches planos se reagrupan en “facetas” o planos más grandes que se pueden clasificar en función de su orientación y espaciado. Todas las discontinuidades así obtenidas han sido comprobadas y validadas con datos obtenidos *in situ* durante la salida de campo. Además, *Cloud Compare* permite el cálculo de distancias, áreas y volúmenes directamente en la nube de puntos.

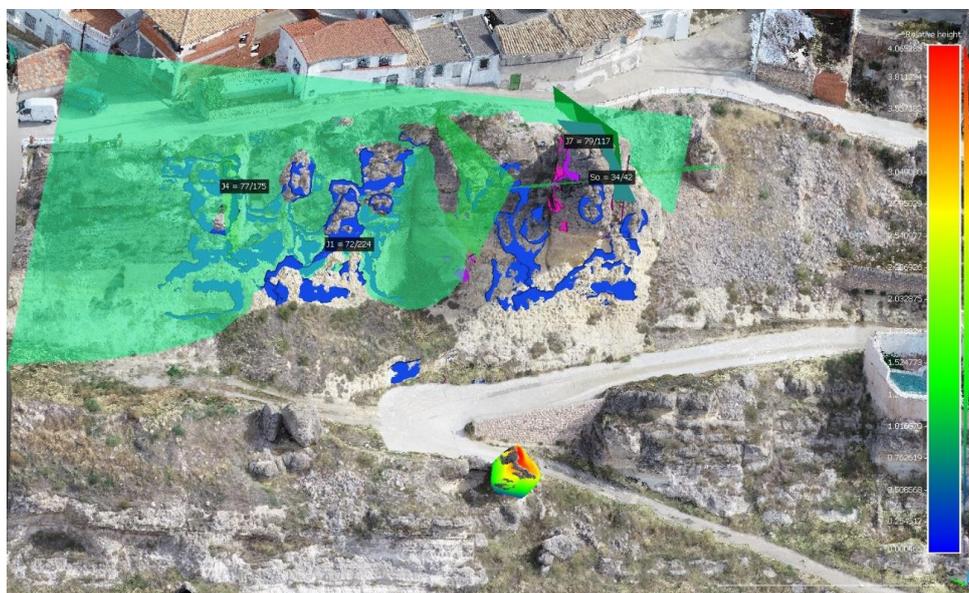


Figura 24. Representación gráfica de la obtención de familias de discontinuidad y cálculo de volúmenes en la nube de puntos de Zafra de Záncara mediante el programa *Cloud Compare*

En las áreas fuente definidas anteriormente se han identificado varias familias de discontinuidades (Figura 25) entre las que destacan tres familias subverticales transversales (J_2 , J_3 y J_4) y otra paralela al talud (J_5) que, en combinación con la estratificación (S_0), están condicionando la fracturación del macizo rocoso y dando lugar a la generación de bloques de cierta entidad (decenas y hasta centenares de metros cúbicos). A esto se añade el hecho de que en la parte inferior del resalte superior se encuentra el material dolomítico arenoso, el cual, al erosionarse más fácilmente, contribuye a descalzar, dejando sin soporte a la roca fracturada y facilitando el movimiento y la caída de rocas hacia la parte más baja de la ladera.



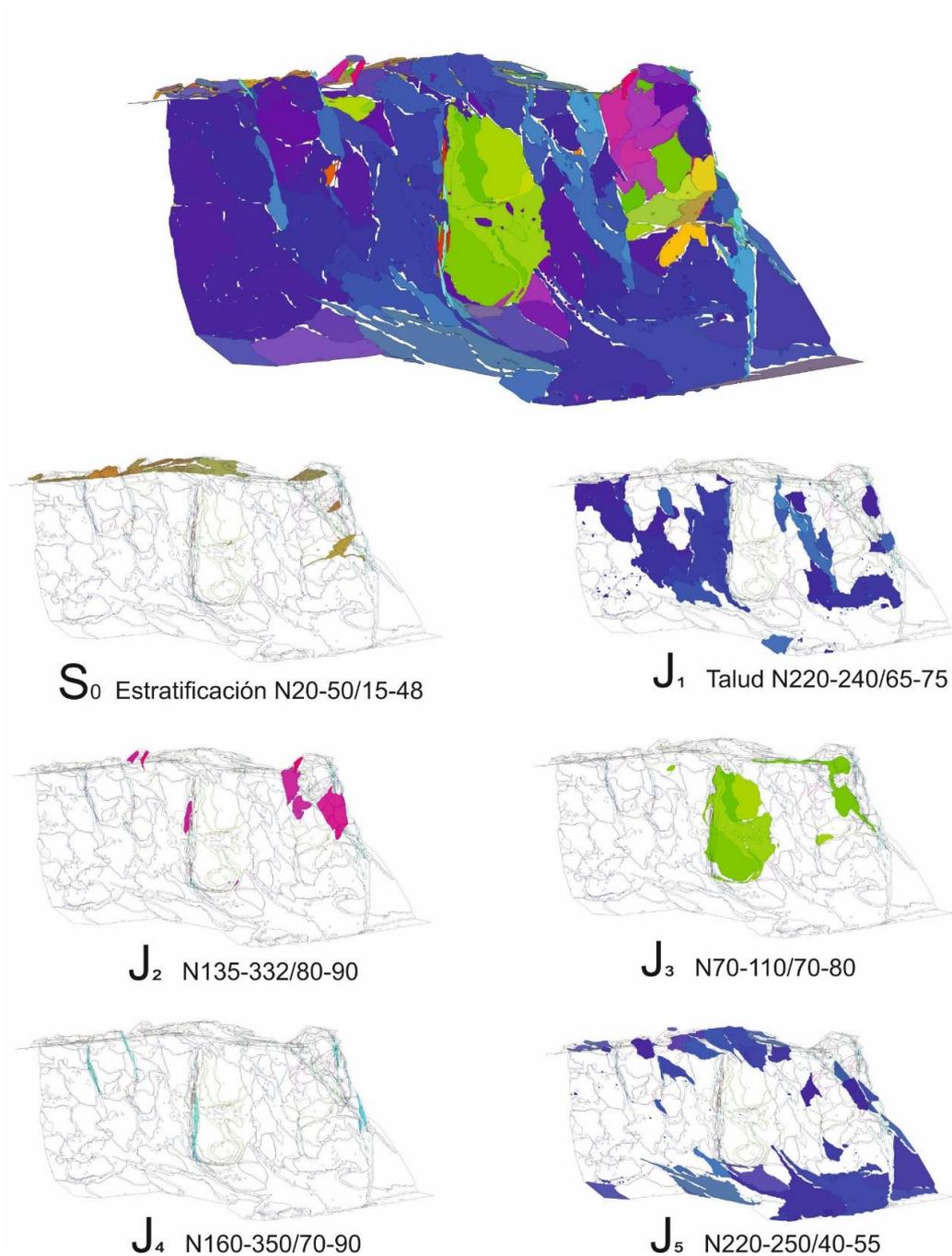


Figura 25. Facetas o planos calculados mediante la herramienta FACETS y su clasificación según las familias de discontinuidades presentes en el macizo rocoso. Los rangos de direcciones están expresados en direcciones de buzamiento y buzamiento

En la Figura 26, se han representado en rojo los bloques que en la actualidad se encuentran en voladizo, alguno de los cuales presentan signos de posible inestabilidad



como la continuidad de grietas abiertas en superficie que individualizan bloques de gran tamaño. Uno de estos bloques meta-estables, el fotografiado en la Figura 27, tiene un tamaño importante, alcanzando los 9,5 m de alto, los 5,5 m de ancho y los 6,2 m de largo y un volumen de unos 247 m³, lo que equivale a unas 642 toneladas de peso.

