

ESTUDIO TÉCNICO HIDROGEOLÓGICO-GEOTÉCNICO
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA Balsa DE
ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS DE INDUSTRIA DE
ADEREZO, DESHUESO-RELLENO, ENVASADO Y
OXIDACIÓN DE ACEITUNAS. ACEITUNAS JAIRO (VEGAS
DE CORIA, CÁCERES).



Consultoría en geología, hidrogeología, SIG y Teledetección

1 CONTENIDO

1	ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.....	4
1.1	ANTECEDENTES	4
1.2	OBJETIVOS	4
2	ÁREA DE ESTUDIO	6
3	HIDROLOGÍA	9
3.1	DATOS CLIMÁTICOS.....	9
3.2	CAUDALES Y ZONA INUNDABLE	10
4	MARCO GEOLÓGICO.....	14
4.1	GEOLOGIA REGIONAL.....	14
4.2	GEOLOGIA LOCAL.....	17
4.2.1	ESTRATIGRAFÍA.....	18
4.2.2	ESTRUCTURAS	19
4.2.3	GEOMORFOLOGÍA	21
4.2.4	GEOTECNIA.....	23
5	HIDROGEOLOGÍA.....	24
5.1	INVENTARIO.....	24
5.2	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.....	24
6	MODELO CONCEPTUAL Y EFECTO DE LA EXCAVACIÓN DE LA Balsa.....	25
6.1	MODELO CONCEPTUAL	25
6.2	EFECTO DE LA EXCAVACIÓN DE LA Balsa.	25
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
	Tabla 3.1. Resumen anual de datos climáticos años 2016 a 2018.	9
	Tabla 4.1. Detalle de las observaciones realizadas en terreno.....	18
	Tabla 5.2. Equivalencia entre litologías, fracturación y unidades hidrogeológicas (UH).	24
	Figura 1.1.- Diseño final y ubicación de la balsa (Inagro Pilas, 2017).	5
	Figura 2.1.- Situación del área de estudio y principales características	8
	Figura 3.1.- Representación gráfica de datos climáticos mensuales (años 2016-2018)	9
	Figura 3.2.- Ficha de estación meteorológica	10
	Figura 3.3.- Estación SAIH Nuñomoral	11
	Figura 3.4.- Caudales y alturas máximas instantáneas versus precipitación media mensual	12
	Figura 3.5.- Fotografías del cauce del Río Hurdano en el área de estudio (de sur a norte, arriba, y de norte a sur, abajo).	13
	Figura 3.6.- Zonas catalogadas con riesgo de inundación por el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (MAPAMA).....	14

Figura 4.1.- Mapa geológico regional (MAGNA).....	16
Figura 4.2.- Cartografía de detalle.....	17
Figura 4.3.- Sucesión de litologías aflorantes en el área de estudio.....	19
Figura 4.4.- Cata 5. Se observa la composición de clastos centimétricos a decimétricos en matriz arcillosa del suelo e inicio de roca más competente.....	19
Figura 4.5.- Modelo digital realizado a partir de información de alta precisión Lidar (0,5x0,5 m de paso de malla). No se observan estructuras ni fracturas mayores aflorantes en el área de ubicación de la balsa.	20
Figura 4.6.- Pliegue de orden métrico local aflorando en la parte superior del cerro (líneas en negro). No se observan signos de desestabilización del terreno.....	20
Figura 4.7.- Modelos de pendiente, orientación y escorrentía superficial a partir de imagen Lidar.....	22
Figura 4.8.- Principales parámetros geotécnicos por tipo de suelo definidos por el CTE.....	23

1 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1 ANTECEDENTES

Se elabora el presente estudio técnico a petición de Don Julián Sánchez Sánchez, con N.I.F. 7.451-249-P y domicilio en Ctra. De Arrolobos, en representación de la empresa Jairo Olives S.L. (en adelante el promotor), dedicada a la compraventa, aderezo, deshueso-relleno, envasado y oxidación de aceitunas, con C.I.F. B10462273 y domicilio en Ctra. Extremadura 204, km 61, de Vegas de Coria (término municipal de Nuñomoral, Cáceres).

El promotor se encuentra realizando los trámites administrativos necesarios para la legalización de las instalaciones existentes y su ampliación.

Dicha ampliación contempla, entre otras infraestructuras, la construcción de una balsa para almacenamiento de los vertidos industriales de alta conductividad ocasionados. La balsa se construirá en el polígono 6, parcela 114 del término municipal de Caminomorisco (Cáceres), a unos 180 m al sureste de las instalaciones actuales.

Las características de la balsa planificada se muestran en la Tabla 1.1.

BALSA DE EVAPORACIÓN	UNIDADES
Superficie parte superior de la balsa en m ²	2.183,00
Superficie parte inferior de la balsa en m ²	1.551,00
Altura de la balsa en m	2,50
Volumen total en m ³ (considerando una altura de 2,50 m)	4.942,50
Volumen de vertidos en m ³ (considerando una altura de vertidos de 2,00 m)	3.954,00

La balsa llevará una impermeabilización de lámina de PEAD (polietileno de alta densidad) de 1,5 mm de espesor (norma de calidad ISO 9001) soldada entre sí por termofusión y el remate perimetral será una zanja donde se meterá la lámina e irá enterrada, quedando así anclada y fija.

1.2 OBJETIVOS

Este estudio técnico tiene como objetivo principal la caracterización hidrogeológica y geotécnica de los materiales presentes en el área de construcción de la futura balsa y sus alrededores, así como determinar la posible influencia hidrogeológica de esta balsa sobre el suelo, hidrología e hidrogeología del entorno inmediato.

La recopilación de información para este estudio se ha realizado a través de una visita al terreno, la realización de cinco calicatas y una compilación de la información comprendida en los siguientes documentos:

- *Hidrología Subterránea (Custodio y Llamas, 1983).*
- *Mapa geológico de España Escala 1:50.000. Hoja de Miranda del Castañar-552. (IGME, primera edición, 1990)*
- *Mapas de peligrosidad y riesgo de inundación en la demarcación hidrográfica del Tajo (Confederación Hidrográfica del Tajo, septiembre 2015).*
- *Proyecto de Legalización y Ampliación de las Instalaciones de Aderezo, Deshueso-Relleno, Envasado y oxidación de Aceitunas (Inagro Pilas S.L, 2017).*
- *Bases de datos geográficas y alfanuméricas oficiales disponibles para descarga y / o visualización online desde los siguientes servidores:*
 - o *IGME (Instituto Geológico y Minero de España).*

- Confederación hidrográfica del Tajo.
- CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas).
- SiAR (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío).
- MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente).

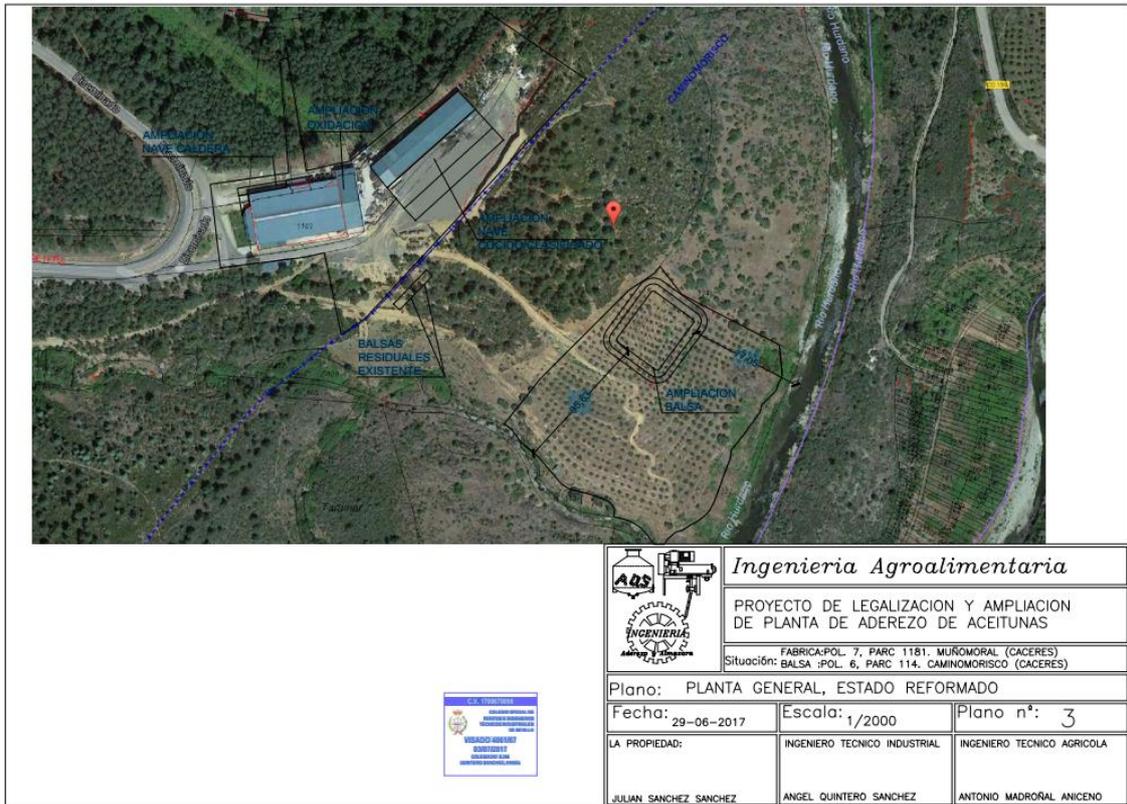


Figura 1.1.- Diseño final y ubicación de la balsa (Inagro Pilas, 2017).

2 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está ubicada al norte de la provincia de Cáceres, a 541 m al sur de Vegas de Coria y aproximadamente a 134 km al norte de Cáceres, entre los términos municipales de Nuñomoral y Caminomorisco (Comunidad Autónoma de Extremadura).

Para este estudio se ha analizado en detalle un área de unos 500 m², abarcando el río Hurdano, un arroyo estacional situado al suroeste, con tal de caracterizar hidrológica e hidrogeológicamente el área de estudio. Se encuentra limitada por (Figura 2.1):

- Norte-Noroeste: Instalaciones actuales
- Este: Río Hurdano, a 77,05m de la balsa planificada
- Oeste: Arroyo de carácter estacional, a 95,63 de la balsa planificada.
- Sur: Confluencia río Hurdano-arroyo y meandro del río Hurdano, a 150 m.

Las principales características del área de estudio son:

Climatología: De acuerdo con Köppen y Geiger el clima se clasifica como Mediterráneo Csa, caracterizado por ser un clima templado, con inviernos lluviosos, veranos secos y calurosos y primaveras y otoños variables tanto en temperatura como en precipitaciones.

En Vegas de Coria la temperatura promedio es de 14,4°C y la precipitación media anual es de 507 mm.

Geomorfología: El área de estudio se caracteriza por tener una orografía accidentada. Los principales relieves se encuentran asociados a resaltes topográficos estructurales donde la erosión ha producido un encajamiento brusco de arroyos y regatos. A nivel regional, la divisoria fluvial Duero-Tajo (al norte del área de estudio) queda delimitada por los relieves conformados por la Sierra de Gata y la Sierra de Francia, donde el Pico Mingorro o Rongiero presenta la máxima cota (1.624 m.s.n.m.).

Hidrología superficial: Toda la red pertenece a la Cuenca del Alagón, que a su vez vierte sus aguas a la Cuenca del Tajo, discurriendo con mayor o menor grado de encajamiento a favor de líneas estructurales de dirección principal norte-sur o noroeste-sureste. La cuenca receptora del área de estudio ocupa 109 km².

Los depósitos relacionados con la red fluvial son escasos y corresponden a aluviales ligados con el cauce actual de los ríos y algunos niveles de terraza cuyas alturas con relación al cauce actual no superan los tres metros, que nos indican también su génesis reciente.

El área de estudio se encuentra en la parte alta de la cuenca del Alagón, a unos 14 km al noroeste del embalse de Gabriel y Galán, y por ella circulan dos cauces de carácter estacional con caudal procedente principalmente de la escorrentía superficial derivada de la precipitación en los meses de invierno:

- Río Hurdano; Desemboca en el embalse de Gabriel y Galán. En el área de estudio presenta una longitud de unos 460 m. Presenta una orientación preferencial norte-sur que al sur forma un meandro de desvía su trayectoria casi 180° (sur-norte). La balsa se encuentra a menos de 100 m de su cauce, por lo que estaría en el área de policía del río.
- Arroyo estacional encajado y de caudal muy inferior al río Hurdano. Desemboca a este último por su vertiente oeste y se encuentra localizado a unos 95 m de distancia de la balsa proyectada.

Hidrogeología: A nivel regional no hay descrito cerca ningún sistema acuífero. El más cercano, de tipo detrítico, es la unidad 03.11, denominada Zarza de Granadilla, localizada inmediatamente al sureste del embalse de Gabriel y Galán, a más de 10 km del área de estudio.

El agua subterránea presente en la zona estaría almacenada en áreas de porosidad secundaria generada por fracturación de los materiales precámbricos presentes en el área. Esta porosidad constituye normalmente acuíferos cautivos o confinados rodeados de niveles impermeables.

En la Figura 2.1 se muestra la localización del área de estudio. Según las fuentes oficiales consultadas, no se encuentran cerca del área de estudio manantiales, zonas de extracciones de agua subterránea, zonas de abastecimientos urbanos (superficiales o subterráneos) o zonas protegidas que pudieran verse afectados por la puesta en marcha de la ampliación. Cabe destacar que:

- La estación de control de agua superficial SAIH más cercana (CH Tajo) se encuentra a unos 800 m al noroeste del área de estudio (Hurdano en Nuñomoral).
- El punto de red de control de agua subterránea de la CH Tajo se encuentra a unos 8 km al suroeste del área de estudio (Caminomorisco de la Batuequilla).
- El punto de agua subterránea para abastecimiento más cercano registrado en la base de datos del IGME se encuentra situado en Casar de Palomero, a unos 9 km al sur del área de estudio.

En las secciones sucesivas se detallarán las características hidrológicas, hidrogeológicas y geotécnicas de interés para este estudio técnico.

ESTUDIO TÉCNICO HIDROGEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA BALSA DE ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS DE INDUSTRIA DE ADEREZO, DESHUESO-RELLENO, ENVASADO Y OXIDACIÓN DE ACEITUNAS. ACEITUNAS JAIRO (VEGAS DE CORIA, CÁCERES).

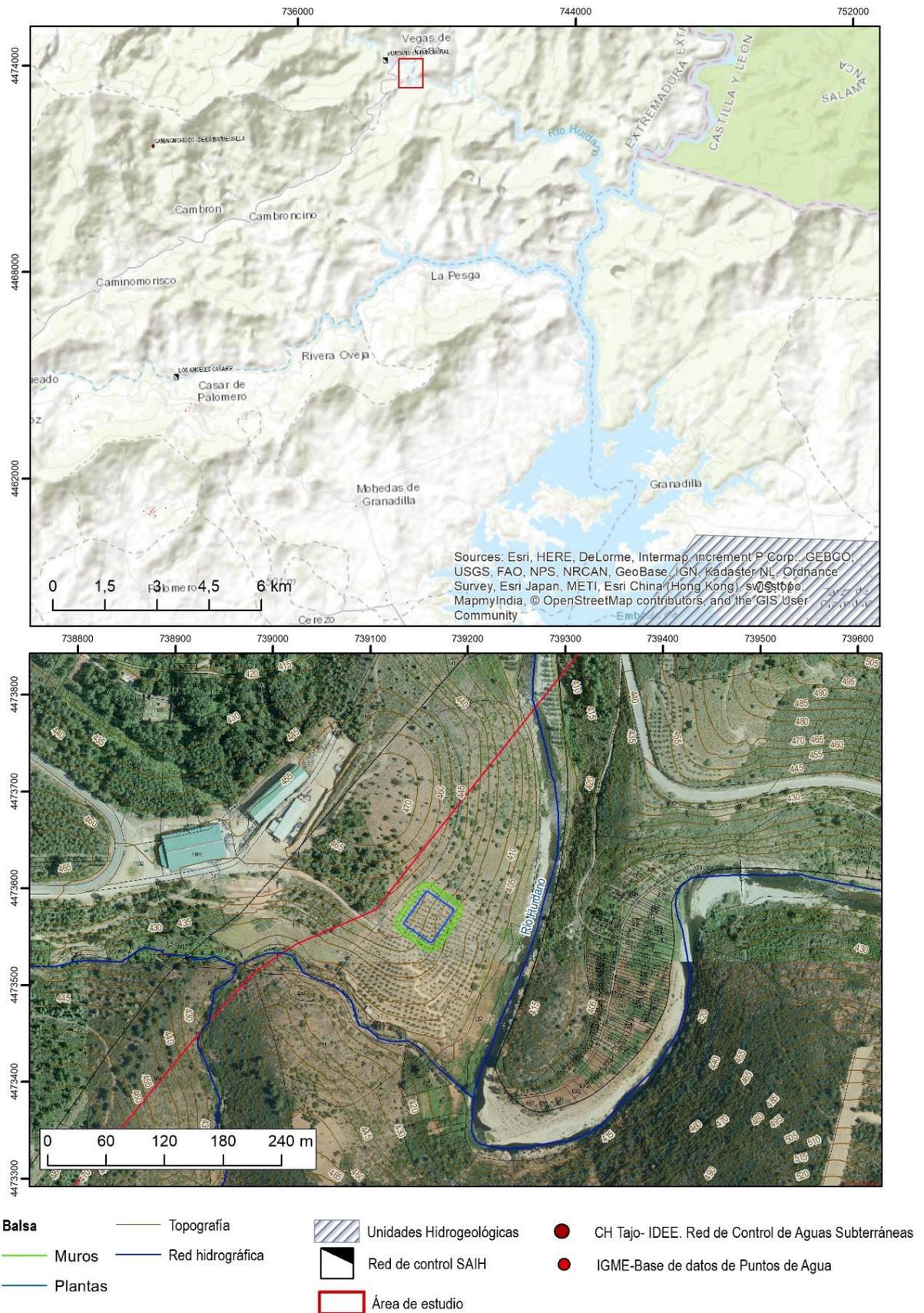


Figura 2.1.- Situación del área de estudio y principales características .