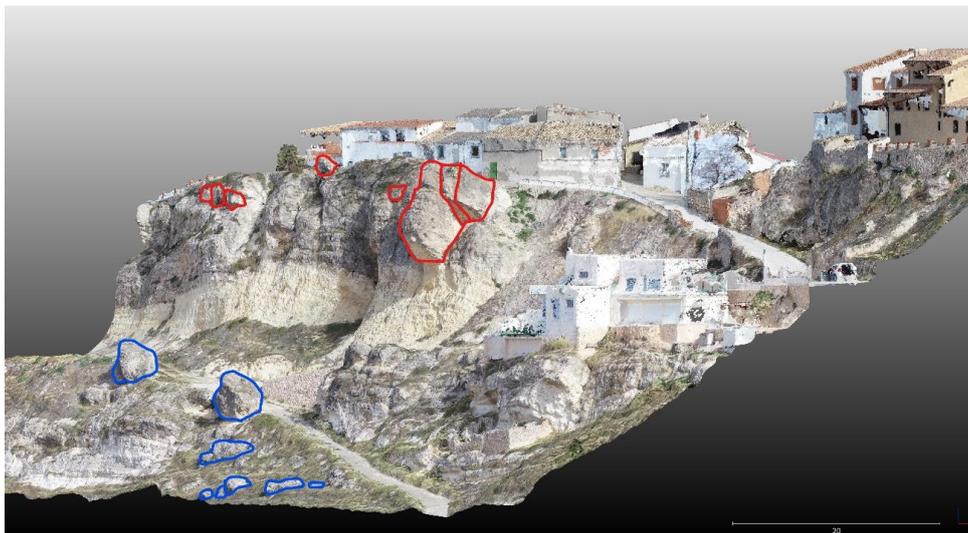


Figura 26. Vista hacia el norte de la nube de puntos de la zona de estudio. En rojo posibles bloques inestables, en azul bloques caídos sobre la ladera



Figura 27. Fotografía en la que se observan en detalle las discontinuidades o grietas verticales que definen el bloque en voladizo. Obsérvese la apertura y gran continuidad de las mismas y la cicatriz, roca más clara en sombra, que dejó en la pared la caída de un bloque anterior



La posible caída de este gran bloque podría afectar al tramo de la calle Onzas que discurre en su parte baja y al solar de una antigua edificación existente en lo alto del bloque (Figura 28), a la altura del número 1 de la calle Amargura, que actualmente se encuentra en proyecto volver a edificar.

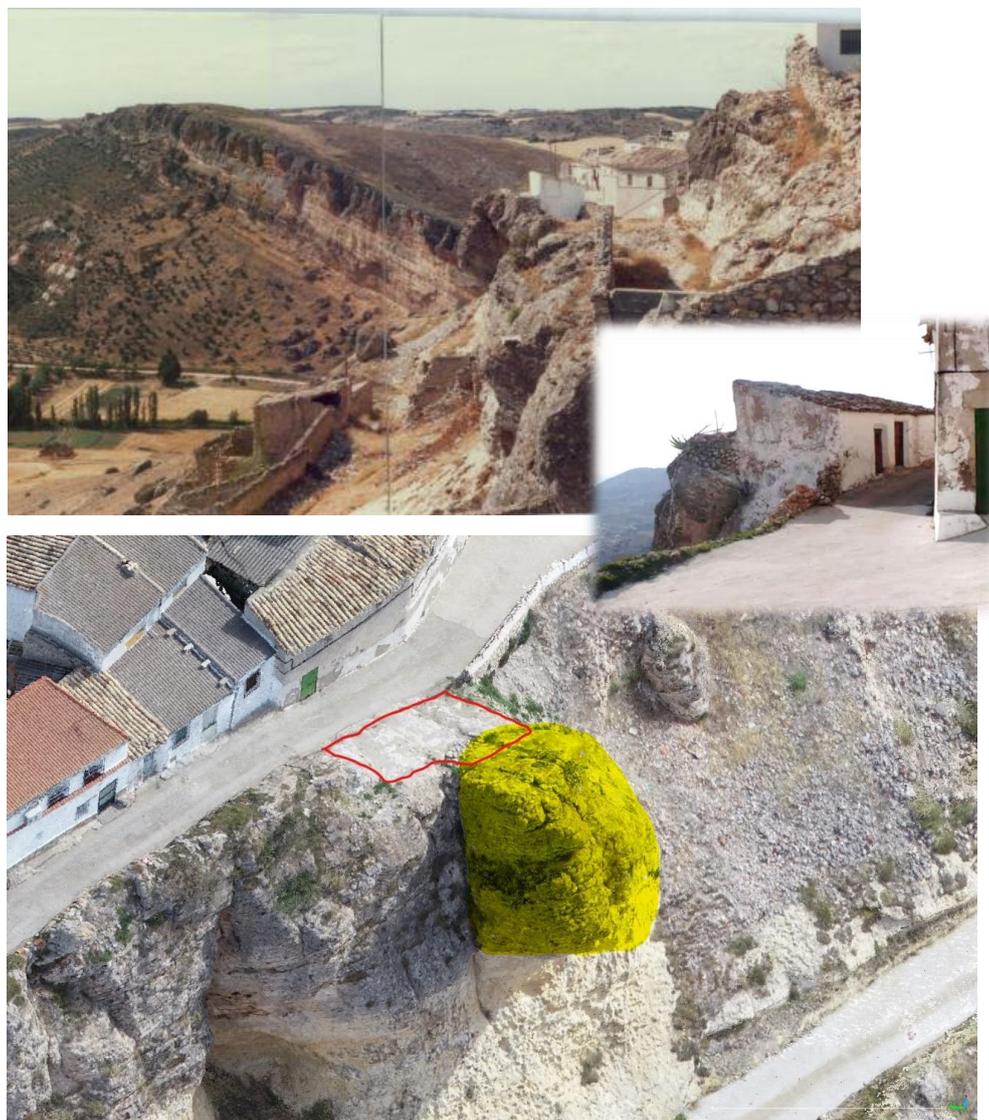


Figura 28. Arriba y centro: fotografías en las que se observa la antigua construcción sobre el bloque inestable en el número 1 de la calle Amargura. Abajo: vista de la nube de puntos 3D con el bloque resaltado en amarillo y en rojo el perímetro aproximado de la parcela.

Dado el riesgo que supondría la posible caída de este bloque, a continuación, se ha realizado un estudio de su estabilidad con objeto de analizar factores condicionantes y desencadenantes y evaluar posibles medidas de contención.



6.2. ESTUDIO DE ESTABILIDAD

El bloque objeto del estudio de estabilidad tiene una forma paralelepédica y alcanza los 247 m³ de volumen. Ha sido individualizado por tres familias de discontinuidades

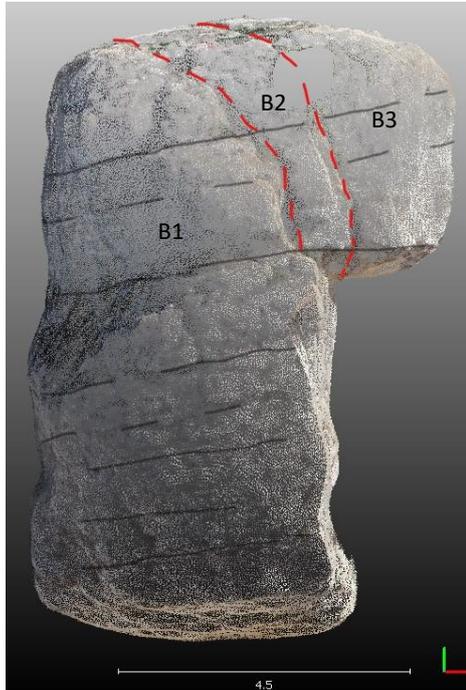


Figura 29. Recorte del “bloque problema” en la nube de puntos 3D. En trazo gris se han representado las trazas de los planos de estratificación (S_0), en rojo dos discontinuidades abiertas (J_7) que separan el bloque en tres partes (B1, B2 y B3)

presentes a lo largo de todo el macizo rocoso: la estratificación o S_0 que define las superficies superior e inferior del bloque, la J_2 que limita sus laterales, y la J_5 que determina los bordes delantero y trasero. Estas discontinuidades han limitado los procesos de erosión y/o desprendimiento de otros bloques adyacentes, quedando actualmente el bloque separado del talud y en voladizo (Figura 28). Además, como se observa en la Figura 29, el bloque se encuentra afectado por unas discontinuidades en forma de fracturas (trazas rojas en Figura 29) que lo individualizan en tres partes, B1 con unos 195 m³ y 9,5 m de dimensión máxima, B2 con unos 23 m³ y 5,4 m de dimensión máxima y B3 con unos 29 m³ y 4,3 m de dimensión máxima.