3 HIDROLOGÍA

3.1 DATOS CLIMÁTICOS

Tal y como se ha comentado en la sección anterior, el área de estudio presenta un clima mediterráneo. Se ha recopilado desde el SiAR los principales datos climatológicos registrados entre enero de 2016 y mayo de 2018 en la estación meteorológica CC-101 Hurdes Azabal (Casar de Palomero).

La Tabla 3.1 y la Figura 3.1 muestran estos datos en forma de resumen anual y gráfico mensual. La Figura 3.2 muestra la ficha de la estación meteorológica. Se observa que:

- Temperatura: los meses más calurosos se corresponden con julio y agosto y las temperaturas mínimas se registran en los meses de enero y febrero. Anualmente, se observa que el año 2016 fue más cálido que 2017. 2018 es algo más frío.
- Precipitación: Se registran principalmente entre octubre y febrero. La media en 2016 es de cerca de 1.200 mm/año. La mayor precipitación mensual de los tres años se ha registrado en marzo de 2018 (380,7 mm). Entre enero y mayo de 2018 se ha registrado más precipitación anual acumulada que en todo 2017.
- Etp: La evapotranspiración mensual normalmente es más elevada en los meses de verano, haciendo el sistema deficitario hídricamente en estos periodos. Anualmente, el año 2017 fue deficitario hídricamente (periodo de sequía) mientras que el año 2016 tuvo excedentes y, por tanto, reservas hídricas en sistemas subterráneos.

Fecha	T Media (°C)	Precipitación (mm)	EtP Mensual	Diferencia Precipitación Etp
2016	15,49	1195,76	1055,3	140,46
2017	15,425	690,76	1138,1	-447,34
2018	8,99	702,28	219,23	483,05

Tabla 3.1. Resumen anual de datos climáticos años 2016 a 2018.

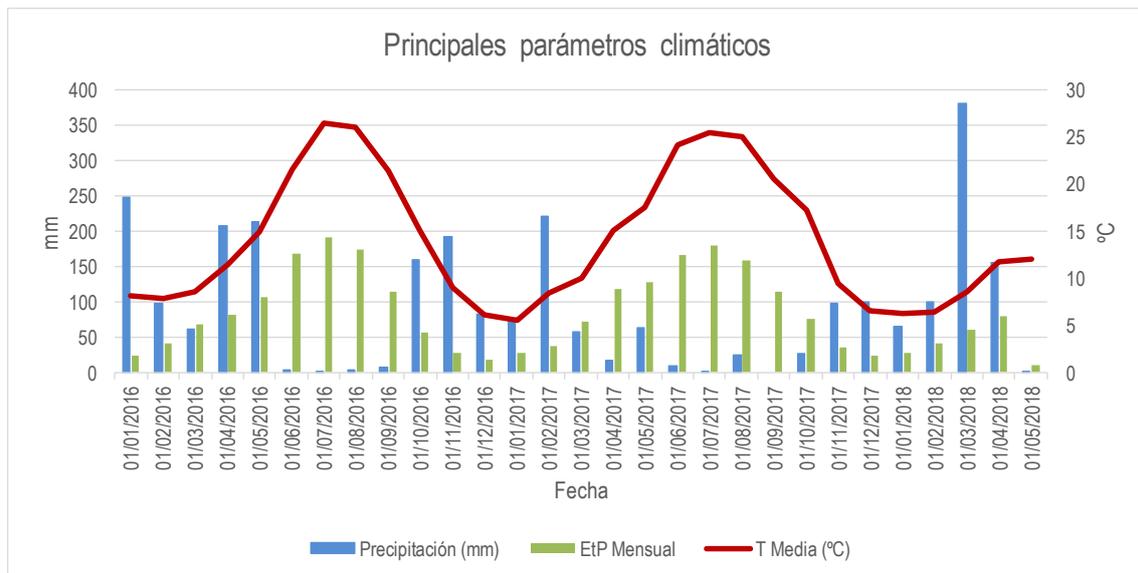


Figura 3.1.- Representación gráfica de datos climáticos mensuales (años 2016-2018) .



CC101 Hurdes-Azabal

Propiedad: Red Propia-Extremadura

Provincia: Cáceres

Municipio: Casar de Palomero

Paraje: Carrascal de la Abuela

Cuenca: Tajo

Coordenadas

UTM X: 219034

UTM Y: 4466140

Huso: 30

Altitud: 480

Estado: Activa

Fecha Instalación: 18/03/2004

Última Calibración:

Fecha Último Dato: 03/05/2018



Norte



Sur



Este



Oeste

Figura 3.2.- Ficha de estación meteorológica .

3.2 CAUDALES Y ZONA INUNDABLE

El principal curso de agua que circula por el área de estudio es el Río Hurdano. Desde la página del CEDEX, se han descargado los datos de altura y caudal instantáneo máximo mensual de agua entre los años 2000 y 2014 de la estación SAIH, situada a unos 800 m al noroeste del área de estudio. La Figura 3.3 muestra las características de esta estación. La Figura 3.4 muestra los principales datos.

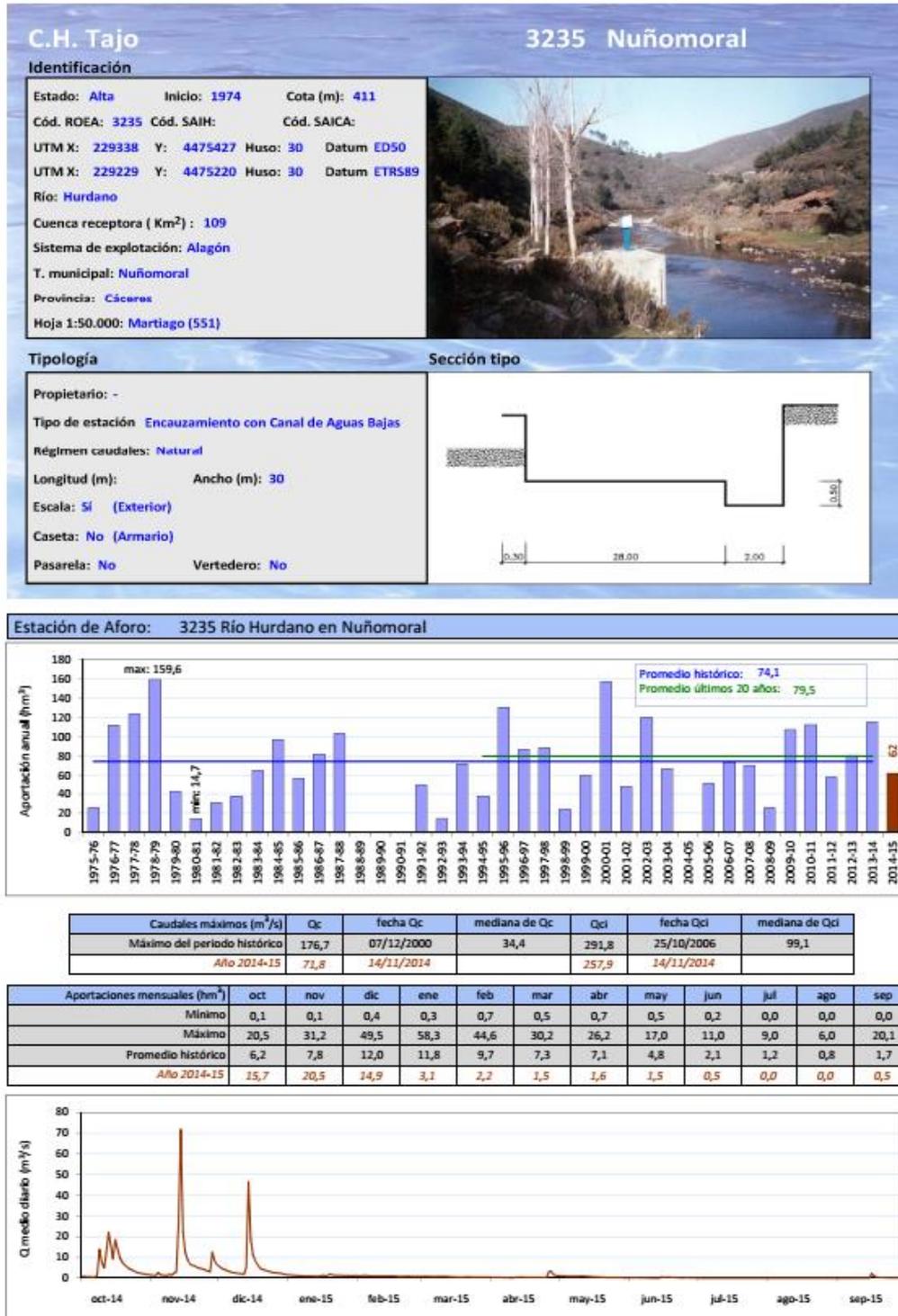


Figura 3.3.- Estación SAIH Nuñomoral.

En la Figura 3.4 se observa que, en la serie de 14 años, la altura instantánea máxima mensual de lámina de agua a su paso por la estación de aforo ha sido de 4,17 m el 24 de octubre de 2006, con una precipitación acumulada mensual de 435 mm. Con una precipitación media mensual entorno a los 200 mm (valor más habitual en época de lluvias), la altura de lámina de agua instantánea se ha situado entre 1 y 2 metros.

Tal y como se muestra en la Figura 3.5 se observa que el río se presenta encajado y con poca anchura, con una zona inundable (más plana) de unos 15 m en su parte más ancha colonizada por la vegetación y con un desnivel asociado a arcillas y materiales más finos.

No se observan estructuras de erosión fluvial cercanas al talud del cerro donde se instalará la balsa, al contrario, se observa la acumulación de cantos redondeados correspondientes a un aluvial mal desarrollado y acumulación de finos en las áreas más distales al cauce.

La diferencia de cota entre el fondo del río, la zona más plana inundable y el inicio del incremento de pendiente coincidente con las pizarras del cerro donde se instalará la balsa, es de entre 2 y 6 metros, dependiendo del ancho del aluvial y la potencia del nivel arcilloso suprayacente, por lo que la lámina de agua durante una crecida no alcanzará ni socavará la base del cerro ni, por lo tanto, afectará a la estabilidad del terreno.

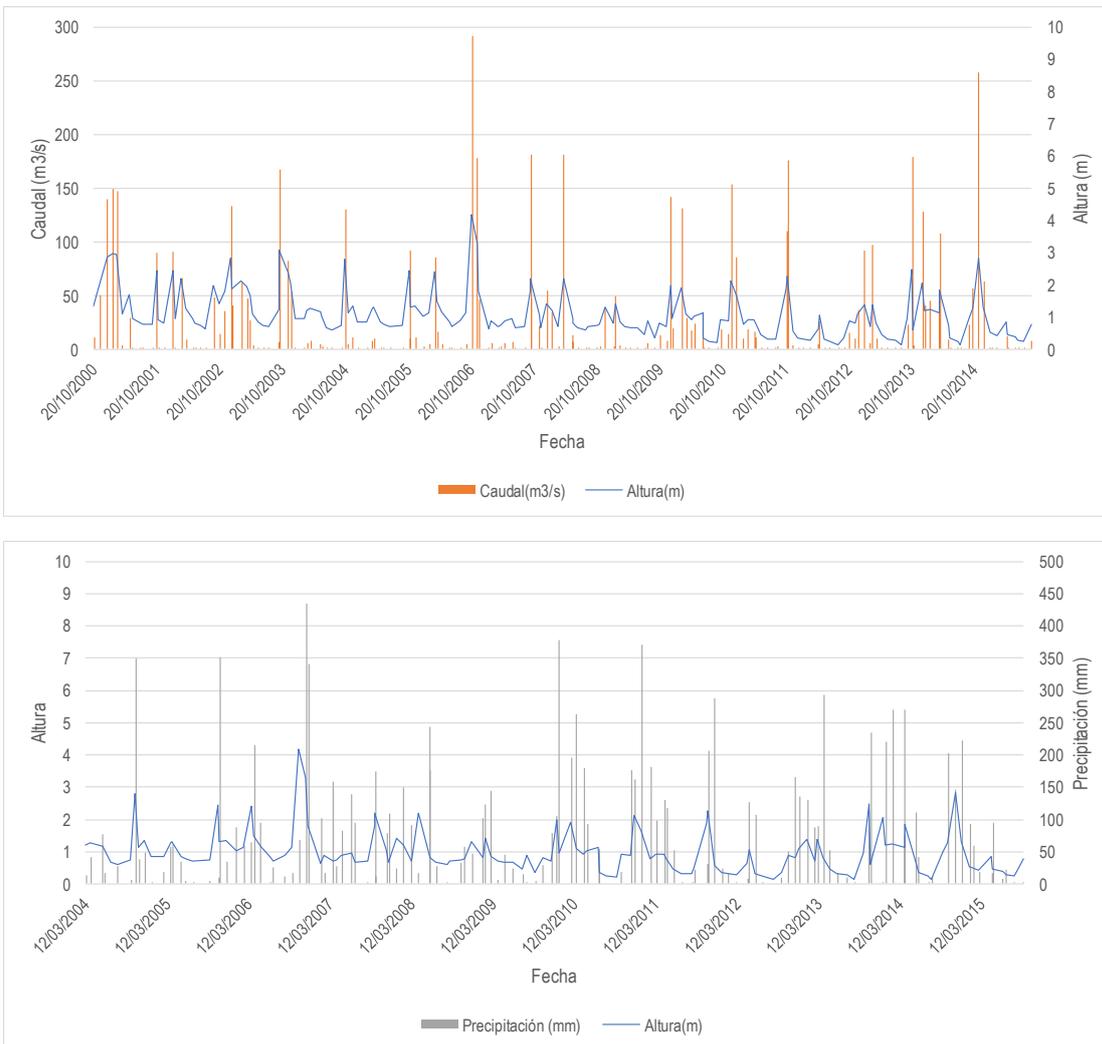


Figura 3.4.- Caudales y alturas máximas instantáneas versus precipitación media mensual .



Figura 3.5.- Fotografías del cauce del Río Hurdano en el área de estudio (de sur a norte, arriba, y de norte a sur, abajo).

Según los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación en la demarcación hidrográfica del Tajo y el documento de Evaluación Preliminar de Riesgo de Inundación (EPRI) no constan antecedentes históricos de crecidas con índice de peligrosidad asociadas al río Hurdano en el área de interés. El tramo que circula por el área de estudio tampoco aparece en el listado de Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs), aunque sí aparece un tramo del río Hurdano de 3,2 km de longitud a su paso por el núcleo de población de Nuñomoral (Figura 3.6).

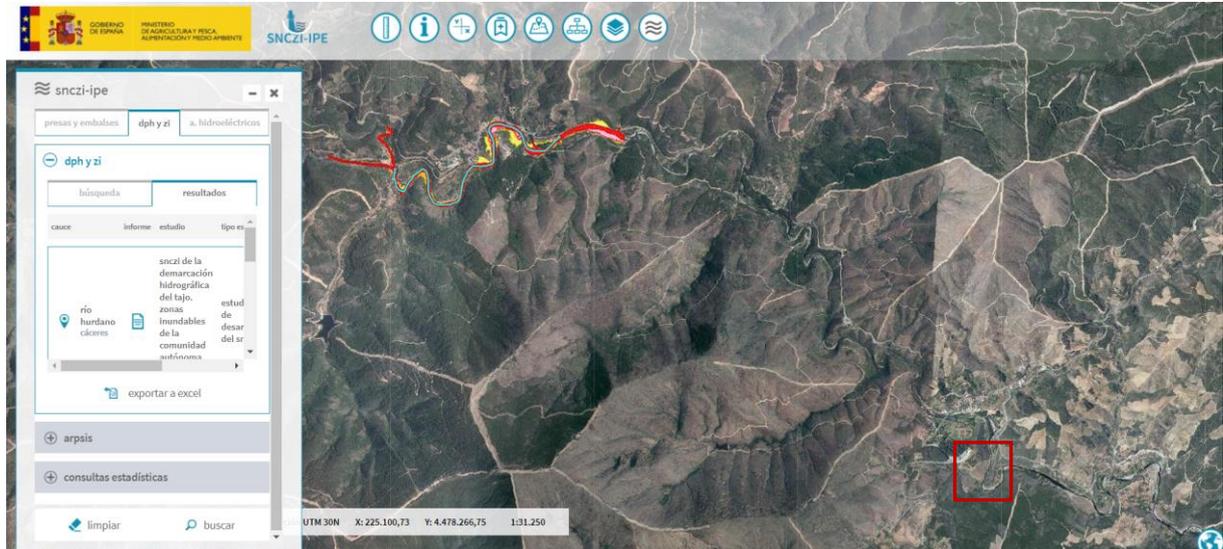


Figura 3.6.- Zonas catalogadas con riesgo de inundación por el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (MAPAMA).

4 MARCO GEOLÓGICO

4.1 GEOLOGIA REGIONAL

El marco geológico se encuadra dentro del Macizo Hespérico, en la parte meridional de la Unidad Geológica Centroibérica (Julivert et al., 1974).

La mayor parte de los metasedimentos pertenecen al denominado Complejo Esquisto Grauváquico (CEG) de edad Precámbrica, sobre los que se depositó una serie paleozoica que actualmente está representada por materiales del Ordovício Inferior, no presentes en el área de estudio.

La sedimentación de la serie inferior del CEG tuvo lugar en un ambiente submarino relativamente profundo en el que se depositaron un conjunto de facies turbidíticas y facies autóctonas de la cuenca.

El resto de sedimentos se encuentra representado en menor medida por depósitos pliocuaternarios y cuaternarios, destacando los derrubios de ladera y canchales asociados a la erosión de los relieves paleozoicos, especialmente en la región de Las Batuecas.

Estructuralmente destaca la existencia de una primera fase de deformación hercínica que origina pliegues de dirección ONO-ESE y plano axial subvertical con una esquistosidad S1 asociada. Posteriormente se producen movimientos tardíos que originan pequeños repliegues con esquistosidad de crenulación.