Las juntas que los mantienen unidos al macizo pertenecen a las familias J_5 y J_7 , tienen continuidad a lo largo de todo el bloque y en superficie se encuentran abiertas varios centímetros. En una de ellas hasta ha crecido la raíz de una planta (Figura 27).

Según la disposición espacial de estas juntas los bloques podrían caer según dos tipos de rotura, una rotura planar a favor de J_5 y/o una rotura “tipo cuña” definida por J_5 y J_7 .

A continuación, se presenta el análisis de estas dos roturas para lo que se han realizado cálculos mediante el módulo Estabilidad de Rocas del programa GEO5 2020.

6.2.1. ANÁLISIS DE ROTURA PLANAR

A continuación, se analiza la posible caída de todo el bloque a favor de la discontinuidad J_5 (228/54) paralela al talud (Figura 30). Para ello se han realizado cálculos del factor de seguridad¹ (FS) a la rotura planar variando una serie de parámetros condicionantes de

¹ El factor de seguridad (también conocido como coeficiente de seguridad) es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido.



la posible rotura. Las condiciones de continuidad de la discontinuidad, es decir la existencia de un “puente de roca” mayor o menor que mantiene el bloque adherido al talud, se ha simulado variando el parámetro de la cohesión² en el cálculo. También se ha tenido en cuenta la posible presencia o no de agua saturando la grieta, un factor desencadenante de este tipo de procesos cuando se alcanzan estados de equilibrio límite.

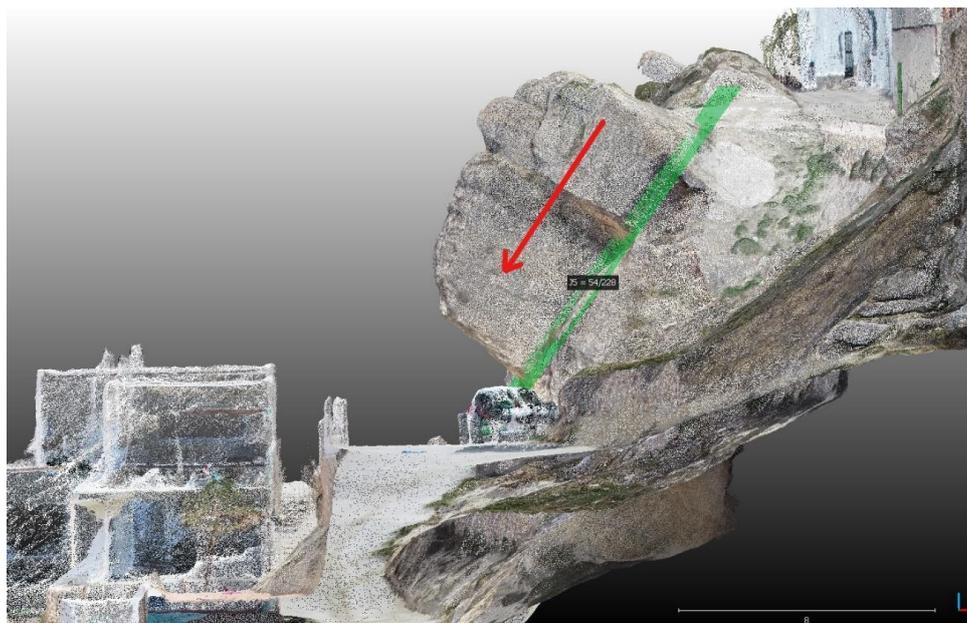


Figura 30. Vista lateral del bloque en la nube de puntos 3D. En verde se ha representado el plano J₅, paralelo al talud, que presenta un buzamiento de unos 54°-56°. Sobre este plano deslizaría el bloque según la dirección de movimiento de la flecha roja. Esta junta se puede observar también en la Figura 23.

Para el cálculo en primer lugar, se ha obtenido un perfil tipo a partir de la nube de puntos 3D y se han definido los parámetros del material la dolomítico con un peso específico medio de 26 kN/m³, una fricción de 40° y una cohesión variable entre 0 y 100 kPa.

En condiciones secas, para cohesiones entre 0 y 27 kPa, el factor de seguridad es menor que 1, lo que significa que la roca habría caído. A partir de 28kPa de cohesión la roca es estable (Figura 31 arriba). No obstante, en condiciones de saturación en agua, no se alcanza la estabilidad hasta un valor de cohesión de 68 kPa (Figura 31 abajo). Por lo tanto, en las condiciones actuales en que episodios de lluvia han podido saturar la discontinuidad, el puente de roca existente dará un efecto de cohesión con un valor mayor de 68 kPa.

A modo de estimación, se ha realizado un cálculo de la fuerza de anclaje requerida para la estabilización de este bloque con un FS = 1,5, en condiciones de saturación y

² La cohesión del terreno es la cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, que dependen, entre otras cosas, del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas.



suponiendo que la cohesión existente es de 100 kPa. Con esta cohesión, en condiciones secas, el FS es 1,83, pero en condiciones de saturación baja a 1,37 por lo que sería necesario anclar el bloque para alcanzar este grado de seguridad (Figura 32).

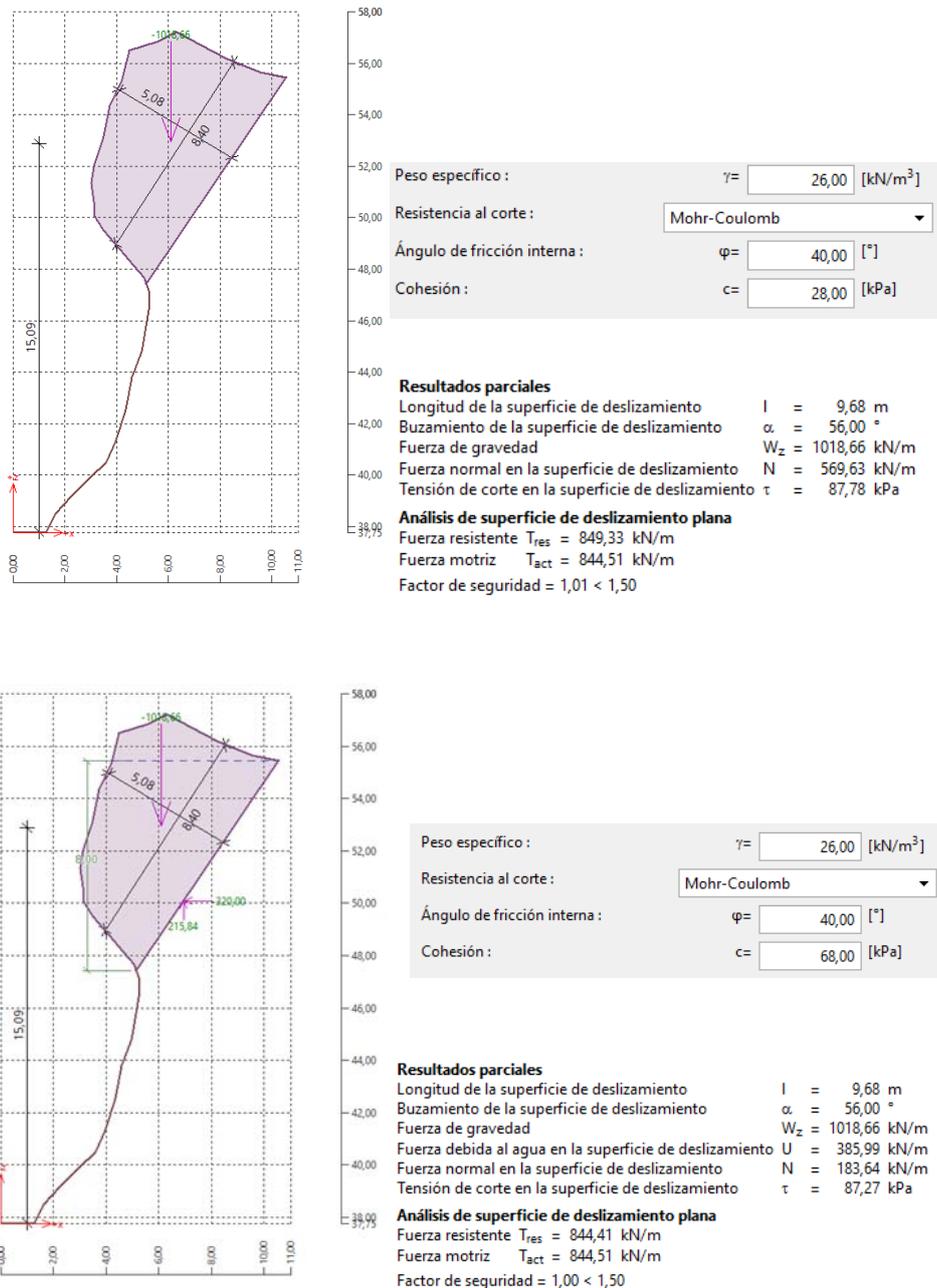
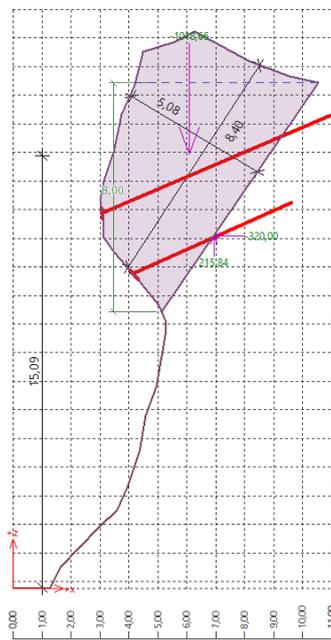