Anterior a la deformación hercínica tiene lugar, al menos, dos fases de deformación, entre los materiales del Precámbrico Superior y el Cámbrico inferior y entre estos últimos y el Ordovício Inferior (Fase Sárdica), observable esta última en las provincias de Salamanca y Cáceres.

Durante la deformación más intensa se produce un metamorfismo regional en el área de diversa intensidad

De la observación de la cartografía geológica como de la red fluvial se deduce una compartimentación en bloques limitados por importantes líneas de fractura de dirección genera NE-SO, individualizando cuatro grandes bloques correspondientes a Aldeacipreste, Pinedas, Cepeda-Sotoserrano y La Alberca.

La Figura 4.1 muestra el mapa y los perfiles geológicos regionales.

4.2 GEOLOGIA LOCAL

La Figura 4.2 muestra una cartografía geológica de detalle del área de estudio y los puntos visitados en terreno. La Tabla 4.1 muestra el detalle de las observaciones realizadas. En el Anexo I se encuentran las fotografías tomadas.



Figura 4.2.- Cartografía de detalle.

Id	Este ETRS89 UTM 29N	Norte ETRS89 UTM29N	Descripción
1	739097,3574	4473563,488	Afloramiento en divisoria de aguas. Pizarras de grano muy fino. Pliege vergente al sureste con estratificación subhorizontal (SE) y foliación perpendicular (subvertical). Horizonte de suelo arcilloso de aproximadamente 0,5 m.
2	739183,6359	4473428,856	Afloramiento de pizarra. Buzamiento SE 10-15°
3	739215,5668	4473470,155	Zona inundable hasta 8-9 m de distancia al río. Restos de ramas arrastradas por la crecida. Después cambio de pendiente (incremento)
4	739230,329	4473532,007	Cambio de orientación en el buzamiento. Dirección NO y más de 45° (subvertical).
5	739229,3723	4473545,06	Contacto suelo-roca. Afloramiento con buzamiento subvertical dirección SOO
6	739240,8935	4473573,197	Serie suelo-roca-aluvial. Aluvial mal desarrollado. Cantos rodados cm a dm de cuarcita. Por encima suelo arcilloso de aproximadamente 1 m de potencia con humedad (límite de la crecida). Roca con estratificación subhorizontal (25°) y dirección SEE
7	739259,4248	4473573,197	Zona inundable hasta 12-14 m de distancia al río. Restos de ramas arrastradas por la crecida. Después cambio de pendiente (incremento)
8	739107,7592	4473471,211	Vista a arroyo. Curso encajado en valle con elevada pendiente. Sin aluvial.
9	739131,2135	4473498,281	Arcilla azul y roja con clastos de pizarra diseminados.
10	739141,4354	4473586,508	Cata 1. Arcilla azul en el lado NO y roja en el lado N. 1 m de profundidad. Muy compacta.
11	739129,497	4473573,296	Cata 2. Arcilla roja. Profundidad 1,5-2 m. Muy compacta.
12	739149,4787	4473576,348	Cata 3. Roca (pizarra) degradada u fracturada. 10-50 cm de suelo arcilloso por encima. Techo de roca muy irregular debido a la degradación. Profundidad de 1 m.
13	739137,6254	4473557,721	Cata 4. 30 cm de suelo arcilloso compacto. Subyacente roca alterada y fracturada. Estratificación subhorizontal con buzamiento hacia el SSO y foliación perpendicular a la estratificación
14	739143,9754	4473556,874	Cata 5. Bloques decimétricos a métricos de pizarra en matriz de arcilla. Buzamiento subhorizontal de dirección SE y foliación perpendicular a la estratificación.

Tabla 4.1. Detalle de las observaciones realizadas en terreno.

4.2.1 ESTRATIGRAFÍA

En el área de estudio afloran, de más antiguo a más reciente, las siguientes litologías:

Precámbrico Superior-Cámbrico Inferior.

Se corresponden a dos unidades, inferior y superior, de las cuales en el área de estudio aflora la inferior, también denominada Complejo Esquisto Grauváquico (CEG).

En el área de estudio se encuentra formada por grauvacas y pizarras, pertenecientes a una serie de predominio pelítico con intercalaciones de paquetes arenosos de potencia diversa que pueden presentar o no estructuras internas.

En esta unidad se reconoce un fuerte predominio de las facies pelítico-arenosas y pelíticas, algunas de las cuales presentan un gran contenido en sulfuros. Se encuentran constituidas por estratos plano-paralelos de pequeña potencia con desarrollo de la secuencia de Bouma incompleta, resultando en una alternancia milimétrica o centimétrica de láminas pelíticas claras y oscuras con proporción variable de cuarzo, minerales arcillosos y materia orgánica.

Cuaternario (Holoceno).

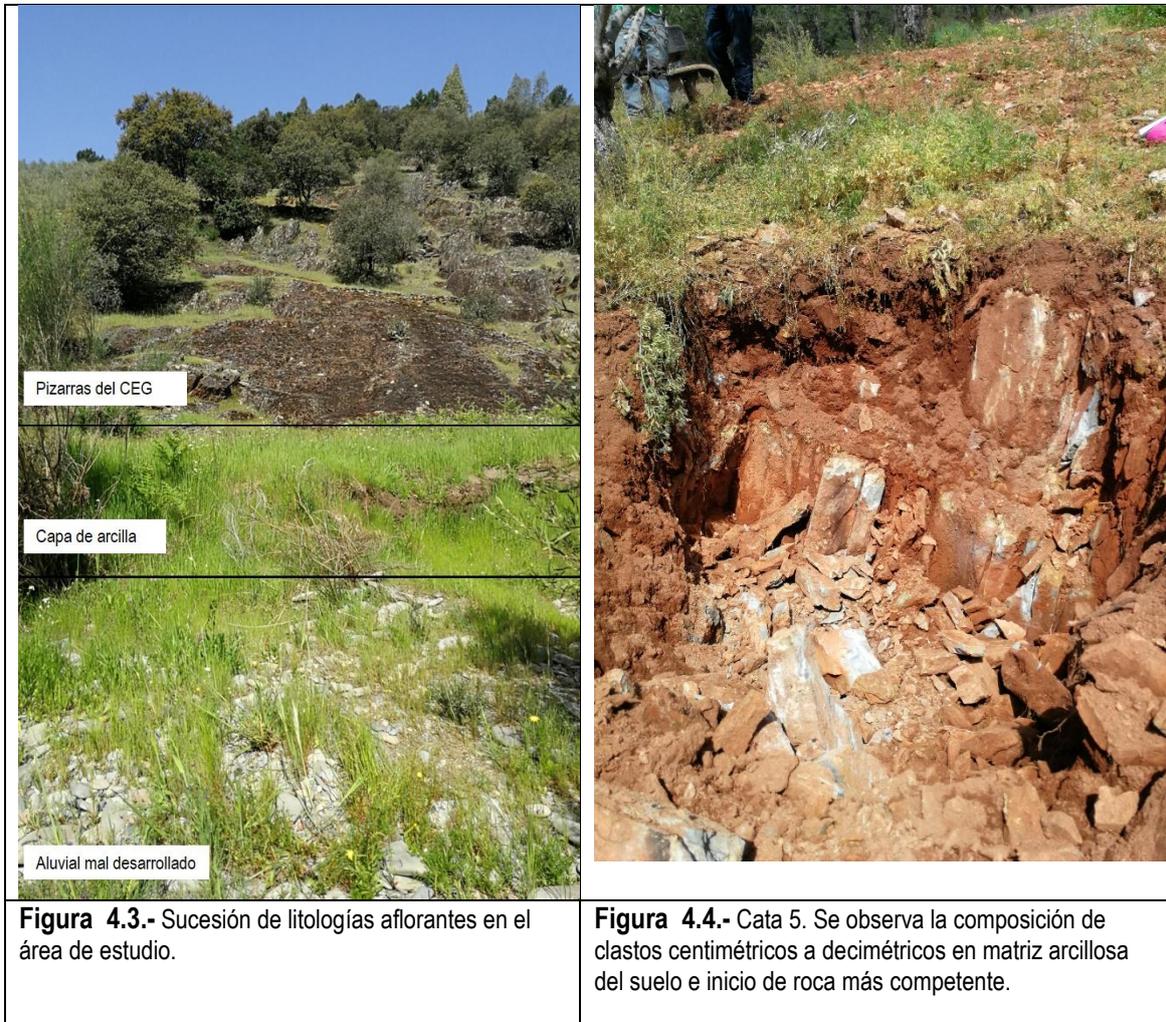
Regionalmente se encuentran pocas terrazas, todas ellas situadas en la zona sureste en los cursos de los ríos Alagón, Hurdano y Ladrillas, con cotas topográficas con relación a los cauces actuales de 1,5 a 3 m. En el área de estudio se observan sedimentos aluviales de cantos redondeados de cuarzo y grauvacas empastados en una matriz areno-arcillosa grisácea y rojiza.

Suelos.

El suelo presente en el área de estudio presenta una textura franca-limosa debido a la presencia mayoritaria de las pizarras del CEG. Los contenidos en clastos centimétricos son de medios a abundantes, superando la fracción de elementos gruesos el 50% generalmente.