Figura 31. Cálculos de estabilidad de talud rocoso con superficie de deslizamiento plana: Arriba: condiciones secas. Abajo: condiciones saturadas





Peso específico :	$\gamma =$ <input type="text" value="26,00"/> [kN/m ³]
Resistencia al corte :	<input type="text" value="Mohr-Coulomb"/>
Ángulo de fricción interna :	$\varphi =$ <input type="text" value="40,00"/> [°]
Cohesión :	$c =$ <input type="text" value="100,00"/> [kPa]

Resultados parciales

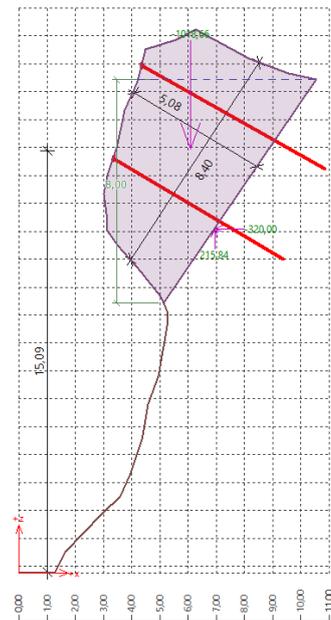
Longitud de la superficie de deslizamiento	$l = 9,68$ m
Buzamiento de la superficie de deslizamiento	$\alpha = 56,00$ °
Fuerza de gravedad	$W_z = 1018,66$ kN/m
Fuerza debida al agua en la superficie de deslizamiento	$U = 385,99$ kN/m
Fuerza normal en la superficie de deslizamiento	$N = 183,64$ kN/m
Tensión de corte en la superficie de deslizamiento	$\tau = 122,93$ kPa

Análisis de superficie de deslizamiento plana

Análisis de la fuerza de anclaje requerida:

Fuerza de anclaje requerida	$= 62,24$ kN
Buzamiento de la fuerza de anclaje	$= -22,00$ °
Fuerza resistente T_{res}	$= 1189,37$ kN/m
Fuerza motriz T_{act}	$= 792,91$ kN/m

Factor de seguridad = 1,50 > 1,50
Estabilidad de talud de roca ES SATISFACTORIA



Peso específico :	$\gamma =$ <input type="text" value="26,00"/> [kN/m ³]
Resistencia al corte :	<input type="text" value="Mohr-Coulomb"/>
Ángulo de fricción interna :	$\varphi =$ <input type="text" value="40,00"/> [°]
Cohesión :	$c =$ <input type="text" value="100,00"/> [kPa]

Resultados parciales

Longitud de la superficie de deslizamiento	$l = 9,68$ m
Buzamiento de la superficie de deslizamiento	$\alpha = 56,00$ °
Fuerza de gravedad	$W_z = 1018,66$ kN/m
Fuerza debida al agua en la superficie de deslizamiento	$U = 385,99$ kN/m
Fuerza normal en la superficie de deslizamiento	$N = 183,64$ kN/m
Tensión de corte en la superficie de deslizamiento	$\tau = 130,92$ kPa

Análisis de superficie de deslizamiento plana

Análisis de la fuerza de anclaje requerida:

Fuerza de anclaje requerida	$= 111,30$ kN
Buzamiento de la fuerza de anclaje	$= 30,00$ °
Fuerza resistente T_{res}	$= 1266,76$ kN/m
Fuerza motriz T_{act}	$= 844,51$ kN/m

Factor de seguridad = 1,50 > 1,50
Estabilidad de talud de roca ES SATISFACTORIA

Figura 32. Cálculos de estabilidad de talud rocoso con superficie de deslizamiento plana: Arriba: cálculo de la fuerza de anclaje activo. Abajo: cálculo de la fuerza de anclaje pasivo.



6.2.2. ANÁLISIS DE ROTURA EN CUÑA

En el segundo caso de posible rotura, se interpreta que el primer bloque susceptible de individualizarse y desprenderse sería el B3. Si esto ocurriese, dejaría al bloque B2 en situación meta-estable con altas probabilidades de que también caiga. Este movimiento sería de “tipo de cuña” definida por las discontinuidades J_7 (117/79) y J_5 (228/54), como se muestra en la figura 33.

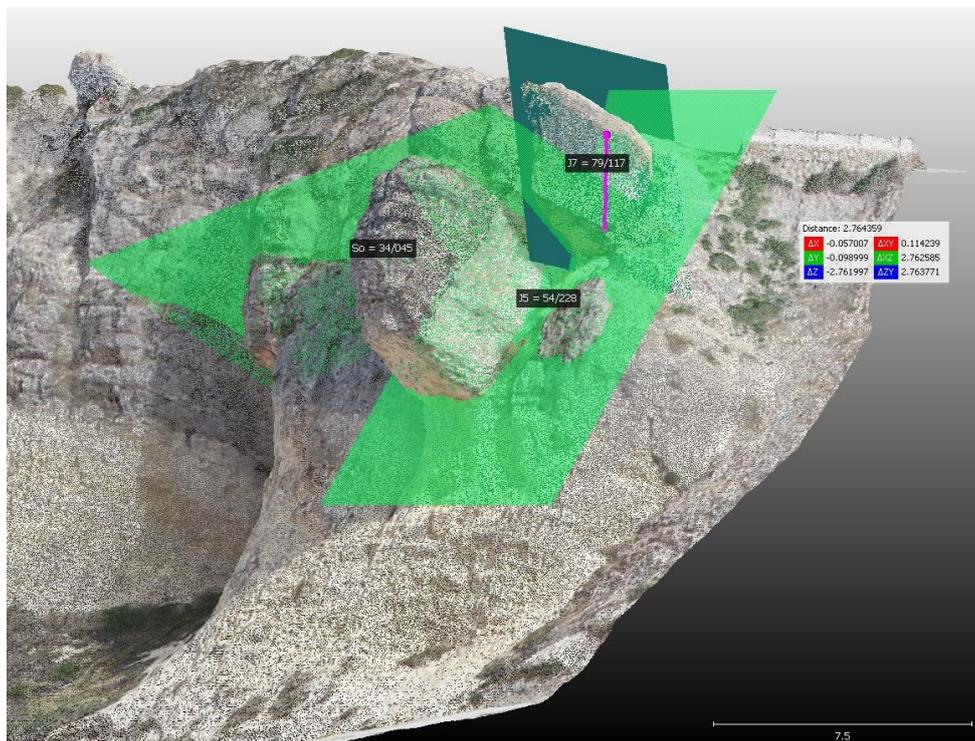


Figura 33. Extracto de la nube de puntos 3D en la que aparecen en verde los planos que definen el bloque de roca B3

A modo de ejemplo se ha calculado el factor de seguridad para una rotura tipo cuña que afectaría al bloque B3.

Como se observa en la figura 34, los planos que definen la cuña se cortan según el eje N193/50, que sale por el frente del talud y buza más que el ángulo de rozamiento interno estimado para las discontinuidades, esto que hace que este bloque sea cinemáticamente inestable.



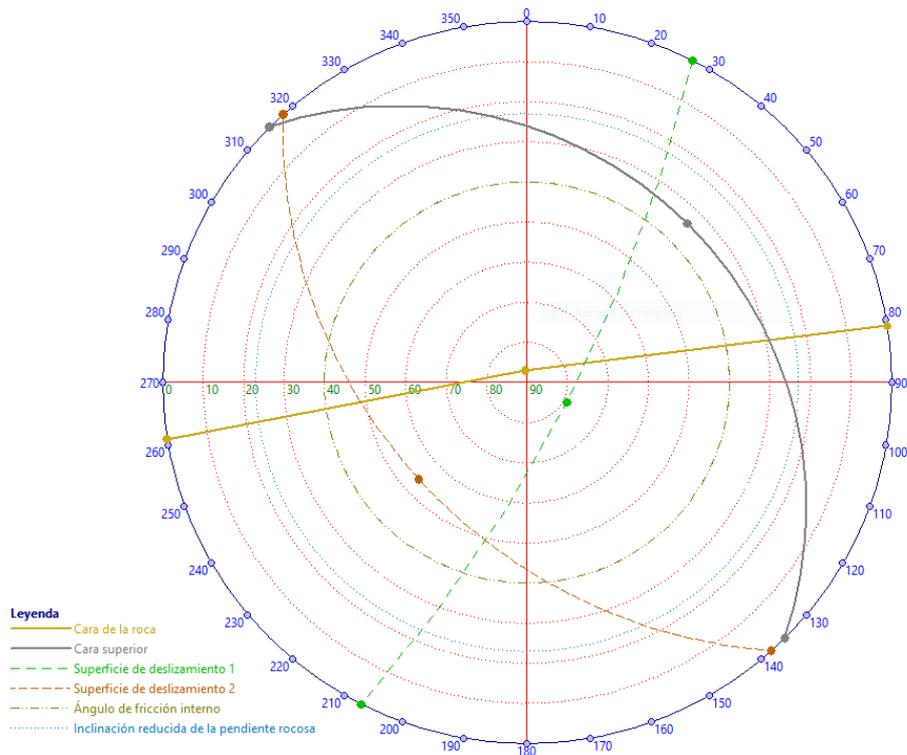


Figura 34. Proyección estereográfica de los planos que definen la rotura tipo cuña por la que puede desprenderse el bloque B3

Del cálculo del factor de seguridad en condiciones saturadas (las más desfavorables) podemos concluir que la caída se produciría cuando la cohesión en las juntas alcanzara valores en torno a los 2,2 kPa, valores muy reducidos que se alcanzarían en condiciones de apertura y alteración importante de las discontinuidades.

A modo de orientación para la adopción de medidas mitigadoras se ha realizado un cálculo complementario de la tensión de anclaje necesaria para sujetar la cuña en estas condiciones (Figura 35).



Geometría

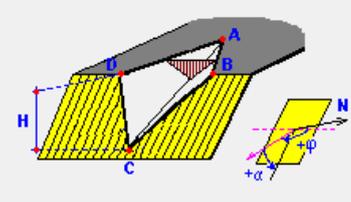
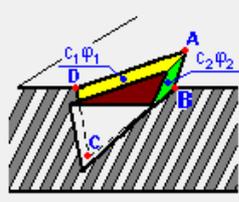
Dirección de inclinación de la pendiente: $\varphi_1 = 171,00$ [°]
 Buzamiento de la cara de roca: $\alpha_1 = 87,00$ [°]
 Dirección de inclinación de la cara sup.: $\varphi_2 = 45,00$ [°]
 Buzamiento de la cara superior: $\alpha_2 = 34,00$ [°]
 Altura del frente: $H = 3,00$ [m]

Frente de roca voladizo

Dir. de inclinación de la sup. desliz. 1: $\varphi_{s1} = 117,00$ [°]
 Buzamiento de la sup. de desliz. 1: $\alpha_{s1} = 79,00$ [°]
 Dir. de inclinación de la sup. desliz. 2: $\varphi_{s2} = 228,00$ [°]
 Buzamiento de la sup. de desliz. 2: $\alpha_{s2} = 54,00$ [°]

Parámetros

Peso unitario de roca: $\gamma = 26,00$ [kN/m³]
 Ángulo de fricción interna de la sup. de desliz. 1: $\varphi_1 = 40,00$ [°]
 $\varphi_2 = 40,00$ [°]
 Cohesión de superficie de deslizamiento: $c_1 = 2,20$ [kPa]
 $c_2 = 2,20$ [kPa]

Resultados parciales

Fuerza de gravedad	$W_z = 36,50$ kN
Fuerza normal debida al agua	$U_{N1} = -6,03$ kN
Fuerza normal debida al agua	$U_{N2} = -7,06$ kN
Resultante de fuerza normal	$N_1 = 4,96$ kN
Resultante de fuerza normal	$N_2 = 16,29$ kN
Fuerza resistente	$T_{res1} = 10,03$ kN
Fuerza resistente	$T_{res2} = 17,53$ kN
Resultante de fuerzas motrices	$T_{act} = 27,47$ kN
Resultante de la fuerza resistente	$T_{res} = 27,56$ kN

Análisis de cuña de tierra

Fuerza resistente	$T_{res} = 27,56$ kN/m
Fuerza motriz	$T_{act} = 27,47$ kN/m
Factor de seguridad	$= 1,00 < 1,50$
Análisis de la fuerza de anclaje requerida:	
Buzamiento de la fuerza de anclaje	$\alpha = -20,00$ °
Dirección de la fuerza de anclaje	$\varphi = 190,00$ °
Fuerza de anclaje requerida	$F = 7,13$ kN

Fuerza resistente	$T_{res} = 31,92$ kN/m
Fuerza motriz	$T_{act} = 21,24$ kN/m
Factor de seguridad	$= 1,50 > 1,50$

Estabilidad de talud de roca **ES SATISFACTORIA**

Figura 35. Cálculos de estabilidad de talud rocoso con superficie de deslizamiento tipo cuña



A modo de conclusión de este estudio de estabilidad, la susceptibilidad de caída de grandes bloques es alta. No se puede garantizar que las roturas vayan a producirse en una escala de días, meses o años. La incertidumbre es muy alta ya que se desconoce el grado de progresión de la rotura y el estado de alteración en los planos de discontinuidad que delimitan los bloques en su interior. Por otro lado, si entran en juego otros factores como precipitaciones intensas en periodos cortos de tiempo o/y la acción de la gelifracción en épocas invernales, estos podrían anticipar las caídas.