Como carácter general, las texturas de tipo fino y los altos contenidos en materia orgánica provocan en los suelos reservas útiles de agua (aprovechables por las raíces de las plantas), con valores que suelen ser del orden de 40 mm de agua útil cada 20 cm de suelo (POAH, 1997).

La Figura 4.3 muestra la fotografía de la sucesión de litologías aflorantes en el área de estudio. La Figura 4.4 muestra el corte expuesto por la cata 5 donde se aprecia la composición del suelo y los primeros centímetros de CEG más consolidado.



4.2.2 ESTRUCTURAS

La Figura 4.5 muestra una topografía de detalle realizada mediante información Lidar. En la imagen se aprecian los resaltes producidos por la forma de terraza de cultivo en el área de estudio y los pequeños resaltes producidos por afloramientos rocosos y algunos localizados en la zona próxima al río Hurdano. A partir de lo observado en terreno y en la imagen Lidar, en el área de estudio no se observan fracturas cartografiadas de gran entidad susceptibles de generar inestabilidad o almacenar cantidades significativas de agua subterránea.

Sí se han observado estructuras de plegamiento locales, de orden métrico, asociadas a las diferentes orogenias y fases de deformación acontecidas, que en ningún caso afectan a la estabilidad del terreno (Figura 4.6).

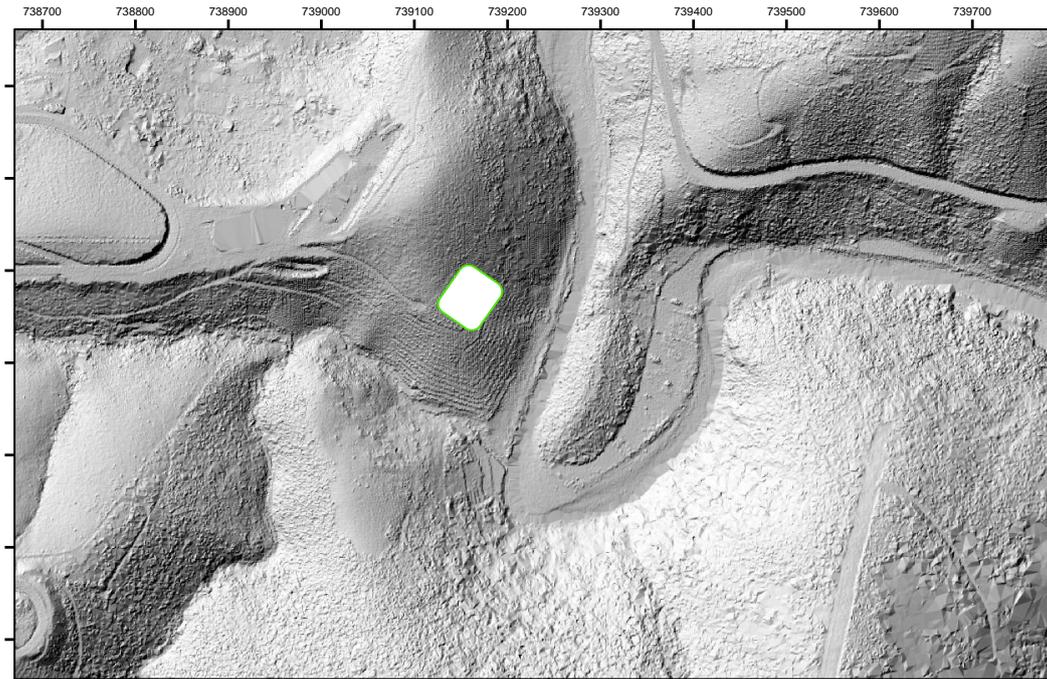


Figura 4.5.- Modelo digital realizado a partir de información de alta precisión Lidar (0,5x0,5 m de paso de malla). No se observan estructuras ni fracturas mayores aflorantes en el área de ubicación de la balsa.



Figura 4.6.- Pliegue de orden métrico local aflorando en la parte superior del cerro (líneas en negro). No se observan signos de desestabilización del terreno.

4.2.3 GEOMORFOLOGÍA

En el área de construcción de la balsa, la cota máxima, localizada a 100 m al noroeste de esta, es de 477 m.s.n.m, y la cota mínima es de unos 400 ms.n.m., localizada alrededor de 200 m al sureste de la balsa, en el tramo de cauce meandriforme del río Hurdano, representando un desnivel de 77 m en 300 m de noreste a suroeste.

Presenta unas pendientes elevadas que se encuentran modificadas antrópicamente en forma de terrazas de cultivo. Se encuentra limitado al este por el río Hurdano y al oeste por un arroyo de tipo estacional que forma un valle encajado.

La Figura 4.7 muestra el mapa de pendientes, orientaciones y acumulación de escorrentía superficial derivado del modelo de elevaciones Lidar. Se observa que:

- El área donde se excavará la balsa presenta inclinaciones de entre 15 y 30 grados, pendiente que actualmente favorece la escorrentía superficial y subsuperficial, resultando desfavorable a la infiltración profunda de agua en el terreno. Cabe destacar que la presencia en el área de pinos, olivos y las terrazas de cultivo estabilizan el terreno pese a la elevada pendiente.
- Existe divisoria de aguas superficiales al norte este y oeste del lugar donde se excavará la balsa, impidiendo la conexión del área donde se planea ubicarla hacia estos puntos. El terreno donde se ubicará presenta una orientación sureste-este, hacia donde circulará la escorrentía superficial y subsuperficial que caiga sobre el área.
- La mayor parte del área de estudio presenta una tendencia a la acumulación de escorrentía superficial muy baja o nula. Actualmente, pendiente abajo y al este del área donde se ubicará la balsa esta tendencia se incrementa ligeramente. La excavación de la balsa, el diseño previsto y su impermeabilización modificarán la dinámica de escorrentía superficial en el área, permitiendo controlarla eficazmente y disminuyendo su magnitud pendiente abajo, hacia el río Hurdano.

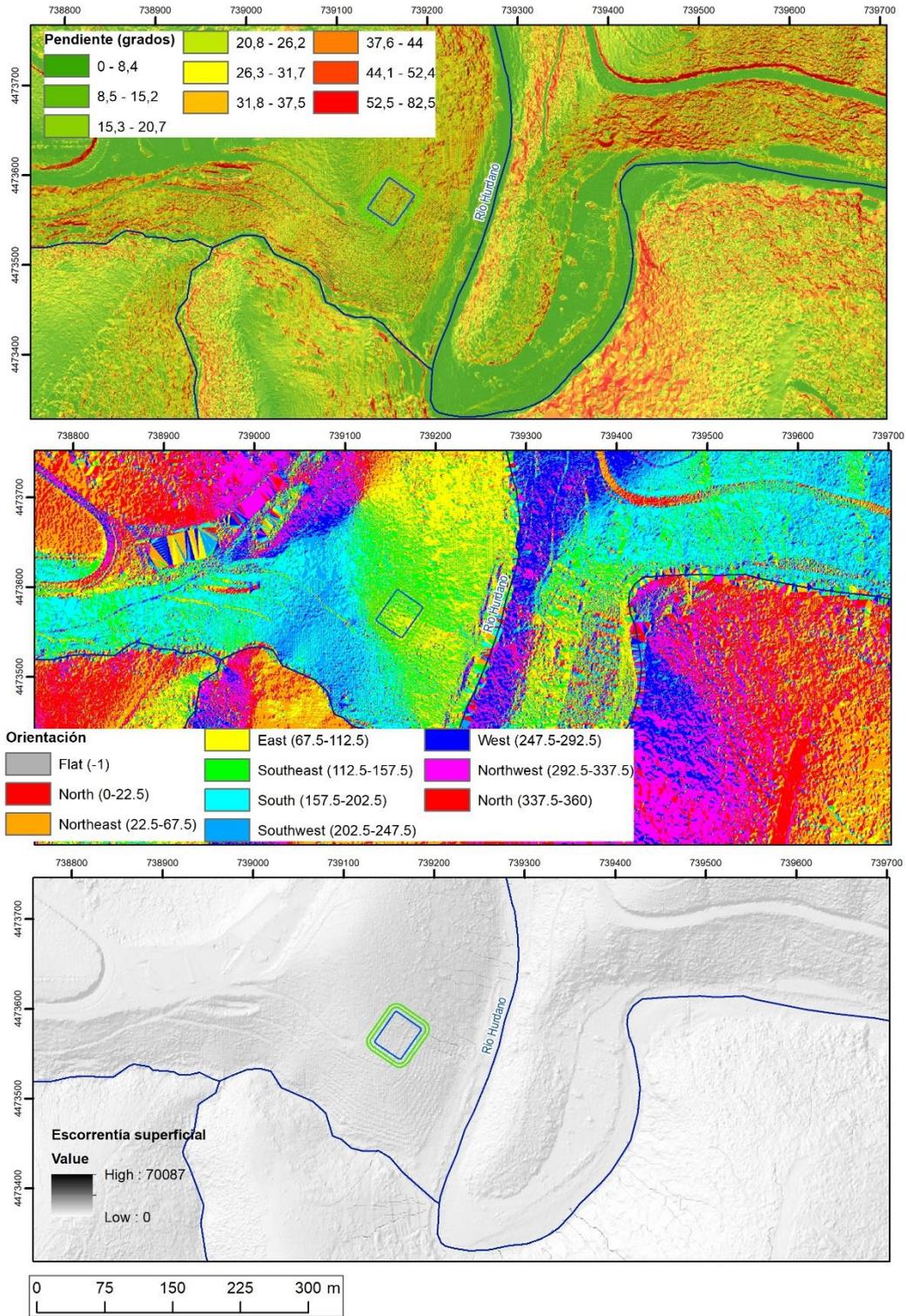


Figura 4.7.- Modelos de pendiente, orientación y escoorrentia superficial a partir de imagen Lidar.