7. CONCLUSIONES

- El conjunto urbano de Zafra de Záncara se emplaza sobre un elevado cerro cuya ladera suroeste culmina con una serie de escarpes rocosos que tienen pendientes subverticales. En estos taludes se vienen produciendo, como proceso natural, desprendimientos de bloques rocosos que se observan dispersos sobre la ladera.
- La localidad asienta sobre materiales carbonatados edad Cretácico superior que afloran en el flanco oriental de una estructura anticlinal conocida como el “Anticlinal de Zafra de Záncara”. En concreto, los escarpes se desarrollan en la Formación Dolomías de la Ciudad Encantada de edad Turoniense, constituida por un conjunto de 45 m de dolomías en gruesos bancos, de aspecto masivo. Bajo los resaltes rocosos formados por las dolomías masivas de esta formación es donde existen los problemas de caídas de bloques observadas.
- El clima mediterráneo de Zafra de Záncara se caracteriza por precipitaciones relativamente bajas, localizadas en primavera y otoño y temperaturas suaves que tienden a bajar en los meses de invierno, con heladas importantes. Estos factores meteorológicos pueden condicionar la ocurrencia de procesos de meteorización física por cambios de volumen, como la gelifracción o crioclastia (ciclos hielo-deshielo) en épocas en las que coincidan lluvias y heladas o la termoclastia (cambios bruscos de temperatura), en los escarpes rocosos que bordean la localidad.
- Según los datos de sismicidad histórica e instrumental oficiales recopilados no creemos que tengan relación con las caídas de bloques desde los escarpes susceptibles de generar desprendimientos en la población. No obstante, al no haber estudios de neotectónica, paleosismología y arqueosismología en la zona no se puede descartar totalmente que la sismicidad sea un factor desencadenante de movimientos de ladera.
- La existencia, orientación, continuidad, espaciado y estado de alteración de seis familias de discontinuidades en el macizo rocoso formado por las dolomías masivas recrystalizadas de la Formación Dolomías de la Ciudad Encantada han



determinado su susceptibilidad alta como “zona fuente” de desprendimientos de bloques rocosos de tamaño métrico a decimétrico.

- Se ha descrito un bloque paralelepípedo de unos 247 m³ de volumen susceptible de desprenderse y se ha realizado un estudio de su estabilidad. Aunque la susceptibilidad de caída de este gran bloque es alta, no se puede predecir la rotura. La incertidumbre es muy alta ya que se desconoce el grado de continuidad y el estado de alteración en los planos de discontinuidad que delimitan los bloques en su interior. Por otro lado, si entran en juego otros factores como precipitaciones intensas en periodos cortos de tiempo, la acción de la gelifracción en épocas invernales, y/o las sobrecargas en cabecera, estos podrían anticipar las caídas.

8. RECOMENDACIONES

El presente informe recoge, una vez descrita con detalle la problemática de los procesos, exclusivamente unas recomendaciones a tener en cuenta de cara al establecimiento de medidas mitigadoras a realizar en la localidad de Zafra de Záncara, en el escarpe donde se han identificado la presencia de sistemas de fracturación desarrollados por grietas verticales que están afectando a las rocas presentes en la zona. También se ha inspeccionado un gran bloque que se encuentra suspendido de manera natural sobre el escarpe, sin ningún tipo de sostenimiento y que muestra signos evidentes de inestabilidad. Dado que las zonas fuente y de alcance de bloques desprendidos incluirían una finca urbana y tramos de dos vías públicas y que la susceptibilidad de que se produzca la caída de bloques es elevada, se recomienda llevar a cabo acciones de mitigación del riesgo tales como:

- Control de las grietas verticales, mediante la ubicación de al menos 2 o 3 fisurómetros sobre la superficie de grietas tanto a corto como a largo plazo.
- Tratamiento del macizo rocoso que evite la filtración del agua de lluvia a través de grietas y su circulación por las superficies de discontinuidad. Para ello puede tener sentido el sellado de grietas y fisuras superficiales.
- Estabilización del conjunto de bloques estudiados mediante la colocación de anclajes.
- Saneamiento del bloque B3 con empleo de gatos hidráulicos y/o maquinaria con martillo neumático para fragmentar el bloque aprovechando los planos de discontinuidad existentes en la parte alta de la zona de estudio. La ejecución de esta medida se supedita al criterio experto en caso de que se determine que las juntas que individualizan el bloque están lo suficientemente abiertas y/o alteradas para que su caída suponga un riesgo inminente.



Como medidas preventivas de cara a reducir el peligro de caída de rocas en todo el casco urbano susceptible, es decir, toda la ladera suroeste sobre la que se asienta parte de la población, se recomienda:

- Gestión del drenaje urbano: ante la imposibilidad de evitar la precipitación directa sobre el macizo rocoso, al menos se recomienda evitar que el agua precipitada o condensada sobre otras superficies (tejados, fachadas, patios y jardines) se infiltre y alcance el suelo, el subsuelo del macizo rocoso, o sus inmediaciones. Para ello es preciso asegurarse de que todas las edificaciones y superficies antrópicas (patios, jardines terrazas) tienen sistemas de evacuación (canalones y bajantes) sin fugas y éstos enlazan con los colectores sin que se produzcan pérdidas que se infiltren en el macizo rocoso. Igualmente, las calles tienen que tener un sistema de recogida de pluviales con imbornales y colectores que deben estar adecuadamente diseñados y ejecutados, sin fugas y garantizando el drenaje aún en intensidades de lluvia que superen los 5 l/m²·h, o el valor de diseño estimado por las normas vigentes.
- Ejecución de inspecciones y saneos en las zonas del macizo que presenten bloques de dimensiones pequeñas (decimétricas a métricas) manifiestamente inestables que sean susceptibles de ocasionar daños en infraestructuras o paso de vehículos o viandantes, evitando además que ninguna persona acceda a estas áreas ya que existe la preocupación de que puedan provocarse nuevas caídas de rocas.

El diseño específico de las medidas propuestas deberá ser debidamente acometido por técnicos especialistas en la materia, con el objetivo de que se evite la entrada de agua de lluvia en el macizo rocoso; de que se garantice un control en la ejecución de los saneos; de que se dimensionen apropiadamente los elementos de contención considerando un empotramiento adecuado en la roca intacta del macizo; y de que se lleve a cabo un seguimiento de la apertura de grietas identificadas para considerar otras soluciones que puedan ser más apropiadas en base a estos resultados de control.

En Madrid, a 06 de marzo de 2020

Autores del informe:

Juan Carlos García López-Davalillo

Mario Hernández Ruiz

Área de Riesgos Geológicos del IGME

VºBº:

Jefa del Proyecto

Raquel Morales García

*Área de Hidrogeología General y
Calidad del Agua del IGME*



BIBLIOGRAFIA

- Alonso – Zarza, A.M., Calvo, J.P, Silva, P.G., Torres, T. Capítulo 6.5.2 La depresión Intermedia. (Tomado del libro: Capítulo 6 Libro Geología de España. Sociedad Geológica de España Instituto Geológico y Minero de España, 2004)
- Álvaro M., Capote R. and Vegas R. 1979. Un modelo de evolución geotectónica para la Cadena Celtibérica. Acta Geológica Hispánica 14, 172–177.
- Ayala, C., Rubio, F.M., Rey-Moral, C., Reguera, M.I. and Biete, C. (2019) Three-dimensional geophysical characterization of the La Rambla and Zafra de Zancara anticlines (Loranca Basin, Central Spain). Geophysical Prospecting, 67, 580–594. DOI: 10.1111/1365-2478.12745
- Dewez, T. J. B., Girardeau-Montaut, D., Allanic, C., and Rohmer, J.: FACETS: a Cloud Compare plugin to extract geological planes from unstructured 3d point clouds, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLI-B5, 799-804, doi:10.5194/isprs-archives-XLI-B5-799-2016, 2016.
- Díaz Molina, M. y Lendínez, González, A. (1991). Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, Segunda Serie. Hoja Geológica 633 Palomares del Campo. (Publicada por el IGME en 1999). [https://es.wikipedia.org/wiki/Zafra de Záncara](https://es.wikipedia.org/wiki/Zafra_de_Záncara)
- IGME 2009. Plan de selección y caracterización de áreas y estructuras favorables para el almacenamiento geológico de CO2 en España. SID IGME base de datos docs nº 64.044 a 64.055.
- Romero-Jarén, R; Quirós, L; Sorondo, F; Benito, B; “Estimación del Riesgo Sísmico en Castilla – La Mancha para la elaboración del plan especial de emergencias”. CIGeo. Primer Congreso en Ingeniería Geomática. Valencia, Julio de 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/CIGeo2017.2017.6670>
- Valcárcel-Rodríguez M. 2015. Reconstrucción y restitución 3D del anticlinal de Puerta-Pareja y estudio de su evolución deformacional y cinemática en su contexto regional (cuenca de Loranca y Sierra de Altomira). PhD Thesis, Universitat de Barcelona, Barcelona, Spain, 285 pp.
- Visor SIGPAC V 3.5. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente



ANEXO

Solicitud de estudio remitida por el ayuntamiento de Zafra de Záncara

CSV : GEN-4691-b268-3c55-a261-54ae-f204-9e42-f69d

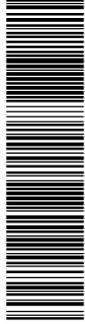
DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN : <https://sede.administracion.gob.es/pagSedeFront/servicios/consultaCSV.htm>

FIRMANTE(1) : JUAN CARLOS GARCÍA LÓPEZ-DAVALILLO | FECHA : 10/03/2020 16:17 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45

FIRMANTE(2) : MARIO HERNANDEZ RUIZ | FECHA : 12/03/2020 09:45 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45



DOCUMENTO Documento por defecto: 20190326_SOLICITUD_DE_ASISTENCIA_TECNICA_ESTUDIO_GEOLOGICO.PDF	IDENTIFICADORES Número de la anotación: 2846, Fecha de entrada: 26/03/2019 18:15:00	
OTROS DATOS Código para validación: WMF6U-TU7B3-8GCUU Página 1 de 2	FIRMAS	ESTADO INCLUYE FIRMA EXTERNA



Esta es una copia impresa del documento electrónico (Ref: 178022 WMF6U-TU7B3-8GCUU 68E1AE8D3C3685AA1CE098BF862F158900E) generada con la aplicación informática Firmadoc. El documento no requiere firmas. Mediante el código de verificación puede comprobar la validez de la firma electrónica de los documentos firmados en la dirección web: https://sede.dipucuenca.es/portal/verificarDocumentos.do?pes_codi=5&en_ld=1&idoma=1 Firmas previas: . 1. C=ES. O=AYUNTAMIENTO DE ZAFRA DE ZANCARA, OID.2.5.4.97=VATES-P1628700E, CN=0987144/MARIA CARMEN BARCO (R: P1628700E), SN=BARCO DIAZ, G=MARIA CARMEN, SERIALNUMBER=IDGES-00887144, Description=Ref/AEAT/EA/T041/PUESTO 1381617/18892018193536 (CN=AC Representación, OU=CERES, O=FNMT-RCM, C=ES) el 26/03/2019 18:15:03.



Ayuntamiento de Zafra de Záncara

Expediente n.º: 12/2019

Ilmo. Sr. Don Benjamín Prieto Valencia
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL
Calle Aguirre nº 1
16071 – CUENCA

**Asunto: Solicitando asistencia técnica
Licencia de obra "PROYECTO DE NAVE PARA MAQUINARIA Y APEROS
AGRICOLAS**

Ilmo. Señor:

Me dirijo a usted con el fin de comunicar que en unas de las zonas del casco urbano existen unas rocas que pueden apreciarse que se han abierto grietas y se han desprendido algunas rocas y piedras. Careciendo esta Corporación de técnicos municipales, solicito la asistencia del que considere oportuna, para la realización del preceptivo estudio detallado de la geología de la zona, análisis de causas que hayan podido causar el riesgo en cuestión, así como diferentes impactos que puedan causar y un análisis final de posibles soluciones planteadas con el fin de eliminar o aminorar el riesgo existente, tanto en las fincas urbanas colindantes como en las vías públicas.

Se adjunta reportaje fotográfico y plano de situación.

En Zafra de Záncara a 26 de marzo de 2019.

EL ALCALDE

Fdo.: Don Antonio García Bermejo

Documento firmado electrónicamente al margen con código seguro de verificación (CSV).

AYUNTAMIENTO DE ZAFRA DE ZANCARA, Plaza Mayor, 1 – ZAFRA DE ZANCARA (CUENCA) –
C.P. 18771 - TELF. 969298409 – FAX: 969298164 - CIF: P1628700E

CSV : GEN-4691-b268-3c55-a261-54ae-f204-9e42-f69d

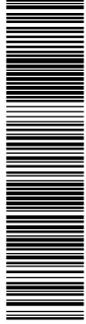
DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN : https://sede.administracion.gob.es/pagSedeFront/servicios/consultaCSV.htm

FIRMANTE(1) : JUAN CARLOS GARCÍA LÓPEZ-DAVALILLO | FECHA : 10/03/2020 16:17 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45

FIRMANTE(2) : MARIO HERNANDEZ RUIZ | FECHA : 12/03/2020 09:45 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45



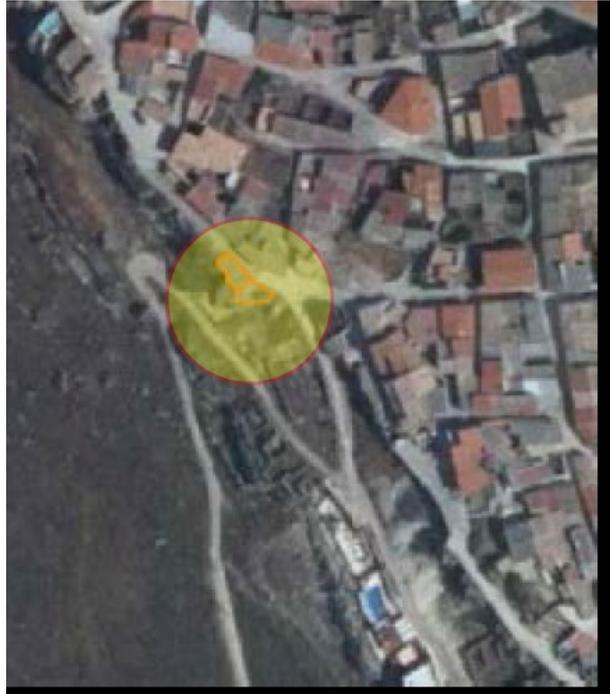
DOCUMENTO Documento por defecto: 20190326_SOLICITUD_DE_ASISTENCIA_TECNICA_ESTUDIO_GEOLOGICO.PDF	IDENTIFICADORES Número de la anotación: 2846, Fecha de entrada: 26/03/2019 18:15:00	
OTROS DATOS Código para validación: WMF6U-TU7B3-8GCUU Página 2 de 2	FIRMAS	ESTADO INCLUYE FIRMA EXTERNA



Esta es una copia impresa del documento electrónico (Ref: 178022 WMF6U-TU7B3-8GCUU 68E1AE8D3C3685AA1CE098BF862F158900E) generada con la aplicación informática Firmadoc. El documento no requiere firmas. Mediante el código de verificación puede comprobar la validez de la firma electrónica de los documentos firmados en la dirección web: https://sede.dipucuenca.es/portal/Ciudadano/portal/verificarDocumentos.do?pes_coc=5&en_id=1&idoma=1 Firmas previas: .1. C=ES. O=AYUNTAMIENTO DE ZAFRA DE ZANCARA, OID.2.5.4.97=VATES-P1628700E, CN=0987144, MARIA CARMEN BARCO (R: P1628700E), SN=BARCO DIAZ, G=MARIA CARMEN, SERIALNUMBER=IDGES-00887144, Description=Ref/AEAT/EA/T04/W/PUESTO1738161718692018193536 (CN=AC Representación, OU=CERES, O=FNMTRCM, C=ES) el 26/03/2019 18:15:03.