4.2.4 GEOTECNIA

Las obras asociadas a la construcción de la balsa son de poca entidad, sin que sea precisa la ejecución de trabajos importantes de excavación o cimentación en el área.

Se han realizado cinco catas en el área de ubicación de la balsa donde han quedado expuestas las siguientes litologías y propiedades geotécnicas (puntos 10 a 14 del inventario de terreno, fotografías en Anexo I).

Pizarras del CEG.

Se ha observado una buena estratificación subhorizontal con diversas orientaciones, en capas de espesor variable, desde centimétricas a decimétricas. Constituidas principalmente por granos de cuarzo y micas y con textura pelítica o de arena fina pizarrosa y esquistosa.

Se ha observado una esquistosidad penetrativa subvertical subparalela a la estratificación.

Geotécnicamente son rocas duras que no suelen presentar problemas de envergadura cuando están sanas. La meteorización superficial depende del grado de esquistosidad. Según lo observado se puede considerar un terreno de ripabilidad media en la parte superficial.

La capacidad portante es alta en los niveles no alterados. El drenaje es impermeable o ligeramente permeable por fisuración.

Suelo eluvial sobre pizarras.

De escaso desarrollo, entre 0,5 y 1 m, constituido por limos arenosos grises, marrones y rojizos, arcilla y fragmentos de roca. Su consistencia varía entre floja a media.

Aparecen en forma masiva o heredando la estructura de la pizarra infrayacente. Tiene capacidad portante baja y permeabilidad reducida.

Son depósitos erosionables y excavables.

La Figura 4.8 muestra las principales características geotécnicas por tipo de suelo definidas por el CTE (Código Técnico de la Edificación).

Tipo de suelo	Densidad saturada (kN/m ³)	Densidad seca (kN/m ³)
Grava	20-22	15-17
Arena	18-20	13-16
Limo	18-20	14-18
Arcilla	16-22	14-21

Nota: Grava (2,0 / 60,0 mm), Arenas (0,06 / 2,0 mm), Limos (0,002 / 0,060 mm) y arcillas (< 0,002 mm).

Clase de suelo	Peso específico aparente (kN/m ³)	Ángulo de rozamiento interno
Terreno natural	Grava	19-22
	Arena	17-20
	Limo	17-20
	Arcillas	15-22
Rellenos	Tierra vegetal	17
	Terraplén	17
	Pedraplén	18

Figura 4.8.- Principales parámetros geotécnicos por tipo de suelo definidos por el CTE.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 INVENTARIO

Durante la excavación de las catas no se ha encontrado ningún nivel de agua subterránea ni ninguna estructura susceptible de actuar como almacén de agua subterránea. Tampoco se registra en ninguna base de datos oficial consultada la existencia de pozos de regadío o abastecimiento en el área de estudio.

5.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Las litologías predominantes en el área de explotación son pizarras de grano fino del CEG. Estas litologías conforman en origen un ambiente hidrogeológico de muy baja permeabilidad que ha sufrido varias fases orogénicas y que se muestra fracturado, foliado y alterado, especialmente en la superficie y favorecido por los trabajos de laboreo del área.

Las pizarras arcillosas, mayoritarias en el área de estudio, suelen presentar fracturas taponadas por productos arcillosos, resultando en acuíferos pobres, con poca o nula permeabilidad, aunque en algunos casos (áreas de fracturas regionales favorables al almacenamiento de agua subterránea), se han alcanzado caudales promedio de unos 3 L/s. La relación caudales-profundidad muestra para las pizarras, cuarcitas y grauvacas un aumento de agua en los primeros 100 m. Por debajo de esta profundidad la fracturación disminuye y con ella la posibilidad de obtener mejores caudales.

En el contexto del proyecto, la conductividad hidráulica (k) de las estructuras y litologías asociadas se puede hablar de valores de k que pueden oscilar entre los 1×10^{-5} m/día y los 1×10^{-9} m/día en las fracturas más impermeables (Custodio y Llamas, 1983).

Pese a la variabilidad, estos rangos de k asociados a fracturas en matrices rocosas impermeables se asocian a sistemas de baja permeabilidad y con capacidad acuífera pobre en contraste con lo que podría ser un acuífero ideal, por ejemplo, unas gravas limpias que presentarían una k teórica de entre 10^3 y 10^2 m/día (Custodio y Llamas, 1983).

Todo esto indicaría una baja infiltración en el terreno en el área donde predomina el CEG.

El área aluvial del río Hurdano, alejada tanto en cota como en distancia del área de excavación de la balsa, se encuentra mal desarrollada, con un elevado porcentaje de finos y colonizada por vegetación. Podría presentar una mayor capacidad de infiltración de escorrentía superficial procedente tanto de precipitación como de crecidas puntuales del río, así como una mayor capacidad de almacenamiento.

En base a los rangos de k mencionados y las observaciones en terreno, se propone una división cualitativa de unidades hidrogeológicas (Tabla 4.1).

Litología	Calificación	UH
Aluvial no consolidado con matriz arcillosa-arenosa.	Permeable	UH 1
Áreas superficiales de suelo más degradadas. Áreas de litologías pertenecientes al CEG fracturadas y foliadas (principalmente áreas superficiales).	Algo Permeable	UH 2
Suelo arcilloso compacto, discontinuidades selladas y roca fresca	Impermeable	UH 3

Tabla 5.1. Equivalencia entre litologías, fracturación y unidades hidrogeológicas (UH).

Unidad hidrogeológica 1 (UH1).

Formada por los materiales más permeables expuestos a la escorrentía superficial directa, principalmente asociados con el aluvial del lecho del río Hurdano y material cuaternario no consolidado.

- De mayor importancia en cotas bajas asociadas al aluvial del tramo de río Hurdano situado al este del área de estudio.
- Se estima que la potencia de esta UH comprende los primeros 1 a 3 metros. No se tiene constancia de niveles saturados en esta unidad en el área de estudio.
- Recibe aportes desde la escorrentía superficial directa.
- La base de esta unidad hidrogeológica sería el contacto con el CEG.

Unidad hidrogeológica 2 (UH2).

- Comprende las zonas de suelos con clastos y pizarras del CEG con fracturas con poco relleno o con relleno susceptible de presentar cierto grado de porosidad
- Está asociada fundamentalmente a las áreas más superficiales del terreno (primeros 1-2 m). Podría asociarse también a fracturas subverticales de mayor entidad. En el área de emplazamiento de la balsa no se ha detectado ninguna fractura de estas características.
- No se tiene constancia de niveles o áreas saturadas en esta unidad en el área de emplazamiento de la futura balsa. Se asume que a mayor profundidad estas discontinuidades disminuyen su permeabilidad.

Unidad hidrogeológica 3 (UH3). Esta unidad se considera el límite impermeable formado por los techos inalterados de roca fresca y suelos arcillosos compactados de muy baja porosidad, con cierta capacidad de almacenamiento de agua intersticial, pero con baja capacidad drenante.

En el área de estudio no se encuentran evidencias de conexión entre la escorrentía subsuperficial del área de ubicación de la balsa y el caudal circulante por el río Hurdano o el arroyo estacional.

6 MODELO CONCEPTUAL Y EFECTO DE LA EXCAVACIÓN DE LA Balsa

6.1 MODELO CONCEPTUAL

El funcionamiento del sistema hidrológico-hidrogeológico del área de estudio seguiría el siguiente modelo:

La precipitación cae al terreno y circula en forma de escorrentía superficial por áreas de pendiente favorable y escorrentía subsuperficial adaptando la dirección de flujo a la morfología del contacto suelo-roca. Un porcentaje pequeño de escorrentía subsuperficial queda almacenada en los primeros metros en zonas de mayor porosidad, pero baja capacidad drenante, dada la matriz arcillosa.

En el área de ubicación de la balsa no se observan estructuras mayores que favorezcan la infiltración en profundidad de esta agua subsuperficial.

6.2 EFECTO DE LA EXCAVACIÓN DE LA Balsa.

En cuanto a escorrentía superficial, la excavación de la balsa, el diseño previsto y su impermeabilización modificarán la pendiente del terreno y la dinámica de escorrentía superficial en el área, permitiendo controlarla eficazmente y disminuyendo su magnitud pendiente abajo, hacia el río Hurdano.

La excavación de la balsa, con una profundidad máxima de 2,5 m, no afectará a la estabilidad del terreno ni a las características hidrogeológicas generales del CEG presente en el área de estudio, ya que dicha excavación se realizará especialmente sobre suelos arcillosos compactos, sin estructuras o fracturas mayores, o sobre suelos arcillosos con clastos angulosos de pizarras de orden centimétrico a decimétricos. La estratificación subhorizontal observada en el área de estudio, el relleno con material fino de las discontinuidades producidas por la foliación subvertical y la baja permeabilidad intrínseca de los materiales actuarán como barrera en la vertical, impidiendo una conexión con áreas acuíferas más profundas.