Ayuntamiento de Zafra de Záncara



AYUNTAMIENTO DE ZAFRA DE ZANCARA, Plaza Mayor, 1 – ZAFRA DE ZANCARA (CUENCA) –
C.P. 18771 - TELF. 969298409 – FAX. 969298164 - CIF: P1628700E

CSV : GEN-4691-b268-3c55-a261-54ae-f204-9e42-f69d

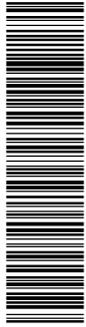
DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN : <https://sede.administracion.gob.es/pagSedeFront/servicios/consultaCSV.htm>

FIRMANTE(1) : JUAN CARLOS GARCÍA LÓPEZ-DAVALILLO | FECHA : 10/03/2020 16:17 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45

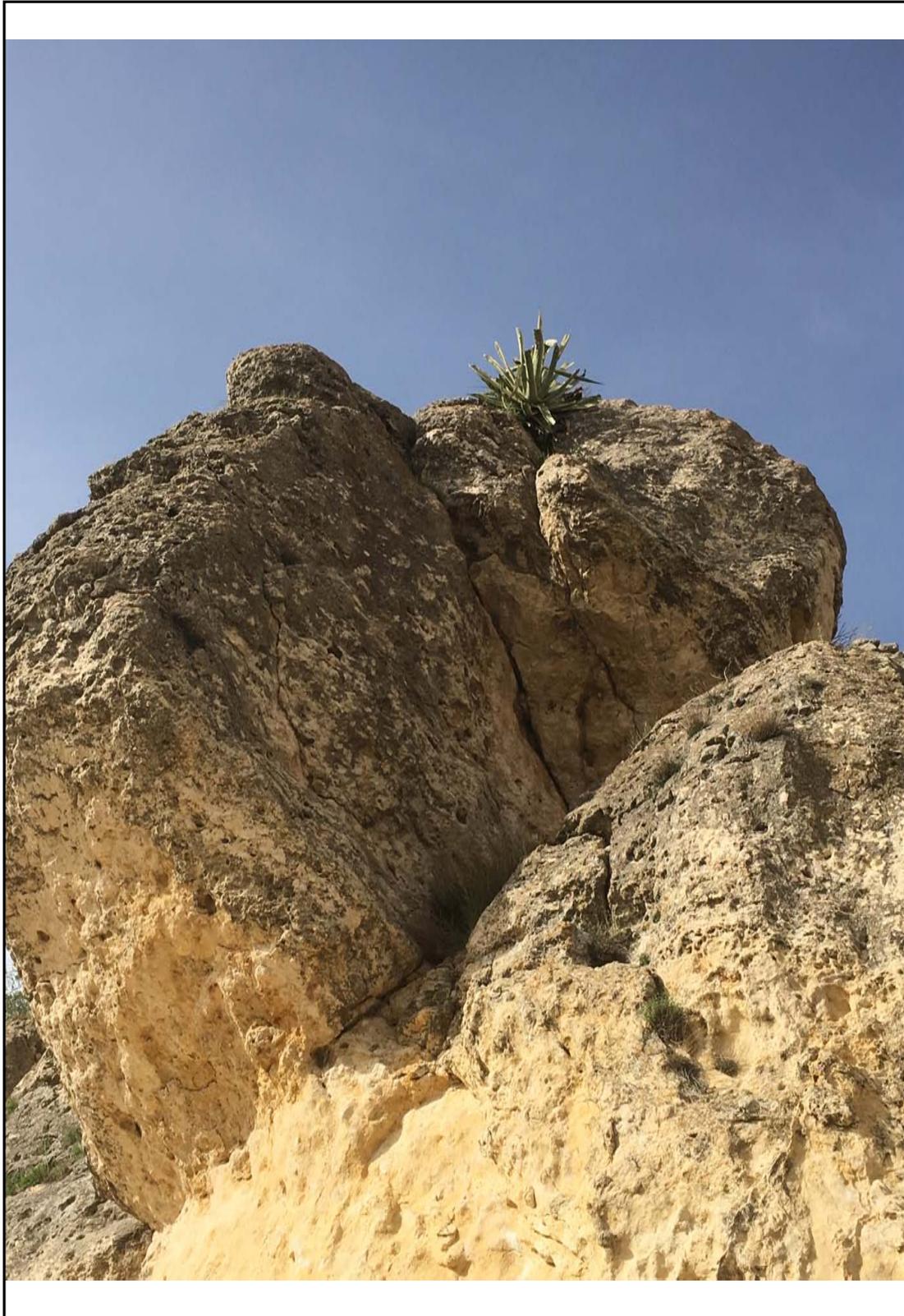
FIRMANTE(2) : MARIO HERNANDEZ RUIZ | FECHA : 12/03/2020 09:45 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45



DOCUMENTO Documento por defecto: 20190326_IMG_0230.JPG	IDENTIFICADORES Número de la anotación: 2846, Fecha de entrada: 26/03/2019 18:15:00	
OTROS DATOS Código para validación: 7RKRH-XBRXG-D1X3V Página 1 de 1	FIRMAS	ESTADO INCLUYE FIRMA EXTERNA



Esta es una copia impresa del documento electrónico (Ref: 178025 7RKRH-XBRXG-D1X3V 94D562D3120ABDED6086072B08247FA3F0C6698E) generada con la aplicación informática Firmadoc. El documento no requiere firmas. Mediante el código de verificación puede comprobar la validez de la firma electrónica de los documentos firmados en la dirección web: https://sede.diputacion.es/portal/verificarDocumentos.do?pes_coda=5&en_id=1&idoma=1 Firmas previas: . 1. C=ES. O=AYUNTAMIENTO DE ZAFRA DE ZANCARA, OID.2.5.4.97=VATES-P1628700E, CN=09687144, MARIA CARMEN BARCO (R: P1628700E), SN=BARCO DIAZ, G=MARIA CARMEN, SERIALNUMBER=IDGES-00887144, Description=Ref/AEAT/EAAT0414/PUESTO 138161718892018133536 (CN=AC Representación, OU=CERES, O=FNMT-RCM, C=ES) el 26/03/2019 18:15:03.



CSV : GEN-4691-b268-3c55-a261-54ae-f204-9e42-f69d

DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN : <https://sede.administracion.gob.es/pagSedeFront/servicios/consultaCSV.htm>

FIRMANTE(1) : JUAN CARLOS GARCÍA LÓPEZ-DAVALILLO | FECHA : 10/03/2020 16:17 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45

FIRMANTE(2) : MARIO HERNANDEZ RUIZ | FECHA : 12/03/2020 09:45 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45



DOCUMENTO Documento por defecto: 20190326_IMG_0234_(1) .JPG	IDENTIFICADORES Número de la anotación: 2846, Fecha de entrada: 26/03/2019 18:15 :00	
OTROS DATOS Código para validación: U43Z6-SF6AO-52UJD Página 1 de 1	FIRMAS	ESTADO INCLUYE FIRMA EXTERNA



Esta es una copia impresa del documento electrónico (Ref: 178026 U43Z6-SF6AO-52UJD B3D6FC9C5D9F50C4FBCA9830017E7DE63D91C3A2) generada con la aplicación informática Firmadoc. El documento no requiere firmas. Mediante el código de verificación puede comprobar la validez de la firma electrónica de los documentos firmados en la dirección web: https://sede.diputaciona.es/portal/verificarDocumentos.do?pas_coda=5&en_id=1&idoma=1 Firmas previas: . 1. C=ES. O=Ayuntamiento de Zafra de Zancara, OID.2.5.4.97=VATES-P1628700E, CN=0987144, MARIA CARMEN BARCO (R: P1628700E), SN=BARCO DIAZ, G=MARIA CARMEN, SERIALNUMBER=IDGES-00887144, Description=Ref/AEAT/AEAT041/PUESTO 1381617/18892018133336 (CN=AC Representación, OU=CERES, O=FNMT-RCM, C=ES) el 26/03/2019 18:15:03.



CSV : GEN-4691-b268-3c55-a261-54ae-f204-9e42-f69d

DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN : <https://sede.administracion.gob.es/pagSedeFront/servicios/consultaCSV.htm>

FIRMANTE(1) : JUAN CARLOS GARCÍA LÓPEZ-DAVALILLO | FECHA : 10/03/2020 16:17 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45

FIRMANTE(2) : MARIO HERNANDEZ RUIZ | FECHA : 12/03/2020 09:45 | Informa | Sello de Tiempo: 12/03/2020 09:45