Además, la impermeabilización de la balsa minimizará todavía más la existencia de fugas hacia niveles más profundos.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De este estudio se derivan las siguientes conclusiones principales:

- No se observan estructuras de erosión fluvial cercanas al talud del cerro donde se instalará la balsa.
- La lámina de agua durante una crecida, incluso en años excepcionalmente húmedos, no alcanzará ni socavará la base del cerro ni, por lo tanto, afectará a la estabilidad del terreno.
- El tramo de río Hurdano que circula por el área de estudio no está catalogado en el listado ARPSis.
- No constan antecedentes históricos de crecidas con índice de peligrosidad asociadas al río Hurdano en el área de interés.
- No se observan fracturas cartografiadas de gran entidad susceptibles de generar inestabilidad o almacenar cantidades significativas de agua subterránea.
- Se han observado estructuras de plegamiento locales, de orden métrico, asociadas a las diferentes orogenias y fases de deformación acontecidas, que en ningún caso afectan a la estabilidad del terreno.
- El área donde se excavará la balsa presenta pendientes que actualmente favorece la escorrentía superficial y subsuperficial, resultando desfavorable a la infiltración profunda de agua en el terreno.
- La modificación del área por parte del hombre (cultivos y terrazas) contribuye a aumentar la estabilidad del terreno.
- No existe conexión hidrológica al norte este y oeste del lugar donde se excavará la balsa, (divisoria de aguas).
- La mayor parte del área de estudio presenta una tendencia a la acumulación de escorrentía superficial muy baja o nula. En el área de excavación de la balsa esta tendencia se incrementa ligeramente.
- El diseño previsto y su impermeabilización modificarán la morfología del terreno y la dinámica de la escorrentía superficial en el área, permitiendo controlarla eficazmente y disminuyendo su magnitud pendiente abajo, hacia el río Hurdano.
- Se han determinado tres unidades hidrogeológicas (UH) en el área de estudio. En el área de excavación de la balsa se ha observado la presencia de la UH2, caracterizada por una baja o nula permeabilidad dado el relleno de discontinuidades con materiales impermeables y el sellado de fracturas.
- A mayor profundidad, la UH 2 se haría más competente y, por lo tanto, más impermeable, derivando hacia UH3 (totalmente impermeable). En las catas excavadas el inicio de esta transición hacia unidades más competentes se ha determinado entorno a los 1,5-2 metros de profundidad.

- La excavación de la balsa y su puesta en marcha tendrán un impacto poco significativo en la geotecnia, dinámica y propiedades geológicas, hidrogeológicas e hidrológicas del área de estudio.

Como recomendación principal se destaca, a modo de control, la instalación de un piezómetro somero que recoja la escorrentía subsuperficial y que pueda detectar posibles fugas. Se recomienda que esté situado pendiente abajo de la balsa, en el área donde actualmente la escorrentía superficial es mayor y donde la escorrentía subsuperficial discurriría paralela a la topografía suprayacente.

El piezómetro debe colocarse cercano a la balsa, ya que la baja permeabilidad del medio resulta en una baja velocidad de desplazamiento de fluidos subterráneos, por lo que una fuga o ruptura de la impermeabilización de la balsa resultaría en una acumulación de los fluidos en el entorno inmediato a ésta, tanto en extensión como en profundidad.

Se recomienda realizar una medición mensual para determinar la presencia de agua procedente de la escorrentía subsuperficial, y tomar muestra para determinación de, al menos, conductividad eléctrica, sólidos disueltos en suspensión, temperatura y salinidad.

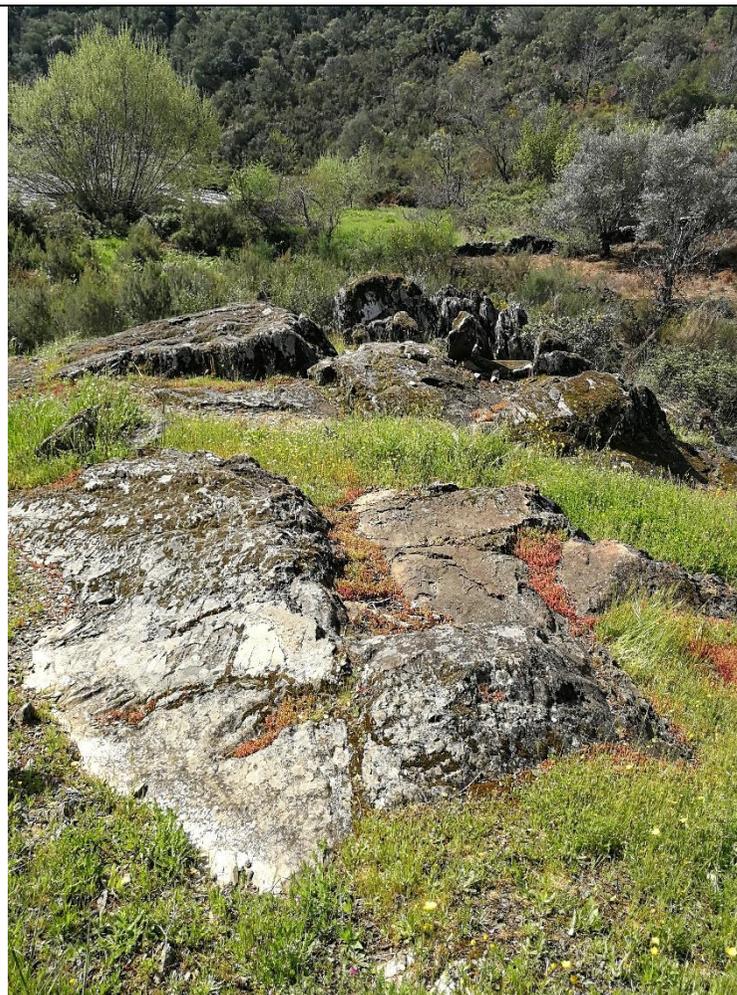
Gemma Sánchez Quílez

Número de Colegiada ICOG 7638

ANEXO I. FOTOGRAFÍAS Y OBSERVACIONES EN TERRENO



ESTRATIFICACIÓN SUBHORIZONTAL. FOLIACIÓN SUBVERTICAL



AFLORAMIENTO DE CEG CERCANO A LECHO DEL RÍO HURDANO



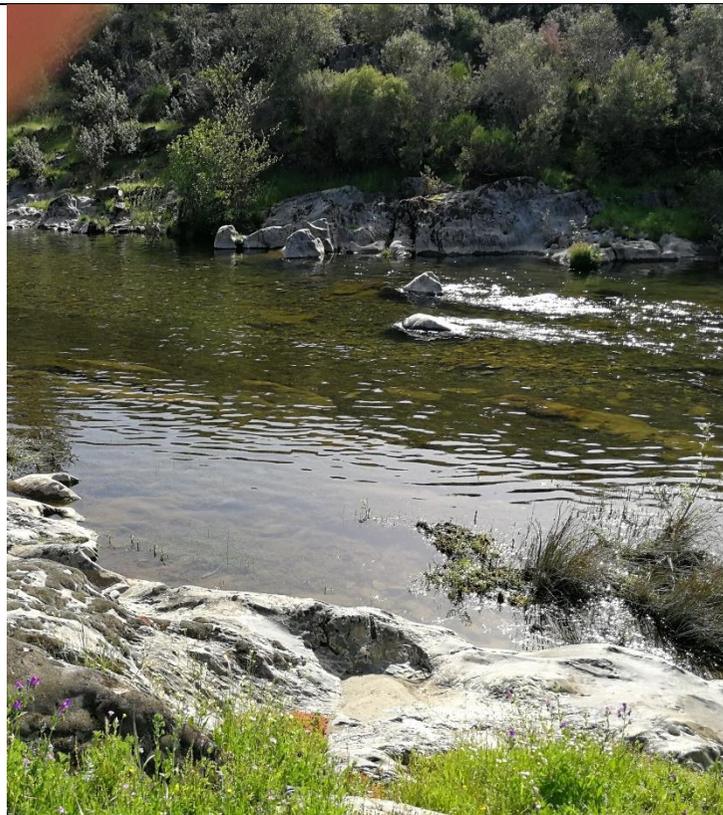
TERRAZAS DE CULTIVO



MUROS Y TRAZADO DEL ARROYO ESTACIONAL (OESTE ÁREA)



AFLORAMIENTOS CEG EN LA BAS DEL CERRO CON DISTINTAS DIRECCIONES DE BUZAMIENTO Y FOLIACIÓN.



ALUVIAL DEL RÍO HURDANO Y ÁREA SIN DESARROLLO ALUVIAL (CONTACTO DIRECTO CON CEG)



POTENCIA DE SUELO ARCILLOSO Y CON CLASTOS. TECHO UH2



EXCAVACIÓN DE CATAS



CATA 2



CATA 1



CATA 3



CATA 4



CATA 5

